

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ : ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ : ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘ. Σ. ΚΟΛΛΙΑΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΤΟΙΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΘΕΟΔΩΡΟΥ Μ. ΖΕΑΚΗ & ΔΗΜΗΤΡΗ Μ. ΣΙΑΒΕΛΗ

ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΛΙΟΣ 1997

ΠΡΟΛΟΓΟΣ Ι

Η εργασία που ακολουθεί είναι κάτι σαν πέρασμα. Είναι μια γέφυρα που συνδέει το "φιλόξενο" Πολυτεχνείο, με τη "σκληρή" πραγματικότητα.

Μετά την παράδοσή της θα έχουμε αποβάλλει από επάνω μας την ταμπέλα που γράφει φοιτητής (Δημήτρη τώρα αρχίζουν τα δύσκολα).

Έτσι είναι, τελείωσε η θητεία μέσα από Πολυτεχνείο και αρχίζει η δύσκολη θητεία της ζωής.

Για να χαρακτηριστεί κάποιος άντρας, αρκεί να περάσει κάποιο όριο ηλικίας. Δεν είναι όμως πάντα έτσι. Κάποιοι ανδρώνονται σε πολύ μικρή ηλικία, ενώ κάποιοι άλλοι αργούν πολύ να νιώσουν αυτό που νιώθεις όταν είσαι άντρας.

Το πέρασμα μου από το Πολυτεχνείο με έμαθε πολλά. Βοήθησε και αυτό με τον τρόπο του να ξεπεράσω την ηλικία της εφηβείας και να αρχίσω να σκέφτομαι κάπως σοβαρότερα τα δρώμενα.

Το πέρασμα αυτό, κλείνει με την παρουσίαση της Διπλωματικής αυτής εργασίας, την οποία δημιουργήσαμε μετά από πολύ κόπο.

Κλείνοντας θα ήθελα να ευχαριστήσω το φίλο και συνεργάτη μου Δημήτρη, που με ανέχτηκε όλο αυτό το διάστημα, τον Αλέξανδρο που μας βοήθησε και τέλος τον Αναπλ. Καθηγητή κ^ο Στ. Κόλλια που μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με το σκυρόδεμα.

Ακόμα εδώ θα πρέπει να ευχαριστήσω τη μητέρα του Δημήτρη, η οποία με φρόντισε και με φιλοξένησε αρκετές φορές (κυρία Ανθή φεύγω με μεγάλη ταχύτητα).

Τέλος ευχαριστώ την οικογένεια μου και όλους τους φίλους που με στήριξαν.

Θεόδωρος Μ. Ζεάκης

ΠΡΟΛΟΓΟΣ II

Η εκτέλεση και ολοκλήρωση της Διπλωματικής εργασίας, σηματοδοτεί την κατάληξη μίας επίπονης αλλά όμορφης προσπάθειας, που πιστοποιεί το φθάσιμο σε κάποιον στόχο.

Πρόκειται για την επίτευξη και κατάκτηση ενός στόχου που δεν είναι άλλος από το πτυχίο.

Αυτό βέβαια αποτελεί μian άλλη αρχή. Γι' αυτά τα όμορφα χρόνια που μου πρόσφεραν οι γονείς μου, θα ήθελα να τους αφιερώσω αυτήν την εργασία κυρίως σαν δείγμα κατανόησης, στο πόσο κουράστηκαν, αλλά και κυρίως διότι με στήριξαν και με συντήρησαν, αφήνοντάς με απερίσπαστο σ' αυτή μου την προσπάθεια.

Εύχομαι κι ελπίζω ν' αξιοποιήσω τις γνώσεις που απέκτησα όλα αυτά τα χρόνια, ώστε να μπορέσω να σταθώ όρθιος, ηθικά ασυμβίβαστος και δίκαιος, σε μία κοινωνία που ο ανταγωνισμός και οι συνθήκες διαβίωσης αυξάνουν δυσανάλογα.

Τέλος εκφράζω την αγάπη μου για τρία πρόσωπα με τα οποία έχω μοιραστεί τις ομορφότερες στιγμές της ζωής μου.
Γεωργία, Αννέτα, Μαρία.

Δημήτρης Μ. Σιαβελής

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ειλικρινά θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Πολιτικό Μηχανικό κ. Κ. Γεωργίου για όλες τις πολύτιμες συμβουλές του και οδηγίες, καθώς επίσης και για τη μεσολάβηση του στο εργαστήριο ποιότητας της τσιμεντοβιομηχανίας "TITAN".

Ακόμα ευχαριστούμε την "Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος", για την παραχώρηση του εργαστηρίου της.

Ένα ευχαριστώ στις κυρίες Μ. Κατσάκου και Π. Κυρκιλή για τη βοήθειά τους σε όλες τις φάσεις σύνταξης της εργασίας.

Ένα ειδικό ευχαριστώ στον κ. Α. Λάμπρου τελειόφοιτο Πολιτικό Μηχανικό και φίλο που μας βοήθησε τις κρίσιμες ώρες της προετοιμασίας (βραδυνές - πρωινές).

Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Αναπλ. Καθηγητή κ^ο Στ. Κόλλια για την κατανόησή του, την υπομονή του και τη μεθοδικότητα με την οποία μας καθοδήγησε.

Οι γνώσεις του, που απλόχερα μοιράστηκε μαζί μας και η συμπαράστασή του, μας βοήθησαν καταλυτικά στην ολοκλήρωση της εργασίας μας.

Ευχαριστούμε

**Θ. Μ. Ζεάκης
Δ. Μ. Σιαβελής**

Αθήνα, Ιούλιος 1997

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΕΛΙΔΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΤΑ ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

1.1	Τσιμέντο	1
1.1.1	Παραγωγή	1
1.1.2	Τύποι τσιμέντων	2
1.1.3	Κατηγορίας τσιμέντου	2
1.1.4	Ενυδάτωση και φαινόμενα που τη συνοδεύουν	3
1.1.5	Το νερό αναμείξεως	4
1.2.1	Αναλογίες συνθέσεως σκυροδέματος	8
1.2.2	Η απαιτούμενη ποσότητα νερού	8
1.2.3	Απαιτούμενη ποσότητα νερού για την ενυδάτωση	9
1.2.4	Νερό δεσμευμένο από τα αδρανή	9
1.2.5	Απώλειες νερού (εξάτμιση, ελεύθερο νερό κ.ά.)	10
1.2.6	Η ποσότητα και η σύνθεση των αδρανών	11
1.3	Μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος	11
1.4	Αδρανή υλικά	12
1.4.1	Προέλευση και αντοχή των αδρανών	13
1.4.2	Καθαρότητα, Φυσικά - Χημικά χαρακτηριστικά	14
1.4.3	Κοκκομετρική διαβάθμιση	17
1.4.4	Αποθήκευση, δειγματοληψία και έλεγχοι των αδρανών	23
1.4.5	Η μορφή των κόκκων	24

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

	Εισαγωγή	27
2.1	Κανονική κατανομή	27
2.1.1	Παράμετροι κανονικής κατανομής	31
2.2	Κατανομή αντοχών	31
2.2.1	Μέση τιμή	33

2.2.2	Τυπική απόκλιση	33
2.2.3	Διασπορά - Πηγές διασποράς	34
2.2.4	Η σημασία της τυπικής απόκλισης στην εκτίμηση της αντοχής μιας ποσότητας σκυροδέματος	35
2.2.5	Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος	37
2.3	Απαιτούμενη αντοχή - εξίσωση σχεδιασμού	37
2.3.1	Εκτίμηση τυπικής απόκλισης	40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (Κ.Τ.Σ.) ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ - ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΕΩΣ -ΕΞΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ Α-

	Εισαγωγή	45
3.1	Παρασκευή του σκυροδέματος	45
3.1.1	Ομοιογένεια	45
3.1.2	Αντοχή	46
3.1.3	Εργασιμότητα	47
3.1.4	Οικονομικότητα	47
3.2	Ανάμειξη σκυροδέματος	47
3.2.1	Αναμεικτήρας Εργοστασίου	50
3.3	Μεταφορά Σκυροδέματος	52
3.4	Διάστρωση Σκυροδέματος	52
3.5	Συμπύκνωση του σκυροδέματος	53
3.6	Συντήρηση Σκυροδέματος	54
3.7	Εξωτερικός έλεγχος σκυροδέματος	56
3.7.1	Εργοστασιακό - Εργοταξιακό σκυρόδεμα	56
3.7.2	Κριτήρια συμμορφώσεως	57
3.8	Εξομοίωση - Καμπύλη λειτουργίας κριτηρίου Α. Νέος Κανονισμός (Κ.Τ.Σ.) Τεχνολογίας Σκυροδέματος	61
3.8.1	Κριτήριο Συμμορφώσεως Α	63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΑΥΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

	Εισαγωγή	66
4.1	Παρασκευή δοκιμών σκυροδέματος	66

4.1.1	Σχήμα και διαστάσεις δοκιμίων	66
4.1.2	Ανοχές σχήματος δοκιμίων	66
4.2	Συμπύκνωση του σκυροδέματος	67
4.3	Διαδικασία	67
4.3.1	Προετοιμασία	67
4.3.2	Συμπύκνωση με δόνηση	67
4.3.3	Τράπεζα δονήσεως	67
4.3.4	Δονητής Μάζας	68
4.3.5	Συμπύκνωση με ράβδο	68
4.3.6	Τελική επεξεργασία	68
4.4	Συντήρηση	68
4.5	Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμίων σκυροδέματος	70
4.5.1	Συσκευή (Μηχανή Θλίψεως)	70
4.5.2	Τοποθέτηση και κέντρωση των δοκιμίων	70
4.5.3	Φορτίση	70
4.5.4	Αποτελέσματα της δοκιμής	71
4.6	Έρευνα της αντοχής σε θλίψη	71
4.6.1	Επιρροή της τριβής	73
4.6.2	Επιρροή του ύψους δοκιμίου	73
4.6.3	Μορφή θραύσεως	75
4.6.4	Μορφή και διαστάσεις δοκιμίων	75

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΚΑΘΙΣΕΩΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΘΙΣΗ

	Εισαγωγή	80
5.1	Δειγματοληψία	80
5.2	Συσκευές	80
5.2.1	Κώνος καθίσεως	80
5.2.2	Ράβδοι συμπυκνώσεως	81
5.3	Διαδικασία της δοκιμής	81
5.3.1	Αποτελέσματα της δοκιμής	82
5.4	Εργασιμότητα	82
5.5	Παράγοντες που επηρεάζουν την κάθιση	83
5.5.1	Χρόνος	83

5.5.2	Θερμοκρασία	83
5.5.3	Αδρανή	83
5.5.4	Τσιμέντο	86
5.5.5	Νερό	86

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°

ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΛΗΨΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

	Εισαγωγή	87
6.1	Περιγραφή μηχανικού εξοπλισμού του εργοστασίου	87
6.1.1	Μηχανικές εγκαταστάσεις αδρανών	87
6.1.2	Εγκαταστάσεις τσιμέντου	90
6.1.3	Εγκαταστάσεις ύδατος	90
6.1.4	Αναμεικτήρας	90
6.1.5	Αδρανή που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο εργοστάσιο για την παρασκευή του σκυροδέματος	92
6.1.6	Χρησιμοποιούμενη σύνθεση	96
6.2	Συμβολισμοί - Περιγραφή λήψης δοκιμών - Συντήρησης	100
6.2.1	Συμβολισμοί δοκιμών	100
6.2.2	Λήψη δοκιμών	102
6.2.3	Η συντήρηση στο εργοστάσιο	103

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7°

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

	Εισαγωγή	105
7.1	Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος	105
7.1.1	Εξίδρωση	105
7.1.2	Απόμειξη	106
7.1.3	Εργάσιμο	108
7.2	Ιδιότητες του στέρεου σκυροδέματος	111
7.2.1	Η αντοχή σε εξωτερικές δυνάμεις	114
7.2.2.1	Γενικά για την αντοχή	114
7.2.1.2	Η αντοχή του σκυροδέματος και ο μηχανισμός της θραύσεως	114
7.2.1.3	Η αντοχή στις διάφορες μορφές καταπονήσεων	115
7.2.1.4	Η ανάπτυξη της αντοχής με το χρόνο	116

7.2.1.5	Η εξάρτηση της αντοχής από την ποσότητα του νερού και τις αναλογίες συνθέσεως	117
7.2.1.6	Η μέτρηση της αντοχής	117

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

	Εισαγωγή	120
8.1	Λόγος Ν/Τ	121
8.2	Αδρανή	123
8.3	Θερμοκρασία	125
8.3.1	Σκυροδέτηση με χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος	125
8.3.2	Σκυροδέτηση σε υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος	127

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ

	Εισαγωγή	129
9.2	Τυπική απόκλιση μονάδας	129
9.2.1	Δείγμα για τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης	137
9.2.2	Συντελεστής μεταβλητότητας μονάδας	138
9.2.3	Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων - Ιστόγραμμα	139
9.2.4	Έλεγχος κατάλληλότητας κατανομής	142
9.2.4.1	TEST χ^2	142
9.3	Δείγμα Μ	145
9.4	Δείγμα Μ'	145
9.5	Δείγμα Β	145
9.6	Απαιτούμενη αντοχή	145

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ - Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ, ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

	Εισαγωγή	183
10.1	Η επίδραση της θερμοκρασίας	183
10.2	Η έννοια της ωρίμανσης	187
10.3	Εργαστηριακός προσδιορισμός	189
10.3.1	Παρασκευή των δοκιμίων	190

10.3.2	Συντήρηση των δοκιμίων	192
10.3.3	Θραύση των δοκιμίων	192
10.3.4	Αύξηση βάρους δοκιμίων - φαινόμενο βάρος	193
10.4	Σχέση Θερμοκρασίας - Αντοχής	196
10.4.1	Σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και αντοχών	197
10.4.2	Σχέση ωρίμανσης - Αντοχής	200
10.5	Αναγωγή Αντοχών στη Θερμοκρασία των 18°C	205
10.5.1	Ωρίμανση δοκιμίων	205
10.5.2	Αναγωγή αντοχών	209
10.5.3	Διόρθωση τυπικής απόκλισης μονάδας	209
10.6	Συμπεράσματα	213
	 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	 214

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στον κόσμο των κατασκευών και των μεγάλων έργων το σκυρόδεμα αποτελεί το κύριο υλικό που χρησιμοποιείται σήμερα. Εύκολο στην κατεργασία του και αξιόπιστο, προσφέρεται για τη δημιουργία έργων που εμπνέουν πάνω απ' όλα ασφάλεια, αλλά και φαντασία. Οι ιδιότητές του, όπως εργάσιμο και αντοχή, το καθιστούν εύχρηστο. Πρόκειται για υλικό που μπορεί να πάρει οποιαδήποτε μορφή του δώσουμε, ανάλογα με το καλούπι. Εξυπηρετεί μ' αυτόν τον τρόπο τις όποιες καλλιτεχνικές μας ανησυχίες, αφού σήμερα πλέον είναι εφικτό ν' αποκτήσει και όποιο χρώμα θελήσουμε. Ταυτόχρονα με την προσφορά του για σχεδιαστικές λύσεις με δημιουργικότητα και φαντασία, δημιουργεί και ανθεκτική ολόσωμη κατασκευή. Ο συνδυασμός άλλωστε των παραπάνω με την ισχυρή αντοχή αποτελούν το συνδυασμό των στοιχείων εκείνων που έκαναν το σκυρόδεμα τόσο δημοφιλές κατά τον 20^ο αιώνα.

Πέρα απ' όλες τις παραπάνω ιδιότητες, το σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται ως υλικό ανισότροπο, πράγμα που σημαίνει πως επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Για τη γνώση του σε βάθος άλλωστε έχει αναπτυχθεί ολόκληρη επιστήμη.

Στη συγκεκριμένη εργασία γίνεται μία προσέγγιση των κύριων χαρακτηριστικών του σκυροδέματος, όπως αυτό παρασκευάζεται στην πραγματικότητα. Προσεγγίζεται η ποιότητά του από τη στιγμή της παραγωγής του, έως τη στιγμή της διάστρωσης, συμπίκνωσης και συντήρησής του. Γίνεται έλεγχος της αντοχής του στις 28 ημέρες, καθώς αυτή είναι η σπουδαιότερη ιδιότητά του.

Η αντιμετώπισή του βέβαια γίνεται μέσα από τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος που αποτελεί και τον πρότυπο κανόνα (μπούσουλα). Έτσι αναφέρονται τα υλικά σύνθεσης που είναι το τσιμέντο, τ' αδρανή και το νερό. Έπειτα γίνεται αναφορά στη στατιστική ανάλυση του σκυροδέματος. Μ' αυτά τα στοιχεία επιχειρήθηκε η παρακολούθηση και μελέτη του σκυροδέματος στον τόπο παραγωγής του.

Μελετήθηκε λοιπόν ένα εργοστάσιο παραγωγής σκυροδέματος. Αναλύθηκε ο μηχανικός εξοπλισμός του και η επιρροή που έχει αυτός στην ποιότητα του σκυροδέματος. Πρέπει να τονιστεί ότι στο συγκεκριμένο εργοστάσιο είχαμε πλήρη γνώση της διαδικασίας παραγωγής. Με το πλεονέκτημα αυτό και τη συγκέντρωση στοιχείων όπως κάθιση, θερμοκρασία συντήρησης, σύνθεση μελέτης κ.ά. έγινε μία προσέγγιση των χαρακτηριστικών της ποιότητας του σκυροδέματος και των παραγόντων που επηρεάζουν την αντοχή του.

Ωστόσο, αναπτύχθηκε ιδιαίτερα η σχέση της αντοχής του σκυροδέματος με την ωρίμανση. Αυτό πραγματοποιήθηκε με στοιχεία που συγκεντρώθηκαν ταυτόχρονα από το εργοστάσιο και από μελέτη που έλαβε χώρα στο εργαστήριο.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί η εξομοίωση που πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή για το σχεδιασμό της καμπύλης λειτουργίας του κριτηρίου συμμορφώσεως A του νέου Ελληνικού Κανονισμού Τεχνολογίας (1997).

Κλείνοντας τονίζεται η αναγκαιότητα της γνώσης της τεχνολογίας του σκυροδέματος σε βάθος. Το υλικό αυτό σημάδεψε τον 20^ο αιώνα και θα συνεχίσει την επιβλητική παρουσία του για μεγάλο ακόμα χρονικό διάστημα. Οι δυνατότητες του συνεχώς αυξάνονται. Είναι σημαντικό να φροντίσουμε στο μέγεθος που μπορούμε να γίνεται σωστός, συνεχής και συστηματικός έλεγχος σε όλες τις φάσεις επεξεργασίας του ώστε να διασφαλίζονται η ασφάλεια και η υγεία όλων μας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°

1. ΤΑ ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ [1] , [3]

1.1. ΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ [1]

1.1.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ [1]

Το τσιμέντο, σε αντίθεση με άλλες φυσικές κονίες, είναι προϊόν βιομηχανικό, που παρασκευάζεται από τη σύγχρονη όπτηση ασβεστολίθου και αργίλου (καμιά φορά και σχιστολίθου). Πήρε το όνομά του από τα εδάφη της περιοχής Πόρτλαντ της Αγγλίας λόγω της ομοιότητας του χρώματος. Η σειρά των εργασιών από την εξόρυξη πρώτων υλών ως το τελικό προϊόν είναι η ακόλουθη:

- 1) Εξόρυξη ασβεστολιθικών πετρωμάτων και αργιλικών εδαφών χωριστά και θραύση αυτών σε σπαστήρα, μέχρι ν' αποκτήσουν διάμετρο μερικών εκατοστών.
- 2) Στη συνέχεια γίνεται ανάμιξη των δύο κατεργασμένων από το σπαστήρα υλικών (η εργασία αυτή λέγεται προομοιογενοποίηση).
- 3) Την προομοιογενοποίηση ακολουθεί η άλεση σε τριβεία ώστε τα υλικά ν' αποκτήσουν διάμετρο λίγων χιλιοστών. Το λεπτόκοκκο πλέον υλικό αποθηκεύεται σε σιλό και ονομάζεται φάρινα.
- 4) Το μείγμα εισάγεται στο επάνω άκρο κυλινδρικής καμίνου, η οποία περιστρέφεται αργά γύρω από τον άξονά της. Η θερμοκρασία μέσα στην κάμινο είναι περίπου 600°C στο επάνω άκρο και φτάνει στους 1500°C στο κάτω άκρο που είναι και το σημείο εξόδου. Από τον κλίβανο εξέρχονται τήγματα χρώματος πρασινόμαυρου, μεγέθους λίγων εκατοστών τα οποία ονομάζονται εκβολάδες ή διεθνώς Klinker.
- 5) Τα προϊόντα αυτά της οπτίσεως αλέθονται και αποκτούν τη γνωστή μορφή του τσιμέντου. Το υλικό αυτό χωρίς καμία προσθήκη ή τροποποίηση ονομάζεται "τσιμέντο Πόρτλαντ".

Ωστόσο, κατά την άλεση προστίθενται γύψος και πρόσθετα. Τα πρόσθετα είναι ποζολάνες, δραστικά υλικά ηφαιστιακής προέλευσης που η παρουσία τους στο τσιμέντο βελτιώνει ορισμένες ιδιότητες του σκυροδέματος. Τέτοια υλικά είναι η Θηραϊκή Γη (έχει διακοπεί η εξόρυξή της), η Μηλαϊκή Γη, η Σκυδραϊκή Γη κ.α. Στην κατηγορία των ποζολανών εντάσσονται και οι ιπτάμενες τέφρες των θερμοηλεκτρικών εργοστασίων. Η λεπτότητα της άλεσης παίζει σημαντικό ρόλο και

έχει ιδιαίτερη επίδραση στην ταχύτητα της ενυδάτωσης. Τη λεπτότητα της αλέσεως τη μετρούμε με τη συσκευή Blaine από την ειδική επιφάνεια των κόκκων. Όσο μεγαλύτερη είναι η λεπτότητα τόσο ταχύτερη είναι η ενυδάτωση και επομένως ταχύτερη και η ανάπτυξη της αντοχής, και αντίστροφα. Πέρα όμως από κάποιο όριο, η γρήγορη ενυδάτωση και πήξη μέρους του τσιμέντου, παρεμποδίζει τη διακίνηση του νερού και την προσβολή και των υπολοίπων κόκκων, με δυσμενή προφανώς αποτελέσματα. Αντίθετα όμως, η λεπτότητα του τσιμέντου έχει μικρή επίδραση στην τελική τιμή της αντοχής.

1.1.2 Τύποι Τσιμέντων [1] , [14]

Ανάλογα με τη σύνθεσή τους, το βαθμό αλέσεως και τα πρόσθετα υλικά, τα τσιμέντα κατατάσσονται σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Τσιμέντων (Π.Δ. 244/1980, ΦΕΚ 69/Α/28-3-80) σε τέσσερις τύπους: **I,II,III,IV** και τρεις κατηγορίες: **35,45** και **55**.

Ο κάθε τύπος μπορεί να παρασκευασθεί σε κάθε μία από τις τρεις κατηγορίες:

ΤΥΠΟΙ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Τύπος I : Σύνθεση : Κλίνκερ + Γύψος

Τύπος II : Σύνθεση : Κλίνκερ + Πρόσθετα + Γύψος

Πρόσθετα : Ποζολάνες περίπου έως 20%

Τύπος III : Σύνθεση : Κλίνκερ + Πρόσθετα + Γύψος

Πρόσθετα : Ποζολάνες περίπου έως 40%

Τύπος IV : Σύνθεση : Κλίνκερ + Γύψος

Κλίνκερ ειδικής χημικής σύστασης, ώστε το τελικό προϊόν να έχει αντοχή στα θειικά.

1.1.3 Κατηγορίες τσιμέντου [1] , [14]

Η αντοχή του τσιμέντου προσδιορίζεται κατά τις προδιαγραφές σε πρότυπα δοκίμια κονιάματος με βάση τη συμβατική αντοχή 28 ημερών σε θλίψη. Η αντοχή του τσιμέντου επηρεάζει την τελική αντοχή του σκυροδέματος.

Από άποψη αντοχής τα τσιμέντα κατατάσσονται στις κατηγορίες:

35, 45 και 55

Οι αριθμοί παριστάνουν την αντοχή των τσιμέντων σε -MPa-. Έτσι ένα τσιμέντο - I/35- σημαίνει ότι είναι τύπου I και συμβατικής μέσης αντοχής 35MPa.

Όρια Κατηγοριών Αντοχής

Κατηγορία	Αντοχή τσιμέντου
35	25~45 N/mm ² 250~450 Kg/cm ²
45	35~55 N/mm ² 350~550 Kg/mm ²
55	45 N/mm ² τουλάχιστον 450 Kg/mm ²

Τα τσιμέντα που χρησιμοποιούνται κυρίως στην ελληνική αγορά σε ποσοστό 98% περίπου της όλης παραγωγής είναι τα ακόλουθα:

Τύπος I/35, Τύπος II/35 και λιγότερο Τύπος I/45.

Το τσιμέντο I/55 χρησιμοποιείται όταν υπάρχει ανάγκη για ανάπτυξη θλιπτικών αντοχών πολύ γρήγορα, όπως είναι π.χ. είναι αναγκαίο στην προκατασκευή. Στην Αθήνα χρησιμοποιείται κυρίως ο τύπος I/45 ενώ στην επαρχία ο τύπος II/35. Ο τελευταίος τύπος απαιτεί περισσότερη ποσότητα τσιμέντου προκειμένου να πετύχει τις ίδιες αντοχές μ' αυτές του τύπου I/45.

Τέλος υπάρχουν κι άλλοι τύποι τσιμέντου που χρησιμοποιούνται σε ειδικές κατασκευές όπως : Τύπος II/45, Τύπος III/45, Τύπος IV, Λευκό Τσιμέντο, OIL WELL.

1.1.4 Ενυδάτωση και φαινόμενα που τη συνοδεύουν [1] , [15]

Η πήξη και η σκλήρυνση του σκυροδέματος οφείλονται αποκλειστικά στη χημική δράση μεταξύ τσιμέντου και νερού. Τα συστατικά του τσιμέντου ενώνονται με το

νερό ύστερα από μία σειρά πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων που διαρκούν επί χρόνια. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ενυδάτωση** του τσιμέντου.

Αμέσως μετά την ανάμειξη και για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, το μείγμα δεν παρουσιάζει καμία μεταβολή. Με την πάροδο του χρόνου όμως φαίνεται ότι αρχίζει να πήζει προοδευτικά, εωσότου στερεοποιηθεί τελείως. Το φαινόμενο καλείται πήξη της τσιμεντοκονίας. Συμβατικά η έναρξη και η λήξη της πήξης καθορίζεται με την συσκευή Vicat, αναλόγως του βάθους εισχωρήσεως της βελόνας στον τσιμεντοπολτό. Η αρχή της πήξεως δεν πρέπει να εμφανίζεται νωρίτερα από 1 ώρα και το τέλος της πήξεως αργότερα από 8 ώρες από τη στιγμή αναμείξεως του τσιμέντου με το νερό. Μετά τη συμβατική λήξη της πήξης, ο τσιμεντοπολτός έχει λάβει ήδη την τελική στερεά μορφή και μακροσκοπικά φαίνεται να μην παρουσιάζει πάλι καμία μεταβολή.

Στην πραγματικότητα οι χημικές αντιδράσεις μεταξύ νερού και τσιμέντου συνεχίζονται για χρόνια. Τα 4 βασικά συστατικά του τσιμέντου σχηματίζουν με το νερό ένυδρες ενώσεις του ασβεστίου.

Παράλληλα, παρατηρείται συστολή του τσιμεντοπολτού. Με τον όρο συστολή ενυδατώσεως ή χημική συστολή χαρακτηρίζεται η συστολή που δεν οφείλεται σε εξωτερικά αίτια, αλλά αποκλειστικά και μόνο στις χημικές μεταβολές που συντελούνται μεταξύ τσιμέντου και νερού. Κατά το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται ελάττωση του όγκου των προϊόντων της αντιδράσεως, ίση με το 1/4 περίπου του αρχικού όγκου του νερού.

Ένα άλλο φαινόμενο που παρουσιάζεται κατά την ενυδάτωση είναι η σύγχρονη έκλυση θερμότητας. Η αντίδραση είναι εξώθερμη. Ωστόσο η θερμότητα αυτή δε γίνεται αντιληπτή, διότι πραγματοποιείται με πολύ αργούς ρυθμούς. Αντίθετα, η θερμότητα ενυδατώσεως γίνεται αντιληπτή, όταν πρόκειται για ογκώδες έργο, από τη μάζα του οποίου δεν μπορεί εύκολα ν' απομακρυνθεί (η θερμότητα).

1.1.5 Το νερό αναμείξεως [1]

Το νερό αποτελεί ένα από τα κύρια συστατικά του σκυροδέματος. Είναι το στοιχείο το οποίο αντιδρά χημικά με το τσιμέντο και με τη δημιουργία ένυδρων κρυστάλλων οδηγούν στην πήξη και τη σκλήρυνση του μείγματος.

Το νερό που χρησιμοποιείται για την ανάμειξη του σκυροδέματος πρέπει γενικά να είναι απαλλαγμένο από ουσίες που θα δημιουργήσουν αρνητικές επιπτώσεις στη φύση του σκυροδέματος. Δεν πρέπει να επηρεάζει δυσμενώς την αντοχή και την

ανθεκτικότητα του σκυροδέματος. Επίσης θα πρέπει ν' αποφεύγεται κάθε αίτιο που μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στον οπλισμό μέσα από μηχανισμούς διάβρωσης.

Είναι χαρακτηριστικό ότι οι διάφοροι κανονισμοί διαφέρουν πάρα πολύ μεταξύ τους ως προς τα όρια και τα κριτήρια για τη βλαπτικότητα του νερού. Αυτό συμβαίνει γιατί η δράση των διαφόρων ουσιών μεταβάλλεται ανάλογα με την ποιότητα του τσιμέντου και τη σύγχρονη παρουσία και άλλων στοιχείων, ανάλογα με τη μορφή τους, δηλαδή τη χημική σύνθεση αυτών μέσα στο νερό. Η παρουσία π.χ. οργανικών ουσιών, δεσμεύει μέρος του ασβεστίου του τσιμέντου. Σημαντικό ρόλο στο μέγεθος της βλαπτικότητας παίζουν οι αναλογίες των ποσοτήτων που χρησιμοποιούνται (βάση της σύνθεσης) στην παρασκευή του σκυροδέματος.

Βέβαια, υπάρχει γενικά μία ανεκτικότητα για το νερό το οποίο χρησιμοποιείται για την παρασκευή του σκυροδέματος. Υπάρχουν όμως και εξωτερικά νερά, όπως π.χ. αυτά των αποχετεύσεων, που δρουν συνεχώς και για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Πρακτικά αυτά τα νερά δρουν μόνιμα, με αποτέλεσμα η αρνητική δράση τους να είναι μόνιμη και η ποσότητα των επιβλαβών ουσιών ανεξάντλητη. Αντίθετα η ύπαρξη βλαπτικών ουσιών στο νερό αναμειγξέως θεωρείται ανεκτή λόγω της μικρής ποσοστιαίας αναλογίας. Συνεπώς η ύπαρξη κάθε ξένης ουσίας είναι μικρή και δρα ώσπου να εξαντληθεί.

Ορισμένες πάντως χημικές ουσίες επιδρούν δυσμενώς στην εξέλιξη των χημικών αντιδράσεων, με αποτέλεσμα είτε την καθυστέρηση της πήξης είτε τη μείωση της τελικής αντοχής.

Οι κυριότερες από αυτές τις ουσίες είναι:

α) Η Ζάχαρη

Ο τρόπος δράσεως της ζάχαρης δεν είναι απόλυτα γνωστός. Θεωρείται ωστόσο μία από τις πιο επιβλαβείς ουσίες, διότι ανακόπτει τη χημική αντίδραση ενυδάτωσης και επομένως εμποδίζει την πήξη του σκυροδέματος.

Πειραματικές μετρήσεις σε κονιάματα δείχνουν, κάτω από κάποιο όριο, αύξηση της αντοχής έως 30%, ενώ από το όριο αυτό και πάνω παρατηρείται ταχύτατη διακοπή της ενυδατώσεως. Το όριο αυτό δεν είναι απόλυτα εξακριβωμένο. Από τις μετρήσεις όμως προκύπτει ότι είναι ιδιαίτερα χαμηλό, ώστε να πρέπει ν' αποκλειστεί και η παραμικρή ποσότητα ζάχαρης ή ζαχαρούχων προϊόντων.

β) Τα οξέα

Τα οξέα, όπως το ανθρακικό οξύ και άλλα οργανικής προελεύσεως, δεσμεύουν το ασβέστιο που υπάρχει στο τσιμέντο και που είναι απαραίτητο για την πήξη. Η βλαπτικότητά του γίνεται περισσότερο έντονη σε τσιμέντα με μικρή περιεκτικότητα σε ασβέστιο. Ως μέτρο για την οξύτητα χρησιμεύει η τιμή του pH. Επικίνδυνο θεωρείται γενικά νερό με $\text{pH} < 4 \sim 6$.

γ) Τα έλαια και τα λίπη

Αυτά δρουν μηχανικά. Περιβάλλουν τους κόκκους του τσιμέντου παρεμποδίζοντας την επαφή τους με τα μόρια του νερού.

δ) Οργανικές ουσίες

Οι οργανικές ουσίες γενικά επηρεάζουν ανασταλτικά την πήξη.

Όταν πρόκειται για παρασκευή προεντεταμένου σκυροδέματος, απαγορεύεται η χρησιμοποίηση θαλασσινού νερού, όπως και νερού που περιέχει χλωριούχα και θειικά άλατα.

Από τα παραπάνω καθώς και από τη σύγκριση των διαφόρων κανονισμών, προκύπτει ότι εκτός ορισμένων έντονα βλαπτικών ουσιών (π.χ. ζάχαρη), γίνεται φανερή η έλλειψη στοιχείων που θα έκαναν την πρόβλεψη των αποτελεσμάτων που θα έχει η παρουσία ξένων ουσιών μέσα στο νερό, αν και η δυσμενής επιρροή τους είναι περιορισμένη.

Γενικά συνιστάται το νερό να είναι πόσιμο, αλλιώς πρέπει:

- 1) για το νερό που θα χρησιμοποιηθεί να υπάρχει προηγούμενη πείρα σε κατασκευές από σκυρόδεμα,
- 2) να κατασκευάζονται δοκίμια και να ελέγχεται η αντοχή τους σε θλίψη, η οποία δεν πρέπει να είναι χαμηλότερη περισσότερο από 10% από την τιμή που προκύπτει για σκυρόδεμα που παρασκευάζεται με πόσιμο νερό.

Τέλος ο Κ.Τ.Σ. υιοθετεί το Σχέδιο Ελληνικού Προτύπου ΕΛΟΤ 345, στο οποίο φαίνονται (πίνακας 1.1) τα όρια των βλαπτικών ουσιών.

Κεφάλαιο 1^ο

Α/Α	Ιδιότητες – Συστατικά	Όρια (ppm)*	
		«α»	«β»
1	Όλική οξύτης, εκπεφρασμένη εις άνθρακικό ασβέστιον (CaCO_3) (μετρουμένη ως προς δείκτην φαινολοφθαλείνην)	100 ^(α)	500 ^(β)
2	Όλική αλκαλικότης, εκπεφρασμένη εις άνθρακικό ασβέστιον (CaCO_3) (μετρουμένη ως προς δείκτην ήλιανθίνην)	500 ^(α)	—
3	Άνόργανα στερεά (προκειμένου περί άόπλου και σιδηροπαγούς σκυροδέματος)	3000	15000
4	Άνόργανα στερεά (προκειμένου περί προεντεταμένου σκυροδέματος)	800	800
5	Όργανικά στερεά	200	500
6	Θειικά άλατα εκπεφρασμένα εις θειϊκό νάτριον (Na_2SO_4) (προκειμένου περί άόπλου και σιδηροπαγούς σκυροδέματος)	1500	3000
7	Θειϊκά άλατα εκπεφρασμένα εις θειϊκό νάτριον (Na_2SO_4) (προκειμένου περί προεντεταμένου σκυροδέματος)	400	400
8	Χλωριούχα άλατα εκπεφρασμένα εις χλωριούχον νάτριον (NaCl) (προκειμένου περί άόπλου και σιδηροπαγούς σκυροδέματος)	2000	15000
9	Χλωριούχα άλατα εκπεφρασμένα εις χλωριούχον νάτριον (NaCl) (προκειμένου περί προεντεταμένου σκυροδέματος)	400	400
10	Υπερμαγγανικόν κάλιον (KMnO_4) (προκειμένου περί ώπλισμένου σκυροδέματος μόνον)	50	100
11	Λιπαρά και σακχαρώδεις ουσίαι	έντελώς άπηλλαγμένον	

* ppm = μέρη βάρους ανά εκατομμύριον.

Ό προσδιορισμός των ως άνω συστατικών θά γίνεται ως ακολούθως:

1-5. κατά την Άμερικανικήν Πρότυπον μέθοδον A.A.S.H.T.O/T26 μέχρις έκδόσεως του σχετικού Έλληνικού Προτύπου

6-11. κατά τας άνεγνωρισμένας μεθόδους της Άναλυτικής Χημείας.

(α) Διά την πρώτην διερεύνησιν καταλληλότητος δύναται νά γίνεται χρῆσις μετρήσεως pH. όποτε τό αντίστοιχον κατώτερον όριον είναι 6.

(β) Όμοίως ως άνω, με κατώτερον όριον pH =5.

(α) Όμοίως ως άνω, με ανώτερον όριον pH=9.

Είς πάσαις τας άνωτέρω περιπτώσεις, ή τελική απόφασις καταλληλότητος θά λαμβάνεται διά των χημικών μετρήσεων περί των όποιων αί γραμμαι 1 και 2 του Πίνακος I.

Πίν. 1.1 Όρια βλαπτικών ουσιών [3]

1.2.1 Αναλογίες συνθέσεως σκυροδέματος [1]

ΓΕΝΙΚΑ

Ανάλογα με το σκοπό που προορίζεται το τελικό προϊόν, καθορίζεται και η απαιτούμενη ποσότητα κάθε συστατικού του σκυροδέματος. Η άποψη της λειτουργίας και της γεωμετρικής διατάξεως επιβάλλουν τη σειρά: σκύρα, άμμος, τσιμεντοκονία.

Τα χονδρότερα αδρανή (σκύρα) συνδέονται μεταξύ τους με το τσιμεντοκονίαμα, που αποτελεί τη συνδετική τους ύλη. Η ίδια διαδικασία πραγματοποιείται και με το λεπτόκοκκο υλικό.

Συνεπώς, η ποσότητα καθενός από τα τρία παραπάνω υλικά, πρέπει να είναι αναλογικά τουλάχιστον ίση με τα κενά που σχηματίζουν οι κόκκοι του αμέσως μεγαλύτερου υλικού. Η ποσότητα της τσιμεντοκονίας πρέπει να μην είναι μικρότερη από τα κενά της άμμου και του τσιμεντοκονιάματος να μην είναι μικρότερη από τα κενά των σκύρων.

1.2.2 Η απαιτούμενη ποσότητα νερού [1]

Η συνολική ποσότητα νερού που απαιτείται για την παρασκευή σκυροδέματος, αποτελείται από τις παρακάτω επιμέρους ποσότητες:

- α) N_{χ} , ποσότητα νερού που ενώνεται χημικά με το τσιμέντο (ενυδάτωση),
- β) N_k , ποσότητα νερού που ενώνεται κρυσταλλικά με το τσιμέντο,
- γ) $N_{\alpha\delta}$, ποσότητα νερού που απορροφούν τα αδρανή υλικά,
- δ) $N_{\alpha\pi}$, ποσότητα που εξατμίζεται ή με οποιονδήποτε τρόπο αποβάλλεται,
- ε) N_{ϵ} , ποσότητα νερού που μένει ελεύθερη στους πόρους του σκυροδέματος.

Ωστε η συνολική ποσότητα είναι: $N = N_{\chi} + N_k + N_{\alpha\delta} + N_{\alpha\pi} + N_{\epsilon}$

1.2.3 Απαιτούμενη ποσότητα νερού για την ενυδάτωση [1]

Αναφέρθηκε παραπάνω (σε ξεχωριστή παράγραφο) η λειτουργία της ενυδάτωσης του σκυροδέματος, δηλαδή η ανάπτυξη σειράς χημικών αντιδράσεων, κατά τις οποίες τα συστατικά του τσιμέντου ενώνονται με το νερό και σχηματίζουν ένυδρους κρυστάλλους.

Το νερό που δεσμεύεται από τα τέσσερα συστατικά του τσιμέντου και για μία μέση σύνθεση, αποτελεί περίπου το 26% του βάρους του τσιμέντου. Αυτό το ποσοστό επαληθεύεται και πειραματικά, θερμαίνοντας την τσιμεντοκονία σε κλίβανο, οπότε αποδεσμεύεται το ενωμένο νερό.

Έχει βρεθεί από μετρήσεις του είδους αυτού ότι η ποσότητα του χημικά ενωμένου νερού είναι ίση με το 1/4 του βάρους του τσιμέντου. Η ποσότητα εξάλου του κρυσταλλικά ενωμένου νερού βρέθηκε ίση με 15% του βάρους του τσιμέντου. Παρατηρούμε δηλαδή, ότι το δεσμευμένο νερό φθάνει το 40% κ.β. του τσιμέντου. Αυτή είναι και η ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα νερού για τη δέσμευση του τσιμέντου.

Σε περίπτωση που η ποσότητα νερού είναι λιγότερη από την απαιτούμενη, τότε μέρος του τσιμέντου μένει αδέσμευτο. Αυτό συμπεριφέρεται όπως η παιπάλη της άμμου και πρέπει ν' αφαιρεθεί από την ποσότητα τσιμέντου που απαιτείται κατά τη σύνθεση και να προστεθεί στην κοκκομετρική σύνθεση των αδρανών.

