



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Πρόγραμμα Προπτυχιακών Σπουδών

Κατεύθυνση Δομοστατικών

Διπλωματική Εργασία

Διερεύνηση της τεχνολογίας των δομικών υλικών του σκυροδέματος
σύμφωνα με τον ΚΤΣ 2016

Των

Βεντούρη Τσατσούλη Φωτεινή του Λεωνίδα

Δερμεντζίδα Αναστασία του Βασιλείου

Επιβλέπων καθηγητής: Αυτουσμός Αθανάσιος

ΑΘΗΝΑ

[ΙΟΥΝΙΟΣ] 2022

1 ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι κάτωθι υπογεγραμμένες **Βεντούρη Τσατσούλη Φωτεινή** του Λεωνίδα, με αριθμό μητρώου 44368390226 και **Δερμεντζίδη Αναστασία** του Βασιλείου, με αριθμό μητρώου 44368490226 φοιτήτριες του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνουμε υπεύθυνα ότι:

«Είμαστε συγγραφείς αυτής της διπλωματικής εργασίας με τίτλο *ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΚΤΣ 2016* και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμάς αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δική μας, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μας ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μας».

Οι Δηλούσες

ΒΕΝΤΟΥΡΗ ΤΣΑΤΣΟΥΛΗ ΦΩΤΕΙΝΗ

ΔΕΡΜΕΝΤΖΙΔΗ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

*Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι
Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή:*

Αθανάσιος Αυτουσμής

Καθηγητής

Επιβλέπων

Σταυρούλα Δενεζάκη

Καθηγητής

Μέλος

Τριαντ.-Φίλης Κόκκινος

Αναπληρωτής Καθηγητής

Μέλος

Περίληψη

Η παρούσα εργασία είναι και βιβλιογραφική και πειραματική καθώς αποτελείται και από θεωρητικό και από εργαστηριακό μέρος. Ασχολείται με τη διερεύνηση της τεχνολογίας του σκυροδέματος, αναλύοντας βασικά σημεία που πρέπει ένας μηχανικός να γνωρίζει και να κατανοεί.

Πιο συγκεκριμένα, ξεκινάμε με μια σύντομη ιστορική αναδρομή του σκυροδέματος και προχωράμε στο δεύτερο κεφάλαιο όπου παρουσιάζουμε και αναλύουμε τα μέρη που το αποτελούν (αδρανή, νερό και τσιμέντο) καθώς και τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά τους. Αναλύουμε δοκιμές με τις οποίες ελέγχουμε τι ισχύει για τις ιδιότητες των μερών αυτών, όσον αφορά τις ιδιότητές τους για το έμμεσο συμπέρασμα της κατάστασή τους, αν είναι δηλαδή κατάλληλα για παραγωγή σκυροδέματος ή όχι.

Στο τρίτο κεφάλαιο, περιγράφουμε τη σωστή διαδικασία της δειγματοληψίας είτε αυτή γίνεται στο εργοτάξιο είτε στο εργαστήριο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζουμε τις ιδιότητες του σκυροδέματος όταν αυτό βρίσκεται ακόμα σε νωπή, 'υγρή' μορφή αναφέροντας δοκιμές που πραγματοποιούνται σε αυτό.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζουμε τις ιδιότητες του σκυροδέματος όταν αυτό βρίσκεται σε σκληρή μορφή. Όταν δηλαδή έχουν περάσει το λιγότερο επτά μέρες και μπορούμε να υποβάλλουμε το σκυρόδεμα σε δοκιμές θραύσης για αποτίμηση της αντοχής του.

Στο έκτο κεφάλαιο, παρουσιάζουμε τη διαδικασία μιας μελέτης σύνθεσης σκυροδέματος. Τις αναλογίες δηλαδή στα συστατικά που το αποτελούν, για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα για τη χρήση που το θέλουμε.

Στο έβδομο κεφάλαιο, γίνεται μια αναφορά σε επιπρόσθετα υλικά που προστίθενται στο σκυρόδεμα, αναλόγως το σκοπό τους. Άλλα υλικά προστίθενται για να επιταχύνουν το χρόνο πήξης του σκυροδέματος ενώ άλλα προστίθενται για να τον επιβραδύνουν κ.ο.κ.

Στο όγδοο κεφάλαιο, παρουσιάζουμε και αναλύουμε συνοπτικά τις μεθόδους με τις οποίες μπορούμε να αποτιμήσουμε την αντοχή του σκυροδέματος σε ήδη υφιστάμενες κατασκευές.

Στο ένατο και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας μας, σκοπός μας ήταν να παρασκευάσουμε δικό μας σκυρόδεμα συγκεκριμένης κατηγορίας στο εργαστήριο, να το υποβάλλουμε σε θραύση και να συγκρίνουμε τα αποτελέσματά μας με αυτά που μας δίνει ο κανονισμός και να συγκρίνουμε τυχόν μεγάλες αποκλίσεις.

Abstract

The present paper is both bibliographic and experimental as it consists of a theoretical and a laboratory part. It deals with the investigation of the concrete technology, analyzing basic parts an engineer needs to know and understand.

In particular, we start off with a brief historical flashback of concrete and we move on to the second chapter, where we present and analyze the parts which include it (aggregates, water and cement) as well as their properties and characteristics. We analyze the tests we subject these parts to, in order to evaluate their state and get to the conclusion of whether or not they are suitable to produce concrete.

In the third chapter, we describe the right way of sampling methods whether it happens on the field or in the lab.

In the fourth chapter, we present concrete's properties while it's still in a 'fluid' form referring the tests we subject it to.

In the fifth chapter, we present concrete's properties while it's in its solid form. That is, when at least seven days have passed by so we can subject the concrete into crushing tests to valueate it's strength.

In the sixth chapter, we present the procedure of a concrete mix design. The proportions of it's ingredients, to have the best possible outcome.

In the seventh chapter, we have references to the concrete admixtures we use, depending on their purpose. Some mixtures are added in order to fasten concrete's coagulation, others are added in order to slow it down instead etc.

In the eighth chapter, we present and analyze briefly the test methods which we use in order to evaluate the concrete's strength on already standing buildings and constructions in general.

In the ninth and last chapter, our goal was to create our own concrete mixture of a specific category in the lab, subject it to crushing test and then compare our results with the numbers the regulations give us.

Πίνακας Περιεχομένων

1	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ – ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	12
2	ΜΕΡΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	13
2.1	ΑΔΡΑΝΗ.....	13
2.1.1	Πρόελευση.....	13
2.1.2	Τύποι αδρανών.....	13
2.1.3	Ιδιότητες αδρανών.....	14
2.1.3.1	Ειδικό βάρος.....	14
2.1.3.2	Φαινόμενο βάρος.....	14
2.1.3.3	Φαινόμενο ειδικό βάρος.....	14
2.1.3.4	Υδαταπορροφητικότητα.....	14
2.1.4	Προϋποθέσεις για σύνθεση σκυροδέματος.....	14
2.1.5	Κοκκομετρική διαβάθμιση / Σύνθεση.....	15
2.1.5.1	Σκοπός και διαδικασία σύνθεσης.....	15
2.1.5.2	Σειρές κοσκίνων.....	16
2.1.5.3	Υποζώνες καμπύλης κοκκομετρικής διαβάθμισης.....	16
2.1.5.4	Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων.....	18
2.1.5.5	Γενικά συμπεράσματα.....	22
2.1.6	Εργαστηριακές Δοκιμές Αδρανών.....	23
2.1.6.1	Δοκιμή ισοδύναμο άμμου SE.....	23
2.1.6.1.1	Σκοπός.....	23
2.1.6.1.2	Προετοιμασία δειγμάτων.....	23
2.1.6.1.3	Διαδικασία δοκιμής.....	24
2.1.6.2	Δοκιμή μπλε του μεθυλενίου.....	25
2.1.6.2.1	Διαδικασία δοκιμής.....	25
2.1.6.3	Δείκτης πλακοειδούς.....	27
2.1.6.3.1	Σκοπός.....	27
2.1.6.3.2	Διαδικασία δοκιμής.....	27
2.1.6.4	Los Angeles.....	28
2.1.6.4.1	Σκοπός.....	28
2.1.6.4.2	Περιγραφή συσκευής Los Angeles.....	28
2.1.6.4.3	Διαδικασία δοκιμής.....	29
2.1.6.4.4	Συμπεράσματα.....	31
2.1.6.5	Δοκιμή θεικού μαγνησίου (υγεία αδρανών).....	31
2.1.6.5.1	Σκοπός.....	31
2.1.6.5.2	Διαδικασία δοκιμής.....	31
2.1.6.6	Αλκαλοπυριτική αντίδραση.....	32
2.1.6.7	Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους και υδροαπορροφητικότητας χονδρόκοκκου υλικού	32
2.1.6.7.1	Διαδικασία για χονδρόκοκκα αδρανή.....	32
2.1.6.7.2	Διαδικασία για λεπτόκοκκα αδρανή.....	34
2.1.7	Χημικές Απαιτήσεις.....	37
2.1.7.1	Σκυροδέτηση με υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος.....	38
2.1.7.2	Σκυροδέτηση με χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος.....	38
2.2	ΤΣΙΜΕΝΤΟ.....	39
2.2.1	Παραγωγή.....	39
2.2.2	Χημική σύσταση.....	41
2.2.3	Τύποι τσιμέντων.....	42
2.2.4	Ενυδάτωση σκυροδέματος.....	43
2.2.5	Πρόσμικτα υλικά.....	44
2.2.6	Ιδιότητες Τσιμέντου.....	45

2.2.6.1	Μηχανικές.....	45
2.2.6.2	Φυσικές.....	45
2.2.6.3	Χημικές.....	46
2.2.7	Ποιοτικός έλεγχος τσιμέντου κατά την παραγωγή.....	46
2.3	ΝΕΡΟ.....	46
3	ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΕΡΓΟΤΑΞΙΑΚΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	47
3.1	Έλεγχος σκυροδέματος για αντοχή σε θλίψη.....	48
3.1.1	Εργοστασιακό σκυρόδεμα με πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής.....	48
3.1.2	Εργοστασιακό σκυρόδεμα χωρίς πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής.....	49
3.1.3	Εξωτερικός έλεγχος και κριτήρια συμμόρφωσης με πιστοποίηση ελέγχου.....	50
3.1.4	Εργοταξιακό σκυρόδεμα.....	51
3.2	ΕΠΑΝΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	52
4	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	53
4.1	ΕΞΙΔΡΩΣΗ.....	53
4.1.1	Διαδικασία εξίδρωσης.....	53
4.2	ΑΠΟΜΕΙΞΗ.....	54
4.3	ΕΡΓΑΣΙΜΟ.....	54
4.3.1	Μέθοδοι μέτρησης εργάσιμου σκυροδέματος.....	55
4.3.1.1	Δοκιμή κάθισης.....	55
4.3.1.2	Μέτρο εξαπλώσεως.....	56
4.3.1.3	Μέτρο συμπικνώσεως.....	57
4.3.1.4	Δοκιμή VEBE.....	57
5	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	59
5.1	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ.....	59
5.1.1	Μορφές αντοχής σκυροδέματος.....	62
5.1.1.1	Στατική Καταπόνηση.....	62
5.1.1.2	Πολυαξονική καταπόνηση.....	64
5.1.1.3	Καταπόνηση μεγάλης διάρκειας.....	64
5.1.1.4	Επαναλαμβανόμενη καταπόνηση.....	64
5.1.2	Χάλυβας με σκυρόδεμα.....	65
5.1.3	Η αντοχή με βάση το χρόνο.....	65
5.1.4	Μέτρηση αντοχής.....	66
5.2	ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ.....	67
5.2.1	Μέτρο ελαστικότητας.....	67
5.3	ΕΡΙΨΥΣΜΟΣ.....	68
5.4	ΠΟΡΩΔΕΣ.....	69
5.5	ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ.....	71
5.6	ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗ.....	71
6	ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	72
6.1	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ.....	73
6.2	ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ.....	77
6.3	ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ.....	78
7	ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ Ή ΒΕΛΤΙΩΤΙΚΑ.....	81
7.1	ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ (PLASTICIZERS).....	81
7.2	ΥΠΕΡΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ (SUPERPLASTISIZERS).....	82
7.3	ΑΕΡΑΚΤΙΚΑ (AIR-ENTRAINING ADMIXTURES).....	83
7.4	ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΤΕΣ (RETARDERS).....	83

7.5	ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΕΣ (ACCELERATING).....	83
7.6	ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ (WATERPROOFING).....	84
7.7	ΑΝΤΙΠΑΓΕΤΙΚΑ.....	85
7.8	ΥΛΙΚΑ ΜΕ ΠΟΛΥ ΜΙΚΡΗ ΧΗΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	85
8	ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	86
8.1	ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ.....	87
8.1.1	Διαδικασία μέτρησης.....	87
8.1.2	Παράγοντες που επηρεάζουν την μέτρηση ταχύτητας του παλμού.....	88
8.2	ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΟΥ ΑΝΑΠΗΔΗΣΕΩΣ SCHMIDT.....	89
8.2.1	Διαδικασία εκπόνησης μεθόδου.....	89
8.2.2	Παράγοντες που επηρεάζουν την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος με τη μέθοδο κρουσίμετρου.....	91
8.3	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΞΟΛΚΕΥΣΗΣ ΉΛΟΥ.....	93
8.3.1	Διαδικασία εκπόνησης μεθόδου.....	93
8.4	ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΥΡΗΝΟΛΗΨΙΑΣ.....	93
8.4.1	Διαδικασία εκπόνησης μεθόδου.....	94
8.4.2	Παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα της δοκιμής.....	95
9	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	98
9.1	ΈΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΡΓΟΤΑΞΙΑΚΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	98
9.1.1	Διαδικασία δειγματοληψίας.....	99
9.1.2	Έλεγχος διαστάσεων και θραύση δοκιμίων.....	104
9.1.3	Περιπτώσεις ικανοποιητικής και μη ικανοποιητικής θραύσης.....	107
9.1.4	Διαδικασία που ακολουθείται για τη δοκιμασία δοκιμίων τα οποία είναι εκτός των ανοχών του.....	108
9.1.4.1	Έλεγχος διαστάσεων κυβικών δοκιμίων σκυροδέματος.....	108
9.2	ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ.....	110
9.2.1	Αδρανή υλικά.....	110
9.2.1.1	Ειδικό Βάρος και απορροφητικότητα αδρανών.....	110
9.2.1.2	Ισοδύναμο Άμμου.....	111
9.2.1.3	Πυκνότητα και ξηρό υπόλειμμα προσθέτων.....	111
9.2.2	Δοκιμαστικές συνθέσεις.....	111
9.2.3	Αναλογίες συνθέσεως.....	113
9.2.4	Αλλαγή ρευστότητας.....	114
9.2.5	Διόρθωση για την υγρασία.....	114
9.2.6	Ομοιομορφία υλικών.....	114
9.3	ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	115
9.4	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΛΑΘΟΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ.....	116
10	ΒΙΒΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	117

Κατάλογος εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1.1: ΣΠΙΤΙΑ ΑΠΟ ΠΕΤΡΕΣ, ΞΥΛΑ ΚΑΙ ΠΥΛΟ ΤΟΥ 7000 Π.Χ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ.....	4
ΕΙΚΟΝΑ 2.1: ΚΟΣΚΙΝΙΣΤΡΑ.....	7
ΕΙΚΟΝΑ 2.2: ΚΟΣΚΙΝΑ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΑΠΟ 4,5ΜΜ ΈΩΣ 19ΜΜ.....	8
ΕΙΚΟΝΑ 2.3: ΣΥΣΚΕΥΗ LOS ANGELES.....	14
ΕΙΚΟΝΑ 2.4: ΧΑΛΥΒΔΙΝΕΣ ΣΦΑΙΡΕΣ.....	15
ΕΙΚΟΝΑ 2.5: ΤΑΨΙ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΛΑ.....	15
ΕΙΚΟΝΑ 2.6: ΜΥΛΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΣΕ ΣΤΑΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ. (ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ 120 ΤΟΝΟΙ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΑΝΑ ΩΡΑ).....	15
ΕΙΚΟΝΑ 2.7: ΚΛΙΝΚΕΡ.....	15
ΕΙΚΟΝΑ 2.8: ΓΥΨΟΣ.....	15
ΕΙΚΟΝΑ 2.9: ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ.....	15
ΕΙΚΟΝΑ 4.1: ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΕΞΙΔΡΩΣΗΣ.....	31
ΕΙΚΟΝΑ 4.2: ΒΗΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΚΑΘΙΣΗΣ.....	34
ΕΙΚΟΝΑ 4.3: ΒΗΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΚΑΘΙΣΗΣ.....	35
ΕΙΚΟΝΑ 4.4: ΣΥΣΚΕΥΗ VEBE.....	36
ΕΙΚΟΝΑ 8.1: ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ ΜΕ (Α) ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗ, (Β) ΗΜΙ-ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΑΙ (Γ) ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΑΠΟ ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΠΡΟΣ ΤΑ ΔΕΞΙΑ.....	84
ΕΙΚΟΝΑ 8.2: ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΟ.....	86
ΕΙΚΟΝΑ 8.3: ΛΕΙΑΝΤΙΚΗ ΠΕΤΡΑ.....	87
ΕΙΚΟΝΑ 8.4: ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΟΥ.....	87
ΕΙΚΟΝΑ 8.5: ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΑ ΠΙΣΤΟΛΕΤΑ ΓΙΑ ΑΠΟΚΟΠΗ ΠΥΡΗΝΩΝ.....	91
ΕΙΚΟΝΑ 8.6: ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΙΣΤΟΛΕΤΟ ΜΕ ΠΟΤΗΡΟΤΡΥΠΑΝΟ.....	92
ΕΙΚΟΝΑ 8.7: ΠΥΡΗΝΕΣ ΈΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΑΠΟΚΟΠΗ.....	92
ΕΙΚΟΝΑ 8.8: ΠΥΡΗΝΑΣ ΜΕ ΚΑΠΕΛΩΜΑ.....	94
ΕΙΚΟΝΑ 9.1: ΧΡΗΣΗ ΤΑΒΛΑΣ ΓΙΑ ΣΩΣΤΗ ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΚΑΘΙΣΗΣ.....	96
ΕΙΚΟΝΑ 9.2: ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥ ΟΠΟΙΟΥ ΓΙΝΕΤΑΙ Η ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗ.....	97
ΕΙΚΟΝΑ 9.3: ΑΦΙΞΗ ΤΗΣ ΠΡΕΣΑΣ ΣΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΕΙΤΑΙ Η ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ.....	97
ΕΙΚΟΝΑ 9.4: ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ ΖΕΛΑΤΙΝΑΣ ΓΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΘΑΡΟΥ ΧΩΡΟΥ.....	98
ΕΙΚΟΝΑ 9.5: ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΚΑΘΙΣΗΣ.....	98
ΕΙΚΟΝΑ 9.6: ΚΑΡΤΕΛΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΠΑΝΩ ΣΕ ΔΟΚΙΜΙΟ.....	99
ΕΙΚΟΝΑ 9.7: ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (20 ± 2) °C.....	100
ΕΙΚΟΝΑ 9.8: ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΠΡΕΣΑΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΘΡΑΨΗ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	101
ΕΙΚΟΝΑ 9.9: ΕΙΚΟΝΑ 9.9: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΡΕΣΑ ΚΑΙ Η ΘΡΑΨΗ ΤΟΥ.....	102
ΕΙΚΟΝΑ 9.10: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΡΟΠΟΥ ΘΡΑΨΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	102
ΕΙΚΟΝΑ 9.11: ΛΑΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΠΟΥ ΕΙΧΕ ΩΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΑΚΟ ‘ΔΕΣΙΜΟ’ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΣΤΡΩΣΕΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	103
ΕΙΚΟΝΑ 9.12: ΚΑΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΣΕ ΔΕΙΓΜΑ.....	103
ΕΙΚΟΝΑ 9.13: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΚΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ.....	103
ΕΙΚΟΝΑ 9.14: ΚΑΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ. (ΜΗ ΕΠΙΠΕΔΟ).....	104
ΕΙΚΟΝΑ 9.15: ΜΗ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΘΡΑΨΗΣ.....	104

Κατάλογος πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ Π 2.1: ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΒΑΣΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΚΟΚΚΩΝ.....	6
Π 2.2: ΟΡΙΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΜΕ ΜΕΓΙΣΤΟ ΚΟΚΚΟ Φ30ΜΜ..	9
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 2.3: ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΑ ΟΡΙΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΘΡΑΥΣΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΚΟΚΚΟΥ 63ΜΜ, ΣΕΙΡΑΣ ΓΕΡΜΑΝΙΚΩΝ ΚΟΣΚΙΝΩΝ.....	11
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 2.4: ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΑ ΟΡΙΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΘΡΑΥΣΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΚΟΚΚΟΥ 31,5 ΜΜ, ΣΕΙΡΑΣ ΓΕΡΜΑΝΙΚΩΝ ΚΟΣΚΙΝΩΝ.....	11
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 2.5: ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΑ ΟΡΙΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΘΡΑΥΣΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΚΟΚΚΟΥ 16 ΜΜ, ΣΕΙΡΑΣ ΓΕΡΜΑΝΙΚΩΝ ΚΟΣΚΙΝΩΝ.....	11
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 2.6: ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΑ ΟΡΙΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΘΡΑΥΣΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΚΟΚΚΟΥ 8 ΜΜ, ΣΕΙΡΑΣ ΓΕΡΜΑΝΙΚΩΝ ΚΟΣΚΙΝΩΝ.....	12
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 2.7: ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΡΙΩΝ ΤΥΠΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΚΑΙ ΑΣΒΕΣΤΟΥ.....	21
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 2.8: ΤΥΠΟΙ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ.....	22
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 2.9: ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΟΡΙΖΟΜΕΝΕΣ ΩΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ EN 197 – 1.....	24
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 3.1: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΤΗΣ ΤΥΠΙΚΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ.....	26
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 3.2: ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΠΛΗΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ ΑΝΑ ΠΑΡΤΙΔΑ.....	28
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 3.3: ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ.....	29
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 3.4: ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ.....	29
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 3.5: ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ.....	30
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 3.6: ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ.....	31
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 5.1: ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΚΑΘΙΣΗΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕ.....	39
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 5.2: ΟΡΙΑ ΚΑΘΙΣΗΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕ.....	39
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 5.3: ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΗ ΚΑΘΙΣΗ ΚΑΙ ΤΟ ΜΕΓΙΣΤΟ ΚΟΚΚΟ ΑΔΡΑΝΩΝ.....	40
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 5.4: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΛΟΓΟΥ Ν/Τ ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΟ ΜΕΣΟ ΟΡΟ ΤΩΝ ΑΝΤΟΧΩΝ 28 ΗΜΕΡΩΝ ΤΥΠΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΚΑΙ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ.....	40
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 5.5: ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΝΑ Μ3 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	41
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 5.6: ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	43
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 5.7: ΤΕΛΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΕΡΙΨΥΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΥΣΤΟΛΗΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ. (ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3 ΕΚΩΣ, ΠΑΡ. 2.5.4).....	66
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 6.1: ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΚΑΘΙΣΗΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕ.....	46
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 6.2: ΟΡΙΑ ΚΑΘΙΣΗΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕ.....	49
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 6.3 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΗ ΚΑΘΙΣΗ ΚΑΙ ΤΟ ΜΕΓΙΣΤΟ ΚΟΚΚΟ ΑΔΡΑΝΩΝ.....	71
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 6.4: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΛΟΓΟΥ Ν/Τ ΑΝΑΛΟΓΑ ΤΟ ΜΕΣΟ ΟΡΟ ΤΩΝ ΑΝΤΟΧΩΝ 28ΗΜΕΡΩΝ ΤΥΠΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΚΑΙ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ.....	72
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 6.5: ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΝΑ Μ3 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	73
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 6.6 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	75
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 6.7	77
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 7.1: ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΥΠΕΡΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΩΝ ΒΑΣΗ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗΣ EN 934.02.....	79

ΠΙΝΑΚΑΣ Π 7.2: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΡΟΣΜΙΚΤΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΕΛΟΤ ΕΝ 934-2+A1:20012.....	82
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 8.1: ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΥΓΡΑΣΙΑΣ.....	85
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 8.2: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΈΝΔΕΙΞΗ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΟΥ.....	89
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 8.3: ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ, ΒΑΣΗ ΤΗΣ ΈΝΔΕΙΞΗΣ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΗΣ (Α. NEVILLE 11975 & TAYWOODENG. LTD 1986).....	89
ΠΙΝΑΚΑΣ Π 8.4: ΑΠΟΨΕΙΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΕΡΕΥΝΗΤΩΝ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΠΥΡΗΝΩΝ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΥΝ ΟΠΛΙΣΜΟ (LOO ET AL 1989).....	93

Κατάλογος σχημάτων

ΣΧΗΜΑ 2.1: ΟΡΙΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΜΕ ΜΕΓΙΣΤΟ ΚΟΚΚΟ Φ30.....	17
ΣΧΗΜΑ 2.2: ΟΡΙΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΜΕ ΜΕΓΙΣΤΟ ΚΟΚΚΟ □8.	19
ΣΧΗΜΑ 2.3: ΟΡΙΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΜΕ ΜΕΓΙΣΤΟ ΚΟΚΚΟ □16.....	20
ΣΧΗΜΑ 2.4: ΟΡΙΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΜΕ ΜΕΓΙΣΤΟ ΚΟΚΚΟ □31,5.....	20
ΣΧΗΜΑ 2.5: ΟΡΙΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΜΕ ΜΕΓΙΣΤΟ ΚΟΚΚΟ □63.....	21
ΣΧΗΜΑ 2.6: ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΝΑΠΤΥΞΕΩΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ.....	41
ΣΧΗΜΑ 4.1: ΣΧΕΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ – ΕΞΪΔΡΩΣΗΣ.....	51
ΣΧΗΜΑ 5.1: ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΕΩΝ – ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ.....	58
ΣΧΗΜΑ 5.2: ΣΧΕΣΗ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΗΣ.....	63
ΣΧΗΜΑ 5.3: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (C=ΘΛΙΨΗ, T=ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ).....	65
ΣΧΗΜΑ 8.1: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΕΣΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ.....	86
ΣΧΗΜΑ 8.2: ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΣ ΜΕΣΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΕΝΔΕΙΞΕΩΣ ΤΟΥ ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΟΥ.....	89
ΣΧΗΜΑ 8.3: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΔΥΝΑΜΗΣ ΕΞΟΛΚΕΥΣΗΣ.....	90

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή μας κύριο Αθανάσιο Αυτουσμή, που παρόλο τον μεγάλο φόρτο εργασίας του όσον αφορά τα καθήκοντά του στη σχολή μας, μας ανέλαβε και μας καθοδήγησε καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε την εταιρεία g.gkrintzos civil works consultants και συγκεκριμένα τον κύριο Σπύρο Σύρρο, διευθυντή ελέγχου ποιότητας σκυροδέματος και εδαφικών υλικών, για όλο το φωτογραφικό υλικό που μας άφησε να τραβήξουμε καθώς μας έδωσε πρόσβαση στις εγκαταστάσεις του εργαστηρίου, για το βιβλιογραφικό υλικό το οποίο και μας βοήθησε στη σύνθεση της εργασίας μας καθώς και για τις πληροφορίες που μας μεταβίβασε με βάση την πολυετή εμπειρία του στο επάγγελμα.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κύριο Νίκο Σαραφιανό, υπεύθυνο επιτήρησης παραγωγής τσιμέντου, στην ΑΓΕΤ Ηρακλής Βόλου στο εργοστάσιο Βόλου, για το φωτογραφικό υλικό που μας έστειλε μέσα από την παραγωγή.

2 Ιστορική αναδρομή τσιμέντου – σκυροδέματος

Εδώ και πολλά εκατομμύρια χρόνια, το τσιμέντο υπάρχει στη φύση αφού, υπό έντονες γεωλογικές μεταβολές, παραγόταν με φυσικό τρόπο. Είναι το υλικό που χρησιμοποιούσαν οι άνθρωποι ως δομικό υλικό πριν ανακαλύψουν πώς να το παρασκευάζουν.

Ανά τα χρόνια έχουν ανακαλυφθεί διάφορα είδη κονιαμάτων που χρησιμοποιούνταν στην αρχαιότητα ανά γεωγραφική περιοχή. Το αρχαιότερο σκυροδέμα όπως το ξέρουμε σήμερα, εμφανίζεται το 7.000 π.Χ στη νότια Γαλιλαία του Ισραήλ το οποίο αποτελούταν από μίγμα ασβέστη με πέτρες. Αργότερα, στην Αίγυπτο κατά το 3.000 π.Χ χρησιμοποιούσαν άχυρα για να αυξήσουν την αντοχή πλίνθων κατά τη διαδικασία της ξήρανσής τους, όπως επίσης χρησιμοποιούσαν και γύψο ως πρώτη ύλη και κονιάματα με ασβεστόλιθο. Το 800 π.Χ Έλληνες, Κύπριοι και Κρήτες χρησιμοποιούσαν λάσπη κτισίματος ενώ κατά το 300 π.Χ ~ 476 μ.Χ οι Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν ποζολάνες, ηφαιστειογενές υλικό από την πόλη Pozzuoli από και την οποία πήραν το όνομά τους, αυξάνοντας το χρόνο πήξεως του μίγματος μέσα στο νερό.

Στην αναγέννηση ο Louis Vicat, μηχανικός, ήταν ο πρώτος ο οποίος προσδιόρισε με ακριβή αναλογία ασβεστόλιθου και πυριτίου, μίγμα το οποίο μετά από έψηση και άλεση, είχε ως αποτέλεσμα ένα υδραυλικό συνδετικό υλικό, το οποίο γνωρίζουμε σήμερα ως τσιμέντο.

Τον 19ο αιώνα, ο Joseph Aspdin επαναπροσδιόρισε το μίγμα του Louis Vicat και κατέληξε σε ένα μίγμα τσιμέντου βραδύτερης πήξης το οποίο ονόμασε Portland, περιοχή της νότιας Αγγλίας με πέτρωμα που έμοιαζε το σε πλήρης σκληρή μορφή το μίγμα που είχε συνθέσει. Από τότε έως και σήμερα, η χρήση του τσιμέντου έχει εξαπλωθεί με ταχύτατους ρυθμούς σε κάθε γωνιά της Γης, για κατασκευές παντός τύπου.



Εικόνα 1.1: Σπίτια από πέτρες, ξύλα και πύλο του 7000 π.Χ στην Κύπρο.

3 Μέρη Σκυροδέματος

3.1 Αδρανή

Ονομάζονται έτσι διότι δεν αντιδρούν χημικά με τον τσιμεντοπολλτό. Απλά προσκολλάνε σε αυτόν και δημιουργούν ένα μείγμα, γνωστή ως σκυρόδεμα.

3.1.1 Προέλευση

Σε γενικά πλαίσια, τα αδρανή που χρησιμοποιούνται στη σύνθεση σκυροδέματος, προέρχονται από τη φύση, είτε συλλέγοντάς τα από ρέματα, είτε έπειτα από θραύση μεγαλύτερων σε μέγεθος πετρωμάτων, τα μητρικά πετρώματα όπως αυτά ονομάζονται.

3.1.2 Τύποι αδρανών

Διαχωρίζονται σε διαφορετικές κατηγορίες με βάση:

- Μέγεθος: χονδρόκοκκα (σκύρα, χαλίκι, γαρμπίλι) και λεπτόκοκκα (άμμος, παιπάλη).
- Βάρος: -κανονικού βάρους (πυκνότητα κόκκων 2000-3000 kg/m³), -μικρού βάρους όπου η πυκνότητα κόκκων ≤ 2000 kg/m³), -μεγάλου βάρους όπου η πυκνότητα κόκκων ≥ 3000 kg/m³).
- Προέλευση: φυσικά ή αλλιώς συλλεκτά (προέρχονται από τη φύση), τεχνητά ή αλλιώς θραυστά (προέρχονται από θρυμματισμό πετρωμάτων) και τέλος ανακυκλούμενα τα οποία προέρχονται από τη θραύση δομικών στοιχείων που έχουν χρησιμοποιηθεί σε άλλη κατασκευή).
- Σχήμα: στρογγυλά, κυβοειδή, πλακοειδή, επιμήκη.

Κατηγορία	Μέγεθος κόκκων (mm)
Άμμος	Έως και 4
Λεπτόκοκκα	Ψηφίδα 4 ~ 8 Γαρμπίλι 8 ~ 14
Χονδρόκοκκα	Χαλίκι 14 ~ 30 Σκύρα 30 ~ 70

Πίνακας Π 2.1: Κατάταξη αδρανών βάση μεγέθους κόκκων.

3.1.3 Ιδιότητες αδρανών

3.1.3.1 Ειδικό βάρος

Γενικά στα υλικά, ειδικό βάρος ορίζεται ως η μάζα μιας ποσότητας υλικού προς τον όγκο της. Επειδή όμως τα αδρανή που συμμετέχουν στην παραγωγή σκυροδέματος παρουσιάζουν κενά μεταξύ τους, διακρίνουμε δύο επιπλέον κατηγορίες όγκου.

- a) Απόλυτος Όγκος ($V_{απ}$): Είναι ο όγκος που καταλαμβάνει μια ποσότητα αδρανών, χωρίς τα κενά μεταξύ των κόκκων τους.
- b) Φαινόμενος Όγκος ($V_{φαιν}$): Είναι ο όγκος που καταλαμβάνει μια ποσότητα αδρανών στη φυσική τους κατάσταση.

Επομένως, σύμφωνα με τις παραπάνω κατηγορίες όγκου, έπονται δύο επιπλέον κατηγορίες βάρους.

a) Απόλυτο Βάρος: $\frac{B}{V_{απ}}$

b) Φαινόμενο Βάρος: $\frac{B}{V_{φαιν}}$

3.1.3.2 Φαινόμενο βάρος

Εκφράζεται ως ο λόγος του βάρους μιας ποσότητας αδρανών προς τον όγκο, συμπεριλαμβανομένου των κενών μεταξύ κόκκων και πόρων.

3.1.3.3 Φαινόμενο ειδικό βάρος

Εκφράζεται ως ο λόγος του βάρους μιας ποσότητας αδρανών προς το φαινόμενο όγκο, συμπεριλαμβανομένου των κενών των πόρων των κόκκων αλλά αποκλείοντας τα κενά μεταξύ των κόκκων.

3.1.3.4 Υδαταπορροφητικότητα

Εκφράζεται ως ο λόγος του βάρους του νερού που απορροφάται από τους πόρους των κόκκων προς το βάρος του υλικού στην ξηρή κατάσταση επί τοις εκατό.

Η ιδιότητα αυτή εμφανίζεται στα πορώδη υλικά, ενώ πρέπει να εξετάζεται σε έργα τα οποία θα έχουν άμεση επαφή με το νερό ή με υγρά εδάφη. Τα άλατα και τα οξέα που βρίσκονται στο νερό, μπορούν να αλλοιώσουν την μηχανική αντοχή των αδρανών, ενώ σε περιόδους παγετού, υπάρχει κίνδυνος καταστροφής αυτών, διότι το νερό διαστέλλεται καθώς παγώνει.

3.1.4 Προϋποθέσεις για σύνθεση σκυροδέματος

- a) Το σχήμα των κόκκων πρέπει να πλησιάζει το σφαιρικό ή κυβοειδές (δείκτης πλακοειδούς $FI \leq 35$)
- b) Να έχουν μηχανική αντοχή μεγαλύτερη των 650 kg/cm^2 (σύνηθες αντοχή $1000 - 3000 \text{ kg/cm}^2$).

- c) Αντέχουν σε τριβή και κρούση καθώς και να μην αποσθρώνονται από τις καιρικές συνθήκες (Δοκιμή $LA \leq 40$)
- d) Να είναι καθαρά για να μην περιέχουν επιβλαβείς προσμίξεις όπως: σβώλους αργίλου, γαιάνθρακες, λιγνίτες, ενώσεις θείου κ.α.
- e) Με μικρό ποσοστό παιπάλης (Παιπάλη χονδρόκοκκων $\leq 1,5\%$ και παιπάλη λεπτόκοκκου $\leq 16\%$) & καλής ποιότητας παιπάλη (ισοδύναμο άμμου $SA_4 \geq 60$ όταν πρόκειται για θραυστή άμμο, $SA_4 > 70$ όταν πρόκειται για συλλεκτή άμμο και μπλε του μεθυλενίου $MB \leq 1,0$)
- f) Σταθερά στις καιρικές συνθήκες – ανθεκτικότητα σε αποσάρθρωση (δοκιμή υγείας με θεϊκό μαγνήσιο $MS \leq 25\%$ και $MS \leq 18\%$ ανάλογα με την κατηγορία έκθεσης στο περιβάλλον).

3.1.5 Κοκκομετρική διαβάθμιση / Σύνθεση

3.1.5.1 Σκοπός και διαδικασία σύνθεσης

Σκοπός της μελέτης είναι η εύρεση της ποσοστιαίας αναλογίας των αδρανών, ανά μέγεθος κόκκου. Ο διαχωρισμός μιας αρχικής ποσότητας υλικού στα διάφορα μεγέθη κόκκων, γίνεται με τη χρήση κοσκίνων και τη βοήθεια ενός μηχανήματος (κοσκινίστρα).