1.2.4 Νερό δεσμευμένο από τα αδρανή [1]

Είναι φυσικό τ' αδρανή ν' απορροφήσουν ποσότητα νερού (Ναδ). Η ποσότητα αυτή αυξάνεται όσο λιγότερο κορεσμένα είναι αυτά. Η φύση του πετρώματος, η ολική επιφάνεια των κόκκων (επιφάνεια διαβροχής) και η υπάρχουσα υγρασία στους κόκκους είναι οι κύριοι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ποσότητα Ναδ.

Για ορισμένο είδος πετρώματος η ποσότητα νερού που απορροφάται είναι ανάλογη με την ειδική επιφάνεια των κόκκων. Έτσι όσο πιο μικρός είναι ο κόκκος τόσο περισσότερο νερό απορροφάει. Ωστόσο, η διαφορετική ικανότητα κορεσμού μικρών και μεγάλων κόκκων καθώς και οι δυνάμεις συνάφειας, περιπλέκουν το φαινόμενο. Όπως και να 'χει πάντως η συγκρατούμενη ποσότητα εξακολουθεί να είναι μεγαλύτερη για τα περισσότερα λεπτόκοκκα υλικά.

1.2.5 Απώλειες νερού (εξάτμιση, ελεύθερο νερό κ.α.) , [1] , [16]

Καθ' όλη τη διαδικασία παρασκευής, μεταφοράς και διάστρωσης του σκυροδέματος υπάρχουν απώλειες νερού που μπορούμε να τις χαρακτηρίσουμε ως αναπόφευκτες. Πρώτη και κυριότερη είναι η εξάτμιση από την επιφάνεια του σκυροδέματος. Εξαρτάται από την υγρασία και τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Είναι ιδιαίτερα υπολογίσιμη κατά τους ζεστούς θερινούς μήνες, αλλά και στην περίπτωση έτοιμου σκυροδέματος, όταν μάλιστα ο τόπος παραδώσεως απέχει από τον τόπο παρασκευής. Αυξάνεται έτσι ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ παρασκευής και διαστρώσεως.

Άλλη αιτία απώλειας είναι η απορρόφηση νερού από τους ξυλότυπους. Αυτός είναι και ο λόγος που πολλές φορές , ιδιαίτερα το καλοκαίρι, παρατηρούμε στις οικοδομές να βρέχουν τα ξύλα (διαβροχή ξυλοτύπων).

Βέβαια, οι παραπάνω δύο περιπτώσεις έχουν τοπική σημασία και μπορεί να οδηγήσουν σε ρηγματώσεις. Πρέπει όμως να αντιμετωπίζονται κατάλληλα ώστε να ολοκληρώνεται το φαινόμενο της ενυδατώσεως.

Εκτός από τα παραπάνω, περίσσεια ποσότητας νερού παραμένει μέσα στη μάζα του σκυροδέματος και κατά την πήξη και κατά τη σκλήρυνση αυτού. Μετά την εξάτμιση αυτής της ποσότητας ο χώρος θα παραμείνει κενός από στερεό υλικό, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν πόροι και τριχοειδείς κοιλότητες. Έτσι, η περίσσεια νερού συντελεί στη δημιουργία του πορώδους και επομένως επηρεάζει δυσμενώς την τελική αντοχή του σκυροδέματος.

Τελικά όμως η περίσσεια νερού είναι και αναπόφευκτη και αναγκαία. Άλλωστε είναι προτιμότερο να δεσμευτεί όλο το τσιμέντο, πράγμα που πετυχαίνετε με πλεόνασμα νερού, παρά να διακινδυνεύσουμε μέρος του τσιμέντου να παραμείνει χημικά αδρανές. Όπως πολύ χαρακτηριστικά παρατηρεί ο Guerin [16], μία απόκλιση προς τα άνω -από το optimum ποσοστό-της ποσότητας του ύδατος κατά 10% συνεπάγεται μείωση της αντοχής κατά 15%, ενώ μία προς τα κάτω ίση απόκλιση κατά -10% συνεπάγεται μείωση αντοχής κατά 38%. Είναι φρόνιμο λοιπόν για λόγους ασφαλείας να υπάρχει πάντοτε πλεόνασμα νερού. Πρακτικοί λόγοι άλλωστε όπως αυτοί της μεταφοράς και της διάστρωσης επιβάλλουν μία συγκεκριμένη ρευστότητα του μείγματος.

Τέλος η ποσότητα του νερού αναμειγξέως έχει καθιερωθεί να προσδιορίζεται σαν ο λόγος του βάρους του προς το βάρος του τσιμέντου: N/T.

1.2.6 Η ποσότητα και η σύνθεση των αδρανών [1]

Όπως έχει τονιστεί και παραπάνω η κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού είναι συνεχής. Έτσι, η συνηθισμένη διάκριση που γίνεται στην πράξη μεταξύ άμμου και σκύρων δεν έχει ιδιαίτερη σημασία. Ο βαθμός πυκνότητας του μείγματος (βλ. παρ. 1.4.3) καθώς επίσης και τα ειδικά βάρη του μείγματος και των κόκκων, βοηθούν να υπολογίσουμε τις απαιτούμενες ποσότητες.

1.3 Μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος [1] , [2]

Ως "Μελέτη Σύνθεσης" (ΜΣ) ορίζεται η κατάλληλη εκλογή αναλογιών σύνθεσης, έτσι ώστε να πετύχουμε εκείνες τις ιδιότητες που απαιτεί ο σκοπός της κατασκευής και λειτουργίας του έργου. Οι συγκεκριμένες αυτές ιδιότητες επιβάλλονται από τις απαιτήσεις της κατασκευής μεν, αλλά και από τα διαθέσιμα υλικά και τα εργοταξιακά μέσα.

Επιβάλλεται από τον Κ.Τ.Σ. το σκυρόδεμα να έχει μελετηθεί και να παρασκευάζεται έτσι ώστε να έχει ομοιογένεια, κατάλληλη εργασιμότητα καθώς και την απαιτούμενη αντοχή κι ανθεκτικότητα που προδιαγράφονται από το έργο.

Η ΜΣ καθίσταται ιδιαίτερα σημαντική και απαραίτητη καθ' ότι η θεωρία απέχει πολύ από την πράξη. Περιγράφηκε παραπάνω η θεωρητική δομή του σκυροδέματος η οποία οδηγεί και στην άριστη σύνθεσή του. Όμως είναι πρακτικά αδύνατη η ομοιόμορφη τακτοποίηση των κόκκων, με την εγκατάσταση των μικρότερων στα κενά των αμέσως μεγαλύτερων και η εισροή ανάμεσα σ' αυτά του πολτού της τσιμεντοκονίας. Η συνεκτικότητα του σκυροδέματος θα ήταν τόσο ισχυρή, που θα χρειαζόταν ιδιαίτερα μεγάλο κι επίπονο έργο συμπτύκνωσης.

Για τους παραπάνω λόγους γίνεται παρέκλιση από το θεωρητικό πρότυπο και μέσω της ΜΣ φτιάχνουμε ένα σκυρόδεμα που να ικανοποιεί τις βασικές μας απαιτήσεις και τις πρακτικές επίσης.

Η ΜΣ πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις της κατασκευής, τα διαθέσιμα υλικά, τα εργοταξιακά μέσα και κατά δεύτερο λόγο τις καιρικές ή άλλες ειδικές συνθήκες. Γενικά ισχύει:

- Η κατασκευή καθορίζει την απαιτούμενη αντοχή του υλικού από τη στατική της λειτουργία.
- Οι ελάχιστες απαιτήσεις του έργου και η πυκνότητα του οπλισμού καθορίζουν το μέγιστο κόκκο των αδρανών και εν μέρει την εργασιμότητά της.

- Η λειτουργία του έργου είναι δυνατόν να θέτει κι άλλες πρόσθετες απαιτήσεις όπως: η καλή εμφάνιση της επιφάνειας του σκυροδέματος (εμφανές σκυρόδεμα), η υδατοστεγανότητα κ.α. στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη στη ΜΣ.
- Με τα διαθέσιμα αδρανή υλικά προσδιορίζεται η κατάλληλη κοκκομετρική διαβάθμιση. Είναι γνωστό πόσο σημαντικό ρόλο παίζουν τα αδρανή στην τελική αντοχή που μπορούμε να πετύχουμε.
- Τα διαθέσιμα μέσα μεταφοράς, διάστρωσης και συμπύκνωσης του σκυροδέματος καθορίζουν την απαιτούμενη εργασιμότητα διαμέσου της συνεκτικότητας του μείγματος.

Οι βασικές αρχές που καθοδηγούν τη μελέτη της συνθέσεως, συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- ♦ Μικρότερη δυνατή ποσότητα τσιμέντου:οικονομία, μείωση συστολής.
- ♦ Μεγαλύτερη δυνατή συνεκτικότητα:αύξηση αντοχής.
- ♦ Μεγαλύτερος δυνατός κόκκος αδρανών:αύξηση αντοχής για την ίδια εργασιμότητα, ελάττωση κονιάματος.

1.4 Αδρανή υλικά [1] , [3] , [4]

Τα αδρανή είναι ένα από τα τρία κύρια υλικά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του σκυροδέματος (νερό-τσιμέντο-αδρανή).

Η ονομασία τους οφείλεται στο γεγονός ότι δε λαμβάνουν μέρος στη σειρά χημικών αντιδράσεων που πραγματοποιούνται μεταξύ του νερού και του τσιμέντου.

Συμβάλουν στην αντοχή του σκυροδέματος μηχανικά, αφού συνδέονται και συγκολλούνται μεταξύ τους με το κονίαμα (νερό+τσιμέντο=κονίαμα).

Η επαρκής αντοχή, επαρκής πρόσφυση και χημική ανεκτικότητα, είναι οι χαρακτηριστικές ιδιότητες που πρέπει να έχουν τα αδρανή, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή σκυροδέματος, με την ασφάλεια και την προστασία που ο σκοπός της ποιότητάς του επιβάλλει.

Η αντοχή τους (αντοχή του μητρικού πετρώματος), η καθαρότητα, η ύπαρξη δηλαδή ή όχι πρόσμεικτων ουσιών, η πρόσφυση με την κονία, η χημική συμπεριφορά τους με τα άλλα συστατικά του σκυροδέματος ή με ουσίες που μπορεί να διεισδύσουν μέσα στο σκυρόδεμα κατά τη διάρκεια της ζωής του, το σχήμα και το μέγεθος των κόκκων, καθώς και άλλα χαρακτηριστικά, επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα την ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Το συγκενέστερο υλικό προς την τσιμεντοκονία είναι τα πετρώματα και αυτά χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του κοινού σκυροδέματος. Τα πετρώματα ή τα συντρίμματα αυτών βρίσκονται στη φύση (συλλεκτά) είτε θραύονται τεχνητά (θραυστά). Τα ασβεστολιθικά και τα πυριτικά καθορίζονται ως τα καταλληλότερα.

1.4.1 Προέλευση και αντοχή των αδρανών [1] , [3]

Η προέλευση των αδρανών καθορίζεται από τη φύση. Όγκοι πετρωμάτων οι οποίοι θραύονται τεχνητά και αναφέρονται ως θραυστά αδρανή, καθώς και αδρανή που συλλέγονται από τη φύση και χαρακτηρίζονται ως συλλεκτά.

Για την παρασκευή του κοινού σκυροδέματος η αναφορά γίνεται σε συνήθη λίθινα αδρανή φαινόμενου ειδικού βάρους $2,40 \sim 3,00 \text{ t/m}^3$. Δεν γίνεται αναφορά σε ελαφρύτερα ή βαρύτερα αδρανή ούτε σε αδρανή που προέρχονται από τη θραύση παλαιού σκυροδέματος.

Λαμβάνονται κυρίως από λατομεία στα οποία θραύονται μεγάλοι όγκοι πετρωμάτων και τα οποία βέβαια εγγυώνται για τις εκάστοτε προδιαγραφές (όταν προμηθεύουν εργοστάσια παραγωγής σκυροδέματος).

Σημαντική επίσης είναι η λήψη αδρανών από τη φύση, κυρίως από ποτάμια. Αυτού του είδους τα αδρανή οδηγούνται σε κατάλληλες εγκαταστάσεις όπου θραύονται (σπαστήρας), πλένονται (πλυντήρια) και αποθηκεύονται σε κλάσματα.

Ωστόσο, η ανεξέλεγκτη και πολλές φορές παράνομη αμμοληψία, όπως χαρακτηριστικά λέγεται η λήψη των αδρανών από τα ποτάμια, έχει οδηγήσει το κράτος στη λήψη μέτρων πρόληψης με την εισήγηση νόμων απαγόρευσης.

Έτσι προστατεύεται η φύση από την αλόγιστη και μη μεθοδευμένη λήψη αδρανών. Για παράδειγμα, σπάνια η λήψη αδρανών που πραγματοποιείται στα ποτάμια, αντικαθίσταται με την εναπόθεση άλλων πετρωμάτων προς ισορροπία της φύσης (χαρακτηριστικότερη είναι η έντονη αλλαγή της μορφολογίας της κοίτης των ποταμών). Το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι πολύ έντονο στην επαρχία.

Τα θραυστά αδρανή πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ-408 "Θραυστά αδρανή για συνήθη σκυροδέματα".

Για την παρασκευή του κοινού σκυροδέματος, στο οποίο η μηχανική αντοχή είναι το κυριότερο χαρακτηριστικό, σημασία έχει η αντοχή σε θλίψη του μητρικού

πετρώματος. Την αντοχή αυτή τη μετρούμε με 6 κυβικά δοκίμια με πλευρά 7X7X7 ή κυλινδρικούς πυρήνες Φ75 και ύψους 75mm.

Επίσης το μητρικό πέτρωμα πρέπει να είναι απαλλαγμένο από κορμούς και να παρουσιάζει καλή συμπεριφορά υπό την επίδραση ατμοσφαιρικών επιδράσεων, όπως για παράδειγμα υψηλή θερμοκρασία κ.α. Αυτές οι ιδιότητες χαρακτηρίζονται με τον όρο "υγεία" του πετρώματος, μετράται δε σύμφωνα με την αμερικανική προδιαγραφή ASTM C88.

Άμμος η οποία δοκιμάζεται σύμφωνα με τα παραπάνω οφείλει να παρουσιάζει απώλεια μικρότερη του 10% και τα χονδρότερα αδρανή απώλεια 12%.

Τέλος, πρέπει το πέτρωμα να διαθέτει αρκετή αντοχή σε επιφανειακή φθορά, ιδιαίτερα για σκυροδέματα τα οποία υπόκεινται φθορά από επιφανειακή τριβή και επιφανειακές κρούσεις. Ο έλεγχος γίνεται με τη συσκευή Los Angeles κατά τις Αμερικανικές Προδιαγραφές ASTM C535 και C131. Το αποτέλεσμα του ελέγχου πρέπει να είναι μικρότερο από 40%, εκτός αν προορίζεται για ειδικές χρήσεις, για τις οποίες θέλουμε αυστηρότερα όρια.

Ο πίνακας (1.2) δίνει τις αντοχές των κυριότερων πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται για αδρανή.

Η αντοχή των συνηθισμένων πετρωμάτων αδρανών που χρησιμοποιούνται για το κοινό σκυρόδεμα είναι μεγαλύτερη από την αντοχή του τσιμεντοκονιάματος (~400~500Kg/cm²), ενώ η αντοχή των αδρανών για τα ελαφρά σκυροδέματα, βρίσκεται συνήθως κάτω από την αντοχή της τσιμεντοκονίας. Προκύπτει ότι κρίσιμη αντοχή για τα συνηθισμένα σκυροδέματα είναι η αντοχή της συνδετικής ύλης, ενώ για τα ελαφρά σκυροδέματα το θέμα της αντοχής είναι συνθετότερο και εξαρτάται και από τις παραμορφώσεις των δύο υλικών.

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό ΕΛΟΤ-408 η συμβατική αντοχή του μητρικού πετρώματος πρέπει να είναι γενικά μεγαλύτερη από 650 Kg/cm².

1.4.2 Καθαρότητα, Φυσικά-Χημικά Χαρακτηριστικά [1] , [3]

Με την έννοια "καθαρότητα" ορίζεται ότι τα αδρανή δεν πρέπει να έχουν επάνω στην επιφάνειά τους ή μέσα στη μάζα τους ή αναμεταξύ τους ξένες ουσίες, που μπορεί να εμποδίσουν την πρόσφυση με το κονίαμα ή να έχουν επιβλαβή χημική αντίδραση στο τσιμέντο ή στο σίδερο.

Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή σκυροδέματος οφείλουν να μην επηρεάζουν δυσμενώς:

Είδος Πετρώματος	(DIN 52102) t/m ³	Απορρόφιση νερού (DIN 52105)		Αντοχή σε θλίψη στεγανό πετρώματος (DIN 52105) kg/cm ²	Αντοχή σε εφελκυσμό κάμψης (DIN 52112) kg/cm ²	Αντοχή σε χρόση (DIN 52107) Αριθμός χρόσεων έως τη θραύση	Φθορά σε τμήρη (DIN 5108) Απόλεση (cm) σε 50 cm ²
		κατά βάθος	κατά όγκο (φαινόμενο πορώδες)				
1. Γρανίτης, Σιηνίτης	2,60 - 2,80	0,2 - 0,5	0,4 - 1,4	1600 - 2400	100 - 200	10 - 12	5 - 8
2. Διορίτης, Γάβρος	2,80 - 3,00	0,2 - 0,4	0,5 - 1,2	1700 - 3000	100 - 220	10 - 15	
3. Χαλιζιακός πορφύρης κρητοφύτης, πορφύρης, Α. Ανδαίτης	2,55 - 2,80	0,2 - 0,7	0,4 - 1,8	1800 - 3000	150 - 200	11 - 13	5 - 8,5 12 - 15 5 - 8
4. Βασάλτης, Μελαφίτης	2,95 - 3,00	0,1 - 0,3	0,2 - 0,8	2500 - 4000	150 - 250	12 - 17	
Βασαλτική λάβα	2,20 - 2,35	4 - 10	9 - 24	800 - 1500	80 - 120	4 - 7	
5. Λαβιάτης	2,80 - 2,90	0,1 - 0,4	0,3 - 0,1	1800 - 2500	150 - 250	11 - 16	7 - 8 10 - 14 15 - 40
Β. Σιροισγενή πετρώματα							
6. Πηροτινά πετρώματα: Χαλαζίτης	2,60 - 2,65	0,2 - 0,5	0,4 - 1,3	1500 - 3000	130 - 250	10 - 15	
Χαλαζιτικός ψαμίτης				1200 - 2000	120 - 200	8 - 10	15 - 40
άλλα είδη χαλαζιακού ψαμίτη	2,00 - 2,65	0,2 - 9	0,5 - 24	300 - 1800	30 - 150	5 - 10	
7. Ασβεστόλιθος							— — —
Σιμενταγής ασβεστόλιθοι & δολομίτες (περιλ. μαρμάρων)	2,65 - 2,85	0,2 - 0,6	0,4 - 1,8	800 - 1800	60 - 150	8 - 10	
Λευκοί ασβεστόλιθοι & Ασβεστολιθικά σιμηνίματα	1,70 - 2,60	0,2 - 10	0,5 - 25	200 - 900	50 - 80	—	
Τρυφιδίτης	2,40 - 2,50	2 - 5	4 - 10	200 - 600	40 - 100	—	4 - 10 6 - 12 8 - 18
8. Ημαιοτινακού τόγφοι	1,80 - 2,00	6 - 15	12 - 30	200 - 300	20 - 60	—	
Γ. Γνήσιος, Γρανολίτης	2,65 - 3,00	0,1 - 0,6	0,3 - 1,8	1600 - 2800	—	6 - 12	
Αμφιόλοιοι	2,70 - 3,10	0,1 - 0,4	0,3 - 1,2	1700 - 2800	—	10 - 16	—
Σιμεντινίτης	2,60 - 2,75	0,1 - 0,7	0,3 - 1,8	1400 - 2600	—	6 - 15	
Σιμεστόλιθος	2,70 - 2,80	0,5 - 0,6	1,4 - 1,8	—	500 - 800	—	—

Πίν. 1.2 Συνοπτικός πίνακας ιδιοτήτων διαφόρων πετρωμάτων [1]

- τη διαδικασία της πήξης
- τη διαδικασία της σκλήρυνσης
- την αντοχή του σκυροδέματος
- την ευστάθεια του όγκου και την κατάσταση της επιφάνειας του σκυροδέματος (ενδεχόμενο ψαθυροποίησης ή αποφλοιώσεως σκυροδέματος)
- την προστασία του οπλισμού έναντι διαβρώσεως.

Επιβάλλεται τα μητρικά πετρώματα από τα οποία προέρχονται τα αδρανή να είναι ανθεκτικά και σταθερά στη φθορά που δημιουργεί ο χρόνος σε συνεργασία με το νερό τον αέρα ή και ακόμα τον παγετό. Πρέπει να ελέγχεται η περιεκτικότητα των επιβλαβών προσμίξεων. Τα κυριότερα από τα επιβλαβή πρόσμεικτα υλικά είναι:

α) Παιπάλη

Ως παιπάλη ορίζεται το μέρος του αδρανούς που περνάει από το Αμερικάνικο πρότυπο κόσκινο Ν° 200 (75μm) και προσδιορίζεται με τη μέθοδο ΣΚ-305.

Αν και χαρακτηρίζεται ως επιβλαβές υλικό η παρουσία της σε μικρές αναλογίες συντείνει στην αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος, αφού συντελεί στην αύξηση της πυκνότητας και της πλαστικότητας του μείγματος.

Στα αδρανή συνήθως βρίσκεται προσκολλημένη στην επιφάνεια των χονδρότερων κόκκων, ενώ πολλές φορές δημιουργεί από μόνη της μικρούς σβώλους. Η παιπάλη προσομοιάζεται με πούδρα σκόνης. Αυτή ακριβώς η μορφή της συντελεί στη μείωση της πρόσφυσης μεταξύ αδρανών και κονιάματος. Με τη μορφή κόκκων δημιουργεί αδύνατα σημεία στο εσωτερικό της μάζας του σκυροδέματος, αλλά και στο εξωτερικό (επιφάνεια σκυροδέματος ευαίσθητη σε απότριψη). Η ύπαρξη της είναι ο κυριότερος λόγος που μας οδηγεί στο πλύσιμο των αδρανών με κατάλληλο τρόπο ώστε, ν' απομακρύνεται κυρίως η παιπάλη αλλά και άλλες ανεπιθύμητες πρόσμικτες ουσίες.

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό η παιπάλη της άμμου δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16% του ξηρού βάρους της και το 1% του ξηρού βάρους των χονδρότερων κλασμάτων.

β)Ενώσεις του θείου (θειικό ασβέστιο, υπό μορφή ανυδρίτου γύψου ή υπό μορφή γύψου).

Η δυσμενής επίδρασή τους στην τελική αντοχή του σκυροδέματος εκδηλώνεται με ρηγματώσεις που προκαλούνται από την τοπική διόγκωση των ενώσεων αυτών στο σκυρόδεμα.

γ)Οργανικές Προσμίξεις

Πρόκειται για υλικά οργανικής (ζωικής ή φυτικής) προελεύσεως, γαιάνθρακες και λιγνίτες. Επιδρούν αρνητικά στην πήξη του σκυροδέματος ενώ μπορεί να προκαλέσουν και ρηγματώσεις ή αποφλοιώσεις (σκασίματα) στην επιφάνειά του.

Συνολικά τέλος ο Ελληνικός Κανονισμός επιβάλλει τον έλεγχο των ακόλουθων ορυκτολογικών συστατικών:

- ενώσεις θείου
- ενώσεις σιδήρου
- νιτρικά άλατα-αλογόνα (>0,2%)
- ενώσεις μολύβδου και ψευδαργύρου
- χλωριούχες και φωσφορικές ενώσεις
- αποσαθρώσιμα υλικά
- ορυκτολογικά συστατικά όπως δολομιτικά πετρώματα, οπάλιος κ.α.
- εύθρυπτοι και μαλακοί κόκκοι (<3%κ.β., C142)
- σβώλοι αργίλου (<0,25%κ.β.)
- γαιάνθρακες λιγνίτες (<1%κ.β., σε περίπτωση ανεπίχριστου σκυροδέματος <0,5%κ.β.)
- κόκκοι κερατολίθου ειδικού βάρους <2,35 gr/cm³ ή κόκκοι αποσαθρούμενοι μετά 5 κύκλους της δοκιμής "υγεία πετρώματος" (<5%κ.β. και 1%κ.β. για σκυρόδεμα) εξαιρετικά εκτεθημένου στις καιρικές επιδράσεις.
- οργανικές προσμείξεις
- αργιλικές προσμείξεις (δοκιμασία "ισοδύναμου άμμου" ASTM C2439).

1.4.3 Κοκκομετρική διαβάθμιση [1] , [3]

Η "γεωμετρική ποιότητα" των αδρανών, δηλαδή ο διαχωρισμός και η κατάταξη των κόκκων σε ομάδες από άποψη μεγέθους και η χάραξη στη συνέχεια της κοκκομετρικής καμπύλης είναι ο σκοπός της κοκκομετρικής διαβάθμισης.

Είναι κατανοητό ότι και οι κόκκοι των αδρανών υλικών λόγω του ακανόνιστου πολυγωνικού σχήματος (θραυστά αδρανή) που έχουν, δεν εφάπτονται απόλυτα μεταξύ τους. Τα κενά που δημιουργούνται μεταξύ των αδρανών έρχεται να συμπληρώσει το κονίαμα που συνδέει μ' αυτόν τον τρόπο τους κόκκους σ' ένα συμπαγές υλικό. Το κονίαμα άλλωστε είναι κατά κανόνα περισσότερο πορώδες και λιγότερο ανθεκτικό από το πέτρωμα των αδρανών (τα μητρικά πετρώματα που χρησιμοποιούμε έχουν αντοχή μεγαλύτερη του τσιμεντοκονιάματος ~400~500 Kg/cm²).

Όσο λιγότερα είναι αυτά τα κενά τόσο μεγαλώνει και η αντοχή και η πυκνότητα του σκυροδέματος.

Η θεμελιώδης άποψη είναι ότι οι κόκκοι πρέπει να διατάσσονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε κάθε ομάδα, από απόψη διαμέτρου, να εισχωρεί στη θέση των κενών που σχηματίζουν οι κόκκοι της αμέσως μεγαλύτερης ομάδας.

Όταν αυτό συμβαίνει, τότε το τελικό μείγμα θα διαθέτει τα λιγότερα κενά και επομένως μεγαλύτερη πυκνότητα. Η πυκνότητα των αδρανών εκφράζεται από το βαθμό πυκνότητας που είναι ο λόγος:

$$\alpha = P\phi / P\pi$$

όπου : $P\phi$ = το φαινόμενο ειδικό βάρος του σωρού των αδρανών

$P\pi$ = το φαινόμενο ειδικό βάρος του πετρώματος των αδρανών (δηλ. το φαινόμενο ειδικό βάρος του κόκκου).

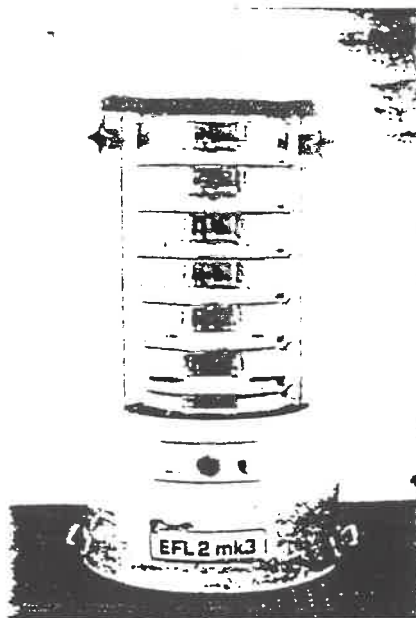
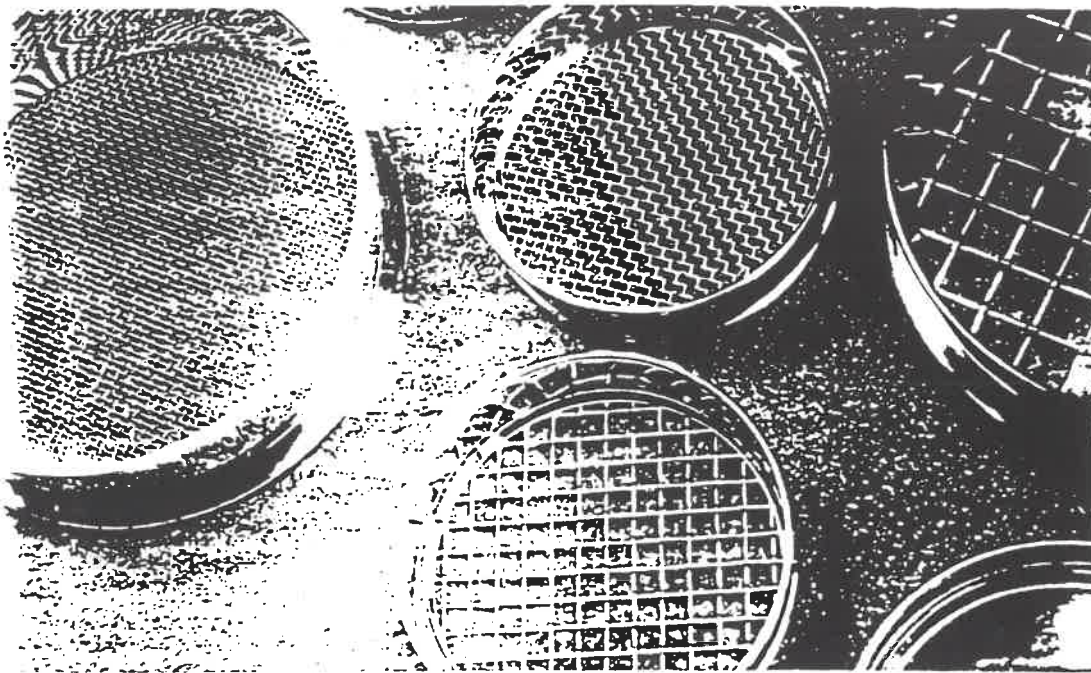
Το ποσοστό των κενών μεταξύ των κόκκων είναι $1-\alpha$. Η εικόνα που δίνεται από το βαθμό πυκνότητας δεν είναι ικανοποιητική.

Ακριβέστερη εικόνα δίνει η κοκκομετρική διαβάθμιση. Η κοκκομετρική ανάλυση επιτυγχάνεται με κοσκίνισμα των αδρανών (με ηλεκτρική συνήθως κοσκινίστρα βλ.εικ.1.1), στην οποία τοποθετούνται τα κόσκινα με φθίνουσα σειρά μεγέθους οπής, από πάνω προς τα κάτω (βλ.εικ.1.2). Τα αδρανή αφού ξηρανθούν και ζυγιστούν, τοποθετούνται στην κοσκινίστρα και κοσκινίζονται για 10 έως 15 λεπτά. Κάθε ένα κόσκινο αφαιρείται από την κοσκινίστρα και το περιεχόμενό του ζυγίζεται και αναγράφεται στο "ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ" (βλ.σχ.1.1).

Η κοκκομετρική σύνθεση ή διαβάθμιση ενός μείγματος κόκκων, προσδιορίζεται ως η ποσοστιαία κατ' όγκο αναλογία κάθε κατηγορίας μεγέθους κόκκων του υλικού. Το ποσοστό κάθε ομάδας θεωρείται "κατ' όγκο" διότι σημασία στη μεταξύ τους διάταξη έχει ο όγκος των κόκκων και κατ' αναλογία τα κενά που δημιουργούνται μεταξύ τους.

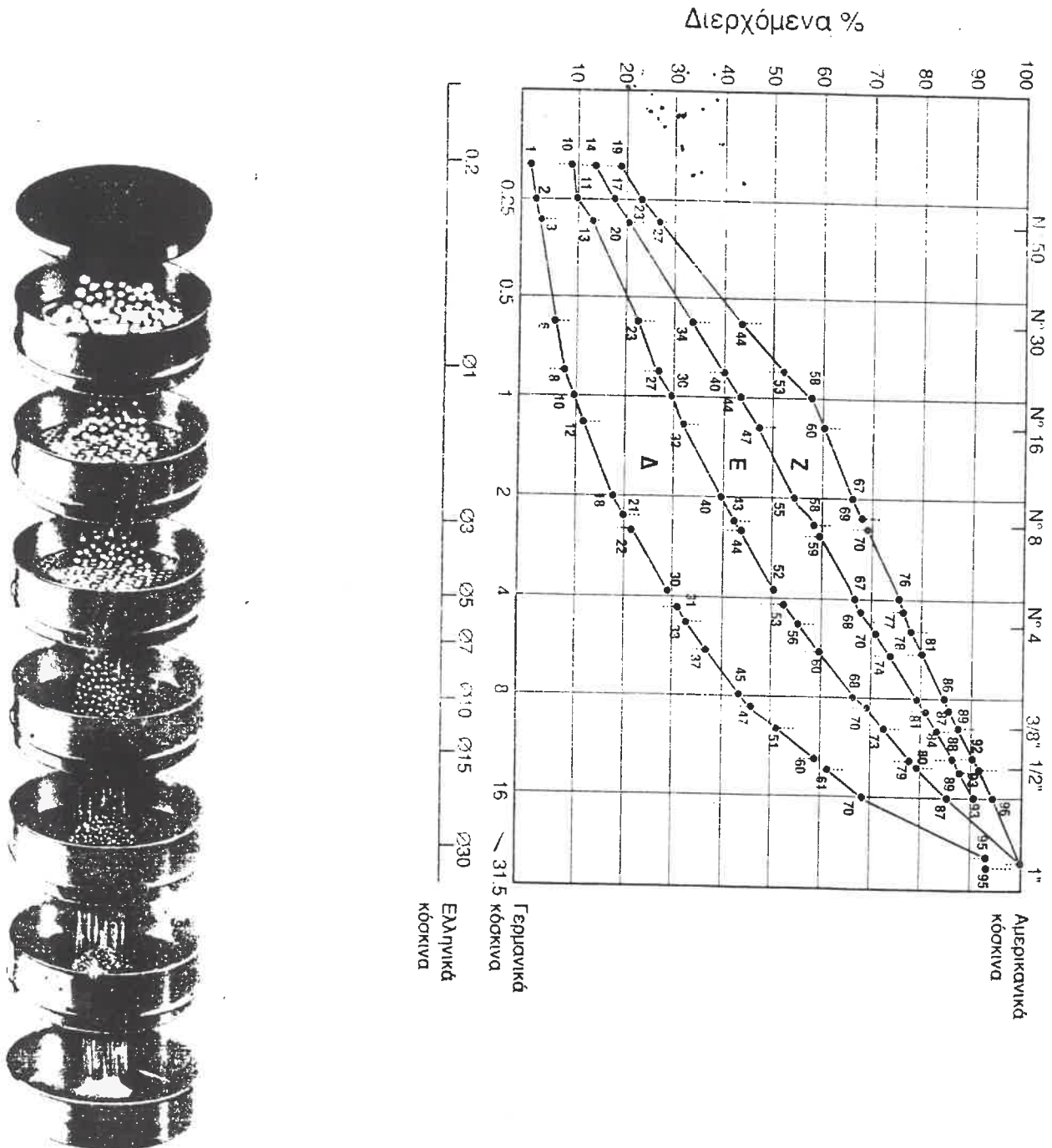
Στο "ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ" φαίνεται η απεικόνιση των διαμέτρων στον οριζόντιο άξονα και τα ποσοστά του υλικού που περνάει κάθε κόσκινο στον κατακόρυφο. Οι διάμετροι σημειώνονται στον οριζόντιο άξονα είτε σε απλή, είτε σε λογαριθμική, είτε σε άλλη παρόμοια κλίμακα κατά τρόπο που να δημιουργείται άνοιγμα της περιοχής των μικρών διαμέτρων.

Τόσο ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής συνθέσεως όσο και η χάραξη της κοκκομετρικής καμπύλης δεν παρουσιάζουν καμία δυσκολία. Η δυσκολία έγκειται



Εικ. 1.1 Κόσκινα ASTM και ηλεκτρική κοσκινίστρα [13]

Σχήμα 1.2 Όρια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μείγματος αδρανών μέγιστου κόκκου $\varnothing 30$ ή $\square 31.5$ ή 1" [1]

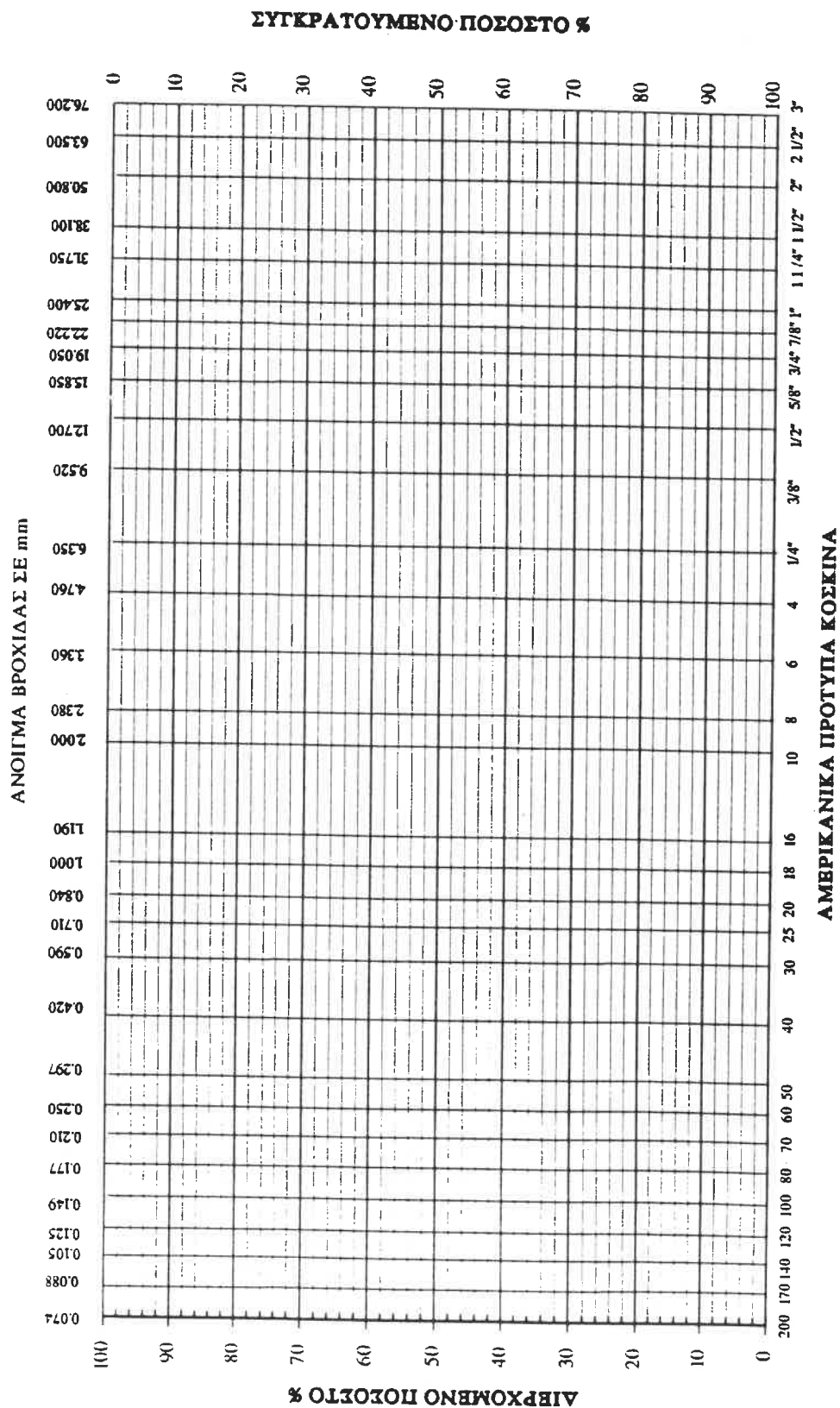


Εικ. 1.2 Κόσκινα με φθίνουσα σειρά μεγέθους οπής [1]

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

ΕΙΔΟΣ & ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΥΛΙΚΟΥ Π.Π.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ



Σχήμα 1.1 Δελτίο κοκκομετρικής ανάλυσης [13]

στην ερμηνεία της καμπύλης για την εκτίμηση και την αξιολόγηση της καταλληλότερης, για κάθε περίπτωση, από άποψη ιδιοτήτων του σκυροδέματος.

Ωστόσο, στον προσδιορισμό της καλύτερης καμπύλης εισέρχονται και πολλοί άλλοι παράγοντες ώστε να μην μπορεί να δοθεί μαθηματική λύση. Άλλωστε και το κριτήριο ακόμη για την ποιότητα του σκυροδέματος δεν είναι σταθερό.

Έτσι οι κανονισμοί με βάση πειραματικά και εμπειρικά δεδομένα καθορίζουν περιοχές μέσα στις οποίες πρέπει να βρίσκονται οι καμπύλες της κοκκομετρικής διαβαθμίσεως, ανάλογα με τις επιδιωκόμενες ιδιότητες του σκυροδέματος.

Η επιλογή της καταλληλότερης καμπύλης μέσα στις περιοχές εναπόκειται στο μελετητή μηχανικό, ο οποίος θα καθορίσει τις λεπτομερείς ιδιότητες του υλικού με βάση τις απαιτήσεις του έργου και τις εργοταξιακές συνθήκες.

Στο διάγραμμα του σχήματος (1.2) περιέχονται τα όρια των κοσκίνων που ο Ελληνικός Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος υιοθετεί καθώς επίσης και τα όρια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μείγματος αδρανών μεγίστου κόκκου $\varnothing 30$ ή $\square 31.5$ ή 1".

Ο Ε.Κ.Τ.Σ. υιοθετεί και τις τρεις σειρές προτύπων κοσκίνων που αναφέρονται στο Πρότυπο ΕΛΟΤ-408 με τις ακόλουθες ονομασίες:

- 1) "Σειρά Ελληνικών Κοσκίνων ή Ελληνικά Κόσκινα" εκείνα που χρησιμοποιούνται ήδη και που αναφέρονται στην Ειδική Προδιαγραφή ΣΚ-364. Σ' αυτά προσθέτονται τα κόσκινα κυκλικής οπής $\Phi 5$ mm, $\Phi 10$ mm, $\Phi 50$ mm, και $\Phi 70$ mm.
- 2) "Σειρά Γερμανικών Κοσκίνων ή Γερμανικά Κόσκινα" εκείνα που περιγράφονται στα DIN 4187 και DIN 4188.
- 3) "Σειρά Αμερικανικών Κοσκίνων ή Αμερικάνικα Κόσκινα" εκείνα που περιγράφονται στο ASTM E11.

Στο διάγραμμα (σχ.1.2) οι καμπύλες ορίζουν τις υποζώνες Δ, Ε και Ζ. Το μείγμα των αδρανών που προορίζεται για οπλισμένο σκυρόδεμα πρέπει να βρίσκεται στην υποζώνη Δ. Για σκυροδέματα κατηγορίας κατωτέρας της C40 μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η υποζώνη Ε εφόσον ο εργοδότης ή η υπηρεσία ή ο επιβλέπων μηχανικός του έργου το επιτρέψουν. Για το αντλήσιμο σκυρόδεμα, που είναι και η κυριότερη μορφή σκυροδέματος στην Ελλάδα, ο κανονισμός επιτρέπει η κοκκομετρική καμπύλη του μείγματος των αδρανών να βρίσκεται ολόκληρη ή μόνο κατά ένα τμήμα της στην υποζώνη Ε.

Πολλές κατασκευάστριες εταιρίες αντλιών (Schwing, Reich κ.α.) παρέχουν κοκκομετρικά διαγράμματα. Βέβαια στις περισσότερες περιπτώσεις πρέπει να γίνεται κατάλληλη αναπροσαρμογή των συγκεκριμένων διαγραμμάτων, δεδομένου

ότι αυτά είναι φτιαγμένα για φυσικά (στρογγυλά) αδρανή ενώ τα χρησιμοποιούμενα στην Ελλάδα είναι συνήθως θραυστά ασβεστολιθικά αδρανή και παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντίσταση στο σωλήνα άντλησης.

Για την παρασκευή του σκυροδέματος χρησιμοποιούνται αδρανή με κοκκομετρικές διαβαθμίσεις συνεχείς, ενίοτε δε κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, αδρανή με ασυνεχείς κοκκομετρικές διαβαθμίσεις.

1.4.4 Αποθήκευση , δειγματοληψία και έλεγχοι των αδρανών [1] , [3]

Κατά την παρασκευή μιας συγκεκριμένης σύνθεσης σκυροδέματος παίζει πολύ μεγάλο ρόλο τα κλάσματα των αδρανών υλικών να είναι σωστά φυλαγμένα και αποθηκευμένα.

Τα αδρανή θα πρέπει να έχουν ομοιογένεια στους κόκκους τους κατά την αποθήκευσή τους. Δεν πρέπει να διαχωρίζονται οι λεπτοί κόκκοι από τους χονδρότερους, όπως για παράδειγμα συμβαίνει όταν ένα υλικό αδειάζει από μεγάλο ύψος ή όταν αναμοχλεύεται συνεχώς με φορτωτή.

Επίσης είναι σημαντικό στις κύριες αποθήκες αδρανών των εγκαταστάσεων παραγωγής σκυροδέματος, να υπάρχουν χωρίσματα μεταξύ των κλασμάτων. Έτσι αποφεύγεται η μεταξύ τους ανάμειξη και αποφεύγονται τυχόν λάθη στις αναλογίες των υλικών (π.χ. να πέσει παραπάνω άμμος ή χαλίκι).

Κάτι σημαντικό επίσης που πρέπει να προσεχθεί είναι η ανάμειξή τους με επιβλαβείς προσμίξεις (όπως συνηθέστατα είναι το χώμα κ.α.).

Τέλος, η εμπειρία αποδεικνύει πως τα αδρανή υλικά κατά την αποθήκευσή τους πρέπει να προστατεύονται κυρίως από το νερό (βροχή) και τον άνεμο. Όταν τα υλικά είναι εκτεθειμένα στη βροχή, το αποτέλεσμα είναι να έχουν περίσσεια υγρασίας, η οποία πολλές φορές δεν μπορεί να μετρηθεί και να ελεγχθεί με αποτέλεσμα το σκυρόδεμα να είναι πολύ ρευστό (νερουλό). Η αναλογία N/T άλλωστε είναι αυτή που επηρεάζει την αντοχή του σκυροδέματος, όπως θα δούμε παρακάτω, και γι' αυτό χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή. Σε ότι αφορά τον άνεμο δεν έχει ιδιαίτερα αρνητικές επιπτώσεις. Ωστόσο όταν αυτός είναι αρκετά δυνατός και συγχρόνως τα υλικά παραμένουν για αρκετή ώρα εκτεθειμένα, παρατηρείται στέγνωμα των υλικών. Έτσι , η χρησιμοποιούμενη ποσότητα νερού μπορεί να αυξηθεί έστω και λίγο.

Ο Κ.Τ.Σ. καθορίζει τρόπους τόσο για τη δειγματοληψία όσο και για τους ελέγχους των αδρανών. Στην περίπτωση που τα αδρανή μεταφέρονται με μεταφορική ταινία,

τοποθετούνται δύο σανίδες με σχήμα κοίλο (όμοιο με αυτό της ταινίας) και συλλέγεται όλο το υλικό ανάμεσα τους. Όλο το λεπτόκοκκο υλικό συγκεντρώνεται με τη βοήθεια ειδικής βούρτσας. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται τουλάχιστον δέκα φορές. Το τελικό αυτό προϊόν αποτελεί το "δείγμα" του υλικού.

Όταν όμως τα αδρανή μεταφέρονται με αυτοκίνητα ή γερανό και δημιουργούνται σωροί, τότε το δείγμα δημιουργείται με φτυάρι από δέκα τουλάχιστον σημεία της ελεύθερης επιφάνειας και πάντως όχι κάτω από το πέμπτο του ύψους του σωρού.

1.4.5 Η μορφή των κόκκων [1]

Στην Ελλάδα σήμερα χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο θραυστά αδρανή. Αν παρατηρήσει κανείς τα αδρανή που βρίσκονται στις παραλίες (είναι όμοια μ'αυτά των ποταμών) θα δει ότι είναι κυρίως στρογγυλά ή επιμήκη πεπλατισμένα με λεία επιφάνεια.

Αντίθετα οι κόκκοι των θραυστών αδρανών παρουσιάζουν ποικίλες γεωμετρικές μορφές που θα μπορούσαν να καταταχθούν στις εξής γενικές κατηγορίες: στρογγυλούς, κυβοειδείς, γωνιώδεις, πλακοειδείς, επιμήκεις. Στο σχ.1.3 παρουσιάζονται οι μορφές των κόκκων των αδρανών κατά B.S. 812 (Βρετανικοί Κανονισμοί).

Το σχήμα ή η μορφή των κόκκων επηρεάζει, άσχετα από την επιροή του μεγέθους, κατά ποικίλους τρόπους τις ιδιότητες του σκυροδέματος.

Κατ'αρχήν επηρεάζουν το εργάσιμο με την εσωτερική γωνία τριβής. Όσο η εσωτερική τριβή αυξάνεται τόσο ελαττώνεται η εργασιμότητα του υλικού. Γίνεται αντιληπτό πως η σφαιρική μορφή των κόκκων παρουσιάζει μικρότερη γωνία εσωτερικής τριβής και συνεπώς μεγαλύτερη ευκινησία σε αντίθεση μ'αυτά που παρουσιάζουν μία πολυγωνική γεωμετρική μορφή.

Η απομάκρυνση από το σφαιρικό σχήμα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ειδικής επιφάνειας των κόκκων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να χρειαζόμαστε περισσότερη ποσότητα νερού καθώς και τσιμεντοκονίας.

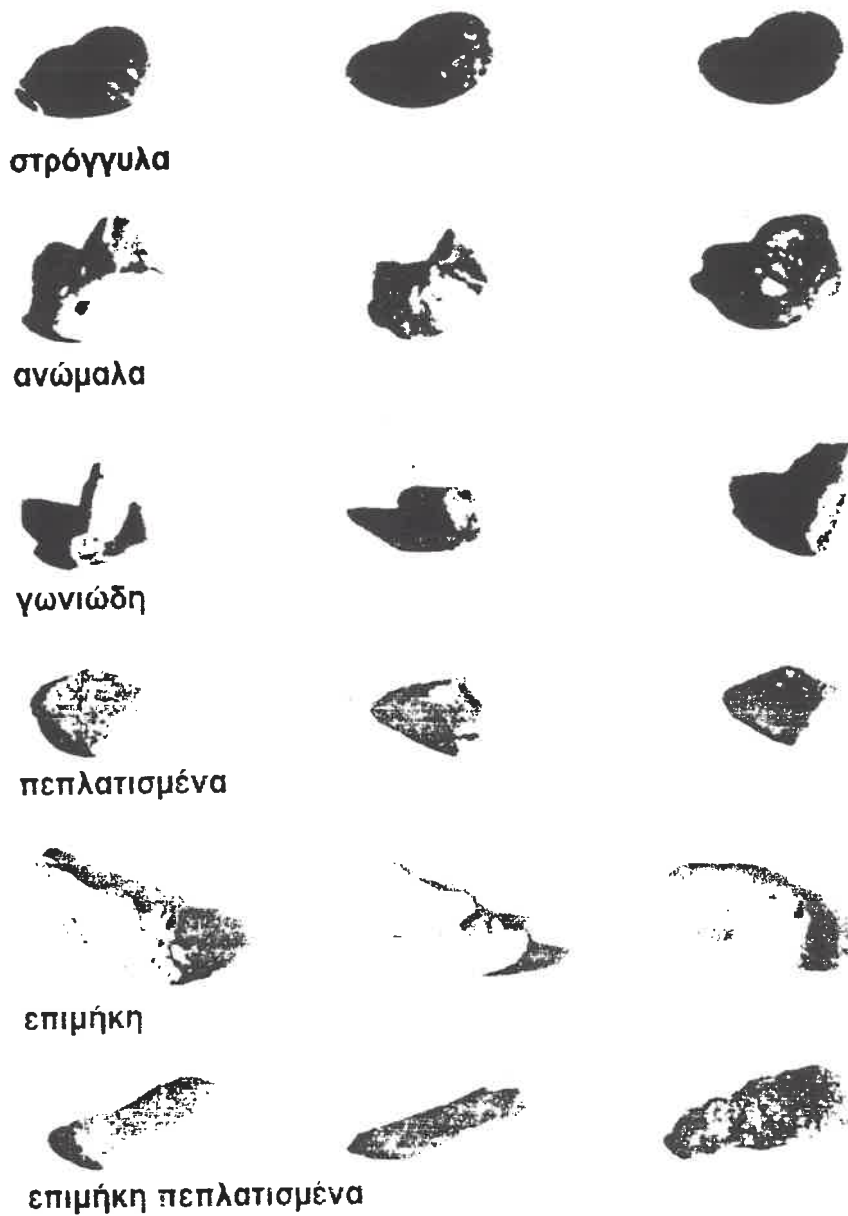
Οι πολυγωνικοί κόκκοι παρουσιάζουν αυξημένη πρόσφυση με το κονίαμα (αύξηση της επιφάνειας επαφής) και βέβαια καλύτερη στήριξη μεταξύ τους. Μ'αυτές τις ιδιότητες συντελούν σε μεγαλύτερη μηχανική αντοχή.

Οι παραπάνω ποιοτικές παρατηρήσεις δύσκολα γίνεται να υπαχθούν σε ποιοτική μέτρηση και αξιολόγηση. Η άποψη που επικρατεί είναι ότι οι κόκκοι των αδρανών

Κεφάλαιο 1°

πρέπει να έχουν μορφή που πλησιάζει το σφαιρικό ή το κυβοειδές αλλά με ανώμαλη, γωνιώδη και όχι λεία εξωτερική επιφάνεια.

Οι κανονισμοί των διαφόρων χωρών προσπαθώντας να περιγράψουν τις παραπάνω αντιλήψεις βάζουν ορισμένους περιορισμούς για την επίτευξη ενός βέλτιστου μεταξύ εργάσιμου και αντοχής. Ένας κόκκος αδρανούς θεωρείται ότι έχει δυσμενή μορφή όταν η σχέση της μεγαλύτερης προς τη μικρότερη διάσταση υπερβαίνει το λόγο 3 :1.



Σχήμα 1.3 Μορφές κόκκων αδρανών, κατά B.S.812 [1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ [2] , [5]

Το σκυρόδεμα είναι γενικά υλικό ανομοιόμορφο και οι χαρακτηριστικές του ιδιότητες κυμαίνονται σε πλατιά όρια. Η φύση του σκυροδέματος είναι τέτοια, ώστε η ποιότητά του να διαμορφώνεται συνεχώς από τη στιγμή της παραγωγής του, έως τη στιγμή της διάστρωσης, συμπίκνωσης και συντήρησης του. Στην αβεβαιότητα αυτή, για τον καθορισμό της ποιότητας μιας παρτίδας σκυροδέματος, συμβάλλουν και οι ατέλειες των μεθόδων ελέγχου.

Για να εξακριβωθεί η ποιότητα ενός σκυροδέματος με κάποια βεβαιότητα (πιθανότητα) χρησιμοποιούνται στατιστικές μέθοδοι. Βέβαια, είναι απαραίτητο να τονισθεί εδώ, ότι το συμπέρασμα που θα εξαχθεί θα είναι πιθανό με κάποια πιθανότητα μικρότερη από 100%, αφού σε καμία περίπτωση δεν είναι δυνατόν να ελεγχθεί ολόκληρη η παρτίδα σκυροδέματος, αλλά μόνο ένα μικρό μέρος του που ονομάζεται δείγμα.

Στην τεχνολογία του σκυροδέματος γίνεται σήμερα αποδεκτό ότι οι αντοχές των δοκιμών ενός σκυροδέματος που παρασκευάζεται με συστηματικό έλεγχο, αποτελεί μία τυχαία μεταβλητή η οποία έχει περίπου κανονική κατανομή συχνότητας.

Ας υποθεθεί ότι μια πολύ μεγάλη ποσότητα σκυροδέματος -θεωρητικώς άπειρη-η οποία έχει παρασκευαστεί με τα ίδια υλικά και τα ίδια μηχανικά μέσα, μετατρέπεται ολόκληρη σε δοκίμια. Οι αντοχές αυτών των δοκιμών θα βρεθούν διαφορετικές και θα ακολουθούν την κανονική κατανομή.

2.1 Κανονική κατανομή [5] , [6]

Κανονική κατανομή ή κατανομή Gauss είναι εκείνη η κατανομή συχνοτήτων η οποία έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad -\infty < x < +\infty \quad (2.1)$$

όπου: μ =η μέση τιμή και σ =η τυπική απόκλιση.

Η τυχαία μεταβλητή που έχει κανονική κατανομή συμβολίζεται με $X, N(\mu, \sigma)$. [3]

Η αντίστοιχη αθροιστική συνάρτηση κατανομής είναι :

$$F(x) = P(X < x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (2.2)$$

Η σχέση (2.1) με τον $z=(x-\mu)/\sigma$ μετατρέπεται σε

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad (2.3)$$

ενώ η σχέση (2.2) μετατρέπεται σε:

$$F(z) = P(Z < z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (2.4)$$

Η μέση τιμή της z είναι 0 και η τυπική απόκλιση 1. Η κατανομή ονομάζεται τυποποιημένη κανονική κατανομή και συμβολίζεται $N(0,1)$.

Στο σχήμα (2.1) δίνονται οι γραφικές παραστάσεις της τυποποιημένης κανονικής και της αντίστοιχης αθροιστικής καμπύλης.

Οι τιμές των συναρτήσεων $F(z)$ και $f(z)$ είναι πινακοποιημένες (πίνακας 2.1) και το ολικό εμβαδόν μεταξύ της καμπύλης $f(z)$ και του άξονα των x είναι ίσο με 1.

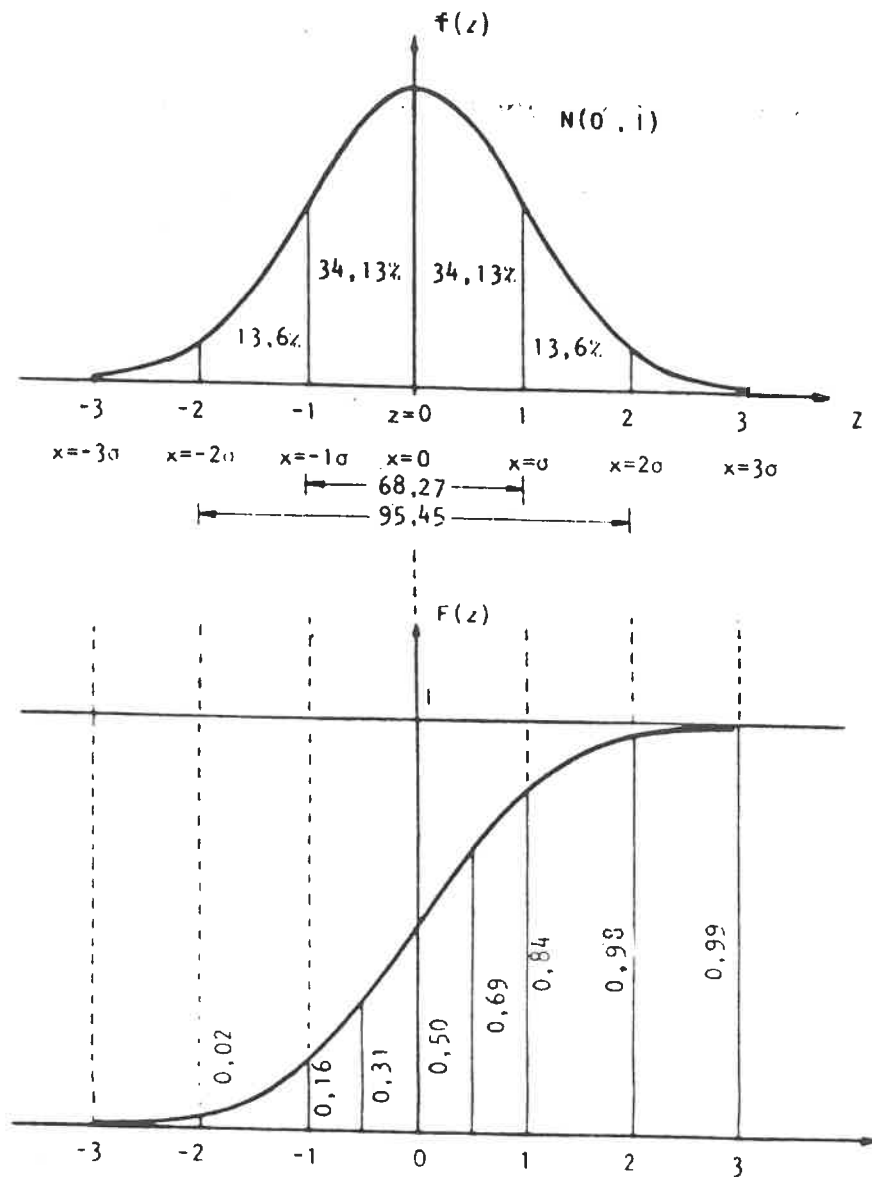
Αποδεικνύεται ότι για $z=\pm 1$ η καμπύλη $f(z)$ έχει σημείο ανάκαμψης και ακόμα ότι:

$P(-1 < z < 1) = 0,6827$ εμβαδόν μεταξύ $f(z)$ και άξονα x μεταξύ $z=-1$ και $z=1$.

$P(-2 < z < 2) = 0,9545$ εμβαδόν μεταξύ $z=-2$ και $z=2$.

$P(-3 < z < 3) = 0,9973$ εμβαδόν μεταξύ $z=-3$ και $z=3$.

Με άλλα λόγια μεταξύ των τιμών -3 και 3 βρίσκουμε το 99,73% του πληθυσμού, δηλαδή σχεδόν όλο το σύνολο. Ακόμα θα πρέπει ν' αναφερθεί ότι η καμπύλη της κανονικής κατανομής έχει ασύμπτωτο τον άξονα των X τόσο προς τις θετικές όσο και προς τις αρνητικές τιμές.



Σχήμα 2.1 Τυποποιημένη κανονική κατανομή $f(z)$ και τυποποιημένη αθροιστική καμπύλη $F(z)$ [5]

$q \rightarrow$	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	Z_q	$q \rightarrow$	0.000	0.001	0.002	0.003	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.00	3.0902	2.8782	2.7478	2.6521	2.5738	2.5121	2.4573	2.4089	2.3656			3.0909	2.8782	2.7478	2.6521	2.5738	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.01	2.3263	2.2371	2.1571	2.0973	2.0548	2.0181	1.9881	1.9629	1.9417			2.3269	2.2371	2.1571	2.0973	2.0548	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.02	2.0537	2.0335	2.0141	1.9954	1.9774	1.9600	1.9431	1.9268	1.9110	1.8957		2.0543	2.0335	2.0141	1.9954	1.9774	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.03	1.8808	1.8663	1.8522	1.8384	1.8250	1.8119	1.7991	1.7866	1.7744	1.7624		1.8814	1.8663	1.8522	1.8384	1.8250	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.04	1.7507	1.7392	1.7279	1.7169	1.7060	1.6954	1.6849	1.6747	1.6646	1.6546		1.7513	1.7392	1.7279	1.7169	1.7060	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.05	1.6449	1.6352	1.6258	1.6164	1.6072	1.5982	1.5893	1.5805	1.5718	1.5632		1.6455	1.6352	1.6258	1.6164	1.6072	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.06	1.5548	1.5464	1.5382	1.5301	1.5220	1.5141	1.5063	1.4985	1.4909	1.4833		1.5554	1.5464	1.5382	1.5301	1.5220	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.07	1.4758	1.4684	1.4611	1.4538	1.4466	1.4395	1.4325	1.4255	1.4187	1.4118		1.4764	1.4684	1.4611	1.4538	1.4466	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.08	1.4031	1.3984	1.3917	1.3852	1.3787	1.3722	1.3658	1.3595	1.3532	1.3469		1.4037	1.3984	1.3917	1.3852	1.3787	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.09	1.3408	1.3346	1.3285	1.3225	1.3165	1.3106	1.3047	1.2988	1.2930	1.2873		1.3414	1.3346	1.3285	1.3225	1.3165	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.10	1.2816	1.2759	1.2702	1.2646	1.2591	1.2536	1.2481	1.2426	1.2372	1.2319		1.2822	1.2759	1.2702	1.2646	1.2591	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.11	1.2265	1.2212	1.2160	1.2107	1.2053	1.2004	1.1952	1.1901	1.1850	1.1800		1.2271	1.2212	1.2160	1.2107	1.2053	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.12	1.1750	1.1700	1.1650	1.1601	1.1552	1.1503	1.1455	1.1407	1.1359	1.1311		1.1759	1.1700	1.1650	1.1601	1.1552	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.13	1.1264	1.1217	1.1170	1.1123	1.1077	1.1031	1.0985	1.0939	1.0893	1.0848		1.1271	1.1217	1.1170	1.1123	1.1077	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.14	1.0803	1.0758	1.0714	1.0669	1.0625	1.0581	1.0537	1.0494	1.0450	1.0407		1.0809	1.0758	1.0714	1.0669	1.0625	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.15	1.0364	1.0322	1.0279	1.0237	1.0194	1.0152	1.0110	1.0069	1.0027	0.9986		1.0370	1.0322	1.0279	1.0237	1.0194	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.16	0.9945	0.9904	0.9863	0.9822	0.9782	0.9741	0.9701	0.9661	0.9621	0.9581		0.9951	0.9904	0.9863	0.9822	0.9782	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.17	0.9542	0.9502	0.9463	0.9424	0.9385	0.9346	0.9307	0.9269	0.9230	0.9192		0.9548	0.9502	0.9463	0.9424	0.9385	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.18	0.9154	0.9116	0.9078	0.9040	0.9003	0.8965	0.8927	0.8890	0.8853	0.8816		0.9160	0.9116	0.9078	0.9040	0.9003	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.19	0.8779	0.8742	0.8705	0.8669	0.8633	0.8596	0.8560	0.8524	0.8488	0.8452		0.8785	0.8742	0.8705	0.8669	0.8633	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.20	0.8416	0.8381	0.8345	0.8310	0.8274	0.8239	0.8204	0.8169	0.8134	0.8099		0.8422	0.8381	0.8345	0.8310	0.8274	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.21	0.8064	0.8030	0.7995	0.7961	0.7926	0.7892	0.7858	0.7824	0.7790	0.7756		0.8070	0.8030	0.7995	0.7961	0.7926	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.22	0.7722	0.7688	0.7655	0.7621	0.7588	0.7554	0.7521	0.7488	0.7454	0.7421		0.7728	0.7688	0.7655	0.7621	0.7588	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.23	0.7388	0.7356	0.7323	0.7290	0.7257	0.7225	0.7192	0.7160	0.7128	0.7095		0.7394	0.7356	0.7323	0.7290	0.7257	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.24	0.7063	0.7031	0.6999	0.6967	0.6935	0.6903	0.6871	0.6840	0.6808	0.6776		0.7069	0.7031	0.6999	0.6967	0.6935	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.25	0.6745	0.6713	0.6682	0.6651	0.6620	0.6588	0.6557	0.6526	0.6495	0.6464		0.6751	0.6713	0.6682	0.6651	0.6620	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.26	0.6433	0.6403	0.6372	0.6341	0.6311	0.6280	0.6250	0.6219	0.6189	0.6158		0.6439	0.6403	0.6372	0.6341	0.6311	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.27	0.6128	0.6098	0.6068	0.6038	0.6008	0.5978	0.5948	0.5918	0.5888	0.5858		0.6134	0.6098	0.6068	0.6038	0.6008	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.28	0.5828	0.5799	0.5769	0.5740	0.5710	0.5681	0.5651	0.5622	0.5592	0.5563		0.5834	0.5799	0.5769	0.5740	0.5710	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.29	0.5534	0.5505	0.5476	0.5446	0.5417	0.5388	0.5359	0.5330	0.5302	0.5273		0.5540	0.5505	0.5476	0.5446	0.5417	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.30	0.5244	0.5215	0.5187	0.5158	0.5129	0.5101	0.5072	0.5044	0.5015	0.4987		0.5250	0.5215	0.5187	0.5158	0.5129	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.31	0.4959	0.4930	0.4902	0.4874	0.4845	0.4817	0.4789	0.4761	0.4733	0.4705		0.4965	0.4930	0.4902	0.4874	0.4845	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.32	0.4677	0.4649	0.4621	0.4593	0.4565	0.4538	0.4510	0.4482	0.4454	0.4427		0.4683	0.4649	0.4621	0.4593	0.4565	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.33	0.4399	0.4372	0.4344	0.4316	0.4289	0.4261	0.4234	0.4207	0.4179	0.4152		0.4405	0.4372	0.4344	0.4316	0.4289	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.34	0.4123	0.4097	0.4070	0.4043	0.4016	0.3989	0.3961	0.3934	0.3907	0.3880		0.4129	0.4097	0.4070	0.4043	0.4016	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.35	0.3853	0.3826	0.3799	0.3772	0.3745	0.3719	0.3692	0.3665	0.3638	0.3611		0.3859	0.3826	0.3799	0.3772	0.3745	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.36	0.3583	0.3556	0.3530	0.3505	0.3478	0.3451	0.3425	0.3398	0.3372	0.3345		0.3589	0.3556	0.3530	0.3505	0.3478	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.37	0.3319	0.3292	0.3266	0.3239	0.3213	0.3186	0.3160	0.3134	0.3107	0.3081		0.3325	0.3292	0.3266	0.3239	0.3213	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.38	0.3053	0.3029	0.3002	0.2976	0.2950	0.2924	0.2898	0.2871	0.2845	0.2819		0.3059	0.3029	0.3002	0.2976	0.2950	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.39	0.2793	0.2767	0.2741	0.2715	0.2689	0.2663	0.2637	0.2611	0.2585	0.2559		0.2799	0.2767	0.2741	0.2715	0.2689	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.40	0.2533	0.2508	0.2482	0.2456	0.2430	0.2404	0.2378	0.2353	0.2327	0.2301		0.2539	0.2508	0.2482	0.2456	0.2430	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.41	0.2273	0.2250	0.2224	0.2198	0.2173	0.2147	0.2121	0.2096	0.2070	0.2045		0.2279	0.2250	0.2224	0.2198	0.2173	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.42	0.2019	0.1993	0.1968	0.1942	0.1917	0.1891	0.1866	0.1840	0.1815	0.1789		0.2025	0.1993	0.1968	0.1942	0.1917	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.43	0.1764	0.1738	0.1713	0.1687	0.1662	0.1637	0.1611	0.1586	0.1560	0.1535		0.1770	0.1738	0.1713	0.1687	0.1662	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.44	0.1510	0.1484	0.1459	0.1434	0.1408	0.1383	0.1358	0.1332	0.1307	0.1282		0.1516	0.1484	0.1459	0.1434	0.1408	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.45	0.1257	0.1231	0.1206	0.1181	0.1156	0.1130	0.1105	0.1080	0.1055	0.1030		0.1263	0.1231	0.1206	0.1181	0.1156	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.46	0.1004	0.0979	0.0954	0.0929	0.0904	0.0878	0.0853	0.0828	0.0803	0.0778		0.1010	0.0979	0.0954	0.0929	0.0904	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.47	0.0753	0.0728	0.0702	0.0677	0.0652	0.0627	0.0602	0.0577	0.0552	0.0527		0.0759	0.0728	0.0702	0.0677	0.0652	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.48	0.0502	0.0476	0.0451	0.0426	0.0401	0.0376	0.0351	0.0326	0.0301	0.0276		0.0508	0.0476	0.0451	0.0426	0.0401	0.0058	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048
0.49																						

2.1.1 Παράμετροι κανονικής κατανομής [6]

Η κανονική κατανομή είναι διπαραμετρική, δηλαδή έχει δύο παραμέτρους: την μέση τιμή μ και την τυπική απόκλιση σ . Όταν η κατανομή αντιπροσωπεύει πληθυσμό τότε χρησιμοποιούνται τα σύμβολα (μ, σ) , ενώ όταν αντιπροσωπεύει δείγμα χρησιμοποιούνται τα σύμβολα $(\bar{x}, s)$.

Η παράμετρος μ καθορίζει τη θέση της κατανομής πάνω στον άξονα των X , γι' αυτό και ονομάζεται παράμετρος θέσης. Η παράμετρος σ καθορίζει το πόσο απλωμένη είναι η κατανομή πάνω στον άξονα των X και ονομάζεται παράμετρος μεταβλητότητας.

Στο σχήμα (2.2) εικονίζονται δύο καμπύλες κανονικής κατανομής με την ίδια μέση τιμή $\mu_1 = \mu_2$, αλλά διαφορετική τυπική απόκλιση $\sigma_2 > \sigma_1$. Στο σχήμα (2.2) διακρίνεται πόσο πιο "απλωμένη" είναι η δεύτερη κατανομή γύρω από το μέσο όρο της μ_2 , κάτι που καθορίζεται από την τυπική απόκλιση σ_2 .

2.2 Κατανομή αντοχών [2] , [5]

Όπως αναφέρεται παραπάνω, αν μια μεγάλη ποσότητα σκυροδέματος μετατραπεί σε δοκίμια, τότε οι αντοχές αυτών των δοκιμών θα βρεθούν διαφορετικές. Οι διαφορές τους θα οφείλονται:

- α) σε μικροδιαφορές στην ποιότητα των υλικών,
- β) στις ανοχές των μέσων ζυγίσεως ,
- γ) στις μικροδιαφορές του χρόνου αναμείξεως, κ.λ.π.

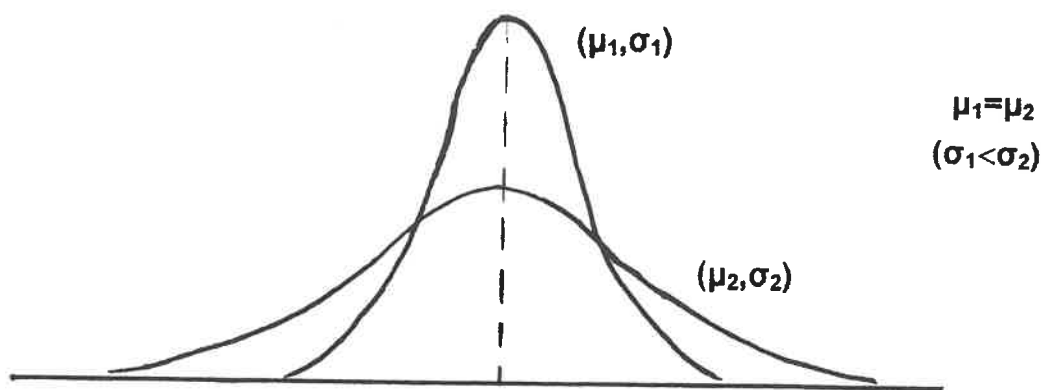
Θα περίμενε κανείς ότι οι διαφορές των αντοχών θα ήταν μικρές, κάτι που όμως δεν συμβαίνει. Αν σε ένα διάγραμμα (σχ. 2.3) που τετμημένη είναι η αντοχή και τεταγμένη το ποσοστό των δοκιμών που έδωσε την ίδια αντοχή, τοποθετηθούν τα αποτελέσματα των δοκιμών, τότε θα προκύψει η καμπύλη κανονικής κατανομής, με πολύ καλή προσέγγιση, από το ιστόγραμμα των τιμών των αντοχών.

Η παράμετρος μ είναι ίση με το μέσο όρο όλων των δοκιμών N :

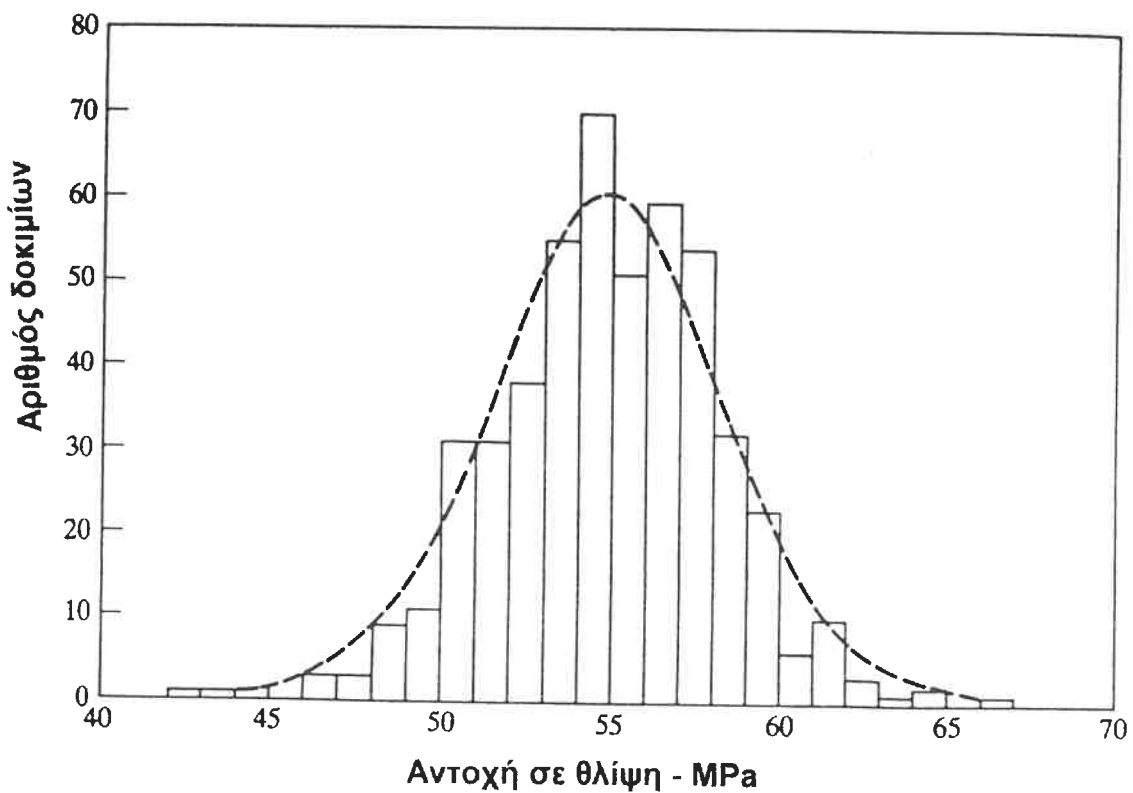
$$\mu = \frac{\sum x}{N} \quad (2.5)$$

Η δεύτερη παράμετρος, το σ , έχει τιμή:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \mu)^2}{N}} \quad (2.6)$$



Σχήμα 2.2 Καμπύλες κανονικής κατανομής με την ίδια μέση τιμή αλλά διαφορετική τυπική απόκλιση



Σχήμα 2.3 Ιστόγραμμα αντοχών και καμπύλη κανονικής κατανομής

Το σ όπως φαίνεται έχει διαστάσεις αντοχής και γι' αυτό χρησιμοποιείται περισσότερο από το τετράγωνο της σ^2 , το οποίο ονομάζεται διασπορά. Ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση, εφόσον υπολογίζονται από την εξέταση ολόκληρου του πλυθυσμού, συμβολίζονται με μ και σ διεθνώς. Όμως, επειδή είναι αδύνατο να εξεταστεί ολόκληρη η ποσότητα του σκυροδέματος, εξετάζεται μόνο ένα μέρος του, το οποίο ονομάζεται δείγμα και όταν είναι αρκετά μεγάλο, τότε και αυτό ακολουθεί κανονική κατανομή, αλλά εδώ ο μέσος όρος σημειώνεται $\bar{x}$ και η τυπική απόκλιση s . Κατά τα άλλα εφόσον πάλι ακολουθείται κανονική κατανομή ισχύουν όλα όσα αναφέρθηκαν στην παράγραφο 2.2 καθώς και οι σχέσεις 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 και 2.6 αρκεί ν' αντικαταστήσουμε το μ με $\bar{x}$ και το σ με s .

2.2.1 Μέση τιμή

Από τη σημαντικά μεγάλη ποσότητα σκυροδέματος που παρασκευάστηκε και έγινε δοκίμια, προκύπτει ένας μέσος όρος (σχέση 2.5) και μία μέση αντοχή f_m . Αυτή η μέση αντοχή είναι ορισμένη για κάθε σκυρόδεμα, εξαρτάται δε από τις αναλογίες και την ποιότητα των υλικών, οι οποίες δίνονται από τη μελέτη σύνθεσης. Σύμφωνα λοιπόν με τη μελέτη σύνθεσης επιτυγχάνεται κάθε φορά η επιδιωκόμενη ποιότητα σκυροδέματος και συνεπώς μια μέση αντοχή f_m .

2.2.2 Τυπική απόκλιση [5]

Όμοια από τη σχέση (2.6) θα προκύψει και μια τιμή τυπικής απόκλισης s . Αυτή η τιμή όμως, σε αντίθεση με τη μέση τιμή, δεν μπορεί να προσδιοριστεί εξ' αρχής από τη μελέτη σύνθεσης και άρα δεν εξαρτάται από τις αναλογίες και την ποιότητα των υλικών.

Η τυπική απόκλιση εξαρτάται από το μηχανικό εξοπλισμό και την οργάνωση ενός εργοταξίου παραγωγής σκυροδέματος. Αν η τυπική απόκλιση s εκφραστεί ως ποσοστό του μέσου όρου, τότε προκύπτει ο συντελεστής V ($V=s/\bar{x}$), που λέγεται συντελεστής ανομοιομορφίας και που κατά τον αμερικάνικο κανονισμό ACI-214/1965, χαρακτηρίζει την ποιότητα ενός εργοταξίου ή εργοστασίου από άποψη παρακολούθησης παραγωγής. Όταν είναι $V < 0,10$ η παρακολούθηση χαρακτηρίζεται άριστη, όταν είναι $0,10 < V < 0,15$ καλή, όταν $0,15 < V < 0,20$ μέτρια και όταν $0,20 < V$ κακή.

Την Αμερικάνικη άποψη ότι το V σε κάθε εργοστάσιο είναι σταθερό και το χαρακτηρίζει από πλευράς ποιότητας, δεν δέχονται οι Άγγλοι, (καθώς και άλλες Ευρωπαϊκές χώρες), οι οποίοι από μετρήσεις διαπίστωσαν ότι όταν ο μέσος όρος $\bar{x}$ μεγαλώνει, δηλ. αυξάνει η μέση αντοχή του σκυροδέματος, τότε το V μικραίνει, ενώ το s είναι αυτό που μένει σταθερό (βλ.σχ.2.4) και χαρακτηρίζει ένα εργοτάξιο ή εργοστάσιο από άποψη ποιότητας. Τελικά το s επηρεάζει και την εξίσωση σχεδιασμού $f_d = f_{ck} + z \cdot s$ για την επιλογή της απαιτούμενης αντοχής, προσαυξάνοντας την χαρακτηριστική αντοχή ανάλογα με την οργάνωση του εργοταξίου που θα παράγει το σκυρόδεμα.

2.2.3 Διασπορά - Πηγές διασποράς

Η διασπορά αντοχών οφείλεται σε διάφορους λόγους, οι οποίοι θα πρέπει να προσδιορίζονται, για να γίνεται ορθή εκτίμηση των δεδομένων των μετρήσεων και πιθανόν για να παίρνονται τα κατάλληλα μέτρα για μείωση της διασποράς.