Τα κόσκινα τοποθετούνται το ένα πάνω από το άλλο με τρόπο τέτοιο ώστε αυτό με τις μεγαλύτερες οπές να βρίσκεται πάνω (πρώτο) και αυτό με τις μικρότερες κάτω (τελευταίο). Θέτοντας σε λειτουργία την κοσκινίστρα, τα κόσκινα όντας κουμπωμένα σε αυτή, δονούνται, αναγκάζοντας τους κόκκους του υλικού να εισχωρήσουν στις οπές μεγαλύτερους μεγέθους από αυτούς μέχρι να καταλήξουν στο κόσκινο μεγέθους που τους αναλογεί. Με τη λήξη της διαδικασίας αυτής, ζυγίζουμε την ποσότητα αδρανούς που έχει συγκρατηθεί σε κάθε κόσκινο και το ανάγουμε σε τις εκατό αναλογία της μάζας του συνολικού υλικού που μελετάμε.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε ένα διάγραμμα στο οποίο ο κατακόρυφος άξονας παριστάνει τα ποσοστά του διερχόμενου αδρανούς και ο οριζόντιος άξονας παριστάνει την διάμετρο των οπών σε λογαριθμική κλίμακα. Η καμπύλη κοκκομετρικής διαβάθμισης του υλικού, προκύπτει από την ένωση των διάφορων σημείων που παρουσιάζονται στο διάγραμμα.



Εικόνα 2.1: Κοσκινίστρα.

3.1.5.2 Σειρές κοσκίνων

Υπάρχουν τρεις σειρές κοσκίνων:

- a) Ευρωπαϊκά κόσκινα EN
Έχουν τετραγωνικές οπές με διαμέτρους 0, 1, 2, 4, 5.6 (5), 6.3 (6), 8, 10, 11.2 (11), 12.5 (12), 14, 16, 20, 22.4, 31.5, 40, 45, 63 mm.
- b) Γερμανικά κόσκινα DIN
Έχουν τετραγωνικές οπές και συμβολίζονται με το σύμβολο □, π.χ □4.
- c) Αμερικάνικα κόσκινα ASTM
Έχουν τετραγωνικές οπές και συμβολίζονται με το σύμβολο No, π.χ No8 μέχρι και το κόσκινο No4. Τα κόσκινα με μεγαλύτερο άνοιγμα συμβολίζονται με το μέγεθος οπής σε ίντσες, π.χ ½''



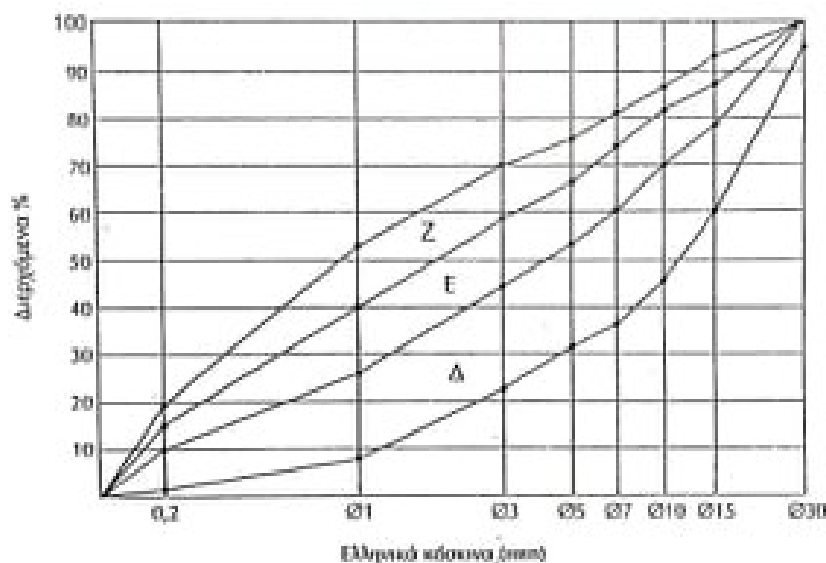
Εικόνα 2.2: Κόσκινα

3.1.5.3 Υποζώνες καμπύλης κοκκομετρικής διαβάθμισης

Βασιζόμενοι στις προδιαγραφές αρκετών χωρών αλλά και στην εμπειρία, έχουν δημιουργηθεί πίνακες οι οποίοι παρουσιάζουν τα κατώτερα και ανώτερα όρια του ποσοστού των αδρανών που διέρχονται από κάθε κόσκινο, όπως και οι καμπύλες κοκκομετρικής σύνθεσης αυτών. Ο κανονισμός τεχνολογίας σκυροδέματος έχει τους πίνακες και τα διαγράμματα βάση των γερμανικών και αμερικάνικων κόσκινων για σκυροδέματα χαρακτηριστικής αντοχής κυλίνδρου $f_{ck} \leq 30\text{MPa}$ σε ηλικία 28 ημερών, όμως εμείς παρουσιάζουμε παρακάτω τις υποζώνες που έχουν προκύψει με βάση τα ελληνικά κόσκινα.

Κόσκινα	Διερχόμενα %					
	Υποζώνη Δ		Υποζώνη Ε		Υποζώνη Ζ	
	Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο	Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο	Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο
0,2 mm	1	10	10	14	14	19
1 mm	8	27	27	40	40	53
3 mm	22	44	44	59	59	70
5 mm	31	53	53	68	68	77
7 mm	37	60	60	74	74	81
10 mm	47	70	70	81	81	87
15 mm	60	79	79	88	88	92
30 mm	95	100	100	100	100	100

Πίνακας Π 2.2: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών με μέγιστο κόκκο $\Phi 30\text{mm}$.



Σχήμα 2.1: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών με μέγιστο κόκκο $\Phi 30$.

Γενικά, με βάση το παραπάνω διάγραμμα, έχουμε ότι:

- Η καμπύλη κοκκομετρικής διαβάθμισης οπλισμένου σκυροδέματος πρέπει να διέρχεται από την υποζώνη Δ (ή και από την Ε).
- Η καμπύλη κοκκομετρικής διαβάθμισης άοπλου σκυροδέματος πρέπει να διέρχεται από την υποζώνη Ζ.
- Για σκυροδέματα κατηγορίας κάτω του C40 επιτρέπεται η χρήση υποζώνης Ε.

3.1.5.4 Όρια κοκκομετρικών διαβαθμίσεων

Βάση εμπειρίας χρόνων έπειτα από δοκιμές και έρευνα, αλλά και με βάση ποικίλων κανονισμών διάφορων χωρών, κάθε χώρα έχει τις δικές τις προδιαγραφές όσον αφορά την κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών για τη σύνθεση σκυροδέματος, συνιστώντας τα όρια κάθε καμπύλης ενός διαγράμματος, για κάθε είδος σκυροδέματος, είτε αυτό είναι οπλισμένο είτε άοπλο.

Ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ) παρουσιάζει με τους παρακάτω πίνακες και διαγράμματα τα όρια και τις κοκκομετρικές καμπύλες που έχουν προκύψει και συνιστά:

Κόσκινα		Διερχόμενα %	
Ονομασία	Άνοιγμα (mm)	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
0,25	0,25	2 – 11	11 - 16
1	1	6 – 26	26 - 39
2	2	11 - 34	34 - 49
4	4	19 - 42	42 - 59
8	8	30 - 56	56 - 71
16	16	46 - 71	71 - 84
31,5	31,5	72 - 90	90 - 96
63	63	100	100

Πίνακας Π 2.3: Υποχρεωτικά όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος θραυστών αδρανών μέγιστου κόκκου 63mm, σειράς Γερμανικών κοσκίνων.

Κόσκινα		Διερχόμενα %		
Ονομασία	Άνοιγμα (mm)	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε	Υποζώνη Ζ
0,25	0,25	2 – 13	13 - 17	17 - 17
1	1	10 – 30	30 - 44	44 - 58
2	2	18 - 40	40 - 5	55 - 67
4	4	30 - 52	52 - 67	67 - 76
8	8	45 - 68	68 - 80	80 - 86
16	16	70 - 87	87 - 93	93 - 96
31,5	31,5	100	100	100

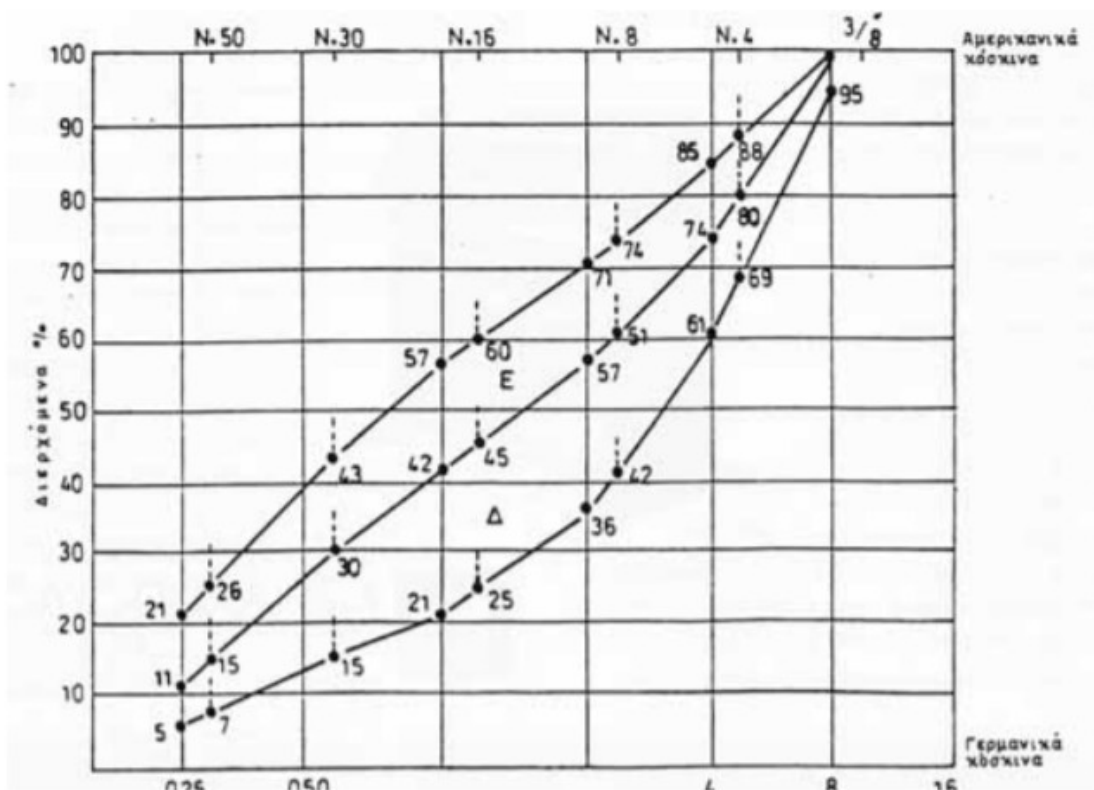
Πίνακας Π 2.4: Υποχρεωτικά όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος θραυστών αδρανών μέγιστου κόκκου 31,5 mm, σειράς Γερμανικών κοσκίνων.

Κόσκινα		Διερχόμενα %	
Ονομασία	Άνοιγμα (mm)	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
0,25	0,25	2 – 13	13 - 18
1	1	12 – 32	32 - 49
2	2	21 - 42	42 - 62
4	4	36 - 63	63 - 80
8	8	60 - 85	85 - 94
16	16	100	100

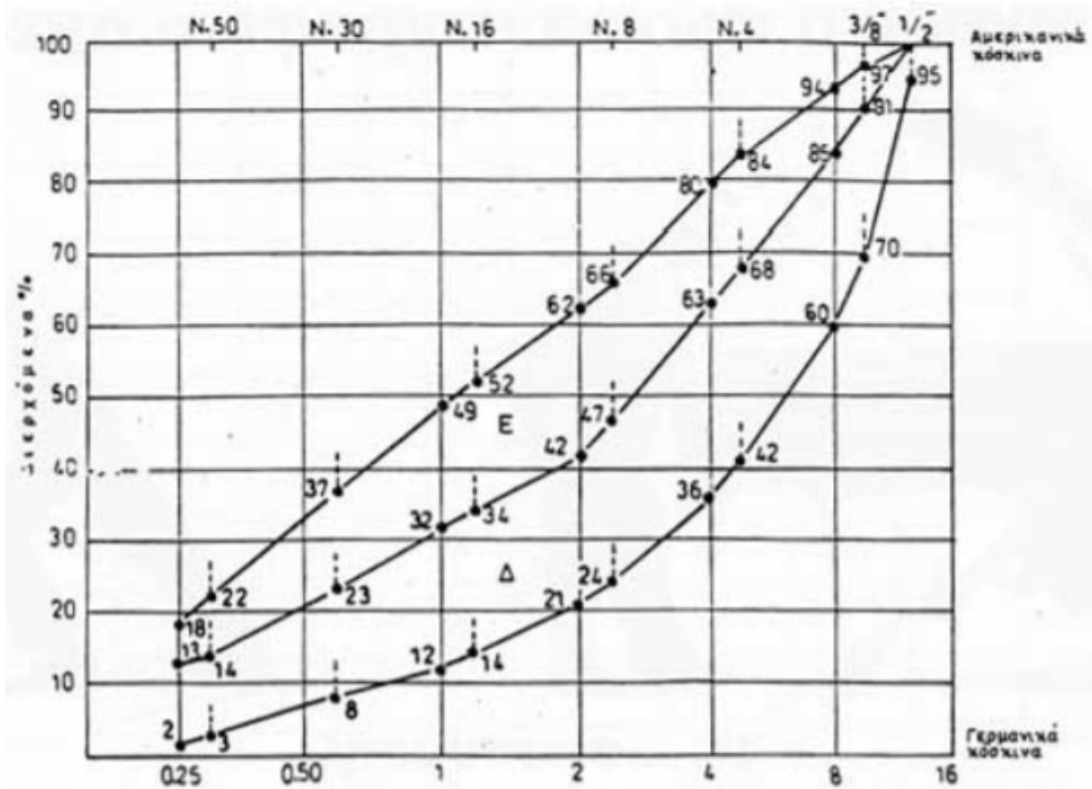
Πίνακας Π 2.5: Υποχρεωτικά όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος θραυστών αδρανών μέγιστου κόκκου 16 mm, σειράς Γερμανικών κοσκίνων.

Κόσκινα		Διερχόμενα %	
Ονομασία	Άνοιγμα (mm)	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
0,25	0,25	5 – 11	11 - 21
1	1	21 – 42	42 - 57
2	2	36 - 57	57 - 71
4	4	61 - 74	74 - 85
8	8	100	100

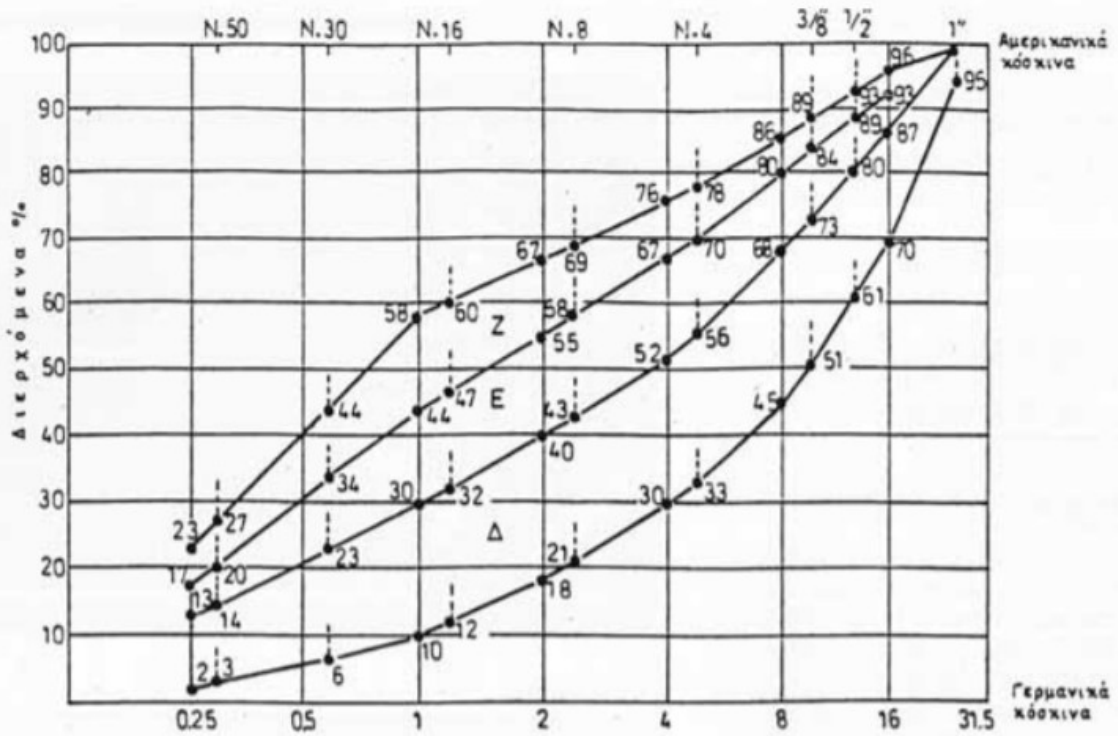
Πίνακας Π 2.6: Υποχρεωτικά όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος θραυστών αδρανών μέγιστου κόκκου 8 mm, σειράς Γερμανικών κοσκίνων.



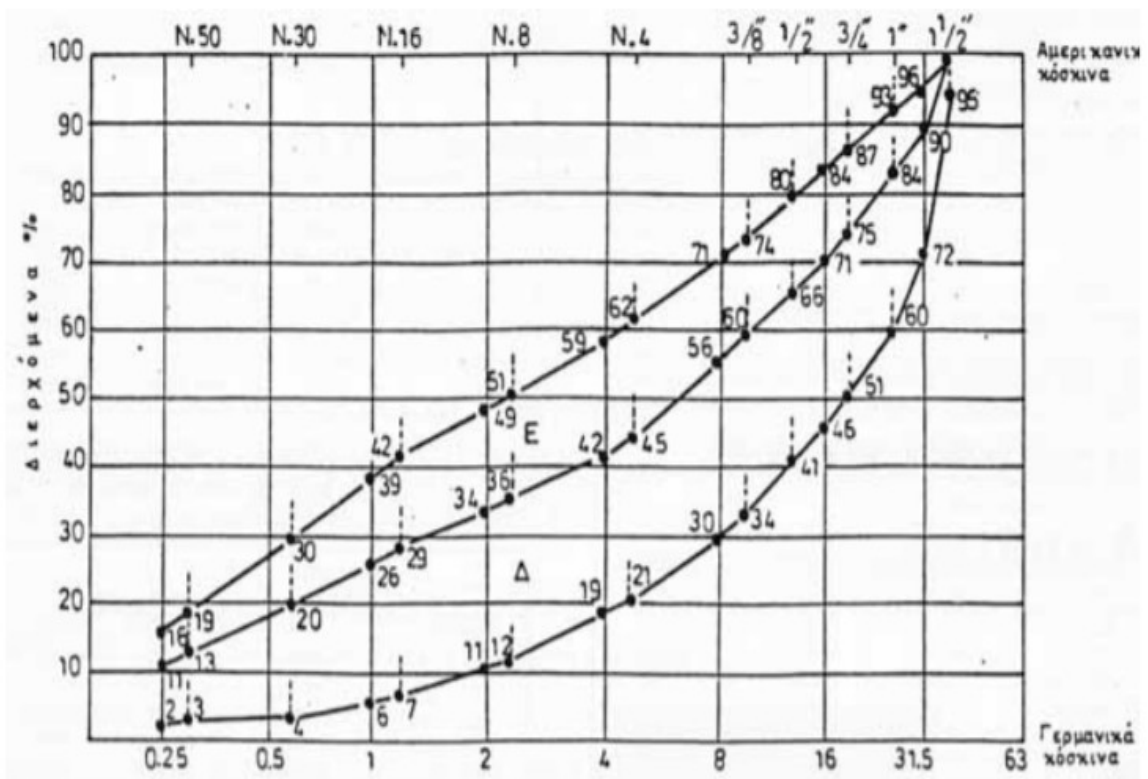
Σχήμα 2.2: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών με μέγιστο κόκκο 3/8".



Σχήμα 2.3: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών με μέγιστο κόκκο 16".



Σχήμα 2.4: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών με μέγιστο κόκκο □31,5.



Σχήμα 2.5: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών με μέγιστο κόκκο □63.

3.1.5.5 Γενικά συμπεράσματα

- a) Αδρανή με κόκκους οι διαστάσεις των οποίων καλύπτουν ολόκληρο το φάσμα στο διάγραμμα, παρουσιάζουν λίγα κενά μεταξύ τους. Αυτό, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση ποσότητας τσιμεντοπολτού το οποίο σημαίνει μείωση κόστους και αύξηση ογκοσταθερότητας του σκυροδέματος.
- b) Συνιστάμενο ποσοστό κενών, όχι μεγαλύτερο του 20-30%.
- c) Καμπύλες κάτω της υποζώνης Δ, αντιστοιχούν σε αρκετά χονδρόκοκκα υλικά, τα οποία δίνουν σκυροδέματα κακής εργασιμότητας.
- d) Καμπύλες άνω της υποζώνης Ε, αντιστοιχούν σε λεπτόκοκκα υλικά, τα οποία έχουν μεγάλη απαίτηση σε νερό, δίνοντας σκυρόδεμα μικρής ογκοσταθερότητας.

3.1.6 Εργαστηριακές Δοκιμές Αδρανών

3.1.6.1 Δοκιμή ισοδύναμο άμμου SE

3.1.6.1.1 Σκοπός

Προκειμένου να προσδιορίσουμε την ποιότητα της παιπάλης στην άμμο εκτελούμε την δοκιμή ισοδύναμο άμμου. Στο κλάσμα 0/4 πρέπει να έχουμε όριο υγρασίας < 2% στο κλάσμα 0/2 η παιπάλη πρέπει να είναι $\leq 10\%$ και το όριο υγρασίας των αδρανών < 2%. Η δοκιμή ισοδύναμο άμμου προσδιορίζει το ποσοστό του χονδρόκοκκου κλάσματος της άμμου σε σχέση με το συνολικό ποσοστό άμμου το οποίο περιέχει και λεπτόκοκκο κλάσμα (άργιλος και ιλύς).

3.1.6.1.2 Προετοιμασία δειγμάτων

Η δοκιμή πραγματοποιείται σε δύο δείγματα σε θερμοκρασία $(23 \pm 3) ^\circ\text{C}$.

Χωρίζεται το πρώτο υπόδειγμα σε δύο τμήματα δοκιμής με τετραμερισμό. Το ένα τμήμα τοποθετείται στο φούρνο στους $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ για τον προσδιορισμό της υγρασίας w . Παράλληλα ζυγίζεται το δεύτερο τμήμα δοκιμής (M_1). Στη συνέχεια πλένεται στο κόσκινο 0,063 mm, ξηραίνεται και ζυγίζεται (M_2). Για τον προσδιορισμό της παιπάλης χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$f = 100 - \frac{M_2(100+w)}{M_1}$$

Χωρίζεται και το δεύτερο υπόδειγμα σε δύο δείγματα δοκιμής με τετραμερισμό.

Αν η περιεκτικότητα της παιπάλης είναι μικρότερη ή ίση του 10%, η μάζα M_T κάθε δείγματος δοκιμής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$M_T = \frac{120(100+w)}{100}$$

Αν η παιπάλη υπερβαίνει το 10%, το συγκρατούμενο στο κόσκινο 0,063 mm χρησιμοποιείται ως διορθωτικός παράγοντας του λεπτόκοκκου αδρανούς :

$$M_T = M_3 + M_4$$

όπου, M_3 είναι η μάζα του υγρού αδρανούς που λαμβάνεται από το δεύτερο υπόδειγμα και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$M_3 = \frac{1200}{f} \left(1 + \frac{w}{100} \right)$$

και M_4 είναι η μάζα του διορθωτικού παράγοντα λεπτόκοκκου αδρανούς που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$M_4 = 120 - \frac{1200}{f}$$

Αν η δοκιμή πραγματοποιηθεί στο κλάσμα 0/4 mm, αυτός ο διορθωτικός παράγοντας πάλι λαμβάνεται υπόψη ενώ η υγρασία πρέπει να είναι μικρότερη από 2% και τα υλικά μάζας M3 και M4 θα συνδυαστούν και θα ανακατευτούν.

3.1.6.1.3 Διαδικασία δοκιμής

Με το σιφόνι εισάγεται στον στεγνό κύλινδρο ποσότητα διαλύματος μέχρι την πρώτη χαραγή, κρατώντας τον κύλινδρο σε κατακόρυφη θέση. Με τη βοήθεια του χωνιού εισάγεται στον κύλινδρο το δοκίμιο και αφήνεται να μουλιάσει για χρονικό διάστημα 9 – 11 min. Στο τέλος του δεκαλέπτου σφραγίζεται ο κύλινδρος με το ελαστικό πώμα, αναταράσσεται ελαφρώς με το χέρι ώστε να ξεκολλήσει το δείγμα από τον πυθμένα του και στερεώνεται στο μηχανικό αναδευτήρα ισοδύναμου άμμου. Ανακινείται ο κύλινδρος για 30 ± 1 sec και στη συνέχεια τοποθετείται πάλι σε κατακόρυφη θέση.

Με το σιφώνιο καθαρίζεται το πώμα και τα τοιχώματα του κυλίνδρου από τυχόν αδρανή που έχουν προσκολληθεί πάνω τους. Στη συνέχεια το σιφώνιο εισάγεται στον πυθμένα του κυλίνδρου και καθώς πληρώνει τον κύλινδρο με διάλυμα διέρχεται και από όλο το ύψος του αδρανούς, ωθώντας τα λεπτά προς τα πάνω. Σιγά σιγά και με τον κύλινδρο να περιστρέφεται υπό κλίση, το σιφώνιο ανεβαίνει προς την κορυφή του κυλίνδρου μέχρις ότου αυτός γεμίσει με διάλυμα μέχρι τη δεύτερη χαραγή.

Αμέσως μετά την απομάκρυνση του σιφωνιού από τον κύλινδρο ξεκινά να μετρά χρονικό διάστημα $20 \text{ min} \pm 15 \text{ sec}$, κατά το οποίο ο κύλινδρος μένει ακίνητος μακριά από δονούμενες επιφάνειες και συσκευές.

Στο τέλος του 20λέπτου μετράται με τον χάρακα το ύψος αργίλου και καταγράφεται ως h_1 , με ακρίβεια χιλιοστού. Προσεκτικά χαμηλώνεται το στέλεχος με το βάρος μέσα στον κύλινδρο μέχρις ότου πατήσει πάνω στην άμμο, οπότε και με το σφικτήρα στερεώνεται το κολάρο σε αυτή τη θέση. Προσδιορίζεται το ύψος της άμμου μετρώντας την απόσταση της κάτω όψης της κεφαλής του στελέχους και την πάνω όψη του κολάρου, χρησιμοποιώντας τον χάρακα, και καταγράφεται ως h_2 , με ακρίβεια χιλιοστού. Το ισοδύναμο άμμου για κάθε δείγμα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$SE = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

Αν οι τιμές διαφέρουν πάνω από 4 μονάδες η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Το ισοδύναμο άμμου υπολογίζεται από το μέσο όρο των δύο επιμέρους αποτελεσμάτων και αποδίδεται με ακρίβεια ακεραίου. Όταν το ισοδύναμο άμμου πραγματοποιείται σε κλάσμα 0/4 τότε εκφράζεται ως SE_4 ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία αναφορικά με τον υπολογισμό και την έκφραση αποτελεσμάτων

3.1.6.2 Δοκιμή μπλε του μεθυλενίου

Η δοκιμή μπλε του μεθυλενίου μας προσδιορίζει το πόσο ενεργό είναι το λεπτόκοκκο κλάσμα της άμμου. Στην περίπτωση που το ισοδύναμο άμμου είναι > 70 τότε, δεν είναι απαραίτητη η δομική μπλε του μεθυλενίου. Η διάταξη αυτή δεν εφαρμόζεται για την περίπτωση της θραυστής άμμου που προέρχεται από θραύση συλλεκτών αδρανών. Όταν το μπλε του μεθυλενίου (MB) στο κλάσμα 0/2 mm της άμμου (είτε πρόκειται για θραυστή, είτε για συλλεκτή) είναι $MB \leq 0,80 \text{ g/kg}$, τότε δεν είναι απαραίτητη η δοκιμή του ισοδύναμου άμμου.

3.1.6.2.1 Διαδικασία δοκιμής

Αρχικά ζυγίζεται το δείγμα και καταγράφεται η μάζα του M_0 . Υπολογίζεται η ξηρή μάζα του M_1 με ακρίβεια 1 g από τη σχέση:

$$M_1 = \frac{100 * M_0}{1 + w}$$

Αν πρόκειται να ελεγχθεί το κλάσμα 0/0.125mm τότε ζυγίζεται $30 \pm 0,1 \text{ g}$. Τοποθετούνται $500 \pm 5 \text{ ml}$ απιονισμένου νερού στο ποτήρι ζέσεως και προστίθεται το δείγμα ανακατεύοντας καλά με τη σπάτουλα. Ανακατεύεται το διάλυμα της χρωστικής και γεμίζεται η προχοϊδα, ενώ το ότι απομένει φυλάσσεται σε σκοτεινό μέρος. Ο αναδευτήρας ρυθμίζεται στα $600 \pm 60 \text{ min}^{-1}$ ενώ από την κάτω μεριά τοποθετείται το ποτήρι ζέσεως και το πτερύγιο σε απόσταση περίπου 10mm από τη βάση του ποτηριού. Μόλις ανοίξει ο αναδευτήρας ξεκινά το χρονόμετρο αναδύνοντας το περιεχόμενο του ποτηριού ζέσεως για 5 min. Ύστερα ρίχνεται μία δόση των 5 ml χρωστικής ουσίας στο ποτήρι ζέσεως, αναδύεται στα $(400 \pm 40) \text{ min}^{-1}$ για τουλάχιστον 1 min και διεξάγεται η δοκιμή με κηλίδες πάνω στο διηθητικό χαρτί. Αν μετά από την προσθήκη αυτών δεν εμφανιστεί το στεφάνι, προστίθενται ακόμη 5 ml χρωστικής ουσίας, συνεχίζεται η ανάδευση για 1 min, και διεξάγεται ένα ακόμη τεστ με κηλίδες. Αν και πάλι δεν εμφανιστεί το στεφάνι, συνεχίζεται η ανάδευση, προσθέτοντας χρωστική και διεξάγοντας δοκιμές με κηλίδες όπως προηγουμένως, έως ότου εμφανιστεί το στεφάνι. Όταν εμφανιστεί το στεφάνι, η δοκιμή με κηλίδες γίνεται ανά χρονικά διαστήματα του 1min χωρίς την προσθήκη περαιτέρω χρωστικής.

Η ανάδευση συνεχίζεται κανονικά κατά τη διάρκεια αυτών των μετρήσεων. Αν το στεφάνι εξαφανιστεί κατά τη διάρκεια των 4 πρώτων min, προστίθενται ακόμη 5 ml χρωστικής. Αν το στεφάνι εξαφανιστεί κατά τη διάρκεια του 5^{ου} λεπτού, προστίθενται μόνο 2 ml χρωστικής ουσίας. Σε κάθε περίπτωση, συνεχίζεται η ανάδευση και διεξάγονται δοκιμές με κηλίδες μέχρι να εμφανιστεί στεφάνι που να διατηρείται για 5 min. Η κηλίδα που σχηματίζεται αποτελείται από ένα κεντρικό κυκλικό σχήμα σκούρου μπλε χρώματος, το οποίο περιβάλλεται από ένα ανοιχτόχρωμο στεφάνι. Η ποσότητα της σταγόνας που λαμβάνεται θα είναι τόση ώστε η κηλίδα που σχηματίζεται να έχει διάμετρο μεταξύ 8 mm και 12 mm. Η δοκιμή είναι θετική όταν γύρω από τον κεντρικό κύκλο, σχηματιστεί ένα στεφάνι ανοιχτού μπλε χρώματος

πάχους περίπου 1 mm. Σημειώνεται ο συνολικός όγκος της χρωστικής ουσίας V_1 , ο οποίος προστίθεται ώστε να δημιουργηθεί στεφάνι που να διατηρείται για 5 min, στο πλησιέστερο 1 ml. Η τιμή του μπλε του μεθυλενίου, MB, εκφράζεται ως g χρωστικής ανά kg του κλάσματος υλικού 0/2 mm ή 0/0.125mm και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$MB = \frac{V_1}{M_1} \cdot 10$$

Στην περίπτωση που το στεφάνι δεν είναι εμφανές μετά από την προσθήκη της χρωστικής, προστίθενται $(30 \pm 0,1)$ g καολινίτη που έχει πριν ξηραθεί στους $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ για δύο ώρες. Στο ποτήρι ζέσεως προστίθενται $V' = 30 \text{ MB}_k \text{ ml}$ χρωστικής, όπου MB_k είναι ο όγκος του διαλύματος χρωστικής που απορροφάται από 30 g καολινίτη. Συνεχίζεται κανονικά η προσθήκη χρωστικής ακολουθώντας την προβλεπόμενη πορεία που έχει περιγραφεί. Η τιμή του μπλε του μεθυλενίου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$MB = \frac{V_1 - V'}{M_1} \cdot 10$$

3.1.6.3 Δείκτης πλακοειδούς

3.1.6.3.1 Σκοπός

Σκοπός της δοκιμής αυτής είναι να μας δείξει πόσο ‘πλακέ’ είναι τα αδρανή μας. Αφορά δηλαδή το σχήμα τους. Όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης αυτός, κυμαίνοντας από το 0 έως το 100, τόσο πιο μεγάλη επιφάνεια έχει σε σχέση με το πάχος του. Για να είναι κατάλληλα τα αδρανή μας για τη σύνθεση σκυροδέματος, θέλουμε μικρό δείκτη πλακοειδούς.¹

3.1.6.3.2 Διαδικασία δοκιμής

Λαμβάνουμε ένα δείγμα αδρανών το οποίο θα εξεταστεί, με διαδικασίες μείωσης εργαστηριακού δείγματος.² Ξηραίνουμε το δείγμα αυτό σε θερμοκρασία $110 \pm 5^\circ\text{C}$ μέχρι να έχουμε σταθερή μάζα³ και το αφήνουμε να κρυώσει σε θερμοκρασία δωματίου προτού καταγράψουμε τη μάζα του (Mo). Χρησιμοποιώντας τα κόσκινα που φαίνονται στην πρώτη στήλη του παρακάτω πίνακα, κοσκινίζουμε το δείγμα μας. Ζυγίζουμε και απορρίπτουμε τις ποσότητες του τμήματος που συγκρατούνται στο κόσκινο 100mm και που διέρχονται από το κόσκινο 4mm.

Κλάσμα μεγέθους κόκκων d_i/D_i , mm	Πλάτος ανοίγματος στα κόσκινα πλακοειδούς
80/100	$50 \pm 0,5$
63/80	$40 \pm 0,5$
50/63	$31,5 \pm 0,5$
40/50	$25 \pm 0,4$
31,5/40	$20 \pm 0,4$
25/31,5	$16 \pm 0,4$
20/25	$12,5 \pm 0,4$
16/20	$10 \pm 0,2$
12,5/16	$8 \pm 0,2$
10/12,5	$6,3 \pm 0,2$
8/10	$5 \pm 0,2$
6,3/8	$4 \pm 0,15$
5/6,3	$3,15 \pm 0,15$
4/5	$2,5 \pm 0,15$

Διαχωρίζουμε και ζυγίζουμε τα επιμέρους κλάσματα μεταξύ των 4 και των 100mm. Κάθε ένα από αυτά τα κλάσματα κοσκινίζεται (είτε μηχανικά είτε χειροκίνητα) στο αντίστοιχο κόσκινο πλακοειδούς, όπως φαίνεται στη δεύτερη στήλη του παραπάνω πίνακα. Ζυγίζουμε το συγκρατούμενο κάθε κοσκίνου και με δεδομένη την αρχική ποσότητα του κλάσματος, υπολογίζουμε το διερχόμενο από το κόσκινο πλακοειδούς. Ο συνολικός δείκτης πλακοειδούς υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

¹ Επειδή τα αδρανή με μεγάλο δείκτη πλακοειδούς έχουν μεγάλη επιφάνεια σε σχέση με το πάχος τους, έχουν την τάση να σπάνε σε φλούδες, με αποτέλεσμα να μην ‘δένουν’ καλά μεταξύ τους.

³ Σταθερή μάζα επιτυγχάνουμε όταν ζυγίσεις του δείγματος που απέχουν χρονικό διάστημα τουλάχιστον μίας ώρας, διαφέρουν μεταξύ τους λιγότερο από 0,1%

$$FI = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

όπου,

M_1 : είναι το άθροισμα των μαζών των αρχικών κλασμάτων σε γραμμάρια.

M_2 : είναι το άθροισμα των μαζών των διερχόμενων από τα κόσκινα πλακοειδών, σε γραμμάρια.

Ο δείκτης πλακοειδούς καθενός κλάσματος υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$FI_i = \frac{m_i}{R_{1i}} \times 100$$

όπου,

R_i : είναι η μάζα κάθε αρχικού κλάσματος σε γραμμάρια.

m_i : είναι η μάζα του διερχόμενου από το αντίστοιχο κόσκινο πλακοειδούς, σε γραμμάρια.

Αν το άθροισμα των μαζών των αρχικά διαχωρισθέντων κλασμάτων μαζί με τις ποσότητες που τυχόν απορρίφθηκαν διαφέρει από την αρχική μάζα του δείγματος M_0 περισσότερο από %, η δοκιμή πρέπει να επαναληφθεί με άλλο δείγμα.

3.1.6.4 Los Angeles

3.1.6.4.1 Σκοπός

Η δοκιμή Los Angeles πραγματοποιείται για να προσδιορίσουμε την αντοχή των αδρανών σε κρούση και τριβή. Μέσω της δοκιμής αυτής, μπορούμε να εκτιμήσουμε τη φθορά που υπόκεινται κατασκευές από σκυρόδεμα.

3.1.6.4.2 Περιγραφή συσκευής Los Angeles

Πρόκειται για έναν κλειστό κάδο διατομής κυλινδρικής από χάλυβα, τα άκρα του οποίου έχουν εσωτερική διάμετρο 711 ± 5 mm και το εσωτερικό του μήκος είναι 508 ± 5 mm. Το πάνω μέρος του κάδου έχει άνοιγμα για την εισαγωγή και εξαγωγή του εξεταζόμενου κάθε φορά υλικού, το οποίο σφραγίζεται με καπάκι τέτοιο ώστε να μην εξέρχεται σκόνη κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της συσκευής. Στο εσωτερικό του κάδου, σε απόσταση από το άνοιγμα μεγαλύτερη από 127 cm, υπάρχει μια ράβδος από χάλυβα.



Εικόνα 2.3: Συσκευή Los Angeles.

3.1.6.4.3 Διαδικασία δοκιμής

Το δείγμα κοσκινίζεται (μόνο ξηρή κοσκίνιση, χωρίς αρχική ξήρανση) στα κόσκινα 10 mm, 12,5 mm (ή 11,2 mm) και 14 mm. Το συνολικό δείγμα, που θα προκύψει πρέπει να είναι ίσο ή και μεγαλύτερο από 15 kg. Διαχωρίζονται τα επιμέρους κλάσματα 10/12,5 και 12,5/14 και πλένονται ώστε να απομακρυνθούν όσα έχουν μείνει προσκολλημένα στους κόκκους. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει διαθέσιμο το κλάσμα 10-12,5-14 η δοκιμή γίνεται στο κλάσμα 10-11,2-14. Τα κλάσματα ξηραίνονται, μέχρι σταθερής μάζας σε θερμοκρασία $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ και στη συνέχεια αφήνονται να κρυώσουν σε θερμοκρασία δωματίου. Πρακτικά η σταθερή μάζα έχει επιτευχθεί όταν ζυγίσεις που απέχουν χρονικό διάστημα τουλάχιστον 1h, διαφέρουν μεταξύ τους λιγότερο από 0,1%. Η διαβάθμιση του υλικού θα συμμορφώνεται σε μία από τις παρακάτω απαιτήσεις :

- 60%-70% διερχόμενο στο κόσκινο 12,5mm

ή

- 30%-40% διερχόμενο στο κόσκινο 11,2mm

Πριν την έναρξη της δοκιμής προηγείται η κοκκομετρική ανάλυση απορρίπτοντας το υλικό που συγκρατείται στο κόσκινο 14mm καθώς και το διερχόμενο των 10mm. Στη συνέχεια ελέγχεται ο κάδος της συσκευής να είναι καθαρός και παράλληλα ζυγίζονται και τοποθετούνται σε αυτόν αρχικά οι σφαίρες. Οι σφαίρες σε αριθμό πρέπει να είναι 11 και να ζυγίζουν 4690 – 4860 g. Εισάγεται το δείγμα στον κάδο και

αφού αυτός σφραγιστεί τίθεται σε περιστροφή για 500 στροφές με συχνότητα 31-33 στροφές ανά λεπτό. Μόλις ολοκληρωθεί η δοκιμή απομακρύνονται πρώτα οι σφαίρες και ύστερα αδειάζετε το αδρανές σε ένα μεγάλο ταψί , που είναι τοποθετημένο ακριβώς κάτω από το άνοιγμα του κάδου και δίδεται προσοχή, ώστε το άνοιγμα να είναι ακριβώς πάνω από το δίσκο, προκειμένου να απομακρυνθεί από αυτόν όλη η ποσότητα του αδρανούς, ειδικά γύρω από το πτερόγιο.



Εικόνα 2.4: Χαλύβδινες σφαίρες

Εικόνα 2.5: Ταψί συσκευής LA

Το υλικό που συλλέχθηκε κοσκινίζεται στο κόσκινο 1,6 mm ώστε να γίνει ένας πρώτος διαχωρισμός του και στη συνέχεια πλένεται και ξηραίνεται μέχρι σταθερής μάζας σε θερμοκρασία $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, μέχρι σταθερής μάζας. Στο τέλος της ξήρασης κοσκινίζεται το δείγμα πάλι στο κόσκινο 1,6 mm ώστε να είναι σίγουρο ότι έχει απομακρυνθεί όλη η ποσότητα του διερχόμενου από τα 1,6 mm. Ζυγίζεται τελικά το συγκρατούμενο στο κόσκινο 1,6 mm. Ο συντελεστής LA υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$LA = \frac{M - m}{M} \times 100$$

Όπου, m: η μάζα του συγκρατούμενου στο κόσκινο 1,6 mm σε γραμμάρια και

M: η αρχική μάζα του συνδυασμένου δείγματος σε γραμμάρια

Στην περίπτωση, που η δοκιμή πρόκειται να γίνει σε διαφορετικό κλάσμα, οι αντίστοιχες απαιτήσεις για τη δοκιμή για κάθε ένα από αυτά τα κλάσματα φαίνονται στον ακόλουθο Πίνακα:

Κλάσμα Δοκιμής (mm)	Μέγεθος Ενδιάμεσου Κόσκινου (mm)	Ποσοστό Διερχόμενο Από το Ενδιάμεσο Κόσκινο%	Αριθμός σφαιρών	Μάζα σφαιρών (gr)
4 – 6,3	5	30 – 40	7	2930 – 3100
4 – 8	6,3	60 – 70	8	3410 – 3540
6,3 – 10	8	30 – 40	9	3840 – 3980
8 – 11,2	10	60 – 70	10	4250 – 4420
11,2 - 16	14	60 - 70	12	5120 - 5300

Στα αδρανή που προέρχονται από ανακύκλωση, η δοκιμή πραγματοποιείται στο κλάσμα 16/32 και ακολουθούνται οι απαιτήσεις που φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα:

Κλάσμα Δοκιμής (mm)	Μέγεθος Ενδιάμεσου Κόσκινου (mm)	Ποσοστό Διερχόμενο Από το Ενδιάμεσο Κόσκινο %	Αριθμός σφαιρών	Μάζα σφαιρών (gr)
16 – 31,5	22,4	45 - 55	14	5810 - 6010

3.1.6.4.4 Συμπεράσματα

- a) Σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ-408 η φθορά πρέπει να είναι μικρότερη του 40% για σκυρόδεμα το οποίο θα υποστεί κρούση και τριβή.

- b) Μικρή τιμή συντελεστή LA δείχνει αρκετά σκληρό πέτρωμα, ενώ μεγάλη τιμή συντελεστή w δείχνει αρκετά μαλακό πέτρωμα.
- c) Υλικά με πολύ μεγάλη τιμή συντελεστή LA, θρυμματίζονται εύκολα και περιέχουν μεγάλες ποσότητες παιπάλης, κάτι που δεν είναι αποδεκτό για τη σύνθεση σκυροδέματος.
- d) Ιδανική περιοχή συντελεστή w είναι, $25\% < LA < 28\%$.
Με $LA < 20\%$ έχουμε σκληρό πέτρωμα.
Με $LA > 35\%$ έχουμε θρυμματισμό.

3.1.6.5 Δοκιμή θεικού μαγνησίου (υγεία αδρανών)

3.1.6.5.1 Σκοπός

Προσδιορίζει την ανθεκτικότητα των αδρανών σε συνθήκες παγετού με τη χρήση θεικού μαγνησίου.

3.1.6.5.2 Διαδικασία δοκιμής

Λαμβάνουμε δύο δείγματα δοκιμής με τέτοιο τρόπο ώστε το καθένα από αυτά να δίνει τουλάχιστον 500gr από το κλάσμα 10/14mm. Ξηραίνουμε τα δείγματα σε θερμοκρασία $110\pm 5^\circ\text{C}$ για $24\pm 1\text{h}$ και τα ψύχουμε σε θερμοκρασία δωματίου μέσα σε ξηραντήρα. Κοσκινίζουμε τα δείγματα στα κόσκινα 10 και 14 mm και απορρίπτουμε τις ποσότητες που συγκρατούνται στα 14mm και που διέρχονται από τα 10mm από το καθένα.

Πλένουμε τα δείγματα με απιονισμένο νερό στο κόσκινο 10mm μέχρι να φύγει όλη η σκόνη και ξηραίνονται σε φούρνο για $24\pm 1\text{h}$ σε θερμοκρασία $110\pm 5^\circ\text{C}$. Επαναλαμβάνουμε την κοσκίνιση με τον ίδιο τρόπο όπως παραπάνω ώστε να εξασφαλίσουμε ότι χρησιμοποιούμε μόνο το κλάσμα 10/14mm. Ζυγίζουμε από το κάθε δείγμα δοκιμής $(420\pm 0,1) - (430\pm 0,1)$ gr και καταγράφονται οι μάζες (M1). Μεταφέρουμε τα δείγματα σε μαρκαρισμένα καλαθάκια με προσοχή ώστε να μην αναταράσσονται καθόλη τη διάρκεια της δοκιμής ώστε να περιορίσουμε την απώλεια από κρούση.

Τοποθετούμε τα καλαθάκια σε λεκάνη γεμάτη με το διάλυμα θεικού μαγνησίου στην οποία επιπλέουν και τοποθετούμε τη λεκάνη σε θάλαμο θερμοκρασίας $20\pm 5^\circ\text{C}$. Η θέση είναι τέτοια ώστε η επιφάνεια του υλικού να είναι εντελώς βυθισμένη 20mm κάτω από την επιφάνεια του διαλύματος για $17\pm 0,5\text{h}$. Επιπλέον, τα καλαθάκια πρέπει να απέχουν μεταξύ τους, από τα τοιχώματα της λεκάνης και από τα συσσωρευμένα άλατα τουλάχιστον 20mm.

Μετά το πέρας του χρονικού διαστήματος αυτού, απομακρύνουμε τα καλαθάκια από το διάλυμα και τα αφήνουμε να στραγγίξουν για $2\pm 0,25\text{h}$. Στη συνέχεια, η λεκάνη καλύπτεται αμέσως. Κάθε καλαθάκι ξηραίνεται και αφήνεται να κρυώσει σε θερμοκρασία εργαστηρίου για $5\pm 0,25\text{h}$.

Πριν την επανεισαγωγή των καλαθιών στο διάλυμα, διασπώνται τυχόν συσσωματώματα αλάτων που έχουν συσσωρευτεί στον πάτο της λεκάνης, γίνεται καλή ανάδευση του διαλύματος και αφήνεται να ηρεμήσει για 30min.

Ελέγχουμε την πυκνότητα του διαλύματος στη λεκάνη. Αν η τιμή της βρίσκεται εκτός ορίων, το διάλυμα αντικαθιστάται με αχρησιμοποίητο κορεσμένο διάλυμα που έχει

παρασκευαστεί με τον ίδιο τρόπο. Αν κατά τη διάρκεια της βύθισης του αδρανούς στο διάλυμα παρατηρηθεί σημαντική αποσύνθεση του αδρανούς, το διάλυμα πρέπει να αντικατασταθεί με καινούριο, αχρησιμοποίητο, διότι εξαιτίας διάφορων αιωρούμενων στερεών ή ανταλλαγής ιόντων, είναι πιθανόν η μετρούμενη πυκνότητα του διαλύματος να είναι ανακριβής. Η διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω από το στάδιο βύθισης των καλαθιών στο διάλυμα, επαναλαμβάνεται για πέντε κύκλους, καθένας από τους οποίους διαρκεί 48 ± 2 h. Αν χρειαστεί να γίνει διακοπή της δοκιμής, πχ Σαββατοκύριακα, αυτή μπορεί να γίνει στο τέλος της περιόδου ξήρανσης. Η μέγιστη επιτρεπόμενη διακοπή είναι 72h.

Μετά το κρύωμα που ακολουθεί τον τελευταίο κύκλο, πλένουμε το αδρανές μέσα στο καλαθάκι με νερό βρύσης, μέχρι να απομακρυνθεί όλο το θειικό μαγνήσιο. Ξηραίνουμε το κάθε δείγμα και κοσκινίζουμε χειροκίνητα στο κόσκινο 10mm. Ζυγίζουμε τη μάζα του συγκρατούμενου (M_2) και την καταγράφουμε στο πλησιέστερο 0,1gr.

Για κάθε ένα τμήμα δοκιμής υπολογίζεται η απώλειά του από τη δράση του θειικού μαγνησίου (MS) με ακρίβεια ενός δεκαδικού με την παρακάτω εξίσωση:

$$MS = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

Όπου,

M_1 : η αρχική μάζα και M_2 : η τελική μάζα συγκρατούμενη στο κόσκινο 10mm

3.1.6.6 Αλκαλοπυριτική αντίδραση

Στην περίπτωση της αλκαλοπυριτικής αντίδρασης, έχουμε τη δημιουργία μιας γέλης, η οποία διογκώνεται απορροφώντας νερό. Αυτό, έχει ως αποτέλεσμα την άσκηση πίεσης λόγω της διόγκωσης, το οποίο καταλήγει σε αστοχία του σκυροδέματος. Η γέλη αυτή, μπορεί να εμφανιστεί σε ρωγμές αλλά ακόμα και μέσα στα σωματίδια του αδρανούς.

Παράγοντες που χρειάζονται για τη δημιουργία ASR στο σκυρόδεμα:

- Αρκετά υψηλό αλκαλικό περιεχόμενο στο τσιμέντο
- Ένα δραστικό αδρανές
- Νερό στο σκυρόδεμα

3.1.6.7 Προσδιορισμός φαινόμενου ειδικού βάρους και υδροαπορροφητικότητας χονδρόκοκκου υλικού

Οι έννοιες των ιδιοτήτων αυτών έχουν επεξηγηθεί παραπάνω.

3.1.6.7.1 Διαδικασία για χονδρόκοκκα αδρανή

Το τμήμα δοκιμής, που θα υποστεί τη δοκιμή, ανάλογα με το μέγιστο κόκκο του, δεν θα πρέπει να έχει μάζα μικρότερη από αυτή που φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

Μέγιστο μέγεθος οπής κόσκινου D (mm)	Ελάχιστη μάζα τμήματος δοκιμής (g)
63	15000
50	9213
45	7000
40	6260
31,5	5000
25	3742
20	2774
16	2000
12,5	1563
10	1250
≤8	1000

Το δείγμα πλένεται στο κόσκινο 4 mm για να απομακρυνθούν λεπτά προσκολλημένα στους κόκκους. Τοποθετείται στο συρμάτινο καλάθι και βυθίζεται σε νερό, το οποίο προηγουμένως έχει υποστεί βρασμό για την απομάκρυνση του αέρα, θερμοκρασίας 19 – 25°C, με την επιφάνεια του νερού να βρίσκεται τουλάχιστον 50 mm πάνω από την κορυφή του καλάθιού. Αμέσως μετά τη βύθιση, αναταράσσεται το δοχείο με το αδρανές για την απομάκρυνση του αέρα, που τυχόν έχει παγιδευτεί στο εσωτερικό, ανυψώνοντας το καλάθι περίπου 25 mm πάνω από τη βάση του δοχείου και αφήνοντάς το να πέσει 25 φορές, περίπου μία φορά το δευτερόλεπτο. Το αδρανές μένει στο καλάθι, πλήρως βυθισμένο στο νερό, για χρονικό διάστημα 23,5 – 24,5 ωρών. Το καλάθι με το δείγμα αναταράσσεται, αφήνεται να ηρεμήσει και λαμβάνεται η ζύγιση στο νερό. Καταγράφεται η μάζα ως M_2 . Καταγράφεται επίσης η

θερμοκρασία του νερού. Απομακρύνεται το καλάθι με το δείγμα από το νερό και αφήνεται να στραγγίξει για μερικά λεπτά. Προσεκτικά αδειάζεται το αδρανές από το καλάθι σε ένα στεγνό απορροφητικό ύφασμα. Προσεκτικά σκουπίζεται επιφανειακά το αδρανές και όταν το ύφασμα δεν μπορεί να απορροφήσει πλέον άλλη υγρασία, το αδρανές μεταφέρεται σε ένα δεύτερο στεγνό απορροφητικό ύφασμα. Το αδρανές απλώνεται σε πάχος κόκκου στο δεύτερο ύφασμα και αφήνεται εκτεθειμένο στον ατμοσφαιρικό αέρα, μακριά από ηλιακό φως ή άλλη πηγή θερμότητας, μέχρι όλα τα ορατά ίχνη νερού να απομακρυνθούν, ωστόσο το αδρανές να διατηρεί ακόμη μία υγρή όψη. Το αδρανές ζυγίζεται και καταγράφεται η μάζα του ως M_1 . Μεταφέρεται το αδρανές σε τασί, τοποθετείται σε φούρνο και ξηραίνεται μέχρι σταθερού βάρους στους $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Ζυγίζεται στη συνέχεια και καταγράφεται η μάζα του ξηρού δείγματος ως M_4 . Με τα παραπάνω υπολογίζουμε τα ακόλουθα :

- Φαινόμενη πυκνότητα:
$$\rho_\alpha = \rho_w \frac{M_4}{M_4 - M_2}$$
- Πυκνότητα επί ξηρού:
$$\rho_{rd} = \rho_w \frac{M_4}{M_1 - M_2}$$
- Πυκνότητα επί κορεσμένου και επιφανειακά ξηρού:
$$\rho_{ssd} = \rho_w \frac{M_1}{M_1 - M_2}$$
- Απορρόφηση νερού, μετά από βύθιση για 24h, σαν ποσοστό της ξηρής μάζας:

$$WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4}$$

όπου:

M_1 : η μάζα του κορεσμένου και επιφανειακά ξηρού αδρανούς στον αέρα, σε g.

M_2 : η φαινόμενη μάζα στο νερό του αδρανούς, σε g.

M_4 : η φαινόμενη μάζα του ξηρού τμήματος δοκιμής στον αέρα, σε g.

ρ_w : η πυκνότητα του νερού στη θερμοκρασία που καταγράφηκε κατά τη ζύγιση M_2 σε τόνους ανά κυβικό μέτρο.

3.1.6.7.2 Διαδικασία για λεπτόκοκκα αδρανή

Το δείγμα πλένεται στα κόσκινα 4 mm και 0,063 mm για την απομάκρυνση λεπτών. Απορρίπτονται όσοι κόκκοι συγκρατήθηκαν το κόσκινο 4 mm. Η μάζα του κλάσματος 0,063/4mm δεν θα είναι μικρότερη από 300g. Βυθίζεται στο πυκνόμετρο γεμισμένο με νερό θερμοκρασίας $19 - 25^\circ\text{C}$ το οποίο έχει βράσει και στη συνέχεια ψυχθεί. Η φλάσκα περιστρέφεται ελαφρά και αναταράσσεται με εκκρεμοειδή κίνηση ώστε να απομακρυνθεί ο εγκλωβισμένος αέρας. Τοποθετείται η φλάσκα σε υδατόλουτρο θερμοκρασίας $19 - 25^\circ\text{C}$ για χρονικό διάστημα 23,5 – 24,5 h. Στο τέλος της περιόδου εμβάπτισης η φλάσκα πάλι περιστρέφεται ελαφρά και

αναταράσσεται με εκκρεμοειδή κίνηση ώστε να απομακρυνθεί και η υπόλοιπη ποσότητα του εγκλωβισμένου αέρα. Τοποθετείται το πώμα στη φλάσκα και γεμίζεται με νερό μέχρι τη χαραγή, δίνοντας προσοχή ώστε να μην παγιδευτεί αέρας μέσα στο δοχείο. Σκουπίζεται η φλάσκα εξωτερικά και ζυγίζεται το δοχείο με το νερό και το δείγμα και καταγράφεται ως M_2 . Λαμβάνεται και καταγράφεται η θερμοκρασία του νερού την ώρα που λαμβάνεται η M_2 . Απορρίπτεται η μεγαλύτερη ποσότητα νερού, χωρίς να χαθεί δείγμα από τη φλάσκα και το εναπομείναν νερό μαζί με το δείγμα αδειάζονται σε ρηχό δίσκο. Ξαναγεμίζεται το πυκνόμετρο με νερό μέχρι τη χαραγή, σκουπίζεται εξωτερικά και καταγράφεται η μάζα ως M_3 . Λαμβάνεται εκ νέου και καταγράφεται η θερμοκρασία του νερού, η οποία δεν πρέπει να διαφέρει από την προηγούμενη μέτρηση παραπάνω από 2°C. Απλώνεται το υγρό δείγμα σε ομοιόμορφο στρώμα και με τη βοήθεια ήπιου ρεύματος θερμού αέρα (σεσουάρ) απομακρύνεται η επιφανειακή του υγρασία. Αναδεύεται ανά τακτά διαστήματα ώστε να διασφαλιστεί ομοιόμορφο στέγνωμα, μέχρις ότου να μην υπάρχει πλέον επιφανειακή υγρασία και τα σωματίδια του αδρανούς να μην προσκολλώνται το ένα στο άλλο. Όταν το δείγμα πλησιάζει την κατάσταση κορεσμένου και επιφανειακά ξηρού, λαμβάνεται μία ποσότητα δείγματος και διοχετεύεται μέσα στο μεταλλικό κώνο μέχρι αυτός να πληρωθεί εντελώς με άμμο. Ο κώνος έχει θέση έτσι ώστε η μεγαλύτερη διάμετρος του να κοιτά προς τα κάτω στη βάση του ταψιού. Με τον μικρό κόπανο συμπυκνώνεται η άμμος με 25 χτύπους, σε όλη την επιφάνεια του κώνου. Χωρίς να ξαναγεμίσει η μήτρα μετά τη συμπύκνωση, αφαιρείται προσεκτικά ο μεταλλικός κώνος και παρατηρείται το σχήμα που παίρνει η άμμος. Όσο η άμμος διατηρεί το σχήμα του κώνου, τότε παραμένει ακόμα επιφανειακά υγρή και χρειάζεται παραπέρα ξήρανση.

Αν



Figure F.1 — Aggregate moist; almost retains complete shape of metal mould

καταρρέυσει τελείως και πάρει καμπύλο σχηματισμό, τότε η άμμος έχει ξηρανθεί περισσότερο από το απαιτούμενο και δεν είναι πλέον κορεσμένη.



Figure F.4 — Aggregate nearly oven dry; no distinct peak, surface outline close to being curvilinear

NOTE These sketches are not to scale and are for guidance only.

Αν παραμένει εμφανής η κορυφή και οι «πλαγιές» διατηρούνται γωνιώδεις και παρατηρείται ωστόσο σημαντική κατάρρευση, τότε είναι στην κατάσταση του κορεσμένου και επιφανειακά ξηρού.



Figure F.3— Aggregate saturated surface-dried; almost complete collapse but definite peak still visible and slopes are angular

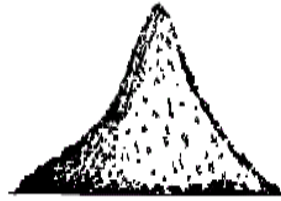


Figure F.2— Aggregate slightly moist; appreciable slump observed

Για την επίτευξη κορεσμένης αλλά επιφανειακής κατάστασης για αδρανή που διέρχονται από το κόσκινο 31,5mm και συγκρατούνται στο κόσκινο 4mm λαμβάνεται ένα επιπρόσθετο δείγμα 500g περίπου το οποίο ξηραίνεται μέχρι σταθερής μάζας. Η εμφάνιση του δείγματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σα δείκτης για την επίτευξη της κορεσμένης αλλά επιφανειακής κατάστασης. Στη συνέχεια ζυγίζεται η κορεσμένη και επιφανειακά ξηρή άμμος και καταγράφεται η μάζα ως M_1 . Ξηραίνεται η άμμος στους $110 \pm 5^\circ\text{C}$ μέχρι σταθερής μάζας και καταγράφεται η ξηρή της μάζα ως M_4 . Όλες οι μάζες καταγράφονται με ακρίβεια 0,1% της μάζας του δείγματος δοκιμής ή με μεγαλύτερη. Έτσι υπολογίζονται τα παρακάτω:

- Φαινόμενη πυκνότητα κόκκων:

$$\rho_a = \rho_w \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)}$$
- Πυκνότητα κόκκων επί ξηρού:

$$\rho_{rd} = \rho_w \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$
- Πυκνότητα κόκκων επί κορεσμένου και επιφανειακά ξηρού:

$$\rho_{ssd} = \rho_w \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

- Απορρόφηση νερού, σαν ποσοστό της ξηρής μάζας:

$$WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4}$$

όπου:

ρ_w : η πυκνότητα του νερού στη θερμοκρασία δοκιμής σε mega grams / m³.

M_1 : η μάζα του κορεσμένου και επιφανειακά ξηρού αδρανούς στον αέρα, σε g.

M_2 : η μάζα του πυκνομέτρου που περιέχει το δείγμα του κορεσμένου αδρανούς και το νερό, σε g.

M_3 : η μάζα του πυκνομέτρου πληρωμένο με νερό, σε g.

M_4 : η φαινόμενη μάζα του ξηρού τμήματος δοκιμής στον αέρα, σε g.

3.1.7 Χημικές Απαιτήσεις

Για την παρασκευή οπλισμένου σκυροδέματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν συλλεκτά αδρανή από θάλασσα χωρίς να έχουν πλυθεί αν η περιεκτικότητα σε χλωριόντα είναι μικρότερη ή ίση από 0,04% κατά βάρος και η περιεκτικότητα του σκυροδέματος που θα παραχθεί από αυτά είναι μικρότερη ή ίση από τη μέγιστη τιμή για την κατηγορία περιεκτικότητας σε χλωριόντα που φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Χρήση σκυροδέματος	Κατηγορία περιεκτικότητας σε χλωριόντα (Cl ⁻)	Μέγιστη περιεκτικότητα χλωριόντων (Cl ⁻) σε ποσοστό της μάζας του τσιμέντου (%)
Σκυρόδεμα χωρίς χάλυβα οπλισμού ή άλλα μεταλλικά τεμάχια υλικών ενσωματωμένα εκτός από ανοξειδωτά συστήματα	CI 1,5	1,5
Σκυρόδεμα με χάλυβα οπλισμού ή άλλα ενσωματωμένα μεταλλικά τεμάχια	CI 0,40	0,40
Σκυρόδεμα με χάλυβα προέντασης	CI 0,10	0,10

Για την παρασκευή προεντεταμένου σκυροδέματος απαγορεύεται η χρήση συλλεκτών αδρανών από τη θάλασσα που δεν έχουν πλυθεί.

Η περιεκτικότητα σε θειικά διαλυτά οξέα (AS) δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,8% (SO₃) και η περιεκτικότητα στο θείο (S) δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 1,0 %.

Η περιεκτικότητα των αδρανών σε τεμαχίδια οργανικών προσμίξεων (γαιάνθρακες, λιγνίτες δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0,5% κατά βάρος για την άμμο και για χονδρόκοκκα αδρανή το 0,1% κατά βάρος . Στη περίπτωση που πρέπει να φαίνεται η επιφάνεια του σκυροδέματος τότε τα ποσοστά γίνονται για την άμμο 0,25% κατά βάρος και για τα χονδρόκοκκα 0,05% κατά βάρος.

Σημαντικό είναι να μην περιέχονται στα αδρανή προσμίξεις οργανικές ή άλλων ειδών σε ποσοστό που δε θα επιτρέπεται η πήξη και η σκλήρυνση του σκυροδέματος. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με τη χρήση χρωματομετρικής δοκιμής και αν βρεθεί υψηλό ποσοστό ύπαρξης προσμίξεων τότε ελέγχεται ξανά με διαφορετική χρωματομετρική δοκιμή. Αν ξαναβρεθεί υψηλό ποσοστό ύπαρξης προσμίξεων τότε γίνεται έλεγχος στη πήξη των δοκιμίων κονιάματος όπου δε πρέπει να υπερβαίνει τα 120 λεπτά και να μειώνεται η αντοχή τους στις 28 ημέρες περισσότερο από 20%. Στη περίπτωση ύπαρξης προσμίξεων σακχάρων ή σακχαρωδών υλικών θα πρέπει να γίνει άμεσα έλεγχος και θα ισχύουν τα ίδια όρια με αυτά των οργανικών προσμίξεων

Συνοπτικά οι μέθοδοι χημικών προσδιορισμών σύμφωνα με τον ΚΤΣ 2016 στα αδρανή για τη Παρασκευή του σκυροδέματος είναι οι παρακάτω:

- Περιεκτικότητα σε χλωριόντα (Cl-) %
- Περιεκτικότητα σε θειικά διαλυτά σε οξέα (AS)
- Περιεκτικότητα σε τεμαχίδια οργανικών προσμίξεων ή σακχάρων
- Περιεκτικότητα σε θείο (S)

3.1.7.1 Σκυροδέτηση με υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος

Προστατευτικά μέτρα είναι εκείνα που απαιτούνται ώστε να μην υπάρξουν αρνητικές επιδράσεις στο σκυρόδεμα λόγω της έκθεσής του στο ζεστό περιβάλλον.

Θεωρείται η κατάσταση όπου εκτελείται η διάστρωση, η συμπύκνωση, η συντήρηση και η λήψη προστατευτικών μέτρων κάτω από τις συνθήκες όπως :

1. Υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος
2. Υψηλή θερμοκρασία σκυροδέματος
3. Χαμηλή υγρασία
4. Υψηλή ταχύτητα αέρα

Η θερμοκρασία του σκυροδέματος σε κάθε περίπτωση δε πρέπει να ξεπερνάει τους 32 °C. (Σε σκυροδέτηση ογκώδη στοιχείων η θερμοκρασία πρέπει να είναι ακόμα πιο χαμηλή λόγω της θερμότητας ενυδάτωσης. Παράλληλα η θερμοκρασία περιβάλλοντος δε πρέπει να ξεπερνάει τους 38 °C. Σε αντίθετη περίπτωση θα πρέπει να ληφθούν προστατευτικά μέτρα ή να αναβληθεί η σκυροδέτηση. Σε περίπτωση τεχνητής ψύξης του σκυροδέματος πριν την παράδοση θα πρέπει να υπάρξει έγκριση τόσο του παραγωγού όσο και του χρήστη – μηχανικού.

3.1.7.2 Σκυροδέτηση με χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος

Περίοδος θερμικής προστασίας είναι ο χρόνος που απαιτείται ώστε να μην υπάρξουν αρνητικές επιδράσεις στο σκυρόδεμα λόγω της έκθεσής του στο κρύο περιβάλλον.

Χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος θεωρείται εκείνη που έχει πέσει ή αναμένεται να πέσει κάτω από τους 5°C κατά το χρονικό διάστημα όπου εκτελείται η διάστρωση, η συμπύκνωση, η συντήρηση και η περίοδος θερμικής προστασίας του σκυροδέματος.

Η θερμοκρασία του σκυροδέματος σε κάθε περίπτωση δε πρέπει να ξεπερνάει τους 32 °C σε περίπτωση τεχνητής θέρμανσης του σκυροδέματος πριν την παράδοση και με την έγκριση και του παραγωγού και του μηχανικού. Αν η θερμοκρασία είναι μικρότερη από 0°C θα πρέπει να αναβληθεί η σκυροδέτηση ή να παρθούν μέτρα προστασίας του σκυροδέματος. Απαγορευτική είναι η σκυροδέτηση όταν η θερμοκρασία είναι κάτω από -5°C. Έργα που είναι εκτεθειμένα σε πολύ υψηλές ή

πολύ χαμηλές όπως είναι οι γέφυρες κ.λ.π θα πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις μειωμένης υδατοπερατότητας.

Συνοψίζοντας η θερμοκρασία σκυροδέματος πρέπει να είναι : **10 < T < 32**

και η θερμοκρασία περιβάλλοντος : **5 < T < 38**

3.2 Τσιμέντο

3.2.1 Παραγωγή

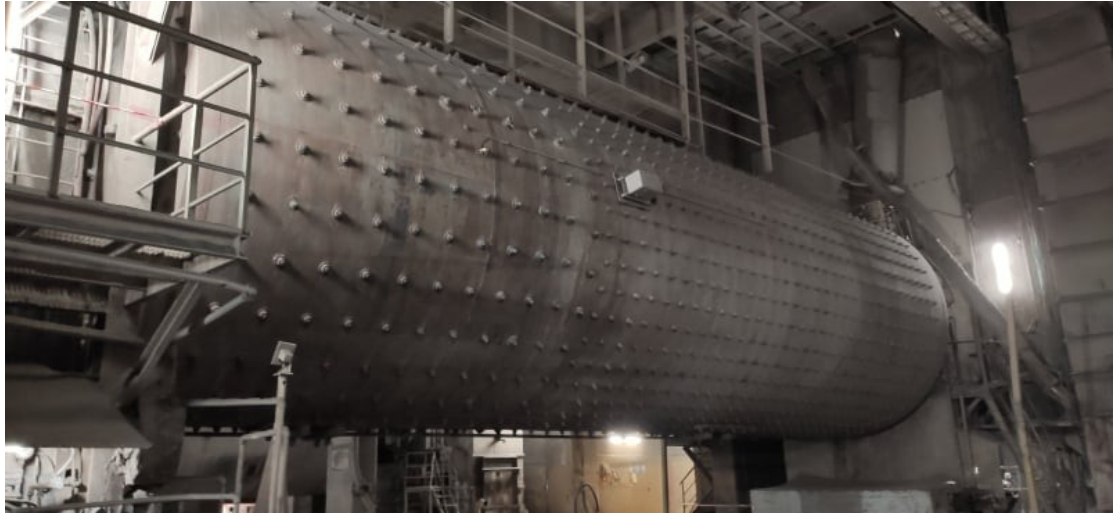
Το τσιμέντο είναι βιομηχανικό και παρασκευάζεται από ασβεστόλιθο και άργιλο ή και από σχιστόλιθο. Ονομάζεται τσιμέντο Πόρτλαντ γιατί έχει το ίδιο χρώμα με αυτό της περιοχής Πόρτλαντ της Αγγλίας , το οποίο ανακαλύφθηκε από τον Άγγλο J . Aspdin το 1824.

Για να παρασκευαστεί το τσιμέντο πραγματοποιείται η εξής διαδικασία:

Αρχικά γίνεται εξόρυξη ασβεστολιθικών πετρωμάτων και αργλικών εδαφών. Στη συνέχεια, ακολουθεί η θραύση του ασβεστολιθικού πετρώματος και η ξήρανση του αργλικού πετρώματος για να αποκτήσουν διάμετρο μερικών εκατοστών. Γίνεται η ανάμειξή τους (*προομογενοποίηση*) και αλέθονται σε μύλους ώστε να αποκτήσουν διάμετρο λίγων χιλιοστών. Αυτό που θα παραχθεί ονομάζεται *φαρίνα* η οποία ομογενοποιείται και αποθηκεύεται σε σιλό. Το μείγμα εισάγεται στο πάνω άκρο κυλινδρικής καμίνου με αργή περιστροφή γύρω από τον άξονά της. Στο κάτω άκρο της παράγεται θερμότητα από καυστήρα πετρελαίου ή κάρβουνου ή φυσικού αερίου και φτάνει περίπου τους 900°C στο πάνω άκρο. Στο κάτω άκρο, φτάνει στους 1450°C όπου από εκεί βγαίνουν τα προϊόντα με χρώμα γκριζόμαυρο και με διάμετρο λίγων εκατοστών τα οποία ονομάζονται *Klinker* ή *εκβολάδες* και αποτελούν την πρώτη ύλη για την παραγωγή του τσιμέντου. Τέλος, αυτά αλέθονται με ένα μικρό ποσοστό γύψου (3-5%) και αποκτούν τη γνωστή μορφή του τσιμέντου *Πόρτλαντ*.

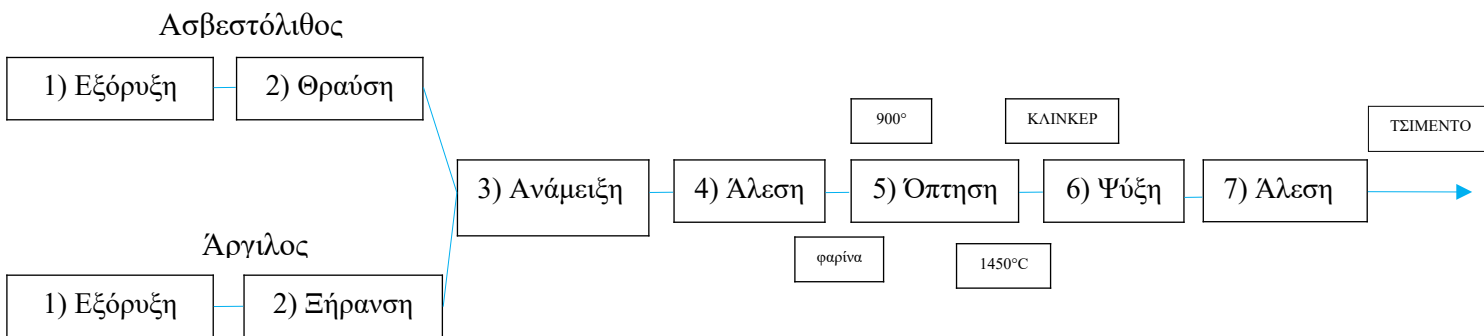
Σε άλλες περιπτώσεις ανάλογα με την ποιότητα που θέλουμε να αποδώσουμε στο τσιμέντο το Κλίνκερ και ο γύψος αναμειγνύονται και με ασβεστόλιθο και γίνεται και ανάμειξη με βελτιωτικό κονιαμάτων.⁴

⁴ Πληροφορία από τον υπεύθυνο παραγωγής τσιμέντου της ΑΓΕΤ ΗΡΑΚΛΗΣ.