Γενικά διακρίνονται 4 κύριες πηγές διασποράς ο συνδυασμός των οποίων προκαλεί την ολική διασπορά σ_o^2 .

1. Εγγενής Διασπορά σ_ϕ^2 . Είναι η φυσική-εγγενής τυχαία διασπορά κάθε υλικού. Το τμήμα π.χ. της διασποράς του σκυροδέματος που οφείλεται στις αναπόφευκτες αλλά τυχαίες ως προς τη διανομή τους μικρορηγματώσεις, αποτελεί εγγενή διασπορά.

2. Διασπορά Εργαστηρίου σ_ϵ^2 . Είναι η διασπορά που οφείλεται στις ατέλειες των μεθόδων και μηχανών δοκιμής, και στην ανακρίβεια και ανομοιομορφία εκτελέσεων δοκιμών, από το προσωπικό του εργαστηρίου. Στη διασπορά αυτή ενυπάρχει και διασπορά που οφείλεται σε μεθόδους λήψεως της κατάλληλης ποσότητας υλικού, από την ποσότητα που έφθασε στο εργαστήριο, σε σφάλμα δηλ. δειγματοληψίας στο εργαστήριο.

Η σ_ϵ^2 μπορεί να ελαττωθεί με βελτίωση των τεχνικών ικανοτήτων του προσωπικού, χρησιμοποίηση ακριβέστερων μηχανημάτων και με αύξηση του αριθμού των δοκιμών που παρασκευάζονται για κάθε περίπτωση.

3. Διασπορά αναμείγματος σ_π^2 . Είναι η διασπορά που παρατηρείται στο ίδιο ανάμειγμα υλικού και οφείλεται σε ανομοιογένεια του υλικού και όχι σε ατέλειες της δειγματοληψίας. Η διασπορά αυτή μπορεί να ελαττωθεί με βελτίωση των κατασκευαστικών μεθόδων αύξηση π.χ. του χρόνου αναμείξεως του σκυροδέματος στον αναμεικτήρα.

4. Διασπορά μεταξύ αναμειγμάτων $\sigma_{μπ}^2$. Είναι η διασπορά που παρατηρείται από ανάμειγμα σε ανάμειγμα και συμβάλλει περισσότερο από τα άλλα είδη στην συνολική διασπορά. Μεγάλη τιμή $\sigma_{μπ}^2$ στο σκυρόδεμα οφείλεται κυρίως σε λάθος στη ζύγιση των υλικών.

Η ολική διασπορά σ_o^2 δίνεται από τη σχέση: $\sigma_o^2 = \sigma_\phi^2 + \sigma_\varepsilon^2 + \sigma_\pi^2 + \sigma_{μπ}^2$

Στο σχήμα (2.5) παρουσιάζεται μία γραφική απεικόνιση της παραπάνω σχέσεως και του τρόπου κατά τον οποίον οι επιμέρους διασπορές συντίθενται για να σχηματίσουν την ολική διασπορά.

Η απομόνωση των διαφόρων τύπων των διασπορών δεν είναι εύκολη. Πρέπει να σχεδιασθεί και εκτελεσθεί ένα ειδικό πρόγραμμα δειγματοληψίας, δοκιμών και στατιστικής αναλύσεως των αποτελεσμάτων, που ονομάζεται **ανάλυση διασποράς**. Η ανάλυση διασποράς αποτελεί ένα ιδιαίτερο και πολύ σημαντικό αντικείμενο της στατιστικής αλλά εκφεύγει από τα όρια της εργασίας αυτής.

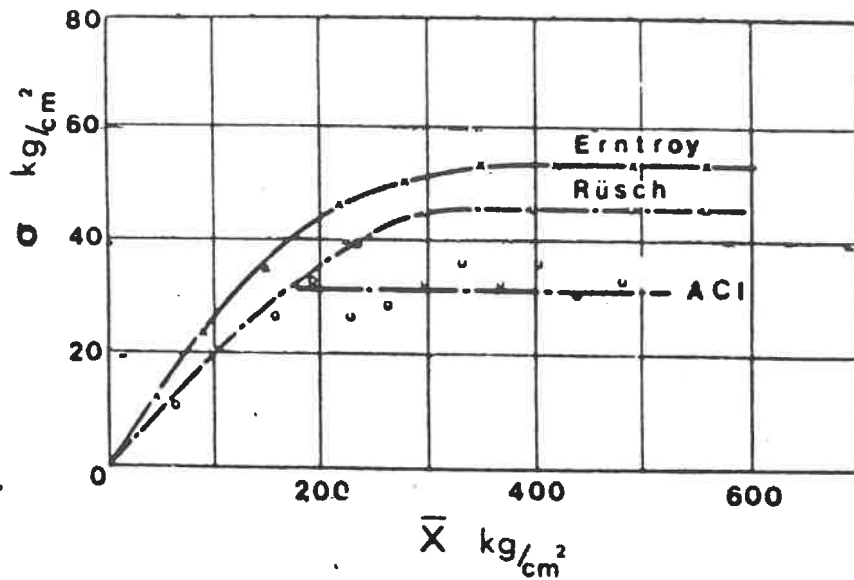
2.2.4 Η σημασία της τυπικής απόκλισης στην εκτίμηση της αντοχής μιας ποσότητας σκυροδέματος

Με μια πρώτη προσέγγιση, φαίνεται από τη μελέτη σύνθεσης, ότι αρκεί η γνώση της μέσης τιμής για να παραχθεί σκυρόδεμα κάποιας ποιότητας. Στο σχήμα (2.6) εικονίζονται δύο σκυροδέματα με ίδια μέση τιμή αλλά με διαφορετικές τιμές τυπικής απόκλισης.

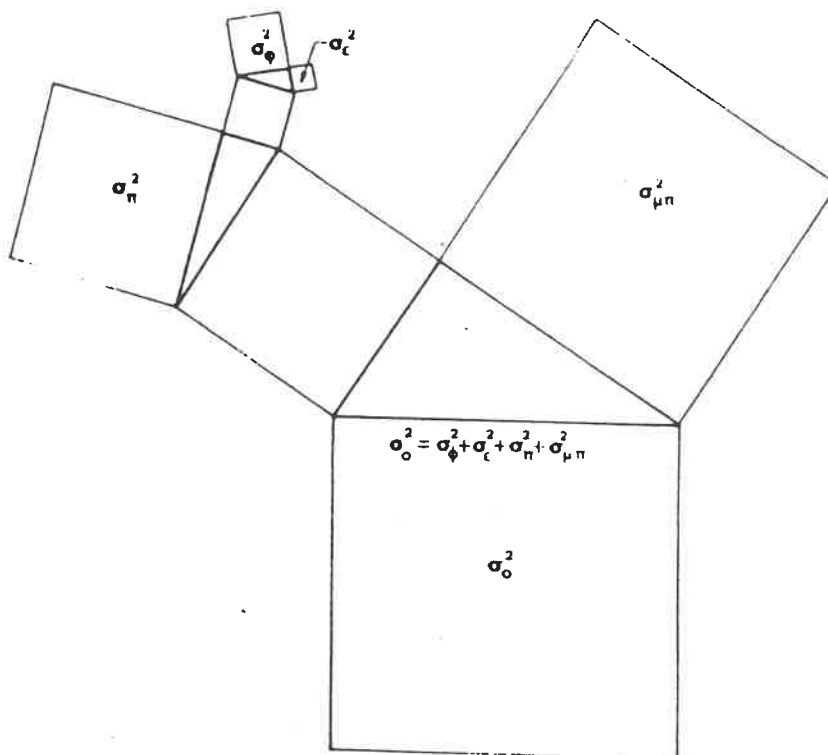
Το πρώτο σκυρόδεμα έχει μέση τιμή $\bar{x}_1 = 36\text{MPa}$ και τυπική απόκλιση $s_1 = 3\text{MPa}$. Αυτό σημαίνει ότι το 16% των αντοχών θα βρεθεί κάτω από 33MPa, ενώ κάτω από 30MPa μόλις το 2%.

Εξετάζοντας τώρα το δεύτερο σκυρόδεμα, που έχει ίδια μέση τιμή με το πρώτο, $\bar{x}_2 = 36\text{MPa}$, αλλά διπλάσια τυπική απόκλιση, $s_2 = 6\text{MPa}$, φαίνεται καθαρά ότι κάτω από 30MPa θα βρεθεί το 16% των αντοχών.

Για να γίνει αντιληπτό πόσο σημαντική είναι η τυπική απόκλιση για ένα σκυρόδεμα, παρουσιάζεται πιο κάτω ακόμα ένα παράδειγμα δύο σκυροδεμάτων, εκ των οποίων, το ένα έχει μέση τιμή $\bar{x}_1 = 36\text{MPa}$ και τυπική απόκλιση $s_1 = 3\text{MPa}$, ενώ το δεύτερο έχει $\bar{x}_2 = 37\text{MPa}$ και $s_2 = 5\text{MPa}$ (σχ. 2.7). Όπως φαίνεται στο σχήμα, το πρώτο σκυρόδεμα παρουσιάζει ένα ποσοστό 2% κάτω από τα 30MPa, ενώ το



Σχήμα 2.4 Σχέση μεταξύ τυπικής αποκλίσεως και μέσης τιμής αντοχής σε θλίψη για σκυροδέματα [5]



Σχήμα 2.5 Πηγές διασποράς και γραφική απεικόνιση του τρόπου συνθέσεως των [5]

δεύτερο ένα ποσοστό το οποίο υπολογίζεται από τη σχέση $z=(\chi-\mu)/\sigma$, όπου: $\chi=30$, $\mu=37$ και $\sigma=5$ άρα $z= -1.4$. Από τον πίνακα (2.1) προκύπτει ότι το ποσοστό υπό αντοχή για τα 30MPa είναι 8%. Είναι εμφανές λοιπόν, ότι είναι προτιμότερο ένα σκυρόδεμα με μικρή τυπική απόκλιση, από κάποιο με μεγαλύτερη τυπική απόκλιση, έστω και αν το δεύτερο παρουσιάζει υψηλότερη μέση τιμή.

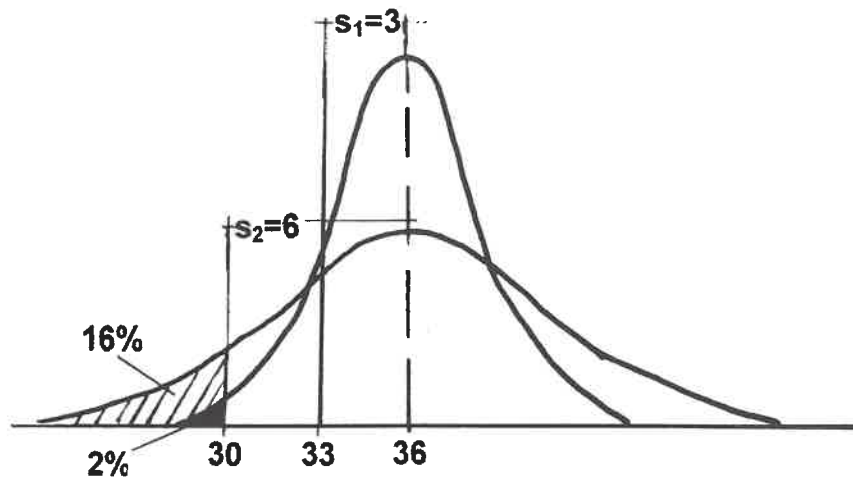
2.2.5 Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος f_{ck} [4]

Η σύγχρονη τεχνολογία του σκυροδέματος, προσπαθεί να εξασφαλίσει στο σκυρόδεμα μια τέτοια κατανομή (δηλ. ένα τέτοιο μέσο όρο και μια τυπική απόκλιση), ώστε το ποσοστό υπό αντοχής να είναι μικρότερο από κάποιο όριο "p". Αυτό το όριο "p" στην Ελλάδα, ακολουθώντας τα Ευρωπαϊκά πρότυπα, θεωρείται $p=0,05$ ή $p=5\%$. Έτσι λοιπόν, χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος f_{ck} ονομάζεται η αντοχή εκείνη, κάτω από την οποία αναμένεται να βρεθεί το 5% των αντοχών μιας σημαντικά μεγάλης ποσότητας σκυροδέματος, αν όλη αυτή η ποσότητα μετατραπεί σε δοκίμια (σχ. 2.8). Από τον ορισμό της χαρακτηριστικής αντοχής προκύπτουν και οι διάφορες κατηγορίες σκυροδέματος (πιν. 2.2)

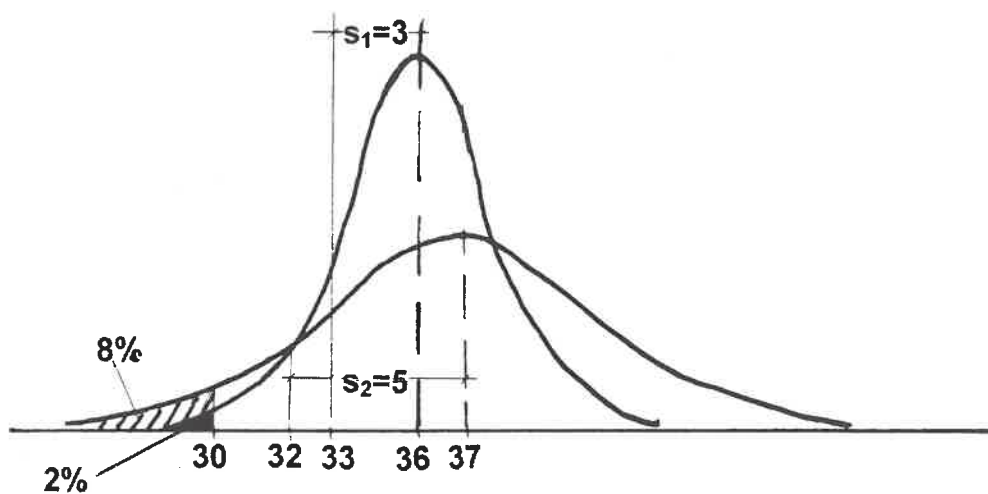
2.3 Απαιτούμενη αντοχή - Εξίσωση σχεδιασμού [3]

Η στατική μελέτη μιας κατασκευής προϋποθέτει τη γνώση της ποιότητας του σκυροδέματος και τελικά μια απαιτούμενη αντοχή. "Απαιτούμενη αντοχή f_d " είναι η τιμή που πρέπει να έχει η μέση τιμή f_m στη σχέση (2.7) ώστε το σκυρόδεμα να ικανοποιεί τα κριτήρια συμμορφώσεως με μια πιθανότητα "α".

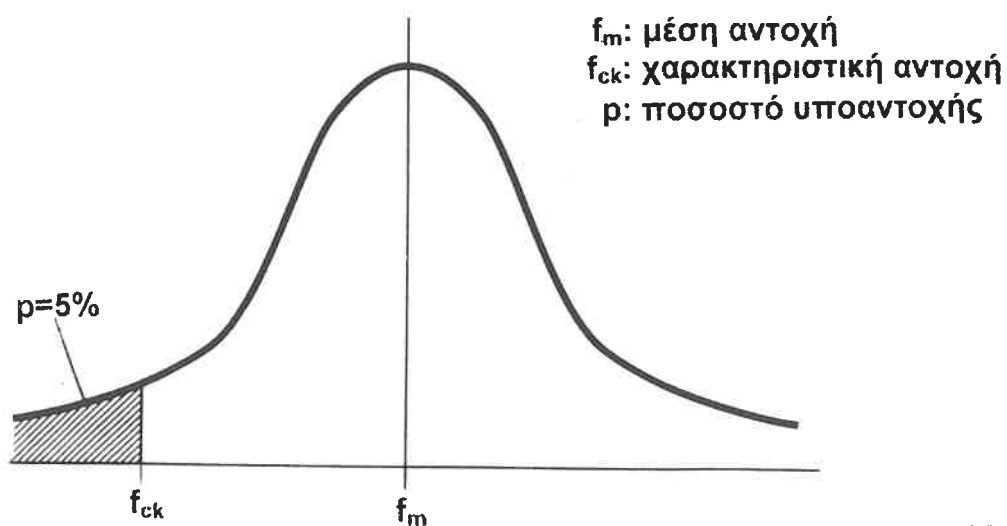
$$f_m = f_{ck} + z \cdot \sigma \quad (2.7)$$



Σχήμα 2.6 Σκυροδέματα με την ίδια μέση τιμή και διαφορετική τυπική απόκλιση



Σχήμα 2.7 Σκυροδέματα με διαφορετικές τιμές τυπικής απόκλισης και μέσης τιμής



Σχήμα 2.8 Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος

ΟΙ ΝΕΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΝΕΕΣ		ΠΑΛΑΙΕΣ
C 12/15	●	12 MPa - B160
	○	
	●	18 MPa - B 225
C 16/20	○	
	●	25 MPa - B 300
C 20/25	○	
	○	
C 25/30	○	
	○	
C 30/37	○	
	●	38 MPa - B 450
C 35/45	○	
↓ ↓	↓	
Κύλινδρος Κύβος		fck = Χαρακτηριστικές Αντοχές Κύβου

Πίνακας 2.2 Κατηγορίες σκυροδέματος [8]

Στον Κ.Τ.Σ. ο οποίος θα σχολιασθεί παρακάτω καθορίζεται $\alpha=88\%$. Η σχέση (2.7) για $z=1,645$ γίνεται:

$$f_m = f_{ck} + 1,64\sigma \quad (2.8)$$

όπου το z προκύπτει από τον πίνακα (2.1) για ποσοστό υποαντοχής $p=5\%$. Από τη σχέση (2.7) προκύπτουν και οι εξισώσεις σχεδιασμού για τα συνήθη οικοδομικά έργα:

$$f_d = f_{ck} + 2,05 \cdot s \text{ για μικρά έργα} \quad (2.9)$$

$$f_d = f_{ck} + 1,91 \cdot s \text{ για μεγάλα έργα} \quad (2.10)$$

Συνεπώς αξιώνουμε $f_d > f_m$.

Στις σχέσεις (2.9) και (2.10) βλέπουμε ότι το σ , άγνωστο μέγεθος, έχει αντικατασταθεί με το s που μπορεί να υπολογιστεί.

2.3.1 Εκτίμηση τυπικής απόκλισης [2] , [5] , [6]

Στην στατιστική όταν δεν είναι γνωστό ένα στοιχείο του πληθυσμού, τότε μπορεί να εκτιμηθεί. Έτσι, η άγνωστη τυπική απόκλιση είναι δυνατό να εκτιμηθεί με δύο τρόπους: [2].

α) Με αντικατάσταση της άγνωστης ποσότητας με κάποιο εκτιμητή $\hat{\Theta}$. Αυτός ο εκτιμητής Θ θα προκύπτει από την εξέταση κάποιου δείγματος. Για να θεωρηθεί όμως αξιόπιστος θα πρέπει να είναι "συνεπής", δηλ. όσο το μέγεθος του δείγματος μεγαλώνει τόσο ο εκτιμητής $\hat{\Theta}$ πρέπει να τείνει στο Θ . Ακόμα ο εκτιμητής $\hat{\Theta}$ πρέπει να είναι "αμερόληπτος", δηλ. θα πρέπει η πρώτη ροπή $E(\hat{\Theta})$ να είναι $E(\hat{\Theta}) = \Theta$. Εδώ, ζητείται ένας εκτιμητής του σ . Η τροποποιημένη διακύμανση $s^2 N / (N-1)$ είναι αμερόληπτος εκτιμητής του σ^2 . Η ποσότητα όμως

$$s = s \sqrt{N} / (N-1)$$

δεν είναι αμερόληπτος εκτιμητής του σ , αλλά μεροληπτικός. Όμως, όταν το N μεγαλώνει, η ποσότητα $N / (N-1)$ πλησιάζει τη μονάδα και το s^2 από τη σχέση:

$$E[s^2 N / (N-1)] = \sigma^2$$

είναι αμερόληπτος εκτιμητής του σ^2 και συνεπώς το s μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εκτιμητής του σ .

β) Ορίζοντας ένα διάστημα A-B, μέσα στο οποίο βρίσκεται η άγνωστη σ με προεπιλεγμένη γνωστή πιθανότητα $p\%$. Αντίθετα όμως με την μέση τιμή ενός δείγματος αντοχών, η οποία ακολουθεί κανονική κατανομή, η τυπική απόκλιση s δεν ακολουθεί κανονική κατανομή. Δεν υπάρχει δηλ. συνάρτηση $f(s)$ τέτοια ώστε:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(s) ds = 1$$

Όμως, όπως έχει διαπιστωθεί, το στοιχείο $\chi^2 = Ns^2/\sigma^2$ έχει μια ορισμένη κατανομή που λέγεται "κατανομή χ^2 " και που δίνεται από τη σχέση:

$$Y = Y_0 (x^2)^{\frac{v}{2}-1} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)$$

όπου $v=N-1$, ο βαθμός ελευθερίας και Y_0 μια σταθερά που εξαρτάται από το v και έχει τέτοια τιμή, ώστε το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη να είναι ίσο με τη μονάδα. Η μορφή της καμπύλης Y εξαρτάται από το v , όπως φαίνεται στο σχήμα (2.9). Η καμπύλη Y είναι πινακοποιημένη και έτσι για κάθε τιμή χ^2 είναι δυνατόν να ορισθούν διαστήματα βεβαιότητας. Αναζητώντας δηλ. από πίνακες δύο αριθμούς χ_{α}^2 και χ_{β}^2 που να αποκόπτουν αριστερά και δεξιά εμβαδά 5%, δηλ. η σχέση

$$\chi_{\alpha}^2 < Ns^2/\sigma^2 < \chi_{\beta}^2 \quad \text{ή} \quad Ns^2/\chi_{\alpha}^2 < \sigma^2 < Ns^2/\chi_{\beta}^2$$

να ισχύει με πιθανότητα 90%, προκύπτει το διάστημα βεβαιότητας της σ (βλ. σχ. 2.10)

Το δεξί μέρος της ανισότητας, δείχνει ότι η πιθανότητα να υπερβεί η σ την ποσότητα Ns/χ_{β} είναι μόλις 5%, άρα μπορεί να θεωρηθεί σαν άνω όριο της.

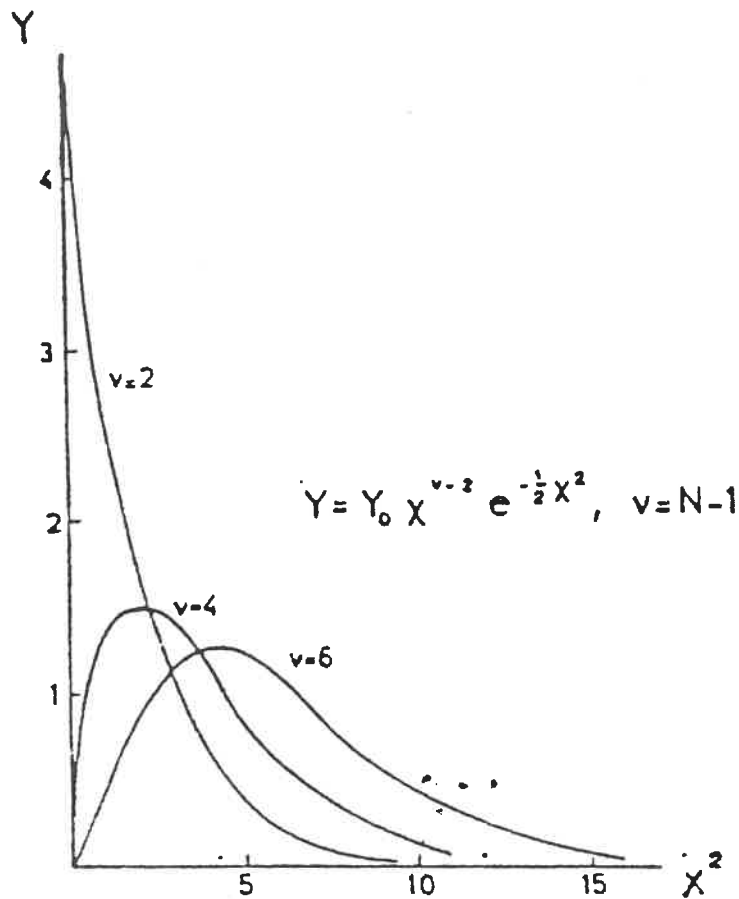
Θεωρώ $A=N/\chi_{\beta}$, οπότε το $A*s$ είναι άνω όριο της σ . Στο σχ. (2.9) είναι χαραγμένη η μεταβολή του A συναρτήσει του αριθμού δοκιμών N του δείγματος, για την τιμή χ_{β} που αποκόπτει εμβαδόν 2,5% και για την οποία το A_s είναι το 97,5% άνω όριο εμπιστοσύνης του σ .

Όπως φαίνεται και στο σχήμα (2.11), μετά τα 60 δοκίμια, το A δεν έχει ουσιαστική μεταβολή, γι' αυτό και ο Κ.Τ.Σ. ζητάει τουλάχιστον 60 δοκίμια, για τον υπολογισμό της τυπικής αποκλίσεως, τα οποία θα έχουν παρασκευαστεί με τον ίδιο εξοπλισμό και τα ίδια υλικά. Σε περίπτωση που ο αριθμός των δοκιμών είναι μικρότερος, ο

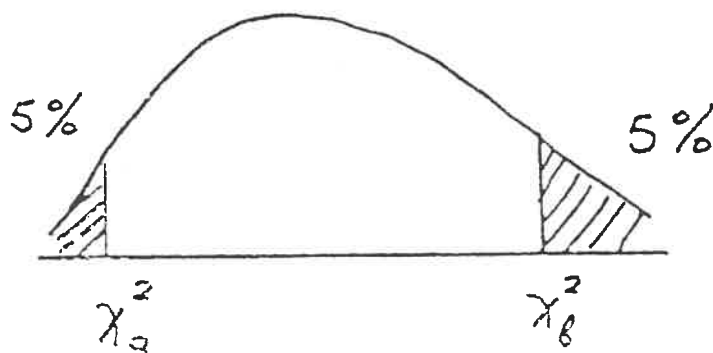
Κεφάλαιο 2°

Κ.Τ.Σ. υποδεικνύει συντελεστές πολλαπλασιασμού της τυπικής απόκλισης όπως φαίνεται στον πίνακα (2.3).

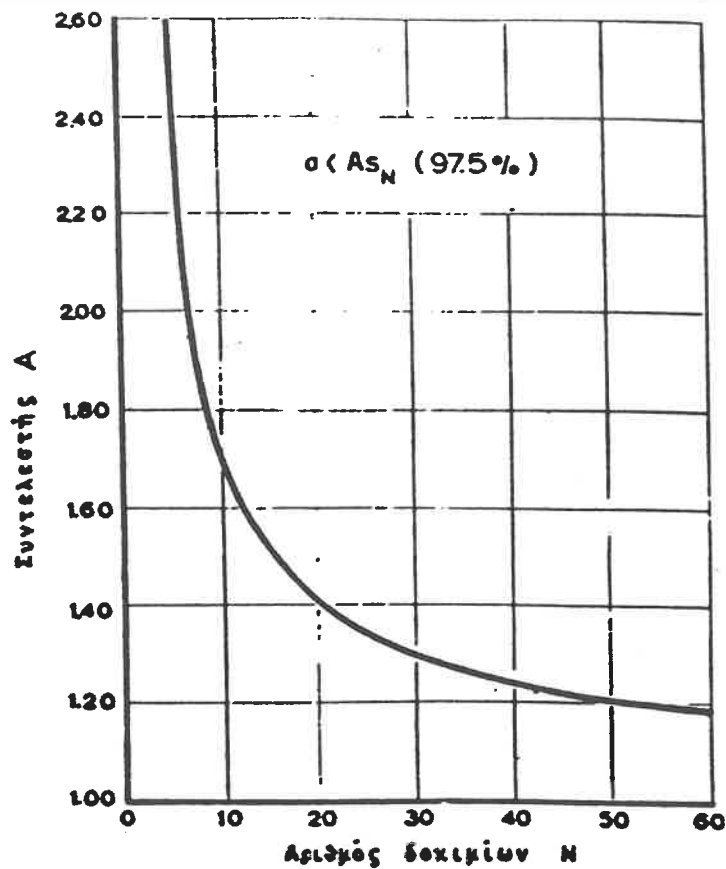
Τέλος, αν δεν υπάρχουν στοιχεία τυπικής αποκλίσεως, τότε στις σχέσεις (2.9) και (2.10) πρέπει να εισάγονται οι τιμές $s=5\text{MPa}$, αν χρησιμοποιηθούν θραυστά αδρανή και $s=6\text{MPa}$ αν χρησιμοποιηθούν συλλεκτά αδρανή.



Σχήμα 2.9 Μορφή καμπύλης Y σε σχέση με τους βαθμούς ελευθερίας v [2]



Σχήμα 2.10 Διάστημα βεβαιότητας 90% της τυπικής απόκλισης σ [2]



Σχήμα 2.11 95% διάστημα βεβαιότητας.
Μεταβολή της ποσότητας Α σε σχέση με τον αριθμό
των δοκιμών [4]

Αριθμός δοκιμών	Συντελεστής πολλαπλασιασμού
15	1,27
20	1,18
30	1,09
40	1,05
50	1,02
60 ή περισσότερα	1,00

Πίνακας 2.3 Συντελεστής διόρθωσης της τυπικής απόκλισης [3]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ****ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (Κ.Τ.Σ.)****ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ - ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΕΩΣ****-ΕΞΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΡΙΤΗΡΙΟΥ Α-****ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ.), υπάρχει ένα σύνολο άρθρων που αναφέρονται στο σκυρόδεμα που παρασκευάζεται με συνήθη λίθινα αδρανή, φαινόμενου βάρους $2,4 \sim 3,0 \text{ t/m}^3$ και ορίζουν πώς πρέπει αυτό να παρασκευαστεί, να διαστρωθεί, να συμπυκνωθεί και να συντηρηθεί, ώστε τελικά να αποκτήσει την αντοχή, καθώς και όλες εκείνες τις ιδιότητες που καθορίστηκαν από τη μελέτη σύνθεσης.

Γίνεται αναφορά στα Ελληνικά κριτήρια συμμορφώσως και παρουσιάζεται παράδειγμα εξομοίωσης της καμπύλης λειτουργίας του κριτηρίου Α.

3.1 Παρασκευή του σκυροδέματος

Κατά την παρασκευή μιας ποσότητας σκυροδέματος είναι απαραίτητο να επιδιώκεται η εξασφάλιση ομοιογένειας, αντοχής, εργασιμότητας, καθώς και οικονομικότητας.

3.1.1 Ομοιογένεια [3]

Τρία είναι τα κυριότερα στοιχεία που καθορίζουν την ομοιογένεια του μείγματος:

- 1) η περιεκτικότητα τσιμέντου,
- 2) η κοκκομετρική διαβάθμιση,
- 3) η περιεκτικότητα σε νερό.

Όταν η περιεκτικότητα τσιμέντου, δηλαδή τσιμεντοπολτού, είναι αυξημένη, τότε τα αδρανή φέρονται σ' αυτόν ο οποίος αποτελεί και τον κυρίως ιστό του μείγματος. Αντίθετα αν η περιεκτικότητα τσιμέντου είναι μικρή τότε ο ιστός είναι κυρίως λίθινος και τα αδρανή περιβάλλονται ελάχιστα με τσιμεντοπολτό. Τότε το μείγμα είναι

ψαθυρό, αντλείται δύσκολα και τείνει σε απόμειξη. Η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών του μείγματος είναι καθοριστική, τόσο για την ομοιογένεια όσο και για άλλες χαρακτηριστικές ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος. Όπως αναφέρθηκε στο 1^ο Κεφάλαιο, η κοκκομετρική καμπύλη του μείγματος, πρέπει να βρίσκεται μέσα σε μία καθορισμένη ζώνη. Εντούτοις, η σχετική θέση της καμπύλης μέσα στη ζώνη καθώς και η μορφή της καμπύλης, αλλάζουν τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του μείγματος όπως φαίνεται από το σχήμα (3.1).

Η καμπύλη (**α**), που είναι το πάνω όριο της υποζώνης Δ, δίνει πλαστικότητα, συνοχή, αλλά μικρή ρευστότητα και αυξημένη συστολή ξηράνσεως. Η καμπύλη (**β**) δίνει μεγάλη ρευστότητα (εμμέσως αντοχή), αλλά έχει κενά και τάση για απόμειξη. Η καμπύλη (**γ**) έχει ελάχιστα κενά και συνεπώς μεγάλη ομοιογένεια, αλλά έχει μικρή ρευστότητα και αντλησιμότητα. Η καμπύλη (**δ**) είναι η χειρότερη που μπορεί να συναντηθεί. Έχει πολλά κενά, δεν αντλείται και χρειάζεται αρκετό τσιμέντο, ενώ δεν παρουσιάζει ούτε ρευστότητα, ούτε πλαστιμότητα. Τέλος η (**ε**) είναι μία ψαθυρή καμπύλη που απομειγνύεται όταν η κάθιση ξεπεράσει τα 5~6 cm, αλλά είναι η μόνη κατάλληλη για ογκώδεις διατομές, φράγματα, δάπεδα και προκατασκευασμένα στοιχεία.

Τέλος, η ποσότητα του νερού καθορίζει τη ρευστότητα. Ωστόσο αυξημένη ποσότητα νερού μπορεί να οδηγήσει σε απόμειξη αν συγχρόνως δεν προστεθεί λεπτό υλικό (άμμος ή τσιμέντο). Έτσι, ό,τι κερδίζεται σε ρευστότητα χάνεται σε ομοιογένεια και αντοχή εν γένει.

3.1.2 Αντοχή [1] [3]

Μία από τις βασικές ιδιότητες του σκυροδέματος είναι η αντοχή του. Πρόκειται για την ιδιότητα που καθιστά το υλικό ιδιαίτερα σημαντικό. Είναι άλλωστε και ο λόγος για τον οποίο το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται σήμερα ευρύτατα σε όλο τον κόσμο.

Ωστόσο η αντοχή του είναι ιδότητα ιδιαίτερα πολύπλοκη που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως τα υλικά σύνθεσης, η μελέτη σύνθεσης, το περιβάλλον κ.λπ.

Ολόκληρος ο Κ.Τ.Σ. αποτελεί άλλωστε μία "ρετσέτα" συμβουλών και ορίων που μας επιτρέπει να διαμορφώνουμε την αντοχή του εκάστοτε σκυροδέματος στο επιθυμητό επίπεδο που η χρήση και ο σκοπός του επιβάλλει.

Στα επόμενα κεφάλαια αναλύεται διεξοδικά η έννοια της αντοχής αλλά και οι παράγοντες που την επηρεάζουν.

3.1.3 Εργασιμότητα [2]

Ως εργασιμότητα, ορίζεται η ιδιότητα που προσδιορίζει την ευκολία, με την οποία το νωπό σκυροδέμα, συμπυκνώνεται παίρνοντας τη μορφή που πρέπει μέσα στα καλούπια, χωρίς να απομείνυεται. Η εργασιμότητα εκφράζεται από την κάθιση, που είναι συνάρτηση της ποσότητας νερού. Αύξηση της ποσότητας του νερού οδηγεί σε αύξηση της κάθισης με αποτέλεσμα το σκυροδέμα να είναι πιο εργάσιμο.

Ωστόσο όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 3.1.1, αν η αύξηση του νερού δε συνοδεύεται με ταυτόχρονη αύξηση του λεπτού υλικού, οδηγούμαστε σε απόμειξη.

3.1.4 Οικονομικότητα

Με τη μελέτη σύνθεσης, αναζητείται η ελάχιστη ποσότητα τσιμέντου για κάθε ποιότητα σκυροδέματος, διότι το τσιμέντο (και τα πρόσθετα που μπαίνουν σε ποσότητα ανάλογη του τσιμέντου) είναι το ακριβότερο υλικό.

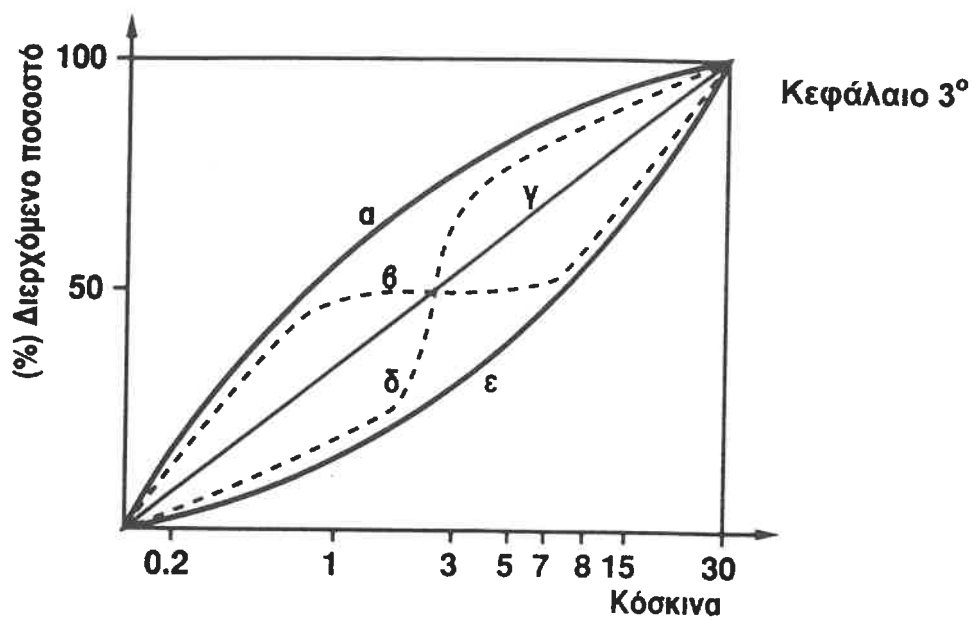
Πέρα όμως από τους λόγους της οικονομίας που απαιτούν την ελάχιστη ποσότητα τσιμέντου, υπάρχουν και λόγοι ποιότητας που επιβάλλουν τη χαμηλή περιεκτικότητα σε τσιμέντο. Ίσως φαίνεται παράδοξο αλλά το πολύ τσιμέντο: [2]

- α) αυξάνει τη συστολή ξήρανσης,
- β) μειώνει την κάθιση και άρα αυξάνει την ποσότητα νερού με τις γνωστές επιπτώσεις,
- γ) αυξάνει την πλαστική συστολή,
- δ) μειώνει το μέτρο ελαστικότητας και
- ε) αυξάνει τον ερπυσμό που εξαρτάται από την ποσότητα τσιμεντοκονίας.

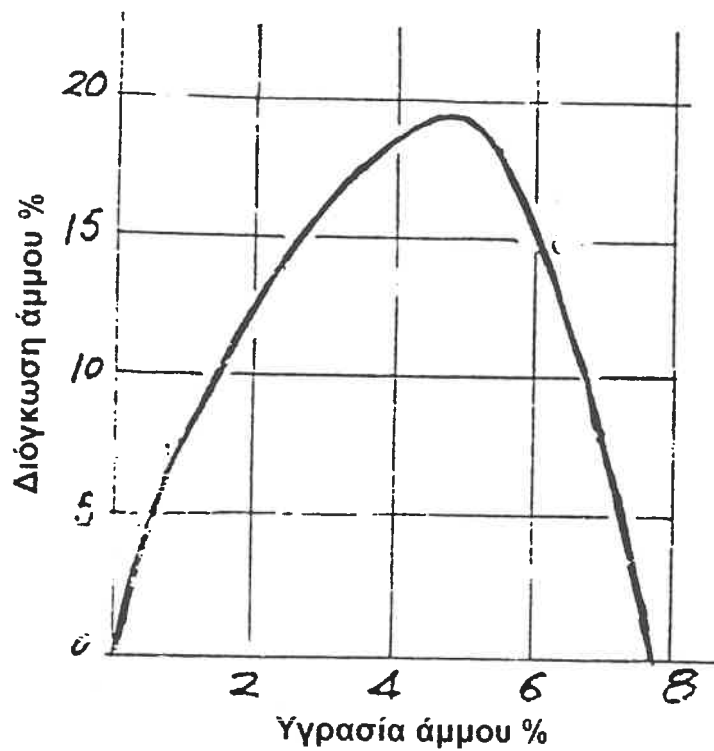
Έτσι λοιπόν, η επιπλέον ποσότητα τσιμέντου δε βελτιώνει πάντοτε κάποια κατάσταση αλλά είναι δυνατό να την επιδεινώνει.

3.2 Ανάμειξη σκυροδέματος [2]

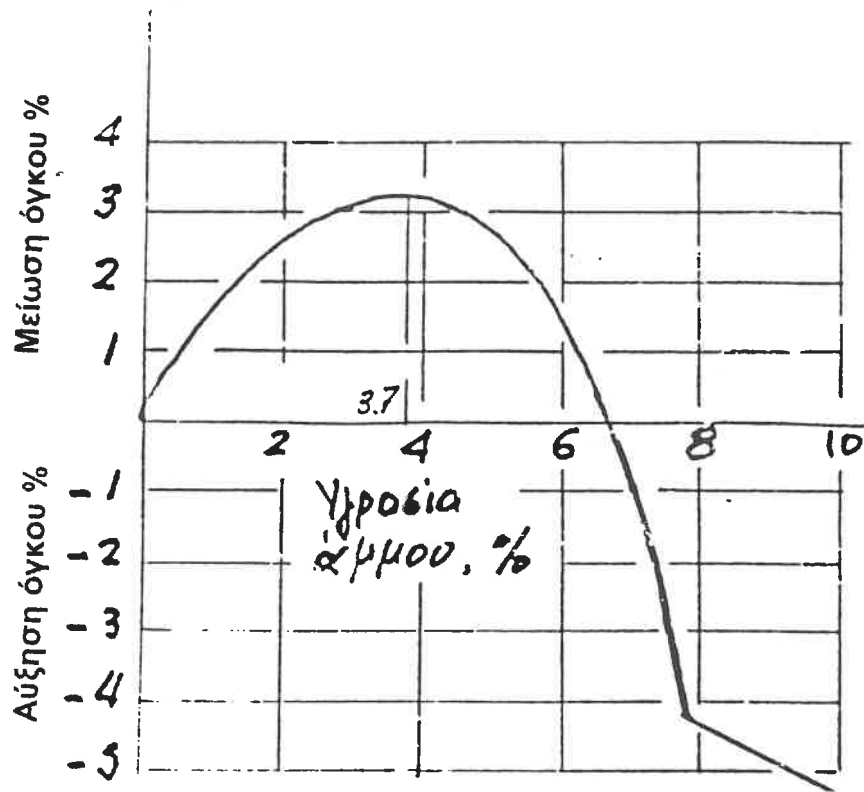
Οι ποσότητες της μελέτης σύνθεσης αφορούν ξερά υλικά. Στο εργοτάξιο όμως, σχεδόν ποτέ τα υλικά δεν είναι ξερά. Αν η υγρασία τους δεν ληφθεί υπόψη, θα υπάρξουν σοβαρά προβλήματα τόσο στον όγκο του μείγματος, όσο και στην αντοχή του σκυροδέματος



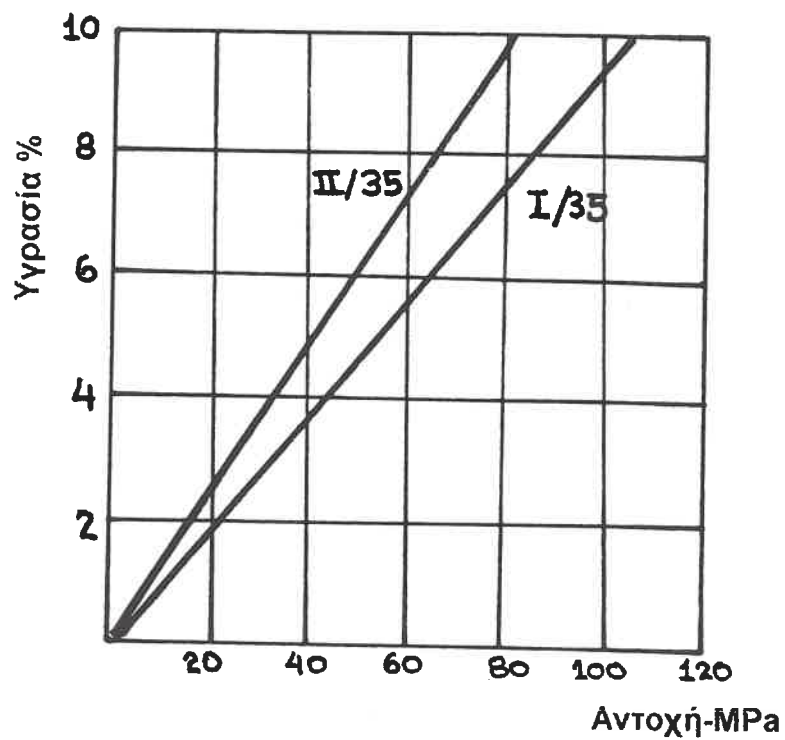
Σχήμα 3.1 Σχετική θέση της κοκκομετρικής καμπύλης-Επίρροή στα ρεολογικά χαρακτηριστικά του μείγματος [1]



Σχήμα 3.2 Διόγκωση άμμου ανάλογα με την υγρασία της [2]



Σχήμα 3.3 Επιρροή της υγρασίας της άμμου στη μείωση και την αύξηση του όγκου του σκυροδέματος [2]



Σχήμα 3.4 Μείωση της αντοχής αν δεν ληφθεί υπόψη η υγρασία της άμμου [2]

Όταν η άμμος υγραίνεται, διογκώνεται και αυτή η διογκωση μπορεί να φτάσει και το 30% του αρχικού της όγκου, όπως φαίνεται και στα διαγράμματα των σχημάτων (3.2) και (3.3). Έτσι, όταν η άμμος έχει υγρασία και η δοσολόγηση γίνεται σε όγκους, τότε έχει προστεθεί μόνο ένα μέρος του απαιτούμενου υλικού στο μείγμα, π.χ. για υγρασία άμμου 15%, θα προστεθεί μόνο το 85% της απαιτούμενης ποσότητας. Έτσι, με λιγότερη άμμο, το μείγμα θα είναι επιρρεπές σε απόμειξη, και δεν θα έχει παρασκευαστεί 1m^3 σκυροδέματος αλλά λιγότερο. Στην αντοχή, η υγρασία της άμμου επιδρά καταλυτικά και αν δεν γίνει διόρθωση της απαιτούμενης ποσότητας νερού, υπάρχει σοβαρή πτώση της αντοχής όπως δείχνει και το Σχ. (3.4).

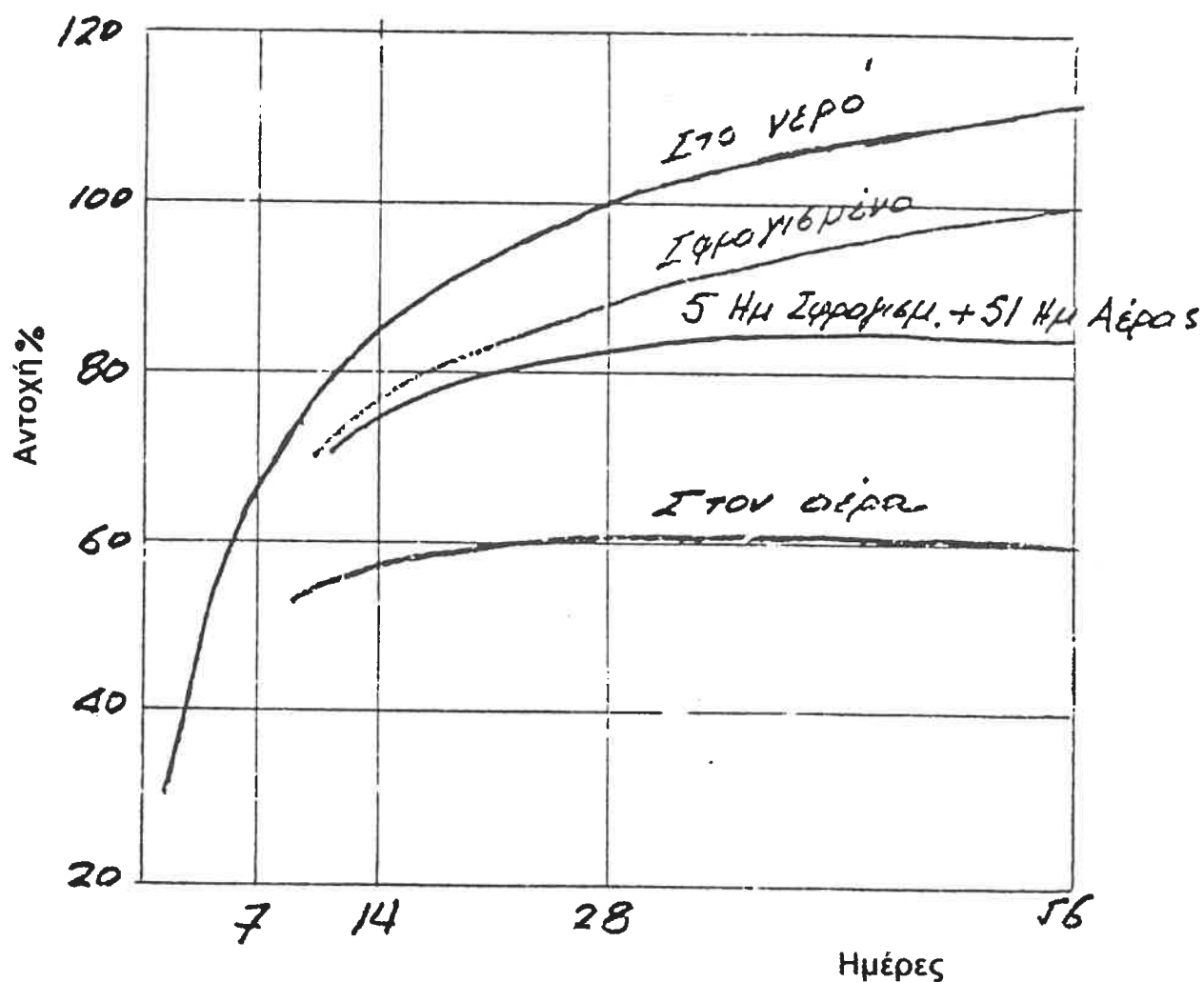
- Ο Κ.Τ.Σ. στο άρθρο (6), απαγορεύει τη μέτρηση αδρανών και γενικά των υλικών του σκυροδέματος σε όγκους, για τους πιο πάνω λόγους. Όμως, επιτρέπει την δοσολόγηση σε όγκο σε μικρά έργα και σε απομακρυσμένες περιοχές, όπου η εγκατάσταση ζυγιστηρίων είναι ασύμφορη ή αδύνατη. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, ο κανονισμός επιτρέπει τη μέτρηση σε όγκους αλλά μόνο με δύο προϋποθέσεις:
- Πρώτον, ότι η απαιτούμενη αντοχή θα υπερβαίνει τη χαρακτηριστική, όχι κατά **2,05s** που από τον πίνακα κανονικής κατανομής αντιστοιχεί σε ποσοστό υποαντοχής **2%**, αλλά κατά **11,6 MPa**, στα θραυστά αδρανή, που σημαίνει **1%** ποσοστό υποαντοχής ($z=2,32$) και τυπική απόκλιση **5 MPa**. Στα φυσικά αδρανή η αύξηση είναι **13,9 MPa**, δηλαδή πάλι ποσοστό υποαντοχής **1%** και τυπική απόκλιση **6 Mpa**.
- Δεύτερον, ότι οι ποσότητες των υλικών θα δίνονται ανά σάκκο τσιμέντου και τα δοχεία, με τα οποία θα γίνεται η μέτρηση των όγκων των υλικών, θα έχουν προηγουμένως σημαδευτεί στο ύψος που πρέπει, με ζυγισμένα υλικά. Η ακρίβεια ζυγίσεως των υλικών κάθε αναμείγματος παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.1.

3.2.1 Αναμεικτήρας Εργοστασίου [2]

Ο αναμεικτήρας είναι το πιο σπουδαίο μηχάνημα σε ένα εργοστάσιο παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος. Το τσιμέντο είναι υλικό υδρόφοβο, γι' αυτό και όταν οι κόκκοι του έρθουν σε επαφή με το νερό προσπαθούν να προστατευθούν σχηματίζοντας συσσωματώματα. Σκοπός του αναμεικτήρα είναι να σπάσει τα συσσωματώματα και να διασκορπίσει τους κόκκους ομοιόμορφα στο μείγμα. Για να το επιτύχει αυτό πρέπει να είναι ειδικά σχεδιασμένος.

Κανονισμός	Υλικά %				Κεφάλαιο 3°
	νερό	τσιμέντο	αδρανή	πρόσθετα	
DIN 1045	±3	±3	±3	—	
ASTM C94	±1	±1	±2	±3	
ACI 301	±1	±1	±2	±3	
BS 5328	±3	±3	±3	—	
CP 110	±3	±3	±3	±5	
C.E.B. (Model Code)	±3	±3	±3	±5	

Πίνακας 3.1 Ακρίβεια ζυγίσσεως υλικών για την παρασκευή σκυροδέματος [4]



Σχήμα 3.5 Επίδραση της συντήρησης στην αντοχή του σκυροδέματος [2]

Ο αναμεικτήρας μαζί με το ζυγιστήριο έχουν την ευθύνη της τυπικής απόκλισης s μίας μονάδας παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος.

Είναι πάντα απαραίτητο, κατά τη λειτουργία του αναμεικτήρα να τηρούνται οι προδιαγραφές του, τόσο ως προς το χρόνο ανάμειξης όσο και ως προς την φόρτωση (χωρητικότητα) αυτού.

3.3 Μεταφορά Σκυροδέματος [3]

Η μεταφορά του σκυροδέματος, πρέπει να γίνεται με ειδικά αυτοκίνητα αναδευτήρες (βαρέλες) και κατά τη μεταφορά του πρέπει να προστατεύεται από τη βροχή ή την πρόσμειξη του με ξένα υλικά και δεν πρέπει να χάνει την ομοιογένεια του. Ο χρόνος μεταφοράς δεν πρέπει να ξεπερνά τα 90 λεπτά, χρόνος που μεταβάλλεται ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες και γίνεται πιο σύντομος το καλοκαίρι.

Αν χρησιμοποιείται αντλία, θα πρέπει να μην μεταβάλλει την ομοιογένεια και την εργασιμότητα του μείγματος, κάτι που ούτως ή άλλως επιτυγχάνεται, αφού η αντλία απλώς ωθεί το σκυρόδεμα χωρίς να επεμβαίνει στη σύσταση του και μάλιστα αν τροφοδοτηθεί με ανομοιογενές σκυρόδεμα "ταπώνει", δηλαδή φράσσονται οι σωληνώσεις ή τίθενται εκτός λειτουργίας.

Στο έτοιμο σκυρόδεμα που μεταφέρεται με αυτοκίνητο απαγορεύεται η προσθήκη υλικών, ουσιαστικά νερού. Επιτρέπεται μόνο η προσθήκη υπερρευστοποιητικού ή επιβραδυντικού που δεν έχουν δυσμενή επίπτωση στην αντοχή (για κανονικές δόσεις).

3.4 Διάστρωση Σκυροδέματος [3]

Η εκφόρτωση του σκυροδέματος πρέπει να γίνεται κοντά στη θέση διάστρωσης και σε αυτό το σημείο παύει η ευθύνη ενός εργοστασίου που περιορίζεται στην ανάμειξη και τη μεταφορά του σκυροδέματος στη θέση διάστρωσης. Γι' αυτό και ο έλεγχος του σκυροδέματος γίνεται πριν τη διάστρωση.

Η μεγαλύτερη καταστροφή της ομοιογένειας του σκυροδέματος, γίνεται κατά τη διάστρωση και αυτό γιατί άλλοτε διαστρώνεται από πολύ ψηλά, άλλοτε διέρχεται μέσα από πυκνό σπλισμό και κοσκινίζεται και άλλες φορές μεταφέρεται με τσουγκράνες ή δονητές που το απομειγνύουν.

Κατά τη διάστρωση δεν πρέπει η πτώση του σκυροδέματος να γίνεται από ύψος μεγαλύτερο των 2,5 m, διότι όταν το σκυρόδεμα αδειάζει από ψηλά φτάνει στο κάτω μέρος διαχωρισμένο. Έτσι, επιβάλλεται η χρήση σωλήνα ή το άνοιγμα παραθύρων στον ξυλότυπο.

Ακόμα, πρέπει να αποφεύγεται το "στάρωμα", δηλαδή η διάστρωση ολόσωμων πλακών με πάχος μικρότερο των 60 εκατοστών σε δύο στρώσεις.

Το "στάρωμα", αποτελεί πηγή κινδύνων για μία πλάκα, διότι πολλές φορές λόγω καθυστέρησης η επιφάνεια της μίας στρώσης στεγνώνει, με αποτέλεσμα η πλάκα να αποτελείται από δύο ασύνδετες οριζόντιες στρώσεις, οι οποίες με την πρώτη φόρτιση αποκολλούνται. [2]

Η κάθιση του σκυροδέματος θα πρέπει να μετριέται πριν τη διάστρωση, σε δείγμα που θα παίρνεται μετά την αποφόρτωση του ενός τρίτου περίπου του φορτίου του αυτοκινήτου. Η τιμή της θα προκύπτει ως ο μέσος όρος των μετρήσεων δύο δοκιμών, που θα γίνονται στο ίδιο δείγμα. Η τιμή αυτή, δεν πρέπει να διαφέρει από την κάθιση της μελέτης σύνθεσης ή την κάθιση που έχει διαμορφώσει ο επιβλέπων, περισσότερο ή λιγότερο από 2cm.

3.5 Συμπύκνωση του Σκυροδέματος [3]

Η συμπύκνωση παίζει σπουδαίο ρόλο στην τελική αντοχή, διότι κάθε εκατοστό κενών, μειώνει την αντοχή κατά 5% περίπου. [2] [16]

Η συμπύκνωση πρέπει να γίνεται πάντα με δονητή, εκτός αν το στοιχείο έχει μικρό πάχος ή το σκυρόδεμα έχει κάθιση μεγαλύτερη από 20cm, οπότε η δόνηση μπορεί να παραληφθεί και να γίνει τακτοποίηση με ράβδο ή σανίδα.

Το είδος του δονητή (εσωτερικός δονητής, δονητής ξυλοτύπου, επιφανείας) καθώς και ο αριθμός των δονητών που θα χρησιμοποιηθούν, προδιαγράφονται στη σύμβαση του έργου.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, η συμπύκνωση είναι σημαντική και τακτοποιεί το σκυρόδεμα στα καλούπια διατάσσοντας τους κόκκους και δημιουργώντας έναν ευσταθή λίθινο σκελετό με το ελάχιστο ποσοστό αέρα. Έτσι πρέπει να γίνεται από έμπειρους χειριστές και όσο το σκυρόδεμα είναι ακόμα πλαστικό, ώστε να μην σχηματίζονται αρμοί εργασίας μεταξύ δύο στρώσεων και να μην υπάρχει κίνδυνος αποκόλλησης του σπλισμού από το σκυρόδεμα.

Η επαναδόνηση του σκυροδέματος είναι επιθυμητή, μόνο αν το στέλεχος του δονητή εισχωρεί στη μάζα του σκυροδέματος, χωρίς να πιέζεται από τον χειριστή. Η

επαναδόνηση γίνεται μία με δύο ώρες μετά τη διάστρωση και βοηθά στην επαναδιάταξη των κόκκων, τον εκτοπισμό του νερού και το κλείσιμο των κενών. Τα κενά αυτά δημιουργούνται μετά την πρώτη δόνηση και οφείλονται τόσο στο ελεύθερο νερό που ανεβαίνοντας δημιουργεί κατακόρυφα τριχοειδή, όσο και στην καθίζηση των σκύρων, που αφήνουν κενά στο επάνω μέρος τους, τα οποία γεμίζουν από φυσσαλίδες αέρα και νερό. Αυτοί οι χώροι που μετά την εξάτμιση του νερού μένουν κενοί, ευθύνονται μαζί με τις συστολές πήξεως και ξηράνσεως για τις χαμηλές αντοχές που πολλές φορές παρουσιάζει το σκυρόδεμα.

Τέλος αναφέρεται στη βιβλιογραφία ότι με την επαναδόνηση προκύπτει αύξηση της αντοχής κατά 14%, συνήθως όμως η αύξηση είναι της τάξεως του 5%. [2]

3.6 Συντήρηση Σκυροδέματος [2]

Μέχρι και τη συμπύκνωση του νωπού σκυροδέματος, ένα "δυνάμει" καλό σκυρόδεμα, τοποθετήθηκε εντέχνως μέσα στους ξυλότυπους. Απομένει η σκλήρυνση του σκυροδέματος, που είναι και η κατάληξη της ενυδάτωσης του τσιμέντου. Η ενυδάτωση ξεκινά αμέσως μετά την ανάμειξη των υλικών και διαρκεί πολλά χρόνια. Για να συνεχιστεί η ενυδάτωση χρειάζεται νερό, το οποίο παρέχεται στο σκυρόδεμα κατά τη διάρκεια της συντήρησης.

Η συντήρηση είναι υποχρεωτική και αρχίζει αμέσως μετά τη διάστρωση και πρέπει να διαρκεί για χρονικό διάστημα, που εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες και τις απαιτήσεις του έργου. Αυτό το χρονικό διάστημα δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερο των επτά ημερών.

Η απαραίτητη υγρασία για τη συντήρηση, εξασφαλίζεται με μεθόδους που αντικαθιστούν το νερό που εξατμίζεται, όπως κατάβρεγμα, πλημμύρισμα και με μεθόδους που απαγορεύουν ή επιβραδύνουν την εξάτμιση του νερού του μείγματος, όπως ο ψεκασμός με ειδικά υγρά, που σχηματίζουν επιφανειακή μεμβράνη, ή επικάλυψη με λινάτσες, αδιάβροχα φύλλα, άμμο κ.α.

Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου συντηρήσεως και η εν γένει πρόοδος της σκληρύνσεως, ελέγχεται με δοκίμια, τα οποία παραμένουν δίπλα στο έργο και συντηρούνται όπως αυτό ("δοκίμια του έργου"). Οι αντοχές τέτοιων δοκιμίων δεν θα λαμβάνονται υπόψη στους ελέγχους συμμορφώσεως. [3]

Η συντήρηση είναι από τους πλέον σημαντικούς παράγοντες στην ανάπτυξη αντοχής του σκυροδέματος. Στο σχήμα (3.5) [2], φαίνεται καθαρά πως επηρεάζει την αντοχή του σκυροδέματος η συντήρηση στον αέρα, κατά την οποία το

Χώρα	Πρότυπο	Αριθμός δοκιμών	Κριτήριο συμμορφώσεως	Παρατηρήσεις
ΑΓΓΛΙΑ	CP 110 (1972) BS 5328 (1978)	n > 4 n > 4	$\bar{x}_4 \geq f_{ck} + k$ $x_i \geq 0,85 f_{ck}$ <i>i</i> = 1...4 Μέσοι όροι διαδοχικοί επικαλυπτόμενοι $\bar{x}_4 \geq f_{ck} + 3$ $x_i \geq f_{ck} - 3$ $\bar{x}_4 \geq f_{ck} + 2$ $x_i \geq f_{ck} - 2$ <i>i</i> = 1,2...4 Μέσοι όροι διαδοχικοί επικαλυπτόμενοι	<i>k</i> = 1/3 <i>f_{ck}</i> για C7, C10, C15 <i>k</i> = 7,5 για C20 και άνω Για κατηγορίες σκυροδέματος C20 και άνω Για κατηγορίες σκυροδέματος μικρότερες από C20
ΒΕΛΓΙΟ	NBN B15	5 ≤ n ≤ 10 (σ γνωστό) 5 ≤ n ≤ 10 (σ άγνωστο) 10 ≤ n ≤ 20 (σ άγνωστο) n > 20	$\bar{x}_n \geq f_{ck} + 1,53 \sigma$ (αν <i>w</i> > <i>k_n</i> σ: <i>w/k_n</i> → σ) (A) $\bar{x}_n \geq f_{ck} + 1,64 w/k_n$ $x_1 \geq f_{ck} - 3$ (<i>x₂</i> ≥ <i>f_{ck}</i>) (B) $\bar{x}_n \geq f_{ck} + 1,53 s_n$ $x_1 \geq f_{ck} - 3$ (<i>x₂</i> ≥ <i>f_{ck}</i>) (C) Εφαρμόζεται το κριτήριο (B) για n = 5,10 (C) για n = 15,20 (A) για n > 20 με σ = <i>s₂₀</i>	<i>w</i> = <i>x_{max}</i> - <i>x_{min}</i> (Εύρος) <i>k_n</i> = συντελεστής
ΔΥΤΙΚΗ ΓΕΡΜΑΝΙΑ	DIN 1084 DIN 1045 (1978)	35 15 9 3	$\bar{x}_{35} \geq f_{ck} + 1,65 s_{35}$ $\bar{x}_{15} \geq f_{ck} + 1,65 \sigma$ $\bar{x}_9 \geq f_{ck} + 5$ $x_1 \geq 0,8 f_{ck}$ (<i>x₂</i> > <i>f_{ck}</i>) <i>i</i> = 1,2...9 $\bar{x}_3 \geq f_{ck} + 5$ $x_1 \geq f_{ck}$ <i>i</i> = 1,2,3	<i>s₃₅</i> > 3 MPa
ΔΑΝΙΑ	DS 423.1	n > 3	$\bar{x}_n \geq f_{ck} + \lambda_n s_n$	
ΙΤΑΛΙΑ	Allegato 2 DM 26.3.80	3 n > 15	$\bar{x}_3 \geq f_{ck} + 3,5$ $x_1 \geq f_{ck} - 3,5$ <i>i</i> = 1,2,3 $\bar{x}_n \geq f_{ck} + 1,4 s_n$ $x_1 \geq f_{ck} - 3,5$ <i>i</i> = 1,2...15	Κάθε τιμή <i>x_i</i> είναι μέσος όρος αντοχών 2 δοκιμών από το ίδιο ανάμιγμα
ΗΠΑ	ACI 318-77	3	$\bar{x}_3 \geq f_c$ (A) $x_i \geq f_c - 3,5$ (B) <i>i</i> = 1,2,3 <i>f_c</i> = η απαιτούμενη χαρακτηριστική αντοχή αλλά με <i>p</i> = 10% Κάθε τιμή <i>x_i</i> είναι μέσος όρος αντοχών δύο δοκιμών από το ίδιο ανάμιγμα.	Το σκυρόδεμα δεν απορρίπτεται αν δεν ικανοποιείται η απαίτηση (A) αλλά πρέπει να αλλάξει η σύνθεσή του.
ΟΛΛΑΝΔΙΑ	NEN 3861	n = 12 n = 6	$\bar{x}_{12} \geq f_{ck} + 1,53 s_{12}$ $x_6 \geq f_{ck} + 1,53 \sigma$	
CEB	Model Code	n = 3 n = 15	$\bar{x}_3 \geq f_{ck} + k_1$ $x_1 \geq f_{ck} - k_2$ <i>i</i> = 1,2,3 Για κάθε απόφαση απαιτούνται δύο εφαρμογές του κριτηρίου $\bar{x}_{15} \geq f_{ck} + 1,4 s_{15}$ $x_i \geq f_{ck} - 4$ <i>i</i> = 1,2...15	Για την 1η και 2η εφαρμογή του κριτηρίου <i>k₁</i> = 5 MPa, <i>k₂</i> = 1 MPa Για την 3η και 4η εφαρμογή του κριτηρίου <i>k₁</i> = 4 MPa, <i>k₂</i> = 2 MPa Για τις επόμενες εφαρμογές <i>k₁</i> = <i>k₂</i> = 3 MPa

Πίνακας 3.2 Κριτήρια συμμορφώσεως διαφόρων χωρών [4]

σκυρόδεμα υπολείπεται κατά 40% της αντοχής που αποκτά όταν είναι εμβαπτισμένο στο νερό.

Είναι λοιπόν πλέον απαραίτητη η προσεκτική συντήρηση των στοιχείων από σκυρόδεμα, ώστε αυτά να αποκτούν το 100% της θεωρητικής δυνατής αντοχής τους.

Εκτός όμως από την επιρροή της συντήρησης στην αντοχή του σκυροδέματος, σημαντική είναι η επίδρασή της στην "ανθεκτικότητα" του σκυροδέματος, στις επιβλαβείς δράσεις διαβρωτικού περιβάλλοντος είτε στο ίδιο το σκυρόδεμα είτε στην προστασία από οξείδωση, που αυτό παρέχει στον οπλισμό.

Η ανεπαρκής συντήρηση επηρεάζει κατ' αρχήν μία επιφανειακή στρώση του σκυροδέματος σε βάθος μέχρι 1-5 cm, που ονομάζεται "επιδερμίδα". Η στρώση αυτή λόγω της ανεπαρκούς συντηρήσεως έχει μειωμένο βαθμό ενυδάτωσης, επομένως μεγαλύτερο πορώδες και αυξημένο αριθμό μικρορηγματώσεων.

Τόσο το αυξημένο πορώδες όσο και η μικρορηγματώσεις έχουν ως αποτέλεσμα την αυξημένη διαπερατότητα (σε αέρια και νερό) της επιδερμίδας και επομένως τη σημαντικά μειωμένη ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

3.7 Εξωτερικός Έλεγχος Σκυροδέματος [3] , [4]

Όσα αναφέρονται στις επόμενες παραγράφους είναι σχετικά με τους ελέγχους που ισχύουν για σκυρόδεμα μιας ορισμένης χαρακτηριστικής αντοχής.

Οι δειγματοληψίες για τον έλεγχο θα γίνονται σύμφωνα με τη μέθοδο ΣΚ-303 που αναφέρεται στο κεφάλαιο 4.

3.7.1 Εργοστασιακό - Εργοταξιακό σκυρόδεμα [3]

Το σκυρόδεμα θα ελέγχεται με δοκίμια που θα παίρνονται στην έξοδο του αναμεικτήρα αν πρόκειται για εργοταξιακό σκυρόδεμα ή στην έξοδο του αυτοκινήτου μεταφοράς αν πρόκειται για εργοστασιακό σκυρόδεμα.

"Εργοταξιακό σκυρόδεμα", λέγεται το σκυρόδεμα στο οποίο ο κύριος του έργου ή η υπηρεσία ή ο επιβλέπων έχει πλήρη παρακολούθηση και έλεγχο της παραγωγής σε όλες τις φάσεις της, δηλαδή όταν μπορεί να ελέγχει τα υλικά του σκυροδέματος, τα μηχανήματα παραγωγής, μπορεί να μεταβάλλει

τις αναλογίες συνθέσεως και τη διαδικασία αναμείξεως και μπορεί να ελέγχει το έτοιμο προϊόν σε οποιαδήποτε θέση (μέσα στον αναμεικτήρα, μετά την αποφόρτωση, μετά τη μεταφορά κ.λπ.). Το εργοταξιακό σκυρόδεμα μπορεί να παρασκευάζεται δίπλα στο έργο ή σε μεγαλύτερη απόσταση, οπότε και μεταφέρεται με αυτοκίνητα - αναδευτήρες. Μπορεί ακόμα να παρασκευάζεται σε εργοστάσιο έτοιμου σκυροδέματος, όταν μετά από συμφωνία εξασφαλίζονται οι διευκολύνσεις για την εκτέλεση των προηγούμενων ελέγχων.

"Εργοστασιακό σκυρόδεμα", λέγεται το σκυρόδεμα στο οποίο ο κύριος του έργου ή η υπηρεσία ή ο επιβλέπων ή ο κατασκευαστής δεν έχει δικές του πληροφορίες για τα υλικά, τις αναλογίες συνθέσεως και τη διαδικασία παραγωγής, ελέγχει δε μόνο το έτοιμο προϊόν στη θέση παραδόσεως του. Το εργοστασιακό σκυρόδεμα είναι κατά κανόνα έτοιμο, δηλαδή παρασκευάζεται σε απόσταση από το έργο και μεταφέρεται σ' αυτό.

3.7.2 Κριτήρια συμμορφώσεως [4]

Η Επιτροπή πριν καταλήξει στα κριτήρια συμμορφώσεως που δίνονται πιο κάτω, εξέτασε τα αντίστοιχα κριτήρια του DIN-1045, του ACI-318, του CP110, του BS-5328, του Model Code, του CEB και άλλων κανονισμών, όπως και τις σοβαρές προτάσεις που δίνονται στη βιβλιογραφία. Τα περισσότερα από αυτά τα κριτήρια παρουσιάζονται στον πίνακα (3.2) και αποτελούνται συνήθως από δύο κανόνες αποδοχής που πρέπει να ικανοποιούνται και οι δύο και έχουν τη γενική μορφή:

$$\bar{X}_n \geq f_{ck} + k_1 \quad (3.1)$$

$$x_i \geq f_{ck} - k_2, \quad i = 1, 2 \dots n \quad (3.2)$$

ή τη μορφή:

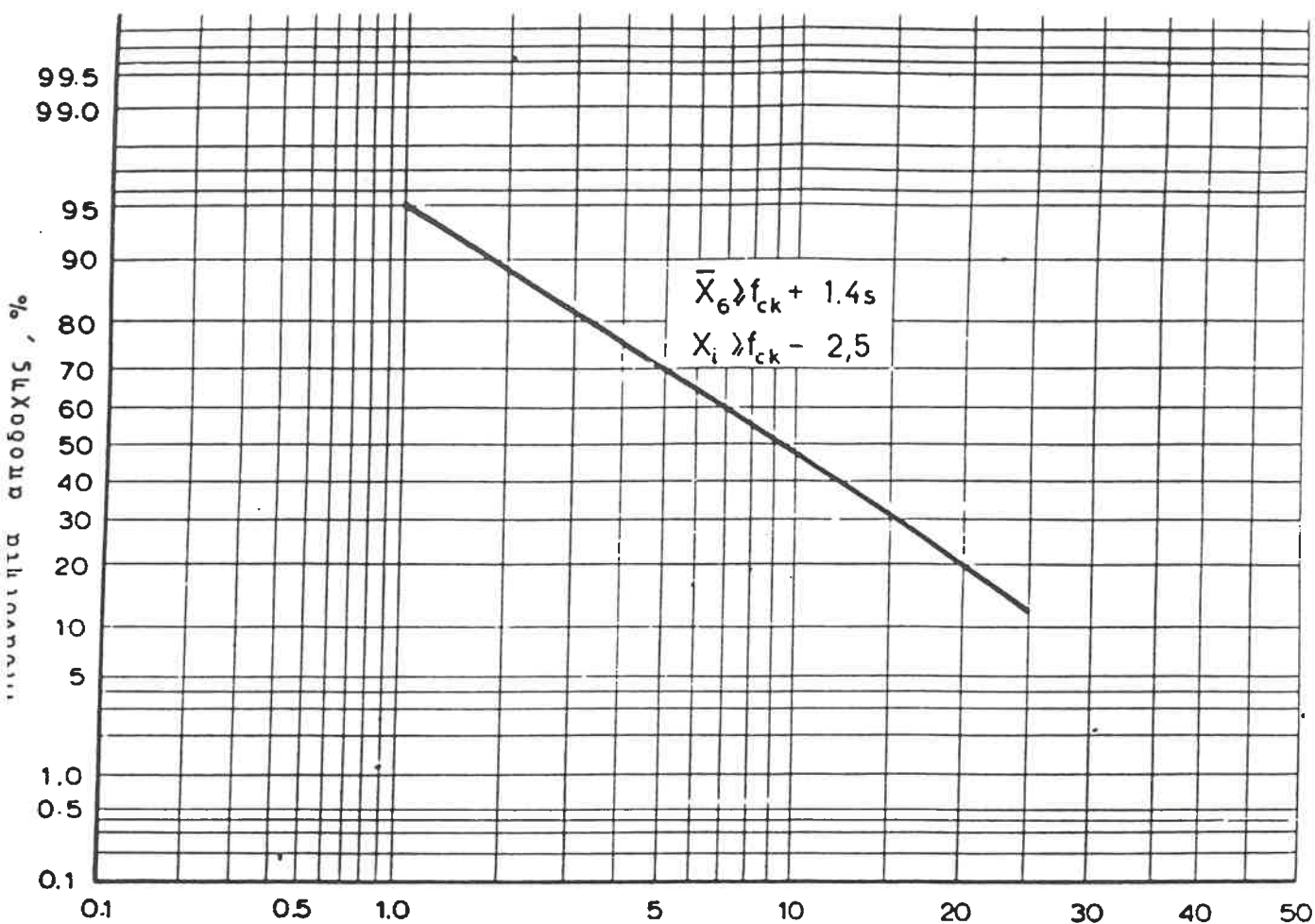
$$\bar{X}_n \geq f_{ck} - k_3 s \quad (3.3)$$

$$x_i \geq f_{ck} - k_4, \quad i = 1, 2 \dots n \quad (3.4)$$

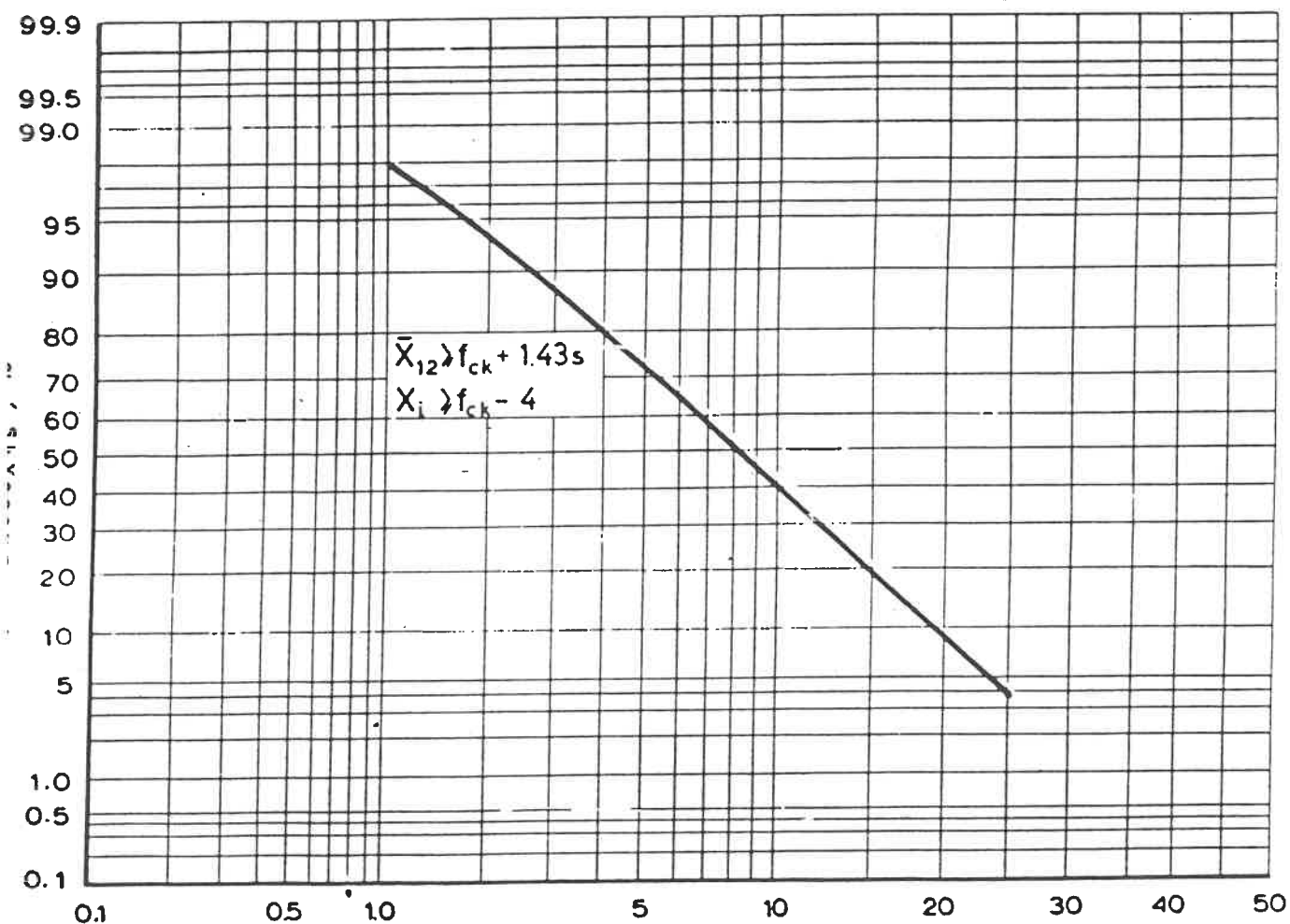
όπου: $\bar{X}_n$ είναι ο μέσος όρος αντοχής μιας ομάδας δοκιμών

x_i είναι η αντοχή κάθε δοκιμίου αυτής της ομάδας

f_{ck} είναι η χαρακτηριστική αντοχή



Δοκίμια με αντοχή μικρότερη από f_{ck} , %
 Σχήμα 3.6 Καμπύλη λειτουργίας κριτηρίου A [4]



Δοκίμια με αντοχή μικρότερη από f_{ck} , %
 Σχήμα 3.7 Καμπύλη λειτουργίας κριτηρίου B [4]

- s είναι η τυπική απόκλιση των αντοχών των δοκιμών της ομάδας και k_1 , k_2 , k_3 και k_4 σταθερές με διαφορετικές τιμές στους διάφορους κανονισμούς

Οι καμπύλες λειτουργίας στους διάφορους κανονισμούς και για τους δύο κανόνες κάθε κριτηρίου, ισχύουν για πιθανότητα αποδοχής μιας ποσότητας σκυροδέματος, ανάλογα με το ποσοστό υποαντοχής.

Τα κριτήρια λοιπόν που επιβάλλει ο κανονισμός για τα μικρά και τα μεγάλα έργα είναι τα πιο κάτω:

Κριτήριο Α (μικρών έργων)

$$\bar{x}_6 \geq f_{ck} + 1,4s \quad 1^{\text{ος}} \text{ κανόνας αποδοχής}$$

$$x_i \geq f_{ck} - 2,5\text{MPa} \quad 1^{\text{ος}} \text{ κανόνας αποδοχής}$$

όπου: $\bar{x}_6$ ο μέσος όρος αντοχής των 6 δοκιμών της δειγματοληψίας

x_i η αντοχή κάθε δοκιμίου της δειγματοληψίας

s η τυπική απόκλιση της δειγματοληψίας

Η καμπύλη του κριτηρίου Α παρουσιάζεται στο σχήμα (3.6).