Εικόνα 2.6: Μύλος τσιμέντου σε στάση εργασίας. (Δυναμική παραγωγή 120 τόνοι τσιμέντου ανά ώρα)

Ακολουθεί σε σχεδιάγραμμα η παραπάνω διαδικασία:



Εικόνα 2.7: Κλίνκερ.



Εικόνα 2.8: Γύψος.



Εικόνα 2.9: Ασβεστόλιθος.

3.2.2 Χημική σύσταση

Το τσιμέντο δεν έχει σταθερή χημική σύνθεση καθώς εξαρτάται από αυτή των πετρωμάτων ως πρώτες ύλες, από τον τρόπο παραγωγής και από το χρόνο και τη θερμοκρασία οπτήσεως.

	ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΠΡΟΤΛΑΝΤCEMI	ΣΥΝΘΕΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΠΡΟΤΛΑΝΤCEMIII/B-M 32,5 M	ΣΥΝΘΕΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΠΡΟΤΛΑΝΤCEMIII/A-M 42,5 M	ΣΒΗΣΜΕΝΟΣ ΑΣΒΕΣΤΗΣ
Αδιάλυτα	-	16,0	3,0	3,5
SiO ₂ (Οξειδίο πυριτίου)	22,0	29,0	22,0	12,1
Al ₂ O ₃ (Οξειδίο αργιλίου)	7,3	7,5	5,0	4,4
Fe ₂ O ₃ (Οξειδίο σιδήρου)	3,3	4,0	3,7	2,5
MnO(Οξειδίο μαγγανίου)	0,1	-	-	Ίχνη
CaO(Οξειδίο Ασβέστου)	64,0	51,0	60,0	75,7

MgO (Οξείδιο μαγνησίου)	1,4	2,0	1,9	1,2
CaS (Θειικό ασβέστιο)	-	-	-	0,2
CaSO ₄ (Θειικό ασβέστιο)	1,9	5,1	3,0	0,4

Πίνακας Π 2.7: Χημική σύνθεση τριών τύπων τσιμέντου και ασβέστου.

Ο πίνακας δείχνει παραδείγματα αναλύσεων τριών τύπων τσιμέντου σε σύγκριση της σβησμένης ασβέστου. Οι επικρατέστερες ενώσεις του τσιμέντου είναι το οξείδιο του ασβεστίου και το οξείδιο του πυριτίου.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του τσιμέντου και τα παραπάνω οξείδια αναλύονται παρακάτω :

1. Πυριτικό τριασβέστιο (3CaOSiO_2) \rightarrow 60%
2. Αργιλικό τριασβέστιο ($3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ ή C_3A) \rightarrow 7%
3. Πυριτικό διασβέστιο (2CaOSiO_2 ή C_2S) \rightarrow 15%
4. Σιδηριαργιλικότετρασβέστιο ($4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ ή C_4AF) \rightarrow 11%

Η αναλογία των παραπάνω επηρεάζει την ταχύτητα της χημικής αντιδράσεως του τσιμέντου με το νερό.

Τα δευτερεύοντα χαρακτηριστικά υπάρχουν στο τσιμέντο σε μικρότερες ποσότητες και αυτά είναι :

1. Οξείδιο του Μαγνησίου (MgO) \rightarrow 6% . Όταν το μαγνήσιο ενωθεί με το νερό διογκώνεται με αργές διαδικασίες και προκαλεί ρηγματώσεις στο σκυρόδεμα.
2. Γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) \rightarrow 5%. Το προσθέτουμε στο τσιμέντο για να ρυθμίσουμε τη ταχύτητα πήξεώς του. Κυρίως την επιβραδύνει.
3. Αλκάλια(K_2O , Na_2O) \rightarrow Αν προστεθούν σε μεγάλες ποσότητες αυξάνουν τη ταχύτητα πήξεως του τσιμέντου.

3.2.3 Τύποι τσιμέντων

Σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ EN 197-1 έχουμε τους εξής τύπους τσιμέντων :

- CEMITΣΙΜΕΝΤΟ ΠΟΡΤΛΑΝΤ: Προστίθεται δευτερεύον συστατικό μέχρι 5%
- CEMIIΣΥΝΘΕΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΠΟΡΤΛΑΝΤ: μπορεί να παράγεται με προσθήκη σκωρία υψικαμίνων, πυριτική παιπάλη, ποζολάνη φυσική ή ψημένη, ιπτάμενη τέφρα πυριτική ή ασβεστούχα, ασβεστόλιθο και συνδυασμό των παραπάνω. Είτε θα είναι σε ποσότητες 6-20% (τύπος Α) είτε σε 21-35% (τύπος Β)
- CEMIII ΣΚΩΡΙΟΤΣΙΜΕΝΤΟ: υπάρχει είτε σε ποσοστό 36-65% (τύπος Α) είτε σε 66-80% (τύπος Β) είτε σε 81-95% (τύπος Γ)
- CEMIV ΠΟΖΟΛΑΝΙΚΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ: είναι ποζολανικό και παράγεται με πυριτική παιπάλη, ή ποζολάνη ή ιπτάμενη τέφρα ή με συνδυασμό όλων αυτών.

- CEMV ΣΥΝΘΕΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ: πρέπει να περιέχει σκωρία υψικαμίνων και συνδυασμό ποζολάνης και πυριτικής ιπτάμενης τέφρας.

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με το κανονισμό τσιμέντων Π.Δ 244/29-2-80 τα τσιμέντα κατασκευάζονται με τους ακόλουθους τύπους:

- ΤΥΠΟΣ Ι ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΠΟΡΤΛΑΝΤ: προέρχεται από την άλεση Κλίνκερ με τις ελάχιστες προσθήκες όπως, γύψος (5%) και παιπάλη (3%)
- ΤΥΠΟΣ ΙΙ ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΠΟΡΤΛΑΝΤ ΜΕ ΠΟΖΟΛΑΝΕΣ: εκτός από τα προηγούμενα υλικά περιέχουν και ποζολάνη και δε πρέπει να ξεπερνά το 20%.
- ΤΥΠΟΣ ΙΙΙ ΠΟΖΟΛΑΝΙΚΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ ΠΟΡΤΛΑΝΤ: περιέχουν αδιάλυτο υπόλειμμα (20-40%). Έχουν μικρότερη θερμότητα ενυδατώσεως και αυξημένη ανθεκτικότητα στη διάβρωση. Ικανοποιούν τη δοκιμή της ποζολανικότητας .
- ΤΥΠΟΣ ΙV ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΠΟΡΤΛΑΝΤΑΝΘΕΚΤΙΚΟ ΣΕ ΘΕΙΙΚΑ ΑΛΑΤΑ .

Η αντιστοιχία των παλιών τύπων τσιμέντου με τους καινούριους είναι:

ΠΑΛΑΙΟΣ ΤΥΠΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	ΝΕΟΣ ΤΥΠΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ
II / 35	CEM II 32,5
I / 45	CEM I 42,5
II/45	CEM II 42,5

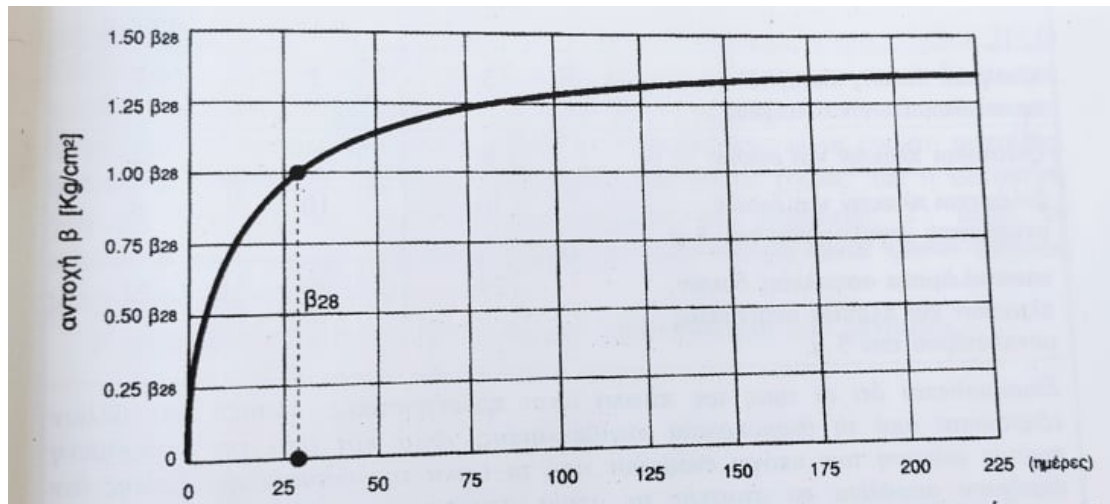
Πίνακας Π 2.8: Τύποι τσιμέντων.

Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται κυρίως ο τύπος CEM II 32,5 ή CEM IV 32,5(κοινό) και τα τσιμέντα τύπου CEM I 32,5 και CEM I 42,5 (καθαρό). Οι κατηγορίες χαμηλής αντοχής 32,5 διατίθενται σε σάκους και χύδην ενώ οι υψηλότερες αντοχές μόνο χύδην με σιλοφόρα οχήματα από το εργοστάσιο στα σιλό των εργοταξίων ή εργοστασίων παραγωγής σκυροδέματος .

3.2.4 Ενυδάτωση σκυροδέματος

Το πόσο θα πήξει και θα σκληρύνει το σκυρόδεμα οφείλεται στη χημική δράση του νερού με το τσιμέντο. Η διαδικασία της ένωσης των συστατικών του τσιμέντου με το νερό ονομάζεται **ενυδάτωση του τσιμέντου** .

Αρχικά, το μείγμα δεν παρουσιάζει καμία μεταβολή. Στην πορεία όμως αρχίζει να πήζει προοδευτικά μέχρι να στερεοποιηθεί. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται πήξη της τσιμεντοκονίας.



Σχήμα 2.6: Καμπύλη αναπτύξεως της αντοχής με το χρόνο.

Σε σπάνιες περιπτώσεις μετά την ανάμιξη του τσιμέντου με το νερό μπορεί να εμφανιστεί σκλήρυνση του μείγματος η οποία δεν οφείλεται στην ενυδάτωση των συστατικών του. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ψευδόπηξη**. Συνήθως αυτό οφείλεται στη δράση του γύψου. Η ψευδόπηξη μπορεί να ανασταλεί με την επαναδόνηση του μίγματος.

3.2.5 Πρόσμικτα υλικά

Τα κύρια συστατικά είναι η ποζολάνη, η ιπτάμενη τέφρα και ο ασβεστόλιθος .

Τα δευτερεύοντα συστατικά μπορεί να είναι επιλεγμένα ανόργανα φυσικά ορυκτά ή ανόργανα υλικά που προκύπτουν κατά τη διαδικασία παραγωγής του κλίνκερ ή ένα από τα υλικά που περιγράφονται στα κύρια συστατικά.

3.2.6 Ιδιότητες Τσιμέντου

3.2.6.1 Μηχανικές

a) Αντοχή σε θλίψη και κάμψη

Γίνεται σε δοκίμια 40x40x160mm, σε κονίαμα με πρότυπη πυριτική άμμο. Τα όρια των αντοχών πρέπει να καλύπτονται με ασφάλεια :

- 95% για τις ελάχιστες τιμές των 2,5,28 ημερών
- 90% για τις μέγιστες τιμές των 28 ημερών

Κατηγορία αντοχής	Αντοχή σε θλίψη				Χρόνος αρχής - πήξης min	Σταθερότητα όγκου (Διαστολή) mm
	Πρώιμη αντοχή		Τυπική αντοχή			
	2 ημέρες	7 ημέρες	28 ημέρες			
32,5 N	-	≥ 16,0	≥	≤	≥ 75	≤ 10
32,5 R	≥ 10,0	-	32,5	52,5		
42,5 N	≥ 10,0	-	≥	≤	≥ 60	
42,5 R	≥ 20,0	-	42,5	62,5		
52,5 N	≥ 20,0	-	≥	-	≥ 45	
52,5 R	≥ 30,0	-	52,5	-		

Πίνακας Π 2.9: Μηχανικές και φυσικές απαιτήσεις οριζόμενες ως χαρακτηριστικές τιμές σύμφωνα με το πρότυπο EN 197 – 1.

3.2.6.2 Φυσικές

Κανονικός τσιμεντοπολτός ονομάζεται ο τσιμεντοπολτός που παρουσιάζει μια συγκεκριμένη συνεκτικότητα η οποία μετράται με τη συσκευή VICAT.

a) Προσδιορισμός του χρόνου πήξεως του τσιμέντου .

Σύμφωνα με τη συσκευή VICAT καθορίζεται η αρχή και το τέλος της πήξεως.

Κατηγορία αντοχής	Ελάχιστος χρόνος πήξεως
32,5	75min +
42,5	60 min +
52,5	45 min +

b) Σταθερότητα όγκου

Ελέγχεται με τη συσκευή LeChatelier. Η εμφύσηση του τσιμεντοπολτού σε νερό σε θερμοκρασία βρασμού πρέπει να είναι μικρότερη από 10mm.

c) Λεπτότητα αλέσεως

Προσδιορίζεται αρχικά με κοσκίνισμα και μετά με τη συσκευή Blaine.

3.2.6.3 Χημικές

- a) Απώλεια πυρώσεως

Δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5% για τους τύπους CEM I , CEM III

- b) Αδιάλυτο υπόλειμμα

Δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5% στους τύπους CEM I , CEM III

- c) Προσδιορισμός διαφόρων οξειδίων .
d) Δοκιμή ποζολανικότητας.

3.2.7 Ποιοτικός έλεγχος τσιμέντου κατά την παραγωγή

Η βελτίωση της ποιότητας και η μείωση του κόστους επιτυγχάνεται με τον ποιοτικό έλεγχο. Υπάρχει σύγχρονος εξοπλισμός πλέον που μας επιτρέπει την γρήγορη παρακολούθηση της ποιότητας των υλικών κατά τη διάρκεια παραγωγής του τσιμέντου .

Πριν την ανάμειξη των υλικών ή μετά τους τροφοδότες των μύλων μπορεί να εγκατασταθεί αναλυτής όπου θα αναλύει το υλικό που βρίσκεται πάνω στην ταινία. Οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιούνται με αναλυτή ακτινών X σε δείγματα με μορφή σκόνης. Με το κατάλληλο λογισμικό το οποίο αναλαμβάνει τους υπολογισμούς για τη σύνθεση φαρίνας γίνεται η πιο σημαντική βελτίωση. Με μορφή ηλεκτρονικής εντολής μεταφέρονται στους τροφοδότες τα ποσοστά των πρώτων υλών.

Με τη νέα τεχνολογία μειώνονται οι αποκλίσεις και η σταθεροποίηση του τελικού υλικού που αποτελεί σημαντικό παράγοντα για το τελικό χρήστη του τσιμέντου ή του σκυροδέματος.

3.3 ΝΕΡΟ

Η καταλληλότητα του νερού για τη σύνθεση σκυροδέματος εξαρτάται κυρίως από την προέλευσή του. Νερό που έχει αποδειχθεί ότι είναι πόσιμο, θεωρείται κατάλληλο και δεν χρειάζεται επιπλέον έλεγχο. Νερό που προέρχεται από υπόγειες πηγές και νερό που ανακτάται από τις διάφορες διεργασίες στη μονάδα παραγωγής σκυροδέματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο εφόσον ελεγχθεί και διαπιστωθεί ότι πληρούνται οι απαιτήσεις του προτύπου EN 1008. Απαγορεύεται η χρήση νερού που προέρχεται από αποχετεύσεις και βιομηχανικά απόβλητα μπορεί να είναι κατάλληλο αλλά πρέπει να ελεγχθεί. Το θαλασσινό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνθεση σκυροδέματος χωρίς οπλισμό (άοπλο σκυρόδεμα) αλλά γενικά δεν είναι κατάλληλο για οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα.⁵

⁵ ΚΤΣ 16 ΣΕΛ 104

4 Δειγματοληψία εργοταξιακού σκυροδέματος

Πριν την έναρξη της δειγματοληψίας απαραίτητη προϋπόθεση είναι η παρουσία του επιβλέποντα μηχανικού οποίος έχει τον πλήρη έλεγχο όσο αναφορά τη συγκέντρωση των υλικών, τον έλεγχο δελτίων ποιότητας των υλικών, την επίβλεψη των δοκιμών, τη μεταφορά, τη διάστρωση και τη συντήρηση αυτών, δηλαδή έχει το πλήρη έλεγχο σε όλα τα στάδια της κατασκευής του έργου. Η παραγωγή του εργοταξιακού σκυροδέματος γίνεται από τον κατασκευαστή του έργου ή τον εργολάβο.

Ένα μήνα πριν από την έναρξη της κατασκευής θα πρέπει να έχει γίνει συγκέντρωση των αδρανών υλικών με τις ανάλογες ποσότητές τους. Σε διαφορετικές μέρες θα πρέπει να κατασκευαστούν δοκιμαστικά αναμίγματα (15 – 35) και ο αριθμός τους θα πρέπει να συμφωνεί με τον παρακάτω πίνακα:

Αριθμός αναμιγμάτων	Συντελεστής πολλαπλασιασμού
15	1,19
20	1,11
25	1,06
30	1,03
35+	1,00

Πίνακας Π 3.1: Συντελεστής διόρθωσης της τυπικής απόκλισης.

Αν ο αριθμός αναμιγμάτων δεν συμφωνεί με τον παραπάνω πίνακα τότε, ο συντελεστής διόρθωσης υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή. Κατά τις δοκιμές πριν την τελική παρασκευή του σκυροδέματος μπορεί να περιέχεται μέσα σε κάθε ανάμιγμα μικρότερη ποσότητα σκυροδέματος αλλά όχι μικρότερη από το μισό της τελευταίας παρασκευής. Για την αντοχή σε θλίψη και σε κάθε άλλη δοκιμή που είναι απαραίτητη για την πιστοποίηση του σκυροδέματος, θα γίνεται ένα ζευγάρι για το καθένα με αποτέλεσμα να έχουμε δύο ομάδες 15 – 35 δοκίμια για θλίψη όπου η μία ομάδα θα ελεγχθεί στις 7 ημέρες και η άλλη στις 28 ημέρες. Από τα δοκίμια που θα γίνει ο έλεγχος σε θλίψη στις 28 ημέρες θα υπολογιστεί:

- ο μέσος όρος των αντοχών σε θλίψη ο οποίος πρέπει να υπερβαίνει την τιμή της χαρακτηριστικής αντοχής κατά 6-12 N/mm²
- η τυπική απόκλιση s
- Η τυπική απόκλιση s_{π} όπου υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο :

$$S_{\pi} = s * \hat{\iota} \text{ συντελεστή διόρθωσης της τυπικής απόκλισης}$$

- Άλλα στοιχεία που αφορούν τα δοκίμια που έσπασαν στις 28 ημέρες .

Στην περίπτωση που η S_p διαφέρει από την τυπική απόκλιση s , σημαίνει πως η χαρακτηριστική αντοχή δε διαφέρει από 7 N/mm² από εκείνη της κατηγορίας του

σκυροδέματος, οπότε πρέπει να υπολογιστεί η απαιτούμενη αντοχή σχεδιασμού f_{as} με τον παρακάτω τύπο:

$$f_{as} = f_{ck} + k * s \quad (1)$$

Όπου k = συντελεστής που καθορίζει το περιθώριο της αντοχής πέραν της f_{ck} . Πρέπει $k \geq 2$. Αν υπάρχει κάτι διαφορετικό τότε η πιθανότητα απόκλισης της αντοχής σχεδιασμού του σκυροδέματος είναι μεγάλη.

Στην περίπτωση που η τυπική απόκλιση μετά τον πολλαπλασιασμό με τον συντελεστή του παραπάνω πίνακα έχει τιμή μικρότερη από 3 N/mm^2 τότε στον τύπο (1) εισάγεται η τιμή $s = 3 \text{ N/mm}^2$

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν στοιχεία τυπικής απόκλισης ή αυτά που υπάρχουν είναι λιγότερα των 15 αποτελεσμάτων ή αν η χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος διαφέρει περισσότερο από 7 N/mm^2 από εκείνη της κατηγορίας του σκυροδέματος τότε, στον τύπο (1) εισάγουμε τη τιμή $s = 5 \text{ N/mm}^2$ κατά τη χρήση θραυστών αδρανών και η τιμή $s = 6 \text{ N/mm}^2$ κατά τη χρήση συλλεκτών αδρανών.

4.1 Έλεγχος σκυροδέματος για αντοχή σε θλίψη

Ανάλογα το είδος του σκυροδέματος θα ελέγχεται με συμβατικά δοκίμια κυβικά ($15*15*15 \text{ cm}$) ή κυλινδρικά διαμέτρου 15 cm και ύψους 30 cm . Η λήψη του δοκιμίου και η ώρα λήψης πρέπει να αναφέρονται στο δελτίο αποστολής το οποίο υπογράφεται από τον εκπρόσωπο ή τον παραγωγό του και στο έντυπο παραλαβής σκυροδέματος το οποίο υπογράφεται από τον μηχανικό που επιβλέπει τη διαδικασία. Για εργοταξιακό σκυροδέμα τα δοκίμια λαμβάνονται στη θέση διάστρωσης ενώ για το εργοστασιακό σκυροδέμα τα δοκίμια λαμβάνονται στη θέση παράδοσής τους.

Με βάση τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος 2016 ο έλεγχος αντοχής δοκιμίων γίνεται στις 28 ημέρες από την ημερομηνία σκυροδέτησής τους εκτός ειδικών περιπτώσεων που μπορεί να γίνει θραύση στις 7 ημέρες, 14 ημέρες και μετά στις 28 ημέρες. Συνίσταται συνήθως η λήψη περισσότερων δοκιμίων από τα απαιτούμενα κατά τη σκυροδέτηση ώστε σε περίπτωση ελαττωματικών δοκιμίων να μπορεί να αντιμετωπιστεί. Αν φυσικά κατά το άνοιγμα των μητρών δεν υπάρχει κανένα ελαττωματικό δοκίμιο τότε, τα έξτρα δοκίμια δεν χρησιμοποιούνται. Μπορούμε όμως με αυτά να κάνουμε έλεγχο αντοχής σε μικρές ηλικίες δηλαδή, σε λιγότερες από 28 ημέρες από την ημερομηνία σκυροδέτησής τους όπως αναφέρεται παραπάνω.

4.1.1 Εργοστασιακό σκυροδέμα με πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής

Η χρήση του εργοστασιακού σκυροδέματος συνίσταται σε έργα σημαντικών απαιτήσεων ή ιδιαίτερης σπουδαιότητας. Η μέση τιμή των αποτελεσμάτων αντιπροσωπεύει την αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος.

Δείγμα, ονομάζεται η ελάχιστη ποσότητα σκυροδέματος που έχει ληφθεί. Το ελάχιστο πλήθος των δειγμάτων που λαμβάνονται σε κάθε σκυροδέτηση καθορίζεται από την ποσότητα του φορτίου και τα κυβικά της σκυροδέτησης που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΑΡΤΙΔΑΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΠΛΗΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ
Παρτίδα μέχρι 2 φορτία	2
Παρτίδα μεταξύ 2 φορτίων και 50 m ³	3
Παρτίδα μεταξύ 50 m ³ και 300 m ³	6
> 300 m ³	3

Πίνακας Π 3.2: Ελάχιστο πλήθος δειγμάτων που λαμβάνεται ανά παρτίδα.

Στην περίπτωση που τα κυβικά της σκυροδέτησης ξεπερνάνε τα 300 m³ τότε χωρίζεται σε παρτίδες των 50 m³ και θα ελέγχονται με ελάχιστο πλήθος δειγμάτων 3.

Η αντοχή σε θλίψη κάθε δείγματος υπολογίζεται από τη μέση τιμή των αντοχών σε θλίψη των δοκιμίων που ελέγχονται στις 28 ημέρες. Αν το εύρος (R) των τιμών των αντοχών ξεπεράσει το 15% της μέσης τιμής τους τότε, θα πρέπει να παραβλέπονται τα αποτελέσματα εκτός αν υπάρξει αποδεκτός λόγος μέσω έρευνας που να δικαιολογεί την απόκλιση.

Στην περίπτωση που ο μηχανικός επιθυμεί να ελέγξει αν η ποσότητα σκυροδέματος που θα χρησιμοποιήσει για τον έλεγχο ανήκει στον ίδιο πληθυσμό με το σκυρόδεμα που έχει πιστοποιηθεί, ο έλεγχος αυτός ονομάζεται εξωτερικός έλεγχος και δεν είναι υποχρεωτικός.

4.1.2 Εργοστασιακό σκυρόδεμα χωρίς πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής

Για τη συγκεκριμένη κατηγορία του σκυροδέματος ο μηχανικός είναι υποχρεωμένος να κάνει έλεγχο συμμόρφωσης του σκυροδέματος κατά τη παραλαβή κάθε παρτίδας. Η παρτίδα αποτελείται από 6 δοκίμια. Αν η ποσότητα της δειγματοληψίας είναι μεγαλύτερη των 150 m³ τότε χωρίζεται σε περίπου ίσες παρτίδες με 6 δοκίμια η κάθε δειγματοληψία.

Από τυχαίο φορτίο λαμβάνεται το πολύ ένα δείγμα του οποίου η ώρα λήψης και η ίδια η λήψη θα αναγράφονται στο δελτίο αποστολής. Αν η σκυροδέτηση συμπληρώνεται με λιγότερο από 6 δοκίμια τότε επιτρέπεται η λήψη περισσότερων δειγμάτων ώστε να συμπληρωθεί ο αριθμός των 6 δειγμάτων.

Για τον έλεγχο της θλιπτικής αντοχής χρησιμοποιούμε 2 κριτήρια. Αυτά είναι τα εξής:

Αριθμός Δειγμάτων	Κριτήριο 3 (MPa)	Κριτήριο 4 (MPa)
	Μέση αντοχή σε θλίψη 6 δειγμάτων f_6 (MPa)	Αντοχή σε θλίψη κάθε δείγματος f_i (MPa)
6	$f_6 \geq f_{ck} + 1,60s_6$	$f_i \geq f_{ck} - 2$

Πίνακας Π 3.3: Κριτήρια ελέγχου αντοχής σε θλίψη.

Όπου S_6 είναι η τυπική απόκλιση της δειγματοληψίας και προκύπτει από τη σχέση:

$$S_6 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=6} (f_i - f_6)^2}{5}}$$

Αν η τιμή της τυπικής απόκλισης είναι μικρότερη από 1,5 MPa τότε στο κριτήριο 3 εισάγεται τιμή 1,5 MPa. Αν το κριτήριο 4 δεν ικανοποιείται από ένα μόνο δείγμα μιας δειγματοληψίας τότε η αντοχή του σκυροδέματος του φορτίου που έγινε λήψη αμφισβητείται. Αν δεν ικανοποιούνται τα δύο κριτήρια τότε αμφισβητείται η αντοχή της ελεγχόμενης παρτίδας και ακολουθεί πάλι η ίδια διαδικασία της δειγματοληψίας.

4.1.3 Εξωτερικός έλεγχος και κριτήρια συμμόρφωσης με πιστοποίηση ελέγχου

Από τυχαίο φορτίο λαμβάνεται το πολύ ένα δείγμα του οποίου η ώρα λήψης και η ίδια η λήψη θα αναγράφονται στο δελτίο αποστολής. Μπορούμε να πάρουμε και δύο δείγματα αν η σκυροδέτηση συμπληρώνεται με 1 φορτίο.

Για τον έλεγχο της θλιπτικής αντοχής χρησιμοποιούμε 2 κριτήρια. Αυτά είναι τα εξής:

Αριθμός Δειγμάτων	Κριτήριο 1 (MPa)	Κριτήριο 2 (MPa)
	Μέση αντοχή σε θλίψη n δειγμάτων f_n (MPa)	Αντοχή σε θλίψη κάθε δείγματος f_i (MPa)
2-3	$f_n \geq f_{ck} + 2$	$f_i \geq f_{ck} - 2,5$
6	$f_n \geq f_{ck} + 3,5$	$f_i \geq f_{ck} - 2,5$

Πίνακας Π 3.4: Κριτήρια ελέγχου αντοχής σε θλίψη.

Στην περίπτωση που δεν ικανοποιείται το κριτήριο 2 από ένα μόνο δείγμα τότε αμφισβητείται η αντοχή του σκυροδέματος του φορτίου που έγινε η λήψη του

δείγματος. Αν δεν ικανοποιούνται τα δύο κριτήρια τότε, αμφισβητείται η αντοχή της ελεγχόμενης παρτίδας και ακολουθεί πάλι η ίδια διαδικασία της δειγματοληψίας.

4.1.4 Εργοταξιακό σκυρόδεμα

Η παρτίδα αποτελείται από 12 δοκίμια τις 3 πρώτες μέρες η κάθε μία, ενώ οι δειγματοληψίες των επόμενων ημερών από 3 δείγματα και τα δοκίμια θα έχουν συνεχή αρίθμηση.

Για τις 3 πρώτες μέρες αν ο αριθμός των αναμιγμάτων ή των αυτοκινήτων μεταφοράς είναι μικρότερος από 12 τότε μπορούμε να πάρουμε ένα ή περισσότερα δοκίμια από τα αναμίγματα ή τα αυτοκίνητα μεταφοράς ώστε να συμπληρωθεί ο αριθμός των 12 δοκιμίων.

Κάθε δοκίμιο θα παίρνεται από διαφορετικό ανάμιγμα ή από διαφορετικό αυτοκίνητο μεταφοράς. Τα αναμίγματα ή το αυτοκίνητο μεταφοράς που θα γίνει η δειγματοληψία πρέπει να είναι τυχαία.

Για τον έλεγχο της θλιπτικής αντοχής χρησιμοποιούμε 2 κριτήρια για τις πρώτες τρεις μέρες. Αυτά είναι τα εξής:

Αριθμός Δειγμάτων	Κριτήριο 5 (MPa)	Κριτήριο 6 (MPa)
	Μέση αντοχή σε θλίψη 12 δειγμάτων f_{12} (MPa)	Αντοχή σε θλίψη κάθε δείγματος f_i (MPa)
12	$f_{12} \geq f_{ck} + 1,57s_6$	$f_i \geq f_{ck} - 3$

Πίνακας Π 3.5: Κριτήρια ελέγχου αντοχής σε θλίψη.

Όπου S_{12} είναι η τυπική απόκλιση της δειγματοληψίας και προκύπτει από τη σχέση:

$$S_{12} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=12} (f_i - f_{12})^2}{11}}$$

Επίσης, χρησιμοποιούνται 2 ακόμα κριτήρια για τον έλεγχο της θλιπτικής αντοχής μετά την τρίτη ημέρα διάστρωσης.

Αριθμός Δειγμάτων	Κριτήριο 7 (MPa)	Κριτήριο 8 (MPa)
	Μέση αντοχή σε θλίψη 36 δειγμάτων f_{36} (MPa)	Αντοχή σε θλίψη 3 δειγμάτων f_3 (MPa)
3	$f_{36} \geq f_{ck} + 1,70S_{60}$	$f_3 \geq f_{ck} + 1,83S_{60}$

Πίνακας Π 3.6: Κριτήρια ελέγχου αντοχής σε θλίψη.

Αν το κριτήριο 6 δεν ικανοποιείται τότε η αντοχή του σκυροδέματος του φορτίου όπου έγινε η λήψη του δείγματος αμφισβητείται. Στην περίπτωση που δεν ικανοποιούνται και τα δύο κριτήρια τότε η παρτίδα αμφισβητείται και ακολουθεί η ίδια διαδικασία.

4.2 Επανελέγχος σε σκληρυμένο σκυρόδεμα

Ελεγχόμενη περιοχή είναι ένα ή περισσότερα δομικά στοιχεία τα οποία προέρχονται από την ίδια παρτίδα. Μια ελεγχόμενη περιοχή περιλαμβάνει πολλά ξεχωριστά σημεία δοκιμής στα οποία έχουν ληφθεί πυρήνες.

Στην περίπτωση αμφισβήτησης ενός φορτίου σκυροδέματος από το τμήμα του έργου που διαστρώθηκε, θα λαμβάνονται 3 πυρήνες. Ο μέσος όρος των αντοχών των 3 πυρήνων αφού τον διαιρέσουμε με το 0,85 θα αντικαθιστά την αντοχή του δείγματος που προκάλεσε τον επανελέγχο. Αν ικανοποιούνται με την αντικατάσταση αυτή τα δύο κριτήρια ελέγχων τότε, η αντοχή που αμφισβητήθηκε θεωρείται πλέον ικανοποιητική.

Αν εξακολουθεί και δεν πληρεί τις προϋποθέσεις για να είναι ικανοποιητική η αντοχή του τότε θα πάρουμε 6 πυρήνες από τυχαίες θέσεις. Τα κριτήρια για τον έλεγχο είναι:

- a) $f_{min3} \geq 0,85f_{ck}$
- b) $f_{is} \geq 0,85(f_{ck} - 4)$

Αν πάλι τα κριτήρια δεν ικανοποιούνται τότε θεωρούμε ότι η ελεγχόμενη παρτίδα του σκυροδέματος θεωρείται ότι δεν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του κανονισμού και ακολουθούν περαιτέρω έλεγχοι για την επιβεβαίωση της κατηγορίας της αντοχής του σκυροδέματος και στη συνέχεια θα πρέπει να γίνει έλεγχος για τη φέρουσα ικανότητα του στοιχείου ή του φορέα αποκοπώντας πυρήνες. Αν αποδειχθεί ότι ο φορέας ή το στοιχείο δεν έχει την απαιτούμενη ικανότητα θα πρέπει να ενισχυθεί ή να καθαιρεστεί το τμήμα του φορέα ύστερα από στατική μελέτη και συμφωνίας των υπόλοιπων μελών.

5 Ιδιότητες Νωπού Σκυροδέματος

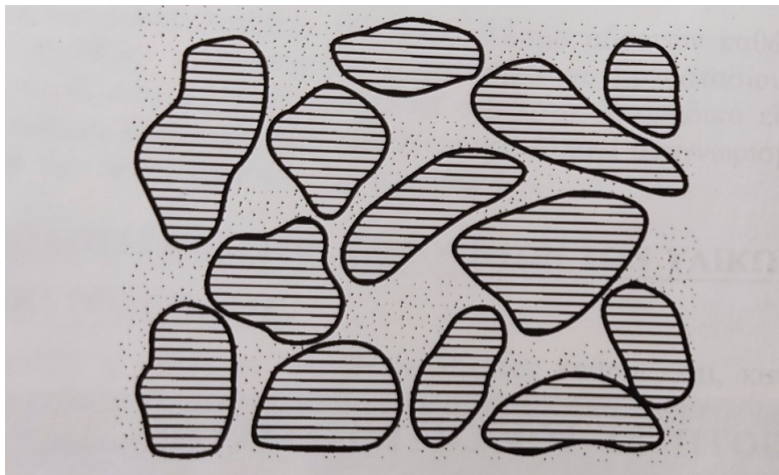
5.1 Εξίδρωση

Ονομάζεται το φαινόμενο διαχωρισμού του νερού από τα στερεά συστατικά του σκυροδέματος πριν τη πήξη. Αποτέλεσμα της εξίδρωσης είναι η μείωση του τελικού όγκου του μείγματος και η απομάκρυνση ενός μέρους νερού όπου αυξάνει την αντοχή. Ο διαχωρισμός των στερεών είναι επιβλαβές και ανεπιθύμητο καθώς λόγω της ανομοιογένειας προκαλεί τα παρακάτω:

- a) Κατά τη διάρκεια που το νερό ανεβαίνει προς τα πάνω παρασέρνει και το λεπτόκοκκο τμήμα του τσιμέντου.
- b) Κατά τη δίοδο του νερού στα στερεά συστατικά δημιουργούνται λεπτοί σωληνίσκοι μέσα στον τσιμεντοπολτό.
- c) Εκτός από τη πάνω επιφάνεια συγκεντρώσεις νερού εμφανίζονται και τοπικά στις κοιλότητες μεταξύ των σφύρων. Το ίδιο δημιουργείται και σε όλο το μήκος της ράβδου του οπλισμού όπου υπάρχει μείωση της επιφάνειας συνεργασίας μεταξύ του σκυροδέματος και του σίδηρου εξαιτίας των κενών που σχηματίζονται και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της διάβρωσης του οπλισμού.

5.1.1 Διαδικασία εξίδρωσης

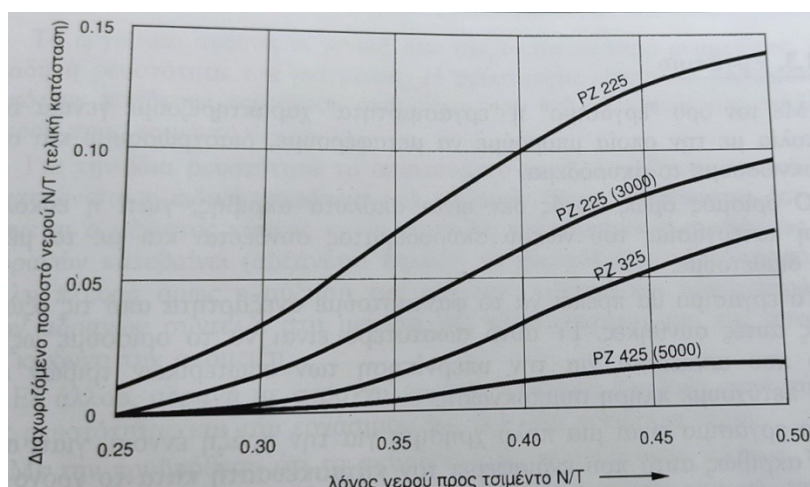
Τα στερεά υλικά καθιζάνουν εξαιτίας της βαρύτητας. Αντίθετα το νερό έχει τη τάση να ανεβαίνει προς τα πάνω εξαιτίας των τριχοειδή δυνάμεων. Έτσι, στην επιφάνεια του σκυροδέματος εμφανίζεται μια στρώση νερού όπου στο τέλος εξατμίζεται.



Εικόνα 4.1: Παράσταση εξίδρωσης.

Η διαδικασία εξίδρωσης επιτείνεται με την αύξηση του νερού αναμείξεως και με την έλλειψη λεπτόκοκκων τσιμέντου και άμμου καθώς διευκολύνεται η κίνηση του νερού προς τα πάνω.

Ανάλογα την ποιότητα τσιμέντου και τα πρόσμικτα που θα χρησιμοποιηθούν, το φαινόμενο της εξίδρωσης θα αυξάνεται ή θα μειώνεται. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η σχέση ποιότητας του τσιμέντου με το φαινόμενο αυτό.



Σχήμα 4.1: Σχέση ποιότητας τσιμέντου – εξίδρωσης.

5.2 Απόμειξη

Ονομάζεται το φαινόμενο όπου τα στερεά υλικά διαχωρίζονται μεταξύ τους με τα βαρύτερα να κινούνται προς τα κάτω και στο τέλος τακτοποιούνται σε στρώσεις ανάλογα το βάρος τους. Το φαινόμενο αυτό καταστρέφει την αντοχή και την ποιότητα του σκυροδέματος γιατί μεταβάλλει τις αναλογίες μείξεως με ανομοιόμορφο και απρόβλεπτο τρόπο. Το ίδιο καταστρεπτικό είναι και για τον οπλισμό.

5.3 Εργάσιμο

Εργάσιμο ή εργασιμότητα χαρακτηρίζεται η ευκολία που μπορούμε να μεταφέρουμε, να διαστρώσουμε και να συμπυκνώσουμε το σκυρόδεμα. Αν το σκεφτούμε ανεξάρτητα από τις εξωτερικές συνθήκες, σωστότερος ορισμός είναι το έργο που απαιτείται για την υπερνίκηση των εσωτερικών τριβών έως ότου καταφέρουμε πλήρη συμπύκνωση.

Ακολουθούν οι παρακάτω ιδιότητες του εργασίμου:

- **Ρευστότητα:** η ευκολία που ρέει ένα υλικό
- **Πλαστικότητα:** η ικανότητα του υλικού να παραμορφώνεται χωρίς διακοπή
- **Συνοχή:** το αποτέλεσμα των δυνάμεων που έλκουν τα μόρια του υλικού μεταξύ τους
- **Συμπυκνωσιμότητα:** η δυνατότητα του υλικού να συμπυκνωθεί ανάλογα τα κενά και τον αρχικό βαθμό συμπυκνώσεως
- **Συνεκτικότητα:** χρησιμοποιείται για την έκφραση άλλοτε του εργασίμου και άλλοτε της ρευστότητας.

Όσο αυξάνεται το νερό αναμείξεως αυξάνεται και το εργάσιμο, άρα και η ρευστότητα του μείγματος. Κρατώντας ίδια τη ρευστότητα ελαττώνεται το απαιτούμενο νερό και η επιφάνεια των αδρανών άρα και η καμπύλη κοκκομετρικής συνθέσεως. Αυξάνεται όμως ο μέγιστος κόκκος και τα χονδρόκοκκα υλικά με αποτέλεσμα να μειώνεται η πλαστικότητα και η συνοχή με κίνδυνο την απόμειξη. Αν το σκυρόδεμα συμπτκνωθεί τελείως τότε το εργάσιμο δεν επηρεάζει άμεσα την τελική αντοχή του σκυροδέματος.

Για τη μέτρηση του εργάσιμου υπάρχουν διάφορες μέθοδοι. Οι κυριότερες και συνηθέστερες στην Ελλάδα είναι :

- Δοκιμή κάθισης
- Μέτρο εξαπλώσεως
- Μέτρο συμπτκνώσεως
- Δοκιμή VEBE

5.3.1 Μέθοδοι μέτρησης εργάσιμου σκυροδέματος

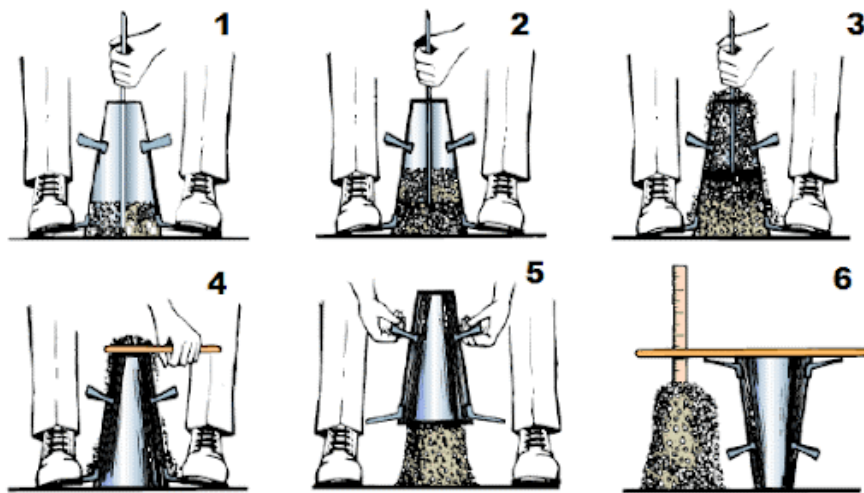
5.3.1.1 Δοκιμή κάθισης

Εκφράζεται με την απώλεια ύψους σε cm με μια κωνική στήλη νωπού σκυροδέματος όταν ανασυρθεί ο κώνος καθίσεως με τον οποίο μορφώθηκε.

Διαδικασία δοκιμής

Αρχικά τοποθετείται ο κώνος πάνω στη βάση και το χωνί πάνω στο κώνο. Γεμίζουμε με σκυρόδεμα το ένα τρίτο ($1/3$) του ύψους του κώνου και με τη βοήθεια της ράβδου συμπτκνώσεως συμπτκνώνουμε το σκυρόδεμα με 25 χτύπους κατανεμημένα σε όλη την επιφάνεια με σπειροειδή κίνηση ξεκινώντας από τη περίμετρο και καταλήγοντας στο κέντρο. Στη συνέχεια γεμίζουμε το κώνο ακόμα ένα τρίτο ($1/3$) άρα συνολικά έχουμε γεμίσει τα $2/3$ του κώνου με σκυρόδεμα και εκτελούμε την ίδια διαδικασία με τη μεταλλική ράβδο. Τέλος γεμίζουμε και το τελευταίο ένα τρίτο ($1/3$) οπότε έχουμε γεμίσει το κώνο πλήρως. Στη δεύτερη και τρίτη στρώση πρέπει να συμπτκνώσουμε με τη ράβδο μέχρι το κατώτατο σημείο της συμπτκνωμένης στρώσης και να μην εισχωρεί στη προηγούμενη παραπάνω από 1 – 2 cm. Ολοκληρώνοντας τη διαδικασία απομακρύνουμε το χωνί και επιπεδώνεται η επιφάνεια του σκυροδέματος στη κορυφή του κώνου με τη βοήθεια του κανόνα της επιπεδότητας ή με το μυστρί. Βγάζουμε τον κώνο με σταθερή κατακόρυφη κίνηση προς τα πάνω και αφήνουμε το σκυρόδεμα να καταρρεύσει. Μετράμε το ύψος από την επιφάνεια της βάσης μέχρι το ανώτατο σημείο του. Αυτή η τιμή είναι και η τιμή της κάθισης που έχουμε. Με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος του 2016 δίνονται ακολούθως:

Κατηγορία	Κάθιση (cm)
S1	1 – 4
S2	5 – 9
S3	10 – 15
S4	16 – 21
S5	≥ 22



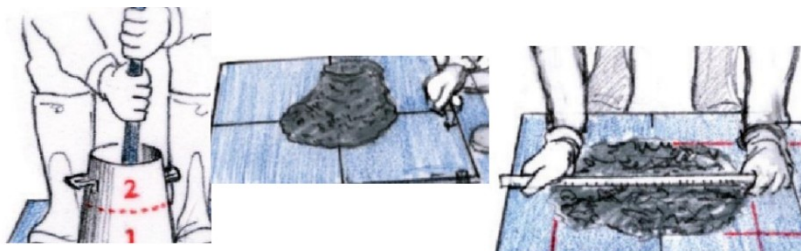
Εικόνα 4.2: Βήματα δοκιμής κάθισης.

5.3.1.2 Μέτρο εξαπλώσεως

Μεταλλικός τύπος που έχει τη μορφή της παράπλευρης επιφάνειας κώλου κώνου το οποίο γεμίζεται με σκυρόδεμα και συμπυκνώνεται. ο τύπος με το σκυρόδεμα τοποθετείται στη τράπεζα εξαπλώσεως όπου ανυψώνεται και πέφτει ελεύθερα με τρόπο που μεταδίδει τις κρούσεις στη μάζα του σκυροδέματος. Με την αφαίρεση του κώνου η βάση πραγματοποιεί αναγκαστικά ορισμένο αριθμό κρούσεων ώστε να απλωθεί το σκυρόδεμα εκτός της αρχικής κάθισης. Εμείς στη συγκεκριμένη δοκιμή μετράμε τη μέση διάμετρο της μάζας του σκυροδέματος. Με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος του 2016 δίνονται ακολούθως:

Κατηγορία	Διάμετρος εξάπλωσης (mm)
F1	≤ 340
F2	350-410
F3	420 – 460

F4	490 – 550
F5	560 – 620
F6	≥ 630



Εικόνα 4.3: Βήματα δοκιμής εξάπλωσης.

5.3.1.3 Μέτρο συμπίκνωσης

Το σκυρόδεμα εισάγεται χωρίς καμία συμπίκνωση σε μεταλλικό δοχείο 20x 20 x 40cm. Μόλις γεμίσει το δοχείο δονείται μέχρι να συμπίκνωθεί τελείως. Ο λόγος του αρχικού ύψους ως προς το τελικό (40/h) χαρακτηρίζεται ως η τιμή του μέτρου συμπίκνωσης. Με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος του 2016 δίνονται ακολούθως:

Κατηγορία	Βαθμός συμπίκνωσης
Co	≥ 1,46
C1	1,45 - 1,26
C2	1,25 - 1,11
C3	1,10 - 1,04

5.3.1.4 Δοκιμή VEBE

Αποτελείται από έναν κώνο παρόμοιο με τον κώνο καθίσεως τοποθετημένο μέσα σε άλλο κυλινδρικό δοχείο μεγαλύτερης διαμέτρου και μια τράπεζα δόνησεως. Μετά την αφαίρεση του κώνου το σκυρόδεμα κάθετα και ταυτόχρονα υποβάλλεται σε δόνηση και συμπυκνώνεται παίρνοντας τη μορφή του εξωτερικού κυλινδρικού δοχείου.

Ο χρόνος από τη στιγμή της απομάκρυνσης του κώνου και της ταυτόχρονης έναρξης της δόνησης έως την πλήρη επιπεδότητα της άνω επιφάνειας ονομάζεται χρόνος VEBE. Με το Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος του 2016 δίνονται ακολούθως:

Κατηγορία	Χρόνος VEBE (sec)
Vo	≥ 31
V1	30-20
V2	20-11
V3	10-6
V4	5-3

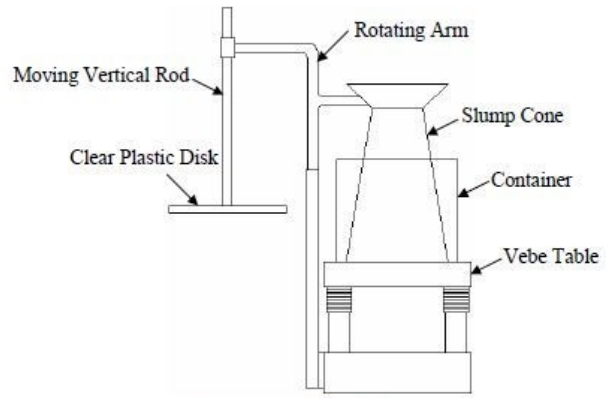


Figure 10: Vebe Consistometer

Εικόνα 4.4: Συσκευή VEBE

6 Ιδιότητες σκληρυμένου σκυροδέματος

Ιδιότητες Στερεού Σκυροδέματος

- Αντοχή σε εξωτερικές δυνάμεις
- Ελαστική και πλαστική συμπεριφορά
- Συστολή και διαστολή
- Ερπυσμός
- Πορώδες
- Υδαταπορροφητικότητα και υδατοπερατότητα
- Θερμοαγωγιμότητα
- Θερμοδιαστολή
- Ανθεκτικότητα

6.1 Αντοχή σε εξωτερικές δυνάμεις

Ορισμός 1: ονομάζεται η μέγιστη τιμή της δύναμης που μπορεί να παραληφτεί και να μεταβιβαστεί από ένα τμήμα του υλικού στο γειτονικό χωρίς καταστροφή ή κάποια παραμόρφωση που να χαρακτηρίζεται επικίνδυνη.

Ορισμός 2: χαρακτηρίζεται ως η ικανότητα του υλικού να αναλαβαίνει και να μεταβιβάζει δυνάμεις με οριακή τιμή τον ορισμό 1.

Για την αντοχή του σκυροδέματος ισχύουν οι παρακάτω πίνακες:

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΑΘΙΣΗΣ	Κάθιση (mm)
S1	10-40
S2	50-90
SE	100-150
S4	160-210
S5	≥220

Πίνακας Π 5.1 : Κατηγορίες κάθισης⁶

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	Χρόνος Vebe sec
V0	>31
V1	30-21
V2	20-11
V3	10-6
V4	5-3

Πίνακας Π 5.2 : Χρόνος Vebe

⁶ Η απαιτούμενη κάθιση στρογγυλεύεται στα πλησιέστερα 10 mm

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	Βαθμός συμπυκνώσεως
C0	>1,46
C1	1,45 – 1,26
C2	1,25 – 1,11
C3	1,10 – 1,04

Πίνακας Π 5.3: Βαθμός συμπυκνώσεως

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΑΘΙΣΗΣ	Μέτρο εξαπλώσεως mm
F1	<340
F2	350-410
F3	420-480
F4	490-550
F5	560-620
F6	>630

Πίνακας Π 5.4: Μέτρο εξαπλώσεως

Η αντοχή εξαρτάται από τη φύση, την ποιότητα του υλικού και τη μορφή της εντατικής κατάστασης. Δεν χαρακτηρίζεται ως σταθερή ιδιότητα του υλικού αλλά χαρακτηρίζεται ως αντοχή συγκεκριμένου υλικού σε συγκεκριμένη εξωτερική καταπόνηση.

Οι παράγοντες που επιδρούν κατά την παρασκευή του σκυροδέματος όσο και στην μέτρηση της αντοχής είναι οι παρακάτω:

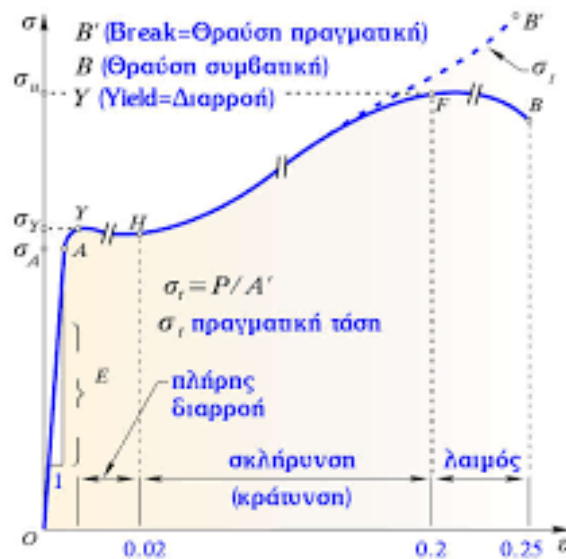
- Αναλογίες συνθέσεως (ποσότητα νερού, τσιμέντου, αδρανών υλικών)
- Ποιότητα υλικών
- Παρασιτικά υλικά
- Συμπύκνωση νωπού σκυροδέματος
- Ηλικία σκυροδέματος
- Συντήρηση σκυροδέματος
- Μορφή δοκιμίου
- Μορφή καταπονήσεως

Όλα τα παραπάνω μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στην τιμή της αντοχής του σκυροδέματος. Εντός της μάζας του σκυροδέματος μπορούν να υπάρξουν μικρορωγμές μεταξύ των κονιαμάτων και των αδρανών υλικών ακόμα και πριν από κάθε καταπόνηση. Αυτό οφείλεται στις συστολές της κονίας κατά την πήξη και από αυτές κατά την εξάτμιση του νερού και από κακή πρόσφυση μεταξύ κονιαμάτων και αδρανών υλικών. Οι ασυνέχειες αυτές παραμένουν σταθερές αφού ισχύει ότι το φορτίο είναι το 1/3 του φορτίου θραύσης. Με την αύξηση του φορτίου οι ρωγμές

επεκτείνονται πολύ γρήγορα έως το τελικό στάδιο, δηλαδή, την κατάρρευση του υλικού. Με την κατάρρευση του υλικού έχουμε το όριο διαρροής δηλαδή το σημείο της καμπύλης τάσεων – παραμόρφωσης όπου αρχίζει να οριζοντιώνεται. Πριν από την εμφάνιση της ρωγμής προηγείται αρχικά το στάδιο διάχυτης μικρο-ρηγματώσεως με συγκεκριμένη κατεύθυνση ρωγμών. Θεωρητικά η αντοχή συμπαγούς τσιμεντοκονίας χωρίς την ύπαρξη ρωγμής κυμαίνεται στα 10,5 GPa ή αλλιώς 10500 MPa.

Με τη θεωρία του A.A. Griffith δημιουργήθηκε η πρώτη εργαστηριακή κατασκευή, όπου εξισώνεται η ελαστική ενέργεια που απαιτείται για τη δημιουργία της ρωγμής με την ενέργεια των επιφανειακών τάσεων που αναπτύσσονται στην επιφάνεια της ρωγμής σε ένα στοιχειώδες τμήμα του υλικού. Έτσι προκύπτουν οι σχέσεις :

- $\sigma_{cr} = \sqrt{\left(\frac{2ET}{\pi C}\right)}$, η κρίσιμη τάση που απαιτείται για την δημιουργία της ρωγμής
- $C_{Cr} = \frac{2ET}{\pi \sigma^2}$, το κρίσιμο μήκος της ρωγμής



Σχήμα 5.1: Συμβατικό διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων.

Με την ύπαρξη δύο αδρανών με διαφορετικά μέτρα ελαστικότητας αλλάζει η κατάσταση και γίνεται αρκετά πιο δύσκολη.

Η ρωγμή συνεχίζεται (εντός του αδρανούς ή παράπλευρα) ή σταματάει με τη συνάντησή της με το αδρανές υλικό.

6.1.1 Μορφές αντοχής σκυροδέματος

Ανάλογα με την καταπόνηση οι αντοχές του σκυροδέματος διαφέρουν. Οι μορφές αυτές είναι:

- Στατική
- Πολυαξονική
- Μεγάλης διάρκειας
- Επαναλαμβανόμενη

6.1.1.1 Στατική Καταπόνηση

Κατά τη στατική καταπόνηση παρουσιάζονται οι εξής αντοχές: εφελκυστική, θλιπτική, διατμητική και καμπτικός εφελκυσμός.

Η θλιπτική αντοχή κυμαίνεται στις τιμές των 50kg/cm² και 600kg/cm². Για την παρασκευή κώνων αγκυρώσεως κατασκευάζονται σκυροδέματα με μεγαλύτερες αντοχές. Αντίστοιχα η εφελκυστική αντοχή κυμαίνεται στις τιμές 1/10 – 1/15 της θλιπτικής αντοχής καθώς όταν αυξάνεται η εφελκυστική αντοχή αυξάνεται και η θλιπτική αντοχή. Οι δύο όμως αντοχές δεν είναι ανάλογες μεταξύ τους. όσο αυξάνονται οι αντοχές ο λόγος τους μειώνεται. ($\beta_{εφ}/\beta_{θλ}$). Η εφελκυστική αντοχή είναι πιο ευαίσθητη στη συντήρηση εξαιτίας της εξάρτησης που υπάρχει μεταξύ των ρωγμών και της ανοχής αυτής εντός του σκυροδέματος.

Η αντοχή σε καμπτικό εφελκυσμό είναι η διπλάσια λόγω της πλαστικότητας του υλικού και του μικρού όγκου της περιοχής δηλαδή που καταπονείται.

Η αντοχή σε διάτμηση εξαρτάται από τη μορφή της καταπόνησης. Στη περίπτωση ψαλιδισμού οι τιμές που κυμαίνονται είναι το ¼ της θλιπτικής αντοχής και παραπάνω από το διπλάσιο της αντοχής σε καμπτικό εφελκυσμό. Στη περίπτωση της στρέψης εξαρτάται από τη μορφή της διατομής και οι τιμές είναι 1 έως 2 φορές μεγαλύτερη της αντοχής σε απλό εφελκυσμό.

Για την εκτίμηση της εφελκυστικής αντοχής έχουμε τον παρακάτω τύπο:

$$\beta_{εφ} = c\beta_{θλ}^n$$

όπου $n = 2/3$ και για τη τιμή c χρησιμοποιούμε τον παρακάτω πίνακα

Μορφή εφελκυσμού	Min c	c	Max c
Εφελκυσμός σε κάμψη	0,86 / 0,76	1,07/0,98	1,28/1,20
Εφελκυσμός ρήξεως	0,48	0,59	0,70
Καθαρός εφελκυσμός	0,36	0,52	0,68

Πίνακας Π 5.5: Σχέση θλιπτικής και εφελκυστικής αντοχής

Με βάση το Κανονισμό Τεχνολογίας του Σκυροδέματος η τιμή της εφελκυστικής αντοχής δίνεται από τα παρακάτω ανάλογα τη χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος.

f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{ctk0.05}$	1,10	1,30	1,50	1,80	2,00	2,20	2,50	2,70	2,90
f_{ctm}	1,60	1,90	2,20	2,60	2,90	3,20	3,50	3,80	4,10
$f_{ctk0.95}$	2,00	2,50	2,90	3,30	3,80	4,20	4,60	4,90	5,30

Οι παραπάνω τιμές προκύπτουν από τη σχέση:

$$f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} \text{ (MPa)}$$

όπου το εύρος διακύμανσης υπολογίζεται : $0,7f_{ctm}$ έως $1,3f_{ctm}$.

Η σχέση σύνδεσης κάμψης – εφελκυσμού από διάρρηξη είναι η παρακάτω :

$$f_{ct} = 0,5f_{ct,fl} \text{ και } f_{ct} = 0,90f_{ct,sp}$$

όπου,

$f_{ct,sp}$: αντοχή σε εφελκυσμό

$f_{ct,fl}$: αντοχή από κάμψη

Για την καμπτική αντοχή έχουμε:

$$\frac{f_{cm}}{f_{ctk}} = \frac{f_{cmm}}{f_{ctm}} = 0,6 + \frac{0,4}{\sqrt[4]{h}} \geq 1$$

όπου,

h: το ύψος του στοιχείου σε m

c: σκυρόδεμα

t: εφελκυσμός

m: μέση τιμή και καμπτική αντοχή

k: χαρακτηριστική αντοχή

6.1.1.2 Πολυαξονική καταπόνηση

Στην πολυαξονική καταπόνηση του σκυροδέματος η θλιπτική αντοχή είναι αυξημένη και συνήθως η συμπεριφορά του σκυροδέματος δεν διαφέρει από τις υπόλοιπες των άλλων υλικών. Με εγκάρσια θλιπτική τάση η αντοχή είναι αυξημένη κατά 14 – 19% από τη μονοαξονική θλίψη. Για την μέγιστη αντοχή πρέπει η εγκάρσια θλιπτική τάση να είναι 0,5 – 0,6 της θλιπτικής. Στη περίπτωση αυτή η θλιπτική αντοχή είναι μεγαλύτερη κατά 24 – 29 % από τη μονοαξονική.

Η εγκάρσια εφελκυστική τάση μειώνεται με γρήγορους ρυθμούς κατά την αντίθετη διεύθυνση από αυτή της θλιπτικής. Σε περίπτωση που ισχύει το αντίθετο, δηλαδή στη περίπτωση που έχουμε παρουσία εφελκυστικών τάσεων, η τελική εφελκυστική αντοχή δεν επηρεάζεται.

6.1.1.3 Καταπόνηση μεγάλης διάρκειας

Στην περίπτωση αυτή η θλιπτική αντοχή μειώνεται. Τα πρώτα 30 – 60 λεπτά η μείωση αυτή είναι πολύ έντονη και στη συνέχεια ελαττώνεται ανάλογα με τη χρονική διάρκεια της καταπόνησης.

6.1.1.4 Επαναλαμβανόμενη καταπόνηση

Κόπωση υλικού ονομάζεται η πιθανή θραύση του υλικού με την επαναλαμβανόμενη καταπόνηση έχοντας το ίδιο φορτίο ή με μεταβολή της τάσης μεταξύ δύο ορίων σ_{\min} , σ_{\max} .

Για την ύπαρξη αστοχίας πρέπει η μέγιστη τάση πρέπει να υπερβαίνει το όριο κοπώσεως (0,65 – 0,70 της στατικής αντοχής), όπου αναφερόμαστε στην ύπαρξη μόνο θλιπτικών αντοχών.

Όταν η μέγιστη τάση δεν ξεπεράσει το όριο τότε παρατηρείται βελτιωτική συμπεριφορά στο υλικό, με αύξηση της αντοχής του έως και 10%.

Οι περιπτώσεις που θα εμφανίσει βελτιωτική συμπεριφορά είναι οι παρακάτω:

- Με την ελάττωση της μέγιστης και της ελάχιστης τάσης.
- Με το εύρος διακυμάνσεων των τάσεων $\sigma_{\max} - \sigma_{\min}$. Όσο μικρότερο είναι τόσο το καλύτερο για το υλικό.
- Στην περίπτωση που υπάρχει αύξηση τσιμεντοκονιάματος.
- Το σχήμα των χονδρόκκων πρέπει να είναι όσο πιο στρογγυλό γίνεται.

Με τη διακοπή της καταπόνησεως υπάρχει πιθανότητα ανάκτησης ενός μέρος της αντοχής του υλικού. Έτσι, το διάγραμμα τάσεως – παραμορφώσεως στο σημείο που

ξεκινάει η καμπύλη μετατρέπεται σε ευθύγραμμο και αργότερα σε κυρτό προς τον άξονα των τάσεων. Λίγο πριν τη θραύση η κύρτωση είναι ακόμα πιο έντονη. Παράλληλα, αυξάνονται και η ελαστική με τη πλαστική συμπεριφορά με την αύξηση των επαναλήψεων.

Η καταστροφή του σκυροδέματος κατά την καταπόνηση αυτή είναι βαθμιαία κατάλυση αδρανών με κονίαμα. Παράλληλα, αυξάνεται και η θερμοκρασία του σκυροδέματος.

Το φαινόμενο της κοπώσεως δεν αντιμετωπίζεται στις συνηθισμένες κατασκευές εφόσον το όριο είναι μεγαλύτερο από 0,65 της στατικής αντοχής ενώ οι επιτρεπτές τάσεις είναι 0,33 – 0,57 με συντελεστή ασφαλείας 1,75 – 3,00.

6.1.2 Χάλυβας με σκυρόδεμα

Η συνεργασία χάλυβα με σκυρόδεμα είναι πολύ σημαντική καθώς με τη συνεργασία αυτή έχουμε αποτελέσματα όπως συνάφεια, τριβή, αντοχή σε διάτμηση.

Αντοχή σε συνάφεια χαρακτηρίζεται η μέγιστη τιμή τάσεως όπου η μετακίνηση της ράβδου είναι μηδενική. Η χαρακτηριστική τιμή για τη περίπτωση αυτή είναι $\delta = 0,1$ mm. Η αντοχή σε συνάφεια εξαρτάται από τη κατεύθυνση, τη φορά και τη θέση της ράβδου εντός της διατομής. Είναι ανάλογη με την αντοχή σε θλίψη. Στην περίπτωση λείας ράβδου παράλληλης προς τη φορά της σκυροδετήσεως η χαρακτηριστική τιμή συνάφειας είναι περίπου 0,12βθλ., ενώ αν είναι κάθετη η τιμή αντιστοιχεί σε 0,04βθλ. Οι αντοχές έχουν τη τιμή 30 MPa περίπου.

Για τις ράβδους με νευρώσεις οι τιμές των αντοχών είναι: 0,30βθλ και 0,15βθλ, δηλαδή μεγαλύτερες κατά 2,5 – 3,5 φορές. Τονίζεται ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση με την αύξηση θερμοκρασίας του σκυροδέματος μειώνεται η αντοχή σε συνάφεια.

6.1.3 Η αντοχή με βάση το χρόνο

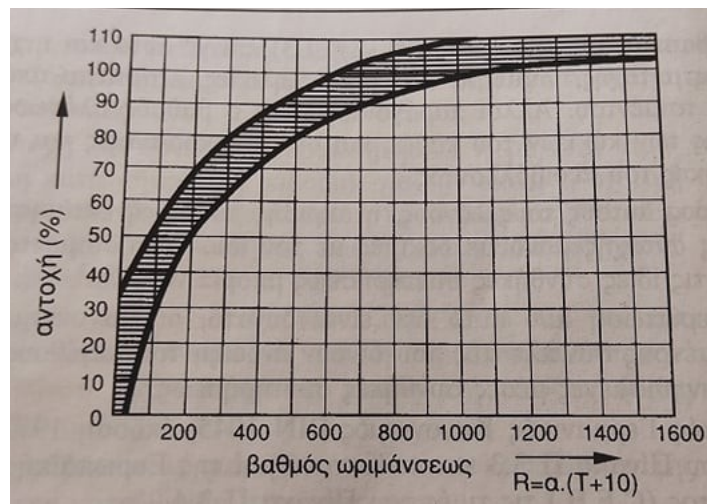
Η εξέλιξη της αντοχής του σκυροδέματος εξαρτάται από τη σύνθεση του τσιμέντου, το βαθμό αλέσεως, τις θερμοκρασίες και τις υγροστατικές συνθήκες του περιβάλλοντος. Σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της αντοχής έχει η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

$$R = a(T+10)^0$$

Όπου,

a = η ηλικία σε ημέρες του σκυροδέματος

T = η θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε °C



Σχήμα 5.2: Σχέση

και αντοχής.

ωρίμανσης

Ο παραπάνω τύπος μας δίνει την ωρίμανση του σκυροδέματος σε σχέση με τη θερμοκρασία και την ηλικία του.

6.1.4 Μέτρηση αντοχής.

Το σχήμα και οι διαστάσεις του δοκιμίου παίζουν καθοριστικό ρόλο για τη μέτρηση της αντοχής του σκυροδέματος. Παρακάτω περιγράφεται ο τρόπος παρασκευής, συντηρήσεως και μετρήσεως της αντοχής του σκυροδέματος. Η αντοχή αυτή ονομάζεται **συμβατική αντοχή**.

Στην περίπτωση που το σχήμα ή το μέγεθος αλλάξει για τη μέτρηση της αντοχής τότε το αποτέλεσμα πρέπει να αναχθεί στη συμβατική αντοχή αν υπάρχουν στοιχεία για τη μετατροπή αυτή. Αυτό όμως δεν αναιρεί το γεγονός ότι η αντοχή που βρήκαμε δεν είναι αναμφίβολη. Τα δοκίμια με μεγαλύτερες διαστάσεις συνήθως δίνουν μικρότερες αντοχές.

- Οι σχέσεις μεταξύ των αντοχών σε κύβων 10cm x 30cm προς την αντοχή κύβου πλευράς 20 cm είναι η παρακάτω:

$$\beta_{10} = 1,15 \times \beta_{20}$$

$$\beta_{30} = 0,90 \times \beta_{20}$$

- Στην περίπτωση χρήσης κυλινδρικών δοκιμίων διαμέτρου 15cm x 30cm η τιμή της αντοχής που χρησιμοποιούμε είναι μικρότερη από την αντοχή κύβου 20cm. Παρακάτω παρουσιάζονται οι σχέσεις :

$$\beta_{\text{κυλίνδρου}} = (0,75-0,90)\beta_{\text{κύβου}} \text{ με μέση τιμή } \beta_{\text{κυλίνδρου}} = 0,83\beta_{\text{κύβου}}$$

- Στην περίπτωση χρήσης κυλίνδρου με λόγο ύψους $1/d = 2$ η μετατροπή αντοχής σε αντοχή κυλίνδρου διαστάσεων 15/30 με διαστάσεις κυλίνδρου $d=10$ και $d=25$ αντίστοιχα :

$$\beta_{15/30} = (0,94 - 1,00)\beta_{10/20}$$

$$\beta_{15/30} = (1,00 - 1,10)\beta_{25/30}$$

- Στην περίπτωση χρήσης κυλίνδρου με λόγο ύψους $1/d < 2$ οι αμερικάνικοι κανονισμοί ASTM C42 παρέχουν τους παρακάτω συντελεστές με λόγο $1/d = 2$

$$1/d = 1,75 \quad \lambda = 0,99$$

$$1/d = 1,50 \quad \lambda = 0,97$$

$$1/d = 1,25 \quad \lambda = 0,94$$

$$1/d = 1,00 \quad \lambda = 0,91$$

$$\text{δηλαδή : } \beta = \lambda \times \beta$$

- Στην περίπτωση αποκοπής πυρήνων ή καρότα από το έργο εκτός από τη μετατροπή της αντοχής πρέπει να λάβουμε και υπόψη τις διαφορετικές συνθήκες κατά τη διάστρωση και τη συντήρηση του σκυροδέματος από τις συνθήκες παρασκευής, συντήρησης του κανονικού δοκιμίου και τη διαταραχή του δείγματος κατά την κοπή.

Όλα αυτά έχουν ως αποτέλεσμα μείωσης της αντοχής έως και 30%. Οι αμερικάνικοι κανονισμοί δέχονται τη μείωση της αντοχής των πυρήνων κατά 15% και 25% με τη συμβατική αντοχή.

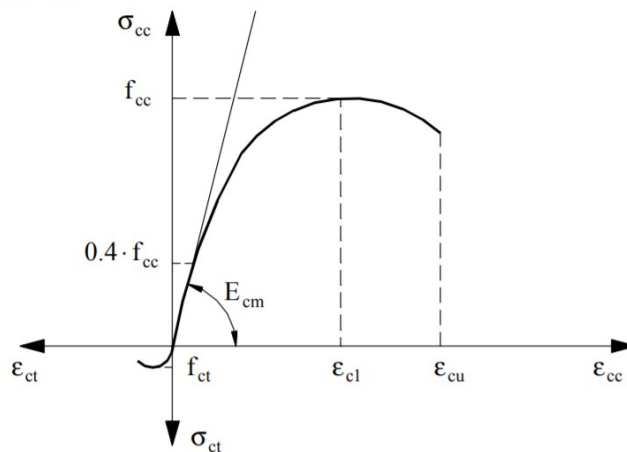
6.2 Ελαστική και πλαστική συμπεριφορά

Όλα τα υλικά που βρίσκονται στη φύση παραμορφώνονται όταν υποστούν εξωτερικές φορτίσεις. Η ιδιότητα που τείνουν να επιστρέψουν στην αρχική τους μορφή, μετά την αποφόρτισή τους, ονομάζεται **ελαστικότητα**. Είναι επομένως λογικό, κάθε υλικό να ανταποκρίνεται με διαφορετικό τρόπο σε διάφορους τύπους φορτίσεων. Τη συμπεριφορά ενός υλικού υπό φόρτιση, την αποτυπώνουμε και τη 'διαβάζουμε' με τη βοήθεια ενός διαγράμματος το οποίο φέρει στον άξονα χ τις παραμορφώσεις και στον άξονα ψ τις τάσεις που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια φόρτισής του.

6.2.1 Μέτρο ελαστικότητας

Το **μέτρο ελαστικότητας** E , εκφράζει τη φυσική αντίσταση του υλικού στην παραμόρφωση και συγκεκριμένα ισούται με τη θεωρητική εκείνη τάση η οποία μπορεί να επιβληθεί σε ένα δοκίμιο ώστε να διπλασιάσει το αρχικό του μήκος.⁷

⁷ Ορισμός από το βιβλίο 'Μηχανική παραμορφώσιμου στερεού' του Δρ. Παναγιώτη Α. Βουθούνη.



Σχήμα 5.3: Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος (c =θλίψη, t =εφελκυσμός)

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Ωπλισμένου Σκυροδέματος 2000, η μέση τιμή του μέτρου ελαστικότητας μπορεί να εκτιμηθεί με βάση την χαρακτηριστική αντοχή του από τη σχέση:

$$E_{cm} = 9.50 (f_{ck} + 8)^{\frac{1}{3}}$$

(όπου f_{ck} σε MPa και E_{cm} σε GPa)

Με βάση την παραπάνω σχέση, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50
E_{cm}	26	27,5	29	30,5	32	33,5	35	36	37

Πίνακας Π 5.6: Επιβατικό μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος σε GPa (πίνακας 2.2 ΕΚΩΤ)

6.3 Ερπυσμός

Έχει παρατηρηθεί ότι όταν στο σκυρόδεμα επιβάλλεται εξωτερική θλιπτική δύναμη η οποία δρα για μεγάλο χρονικό διάστημα, αυτό παρουσιάζει μια περαιτέρω συστολή, αυξάνει δηλαδή την παραμόρφωσή του που εξελίσσεται με αργό ρυθμό. Η σταδιακή αυτή παραμόρφωση, δημιουργεί εσωτερικές ρωγμές οι οποίες είναι επικίνδυνες καθώς δεν είναι ορατές. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ερπυσμός** και κάτι αντίστοιχο, συμβαίνει και στις άλλες περιπτώσεις καταπονήσεων.