Κριτήριο Β (μικρών έργων)

$$\bar{x}_{12} \geq f_{ck} + 1,43s \quad 3^{\text{ος}} \text{ κανόνας αποδοχής}$$

$$x_i \geq f_{ck} - 4\text{MPa} \quad 4^{\text{ος}} \text{ κανόνας αποδοχής}$$

όπου: $\bar{x}_{12}$ ο μέσος όρος αντοχής των 12 δοκιμών της δειγματοληψίας

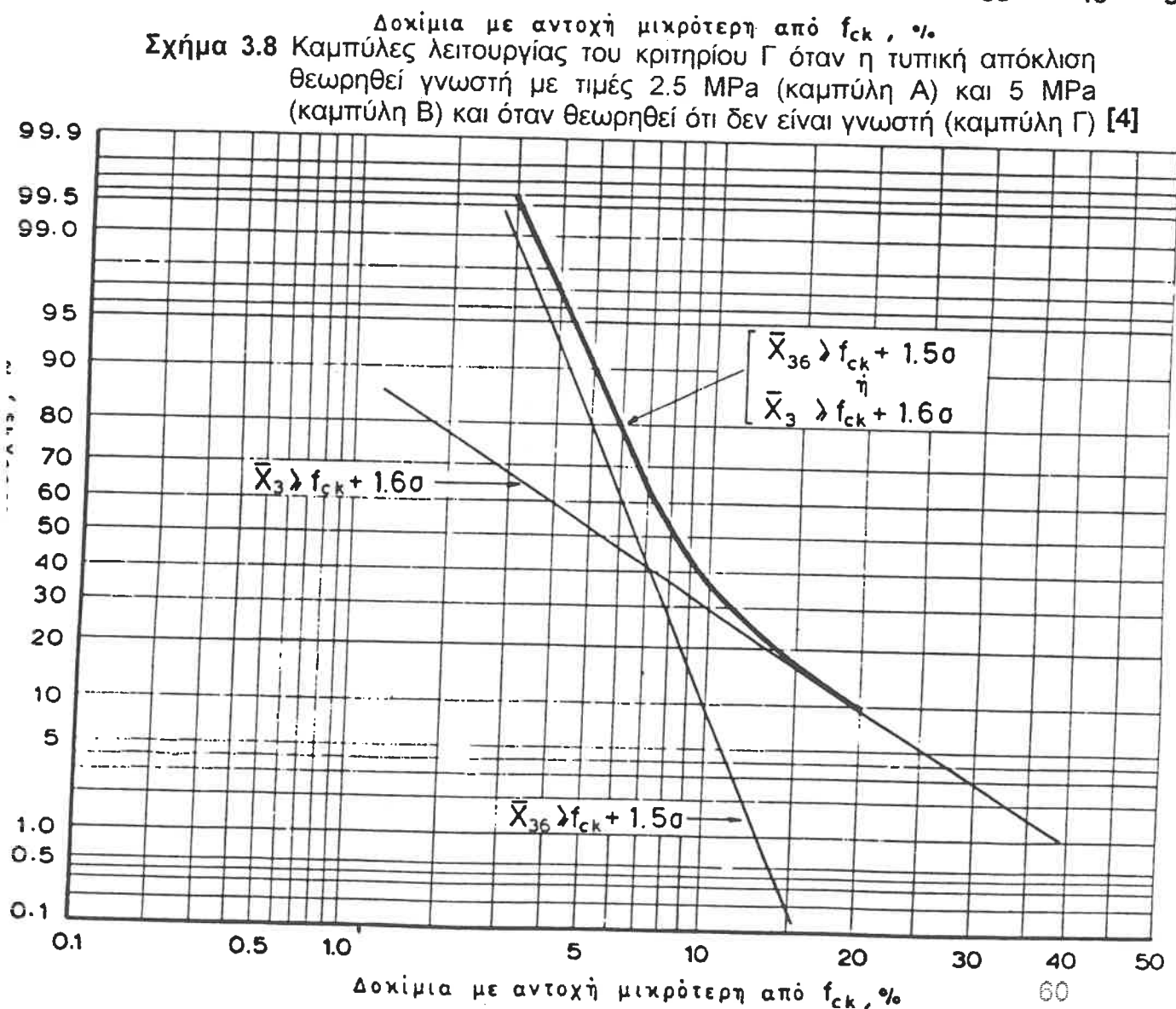
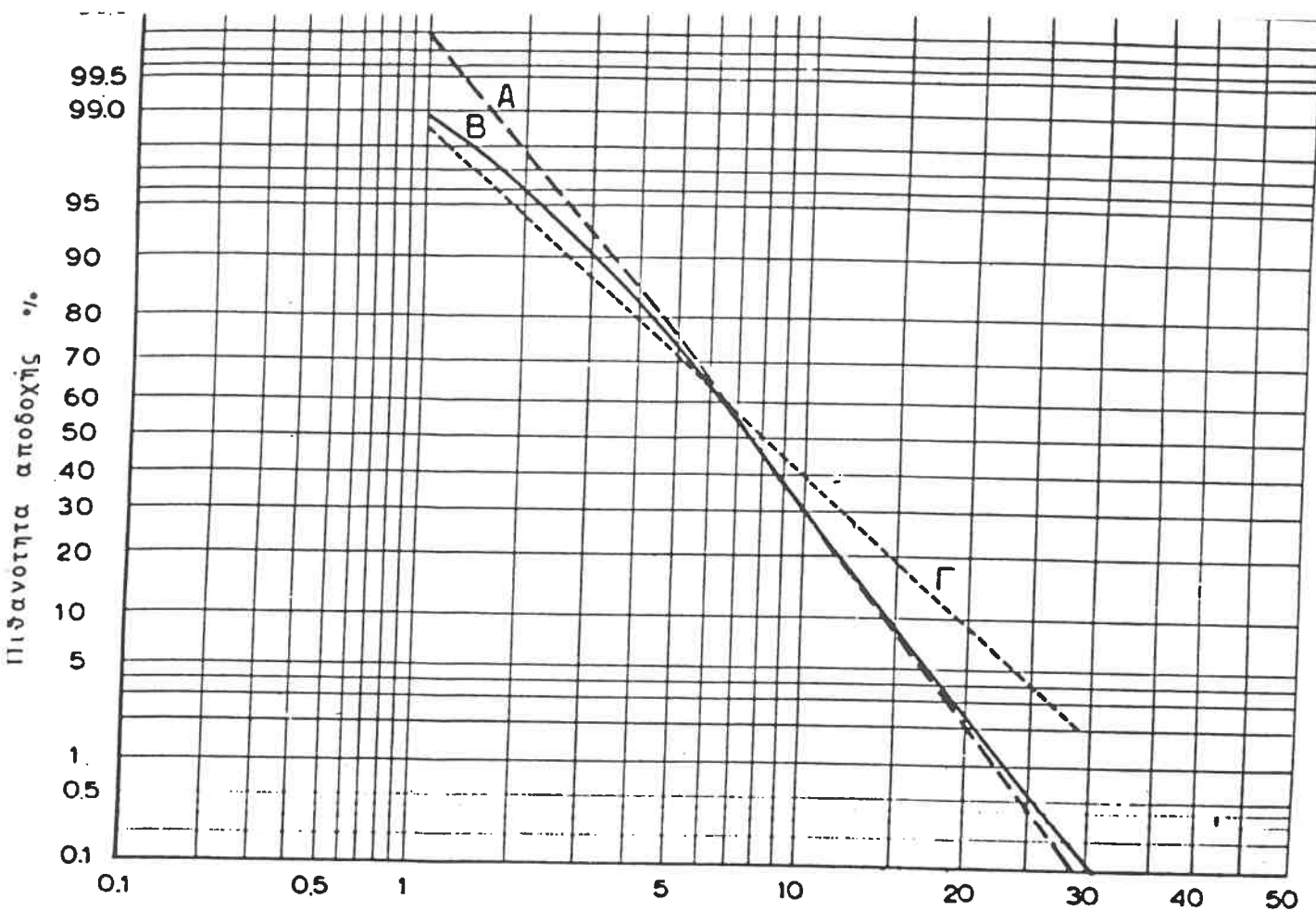
x_i η αντοχή κάθε δοκιμίου της δειγματοληψίας

s η τυπική απόκλιση της δειγματοληψίας

Η καμπύλη του κριτηρίου Β παρουσιάζεται στο σχήμα (3.7).

Κριτήριο Γ (μεγάλων έργων)

$$\bar{x}_{12} \geq f_{ck} + 1,43s \quad 5^{\text{ος}} \text{ κανόνας αποδοχής}$$



$$x_i \geq f_{ck} - 4 \text{MPa} \quad 6^{\text{ος}} \text{ κανόνας αποδοχής}$$

όπου: $\bar{x}_{12}$ ο μέσος όρος αντοχής των 12 δοκιμών της δειγματοληψίας

x_i η αντοχή κάθε δοκιμίου της δειγματοληψίας

s η τυπική απόκλιση της δειγματοληψίας

Η καμπύλη λειτουργίας αυτού του κριτηρίου παρουσιάζεται για διαφορετικές τιμές της τυπικής απόκλισης (2.5 MPa και 5 MPa) καθώς και για άγνωστη τυπική απόκλιση στο σχήμα (3.8).

Κριτήριο Δ (μεγάλων έργων)

$$\bar{x}_{36} \geq f_{ck} + 1,50s \quad 7^{\text{ος}} \text{ κανόνας αποδοχής}$$

$$x_3 \geq f_{ck} - 1,6s \quad 8^{\text{ος}} \text{ κανόνας αποδοχής}$$

όπου: $\bar{x}_3$ ο μέσος όρος αντοχής των 3 δοκιμών της δειγματοληψίας

$\bar{x}_{36}$ μέσος όρος αντοχής των 3 δοκιμών της δειγματοληψίας και των 33 αμέσως προηγούμενων δοκιμών

s η τυπική απόκλιση των τελευταίων 60 δοκιμών

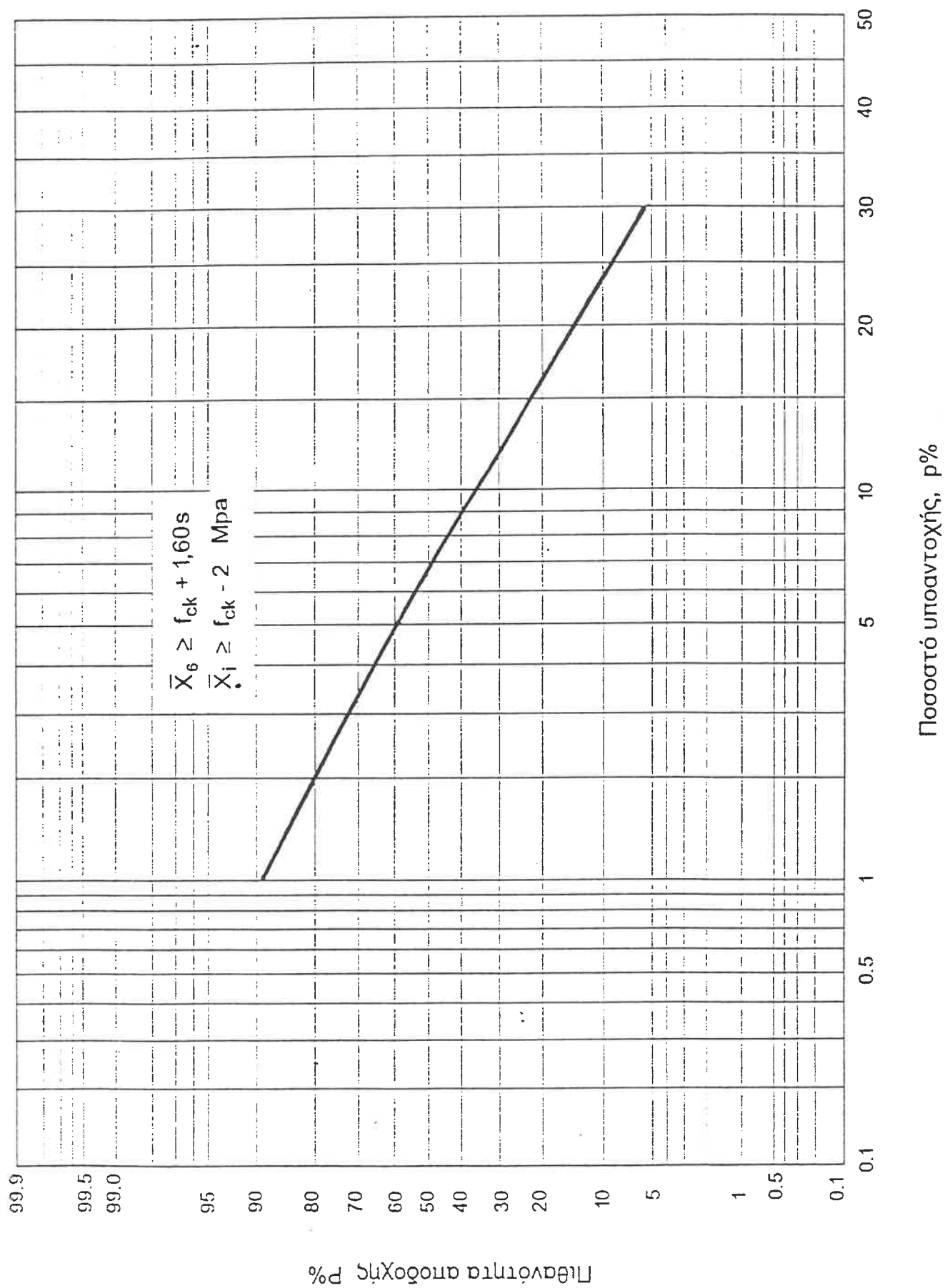
Η καμπύλη του κριτηρίου Δ είναι στο σχήμα (3.9).

3.8 Εξομοίωση - Καμπύλη λειτουργίας κριτηρίου A Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος

3.8.1 Κριτήριο Συμμορφώσεως A

Το κριτήριο συμμορφώσεως A είχε σχεδιαστεί (Κ.Τ.Σ. 1985) ώστε η πιθανότητα αποδοχής για το οριακό σκυρόδεμα ποσοστού υποαντοχής $p = 5\%$, να είναι 70% και η πιθανότητα απορρίψεως 30%.

Με το νέο Κ.Τ.Σ. οι αριθμητικοί συντελεστές μεταβάλλονται ώστε η καμπύλη λειτουργίας του κριτηρίου να κατέβει χαμηλότερα (Σχ.3.10). Έτσι η καμπύλη λειτουργίας είναι πιο αυστηρή. Όπως φαίνεται στο (Σχ.3.10) το οριακό σκυρόδεμα ($p = 5\%$) απορρίπτεται τώρα με πιθανότητα περίπου 40%.



Σχήμα 3.10 Καμπύλη λειτουργίας κριτηρίου Α σύμφωνα με το νέο Κ.Τ.Σ. [24]

Παρατηρείται δηλαδή αύξηση της αυστηρότητας των κριτηρίων. Οι καμπύλες λειτουργίες που δίνονται στο νεό Κ.Τ.Σ. προέκυψαν από εξομοίωση σε υπολογιστή, για 10.000 δειγματοληψίες σε κάθε τιμή του "p", δηλαδή περίπου 80.000 δειγματοληψίες για κάθε καμπύλη.

Στην επόμενη παράγραφο παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εξομοίωσης που εφαρμόσαμε για το κριτήριο A με 3000 τυχαία νούμερα.

3.8.2 Ανάλυση Εξομοίωσης

Με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή κάναμε ένα παράδειγμα εξομοίωσης. Στο υποπρόγραμμα του "EXCEL" που ονομάζεται "Analysis Tools Pack" και με το χαρακτηριστικό υποαρχείο "Random" ζητήσαμε από τον υπολογιστή να μας δώσει 3000 τυχαία νούμερα που να έχουν μέση τιμή 30, τυπική απόκλιση 3 και επί προσθέτως ν' ακολουθούν κανονική κατανομή.

Θεωρήσαμε δηλαδή ότι έχουμε ένα σκυρόδεμα με χαρακτηριστική αντοχή $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ (C25/30) και τυπική απόκλιση 3.

Σ' αυτό το σκυρόδεμα εφαρμόσαμε το κριτήριο συμμορφώσεως A του παλαιού Κ.Τ.Σ. (1985) όπως αυτό έχει δοθεί σε προηγούμενη παράγραφο.

Με την προϋπόθεση ότι το κριτήριο A αναφέρεται στο μέσο όρο των 6 δοκιμών χωρίσαμε τα 3000 τυχαία νούμερα σε 500 εξάδες.

Με τη βοήθεια κάθε φορά της σχέσης:

$$f_a = f_{ck} + z \cdot \sigma \quad (3.1)$$

κι αφού ορίζαμε το ποσοστό υποαντοχής υπολογίζουμε το f_a κι εφαρμόζουμε το κριτήριο.

Π.χ. για $p = 2\% \Rightarrow z_a = 2,0537$

Άρα $f_a = f_{ck} + 2,0537 \cdot 3 = 36.1611 \text{ MPa}$

Το ποσοστό αποδοχής προκύπτει 80.8%.

Εφαρμόσαμε το κριτήριο με την ίδια μέθοδο για ποσοστό υποαντοχής 5% και ποσοστό υποαντοχής 10% και φτιάξαμε την καμπύλη λειτουργίας που φαίνεται στο σχ. (3.11).

Στον πίνακα (3.3) παρουσιάζονται τα παραπάνω αποτελέσματα:

p%	z	f _a	ποσοστό αποδοχής	ποσοστό απόρριψης
2%	2.0537	36.1611	80.8%	19.2%
5%	1.6449	34.9347	56.6%	43.4%
10%	1.2816	33.8448	33.6%	66.4

Εφόσον το κριτήριο εφαρμόστηκε 3 φορές (2%, 5% και 10%) χρησιμοποιήσαμε 9000 νούμερα.

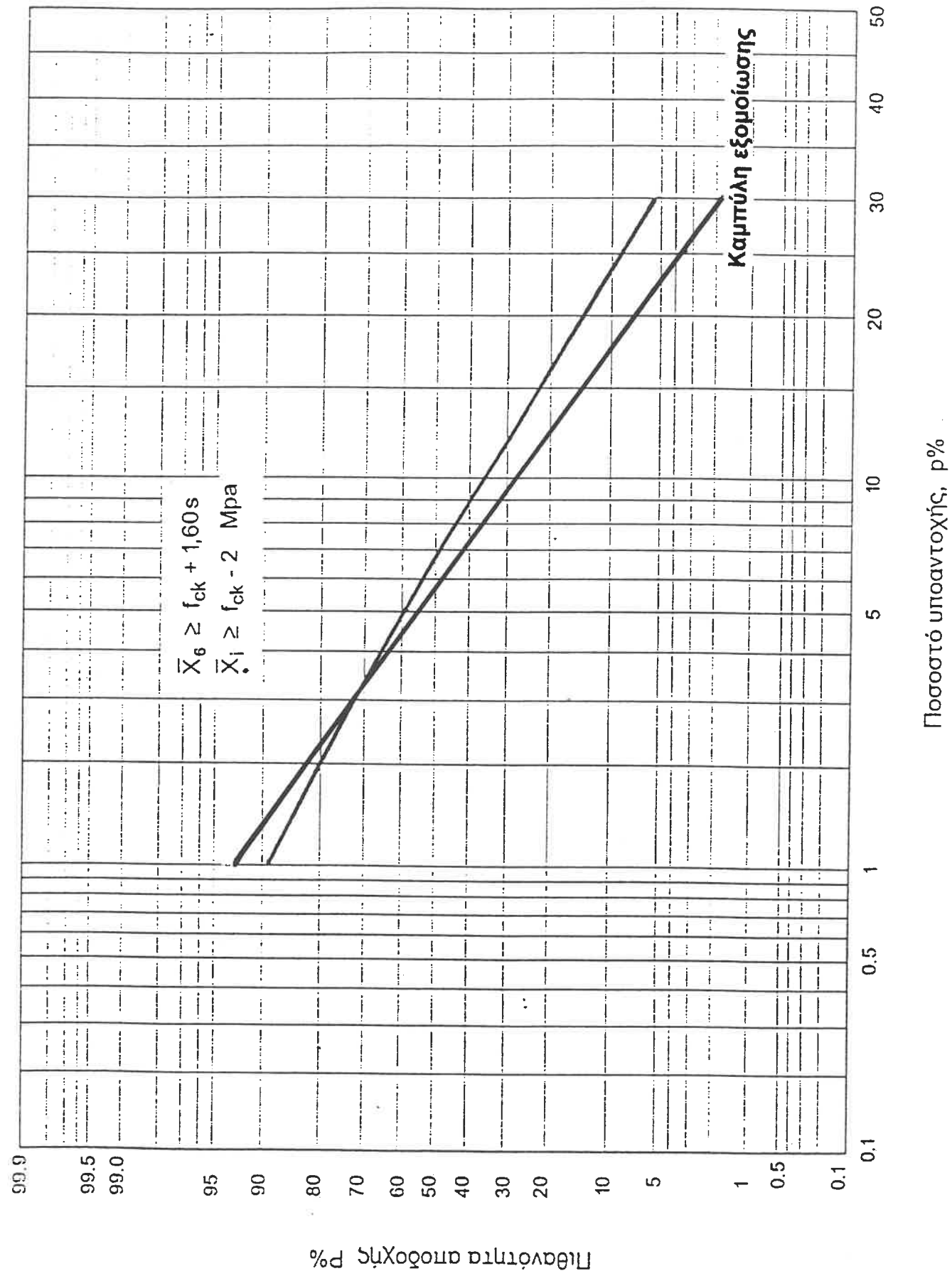
Συγκρίνοντας την καμπύλη από τη συγκεκριμένη εξομοίωση με τα 9000 νούμερα με αυτή του νέου Κ.Τ.Σ. του σχ. (3.10) παρατηρούμε μικρές διαφορές.

Η συγκεκριμένη καμπύλη έχει ως εξής:

p%	ποσοστό αποδοχής
2%	80%
5%	60%
10%	36%

Παρατηρούμε δηλαδή μία μικρή στροφή της καμπύλης μας σε σχέση με την καμπύλη του κανονισμού. Η συγκεκριμένη στροφή έχει πραγματοποιηθεί περίπου στο 3% του ποσοστού υποαντοχής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η καμπύλη λειτουργίας να γίνεται αυστηρότερη για ποσοστά υποαντοχής που υπερβαίνουν το 3%. Ταυτόχρονα αυξάνει η πιθανότητα αποδοχής για σκυροδέματα με ποσοστό υποαντοχής μικρότερο του 3%. Έτσι φαίνεται να ευνοούνται οι παραγωγικές μονάδες σκυροδέματος που λειτουργούν με μικρές τιμές τυπικής απόκλισης, τιμές οι οποίες πλησιάζουν τα 3 MPa. Έτσι λοιπόν η κλίση της καμπύλης είναι πιο απότομη με αποτέλεσμα να είναι ασφαλέστερη τόσο για τον παραγωγό όσο και για τον ιδιοκτήτη. Τα συμπεράσματα για την περιστροφή της καμπύλης λειτουργίας θα ήταν ασφαλέστερα αν η εξομοίωση δεν γινόταν με 9000 νούμερα αλλά με 80000 όπως άλλωστε προέκυψε και η καμπύλη λειτουργίας του κανονισμού. Άλλωστε οι μεταβολές είναι τελικά πολύ μικρές, χωρίς πρακτική σημασία.

Σημειώνεται και τονίζεται ότι ο έλεγχος με τα κριτήρια συμμορφώσεως είναι στατιστικός, πράγμα που σημαίνει ότι τόσο η αποδοχή όσο και η απόρριψη μιας παρτίδας γίνεται με μια πιθανότητα λάθους, που μάλιστα δεν είναι μικρή. Συνεπώς η απόρριψη μιας παρτίδας σκυροδέματος όταν η μη ικανοποίηση των κριτηρίων συμμορφώσεως είναι οριακή (ιδίως στους επανελέγχους), πρέπει να εξετάζεται με περίσκεψη.



Σχήμα 3.11 Καμπύλη λειτουργίας κριτηρίου A και καμπύλη λειτουργίας εξομείωσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ-ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΘΡΑΥΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όσα αναφέρονται στις επόμενες παραγράφους είναι σχετικά με τις μεθόδους παρασκευής και συντήρησης δοκιμίων σκυροδέματος, καθώς και με τη μέθοδο προσδιορισμού αντοχής σε θλίψη δοκιμίων σκυροδέματος.

4.1 Παρασκευή δοκιμίων σκυροδέματος. [10]

4.1.1 Σχήμα και διαστάσεις δοκιμίων

Το σχήμα και οι διαστάσεις των δοκιμίων πρέπει να έχουν ως εξής:

- Κύλινδροι διαμέτρου d και μήκους $2d$.
- Κύβοι ακμής d .
- Πρίσματα τετραγωνικής διατομής, πλευράς d και μήκους τουλάχιστον $3d+50\text{mm}$.

Η διάσταση d πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση του τριπλάσιου της ονομαστικής διαμέτρου του μέγιστου κόκκου των αδρανών, να μην αποκλίνει της ονομαστικής της τιμής περισσότερο του 3% και να έχει τιμές 100, 150, 200, 250, 300 mm με προτιμότερη εκείνη των 150 mm.

4.1.2 Ανοχές σχήματος δοκιμίων

Η ανοχή της επιπεδότητας των επιφανειών φορτίσεως των κύβων και των πρισμάτων που χρησιμοποιούνται σε όλες τις δοκιμές και των κυλίνδρων που χρησιμοποιούνται στην δοκιμή της θλίψεως, πρέπει να είναι $0,0005d$.

Η γωνία ανάμεσα σε δύο συντρέχουσες επιφάνειες κύβων ή πρισμάτων καθώς και η γωνία ανάμεσα στη γενέτειρα και στις βάσεις του κυλίνδρου πρέπει να είναι $90^\circ \pm 0,5^\circ$.

4.2 Συμπύκνωση του σκυροδέματος

Η συμπύκνωση του σκυροδέματος μέσα στη μήτρα γίνεται με τράπεζα δονήσεως ή δονητή μάζας ή ράβδο συμπακνώσεως. Η τράπεζα δονήσεως πρέπει να λειτουργεί με συχνότητα τουλάχιστον 3600 ταλαντώσεων στο λεπτό και ο δονητής μάζας τουλάχιστον 7000 ταλαντώσεων στο λεπτό.

Η διάμετρος του στελέχους του δονητή μάζας δεν πρέπει να υπερβαίνει το ένα πέμπτο περίπου της μικρότερης διάστασης του δοκιμίου και οπωσδήποτε δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 38mm.

Η ράβδος συμπακνώσεως πρέπει να είναι χαλύβδινη, ευθύγραμμη, κυκλικής διατομής, διαμέτρου 16mm και μήκους 600mm με στρογγυλεμένα άκρα.

4.3 Διαδικασία

4.3.1 Προετοιμασία

Προ της πληρώσεως, οι εσωτερικές παρειές των μητρών πρέπει να επαλείφονται με λεπτό στρώμα ορυκτέλαιου ή με οποιοδήποτε άλλο κατάλληλο υλικό, ώστε να αποφεύγεται η επικόλληση του σκυροδέματος στις παρειές.

4.3.2 Συμπύκνωση με δόνηση

Η συμπύκνωση του σκυροδέματος πρέπει ν' αρχίζει αμέσως μετά την τοποθέτηση του σκυροδέματος στη μήτρα.

4.3.3 Τράπεζα δονήσεως

Μετά το γέμισμα της μήτρας με περίσσεια σκυροδέματος αρχίζει η δόνηση. Η μήτρα πρέπει να βρίσκεται συνεχώς σ' επαφή με την τράπεζα δονήσεως και γι' αυτό πρέπει να στερεώνεται συνεχώς πάνω σ' αυτή. Η δόνηση διακόπτεται μόλις εμφανισθεί στην επιφάνεια του σκυροδέματος λεπτό στρώμα τσιμεντοκονιάματος που να καλύπτει τελείως τα αδρανή.

4.3.4 Δονητής μάζας

Η συμπίκνωση του σκυροδέματος γίνεται μετά το γέμισμα της μήτρας. Σε περίπτωση κύβων ή κυλίνδρων, ο δονητής βυθίζεται κατακόρυφα στο κέντρο του δοκιμίου, ενώ σε περίπτωση πρισμάτων ο δονητής βυθίζεται κατά μήκος του μεγαλύτερου άξονα σε σημεία που απέχουν μεταξύ τους περίπου κατά d , μέχρι βάθους περίπου 20mm πάνω από τον πυθμένα. Στη συνέχεια ο δονητής μάζας ανασύρεται αργά, ενώ προστίθεται σκυρόδεμα, με τρόπο ώστε η μήτρα να παραμένει πάντοτε γεμάτη.

Η ακτίνα δράσεως του δονητή πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $d/2$ για τους κυλίνδρους και του $3/4d$ για τα πρίσματα και τους κύβους.

4.3.5 Συμπύκνωση με ράβδο

Το σκυρόδεμα πρέπει να διαστρώνεται μέσα στις μήτρες σε στρώσεις ίσου ύψους. Ο αριθμός των στρώσεων και ο αριθμός των χτύπων σε κάθε στρώση δίνεται στον πίνακα (4.1). Κατά τη συμπύκνωση η ράβδος εισχωρεί στην κατώτερη στρώση κατά 20mm περίπου.

4.3.6 Τελική επεξεργασία

Μετά την ολοκλήρωση της συμπτκνώσεως η επιφάνεια του σκυροδέματος επιπεδώνεται.

Η σήμανση του δοκιμίου πρέπει να γίνει κατά τρόπο ευκρινή και μόνιμο, χωρίς αλλοιώσεις της επιφάνειας του σκυροδέματος, η οποία θα φέρει φορτίο κατά την δοκιμασία του δοκιμίου.

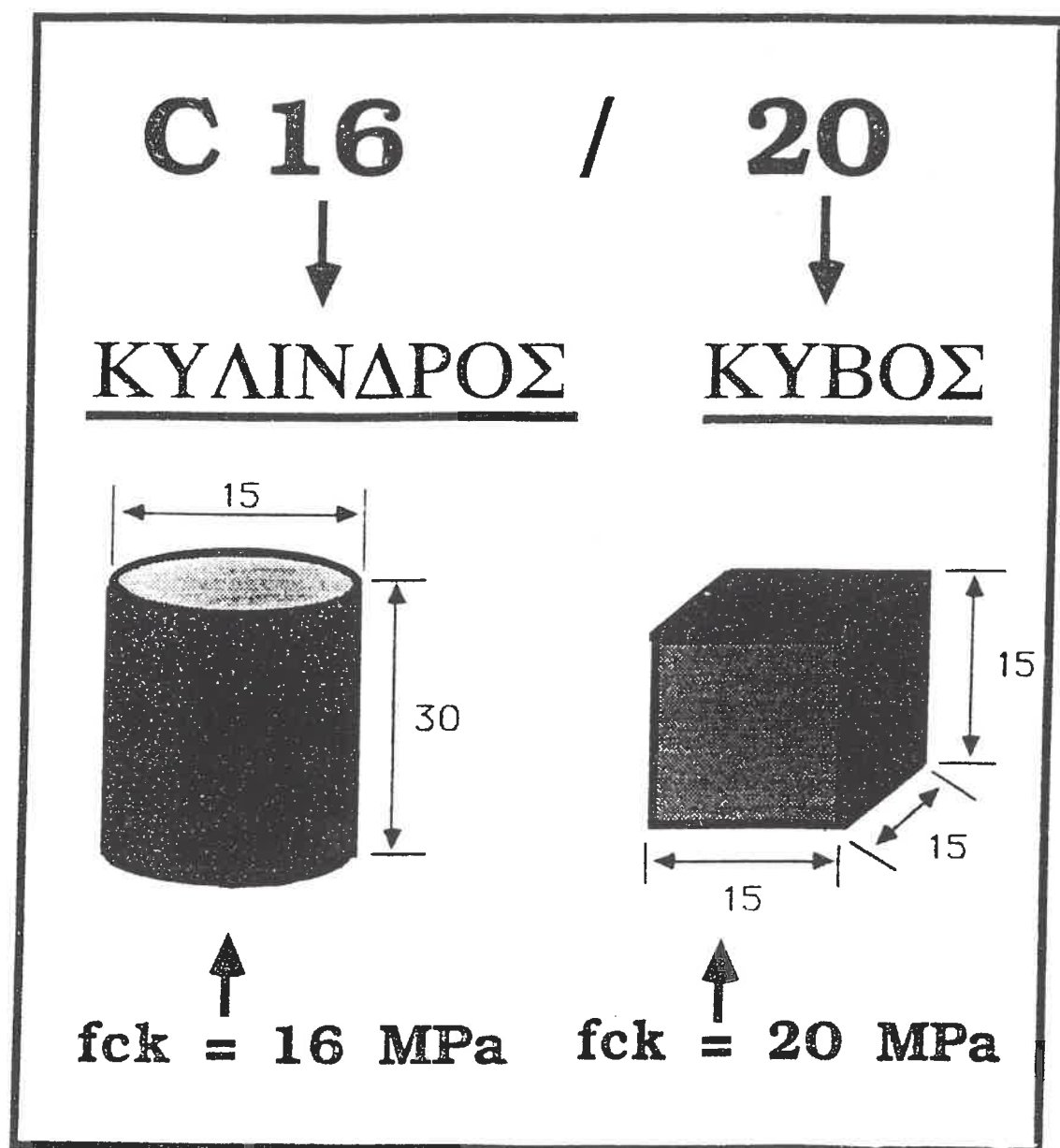
4.4 Συντήρηση

Τα δοκίμια πρέπει να παραμένουν μέσα στις μήτρες προστατευμένα από κρούσεις, δονήσεις και ξήρανση, τουλάχιστον 20 ώρες, το πολύ δε επί 32 ώρες.

Μετά την αφαίρεση των μητρών, τα δοκίμια πρέπει να διατηρούνται σε θερμοκρασία $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ και σε ατμόσφαιρα σχετικής υγρασίας 90% τουλάχιστον.

Μορφή δοκιμίων	Διάσταση d σε mm	Αριθμός στρώσεων	Αριθμός χτύπων ανά στρώση
Κύβοι	200	2	50
Κύβοι	150	2	25
Κύλινδροι	150	3	25
Πρίσματα	150	2	ένας χτύπος ανά 100 mm ²

Πίνακας 4.1 Αριθμός στρώσεων και χτύπων ανά στρώση για παρασκευή δοκιμίων [10]



Πίνακας 4.2 Χαρακτηριστική αντοχή κύβου και κυλίνδρου για κατηγορία σκυροδέματος C16/20 [8]

4.5 Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμίων σκυροδέματος [11]

4.5.1 Συσκευή (Μηχανή Θλίψεως)

Η μηχανή ελέγχου πρέπει να είναι κατάλληλη για τον έλεγχο δοκιμίων σκυροδέματος. Η κλίμακα φορτίου πρέπει να είναι τέτοια ώστε το φορτίο θραύσεως να βρίσκεται πέραν του πρώτου 1/10 αυτής. Η διαβάθμιση της κλίμακας δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη του 1% της μέγιστης ενδείξεώς της.

Η μηχανή πρέπει να έχει δύο χαλύβδινες πλάκες φορτίσεως με επιφάνεια σκληρότητας κατά Rockwell τουλάχιστον HRC 55. Η μία απ'αυτές (κατά προτίμηση η άνω) πρέπει να έχει σφαιρική άρθρωση.

Το πάχος των πλακών πρέπει να είναι επαρκές ώστε η παραμόρφωσή τους, στα συνήθη φορτία, να μην υπερβαίνει την ανοχή επιπεδότητας.

4.5.2 Τοποθέτηση και κέντρωση των δοκιμίων

Το δοκίμιο καθαρίζεται και απομακρύνεται κάθε ξένο σώμα, που τυχόν είναι επικολλημένο στις επιφάνειές του. Στην περίπτωση που οι επιφάνειες του δοκιμίου έχουν εμφανή ίχνη νερού, πρέπει να σφουγγίζονται κατάλληλα.

Οι διαστάσεις του δοκιμίου μετρούνται με ακρίβεια 1mm. Το δοκίμιο ζυγίζεται με ακρίβεια 0,25% του βάρους του και τοποθετείται στο κέντρο των κυρίων ή των βοηθητικών πλακών. Το σφάλμα κεντρώσεως δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο του 1/100 της διαμέτρου ή της ακμής του δοκιμίου.

4.5.3 Φόρτιση

Το φορτίο πρέπει να εφαρμόζεται χωρίς κρούση κατά τρόπο συνεχή και ομοιόμορφο. Η διάρκεια της δοκιμής δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 30sec.

Η ταχύτητα φορτίσεως να περιλαμβάνεται μεταξύ 0,2 και 1N/mm²*sec και πρέπει να επιτρέπει την ομαλή αύξηση των τάσεων .

Η ταχύτητα φορτίσεως 0,2N/mm²*sec πρέπει να εφαρμόζεται κατά προτίμηση στα δοκίμια χαμηλής αντοχής και η ταχύτητα 1N/mm²*sec στα δοκίμια υψηλής αντοχής.

Όταν το δοκίμιο αρχίζει να παραμορφώνεται ταχέως, λίγο προ της θραύσεως, δεν επιτρέπεται πλέον να ρυθμίζεται η ταχύτητα εφαρμογής του φορτίου, αλλά συνεχίζεται η φόρτιση και αφήνεται να συντελεσθεί η θραύση με τις διαμορφούμενες συνθήκες ταχύτητας παραμορφώσεως. Τότε σημειώνεται το μέγιστο φορτίο F θραύσεως του δοκιμίου σε Νt.

4.5.4 Αποτελέσματα της δοκιμής

Η αντοχή σε θλίψη δίνεται από την σχέση:

$$F=P/A \text{ σε } N/mm^2$$

κατά προσέγγιση $0,05 N/mm^2$, όπου:

P: το μέγιστο φορτίο που καταγράφηκε κατά τη θραύση σε Νt.

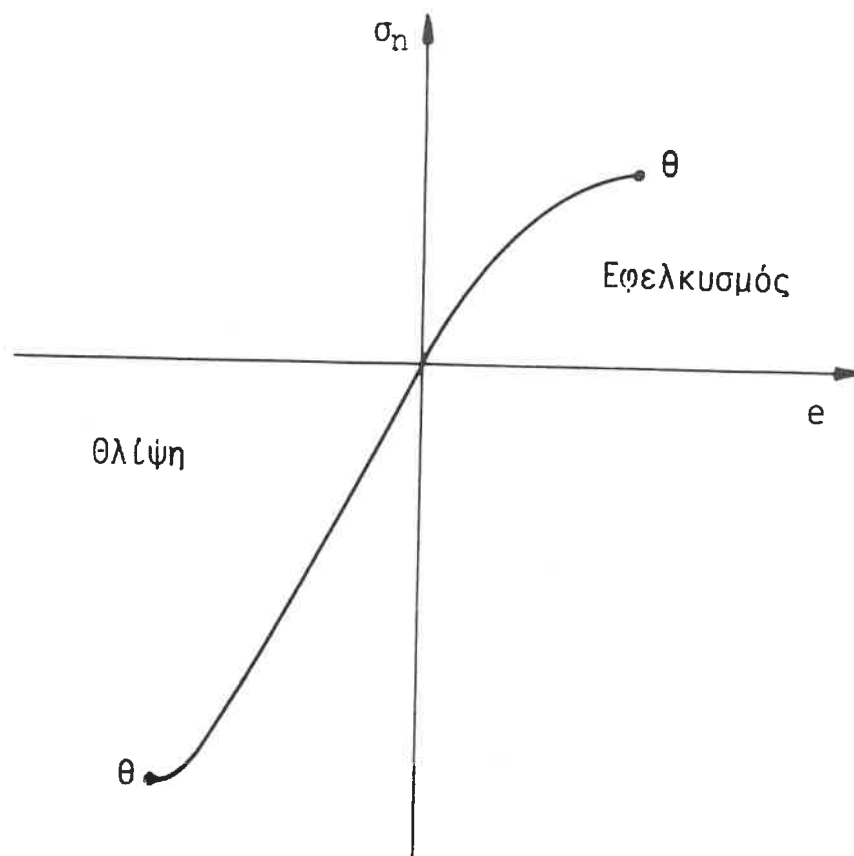
A: το εμβαδόν της διατομής του δοκιμίου επί της οποίας δρα η δύναμη θλίψεως εκφρασμένο σε mm^2 .

4.6 Έρευνα της αντοχής σε θλίψη [2] , [12] , [16] , [17] , [18]

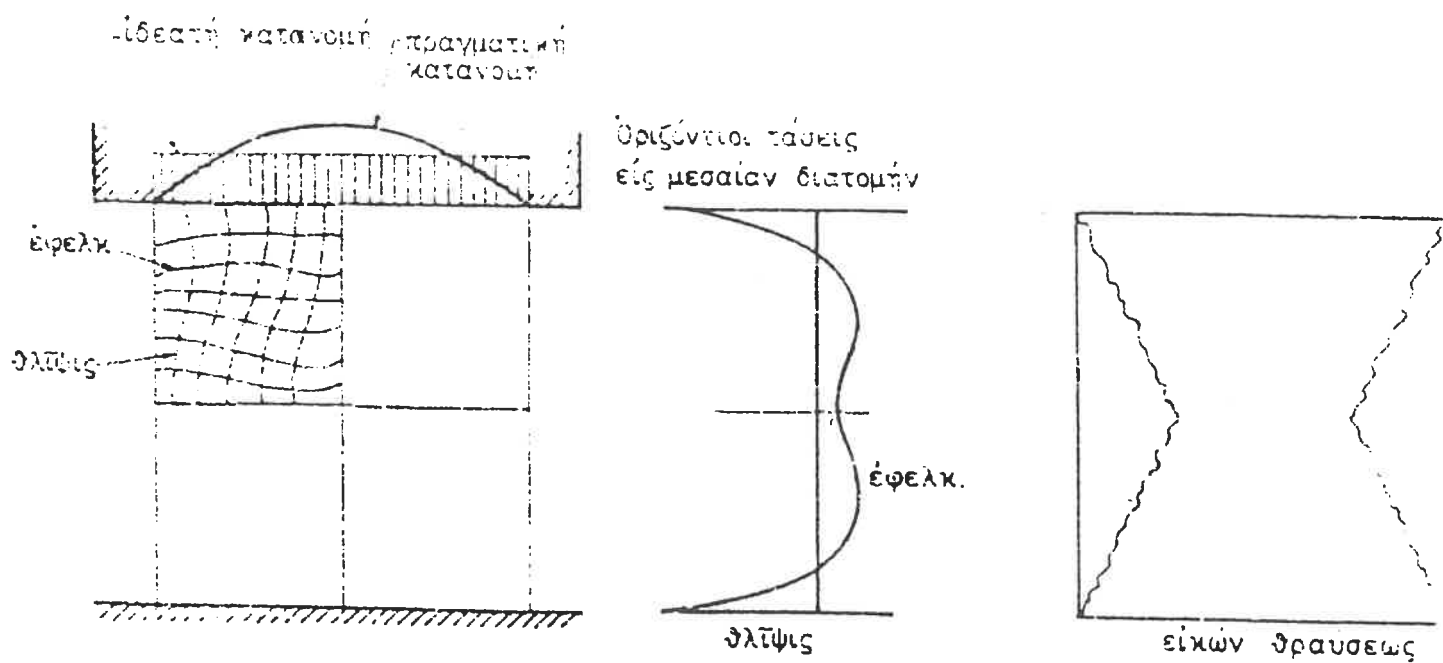
Η αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος βρίσκεται με επιπόνηση προτύπου μορφής και διαστάσεων δοκιμίων (συνήθως κυβικών ή κυλινδρικών) μέχρι θραύσεως, όπως είδαμε και στις παραγράφους 4.5.2, 4.5.3, 4.5.4.

Το διάγραμμα που παρουσιάζει τη σχέση τάσεων-παραμορφώσεων φαίνεται στο σχήμα (4.1) και είναι εμφανής η διαφορά, κατά απόλυτη τιμή, του ορίου θραύσης σε θλίψη από την αντίστοιχη τιμή σε εφελκυσμό, π.χ. για το σκυρόδεμα είναι δέκα φορές μεγαλύτερο το όριο διαρροής σε θλίψη από το αντίστοιχο σε εφελκυσμό. [18]

Οι κατάλληλες διατάξεις, επίπεδες και παράλληλες πλάκες, επιδιώκονται ώστε η θλιπτική δύναμη να κατανέμεται ομοιόμορφα, κάτι που δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα, όπως δείχνει το σχήμα (4.2). [16]



Σχήμα 4.1 Σχέση τάσεων παραμορφώσεων [18]



Σχήμα 4.2 Κατανομή τάσεων στην επιφάνεια του δοκιμίου [16]

4.6.1 Επιρροή της τριβής

Ανάμεσα στις πλάκες φορτίσεως της μηχανής και στις επιφάνειες του δοκιμίου, αναπτύσσονται σοβαρές δυνάμεις τριβής οι οποίες δημιουργούν διατμητικές τάσεις που εμποδίζουν την περιοχή εκείνη του δοκιμίου να διαρραγεί (σχήμα 4.3).

Έτσι μόνο σε κάποια απόσταση από τις επιφάνειες επαφής, η διόγκωση του σκυροδέματος δύναται να γίνει ανεμποδίστως και σ' εκείνη την περιοχή αναπτύσσονται εγκάρσιοι εφελκυσμοί.

Είναι βέβαια δυνατόν να εξουδετερωθεί η τριβή με παρεμβολή φύλλων ελαστικού ή λίπους, οπότε δεν παρεμποδίζεται η πλάγια παραμόρφωση του σκυροδέματος. Επειδή όμως τούτο είναι δύσκολο να επιτευχθεί στην πράξη, ζητείται άλλη οδός διορθώσεως του υπεισερχομένου σφάλματος εκτιμήσεως της αντοχής.

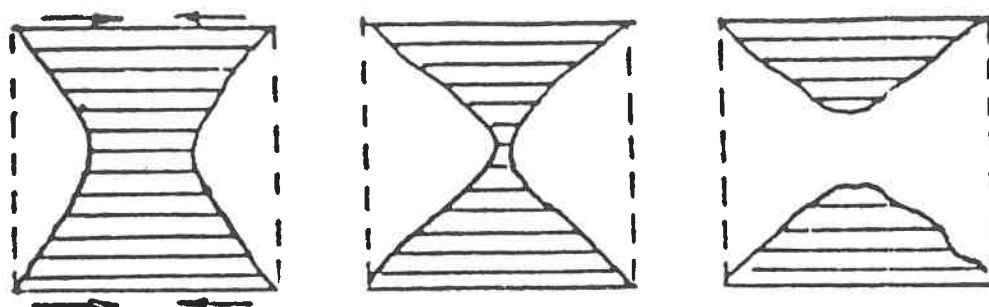
4.6.2 Επιρροή του ύψους δοκιμίου

Έχει παρατηρηθεί ότι η επιρροή της τριβής εξαντλείται μέχρι απόστασης $\sqrt{3}/2 \cdot a$ (όπου a η μικρότερη εγκάρσια διάσταση του δοκιμίου) από κάθε θλιβόμενη βάση.

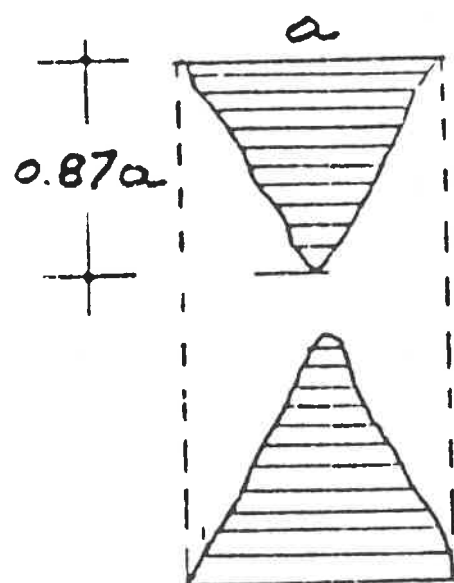
Εάν επομένως το ύψος του δοκιμίου εκλεγεί μεγαλύτερο του $2 \cdot \sqrt{3}/2 \cdot a = \sqrt{3} \cdot a$, με άλλα λόγια αν το ύψος είναι μεγαλύτερο του $1,73 \cdot a$, υφίσταται κεντρική περιοχή, μη επηρεαζόμενη από το φαινόμενο της τριβής, σχήμα (4.4). [2]

Σύμφωνα με αυτό πολλοί Κανονισμοί, για τον καθορισμό της αντοχής σε θλίψη προβλέπουν δοκίμια κυλινδρικά με ύψος διπλάσιο (Αμερικάνικοι, RILEM, CEB-FIP κ.λπ.) ή τριπλάσιο (Ελβετικοί) της διαμέτρου της βάσεως. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η εξεύρεση μονοαξονικών τιμών αντοχής, μη επηρεαζόμενης από την τριβή.

Βέβαια υπάρχουν ορισμένοι Κανονισμοί (Γερμανικοί, Ελληνικοί κ.λπ.) οι οποίοι μετρούν την αντοχή θλίψεως επί κυβικών δοκιμίων. Εν πάσει περιπτώσει όμως, κάθε κατηγορία σκυροδέματος συνοδεύεται από τη χαρακτηριστική της αντοχή, π.χ. C16/20, όπου 16MPa η αντοχή του κυλίνδρου και 20MPa η αντοχή του κύβου, πίνακας (4.2 σελ.69).



Σχήμα 4.3 Περιοχή του δοκιμίου που επηρεάζεται από την τριβή [2]



Σχήμα 4.4 Κεντρική περιοχή μη επηρεαζόμενη από το φαινόμενο της τριβής [2]

4.6.3 Μορφή θραύσεως

Γενικά η θραύση επιμήκων πρισμάτων γίνεται υπό γωνία λίγο μεγαλύτερη των 45° (γενικά υπό γωνία $45^\circ + \phi$ όπου ϕ η γωνία εσωτερικής τριβής του υλικού), σχήμα (4.5α). [16]

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το σκυρόδεμα (ψαθυρό υλικό) παρουσιάζει μειωμένη αντοχή σε διατμητικές τάσεις, σε σύγκριση με τις ορθές τάσεις, οι οποίες τείνουν περισσότερο να "κλείσουν", παρά να επεκτείνουν τις περιοχές των ανωμαλιών και τις μικρορωγμές στο εσωτερικό του υλικού, απ' όπου και εκκινεί η θραύση. [18]

Όσο όμως μειώνεται το ύψος, δηλαδή όσο πλησιάζει το δοκίμιο το σχήμα του κύβου, τόσο η εικόνα αλλάζει βαθμηδόν, σχήμα (4.5β), από δύο κάθετα οδεύοντα επίπεδα θραύσεως, στην αποκόλληση δύο πυραμίδων.

Η τελική αιτία θραύσεως σε αυτές τις περιπτώσεις είναι ο λοξός εφελκυσμός, δηλαδή η αντοχή σε θλίψη εξαντλείται τελικά από εφελκυσμό.

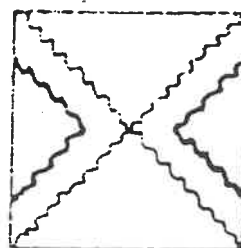
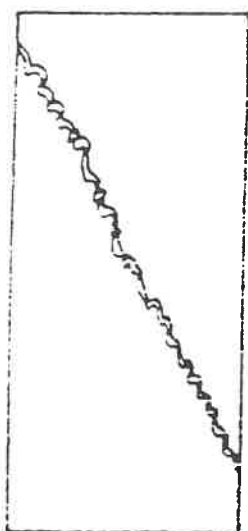
Για να αποκτηθεί μία γενική εικόνα του φαινομένου, αρκεί να φανταστεί κανείς το θλιβόμενο δοκίμιο, ως αποτελούμενο από πλήθος μεταλλικών σφαιρών, οι οποίες πιεζόμενες τείνουν να εκτιναχθούν πλαγίως, σχήμα (4.6). [18]

4.6.4 Μορφή και διαστάσεις δοκιμίων

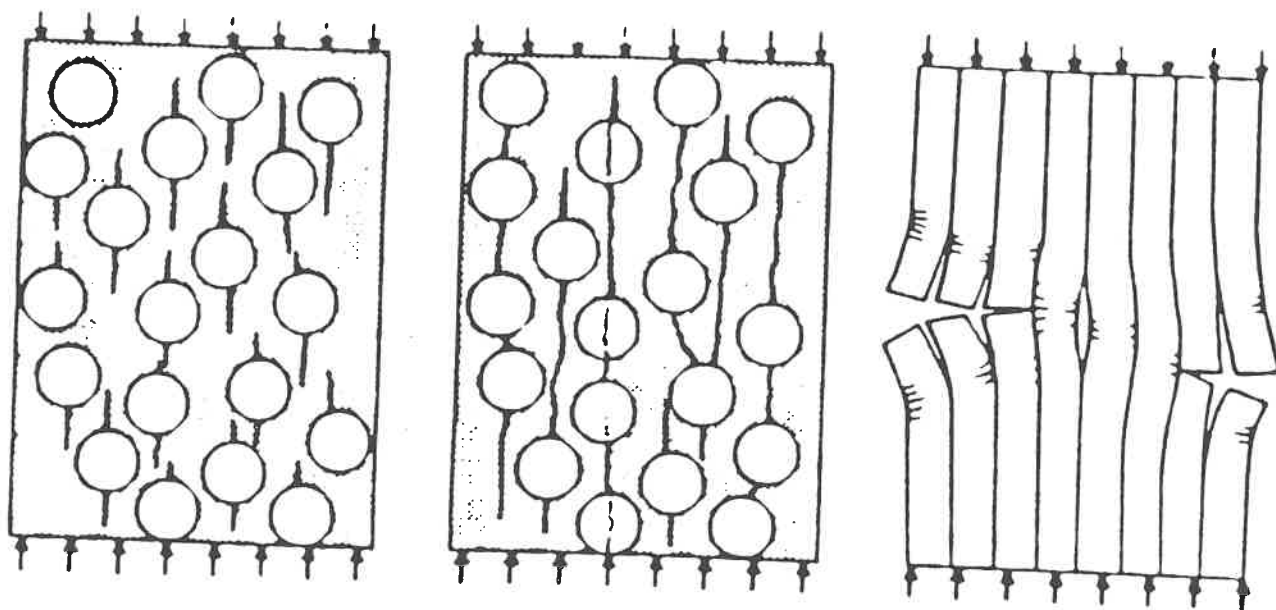
Λέγεται ότι η αντοχή ενός δοκιμίου είναι η αντοχή των αδύνατων σημείων (ρωγμών, κενών) και επειδή ένα μεγάλο δοκίμιο έχει περισσότερα αδύνατα σημεία, δίνει μικρότερη αντοχή από ένα μικρό δοκίμιο, για την ίδια ποιότητα σκυροδέματος.

Έτσι παρατηρεί κανείς την καμπύλη του Neville (σχήμα 4.7), που δείχνει πράγματι πτώση της αντοχής με το μέγεθος της ακμής του δοκιμίου. Στο ίδιο σχήμα όμως υπάρχει και η καμπύλη Meunier, που δεν συμφωνεί στους μικρούς κύβους και έτσι δεν ξέρει κανείς ποιά αναγωγή να κάνει.

Οι συντελεστές αναγωγής της αντοχής ενός δοκιμίου σε άλλο, διαφορετικής μορφής και διαστάσεων, αποτελούν πηγές τραγικών σφαλμάτων. Οι τιμές τους που δίνονται στη βιβλιογραφία, έχουν συνήθως προκύψει από διαφορετικά υλικά και διαφορετικές συνθήκες και γι' αυτό σχεδόν ποτέ δεν συμφωνούν μεταξύ τους. Έτσι λοιπόν, τα δοκίμια για τους ελέγχους συμμορφώσεως, πρέπει να έχουν τη μορφή και τις διαστάσεις εκείνων με τα οποία έγινε η μελέτη σύνθεσης. [2]



Σχήμα 4.5.α Θραύση υπό γωνία $45^{\circ}+\varphi$ [16] Σχήμα 4.5.β Θραύση με αποκόλληση δύο πυραμίδων [16]



Σχήμα 4.6 Πλήθος μεταλλικών σφαιρών οι οποίες τείνουν να εκτιναχθούν πλαγίως λόγω λοξού εφελκυσμού [16]

Ο κύβος με πλευρά 15cm έχει 1,33 φορές την ειδική επιφάνεια του κύβου με πλευρά 20cm, κάτι που σημαίνει μεγαλύτερη ταχύτητα ενυδατώσεως και τελικά στις 28 ημέρες έχει αναπτύξει μεγαλύτερη αντοχή.

Ο κύλινδρος έχει διατομή κατά 22% μικρότερη από τη διατομή του κύβου ακμής 15cm και κατά 56% μικρότερη του κύβου ακμής 20cm (σχ.4.8).

Ακόμη αν σε μία διατομή κυλίνδρου συγκεντρωθούν τρεις μεγάλοι κόκκοι (και σε μια διαβάθμιση Φ30 επιτρέπεται ποσοστό 5% κόκκων με διάσταση 30-50mm), κάθε συζήτηση για ομοιομορφία κατανομής τάσεων στις διατομές (που θα ήταν προϋπόθεση για μια θεωρία συντελεστών αναγωγής) είναι ανεδαφική. Παρόλ' αυτά υπάρχουν συντελεστές αναγωγής αντοχών και οι αντίστοιχες σχέσεις μεταξύ αντοχών κύβων ακμής 10cm, 15cm και 30cm προς την αντοχή κύβου ακμής 20cm είναι:

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

$$\beta_{15}=1,05\beta_{20}$$

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

ενώ για τα κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 15cm και ύψους 30cm, υπάρχει σύμφωνα με τον Κανονισμό Ευρωπαϊκής Επιτροπής Σκυροδέματος (C.E.B.) η σχέση:

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

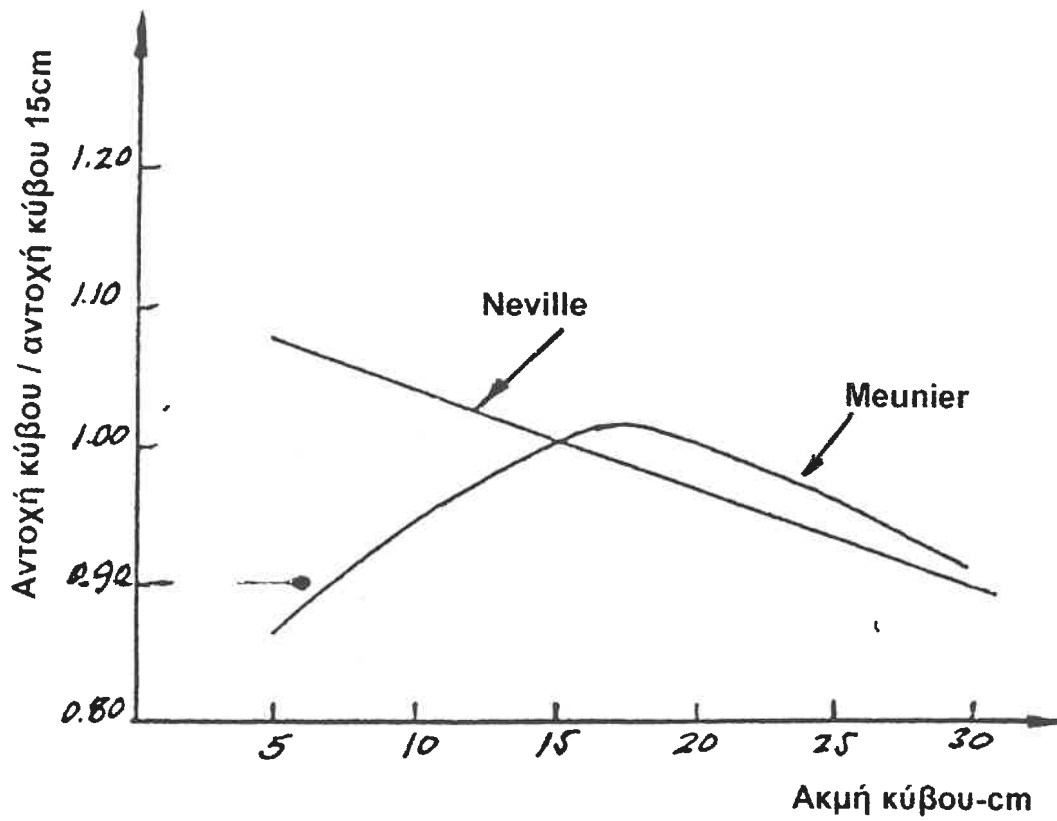
με μέση τιμή

$$\beta_{\text{κυλίνδρου}}=0,83\beta_{\text{κύβου}}$$

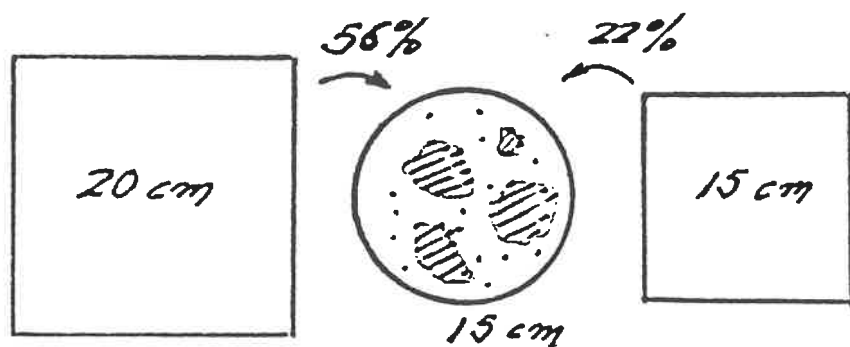
Για να γίνει όμως η μετατροπή αυτή, έστω κι αν τα αποσυντελέσματα προέρχονται από πειραματικά δεδομένα, εισάγεται ένα νέο στατιστικό σφάλμα, που κάνει την τιμή της αντοχής περισσότερο αμφίβολη. Έτσι τα φαινόμενα που εξαρτώνται από το μέγεθος και τη μορφή του δοκιμίου και τα οποία επιδρούν, με τη σειρά τους, στην αντοχή είναι συνοπτικά τα ακόλουθα: [1]

- α) Η εξάτμιση νερού από την επιφάνεια και η πρόοδος της ενυδατώσεως εξαρτώνται από την έκταση της επιφάνειας του δοκιμίου σε συσχέτισμό με τον όγκο του.
- β) Η επιφανειακή μικρορηγμάτωση που οφείλεται στις διαφορετικές συστολές του δοκιμίου κατά την ξήρανση και την ενυδάτωσή του. Αν η μικρορηγμάτωση αυτή θεωρηθεί περίπου σταθερή για κάθε μονάδα επιφάνειας, τότε είναι διαφορετική για κάθε μονάδα όγκου και είναι πολύ πιο έντονη η επίδρασή της στα μικρά δοκίμια.

- γ) Η τριβή των πλακών θλίψεως κατά τη δοκιμή θραύσης παρεμποδίζει την εγκάρσια διαστολή του δοκιμίου και επομένως επηρεάζει περισσότερο τα μικρά δοκίμια.
- δ) Στατιστικοί λόγοι. Στα μεγαλύτερα δοκίμια υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να βρεθούν περιοχές μειωμένης αντοχής. Οι περιοχές αυτές παίζουν σημαντικό ρόλο στην έναρξη της θραύσεως.
- ε) Η δομή τέλος του δοκιμίου, δηλ. η σχέση των κόκκων των αδρανών προς τις διαστάσεις του.



Σχήμα 4.7 Καμπύλη Neville και καμπύλη Maunier [2]



Σχήμα 4.8 Διατομές δοκιμίων [2]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°

ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΚΑΘΙΣΕΩΣ - ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΘΙΣΗ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο προσδιορισμός της εργασιμότητας του σκυροδέματος γίνεται με τη μέθοδο της καθίσεως, (Μέθοδος ελέγχου ΣΚ-309), και αφορά σκυροδέματα μεγίστου κόκκου 40mm. Ακόμη δεν είναι εφαρμόσιμη σε σκυροδέματα μικρής εργασιμότητας ή σε σκυροδέματα χωρίς συνοχή.

Η δοκιμή της καθίσεως είναι από τις πλέον σπουδαίες δοκιμές από εκείνες που γίνονται για τον έλεγχο των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του νωπού σκυροδέματος.

5.1 Δειγματοληψία [19]

Το δείγμα που θα χρησιμοποιηθεί για τη δοκιμή, πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό της παρτίδας του σκυροδέματος που εξετάζεται και να ελέγχεται μέσα σε 5 λεπτά, το πολύ, από την ολοκλήρωση της δειγματοληψίας.

5.2 Συσκευές

5.2.1 Κώνος καθίσεως

Ο κώνος καθίσεως είναι κολουροκωνικό μεταλλικό χωνί που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της καθίσεως σκυροδέματος. Το μέταλλο κατασκευής του δεν πρέπει να προσβάλλεται από το σκυρόδεμα, να έχει δε πάχος τουλάχιστον 1,5mm. Η εσωτερική επιφάνεια του χωνιού πρέπει να είναι λεία, χωρίς τοπικές ανωμαλίες.

Οι διαστάσεις του κώνου καθίσεως πρέπει να είναι οι ακόλουθες :

- διάμετρος κάτω βάσεως : $200 \pm 2\text{mm}$
- διάμετρος άνω βάσεως : $100 \pm 2\text{mm}$
- ύψος : $300 \pm 2\text{mm}$

Οι δύο βάσεις του είναι ανοικτές, παράλληλες μεταξύ τους και κάθετες στον άξονά του.

Η μήτρα αυτή έχει στο άνω μέρος της δύο χειρολαβές προσαρμοσμένες στα 2/3 του ύψους της. Έχει ακόμη κοντά στη βάση της δύο αντιδιαμετρικά περύγια για την ακινητοποίησή της, ώστε να μπορεί να κάνει δυνατή την πλήρη απελευθέρωση της κολουροκωνικής μήτρας καθίσεως, χωρίς να προκαλείται καμία μετακίνησή της.

5.2.2 Ράβδοι συμπυκνώσεως

Το ραβδί συμπυκνώσεως πρέπει να είναι χαλύβδινο, ευθύγραμμο, κυκλικής διατομής, με διάμετρο 16mm με στρογγυλεμένα άκρα.

5.3 Διαδικασία της δοκιμής

Ο κώνος καθίσεως διαβρέχεται εσωτερικά και τοποθετείται πάνω σε άκαμπτη, επίπεδη, οριζόντια και μη απορροφητική επιφάνεια, η οποία επίσης πρέπει να διαβραχεί. Ο κώνος καθίσεως πρέπει να κρατιέται ακίνητος σ' όλη τη διάρκεια του γεμίσματος, με τη βοήθεια των δύο περυγίων στηρίξεώς του.

Αμέσως μετά τη λήψη του δείγματος του σκυροδέματος, σύμφωνα με τους όρους της παραγράφου (5.2), γεμίζεται ο κώνος σε τρεις στρώσεις, έτσι ώστε, μετά τη συμπύκνωση, κάθε στρώση να είναι ίση με το ένα τρίτο (1/3) περίπου του ύψους του κώνου.

Κάθε στρώση συμπυκνώνεται με 25 ραβδισμούς με το ραβδί συμπυκνώσεως, που κατανέμονται ομοιόμορφα σ' ολόκληρη την επιφάνεια του σκυροδέματος.

Κατά τη συμπύκνωση της κατώτερης στρώσεως είναι αναγκαίο να δίνεται μικρή κλίση στο ραβδί κατά την έμπηξή του στο σκυρόδεμα της περιμέτρου του κώνου και βαθμιαία να κατακορυφώνεται, καθώς οι κτύποι προχωρούν με σπειροειδή κίνηση προς το κέντρο. Οι μισοί περίπου ραβδισμοί πρέπει να κατανέμονται στην περίμετρο.

Το ραβδί πρέπει να βυθίζεται σ' όλο το ύψος της κατώτερης στρώσεως. Στη δεύτερη και τρίτη στρώση το ραβδί πρέπει να βυθίζεται σ' όλη την στρώση και να περνάει λίγο στην αμέσως κατώτερη.

Στην ανώτερη στρώση ο κώνος πρέπει να γεμίζεται με περίσσεια σκυροδέματος, πριν από την έναρξη των ραβδισμών και να συμπληρώνεται κατά τη διάρκεια της συμπυκνώσεως, έτσι ώστε να υπάρχει πάντοτε περίσσεια σκυροδέματος.

Υστερα από τη συμπίκνωση της ανώτατης στρώσεως, με τους 25 ραβδισμούς, το σκυρόδεμα που πλεονάζει στο πάνω χείλος του κώνου καθίσεως κόβεται και η επιφάνεια του επιπεδώνεται με παλινδρομικές κινήσεις και κυλίσσεις του ραβδιού συμπτύκνωσης.

Στη συνέχεια καθαρίζεται η περιοχή γύρω από τη βάση του κώνου καθίσεως και ο κώνος αυτός προσεκτικά ανασύρεται κατακόρυφα. Η αφαίρεση του πρέπει να πραγματοποιείται σε 5-10 sec, με κατακόρυφη ομαλή κίνηση προς τα πάνω, για την αποφυγή οριζόντιας και στρεπτικής παραμορφώσεως του δείγματος.

Όλη η διαδικασία της δοκιμής, από την έναρξη του γεμίσματος μέχρι την αφαίρεση του κώνου, πρέπει να γίνεται χωρίς διακοπή και να ολοκληρώνεται σε χρόνο μικρότερο των 2,5 min.

Αμέσως μετά την αφαίρεση του κώνου μετρίεται η κάθιση ως εξής: βρίσκεται η διαφορά ανάμεσα στο ύψος του κώνου και του υψηλότερου σημείου του σκυροδέματος, που ελευθερούμενο κάθισε, με προσέγγιση 5mm.

Στην περίπτωση που διαπιστωθεί κατάρρευση του σκυροδέματος από διάτμηση η μέτρηση δε λαμβάνεται υπόψη και η δοκιμή πρέπει να επαναληφθεί, σε νέο τμήμα του δείγματος.

Αν δύο διαδοχικές δοκιμές δείξουν συμπεριφορά όμοια με την παραπάνω, τότε το σκυρόδεμα θεωρείται πως δεν έχει την αναγκαία πλαστικότητα και συνοχή για την εφαρμογή της δοκιμής καθίσεως. Αν η κάθιση είναι μικρότερη από 10 mm το σκυρόδεμα είναι τόσο ύφυγρο, ώστε η μέθοδος αυτή να μη θεωρείται κατάλληλη.

5.3.1 Αποτελέσματα της δοκιμής

Η κάθιση ορίζεται σαν διαφορά ύψους μεταξύ του κώνου καθίσεως και του υψηλότερου σημείου του σκυροδέματος, που διαμορφώθηκε κατά τη δοκιμή μετά την αφαίρεση του κώνου. Η κάθιση δίνεται σε cm με προσέγγιση 5 mm.

5.4 Εργασιμότητα

Η μέθοδος ΣΚ-309, όπως είδαμε πιο πάνω, περιγράφει την δοκιμή καθίσεως με την οποία προσδιορίζεται η εργασιμότητα μιας ποσότητας σκυροδέματος, δηλαδή η ευκολία με την οποία το νωπό σκυρόδεμα συμπτύκνεται παίρνοντας τη μορφή που πρέπει μέσα στα καλούπια χωρίς να απομειγνύεται.

Με την προϋπόθεση ότι το σκυρόδεμα θα συμπυκνωθεί τελείως, το εργάσιμο δεν έχει επίδραση στην τελική αντοχή του σκυροδέματος.

Η μέτρηση του εργάσιμου δεν μπορεί να γίνει απευθείας. Γι' αυτό έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι (κάθιση, μέτρο εξαπλώσεως, μέτρο συμπυκνώσεως, δοκιμή VEBE), από τις οποίες αποκτιέται μία εικόνα του βαθμού εργασιμότητας του σκυροδέματος.

Σ' αυτό το κεφάλαιο εξετάζεται αναλυτικά η δοκιμή της κάθισης η οποία εφαρμόζεται σχεδόν εξολοκλήρου στα οικοδομικά έργα.

5.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την κάθιση

Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή της κάθισης μιας ποσότητας σκυροδέματος και συνεπώς επιδρούν και στο εργάσιμό της.

5.5.1 Χρόνος

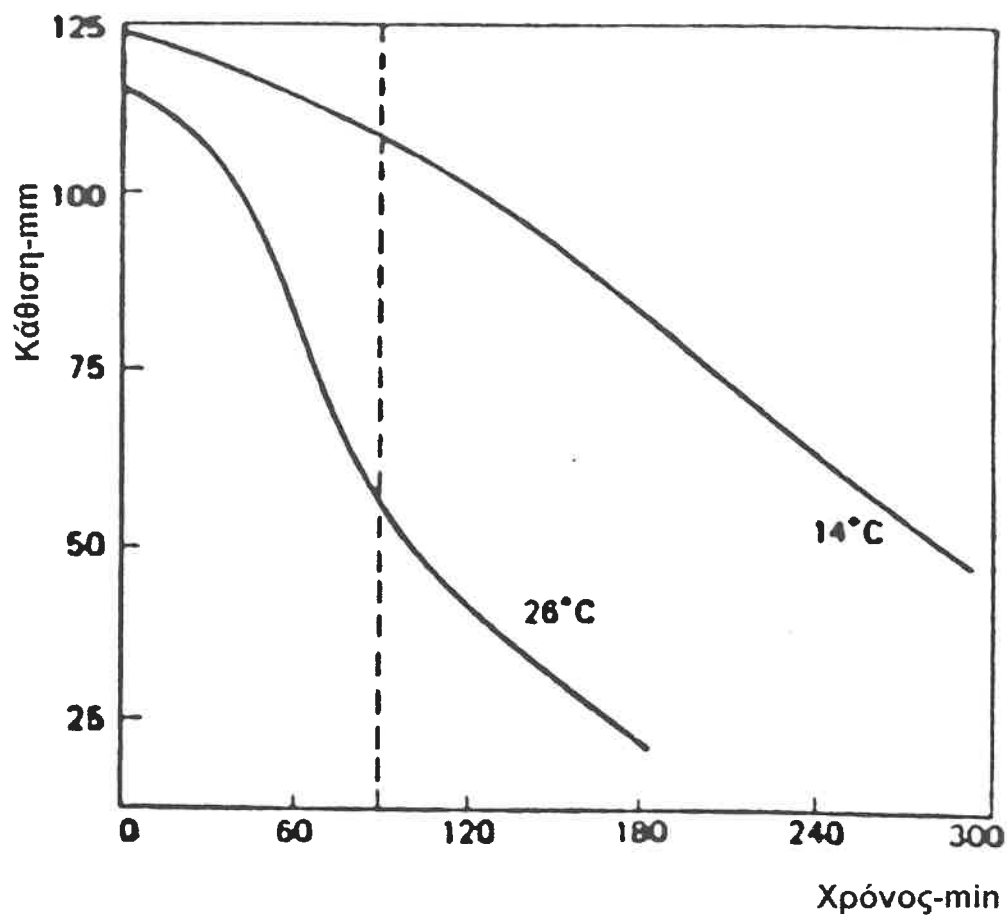
Ο χρόνος που μεσολαβεί από την ανάμειξη των υλικών μέχρι τη διάσπρωση του σκυροδέματος επιδρά στο εργάσιμο. Μεγάλος χρόνος σημαίνει μεγαλύτερη πρόοδο στην ενυδάτωση, περισσότερη απορρόφηση νερού από τα αδρανή και συνεπώς μειωμένο εργάσιμο. Στο σχήμα (5.1) φαίνεται η πτώση της κάθισης, για την ίδια θερμοκρασία, όσο ο χρόνος περνάει.

5.5.2 Θερμοκρασία

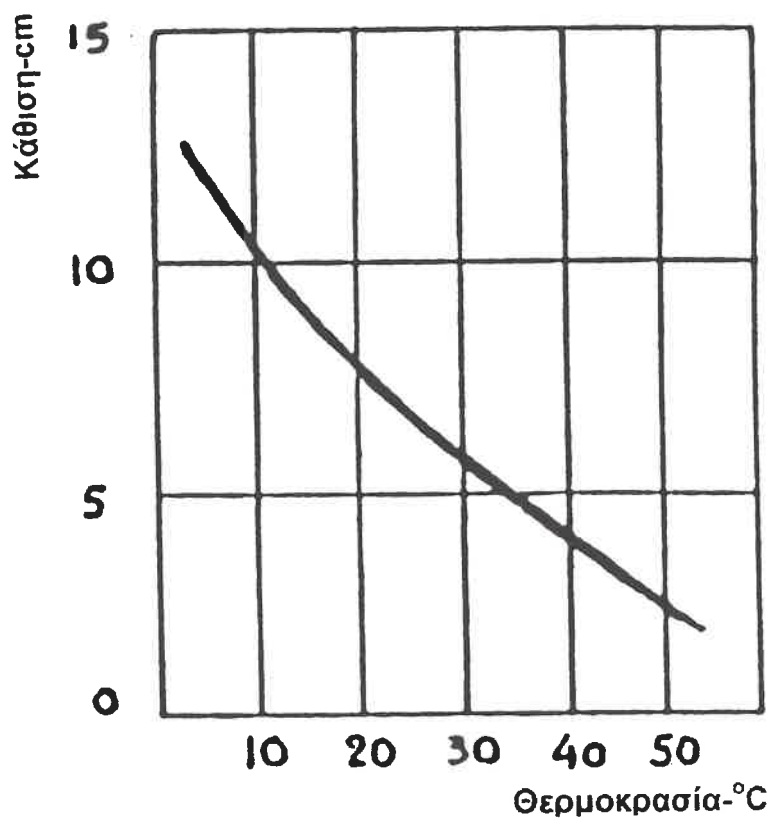
Υψηλότερη θερμοκρασία περιβάλλοντος ή και σκυροδέματος δίνει ταχύτερη ενυδάτωση και συνεπώς μικρότερη κάθιση όπως δείχνει και το σχήμα (5.2), ενώ στο σχήμα (5.3), φαίνεται η αύξηση της απαιτούμενης ποσότητας νερού για μεταβολή της κάθισης κατά 25mm, όσο αυξάνει η θερμοκρασία.

5.5.3 Αδρανή

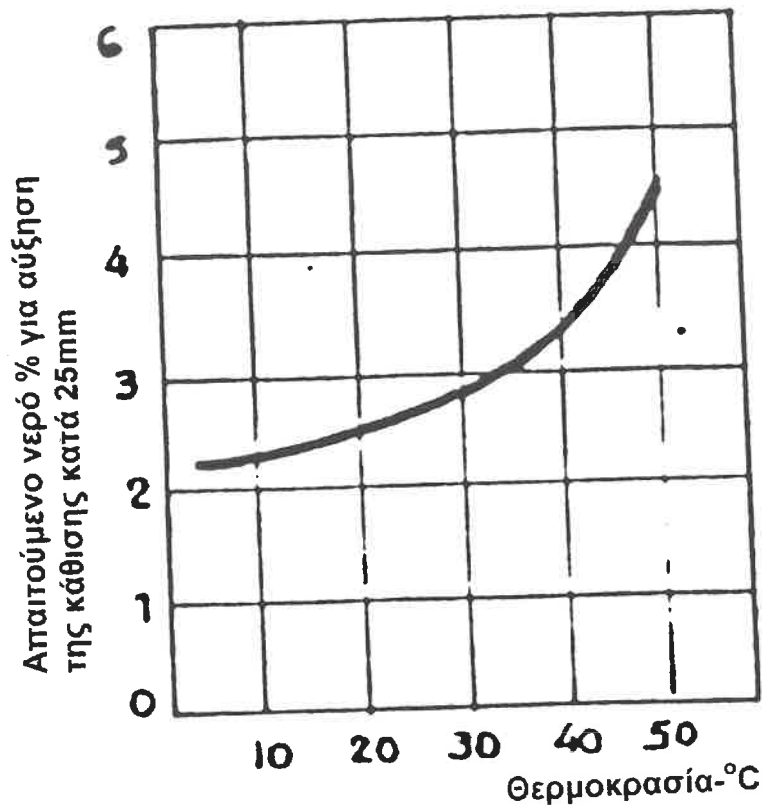
Για την ίδια ρευστότητα το απαιτούμενο νερό ελαττώνεται γενικά όσο ελαττώνεται η ειδική επιφάνεια των αδρανών. Έτσι, ελαττώνεται όσο αυξάνεται ο μέγιστος κόκκος και η καμπύλη κοκκομετρικής συνθέσεως των αδρανών κατεβαίνει (αυξάνεται δηλαδή το χοντρόκοκκο υλικό), σχήμα (5.4).



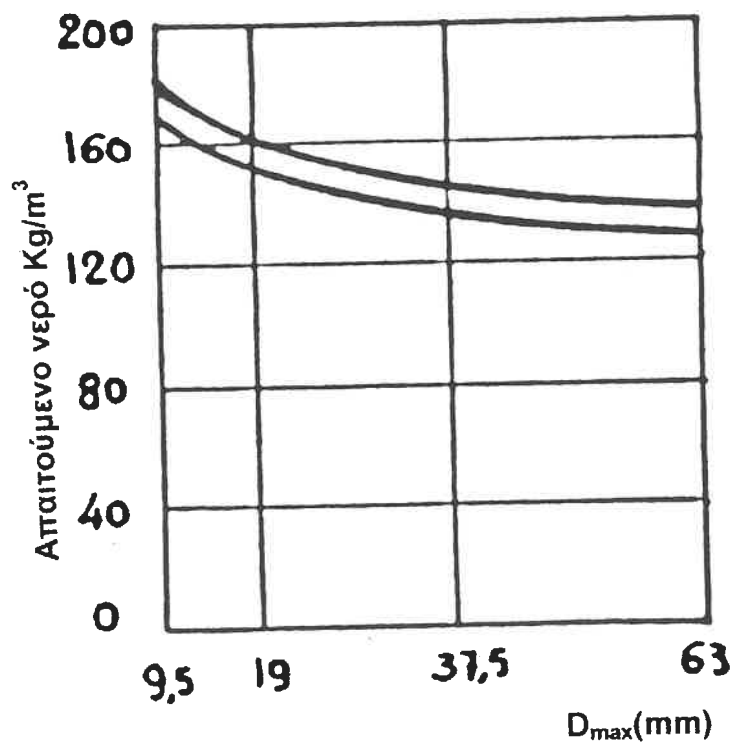
Σχήμα 5.1 Πτώση της κάθισης για την ίδια θερμοκρασία όσο περνάει ο χρόνος [22]



Σχήμα 5.2 Μείωση της κάθισης με την αύξηση της θερμοκρασίας [12]



Σχήμα 5.3 Ποσότητα νερού για αύξηση της κάθισης κατά 25mm σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία [12]



Σχήμα 5.4 Επίδραση του D_{max} στο απαιτούμενο νερό για σταθερή κάθιση [16]

Από την άλλη πλευρά όμως η αύξηση του μέγιστου κόκκου και των χοντρόκοκκων αδρανών συντελεί στη μείωση της πλαστικότητας και της συνοχής με κίνδυνο την απόμειξη.

Εξάλλου, αδρανή με στρογγυλεμένους κόκκους βοηθούν στην αύξηση της ρευστότητας και του εργάσιμου για την ίδια ποσότητα νερού. [1]

5.5.4 Τσιμέντο

Η τιμή της κάθισης και τελικά το εργάσιμο εξαρτώνται και από την ποιότητα και την ποσότητα του τσιμέντου, όπως ενδεικτικά φαίνεται και στα σχήματα (5.5α) και (5.5β).