$\varphi(t_{\infty}, t_0)$						
Ηλικία t_0 τη στιγμή της φόρτισης (ημέρες)	Ιδεατό μέγεθος 2Ac/u σε mm					
	50	150	600	50	150	600
	Ξηρές ατμοσφαιρικές συνθήκες εσωτερικού χώρου (RH=50%)			Υγρές ατμοσφαιρικές συνθήκες υπαίθρου (RH=80%)		
1	5.50	4.60	3.70	3.60	3.20	2.90
7	3.90	3.10	2.60	2.60	2.30	2.00
28	3.00	2.50	2.00	1.90	1.70	1.50
90	2.40	2.00	1.60	1.50	1.40	1.20
365	1.80	1.50	1.20	1.10	1.00	1.00

$\varepsilon_{cs}(t_{\infty}, t_0) \cdot 10^3$			
Θέση του στοιχείου	Σχετική υγρασία %	Ιδεατό μέγεθος 2Ac/u σε mm	
		≤ 150	≥ 600
Εσωτερικός χώρος	50	-0.60	-0.50
Υπαίθριος	80	-0.33	-0.28

RH=σχετική υγρασία
Ac είναι το εμβαδόν της διατομής του στοιχείου και u είναι η περίμετρος της διατομής σε επαφή με την ατμόσφαιρα
Στην περίπτωση κιβωτοειδούς διατομής ή διατομής με διάκενα της οποίας το εσωτερικό συγκοινωνεί με την ελεύθερη ατμόσφαιρα, το u θα περιλαμβάνει και την εσωτερική περίμετρο
Για ενδιάμεσα μεγέθη, μεταξύ 150 και 600 mm, μπορεί να γίνεται γραμμική παρεμβολή στις τιμές του Πίνακα.

Πίνακας Π 5.7: Τελικές τιμές του συντελεστή ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης σκυροδέματος. (πίνακας 2.3 ΕΚΩΣ, παρ. 2.5.4)

6.4 Πορώδες

Όπως οι φυσικοί λίθοι έτσι και το σκυρόδεμα δεν είναι υλικό εκατό τοις εκατό συμπαγές. Περιέχει ένα πλήθος από κενά ή πόρους, το οποίο ονομάζεται **πορώδες**. Τα κενά αυτά περιέχουν είτε αέρα είτε νερό και διακρίνονται σε κατηγορίες, ανάλογα με την προέλευσή τους.

- Πόροι που δημιουργούνται από τα αδρανή υλικά. Από τους κόκκους δηλαδή των σκύρων και της άμμου.
- Πόροι που δημιουργούνται από φυσαλίδες αέρα που εγκλωβίζονται στο σκυρόδεμα.
- Πόροι που δημιουργούνται από την εξάτμιση του νερού.
- Κενά που προκύπτουν από κακή συμπίκνωση του σκυροδέματος.

- Κενά που δημιουργούνται μεταξύ των αδρανών και του τσιμεντοκονιάματος είτε λόγω κακής πρόσφυσης μεταξύ αυτών, είτε λόγω συστολής του τσιμεντοκονιάματος.
- Τριχοειδή κενά που δημιουργούνται μετά από ρηγματώσεις μικρού μεγέθους, οι οποίες οφείλονται είτε σε συστολές του τσιμεντοκονιάματος είτε σε εξωτερικές καταπονήσεις.

Μεγέθη που χαρακτηρίζουν την έκταση του πορώδους είναι τα εξής:

- Το συνολικό πορώδες. Ο λόγος δηλαδή των κενών προς τον ολικό φαινόμενο όγκο.

$$\frac{V_{ολ} - V_s}{V_{ολ}} = \frac{\rho_s - \rho_\varphi}{\rho_s}$$

Όπου,

V_s : ο απόλυτος όγκος του υλικού

$V_{ολ}$: ο ολικός η φαινόμενος όγκος

ρ_φ : $W/V_{ολ}$ το φαινόμενο ειδικό βάρος

ρ_s : W/V_s το απόλυτο ειδικό βάρος

W: το βάρος

- Ο βαθμός συμπυκνώσεως.

$$\frac{V_s}{V_{ολ}} = \frac{\rho_\varphi}{\rho_s}$$

Το πορώδες για το σκυρόδεμα κυμαίνεται μεταξύ 8% και 25% και επηρεάζει τις ιδιότητές του όπως:

- Τη χρόνια συστολή του
- Τον ερπυσμό
- Την υδαταπορροφητικότητά του
- Την υδατοστεγανότητά του
- Την ανθεκτικότητά του στον παγετό
- Την αντοχή του

6.5 Θερμική αγωγιμότητα

Η θερμική αγωγιμότητα ενός υλικού χαρακτηρίζεται από τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ , ο οποίος εκφράζει την ποσότητα της θερμότητας που διέρχεται από τη μονάδα της επιφάνειας του υλικού, ανά μονάδα πάχους, σε μία ώρα και για διαφορά θερμοκρασίας 1°C .⁸

Για το σκυρόδεμα όπως και για τα υπόλοιπα υλικά, ο συντελεστής λ προκύπτει από τους συντελεστές που το συνθέτουν.

Το αντίστροφο του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ($\kappa=1/\lambda$), ονομάζεται συντελεστής θερμικής αντιστάσεως και δίνεται από τον τύπο:

$$K = d \cdot \kappa = \frac{d}{\lambda}$$

6.6 Θερμική διαστολή

Το σκυρόδεμα όπως και άλλα υλικά, με την αύξηση της θερμοκρασίας, έχει την ιδιότητα να διαστέλλεται. Αυξάνονται δηλαδή οι διαστάσεις του. Η διαστολή αυτή, χαρακτηρίζεται από έναν συντελεστή ο οποίος ονομάζεται **συντελεστής θερμοδιαστολής**

α.

Από τη στιγμή που ο συντελεστής της τσιμεντοκονίας είναι μεγαλύτερος από τον συντελεστή των αδρανών, ο συντελεστής θερμοδιαστολής του σκυροδέματος εξαρτάται από τις αναλογίες συνθέσεως των υλικών του. Οι τιμές ποικίλουν ανάλογα τα υλικά, αλλά ο Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος 2000 (ΕΚΩΤ 2000), μας δίνει μια μέση τιμή για το σκυρόδεμα, $\alpha = 10 \cdot 10^{-6}$ ανά $^{\circ}\text{C}$.⁹

⁸ Ορισμός από το βιβλίο 'Τεχνολογία του Σκυροδέματος' του Χρίστου Μ. Οικονόμου, Τρίτη έκδοση, παρ. 3.2.7

⁹ Πυριτικά αδρανή: $\alpha = (11-12) \cdot 10^{-6}$
Ασβεστολιθικά αδρανή: $\alpha = (3,5-6) \cdot 10^{-6}$
Σκυρόδεμα με ασβεστολιθικά αδρανή: $\alpha = (5,5-13) \cdot 10^{-6}$

7 Μελέτη Σύνθεσης Σκυροδέματος

Η θεωρητική δομή του σκυροδέματος δεν θα έχει την άριστη σύνθεσή του κατά την πρακτική δομή. Αυτό οφείλεται στην ‘τακτοποίηση’ των κόκκων η οποία είναι αδύνατη. Αν η θεωρητική δομή ήταν ίδια με την πρακτική δομή τότε, το σκυρόδεμα θα απαιτούσε εξαιρετικά μεγάλο έργο συμπυκνώσεως λόγω της συνεκτικότητας που θα είχε.

Πρακτικά, προσπαθούμε να πετύχουμε όσο το δυνατόν καλύτερο σκυρόδεμα μπορούμε όπου θα ικανοποιεί τις βασικές απαιτήσεις σε όλη τη μάζα του και συγκεκριμένες ιδιότητες που επιβάλλονται από τις απαιτήσεις της κατασκευής, τα διαθέσιμα υλικά και τα εργοταξιακά μέσα. Η εργασία αυτή ονομάζεται *μελέτη συνθέσεως*.

Με βάση τα παραπάνω, τα δεδομένα του προβλήματος είναι :

- a. Οι απαιτήσεις της κατασκευής
- b. Τα διαθέσιμα υλικά
- c. Τα εργοταξιακά μέσα
- d. Οι καιρικές / ειδικές συνθήκες

Ας αναλύσουμε το καθένα ξεχωριστά.

- a) Η απαίτηση της κατασκευής είναι η αντοχή του υλικού η οποία καθορίζεται από τη στατική της λειτουργία. Ανάλογα με τον προορισμό και τη λειτουργία του έργου να θέτουν και άλλες απαιτήσεις όπως:
 - Η εμφάνιση του σκυροδέματος
 - Η υδατοστεγανότητα
 - Η ανθεκτικότητα σε χημικές επιρροές
 - Μείωση ελκυσμένης θερμότητας
- b) Τα διαθέσιμα υλικά παρέχονται σε ομάδες όπως η άμμος, το γαρμπίλι και τα σκύρα όπου προσδιορίζουν τη βέλτιστη κοκκομετρική διαβάθμιση που μπορούμε να καταφέρουμε με την ανάμειξή τους. Το τσιμέντο και το νερό έχουν σταθερότερη ποιότητα. Η μορφή των κόκκων επηρεάζει την πρόσφυση και το εργάσιμο του υλικού και η υγρασία που περιέχεται, το νερό αναμίξεως και η αντοχή του πετρώματος επηρεάζουν την τελική αντοχή του σκυροδέματος που θέλουμε να πετύχουμε.
- c) Τα διαθέσιμα εργοταξιακά μέσα καθορίζουν την απαιτούμενη συνεκτικότητα του σκυροδέματος.

- d) Οι καιρικές συνθήκες επιβάλλουν ορισμένες επιπλέον απαιτήσεις για το νερό αναμίξεως ή για τα υλικά προσθήκης.

Οι απαιτήσεις αυτές από το κάθε ένα από τα παραπάνω οδηγούν στην εκλογή της συνθέσεως. Με μικρότερη ποσότητα τσιμέντου έχουμε οικονομία και μείωση συστολή. Με μικρότερη ποσότητα νερού υπάρχει αύξηση αντοχής. Όσο μεγαλύτερος δυνατός κόκκος αδρανών υπάρχει, τόσο αυξάνεται η αντοχή και ελατώνεται το κονίαμα.

Για να πετύχουμε τη μελέτη σύνθεσης που θέλουμε πρέπει να ακολουθήσουμε τα παρακάτω βήματα:

- Προσδιορισμός δεδομένων
- Προσδιορισμός απαιτήσεων κανονισμών
- Εκτίμηση συνθέσεως
- Εργαστηριακές δοκιμές

Το σημαντικότερο από τα παραπάνω είναι η εκτίμηση συνθέσεως καθώς αν είναι σωστή τότε συντομεύει ο χρόνος της δοκιμαστικής αναζήτησης. Η εκτίμηση της κατάλληλης σύνθεσης είναι κυρίως θέμα εμπειρίας και με τη χρήση στοιχείων από τον κανονισμό. Τα στοιχεία αυτά προέρχονται από μετρήσεις με ορισμένες ποιότητες υλικών και θεωρούνται ενδεικτικά και βοηθητικά. Η τελευταία δοκιμή είναι αυτή που θα καθορίσει τη σύνθεση που καλύπτει τις ζτούμενες απαιτήσεις.

Το κόστος των υλικών εξαρτάται από το κόστος του τσιμέντου που είναι μεγαλύτερο ως τάξη μεγέθους από αυτό των αδρανών. Για αυτό, χρησιμοποιείται η απαιτούμενη ελάχιστη ποσότητα τσιμέντου αλλά και το ίδιο απαιτείται να είναι σε χαμηλό κόστος έχοντας προσμίξεις στον επιτρεπόμενο βαθμό ώστε να μην υπάρξει επιρροή στα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος.

7.1 Διαδικασία μελέτης σύνθεσης

Η μελέτη σύνθεσης γίνεται μόνο εργαστηριακά έχοντας τα υλικά που είναι διαθέσιμα για την παρασκευή του σκυροδέματος ακολουθώντας μια διαδικασία δοκιμών. Η μελέτη κάθε ποιότητας πρέπει να γίνεται στην αρχή κάθε έργου και να επαναλαμβάνετε σε οποιαδήποτε αλλαγή υπάρξει στη πηγή λήψης αδρανών, στην παρουσίαση διαφορετικής διαβάθμισης από αυτής της μελέτης σύνθεσης, σε οποιαδήποτε αλλαγή τσιμέντου, πρόσμικτων ή κατηγορία αντοχής τσιμέντου, όταν παρουσιάζεται μη επιθυμητή κάθιση ή τάσεις απόσμηξης ασχέτως αν τηρούνται οι αναλογίες της μελέτης σύνθεσης. Τα συνηθέστερα προβλήματα που μας απασχολούν είναι η κάθιση, η απαιτούμενη αντοχή, ο μέγιστος κόκκος αδρανών, η ελάχιστη περιεκτικότητα του τσιμέντου, η μορφή των δοκιμίων ελέγχου, αν θα είναι δηλαδή κυλινδρικά ή κυβικά, και οι τυχόν ειδικές απαιτήσεις. Σύμφωνα με τις Αμερικάνικες προδιαγραφές αρχικά προσδιορίζουμε την απαιτούμενη περιεκτικότητα νερού στο

ανάμιγμα. Εξαρτάται από το μέγιστο κόκκο αδρανών και την κάθιση που θέλουμε να πετύχουμε. Σύμφωνα με τον κανονισμό για στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος πρέπει για συλλεκτικά αδρανή να ξεπερνά τα 30 mm και για θραυστά αδρανή να ξεπερνά τα 50 mm.

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι τιμές της κάθισης και τα όρια που πρέπει να έχουμε ανάλογα το στοιχείο που χρησιμοποιούμε:

ΕΙΔΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	ΚΑΘΙΣΗ (mm)
Ογκώδη άοπλα στοιχεία, οδοστρώματα	25
Δάπεδα, πεζοδρόμια, βάθρα	50
Πέδιλα θεμελίωσης, οπλισμένοι τοίχοι αντιστήριξης	50
Υποστυλώματα	80
Πλάκες, τοιχία, δοκοί	100

Πίνακας Π 6.1: Ελάχιστες τιμές κάθισης ανάλογα το στοιχείο που χρησιμοποιούμε.

ΕΙΔΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΘΙΣΗ (mm)	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΑΘΙΣΗ (mm)
Οπλισμένοι τοίχοι θεμελίων και πέδιλα	75	25
Άοπλα θεμέλια, τοιχία εγκιβωτισμού, τοιχία στο έδαφος	75	25
Δοκοί και οπλισμένα τοιχία	100	25
Υποστυλώματα	100	25
Δάπεδα, πεζοδρόμια, Πλάκες	75	25
Ογκώδη στοιχεία	50	25

Πίνακας Π 6.2: Όρια κάθισης ανάλογα το στοιχείο που χρησιμοποιούμε.

Για τον προσδιορισμό του νερού χρησιμοποιούμε τον παρακάτω πίνακα:

ΚΑΘΙΣΗ (mm)	ΝΕΡΟ ΣΕ kg/m ³ σκυροδέματος για μέγιστο κόκκο αδρανών (mm)							
	9,5	12,5	19	25	37,5	50	75	150
25 – 500	207	199	190	179	166	154	130	113
75 – 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 – 175	243	228	216	202	190	178	160	-
ΟΓΚΟΣ ΚΕΝΩΝ %	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2

Πίνακας Π 6.3: Ποσότητα νερού ανάλογα τη κάθιση και το μέγιστο κόκκο αδρανών.

Οι παραπάνω τιμές ισχύουν για σκυρόδεμα θραυστών αδρανών χωρίς την προσθήκη αερακτικών πρόσμικτων. Σε άλλη περίπτωση μειώνουμε το νερό κατά 13 kg. Αν χρησιμοποιηθεί ρευστοποιητής τότε, η μείωση του νερού πρέπει να είναι 5%.

Ακολουθώντας την πρώτη διαδικασία στη συνέχεια από τον παρακάτω πίνακα βρίσκουμε το λόγο N/T ανάλογα με την μέση αντοχή. Ισχύουν για καλή συμπίκνωση με δονητή. Οι τιμές συνοψίζονται ως εξής:

- Για σκυρόδεμα μειωμένης υδατοπερατότητας 0,58 και 0,50 μέγιστος κόκκος αδρανών 31,5 και 16.
- Για σκυρόδεμα μέσα σε νερό 0,60. Δεν αναφερόμαστε στο διαβρωτικό
- Για σκυρόδεμα στη θάλασσα 0,48.
- Για σκυρόδεμα σε παραθαλάσσιο περιβάλλον 0,60.

Για σκυρόδεμα ανθεκτικό σε χημικές προσβολές ισχύει ο παρακάτω πίνακας:

N/T	ΣΥΝΘΕΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ PORTLAND (ΤΥΠΟΥ II 32,5)		ΣΥΝΘΕΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ PORTLAND (ΤΥΠΟΥ I 42,5)	
	ΚΥΒΟΣ 150 mm	ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 150 X 300 mm	ΚΥΒΟΣ 150 mm	ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 150 X 300 mm
0,40	43	36	49	41
0,50	34	27	41	34
0,60	28	22	34	27
0,70	23	18	28	22
0,60	19	15	24	19

Πίνακας Π 6.4: Υπολογισμός λόγου N/T ανάλογα το μέσο όρο των αντοχών 28 ημερών τύπου δοκιμίου και τσιμέντου.

Οι ελάχιστες ποσότητες τσιμέντου συνοπτικά:

- Για σκυρόδεμα ανθεκτικό σε επιφανειακή φθορά: 350Kg/m³
- Για σκυρόδεμα μειωμένης υδατοπερατότητας: 350Kg/m³ και 400Kg/m³, μέγιστο κόκκο αδρανών 31,5 και 16
- Για σκυρόδεμα μέσα σε νερό : 350Kg/m³ Δεν αναφερόμαστε στο διαβρωτικό.
- Για σκυρόδεμα στη θάλασσα 400Kg/m³
- Για σκυρόδεμα σε παραθαλάσσιο περιβάλλον 330Kg/m³

Οι παραπάνω τιμές για το σκυρόδεμα ανθεκτικό σε χημικές προσβολές ισχύει για συνθήκες ήπιες κλιματολογικά, για νερό φυσικό που έχει υποστεί μόλυνση από χημικές ουσίες και είναι στάσιμο. Για θαλασσινό νερό , βιομηχανικά απόβλητα,

αποθέσεις στερεών βιομηχανικών αποβλήτων και για εδάφη με περιεκτικότητα θεικών μεγαλύτερη των 100 mgδεν ισχύουν οι παραπάνω τιμές.

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο συνολικός στερεός όγκος των αδρανών σε 1 m³ αναμίγματος.

$$\text{Όγκος στερεών αδρανών/m}^3 = 1 - \frac{m_t}{\rho_t} - \frac{m_v}{1000} - \text{όγκος αέρα}$$

Όπου, m_t = μάζα τσιμέντου kg/m³

ρ_t = πυκνότητα στερεών του τσιμέντου (3100kg/m³)

m_v = μάζα νερού kg/m³

Στην περίπτωση που η συνολική ποσότητα αδρανών διαφέρει τότε ο όγκος υπολογίζεται από το πολλαπλασιασμό της μάζας με την πυκνότητα των αδρανών, αλλιώς υπολογίζονται ξεχωριστά οι ποσότητες των χονδρόκοκκων και των λεπτόκοκκων ώστε να ελαττωθεί το ποσοστό των κενών του μίγματος.

	Μέτρο λεπτότητας άμμου			
ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΚΟΚΚΟΣ (mm)	2,4	2,6	2,8	3,0
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Πίνακας Π 6.5: Φαινόμενος όγκος ανά m³ σκυροδέματος.

Οι παραπάνω τιμές καθορίζουν τον φαινόμενο όγκο των χονδρόκοκκων σε συνάρτηση το μέτρο ελαστικότητας της άμμου και του μέγιστου κόκκου των αδρανών και ισχύουν μόνο για μη αντλητό σκυρόδεμα. Για αντλητό σκυρόδεμα μειώνονται κατά 10%.

Στην περίπτωση που τα αδρανή έχουν μια ποσότητα υγρασίας πρέπει να αφαιρεθεί από την ποσότητα του νερού που θα χρησιμοποιηθεί και ταυτόχρονα πρέπει να αυξηθεί το βάρος των αδρανών. Αν τα αδρανή απορροφούν υγρασία από το ανάμιγμα ακολουθείται η αντίθετη διαδικασία.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται ορυκτά πρόσμικτα λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό του λόγου N/T και της ελάχιστης ποσότητας τσιμέντου. Σύμφωνα με το πρότυπο EN 206-1 αν η ποσότητα τέφρας είναι πάνω από το 0,33 αυτής του

τσιμέντου τότε η ποσότητα αυτή τα τέφρας δεν λαμβάνεται υπόψη για το προσδιορισμό του λόγου. Οι τιμές είναι :

- Για ιπτάμενη τέφρα $\rightarrow \kappa = 0,2$ ή $0,4$ σε περίπτωση συνδυασμού με το τσιμέντο.

Για πυριτική παιπάλη σε συνδυασμό με το τσιμέντο τύπου CEMτο $\kappa = 2$ εκτός αν ο λόγος N/T ξεπερνά τη τιμή 0,45. τότε το $\kappa = 1$. Τέλος, η ποσότητα δεν πρέπει να είναι μικρότερη από την ελάχιστη ποσότητα τσιμέντου για τις δεδομένες απαιτήσεις της σχετικής κατηγορίας καθώς η ελάχιστη ποσότητα τσιμέντου πρέπει να είναι 30kg/m^3 . Η διαδικασία αυτή είναι εμπειρική και πρέπει πάντα να ελέγχεται από το εργαστήριο.

7.2 Δοκιμαστική Αναζήτηση

Με βάση το Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (2016) και την Ευρωπαϊκή προδιαγραφή EN 206:2000 η δοκιμαστική αναζήτηση περιλαμβάνει την εύρεση της απαιτούμενης ποιότητας σκυροδέματος ανάλογα την κατασκευή, τη χρήση του εργοταξιακού εξοπλισμού για τον καθαρισμό των ορίων της εργασιμότητας, την επίτευξη της καλύτερης κοκκομετρικής καμπύλης, την επιλογή της ποσότητας του τσιμέντου που θα χρειαστούμε και στην άμεση αλλαγή αν χρειαστεί, την παρασκευή τριών τουλάχιστον ομάδων κυβικών ή κυλινδρικών δοκιμών σύμφωνα με τον κανονισμό για δύο ή περισσότερες παραλλαγές (οι οποίες θα ικανοποιούν τις απαιτήσεις του έργου και θα καλύπτουν την απαιτούμενη αντοχή).

Για τους υπολογισμούς θα πρέπει να χαράσσεται η σχέση $\omega = N/T$ με ω ο λόγος που ικανοποιεί την απαιτούμενη αντοχή.

Για την εύρεση των τελικών ποσοτήτων των υλικών σε 1 m^3 χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$B = T + N + A(1)$$

με B το βάρος 1 m^3 σκυροδέματος, T η ποσότητα τσιμέντου σε kg, Nη ποσότητα του νερού σε kg ή lit, A η ποσότητα των αδρανών σε kg.

Οι ελάχιστες ποσότητες υλικών είναι :

- α) Όγκος υλικού $3 \times 2 \times 0,20^3 = 0,048 \rightarrow$ περίπου $0,05\text{m}^3$
- β) Αδρανή: $0,05\text{m}^3$ (Από κάθε κλάσμα αδρανών καλο είναι να χρησιμοποιούνται 2 – 3 μεγάλους σάκκους 20 – 30 kg)
- γ) Τσιμέντο : $(300-400) \times 0,05 = 15-20\text{kg}$

Για το άθροισμα των πραγματικών όγκων των παραπάνω υλικών πρέπει να ισχύει:

$$1\text{ m}^3 = \frac{T}{\gamma_t} + \frac{N}{1000} + \frac{A}{\gamma_a} + \alpha(2)$$

όπου γ_r το απόλυτο ειδικό βάρος του τσιμέντου και γ_a το φαινόμενο ειδικό βάρος των κόκκων των αδρανών και α , ο όγκος του αέρα.

ΒΛΕΠΕ ΚΤΣ 16 ΣΕΛ 107 ΠΑΡΑΓΡ. Β2.2.2

7.3 Αριθμητικό Παράδειγμα¹⁰

Ενδεικτικές τιμές ποσοτήτων που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα είναι:

ΥΛΙΚΟ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
Άμμος	1000 – 1150 Kg/m ³
Γαρμπίλι	140 – 160 Kg/m ³
Χαλίκι	600 – 800 Kg/m ³
Νερό	170 – 20 Kg/m ³
Τσιμέντο	275– 400Kg/m ³
Επιβραδυντικό	0,4-0,5 lt/m ³
Ρευστοποιητικό	0,4-0,5 lt/m ³

Πίνακας Π 6.6: Ενδεικτικές ποσότητες υλικών στην Ελλάδα.

Ζητείται:

Για επιχρισμένο μη αντλητό σκυρόδεμα κατηγορίας C16/20 από θραυστά αδρανή με μέγιστο κόκκο 25 mm, φαινόμενη πυκνότητα 1750Kg/m³, πυκνότητα στερεών 2650 Kg/m³ και ικανότητα απορρόφησης νερού από το ανάμιγμα 2% του βάρους του ζητείται η μελέτη σύνθεσης. Άμμος : FM = 2.6 , Τσιμέντο τύπου CEMII 32.5 και η κάθιση ίση με 100 mm.

Λύση:

Από πίνακα Π 5.3 έχουμε το νερό = 193 Kg/m³ και ο όγκος κενών 1,5%.

Η απαιτούμενη μέση αντοχή είναι : $f_a = f_{ck} + 2.14s = 20 + 2.15 \times 5 = 30.7$ Μρα.

Από πίνακα Π 5.4 έχουμε $N/T = 0,56 < 0,70$

$$\text{Τσιμέντο : } 193/0,56 = 345\text{Kg/m}^3 > 270 \text{ Kg/m}^3$$

Ο στερεός όγκος αδρανών = $1 - 345 / 3100 - 193/1000 - 0,015 = 0,68 \text{ m}^3/\text{m}^3$.

Από πίνακα για τα χονδρόκοκκα (σκύρα, γαρμπίλι): ο φαινόμενος όγκος είναι : 0,69 m³/m³. Η μάζα $0,69 \times 1750 = 1205 \text{ Kg/m}^3$ και ο όγκος στερεών $1205/2650 = 0,45 \text{ m}^3/\text{m}^3$

¹⁰ Παράδειγμα από το βιβλίο 'Δομικά Υλικά' του Αθανάσιου Τριανταφύλλου, έκδοση 10^η, Πάτρα 2013. (Παράγραφος 6.11.2 σελ 224)

Για την άμμο: ο στερεός όγκος είναι $0,68 - 0,45 = 0,23 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Η μάζα $0,23 \times 2650 = 610 \text{ Kg/m}^3$.

Αφού τα αδρανή απορροφούν το 2% του νερού οι ποσότητες μειώνονται κατά $1205/1,02 = 1180 \text{ Kg/m}^3$ για τα χονδρόκοκκα και για τα λεπτόκοκκα $610/1,02 = 600 \text{ Kg/m}^3$. Η διαφορά των $0,02 \times (1205 + 610) = 36 \text{ Kg/m}^3$ είναι η ποσότητα του νερού που πρέπει να προστεθεί στο ανάμιγμα. Σύμφωνα με τα παραπάνω οι ελάχιστες ποσότητες είναι:

- Άμμος $\rightarrow 229 \text{ Kg/m}^3$
- Χαλίκι και γαρμπίλι $\rightarrow 1180 \text{ Kg/m}^3$
- Νερό $\rightarrow 229 \text{ Kg/m}^3$
- Τσιμέντο $\rightarrow 345 \text{ Kg/m}^3$

Συνολικά θα έχουμε 2360 Kg/m^3 .

Αν δεν γίνει κάποια διόρθωση όπως παραπάνω τότε η ποσότητα του νερού θα μειωθεί στα 157 Kg/m^3 και ο λόγος θα είναι 0,45 οπότε θα αυξηθεί η μέση αντοχή και θα μειωθεί η τιμή της κάθισης.

8 Πρόσθετα υλικά ή βελτιωτικά

Ονομάζονται τα υλικά που προσθέτονται μέσα στο σκυρόδεμα κατά τη Παρασκευή του και τροποποιούν τις ιδιότητές του κατά ορισμένο τρόπο. Δεν περιλαμβάνονται υλικά που προσθέτονται στο τσιμέντο ή υλικά που επιστρώνονται επάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος μετά τη διάστρωση ή την πήξη του.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες πρόσθετων υλικών:

- Προσθήκες: εκτός από τη χημική ή φυσικοχημική δράση τους είναι μεγάλη με αποτέλεσμα να επηρεάζει τη σύνθεση του σκυροδέματος .
- Πρόσθετα υλικά: τα υλικά που δρουν κατά χημικό ή φυσικοχημικό τρόπο με μικρή ποσότητα χωρίς να επηρεάζει τη σύνθεση του σκυροδέματος .Δεν περιλαμβάνονται υλικά που χρησιμοποιούνται για το τσιμέντο. Τα πρόσθετα υλικά είναι τα παρακάτω:
 - ✓ Ρευστοποιητικά
 - ✓ Υπερρευστοποιητικά
 - ✓ Αερακτικά
 - ✓ Επιβραδυντικά
 - ✓ Επιταχυντικά
 - ✓ Στεγανοποιητικά
 - ✓ Αντιπαγετικά
 - ✓ Αεραπαγωγή
 - ✓ Αντιδιαβρωτικά
 - ✓ Δραστικά κατά των μυκήτων και των μικροβίων
 - ✓ Χρώματα
 - ✓ Αεριοποιητικά (χρησιμοποιούνται για την παρασκευή ελαφρών σκυροδεμάτων)
 - ✓ Αφροποιητικά (χρησιμοποιούνται για την παρασκευή ελαφρών σκυροδεμάτων)

Η σύνθεση του υλικού που χρησιμοποιούμε είναι μυστική γι αυτό η χρήση του υλικού πρέπει να γίνεται με προσοχή. Ανάλογα με τη σύνθεση του τσιμέντου διαφέρει η δράση των ουσιών για να είναι δύσκολη η πρόβλεψη των ουσιών. Για τους παραπάνω λόγους απαραίτητος θεωρείται ο επανέλεγχος των προσθέτων με τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί αρχικά. Όταν τα υλικά είναι σε σκόνη πρέπει να αναμιγνύονται τουλάχιστον επί πέντε λεπτά.

8.1 Ρευστοποιητικά(plasticizers)

Ονομάζονται τα υλικά που αυξάνουν τη ρευστότητα του μείγματος. Με τη χρήση ρευστοποιητή μειώνουμε το νερό αναμείξεως και αυξάνουμε την αντοχή ή και το εργάσιμο χωρίς να μειωθεί η τελική αντοχή. Ο ρόλος των ρευστοποιητών είναι η ελάττωση της εσωτερικής τριβής με την ελάττωση της επιφανειακής τάσεως του νερού και των δυνάμεων συνοχής στους κόκκους του τσιμέντου. Αυτό γίνεται με την εξής διαδικασία: Οι κόκκοι του τσιμέντου όταν ενωθούν με το νερό δημιουργούν σωματίδια με ίδιο ηλεκτρικό φορτίο. Έχοντας ίδιο φορτίο τασωματίδια απωθούνται

μεταξύ τους και έτσι δεν επιτυγχάνεται η συγκόλλησή τους με αποτέλεσμα αν μειώνεται η τριβή τους.

Συμπέρασμα : χρησιμοποιείται σε νωπό σκυρόδεμα για τη βελτίωση της αντοχής και της ανθεκτικότητάς του μειώνοντας το νερό αναμείξεως τουλάχιστον 6% - 10 και αυξάνουν την εργασιμότητα των αδρανών.

8.2 Υπερρευστοποιητικά (superplasticizers)

Προτίθενται σε σκυρόδεμα σε ποσότητα τσιμέντου από 0,5 – 1,2%. Με τη χρήση των υπερρευστοποιητικών η μείωση του νερού αυξάνεται έως και 40% . Σε θερμοκρασία 20°C για να πετύχουμε 20cm κάθιση η χρήση των ρευστοποιητών και υπερρευστοποιητών πρέπει να γίνεται με τη χρήση του λόγου:

$$\omega = \frac{N}{T}$$

ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ	ΤΙΜΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ $\omega = N/T$
ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ	0,55
ΥΠΕΡΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ	0,40
ΝΕΩΤΕΡΑ ΥΠΕΡΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ	0,30 – 0,35

Η δράση τους δεν προκαλεί επιβράδυνση στη πήξη του σκυροδέματος αλλά επιτάχυνση στην ενυδάτωσή του. Η μεγάλη ρευστοποιητική ικανότητα, ο χρόνος δραστηριότητας και η απότομη στερεοποίηση σε συνδυασμό προσθήκης υπερλεπτόκοκκα υλικά έχουμε τα αυτοσυμπυκνούμενα σκυροδέματα.

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ
ΜΕΙΩΣΗ ΝΕΡΟΥ	≥12%
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ 1 ΗΜΕΡΑ	≥115%
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ 28 ΗΜΕΡΕΣ	≥140%
ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΑΕΡΑ	≥2%
ΚΑΘΙΣΗ (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ)	≥160%
ΕΞΑΠΛΩΣΗ (ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ)	≥120%
ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ 28 ΗΜΕΡΕΣ	30 MIN
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ 28 ΗΜΕΡΕΣ	≥90%
ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΑΕΡΑΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	≤2%

Πίνακας Π 7.1: Απαιτήσεις υπερρευστοποιητών βάση Ευρωπαϊκής προδιαγραφής EN 934.02.

8.3 Αερακτικά (air-entraining admixtures)

Προκαλούν μικρές φυσαλίδες μέσα στο κονίαμα. Έχουν μέγεθος 0,02 – 0,2 mm και το ποσοστό αέρα εντός του σκυροδέματος είναι 4 – 8%. Χρησιμοποιείται κυρίως για τη δημιουργία ελαφρού σκυροδέματος. Μία από τις ιδιότητες των φυσαλίδων είναι να αυξάνουν το εργάσιμο και την αντοχή στο παγετό χωρίς μείωση της θλιπτικής αντοχής και μειώνουν τις εσωτερικές τριβές. Χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος σε εναλλαγές ψύξης – απόψυξης καθώς οι φυσαλίδες χρησιμοποιούνται ως χώροι διαστολής του νερού. Αυξάνουν και την ανθεκτικότητα των θεικών και ελαττώνουν την αλκαλοπυριτική αντίδραση.

8.4 Επιβραδυντές (retarders)

Επιβραδύνουν την ενυδάτωση. Χρησιμοποιούνται όταν η διαδικασία της διαστρώσεως απαιτεί περισσότερο χρόνο (πασσάλους ή τσιμεντέσεις), όταν θέλουμε να αποφύγουμε τους αρμούς εργασίας στο έτοιμο σκυρόδεμα και όταν επιδιώκεται απάλυνση των αιχμών της θερμοκρασίας.

Δεν έχουν σημαντική επιρροή στη συστολή πολλές φορές όμως μπορεί να έχουν ρευστοποιητικό αποτέλεσμα λόγω της αύξησης του αέρα που προκαλούν στο εσωτερικό του σκυροδέματος κυρίως τις πρώτες μέρες. Με βάση τον Αμερικάνικο Κανονισμό ASTM C494 η διαφορά χρόνου πήξεως πρέπει να είναι:

ΑΡΧΗ ΠΗΞΕΩΣ	MIN → +1	MAX →
	+3	
ΤΕΛΟΣ ΠΗΞΕΩΣ	MIN → -	MAX → +3

8.5 Επιταχυντές (accelerating)

Επιταχύνουν την διαδικασία ενυδάτωσης του τσιμέντου. Μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους:

- Συντόμευση χρόνου έως την αρχή της πήξης (επιταχυντικά πήξεως)
- Επιτάχυνση σκληρύνσεως και αναπτύξεως αντοχής (επιταχυντικά σκληρύνσεως)

Χρησιμοποιούνται για τη γρήγορη απομάκρυνση ξυλότυπων, για τη σύντομη αποπεράτωση της κατασκευής ή όταν πρόκειται το στοιχείο να αναλάβει σύντομα εξωτερικά φορτία. Αυξάνουν την θερμοκρασία του σκυροδέματος τις πρώτες ώρες λόγω της επιτάχυνσης του χρόνου που ελκύεται η θερμότητα ενυδατώσεως. Σε συνδυασμό με τα αερικά δημιουργούν αντιπαγετικά πρόσθετα όπου μειώνουν την αρνητική επίδραση του παγετού στη κατασκευή.

Σε αντίθεση με τα επιβραδυντικά έχουν βλαβερή επίδραση στην τελική αντοχή για αυτό και χρησιμοποιούνται μόνο αν είναι απαραίτητο. Το κυριότερο επιταχυντικό

είναι το χλωριούχο ασβέστιο αν και συνήθως δεν χρησιμοποιείται εύκολα λόγω της διάβρωσης του οπλισμού .

- Χλωριούχο ασβέστιο: αποτελεί το πιο σημαντικό επιταχυντικό καθώς και το απαραίτητο για το παγετό. Επιταχύνει την αντίδραση του νερού με το τσιμέντο και την ανάπτυξη της αντοχής. Οι συνέπειες με τη χρήση του είναι η εξίδρωση, η αύξηση της θερμοκρασίας ,η αύξηση συστολής η μείωση ανθεκτικότητας σε παγετό και η διάβρωση οπλισμού σε υψηλές ποσότητες χλωρίου. (CL)

Πειράματα έχουν δείξει ότι το βέλτιστο ποσοστό χλωριούχου ασβεστίου πρέπει να είναι το 2% - 3% του βάρους του τσιμέντου. Το ελάχιστο όριο είναι 0,5% καθώς λιγότερη ποσότητα μπορεί να προκαλέσει επιβράδυνση της πήξεως. Στο προεντεταμένο σκυρόδεμα είναι μεγάλες οι πιθανότητες διάβρωσης οπλισμού άρα και η χρήση του αδύνατη σε αυτό.

8.6 Στεγανοποιητικά (waterproofing)

Το νερό εισέρχεται στο σκυρόδεμα είτε με την απορρόφηση είτε με την διείσδυση με πίεση. Με τη χρήση στεγανοποιητικών:

- αποφεύγουμε τη δημιουργία μακροσκοπικών κοιλοτήτων και ρηγματώσεων
- μειώνουμε τη συνάφεια ή την ανάπτυξη υδραπαθητικών δυνάμεων μεταξύ τσιμεντοκοιόματος και νερού
- ελαττώνουμε το πορώδες

Για τη πλήρη στεγανοποίηση είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθούν όλα τα παραπάνω κατά σειρά , γι αυτό για τη επιτυχία των στεγανοποιητικών πρέπει να γίνει πολύ καλή εφαρμογή .Κατηγορίες στεγανοποιητικών είναι:

- αδρανή υλικά με μορφή λεπτής σκόνης
- υλικά ανόργανης προελεύσεως
- αδιάλυτοι σάπωνες με μορφή λεπτής σκόνης
- ρητινικά ή στεατικά άλατα αμμωνίου σε μορφή πολτού
- υγροί υδρογονάνθρακες ή ελαιώδη προϊόντα πετρελαίου

Με βάση το Γερμανικό Κανονισμό πρέπει να ισχύουν τα παρακάτω:

- η πήξη πρέπει να ξεκινάει μια ώρα πριν και πρέπει να ολοκληρώνεται μέσα σε 16 ώρες.
- Μετά από 56 ημέρες η χρόνια συστολή του κονιάματος δε πρέπει να υπερβαίνει το 40% της αντίστοιχης συστολής χωρίς στεγανοποιητικό.
- Στο μέσο όρο δύο δοκιμών η αντοχή να μην είναι κάτω από το 30-20%
- Η υδαταπορροφητικότητα να μειώνεται μετά από 28 ημέρες κατά 15% από κάθε δοκίμιο ξεχωριστά και ο μέσος όρος δύο δοκιμών τουλάχιστον 20%
- Η ποσότητα χλωριόντων ισχύει και για τα στεγανοποιητικά που έχουμε αναφέρει παραπάνω.

8.7 Αντιπαγετικά

Μειώνουν δυσάρεστες επιπτώσεις παγετού κατά την περίοδο πήξεως και επιτρέπουν τη σκυροδέτηση σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η δράση τους έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση άλλων ιδιοτήτων που συνεισφέρουν στην αύξηση της θλιπτικής αντοχής στον παγετό.

Τα περισσότερα αντιπαγετικά που κυκλοφορούν είναι συνδυασμός αερακτικών/ρευστοποιητικών και επιταχυντικών.

8.8 Υλικά με πολύ μικρή χημική δραστηριότητα

Υλικά με μικρή ή καθόλου χημική δραστηριότητα που δρουν ως μηχανικά. Τέτοια υλικά είναι τα εξής:

- a) Παιπάλη ή Φίλερ
- b) Ποζολάνες
- c) Ιπτάμενες τέφρες
- d) Πυριτική παιπάλη

Πρόσμικτα	Κατηγορίες Προσμίκτων
Ρευστοποιητές	Απλοί
	Υψηλού βαθμού
Επιβραδυντές	Επιβραδυντές πήξης
	Απλοί επιβραδυντές πήξης/μειωτές νερού/ρευστοποιητές
	Επιβραδυντές πήξης υψηλού βαθμού/μειωτές νερού/υπερρευστοποιητές
Αερακτικά	Αερακτικά
Επιταχυντές	Επιταχυντές πήξης
	Επιταχυντές σκλήρυνσης
	Απλοί επιταχυντές πήξης/μείωση νερού/ρευστοποιητές
Πρόσθετα συγκράτησης νερού	Μειωτές εξίδρωσης
	Μειωτές απορρόφησης
Ρυθμιστές ιξώδους	Ρυθμιστές ιξώδους

Πίνακας Π 7.2: Κατηγορίες προσμίκτων σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ EN 934-2+A1:20012.

9 Μέθοδοι αποτίμησης αντοχής σκυροδέματος

Με στόχο την εκτίμηση της αντοχής ενός ήδη υφιστάμενου δομικού στοιχείου ή μιας κατασκευής, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι ελέγχου. Με την πάροδο των χρόνων και την ανάπτυξη της τεχνολογίας, τέτοιες μέθοδοι φέρουν ολοένα και σαφέστερα αποτελέσματα καθώς και <<πιο κοντά>> στην πραγματικότητα. Αυτές οι μέθοδοι διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Μη καταστροφικές μέθοδοι (έμμεσες)**, κατά τις οποίες επεμβαίνουμε μηδενικά στην κατασκευή και στις
- **Ελάχιστα καταστρεπτικές**, κατά τις οποίες επεμβαίνουμε ελάχιστα στην κατασκευή ή σε μέλη αυτής, αποκόπτοντας μικρά τεμάχια από φέροντα στοιχεία της.

Οι μη καταστροφικές μέθοδοι σαφώς προτιμούνται σε περιπτώσεις αποτίμησης της κατάστασης κτιρίων με ιστορική και αρχιτεκτονική αξία, για την αποφυγή αλλοίωσης της αρχικής τους μορφής. Πρέπει να αναφέρουμε πως αυτές οι μέθοδοι, εφαρμόζονται με χαμηλότερο κόστος σε σχέση με τις ελάχιστα καταστρεπτικές μεθόδους, αλλά έχουν λιγότερο αξιόπιστα αποτελέσματα καθώς δεν αποσκοπούν στον προσδιορισμό της αντοχής του υλικού απευθείας. Διακρίνονται με τη σειρά τους σε δύο υποκατηγορίες:

- Στις μεθόδους που στηρίζονται στην μέτρηση μιας ιδιότητας του σκυροδέματος (π.χ μέτρο ελαστικότητας) βάσει της οποίας εκτιμάται η αντοχή
- Στις μεθόδους που αποσκοπούν στον προσδιορισμό διαφόρων χαρακτηριστικών όπως η θέση, η διάμετρος και η κατάσταση των ράβδων οπλισμού, περιοχές κακής συμπύκνωσης, περιεκτικότητα σε υγρασία κ.τ.λ.

Οι ελάχιστα καταστρεπτικές μέθοδοι είναι πιο αξιόπιστες καθώς αποσκοπούν στον προσδιορισμό της αντοχής του υλικού απευθείας, με θραύση δοκιμίων (πυρήνες-καρότα). Τέτοιες μέθοδοι χρησιμοποιούνται και σε μνημεία αξίας, υπό όρους. Σε πολλές περιπτώσεις, οι ιδιότητες του σκυροδέματος εκτιμώνται με μεγαλύτερη ακρίβεια, συνδυάζοντας διάφορες μεθόδους μη καταστροφικού ελέγχου. Για την εκτίμηση της αντοχής στην περίπτωση αυτή, η τελική αντοχή f_c προκύπτει από τη σχέση:

$$f_c = \frac{f_{c1} s_2 + f_{c2} s_1}{s_1 + s_2}$$

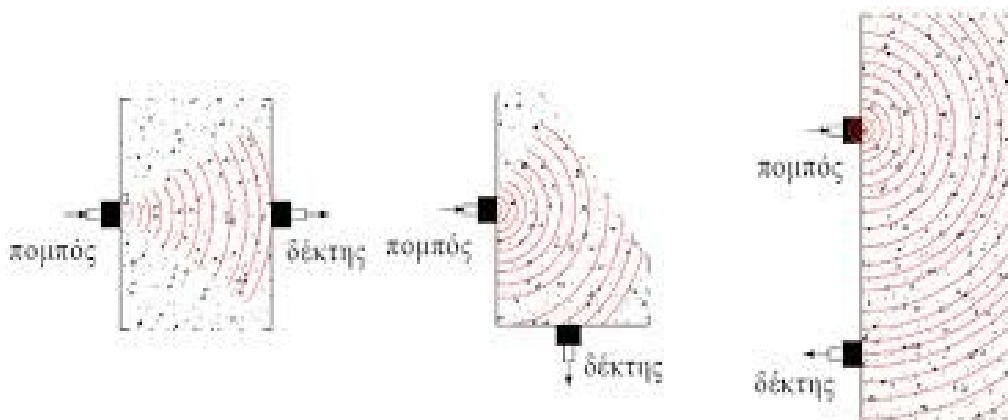
Όπου, f_{ci} η αντοχή σύμφωνα με την μέθοδο i και s_i η αντίστοιχη τυπική απόκλιση, με $i = 1$ ή 2 για τη μέθοδο 1 ή 2 αντίστοιχα.

Οι μέθοδοι που θα εξεταστούν στο κεφάλαιο αυτό είναι:

- Μέθοδος υπερήχων
- Μέθοδος κρουσίμετρου αναπηδήσεως Schmidt
- Μέθοδος εξόλκευσης ήλου
- Πυρηνοληψία

9.1 Μέθοδος υπερήχων

Η μέθοδος των υπερήχων αποτελεί μια μη καταστροφική μέθοδο και χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ομοιομορφίας τους σκυροδέματος, τον εντοπισμό τυχόν ανωμαλιών όπως ρωγμές και κοιλότητες, τις αλλαγές των ιδιοτήτων του με την πάροδο του χρόνου καθώς και στον υπολογισμό του μέτρου ελαστικότητας και της σταθεράς του Poisson του σκυροδέματος.



Εικόνα 8.1: Μέθοδος μέτρησης υπερήχων με (α) απευθείας μετάδοση, (β) ημι-απευθείας μετάδοση και (γ) επιφανειακή μετάδοση από αριστερά προς τα δεξιά.

9.1.1 Διαδικασία μέτρησης

Η συσκευή με την οποία πραγματοποιείται η μέθοδος, αποτελείται από μια γεννήτρια παραγωγής υπερηχητικών παλμών, δύο αισθητήρες (έναν πομπό και έναν δέκτη) και μια ηλεκτρονική συσκευή για τη μέτρηση του χρόνου που μεσολαβεί από την αναχώρηση ενός παλμού από τον πομπό, μέχρι την άφιξή του στον δέκτη.

Ο δονητικός παλμός που παράγεται μεταφέρεται από τον πομπό στον δέκτη, ο οποίος μετατρέπει τον παλμό αυτό σε ηλεκτρικό σήμα. Γνωρίζοντας το μήκος που διανύει ο παλμός και το χρόνο διάδοσης από το ανάλογο όργανο, μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα υπερήχων, η οποία δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$V = \frac{L}{T}$$

όπου:

V: η ταχύτητα παλμού

L: το μήκος της διαδρομής σε χιλιοστά

T: ο χρόνος σε μς

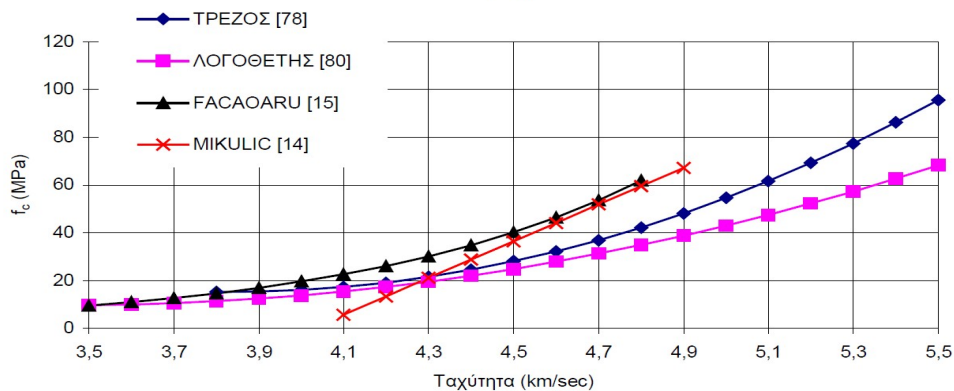
Η συσκευή είναι απαραίτητο να βαθμονομείται και να ελέγχεται, για έγκυρα αποτελέσματα. Η ακρίβεια πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ $\pm 1\%$ κατά ISO ή $\pm 2\%$ κατά ASTM.

Θερμοκρασία	Διόρθωση μετρούμενης ταχύτητας των υπερήχων	
	Ξηρές συνθήκες	Υγρές συνθήκες
°C	%	%
60	+5,0	+4,0
40	+2,0	+1,7
20	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$
0	-0,5	-1,0
-4	-1,5	-7,5

Πίνακας Π 8.1: Ποσοστό διόρθωσης ταχύτητας υπερήχων συναρτήσει επικρατούσης θερμοκρασίας και υγρασίας.

9.1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την μέτρηση ταχύτητας του παλμού

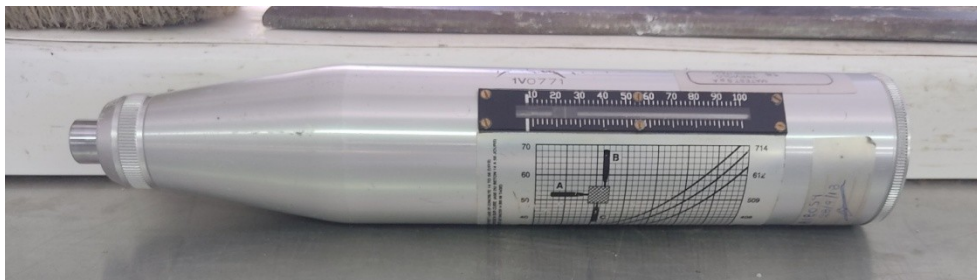
- **Υγρασία:** υψηλά ποσοστά υγρασίας, συνεπάγονται αυξημένες μετρήσεις ταχύτητας
- **Θερμοκρασία δοκιμίου:** Για τιμές μεταξύ 5°C έως 30°C δεν παρατηρείται αλλαγή στις τιμές. Σε τιμές κάτω των 5°C η ταχύτητα αυξάνεται επειδή το νερό μετατρέπεται σε πάγο ενώ σε τιμές άνω των 30°C η ταχύτητα μειώνεται, ίσως εξαιτίας μικρών ρωγμών. Σε κάθε περίπτωση, χρησιμοποιούνται διορθωτικοί συντελεστές.
- **Μήκος διαδρομής:** όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη, τόσο μικρότερη συχνότητα χρησιμοποιούμε.
- **Σχήμα και μέγεθος δείγματος:** δεν επηρεάζουν την ταχύτητα.
- **Ράβδοι οπλισμού:** η τιμή της ταχύτητας με ράβδους οπλισμού είναι συνήθως υψηλότερη. Αυτό συμβαίνει επειδή στο χάλυβα η ταχύτητα των υπερήχων είναι από 1.2 έως 2.0 φορές μεγαλύτερη από την ταχύτητα στο σκυρόδεμα.
- **Ρωγμές** **και** **κενά**



Σχήμα 8.1: Μεταβολή μέσης θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος συναρτήσει της ταχύτητας υπερήχων.

9.2 Μέθοδος κρουσίμετρου αναπήδησεως Schmidt

Η μέθοδος κρουσίμετρου αποτελεί ακόμα μια μη καταστροφική μέθοδο αποτίμησης αντοχής του σκυροδέματος. Δεν μας δίνει άμεσα την αντοχή του σε θλίψη αλλά, με κατάλληλη συσχέτιση βασισμένη στην μέτρηση της επιφανειακής σκληρότητας του στοιχείου που εξετάζουμε, μπορούμε να έχουμε μια εκτίμηση. Το κρουσίμετρο πιέζεται προς την επιφάνεια του σκυροδέματος, προκαλώντας έτσι την αναπήδηση της μάζας στο εσωτερικό του μέσω ελατηρίου, το οποίο αρχικά είναι τεντωμένο. Η ένδειξη της αναπήδησης R του οργάνου, συσχετίζεται με την αντοχή του σκυροδέματος μέσω καμπυλών (διάγραμμα) που έχουν προκύψει έπειτα από πειράματα.



Εικόνα 8.2: Κρουσίμετρο.

9.2.1 Διαδικασία εκπόνησης μεθόδου

Τα στοιχεία του σκυροδέματος που υπόκεινται σε έλεγχο πρέπει να έχουν πάχος τουλάχιστον 100mm. Στοιχεία μικρότερα αυτών, μπορούν να δοκιμαστούν εφόσον είναι άκαμπτα.

Τα στάδια της δοκιμής παρουσιάζονται παρακάτω:

- Σε περιοχές που είναι αρκετά ανάγλυφες ή πολύ μαλακές, χρησιμοποιούμε λειαντική πέτρα, μέχρι η επιφάνεια να είναι λεία και χωρίς

χαλαρά υλικά. Σε περίπτωση που υπάρχει νερό στην επιφάνεια που εξετάζουμε, το απομακρύνουμε.



Εικόνα 8.3: Λειαντική πέτρα.

- Πριν τη δοκιμή στο σκυρόδεμα, απαιτείται η βαθμονόμηση του οργάνου σύμφωνα με τον κατασκευαστή του.



Εικόνα 8.4: Βαθμονόμηση κρουσίμετρου.

- Κρατάμε το κρουσίμετρο σταθερά σε μια θέση η οποία επιτρέπει στο έμβολο να προσκρούσει κάθετα στην επιφάνεια που εξετάζουμε. Σταδιακά αυξάνουμε πίεση σε αυτό, μέχρι την πρόσκρουση.
- Μετά την πρόσκρουση καταγράφουμε την ένδειξη του οργάνου και επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία τουλάχιστον δέκα φορές συνολικά, έτσι ώστε να μπορούμε να πάρουμε μια αξιόπιστη μέση τιμή. Υπόψη μας, λαμβάνουμε και τον προσανατολισμό του κρουσίμετρου καθώς επηρεάζει τα αποτελέσματα.

Ο αριθμός κρουσιμέτρησης εκφράζεται ως ακέραιος αριθμός. Αν περισσότερο από το 20% όλων των μετρήσεων διαφέρουν από το μέσο όρο κατά περισσότερο των 30% (± 3 του συντελεστή R) τότε πρέπει να απορρίπτεται όλο το σύνολο τιμών της δοκιμής.

9.2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος με τη μέθοδο κρουσίμετρου

- **Τύπος τσιμέντου:** Γενικά, διάφοροι τύποι τσιμέντου Portland δεν επηρεάζουν τις μετρήσεις σε μεγάλο βαθμό. Αν χρησιμοποιηθούν οι καμπύλες που έχουν προκύψει από πειράματα σε τσιμέντο Portland, σε σκυροδέματα με τσιμέντο υψηλής αλουμίνας¹¹, μπορεί να έχουμε αντοχές, πλασματικές, μεγαλύτερες έως και 100%.
- **Περιεκτικότητα σε τσιμέντο**
- **Τύπος αδρανών**
- **Τύπος σκλήρυνσης και ηλικία του σκυροδέματος**
- **Συμπύκνωση του σκυροδέματος**
- **Είδος της επιφάνειας:** Η επιφάνεια που εξετάζεται πρέπει να είναι πάντα λεία. Γνωρίζουμε πως επιφάνειες που έχουν προκύψει από καλούπι, είναι πιο λείες από επιφάνειες που έχουν προκύψει έπειτα από διεργασία με μυστρί. Συνεπώς, σε περιπτώσεις που η επιφάνεια στην οποία θέλουμε να πραγματοποιήσουμε τη μέτρηση είναι τραχιά, την λειαίνουμε.
- **Υγρασία:** υψηλή υγρασία έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των ενδείξεων του οργάνου.
- **Ενανθράκωση:** σε κατασκευές μεγάλης ηλικίας, η ενανθράκωση αυξάνει τις τιμές των ενδείξεων έως 50%.
- **Η διεύθυνση του κρουσίμετρου** επηρεάζει τον δείκτη R.

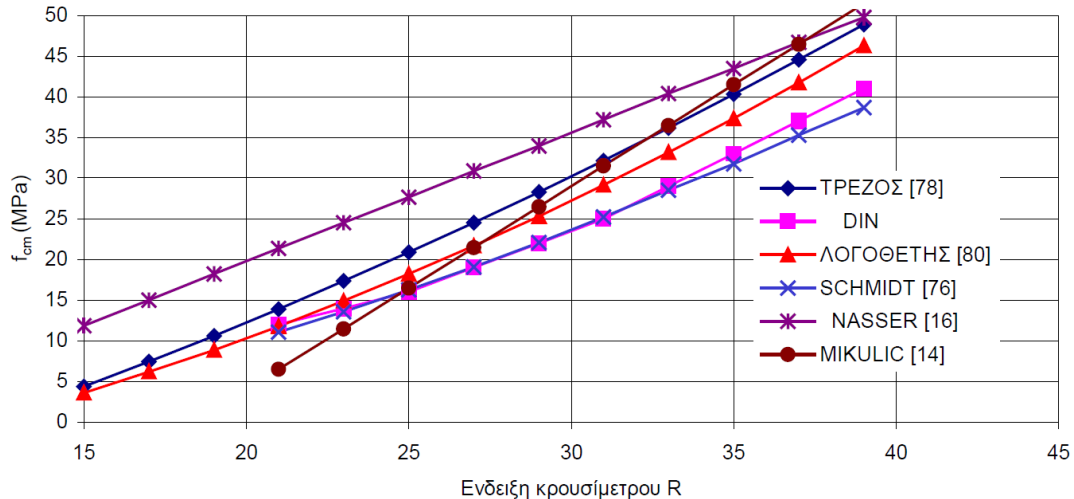
¹¹Τσιμέντο υψηλής αλουμίνας: αλλιώς high alumina cement (HAC) ή calcium aluminate cement (CAC) είναι τσιμέντο που αποτελείται από αργιλικά ασβεστίου σε αντίθεση με το τσιμέντο Portland που αποτελείται από πυριτικό ασβέστιο.

R	Διόρθωση για γωνίες κλίσως (+προς τα πάνω, -προς τα κάτω)			
	+90	+45	-45	-90
10			+2,4	+3,2
20	-5,4	-3,5	+2,5	+3,4
30	-4,7	-3,1	+2,3	+3,1
40	-3,9	-2,6	+2,0	+2,7
50	-3,1	-2,1	+1,6	+2,2
60	-2,3	-1,6	+1,3	+1,7

Πίνακας Π 8.2: Επίδραση της διεύθυνσης κρουσιμέτρησης στην ένδειξη κρουσίμετρου.

A/A	Δείκτης κρουσιμέτρησης	Ποιότητα σκυροδέματος
1	>45	Εξαιρετική
2	35 ~ 45	Καλή
3	25 ~ 35	Μέτρια
4	20 ~ 25	Κακή
5	< 20	Απόμειξη, ρωγμές

Πίνακας Π 8.3: Κατάταξη ποιότητας σκυροδέματος, βάση της ένδειξης κρουσιμέτρησης (A. Neville 11975 & Taywood Eng. Ltd 1986)



Σχήμα 8.2: Καμπύλες συσχέτισης μέσης θλιπτικής αντοχής και ένδειξης του κρουσίμετρου.

Η σχέση που περιγράφει καλύτερα τα πειραματικά αποτελέσματα του Σχήματος 7.2 είναι της μορφής:

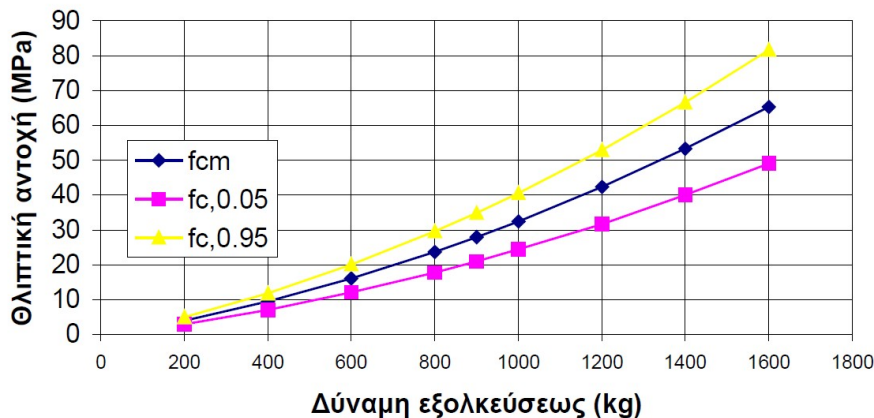
$$f_c = -14.796 + 1.058 R + 0.0147 R^2$$

9.3 Μέθοδος εξόλκευσης ήλου

Η μέθοδος εξόλκευσης ήλου χρησιμοποιείται ως μια έμμεση μέθοδος για την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος.

9.3.1 Διαδικασία εκπόνησης μεθόδου

Ήλος πρότυπων διαστάσεων (4cm μήκος, 4mm διάμετρος) εκτοξεύεται με τη χρήση ειδικού πιστολιού στο εξεταζόμενο στοιχείο εξ επαφής και παραμένει μπηγμένο σε αυτό για διάρκεια δέκα λεπτών. Τα δέκα λεπτά αυτά, είναι απαραίτητα για την επιστροφή του υλικού στην αρχική του θερμοκρασία και ηρεμία. Μετά την πάροδο των δέκα λεπτών, ο ήλος εξελκείται με ειδικό εξολκέα ο οποίος φέρει δυναμόμετρο. Έχοντας τη δύναμη εξόλκευσης, με τη χρήση κατάλληλων διαγραμμάτων τη μεταφράζουμε σε θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος.



Σχήμα 8.3: Μεταβολή θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος συναρτήσει δύναμης εξόλκευσης.

9.4 Μέθοδος πυρηνοληψίας

Αν και η πυρηνοληψία αποτελεί καταστροφική μέθοδο, στη χώρα μας αποτελεί πρώτη επιλογή για έλεγχο της αντοχής του σκυροδέματος, καθώς τα αποτελέσματα που δίνει, είναι τα πιο αξιόπιστα σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους.

Επειδή η πυρηνοληψία όμως πρόκειται για μια σύνθετη σχετικά διαδικασία, και για να έχουμε όσο πιο δυνατόν αξιόπιστα αποτελέσματα, τότε, πριν από μια τέτοια δοκιμή, πρέπει να προηγηθεί ένας προγραμματισμός.

Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να γνωρίζουμε από ποιες θέσεις ενός υφιστάμενου δομικού στοιχείου (πλάκα, τοίχο, υποστύλωμα) θα κόψουμε πυρήνες και πόσους σε αριθμό για να υποστούν αργότερα σε θραύση. Ο σημαντικότερος παράγοντας της δοκιμής αυτής βέβαια, είναι οι διαστάσεις κάθε πυρήνα, δηλαδή η διάμετρός του και το ύψος του καθώς, έχει παρατηρηθεί ότι πυρήνες με μεγαλύτερη διάμετρο, δίνουν πιο ακριβή αποτελέσματα εξαιτίας της μικρότερης καταστροφής τους κατά τη

διαδικασία διάτρησης και λείανσης τους.

9.4.1 Διαδικασία εκπόνησης μεθόδου

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, για να εκτελεστεί σωστά μια πυρηνοληψία, πρέπει πρώτα να έχουμε κάνει έναν σωστό προγραμματισμό. Πρέπει να αποφασίσουμε από ποια δομικά στοιχεία θα αποκόψουμε πυρήνες, σε ποιες θέσεις, πόσοι θα είναι αυτοί και φυσικά, το σημαντικότερο, πρέπει να αποφασίσουμε ποιο θα είναι το μέγεθος των πυρήνων αυτών. Δηλαδή, ποια θα είναι η διάμετρός τους και ποιο το μήκος του.

Για την πραγματοποίηση της διάτρησης, χρησιμοποιούνται ειδικά μηχανήματα, πιστολέτα, με κατάλληλο κοπτικό διαμαντοποιητρούπανο, οι διαστάσεις του οποίου είναι ανάλογες με αυτές του πυρήνα που θέλουμε. Τα πιστολέτα αυτά μπορεί να είναι είτε υδραυλικά, είτε ηλεκτρικά είτε πνευματικά, δηλαδή να λειτουργούν με τη χρήση πεπιεσμένου αέρα. Επίσης, διαθέτουν κατάλληλο εξοπλισμό ο οποίος τους επιτρέπει να τοποθετούνται είτε κάθετα στα δομικά στοιχεία από τα οποία θα αποκόψουμε πυρήνες, είτε οριζόντια.



Εικόνα 8.5: Διατρητικά πιστολέτα για αποκοπή πυρήνων.



www.engineeringcivil.com

Εικόνα 8.6: Ηλεκτρικό πιστολέτο με ποτηροτρύπανο.

9.4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα της δοκιμής

Όπως και σε κάθε άλλη δοκιμή που έχουμε δει μέχρι τώρα, υπάρχει ένα πλήθος παραγόντων οι οποίοι επηρεάζουν τα αποτελέσματά της. Την αντοχή δηλαδή σε μονοαξονική θλίψη, ή αλλιώς τη θλιπτική αντοχή των πυρήνων που αποκόπτουμε.



Εικόνα 8.7: Πυρήνες έπειτα από αποκοπή.

Αυτοί οι παράγοντες είναι οι εξής:

- **Ύπαρξη ράβδων οπλισμού:** Αποτελεί από τα μεγαλύτερα προβλήματα στη μέθοδο αυτή. Η ύπαρξη ράβδων οπλισμού σε πυρήνες που έχουμε αποκόψει, μειώνει σημαντικά την αντοχή αυτών. Σύμφωνα με τον *Plowman et al 1974*, η ύπαρξη μιας ράβδου, μειώνει την αντοχή κατά 8-9% ενώ, η ύπαρξη δύο ράβδων, κατά 11-13%. Επίσης, παράμετροι που επηρεάζουν την αντοχή σε περίπτωση παρουσίασης ράβδων οπλισμού είναι: (α) ο λόγος L/D (μήκος

πυρήνα/διάμετρο πυρήνα) (β) η θέση του οπλισμού (γ) η συμβατική αντοχή του σκυροδέματος της κατασκευής.

Συγγραφέας	Μεταβολή αντοχής (%)	L/D (μήκος/διάμετρος)
Gaynor	-4 έως -18	2
Plowman et al 1974	-3 έως -12	2
Lewandowski	-3	1,5
Petersons, 1971	-4	
Loo et al, 1989	Σημαντική	2
	Μηδενική (Ενδέχεται να παρατηρηθεί και αύξηση μέχρι 9% για πυρήνες D/L=100/100mm.)	1

Πίνακας Π 8.4: Απόψεις διαφόρων ερευνητών σχετικά με την μείωση της αντοχής των πυρήνων που περιέχουν οπλισμό (Loo et al 1989).

- **Η θέση του πυρήνα:** Από διεθνή βιβλιογραφία¹² υποστηρίζεται ότι η θέση από την οποία έχει αποκοπεί ένας πυρήνας, επηρεάζει την αντοχή του. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται στο ότι μειώνεται κατά 25% η αντοχή σε πυρήνα που έχει αποκοπεί από το πάνω μέρος ενός δομικού στοιχείου, σε σχέση με πυρήνα που έχει αποκοπεί από το κάτω μέρος του.
- **Η διεύθυνση κοπής:** Μπορεί να είναι είτε κάθετη (υποστηλώματα, δοκοί) είτε παράλληλη (πλάκες) προς την διεύθυνση σκυροδέτησης των δομικών στοιχείων. Η επίδραση της διεύθυνσης κοπής, έχει μελετηθεί από αρκετούς ερευνητές από των οποία η πλειοψηφία δίνει τον λόγο $f_{c,core,horiz}/f_{c,core,vert}$ να κυμαίνεται μεταξύ 0,90 και 0,95.
- **Καπέλωμα:** Συνηθίζεται μετά την αποκοπή των πυρήνων και τη λείανσή τους για την διόρθωση ατελειών, να καλύπτονται με διάφορα υλικά. Οι διαφορές στις τιμές της αντοχής εξαρτούνται από τα υλικά του καπελώματος αλλά και φυσικά του ίδιου του πυρήνα. Γενικά, σύμφωνα με τον Petersons 197, το καπέλωμα προκαλεί μείωση στην τιμή της αντοχής από 2 έως 20% και για την αποφυγή της μείωσης αυτής συνιστάται να γίνεται η επιπέδωση των πυρήνων με κατάλληλα μηχανήματα λείανσης.

¹² Plowman et al 1974, Tassios 1984, BS 6089, Murrey-Long 1987



Εικόνα 8.8: Πυρήνας με κατέλωμα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - ΚΑΝ.ΕΠΕ.

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

Ο αριθμός των δοκιμών που απαιτούνται με βάση την ισχύουσα νομοθεσία:

- ΦΕΚ 42/Β/20.01.2012, αριθμ. Δ17α/04/5/ΦΝ 429.1, Έγκριση του Κανονισμού Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) σε κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, έχει ως εξής:

Α/Α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΚΑΝ.ΕΠΕ	
1	Δοκίμια σκυροδέματος	Τεμάχιο	3 ανά δύο ορόφους και ανά ομοειδή δομικά στοιχεία, οπωσδήποτε στον κρίσιμο όροφο	
2	Έμμεσες μέθοδοι, κρουσίμετρο, υπέρηχοι, εξολκεύσεις ήλου, ανάλογα με τη στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων (Σ.Α.Δ)	Τεμάχιο	Υψηλή	45% Κατακόρυφων στοιχείων 25% Οριζοντίων στοιχείων
			Ικανοποιητική	30% Κατακόρυφων στοιχείων 15% Οριζοντίων στοιχείων
			Ανεκτή	15% Κατακόρυφων στοιχείων 7,5% Οριζοντίων στοιχείων

10 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΜΕΡΟΣ

Στο εργαστηριακό μέρος, σκοπός μας ήταν να συγκρίνουμε σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37 από δύο διαφορετικές όμως προελεύσεις. Η πρώτη από αυτές έχει σκυρόδεμα που έχει παραχθεί στο εργοτάξιο και το πήραμε έτοιμο για έλεγχο, και η άλλη έχει σκυρόδεμα της ίδιας κατηγορίας, που συνθέσαμε εμείς στο εργαστήριο εξαρχής.

10.1 Έλεγχος παραγωγής εργοταξιακού σκυροδέματος

Η δειγματοληψία του σκυροδέματος πρέπει να γίνει σε μία ή περισσότερες από τις παρακάτω θέσεις, που πρέπει κάθε φορά να προδιαγράφονται:

1. Στη θέση εκκένωσης του σταθερού αναμκτήρα σκυροδέματος.
2. Στη θέση εκκένωσης του μεταφορικού μέσου ή του κινητού αναμκτήρα.

Σύμφωνα με την απαίτηση του Κ.Τ.Σ. 2016 (Κεφάλαιο Γ παράγραφος 1.1) το σκυρόδεμα θα ελέγχεται με συμβατικά δοκίμια, κυβικά με ακμή 150mm ή κυλινδρικά με διάμετρο 150mm και ύψος 300mm (τα δοκίμια θα πρέπει να είναι ίδιας μορφής με εκείνα που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη σύνθεσης). Τα δοκίμια αυτά θα λαμβάνονται:

- στη θέση διάστρωσης αν πρόκειται για εργοταξιακό σκυρόδεμα. Κάθε δοκίμιο θα παίρνεται από διαφορετικό ανάμιγμα. Εάν το σκυρόδεμα μεταφέρεται στη θέση διάστρωσης με αυτοκίνητα μεταφοράς, τότε κάθε δοκίμιο θα παίρνεται από διαφορετικό αυτοκίνητο. Τα αναμίγματα ή τα αυτοκίνητα από τα οποία θα γίνει η δειγματοληψία πρέπει να είναι τυχαία. Για τις τρεις πρώτες ημέρες διάστρωσης, εάν ο αριθμός των αναμιγμάτων ή των αυτοκινήτων μεταφοράς είναι μικρότερος από δώδεκα, τότε επιτρέπεται η λήψη περισσότερων του ενός δοκιμίων από τα αναμίγματα ή τα αυτοκίνητα μεταφοράς, ούτως ώστε να συμπληρωθεί ο απαιτούμενος αριθμός των 12 δοκιμίων. Στην περίπτωση αυτή κάθε δοκίμιο θα παίρνεται αφού έχει εκφορτωθεί περίπου 1m³ σκυροδέματος μετά τη λήψη του προηγούμενου δοκιμίου. Όσον αφορά τις δειγματοληψίες των επόμενες ημερών διάστρωσης, όπου απαιτείται η λήψη τριών δειγμάτων ανά ημέρα, πρέπει τα δείγματα αυτά να ισοκατανέμονται στο ημερήσιο πλήθος αναμιγμάτων ή αυτοκινήτων που αποτελούν την παρτίδα (Κεφάλαιο Γ παράγραφος 1.4.3). στη θέση παράδοσης αν πρόκειται για εργοστασιακό σκυρόδεμα.

Για εργοστασιακό σκυρόδεμα χωρίς πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής θα πρέπει το πλήθος των δοκιμίων του σκυροδέματος που διαστρώνεται σε μια μέρα και συγκεκριμένης κατηγορίας, για ποσότητα σκυροδέτησης $\leq 150 \text{ m}^3$ να λαμβάνονται 6 δοκίμια. Αν η σκυροδέτηση συμπληρώνεται με λιγότερα από έξι (6) φορτία, τότε επιτρέπεται η λήψη περισσότερων δοκιμίων από το ίδιο φορτίο, ούτως ώστε να συμπληρωθεί ο συνολικός αριθμός των έξι (6) δοκιμίων, αλλά κάθε δοκίμιο θα λαμβάνεται, αφού έχει εκφορτωθεί περίπου 1 m³ σκυροδέματος, μετά τη λήψη του προηγούμενου δοκιμίου. Στη περίπτωση που η ποσότητα σκυροδέτησης είναι $> 150 \text{ m}^3$ η ποσότητα σκυροδέτησης χωρίζεται σε περίπου ίσες παρτίδες, όχι μεγαλύτερες των 150 m³ και κάθε ξεχωριστή παρτίδα θα αντιπροσωπεύεται από ξεχωριστή δειγματοληψία έξι (6) δοκιμίων. Ο τρόπος της δειγματοληψίας θα γίνεται από ένα

τυχαίο φορτίο σκυροδέματος θα λαμβάνεται το πολύ ένα δοκίμιο για τον έλεγχο συμμόρφωσης.

10.1.1 Διαδικασία δειγματοληψίας

Ο εργαστηριακός τεχνικός ελέγχει με ένα αλφάδι την ομαλότητα και επιπεδότητα του χώρου όπου θα παρασκευάσει τα δοκίμια. Σε περίπτωση μη επιπεδότητας, τοποθετεί στο έδαφος τάβλα την οποία οριζοντιοποιεί και φροντίζει ώστε να είναι καθαρός ο εξοπλισμός πριν την χρήση τους.



Εικόνα 9.1: Χρήση τάβλας για σωστή εκπόνηση δοκιμής κάθισης.

Η λήψη των δοκιμίων πραγματοποιείται με την χρήση της σέσουλας και συνήθως αγνοείται η αρχική και η τελευταία ποσότητα (συνήθως το πρώτο 1m³ και το τελευταίο). Προς εξασφάλιση αντιπροσωπευτικού δείγματος θα πρέπει να γίνεται λήψη μερών δείγματος με τη σέσουλα από τουλάχιστον 4 διαφορετικά μέρη του φορτίου τα οποία συλλέγονται στον υποδοχέα.



Εικόνα 9.2: Μηχάνημα με τη βοήθεια του οποίου γίνεται η σκυροδέτηση.



Εικόνα 9.3: Άφιξη της πρέσας στο σημείο που πραγματοποιείται η δειγματοληψία.

Εκεί περιλαμβάνεται ο υποδοχέας όπου ρίχνεται το σκυρόδεμα από τη μπετονιέρα για την πραγματοποίηση της δειγματοληψίας.



Εικόνα 9.4: Διάστρωση ζελατίνας για συντήρηση καθαρού χώρου.

Με την άφιξη της πρέσας στο σημείο που πραγματοποιείται η δειγματοληψία στρώνεται μια διάφανη ζελατίνα ακριβώς εκεί που θα γίνει η λήψη των δοκιμίων για την διατήρηση της καθαριότητας του χώρου.

Πριν τη λήψη δοκιμίου πραγματοποιείται η δοκιμή της κάθισης με τη βοήθεια του κώνου και της ράβδου για την εξέταση της συνεκτικότητας του σκυροδέματος.



Εικόνα 9.5 : Πραγματοποίηση δοκιμής κάθισης.

Ο εργαστηριακός τεχνικός ανακατεύει με ένα μυστρί το ανάμιγμα, φροντίζοντας να πάρει και το λεπτόκοκκο υλικό (τσιμέντο, άμμος) το οποίο έχει κολλήσει στα τοιχώματα του mixer. Ελέγχει αν οι μήτρες είναι περασμένες με κάποιο λιπαντικό μέσο το οποίο είναι απαραίτητο για να μη κολλήσει το σκυρόδεμα στα τοιχώματα της μήτρας. Η μήτρα γεμίζεται με δύο δόσεις και ανάμεσα ακλουθεί η συμπύκνωση του υλικού με τη βοήθεια μιας μεταλλικής ράβδου. Οι χτύποι για τη σωστή συμπύκνωση είναι 25 σε κάθε στρώση και κατανέμονται σε όλη την επιφάνεια του σκυροδέματος. Σύνολο 50 χτύποι. Προκειμένου να απομακρυνθούν οι θύλακες εγκλωβισμένου αέρα,

αλλά όχι ο παγιδευμένος αέρας, μετά από τη συμπύκνωση κάθε στρώσης, κτυπώνται ελαφρά οι πλευρές του δοχείου με τη ματσόλα μέχρι να σταματήσουν να εμφανίζονται μεγάλες φυσαλίδες αέρα στην επιφάνεια του σκυροδέματος και να εξαφανιστούν τυχόν κοιλότητες από τη ράβδο συμπυκνώσεως. Η περίσσεια σκυροδέματος αφαιρείται από την κορυφή της μήτρας χρησιμοποιώντας δύο μυστριά μαζί, κόβοντας πριονωτά και επιπεδώνοντας προσεκτικά την επιφάνεια.

Τα δοκίμια μαρκάρονται με ετικέτες με σαφήνεια και χωρίς να προκληθεί ζημιά σε αυτά. Τα δοκίμια παραμένουν στη μήτρα για τουλάχιστον 16 ώρες αλλά όχι περισσότερο από 3 ημέρες σε θερμοκρασία $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Η σήμανση γίνεται με υπογεγραμμένη από τον τεχνικό καρτέλα δειγματοληψίας, πάνω στην οποία αναγράφονται ο αριθμός δειγματοληψίας, ημερομηνία, και ο αριθμός δείγματος.



Εικόνα 9.6:Καρτέλα δειγματοληψίας πάνω σε δοκίμιο.

Για την αποφυγή απώλειας υγρασίας και απόκλισης από την απαιτούμενη θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια της μεταφοράς τους χρησιμοποιούνται βρεγμένες λινάτσες. Μετά το ξεκαλούπωμα τα δοκίμια μέχρι το έλεγχο τους συντηρούνται σε δεξαμενή θερμοκρασίας $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$. με επίτευξη σχετικής υγρασίας $\geq 95 \%$. και ο χώρος που θα τοποθετηθούν οι μήτρες να είναι προστατευμένος, η θερμοκρασία να είναι ελεγχόμενη και γενικά να είναι απαλλαγμένος από οποιαδήποτε επίδραση που θα ήταν δυνατόν να μεταβάλλει τη σύνθεση ή τις ιδιότητες του σκυροδέματος.



Εικόνα 9.7: Συντήρηση δοκιμίων σε θερμοκρασία (20 ± 2) °C.

10.1.2 Έλεγχος διαστάσεων και θραύση δοκιμίων

Για το σχήμα κάθε δοκιμίου η διάσταση θα επιλέγεται έτσι ώστε να είναι τουλάχιστον τρεις φορές το μέγιστο κόκκο του αδρανούς στο σκυρόδεμα. Για κύβους διαστάσεων 150x150mm ισχύουν οι παρακάτω ανοχές:

- Το μήκος και το πλάτος πρέπει να αποκλίνουν λιγότερο του $\pm 1,0\%$ του d. Δηλαδή το μήκος και πλάτος του δοκιμίου θα πρέπει να βρίσκονται εντός του εύρους 148-152mm.
- Το ύψος του δοκιμίου πρέπει να αποκλίνει λιγότερο του $\pm 1,5\%$. Δηλαδή το ύψος του δοκιμίου θα πρέπει να βρίσκεται εντός του εύρους 148-152mm.
- Η ανοχή στην επιπεδότητα των επιφανειών φόρτισης θα πρέπει να είναι μικρότερη από 0,09mm
- Η ανοχή στην καθετότητα θα πρέπει να είναι μικρότερη από 0,5mm

Στη πρέσα όταν έρθει η στιγμή της θραύσης των δοκιμίων για τον έλεγχο της αντοχής τους επιλέγεται ένας σταθερός ρυθμός φόρτισης μεταξύ $0,6 \pm 0,2$ MPa/s και ξεκινάει η φόρτιση. Μετά από λίγο καταγράφεται το μέγιστο φορτίο και η αντίστοιχη αντοχή στο έντυπο της δοκιμής ή αλλιώς στο φύλλο ελέγχου.

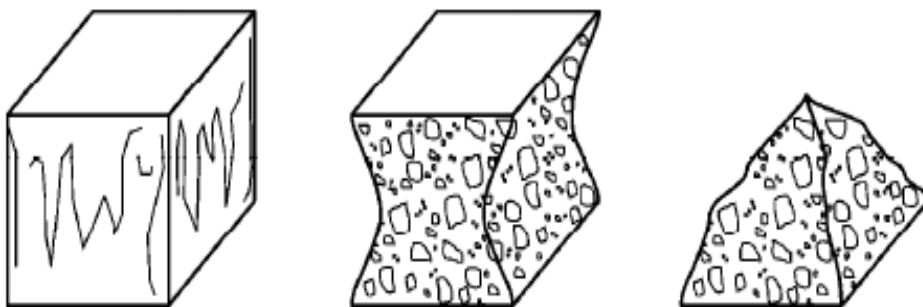


Εικόνα 9.8: Ρύθμιση της πρέσας πριν την θραύση των δοκιμίων.



Εικόνα 9.9: Τοποθέτηση του δοκιμίου στην πρέσα και η θραύση του.

Μετά το τέλος της θραύσης ο τεχνικός αξιολογεί κατά πόσο η θραύση έγινε με ικανοποιητικό ή μη ικανοποιητικό τρόπο.



Εικόνα 9.10: Παράδειγμα τρόπου θραύσης δοκιμίων.



Εικόνα 9.11: Λάθος δειγματοληψία που είχε ως αποτέλεσμα κακό 'δέσιμο' μεταξύ των δύο στρώσεων σκυροδέματος.



Εικόνα 9.12: Κακή συμπίκνωση σε δείγμα.



Εικόνα 9.13: Παραδείγματα κακής δειγματοληψίας.

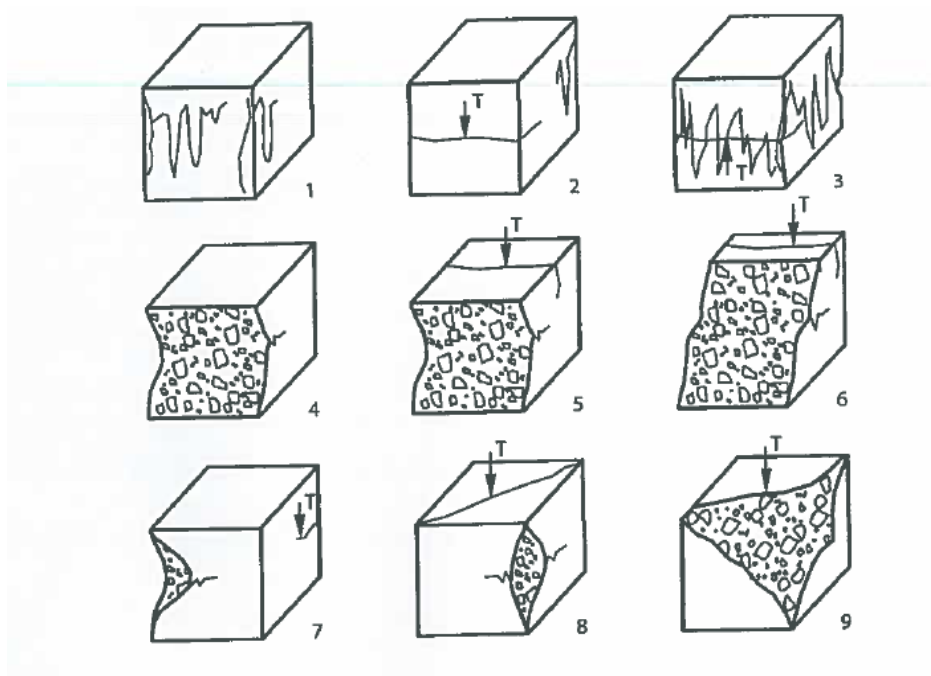


Εικόνα 9.14: Κακή επιφάνεια δείγματος. (μη επίπεδο)

10.1.3 Περιπτώσεις ικανοποιητικής και μη ικανοποιητικής θραύσης

Όταν η θραύση έχει γίνει με ικανοποιητικό τρόπο και οι τέσσερις πλευρές σπάνε σχεδόν ίσα και κατά γενική άποψη με πολύ μικρή καταστροφή των πλευρών που βρίσκονταν σε επαφή με τις πλάκες της μηχανής.

Όταν τα δοκίμια έχουν μετά τη θραύση κάποια από τις παρακάτω εικόνες τότε η θραύση είναι μη ικανοποιητική και πρέπει να σημειώνεται στο έντυπο δοκιμής με αναφορά σε ποιο σχήμα (1-9). Μη ικανοποιητική θραύση μπορεί να προκληθεί είτε από κάποιο λάθος της μηχανής θλίψης ή μη επαρκή προσοχή στις διαδικασίες θραύσης και ιδιαίτερα στη μη σωστή τοποθέτηση του δοκιμίου.



Εικόνα 9.15: Μη ικανοποιητικοί τρόποι θραύσης.

Η αντοχή σε θλίψη δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

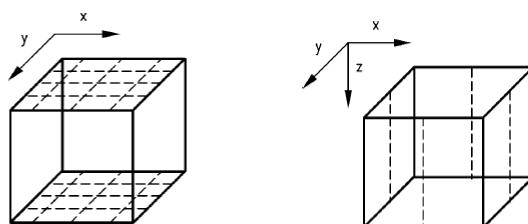
Όπου: f_c είναι η αντοχή σε θλίψη εκφρασμένη σε MPa (N/mm²), F το μέγιστο φορτίο εκφρασμένο σε N και A_c το εμβαδό διατομής του δοκιμίου, η οποία υπολογίζεται από το καθορισμένο μέγεθος ή από τις μετρήσεις στο δοκίμιο.

Το αποτέλεσμα εκφράζεται στα πλησιέστερα 0,1MPa (N/mm²).

10.1.4 Διαδικασία που ακολουθείται για τη δοκιμασία δοκιμίων τα οποία είναι εκτός των ανοχών του

10.1.4.1 Έλεγχος διαστάσεων κυβικών δοκιμίων σκυροδέματος

Οι διαστάσεις των κυβικών δοκιμίων (μήκος x ,πλάτος y , ύψος z) μετρούνται σύμφωνα με τα παρακάτω σχήματα:



Αν κάποια διάσταση είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από 3% του καθορισμένου μεγέθους τότε το δοκίμιο είτε διορθώνεται με τη χρήση του λειαντικού είτε απορρίπτεται.

Υπολογίζονται οι μέσοι όροι (x

y_m , y_m) από τις έξι μετρήσεις ανά διεύθυνση στις επιφάνειες φόρτισης και εκφράζονται στο πλησιέστερο 1mm της κάθε διάστασης.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Δοκίμια τα οποία έχουν διαστάσεις 150x150 οι ανοχές των διαστάσεων είναι: 146-154mm

Υπολογίζεται η επιφάνεια φόρτισης $A_c = x_m * y_m$

και εκφράζεται στο πλησιέστερο 1mm² της επιφάνειας.

Για κατηγορία σκυροδέματος C30/37 και κατηγορία συνεκτικότητας S3 ύστερα από τη θραύση των δοκιμίων σε 7 και 28 ημέρες έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

A/A	Ημερομηνία Σκυροδέτησης	Ημερομηνία Ελέγχου	Κάθιση (cm)	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος °C	Θερμοκρασία Σκυροδέματος °C	Φορτίο (KN)	Αντοχή (MPa)	Μέσος Όρος (MPa)
7	27/08/21	03/09/21	12	34	30	972	43,2	-
1	27/08/21	24/09/21	11	33	31	1163,6	51,9	51,0
2	27/08/21	24/09/21	13	32	31	1179,1	52,4	
3	27/08/21	24/09/21	12	32	30	1158	51,5	
4	27/08/21	24/09/21	14	33	31	1128,7	50,5	
5	27/08/21	24/09/21	13	32	30	1110,8	49,4	
6	27/08/21	24/09/21	12	33	31	1139	50,6	

Η τυπική απόκλιση των δοκιμών προκύπτει 1,1. Επειδή $1,1 < 1,5$ εισάγεται στα παρακάτω κριτήρια η τιμή της τυπικής απόκλισης 1,5.

Σύμφωνα με τον ΚΤΣ 2016 τα κριτήρια συμμόρφωσης εξωτερικού ελέγχου για θλιπτική αντοχή για το εργοστασιακό σκυρόδεμα χωρίς πιστοποίηση ελέγχου είναι τα παρακάτω:

Αριθμός Δειγμάτων	Κριτήριο 3 (MPa)	Κριτήριο 4 (MPa)
	Μέση αντοχή σε θλίψη 6 δειγμάτων f_6 (MPa)	Αντοχή σε θλίψη κάθε δείγματος f_i (MPa)
6	$f_6 \geq f_{ck} + 1,60s_6$	$f_i \geq f_{ck} - 2$

Αναλυτικότερα: $f_6 \geq f_{ck} + 1,60s_6 \rightarrow 51,0 \geq 37 + 1,60 \times 1,5 \rightarrow 51,0 \geq 39,4$ ΠΟΥ ΙΣΧΥΕΙ

$f_i \geq f_{ck} - 2 \rightarrow 49,4^{13} \geq 37 - 2 \rightarrow 49,4 \geq 35$ ΠΟΥ ΙΣΧΥΕΙ

¹³ Εξετάζουμε την παρτίδα των 6 δοκιμών (στις 28 ημέρες) και θέλουμε η κάθε αντοχή να είναι μεγαλύτερη από 35 MPa . Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα έχουμε την ελάχιστη αντοχή 49,4 MPa. Οπότε, εφόσον $49,4 > 35$ τότε, ισχύει και για τις υπόλοιπες αντοχές.

10.2 Μελέτη συνθέσεως σκυροδέματος στο εργαστήριο

κατηγορίας XS1 , XS2 , XD1 , XA1 , XC4 με 330kg/m^3 τσιμέντο CEMII -42,5 κατηγορίας αντοχών C30/37.

Εκτελούμε τις απαραίτητες δοκιμές στα αδρανή υλικά που λατομείου που στη περίπτωση του συγκεκριμένου παραδείγματος είναι χαλίκι 16/32, γαρμπίλι 8/16, ριζάκι 4/8 και άμμος 0/4 και τις αναλογίες συνθέσεως για την παρασκευή της κατηγορίας σκυροδέματος. Η μελέτη αυτή έγινε για απαιτούμενη αντοχή σχεδιασμού παραγωγής $43,0\text{MPa}$, όπως προκύπτει από την Σχέση (B2-1) της παραγράφου B2.2.2 του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ. 2016) όταν, ο συντελεστής κ είναι $2,01$ (πρέπει $\kappa \geq 2$, διαφορετικά η πιθανότητα απόρριψης του σκυροδέματος θα είναι μεγάλη) και η τυπική απόκλιση έστω $3,0\text{MPa}$ (πρέπει το $s \geq 3$.KTS 2016 § 2.2.2.1). Δηλαδή:

$$f_{\text{ασ}} = f_{\text{ck}} + \kappa \times s = 37,0 + 2,01 \times 3,0 = 43,01\text{MPa}$$

10.2.1 Αδρανή υλικά

Αποτελέσματα κοκκομετριών των αδρανών.

Μέγεθος οπής κοσκίνου Διερχόμενο ποσοστό %	Χαλίκι (16/32)	Γαρμπίλι(8/16)	Ριζάκι (4/8)	Άμμος (0/4)
31,5	100	100	100	100
16	1	48	100	100
8	1	2	89	100
4	1	2	4	95
2	1	2	2	73
1	1	2	2	52
0,25	1	1	2	29
0,063	0,6	1,0	1,4	15,9

10.2.1.1 Ειδικό Βάρος και απορροφητικότητα αδρανών

Η πυκνότητα επί ξηρού και η απορροφητικότητα κάθε αδρανούς δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΥΛΙΚΑ	Πυκνότητα επί ξηρού (tn/m ³)	Απορροφητικότητα
Χαλίκι (16/32)	2,61	0,62
Γαρμπίλι (8/16)	2,65	0,65
Ψηφίδα (4/8)	2,65	0,82
Άμμος (0/4)	2,71	1,39

10.2.1.2 Ισοδύναμο Άμμου

Η δοκιμή ισοδύναμου άμμου μας έδωσε SE4 = 72, που είναι > 70 και σύμφωνα με τον ΚΤΣ 2016 δεν χρειάζεται η εκτέλεση της δοκιμής μπλε του μεθυλενίου.

10.2.1.3 Πυκνότητα και ξηρό υπόλειμμα προσθέτων

Η πυκνότητα και το ξηρό υπόλειμμα κάθε προσθέτου δίνονται στον παρακάτω πίνακα, σύμφωνα με τη δήλωση του παραγωγού:

Πρόσθετα Υλικά	Πυκνότητα (Kg/lit)	Ξηρό υπόλειμμα (%)
Επιβραδυντής - Ρευστοποιητής	1,16	32,18
Υπερρευστοποιητής 3 ^{ης} γενιάς	1,06	20,21

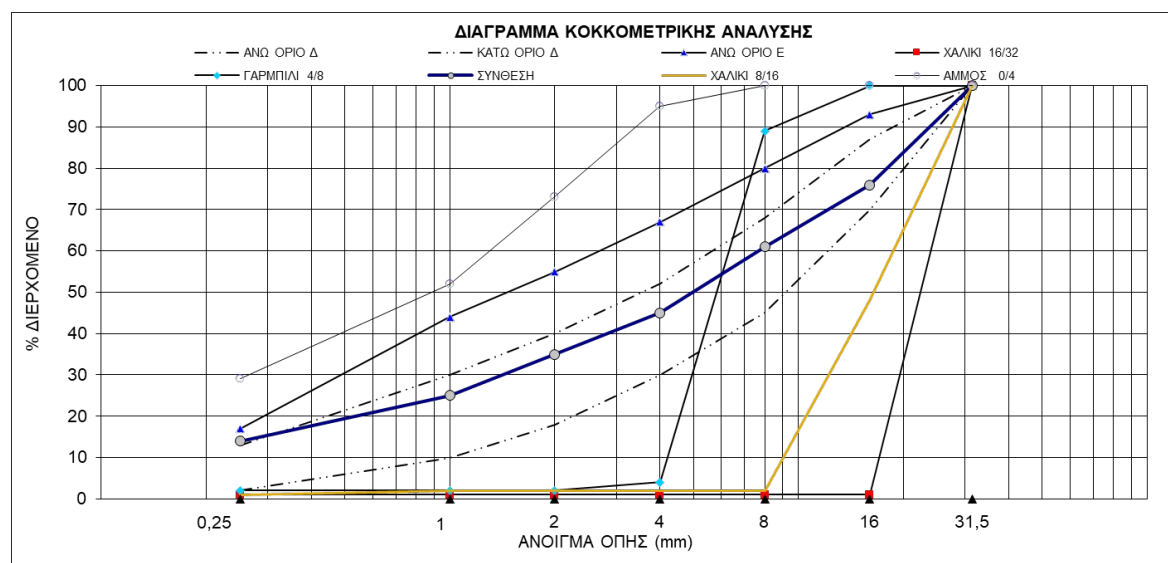
10.2.2 Δοκιμαστικές συνθέσεις

Μετά από σειρά δοκιμών, με διαφορετικές αναλογίες υλικών, προέκυψε ότι η καλύτερη σύνθεση για το σκυρόδεμα που ζητείται αποτελείται από 10% χαλίκι (16/32), 28% γαρμπίλι (8/16), 16% ριζάκι (4/8) και 46% άμμο (0/4) κατά βάρος ξηρών υλικών με 330 kg/m³ τσιμέντο CEMIII-42,5 και πρόσθετα επιβραδυντής – ρευστοποιητής σε αναλογία 0,20 kg ανά 100 kg τσιμέντου και υπερρευστοποιητής 3^{ης} γενιάς σε αναλογία 0,87kg ανά 100kg τσιμέντου.

Ακολούθως δίνεται η κοκκομετρική ανάλυση του συνδυασμένου μίγματος καθώς και τα όρια της υποζώνης Δ και Ε του κανονισμού (Κ.Τ.Σ. 2016).

Μέγεθος οπής κόσκινου	% Διερχόμενο					
	Συνδυασμένο	Όρια Υποζώνης Δ και Ε (Πίνακας ΠΒ1-3)				
31,5	100	100	-	100	-	100
16	76	70	-	87	-	93
8	61	45	-	68	-	80
4	45	30	-	52	-	67
2	35	18	-	40	-	55
1	25	10	-	30	-	44
0,25	14	2	-	13	-	17

Οι καμπύλες των υλικών καθώς και η συνδυασμένη καμπύλη έχουν σχεδιαστεί στο παρακάτω διάγραμμα:



Το αντίστοιχο δοκιμαστικό μίγμα έδωσε τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Ενεργός λόγος νερού / τσιμέντο		0,512
Κάθιση (cm)	0+10 min	20
	0+30 min	16
Αέρας		2,3%
Πλαστικότητα		Καλή
Φαιν. Βάρος συμπυκνωμένου μίγματος		2390 kg/m ³

Ο μέσος όρος της αντοχής σε θλίψη των κυβικών δοκιμίων ακμής 15 cm που έγιναν από αυτό το μίγμα βρέθηκε ίσος με 51,2MPa σε ηλικία 7 ημερών και 57,3MPa σε ηλικία 28 ημερών.

10.2.3 Αναλογίες συνθέσεως

Από τα προηγούμενα προκύπτουν οι ακόλουθες ποσότητες υλικών για την παρασκευή 1 m³ νωπού και συμπυκνωμένου σκυροδέματος:

ΥΛΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΥΛΙΚΩΝ (kg)
Χαλίκι (16/32)	187 kg
Γαρμπίλι (8/16)	523 kg
Ψηφίδα (4/8)	299 g
Άμμος (0/4)	859 kg
CEMII-42,5	330 kg
Ενεργό Νερό	169 kg
Απορροφούμενο Νερό	19 kg
Υπερρευστοποιητής 3 ^{ης} γενιάς	2,9 kg
Επιβραδυντής - Ρευστοποιητής	0,7kg

10.2.4 Αλλαγή ρευστότητας

Σε περίπτωση που χρειάζεται περισσότερο (λιγότερο) ρευστό μίγμα πρέπει να προστεθεί (να αφαιρεθεί) η ποσότητα του υπερρρευστοποιητή 3^{ης} γενιάς μέσα όμως στα προτεινόμενα όρια του κατασκευαστή.

10.2.5 Διόρθωση για την υγρασία

Οι ποσότητες της παρ. 3 αναφέρονται σε ξηρά υλικά. Αν τα υλικά είναι υγρά, οι ποσότητες νερού και άμμου ανά m³ σκυροδέματος πρέπει να τροποποιηθούν.

10.2.6 Ομοιομορφία υλικών

Οι αναλογίες και οι ποσότητες των παρ. 2 και 3 ισχύουν μόνο για υλικά ίδια, από άποψη φυσικών χαρακτηριστικών, με εκείνα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη.

Οι παραπάνω δοκιμές έγιναν με τα πρότυπα ή σχέδια κανονισμού που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

A/A	Δοκιμή	Πρότυπο
1	Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών - Μέρος 1: Προσδιορισμός του διαγράμματος κοκκομετρίας - Μέθοδος με κόσκινα	ΕΛΟΤ EN 933.01
2	Δοκιμές των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των αδρανών - Μέρος 6: Προσδιορισμός της πυκνότητας του φίλερ και απορρόφησης νερού	ΕΛΟΤ EN 1097.06
3	Δοκιμές νωπού σκυροδέματος - Μέρος 2: Δοκιμή κάθισης	ΕΛΟΤ EN 12350.02
4	Δοκιμές νωπού σκυροδέματος - Μέρος 6: Πυκνότητα	ΕΛΟΤ EN 12350.06
5	Δοκιμές νωπού σκυροδέματος - Μέρος 7: Περιεκτικότητα σε αέρα - Μέθοδοι με πίεση	ΕΛΟΤ EN 12350.07 §5
6	Δοκιμές σκληρυμένου σκυροδέματος - Μέρος 2: Παρασκευή και συντήρηση δοκιμίων για δοκιμές αντοχής	ΕΛΟΤ EN 12390.02
7	Δοκιμές σκληρυμένου σκυροδέματος - Μέρος 3: Αντοχή σε θλίψη δοκιμίων	ΕΛΟΤ EN 12390.03
Όσον αφορά στα χρησιμοποιηθέντα αδρανή υλικά εκτός των φυσικών δοκιμών που έγιναν στην παρούσα μελέτη σύνθεσης, τα υλικά θα πρέπει να πληρούν και τις υπόλοιπες απαιτήσεις των ΚΤΣ 2016 και ΕΛΟΤ EN 12620.		

10.3 Συγκρίσεις αποτελεσμάτων

Έπειτα από έλεγχο που πραγματοποιήθηκε σε δείγματα σκυροδέματος τα οποία προήλθαν από εργοτάξιο και εργαστήριο αντίστοιχα, ακολούθησαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Πίνακας αποτελεσμάτων εργοταξιακού σκυροδέματος κατηγορίας C30/37

A/A	Ημερομηνία Σκυροδέτησης	Ημερομηνία Ελέγχου	Κάθιση (cm)	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος °C	Θερμοκρασία Σκυροδέματος °C	Φορτίο (KN)	Αντοχή (MPa)	Μέσος Όρος (MPa)
7	27/08/21	03/09/21	12	34	30	972	43,2	-
1	27/08/21	24/09/21	11	33	31	1163,6	51,9	51,0
2	27/08/21	24/09/21	13	32	31	1179,1	52,4	
3	27/08/21	24/09/21	12	32	30	1158	51,5	
4	27/08/21	24/09/21	14	33	31	1128,7	50,5	
5	27/08/21	24/09/21	13	32	30	1110,8	49,4	
6	27/08/21	24/09/21	12	33	31	1139	50,6	

Πίνακας αποτελεσμάτων εργαστηριακού σκυροδέματος κατηγορίας C30/37

7	01/10/2021	08/10/21	16	23	22	1152	51,2	-
1	01/10/2021	29/10/21	18	22	23	1347,8	57,3	57,3
2	01/10/2021	29/10/21	20	24	22	1183,5	59,9	
3	01/10/2021	29/10/21	21	23	21	1316,3	52,6	
4	01/10/2021	29/10/21	17	25	23	1289,3	58,5	
5	01/10/2021	29/10/21	16	21	20	1302,8	57,3	
6	01/10/2021	29/10/21	19	22	21	1288,1	57,9	

Σύμφωνα με τον ΚΤΣ 2016 και τα πρότυπα που ακολουθήθηκαν, τα αποτελέσματα τα οποία εξήχθησαν από τους ελέγχους, δηλώνουν ότι οι αντοχές του σκυροδέματος κατηγορίας C30/37 είναι υψηλές και πληρούν όλα τα απαιτούμενα κριτήρια.

10.4 Προβλήματα και λάθος διαδικασίες κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας

Όπως είδαμε παραπάνω, όλες οι διαδικασίες ακολούθησαν κατά γράμμα τον κανονισμό και τις απαιτούμενες προϋποθέσεις για να φέρουμε εις πέρας τη δειγματοληψία και τα τελικά αποτελέσματα των αντοχών που είχαμε ως στόχο μελέτης.

Υπάρχουν όμως περιπτώσεις κατά τις οποίες λάθη και απροσεξίες είναι αναπόφευκτες, κάτι το οποίο μπορεί να φέρει λάθος αποτελέσματα αλλά και μη πραγματική εκτίμηση της κατάστασης του σκυροδέματος.

Τέτοιες είναι οι εξής:

- Προσθήκη παραπάνω ποσότητας σε νερό
- Προσθήκη παραπάνω ποσότητας σε πρόσθετα υλικά
- Ανεπαρκή ποσότητα τσιμέντου και αδρανών
- Κακή συμύκνωση σκυροδέματος
- Κακή δειγματοληψία
- Κακή εργασιμότητα σκυροδέματος
- Ακατάλληλες θερμοκρασίες περιβάλλοντος και σκυροδέματος
- Κακή συντήρηση δειγμάτων
- Ελαττωματικός εξοπλισμός μέτρησης αντοχής (λάθος θραύση)

Γενικότερα, διαδικασίες και πρότυπα που δεν έχει ορίσει ο κανονισμός, μπορεί να φέρουν λανθασμένη εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος.

11 Βιβλιογραφία

- Οικονόμου, Χ. Μ (2006). *Τεχνολογία του Σκυροδέματος*. Αθήνα: Σέλκα – 4Μ.
- Τριανταφύλλου, Α. (2013). *Δομικά Υλικά*. Πάτρα: Gotsis Εκδόσεις
- ΕΛΟΤ EN 933.01:2012 Δοκιμές για τον προσδιορισμό των γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών – Μέρος 1^ο: Προσδιορισμός του διαγράμματος κοκκομετρίας – Μέθοδος με κοσκίνιση
- ΕΛΟΤ EN 933.08:2012 + Α1:2015 Δοκιμές για τον προσδιορισμό των γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών – Μέρος 8ο: Αξιολόγηση λεπτόκοκκου κλάσματος (παιπάλης) – Προσδιορισμός Ισοδύναμου Άμμου
- ΕΛΟΤ EN 933.09:2010 +Α1:2013 Ποιοτική αξιολόγηση λεπτόκοκκου κλάσματος – Δοκιμή μπλε του μεθυλενίου
- ΕΛΟΤ EN 1097.02:2011 Δοκιμές για τον προσδιορισμό των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των αδρανών. Προσδιορισμός αντίστασης σε θρυμματισμό (Los Angeles test)
- ΕΛΟΤ EN 1097.6:2013 Δοκιμές για τον προσδιορισμό των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των αδρανών – Μέρος 6^ο: Προσδιορισμός της πυκνότητας και απορρόφησης νερού
- ΕΛΟΤ EN 1744.1:1998 Δοκιμές για χημικές ιδιότητες – Μέρος 1^ο Χημικές Αναλύσεις: Προσδιορισμός των ολικών θεικών σε δείγμα αδρανούς (παρ 11)
- ΕΛΟΤ EN 1744.1:1998 Δοκιμές για χημικές ιδιότητες – Μέρος 1^ο Χημικές Αναλύσεις: Προσδιορισμός ευδιάλυτων θεικών σε οξέα (παρ 13)
- ΕΛΟΤ EN 1744.1:2012: Δοκιμές για χημικές ιδιότητες – Μέρος 1^ο Χημικές Αναλύσεις: Προσδιορισμός οργανικών υλικών αποσάθρωσης σε αδρανή (παρ 15.1)
- ΕΛΟΤ EN 197-1: Τσιμέντο Μέρος 1: Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για κοινά τσιμέντα
- ΕΛΟΤ EN 197-2: Τσιμέντο Μέρος 2: Αξιολόγηση συμμόρφωσης
- ΕΛΟΤ EN 196-1: Μέθοδοι δοκιμών τσιμέντου - Μέρος 1^ο: Προσδιορισμός αντοχών
- ΕΛΟΤ EN 1008 Έλεγχος καταλληλότητας ύδατος για την κατασκευή σιδηροπαγούς και άοπλου σκυροδέματος
- ΕΛΟΤ EN 12390.3:2019 Δοκιμές σκληρυμένου σκυροδέματος – Μέρος 3^ο: Αντοχή σε θλίψη δοκιμίων
- ΕΛΟΤ EN 12504.1:2010 Προσδιορισμός της αντοχής σε θλίψη
- ΕΛΟΤ EN 933.01: Δοκιμές γεωμετρικών ιδιοτήτων των αδρανών – Μέρος 1^ο: Προσδιορισμός του διαγράμματος κοκκομετρίας – Μέθοδος με κόσκινα
- ΕΛΟΤ EN 1097.06: Δοκιμές των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των αδρανών – Μέρος 6^ο: Προσδιορισμός της πυκνότητας του φίλερ και απορρόφησης νερού

- ΕΛΟΤ EN 12350.02 Δοκιμές νωπού σκυροδέματος – Μέρος 2^ο: Δοκιμή κάθισης
- ΕΛΟΤ EN 1250.06 Δοκιμές νωπού σκυροδέματος – Μέρος 6^ο: Πυκνότητα
- ΕΛΟΤ EN 12350.07 Δοκιμές νωπού σκυροδέματος – Μέρος 7^ο: Περιεκτικότητα σε αέρα –
Μέθοδοι με πίεση (παρ. 5)
- ΕΛΟΤ EN 12390.02 Δοκιμές σκληρυμένου σκυροδέματος – Μέρος 2^ο: Παρασκευή και
συντήρηση δοκιμίων για δοκιμές αντοχής
- ΕΛΟΤ EN 12390.03 Δοκιμές σκληρυμένου σκυροδέματος – Μέρος 3^ο: Αντοχή σε θλίψη
δοκιμίων
- ΕΛΟΤ EN 12504.04:2004 Δοκιμές σκυροδέματος στις κατασκευές – Μέρος 4^ο: Μη
καταστροφικοί έλεγχοι – Προσδιορισμός της ταχύτητας υπερήχων
- ΕΛΟΤ EN 12504.02:2012 Δοκιμές σκυροδέματος στις κατασκευές – Μέρος 2^ο: Μη
καταστροφικοί έλεγχοι – Προσδιορισμός του δείκτη αναπήδησης
- | | | | | | |
|------------|-------------|--------------|---------|-----------|---------|
| ΕΛΟΤ | EN | 12620 | Φυσικές | Ιδιότητες | Αδρανών |
| Κανονισμός | Τεχνολογίας | Σκυροδέματος | 2016 | (ΚΤΣ | 2016) |
| Κανονισμός | Τεχνολογίας | Χάλυβα | 2008 | (ΚΤΧ | 2008) |