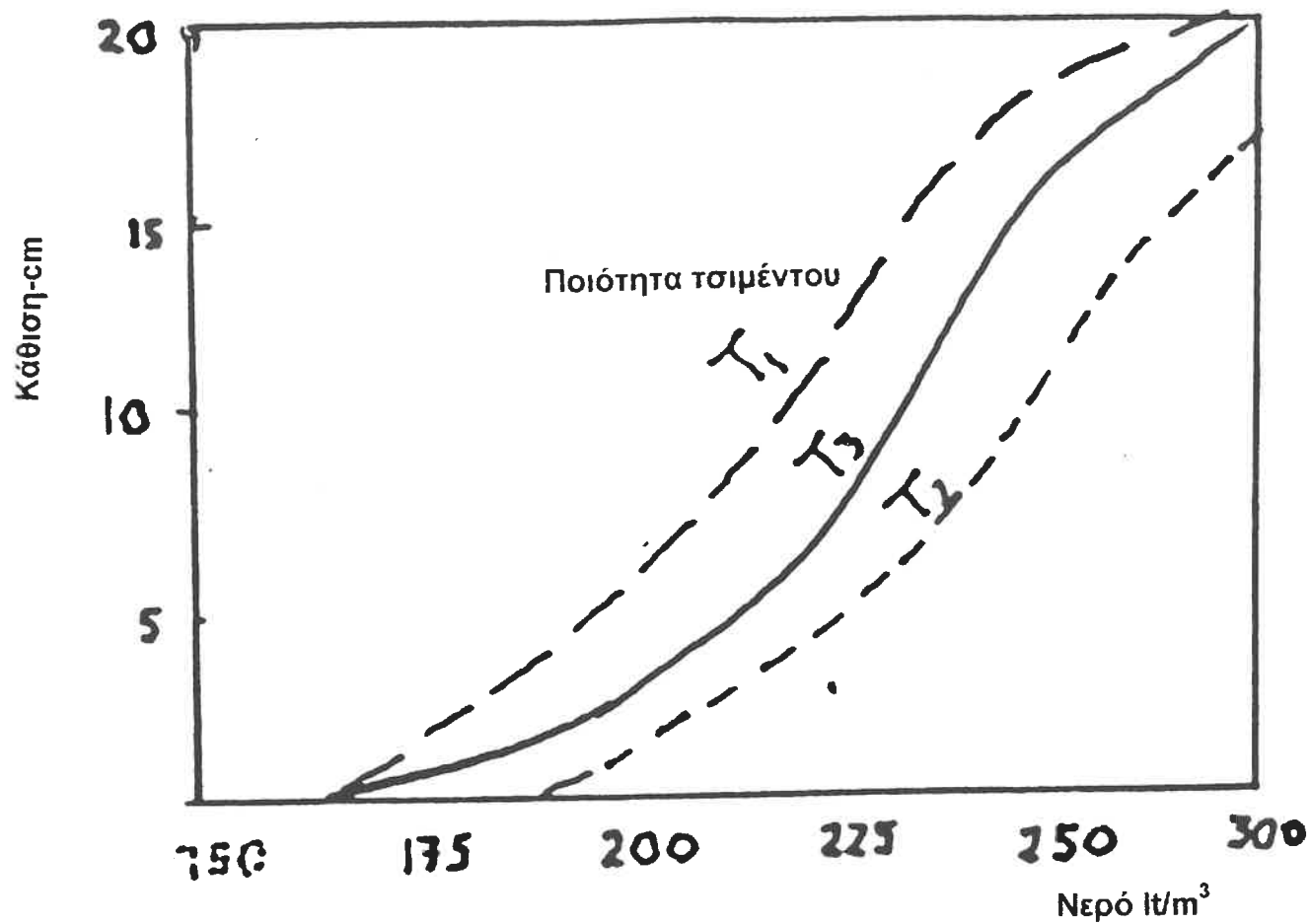
5.5.5 Νερό

Ο πιο σημαντικός παράγοντας στην αύξηση ή την ελάττωση του εργάσιμου είναι η ποσότητα του νερού.

Το μέγεθος και η διαβάθμιση των αδρανών, καθώς και η ποσότητα του τσιμέντου, επιδρούν τελικά στην ποσότητα νερού που απαιτείται για την παραγωγή κατεργάσιμου μείγματος. [16]

Το εργάσιμο αυξάνεται σημαντικά, σχήμα (5.6), όσο αυξάνεται το νερό αναμείξεως, δηλαδή η ρευστότητα του μείγματος.

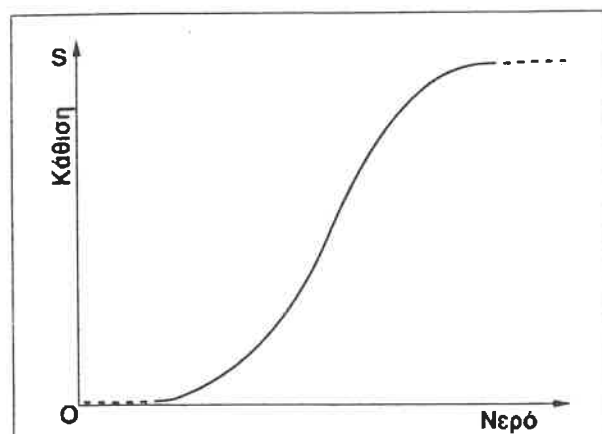
Η ρευστότητα εξαρτάται περισσότερο από την ποσότητα του νερού αναμείξεως και πολύ λιγότερο από το λόγο νερού προς τσιμέντο. [1]



Σχήμα 5.5α Ενδεικτικό διάγραμμα της σχέσης ποιότητας τσιμέντου-κάθισης [12] [16]



Σχήμα 5.5β Ενδεικτικό διάγραμμα ποσότητας τσιμέντου-κάθισης [12]



Σχήμα 5.6 Επίρροή της ποσότητας νερού στο εργάσιμο [1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°

ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ-ΛΗΨΗ-ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρεται ο τρόπος εκτέλεσης της διπλωματικής εργασίας. Γίνεται αναφορά στο μηχανικό εξοπλισμό του εργοστασίου του οποίου ελέγξαμε την παραγωγή, καθώς επίσης και στον τρόπο συντήρησης των δοκιμίων. Στην **εικ. 6.1** φαίνεται το εργοστάσιο στο οποίο πραγματοποιήθηκε η συγκεκριμένη εργασία.

6.1 Περιγραφή μηχανικού εξοπλισμού του εργοστασίου

Η εργασία πραγματοποιήθηκε σ' ένα από τα μεγαλύτερα εργοστάσια παραγωγής σκυροδέματος, στην περιοχή του νομού Αχαΐας. Ειδικότερα, βρίσκεται στην περιοχή του Αιγίου και διαθέτει δύο ξεχωριστές μονάδες παραγωγής σκυροδέματος (**εικ. 6.1**). Τα δοκίμια ελήφθησαν μόνο από τη μία μονάδα, η οποία και μελετήθηκε. Αυτή η συγκεκριμένη, διαθέτει πλήρες σύστημα αυτοματισμού καθώς επίσης και καταγραφικά με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή (**εικ. 6.2**).

6.1.1 Μηχανικές εγκαταστάσεις αδρανών

Η μονάδα που ελέγχθηκε διαθέτει αποθήκη (depot) αδρανών με τέσσερα χωριστά διαμερίσματα χωρητικότητας 25m^3 το καθένα (**εικ. 6.3**). Κάθε διαμέρισμα της αποθήκης έχει δύο πόρτες, απ' όπου γίνεται και η έξοδος των υλικών (**εικ. 6.4**). Οι πόρτες αυτές είναι αυτόματες και ιδιαίτερα ισχυρές, ώστε να εξασφαλίζεται η διακοπή παροχής του υλικού εντός του υποδοχέα του ζυγιστηρίου με μεγάλη ακρίβεια. Οι περιφερειακές εξωτερικές πλευρές της αποθήκης είναι κεκλιμένες με κλίση μεγαλύτερη από 45° , ώστε το υλικό να διοχετεύεται ομοιόμορφα χωρίς να κολλάει δεξιά ή αριστερά.

Ομοίως, οι υποδοχείς των ζυγιστηρίων είναι κατασκευασμένοι κατά τον ίδιο τρόπο, ώστε να εκκενώνονται τελείως και να μη δημιουργούνται συγκεντρώσεις



Εικ. 6.1: Άποψη του εργοστασίου σκυροδέματος στο οποίο πραγματοποιήθηκε η διπλωματική εργασία



Εικ. 6.2: Αυτόματο σύστημα παραγωγής



λαιο 6°

Εικ. 6.3: Αποθήκες (depot) αδρανών με τέσσερα διαμερίσματα



Depot αδρανών

Αυτόματες πόρτες

Ζυγιστήριο αδρανών

Κομπρεσέρ αέρος

Μεταφορική ταινία

Εικ. 6.4: Ζυγιστήριο αδρανών υλικών

υλικών που αυξάνουν το απόβαρο. Για τον ίδιο λόγο υπάρχει δονητικό σύστημα στους υποδοχείς των ζυγιστηρίων.

Ακριβώς κάτω από την αποθήκη των αδρανών υπάρχει το ζυγιστήριο. Τα αδρανή ζυγίζονται σ' αυτό προσθετικά. Η μεταφορά τους στον αναμεικτήρα γίνεται με μεταφορική ταινία. Στην **εικ. 6.4** σημειώνονται τα παραπάνω στοιχεία.

6.1.2 Εγκαταστάσεις τσιμέντου

Το τσιμέντο φυλάσσεται στα γνωστά και ειδικά σιλό. Η μεταφορά του από αυτά στο ζυγό του τσιμέντου γίνεται με κοχλίες (σαλίγκαρους). Ο ζυγός του τσιμέντου βρίσκεται στο έδαφος όπου και εδράζεται. Οι παρειές του έχουν κλίση μεγαλύτερη από 45° για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω, ενώ και αυτός είναι εξοπλισμένος με δονητικό σύστημα. Η μεταφορά του τσιμέντου από το ζυγό στον αναμεικτήρα γίνεται μ' ένα κοχλία μεγάλου μήκους (λόγω του ότι ο ζυγός βρίσκεται στο έδαφος). Στην **εικόνα 6.5** φαίνονται οι εγκαταστάσεις του τσιμέντου.

6.1.3 Εγκαταστάσεις ύδατος

Το νερό που χρησιμοποιείται προέρχεται από γεώτρηση. Από τις διάφορες αναλύσεις έχει δείχθει ότι είναι πόσιμο και κατάλληλο για την παρασκευή σκυροδέματος. Υπάρχει μία δεξαμενή αποθήκευσης περίπου 2500lt. Το νερό ανανεώνεται συνεχώς μέσω της γεώτρησης, ενώ η πίεση στο δίκτυο παραμένει πάντα σταθερή. Η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται για την παρασκευή ενός ή περισσότερων κυβικών σκυροδέματος, μετράται αυτόματα με υδρομετρητή που βρίσκεται στο θάλαμο ελέγχου και φορτώσεως. Έτσι, αν για παράδειγμα για ένα κυβικό απαιτούνται 180lt νερού, ρυθμίζουμε τον υδρομετρητή ώστε να πέσουν ακριβώς 180lt.

6.1.4 Αναμεικτήρας

Πρόκειται για αναμεικτήρα χωρητικότητας 5m³ με έναν οριζόντιο άξονα κατά μήκος της μεγάλης πλευράς του (**εικ. 6.6**). Ο αναμεικτήρας τροφοδοτείται με αδρανή στο πίσω παράπλευρο μέρος του και περίπου στο κέντρο, ενώ το τσιμέντο πέφτει από πάνω υπό γωνία, ώστε να συναντά τη ροή των αδρανών εντός του αναμεικτήρα και να γίνεται πιο εύκολη, γρήγορη και αποτελεσματική ανάμειξη



Κεφάλαιο 6°

Εικ. 6.5: Εγκαταστάσεις τσιμέντου

Εικ. 6.6: Γενική άποψη αναμικτήρα



(εικ.6.7). Το νερό τέλος, διαχέεται στον αναμεικτήρα από σωλήνα που βρίσκεται στην κορυφή του και κατά μήκος της μεγάλης διάστασής του. Ο σωλήνας αυτός είναι εξοπλισμένος με σύστημα εκτόξευσης νερού (μπεκ). Το νερό με το σύστημα αυτό βγαίνει με πίεση, σχηματίζοντας ομπρέλα, έτσι ώστε η διαβροχή του τσιμεντοκονιάματος να είναι πλήρης και πιο αποτελεσματική.

6.1.5 Αδρανή που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο εργοστάσιο για την παρασκευή του σκυροδέματος

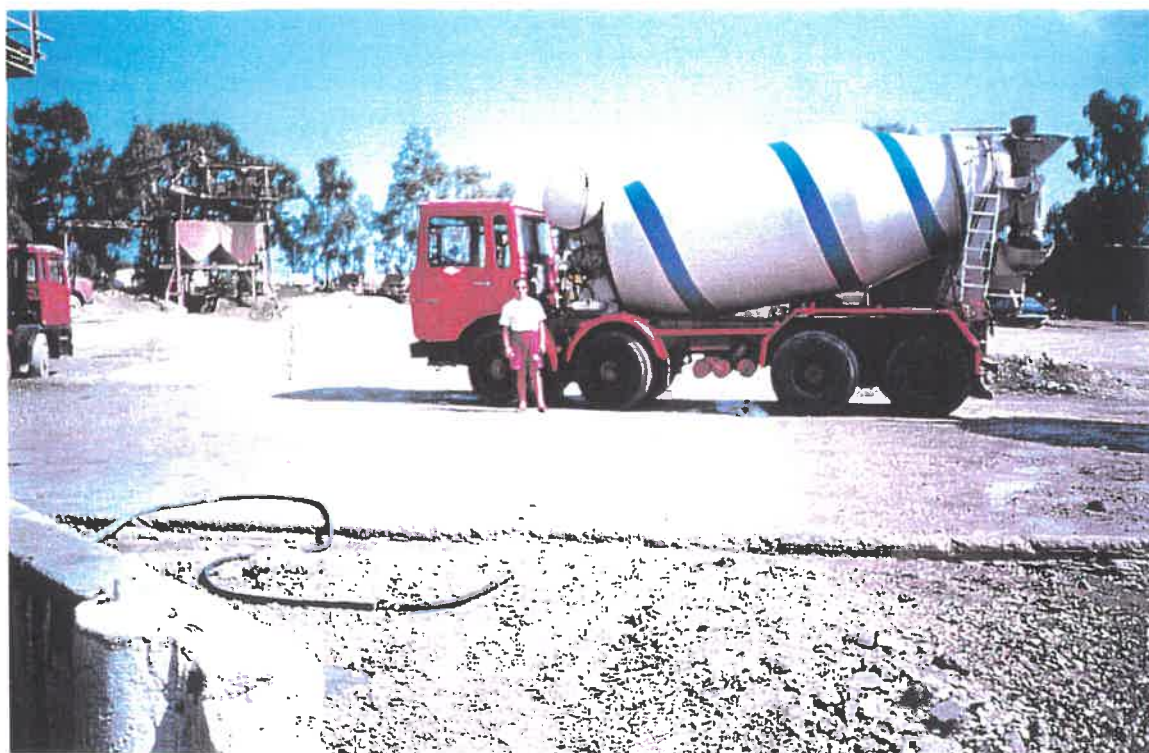
Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο εργοστάσιο είναι θραυστά. Προέρχονται από κλασικό συγκρότημα σπαστήρα που ανήκει στο ίδιο εργοστάσιο, πράγμα που αποτελεί ιδιαίτερο πλεονέκτημα του εργοστασίου σε ότι αφορά την ποιότητα των αδρανών.

Πρόκειται για ένα συγκρότημα σπαστηροτριβείου-πλυντηρίου-τριβείου που φαίνεται στις εικόνες 6.9, 6.10, 6.11, 6.12, 6.13. Το πρωτογενές υλικό λαμβάνεται από παραποτάμιες δημόσιες περιοχές (κατόπιν σύμβασης) ή από ιδιόκτητους χώρους. Τα αδρανή που θραύονται στο σπαστήρα χωρίζονται σε τέσσερα κλάσματα: άμμος, γαρμπίλι, χαλίκι και σκύρα. Ωστόσο, το πρωτογενές υλικό προκοσκινίζεται, έτσι ώστε να χωριστεί η περιεχόμενη ουσία άμμος που περιέχεται σ' αυτό. Αυτή η άμμος οδηγείται στο πλυντήριο όπου καθαρίζεται από τις όποιες επιβλαβείς προσμίξεις. Τα σκύρα (>32mm) οδηγούνται και πάλι στον σπαστήρα. Μέρος του γαρμπιλιού οδηγείται στο τριβείο που γίνεται άμμος. Η συγκεκριμένη άμμος οδηγείται και πάλι στο δονητικό σύστημα κοσκίνων του σπαστήρα όπου ξανακοσκινίζεται. Μέρος του χαλικιού και της άμμου πλένονται ώστε ν' απομακρυνθούν οι σκόνες και οι τυχόν προσμίξεις που περιέχουν.

Η μεταφορά από τον σπαστήρα στη μονάδα σκυροδέματος γίνεται με αυτοκίνητα φορτηγά -ανατρεπόμενα, ενώ η τροφοδότηση της μονάδας γίνεται με φορτωτή. Παραστατικά τα υλικά από τον σπαστήρα μέσω των φορτηγών αυτοκινήτων αδειάζουν σε σωρούς κοντά στη μονάδα σκυροδέματος απ' όπου ο φορτωτής τα φορτώνει στις αποθήκες των αδρανών. Η μεταφορά των αδρανών από τις αποθήκες του σπαστήρα στο φορτηγό με μεταφορικές ταινίες, από το φορτηγό στις σωρούς που ο φορτωτής τις αναμοχλεύει και από τον φορτωτή στις αποθήκες (depot) της μονάδας σκυροδέματος, δημιουργεί ίσως διαχωρισμό του λεπτού (και ελαφρού υλικού) από το χοντρό (και πιο βαρύ), όπως γίνεται όταν τα υλικά πέφτουν



Εικ. 6.7: Λειτουργικά στοιχεία αναμικτήρα



Εικ. 6.8: Αυτοκίνητο - Αναδευτήρας



Εικ. 6.9: Άποψη σπαστήρα



Εικ. 6.10: Άποψη πλυντηρίου αδρανών υλικών



Εικ. 6.11: Αποψη τριβείου αδρανών υλικών



Εικ. 6.12: Λειτουργία πλυντηρίου αδρανών υλικών

από μεγάλο ύψος. Το συγκεκριμένο γεγονός αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα και αποτελεί αναπόφευκτο παράγοντα για κάθε εργοστάσιο παραγωγής σκυροδέματος.

Ωστόσο, η γνώση και η εμπειρία των ηυθυνόντων καθώς και η συνεχής παρακολούθηση από έμπειρο πολιτικό μηχανικό, αποτρέπουν φαινόμενα τέτοιου είδους.

Ένα άλλο γεγονός που πρέπει να ληφθεί υπόψη, είναι ότι τα αδρανή που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή σκυροδέματος κατά τις πρώτες πρωινές ώρες, έχουν ίσως μικρότερη υγρασία απ' αυτά που χρησιμοποιούνται αργότερα (και αποτελούν παραγωγή της ημέρας), καθώς έχουν μείνει καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας στις σωρούς και στις αποθήκες, με αποτέλεσμα σημαντικό μέρος της υγρασίας να έχει απομακρυνθεί. Βέβαια, υπάρχει και η άποψη πως τα αδρανή που μένουν εκτεθειμένα καθόλη τη διάρκεια της νύχτας, περιέχουν μεγαλύτερη υγρασία καθώς τη νύχτα η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη και η υγρασία μεγαλύτερη. Το φαινόμενο αυτό βέβαια δεν επηρεάζει την ποιότητα του σκυροδέματος, καθώς η περιεχόμενη υγρασία αλλά και η χρησιμοποιούμενη ποσότητα νερού ελέγχονται και μετρούνται.

6.1.6 Χρησιμοποιούμενη σύνθεση

Η εκτέλεση της εργασίας πραγματοποιήθηκε σε σκυρόδεμα ποιότητας C16/20. Η ακριβής σύνθεση με όλα τα χαρακτηριστικά των υλικών αλλά και η κοκκομετρική διαβάθμιση παρουσιάζονται παρακάτω. Βέβαια η συγκεκριμένη πρότυπη σύνθεση αφορά βάρη που δίνονται για ξερά υλικά. Στην πραγματικότητα όμως τα υλικά δεν είναι ποτέ ξερά (ειδικά τους χειμερινούς μήνες). Αυτός είναι και ο λόγος που η πραγματικά χρησιμοποιούμενη σύνθεση (παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 9^ο παράγραφος 9.12) διαφέρει από την πρότυπη.

Στις αμέσως επόμενες σελίδες παρατίθεται η πρότυπη μελέτη σύνθεσης με τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά της καθώς και το κοκκομετρικό διάγραμμα των αδρανών υλικών. Η αναλογία αυτούσιας ποταμίσιας άμμου και θραυστής είναι 1:2.

C 16/20s=40 kg/cm² f_a=266 kg/cm²**ΥΛΙΚΑ****ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ %****Βάρος υλικών σε kg
για 1 m³ σκυρ/τος**

Αμμος ποτ. αυτούσια

19

330

Αμμος ποτ. θραυστή

37

660

Σκύρα

44

780

Τσιμέντο TITAN II/35

350

Νερό ολικό

200

Φαιν. βάρος νωπού σκυρ/τος

2320

N/T = 0,57

Κάθιση 11,5 cm

Πλαστικότητα καλή

ANTOXES2ημ. 112 kg/cm²7ημ. 192 kg/cm²28ημ. 295 kg/cm²**Σημ. 1** Τα βάρη δίνονται για ξερά υλικά.

Αδρανή υλικά

1 . Φυσικά χαρακτηριστικά

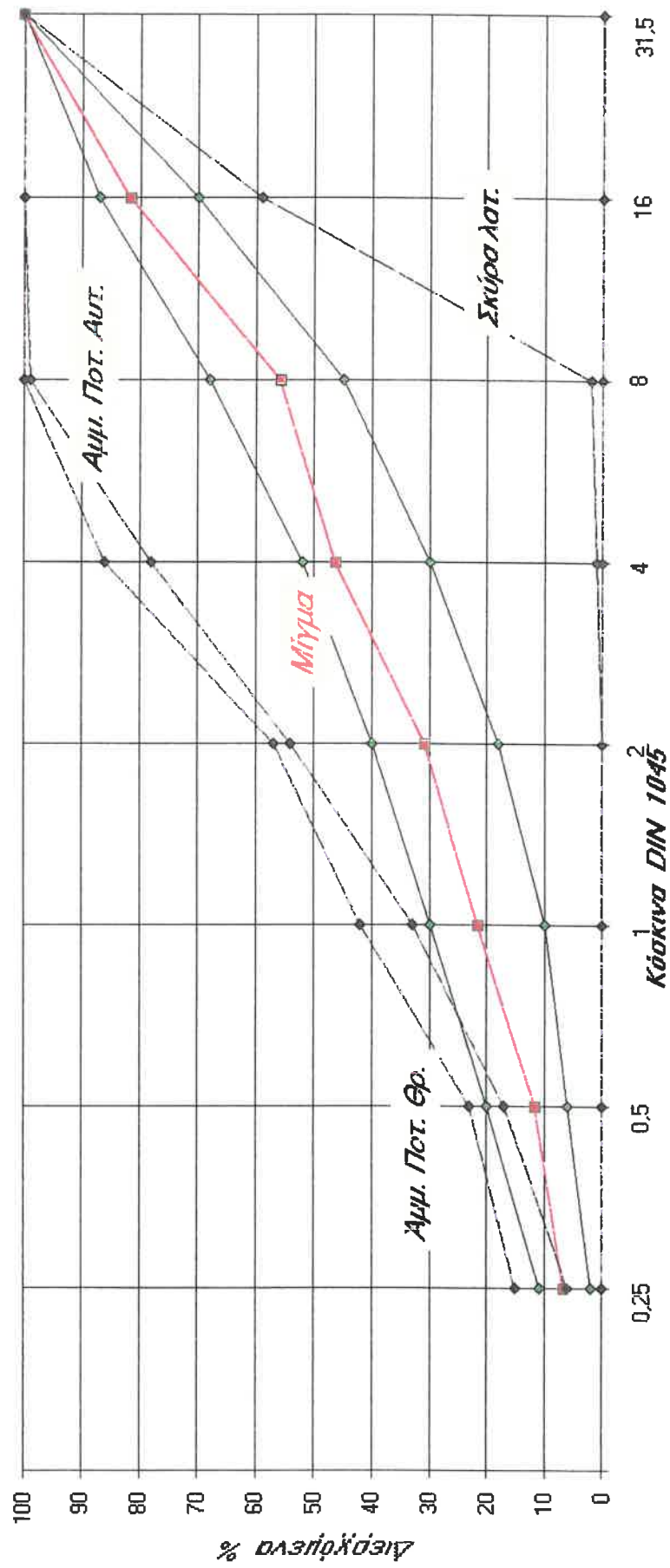
Οι κοκκομετρικές καμπύλες των υλικών δίνονται στα συνημμένα διαγράμματα.

Παιπάλη άμμου ποτ. θραυστής	10,00%
Παιπάλη άμμου ποτ. αυτούς.	2,30%
Ισοδύναμο άμμου ποτ. θραυστής	68%
Ισοδύναμο άμμου ποτ. αυτούς.	93%
Υδατοαπορροφητικότητας άμμου ποτ. αυτούς.	1,87%
Υδατοαπορροφητικότητας άμμου ποτ. θραυστής	1,90%
Υδροαπορροφητικότητας σκύρων	0,57%

2 . Χημική ανάλυση % κ.β.

Άμμος ποτ. αυτούσια:	SiO ₂	46,17
	Al ₂ O ₃	2,55
	Fe ₂ O ₃	1,54
	CaCO ₃	49,36
	MgCO ₃	0,08
	K ₂ O	0,30

Κοκκομετρικό Διάγραμμα



6.2 Συμβολισμοί-Περιγραφή λήψης δοκιμίων-Συντήρηση

Η λήψη των δοκιμίων στο συγκεκριμένο εργοστάσιο άρχισε στις **06/02/1997** και ολοκληρώθηκε στις **02/04/1997**. Καθόλη αυτή τη διάρκεια οι καιρικές συνθήκες ήταν καλές, χωρίς ιδιαίτερες αυξομειώσεις στη θερμοκρασία.

Οι λήψεις των δοκιμίων έγιναν με κύριο σκοπό να προσδιορίσουμε την τυπική απόκλιση της μονάδας σκυροδέματος, αλλά και του προσδιορισμού της διαφοράς που παρουσιάζει η ποιότητα και αντοχή του σκυροδέματος στο εργοστάσιο (στον αναμεικτήρα), σε σχέση μ' αυτή που παραδίδεται στο έργο. Η πιθανή αυτή διαφορά στην ποιότητα και αντοχή του σκυροδέματος, επιτείνεται από το γεγονός ότι ο κύριος όγκος των έργων απέχει από το εργοστάσιο κατά μέσο όρο 20-30min. Στο χρονικό αυτό διάστημα και λαμβάνοντας υπόψη ότι η μεταφορά γίνεται με αυτοκίνητα αναδευτήρες (εικ.6.8), έχει πραγματοποιηθεί καλύτερη ανάμειξη και συνεπώς το μείγμα έχει καλύτερη ομοιογένεια. Σε όλη αυτή τη διαδικασία παίζει σημαντικό ρόλο η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, καθώς επίσης και οι στροφές με τις οποίες γυρνάει το αυτοκίνητο αναδευτήρας, αν και σύμφωνα με τον κανονισμό τεχνολογίας του σκυροδέματος δεν πρέπει να είναι περισσότερες από 2~6 στροφές ανά λεπτό, εφόσον έχει προηγηθεί πλήρης ανάμειξη (βίαια) στον αναμεικτήρα. Στη δική μας περίπτωση πραγματοποιείται βίαιη ανάμειξη εντός του αναμεικτήρα. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί πως το χρησιμοποιούμενο σκυρόδεμα είναι αντλήσιμο. Τα χαρακτηριστικά του δηλαδή, είναι τέτοια που να χρησιμοποιείται αντλία για τη μεταφορά του από το αυτοκίνητο-αναδευτήρα στο έργο.

6.2.1 Συμβολισμοί δοκιμίων

Από τα παραπάνω και σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ., χρειαζόμασταν τουλάχιστον 60 δοκίμια προκειμένου να προσδιορίσουμε την τυπική απόκλιση, χωρίς να χρησιμοποιήσουμε συντελεστή αναγωγής. Υπενθυμίζεται ότι στην περίπτωση που δεν υπάρχουν 60 δοκίμια, ο Κ.Τ.Σ. καθορίζει συντελεστές αναγωγής που φαίνονται στον πίνακα 5.2.2.1 του Κ.Τ.Σ. (και στον πίνακα 2.3 σελ. 44 της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας).

Έτσι παίρναμε κάθε ημέρα από τρία δοκίμια που τα συμβολίζαμε **M**, **M'** και **B**. Ωστόσο, υπήρχαν κάποιες ημέρες που πήραμε επτά δοκίμια **M**, επτά **M'** και ένα **B**. Με αυτά τα δοκίμια ελέγχεται παρακάτω στο Κεφάλαιο 9 η ομοιογένεια των

αναμειγμάτων του αναμεικτήρα, καθώς επίσης και η ποιότητα του σκυροδέματος με το κριτήριο συμμόρφωσης Α. Οι συμβολισμοί των δοκιμών έχουν ως εξής:

(M): πρόκειται για το δοκίμιο του αναμεικτήρα που παίρναμε τις πρώτες πρωινές ώρες. Ο αναμεικτήρας φόρτωνε και άδειαζε στο αυτοκίνητο μεταφοράς 2 ή 3 αναμείγματα. Ως επί το πλείστον φόρτωνε 3. Να σημειώσουμε ότι όταν το αυτοκίνητο φορτώνεται, η βαρέλα γυρίζει στις γρήγορες στροφές, προκειμένου ν' απορροφήσει το σκυρόδεμα στο μπροστινό μέρος, αλλά και για να μην βουλώσει (ταπώσει) η πόρτα εξόδου του αναμεικτήρα. Αμέσως μετά το τέλος του αδειάσματος και του τρίτου αναμείγματος από τον αναμεικτήρα η βαρέλα σταματάει να γυρνάει. Απ' το τέλος της βαρέλας λαμβάνεται δείγμα σκυροδέματος από το οποίο φτιάχνεται το δοκίμιο **M**. Αυτό το **M** αντιπροσωπεύει το δοκίμιο του αναμεικτήρα και η αντοχή του την ποιότητα σκυροδέματος που παράγει ο αναμεικτήρας.

Η όλη διαδικασία λαμβάνει χώρα διότι είναι αδύνατο να ληφθεί δοκίμιο μέσα από τον αναμεικτήρα καθώς αυτός δε γίνεται να σταματήσει κατά την ώρα παραγωγής κι έτσι θεωρούμε (με μικρό σφάλμα) ότι δοκίμιο που λαμβάνεται είναι αντιπροσωπευτικό του αναμεικτήρα.

(B):στη συνέχεια ο οδηγός του οχήματος πλένει την καρούτα από τα υπολείμματα σκυροδέματος του δείγματος του δοκιμίου **M** και βάζει τη βαρέλα να γυρίσει στις γρήγορες στροφές για 5 λεπτά της ώρας. Με τον τρόπο αυτό προσπαθούμε να ομογενοποιήσουμε τα τρία αναμείγματα σε ένα με κοινά χαρακτηριστικά. Θεωρούμε δηλαδή με τον τρόπο αυτό, ότι η παρτίδα αυτή των τριών αναμειγμάτων, αντιπροσωπεύει το σκυρόδεμα που παραδίδεται στο έργο. Έτσι, από το ομογενοποιημένο αυτό ανάμειγμα, λαμβάνεται και πάλι από το τέλος της βαρέλας δείγμα, από το οποίο κατασκευάζεται το δοκίμιο που συμβολίσαμε **B** και αντιπροσωπεύει την ποιότητα του σκυροδέματος που θεωρητικά παραδίδεται στο έργο.

(M'):αργότερα κατά τις πρώτες μεσημεριανές ώρες μεταξύ 13:00 και 14:00 γινόταν η λήψη του δοκιμίου **M'** κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο με αυτόν του **M**.

Οι λόγοι που παίρναμε **M** και **M'** (δηλ. δύο δοκίμια αντιπροσωπευτικά του αναμεικτήρα) είναι ότι θα καταφέρναμε να μειώσουμε το χρόνο λήψης από 60 εργάσιμες ημέρες (αν παίρναμε ένα ημερησίως) σε 30. Επίσης, με το διαχωρισμό "πρωί~μεσημέρι" μας δίνεται η δυνατότητα να παρατηρήσουμε την επιρροή που έχει ο ανθρώπινος παράγοντας, καθώς επίσης και την ποιότητα στη διάρκεια της ημέρας και όχι σ' ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Κατά τις πρωινές άλλωστε ώρες, ο φόρτος εργασίας είναι μεγάλος, αφού φορτώνονται όλα τα αυτοκίνητα και η

ευθύνη του ανθρώπινου παράγοντα μεγαλύτερη. Τις μεσημεριανές δε ώρες υπάρχει κούραση.

Όλα τα παραπάνω αποτελούν στοιχεία που εξετάζονται παρακάτω στο Κεφάλαιο 9 και σχολιάζονται ανάλογα.

Πρέπει να τονισθεί ότι κάθε φορά γινόταν δοκιμή κάθισης. Στην πραγματικότητα γίνονταν δύο καθίσεις για κάθε δείγμα και λαμβανόταν ο μέσος όρος. Η δοκιμή κάθισης γινόταν σύμφωνα με τη μέθοδο ελέγχου ΣΚ-309. Έτσι, πριν από κάθε δοκιμή καθίσεως, καταβρεχόταν τόσο ο κώνος όσο και η άκαμπτη επίπεδη επιφάνεια. Με τα πόδια μας πατούσαμε τα περύγια του κώνου ώστε αυτός να παραμένει σταθερός. Η πλήρωση του κώνου γινόταν σε τρεις στρώσεις, ενώ η συμπίκνωση πραγματοποιείτο με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που γινόταν και στα δοκίμια.

6.2.2 Λήψη Δοκιμίων

Η λήψη των δοκιμίων **M**, **M'** και **B** έγινε σύμφωνα με τη μέθοδο ΣΚ-303. Χρησιμοποιήθηκαν μήτρες τετραγωνικής διατομής με πλευρά 15cm. Οι μήτρες πριν από κάθε πλήρωση καθαρίζονταν καλά, δένονταν και οι εσωτερικές παρειές επαλείφονταν με λεπτό στρώμα ορυκτέλαιου.

Από το δείγμα σκυροδέματος, που ήταν μέσα σε καρότσι, πληρώνονταν οι μήτρες σε δύο στρώσεις, ενώ η συμπίκνωση γινόταν με ράβδο διαμέτρου Φ16, μήκους 60cm, με στρογγυλεμένα άκρα και με 25 κτύπους για κάθε στρώση.

Στη συνέχεια διαστρωνόταν η επιφάνεια του δοκιμίου με το μιστρί, έτσι ώστε να είναι ομοιόμορφη και όσο πιο επίπεδη γινόταν. Πάνω στο δοκίμιο κολλούσαμε ένα χαρτί με το συμβολισμό του δοκιμίου και την ημερομηνία παρασκευής.

Όταν ξεκαλουπώναμε τα δοκίμια σημειώναμε με σπρέϋ (χρώματος) τις πλευρές κατά τις οποίες θέλαμε να τοποθετηθεί το δοκίμιο στη μηχανή θραύσης. Πρόκειται για τις πλευρές που βρίσκονταν προς το ισχυρό μέλος της μήτρας. Οι μήτρες που χρησιμοποιούσαμε αποτελούνταν από μία βάση και 4 ξεχωριστές πλευρές. Οι δύο απ' αυτές είναι κατασκευασμένες από πιο χοντρό μέταλλο, ώστε να μη δημιουργούνται παραμορφώσεις κατά το σφίξιμο. Με τον τρόπο αυτό αποφύγαμε και τον έλεγχο με φύλλερ της επιπεδότητας των εδρών των δοκιμίων, αν και στο εργοστάσιο του TITAN γινόταν πάντα (έστω και προληπτικά).

6.2.3 Η συντήρηση στο εργοστάσιο

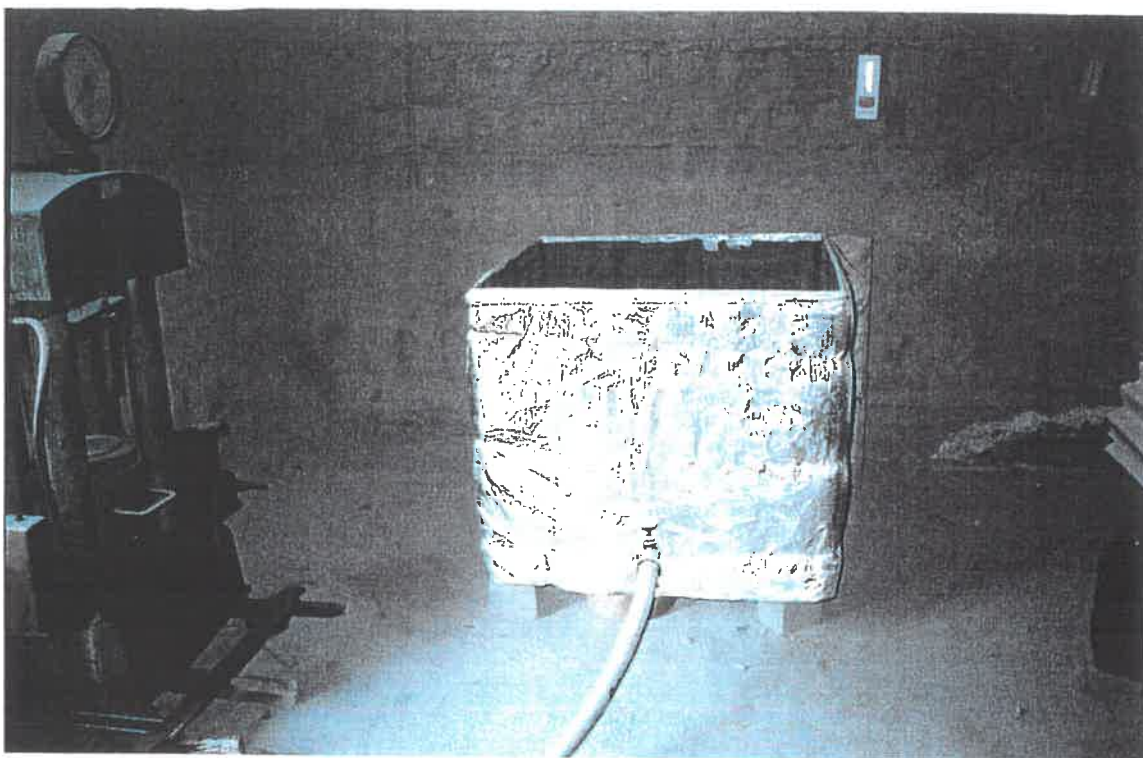
Τα δοκίμια μετά την παρασκευή τους φυλάσσονταν σε κλειστό κατάλληλο χώρο έως ότου ξεκαλουπωθούν. Η ξεκαλούπωσή τους γινόταν 20~22 ώρες μετά την παρασκευή τους και τοποθετούνταν μέσα σε νερό σε μεταλλική δεξαμενή, που στο εξωτερικό της είχε μονωθεί με υαλοβάμβακα (εικ. 6.14).

Δύο φορές τη μέρα (πρωί και αργά το απόγευμα) λαμβάνονταν και σημειώνονταν οι θερμοκρασίες της αποθήκης και της δεξαμενής συντήρησης. Οι θερμοκρασίες αυτές αναφέρονται στο κεφάλαιο 10

Τα δοκίμια σπάζονταν σε ηλικία 28 ημερών. Όπως είναι φυσικό κάποιες απ' αυτές τις μέρες τα δοκίμια έμεναν στη δεξαμενή συντήρησης του Αιγίου και τις υπόλοιπες στο θάλαμο συντηρήσεως του ομίλου TITAN στην περιοχή της Μαγούλας Αττικής. Στο εργαστήριο του ομίλου TITAN έγιναν και οι θραύσεις των δοκιμίων. Ο θάλαμος συντήρησης του εργαστηρίου είχε σταθερή θερμοκρασία 18°C. Και εδώ όπως και στο Αίγιο, τα δοκίμια φυλλάσσονταν μέσα στο νερό.



Εικ. 6.13: Γενική άποψη συγκροτήματος σπαστηροτριβείου



Εικ. 6.14: Δεξαμενή αποθήκευσης και συντήρησης δοκιμίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο**ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ [1]****ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Οι ιδιότητες του σκυροδέματος διακρίνονται σε ιδιότητες νωπού σκυροδέματος (πριν αυτό αρχίσει να πήζει) και σε ιδιότητες στερεού σκυροδέματος. Είναι σημαντικό ν' αναφερθούν εκτενώς ορισμένες απ' αυτές, καθότι μας βοηθούν ν' αντιληφθούμε καλύτερα τις ευαισθησίες και δυνατότητες του ανισότροπου αυτού υλικού. Ορισμένες απ' αυτές δε, συμμετέχουν στη σωστή ή όχι, τελική (χαρακτηριστική) αντοχή του σκυροδέματος.

7.1 Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος [1]**7.1.1 Εξίδρωση [1]**

Ονομάζεται το φαινόμενο που παρουσιάζεται πριν από την πήξη, και κατά το οποίο το νερό διαχωρίζεται από τα στερεά συστατικά του σκυροδέματος.

Μετά τη διάστρωση και τη δόνηση, κι ενώ το υλικό είναι ακόμα πλαστικό, τα στερεά συστατικά καθιζάνουν λόγω της βαρύτητας, ενώ το νερό, λόγω των τριχοειδών δυνάμεων, έχει την τάση να κινηθεί προς τα επάνω. Το νερό αυτό που εμφανίζεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος εξατμίζεται.

Η εξίδρωση επομένως, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του τελικού όγκου του μείγματος και την απομάκρυνση μέρους του νερού. Η ελάττωση του νερού είναι βέβαια επιθυμητή, αφού μ' αυτόν τον τρόπο μειώνεται το πορώδες του σκυροδέματος, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της πυκνότητας και της αντοχής.

Ωστόσο, το φαινόμενο του διαχωρισμού είναι επιβλαβές, λόγω της ανομοιογένειας που δημιουργεί μέσα στη μάζα του σκυροδέματος.

Η εξίδρωση ακολουθείται από τα παρακάτω δυσμενή φαινόμενα:

- 1) Καθώς το νερό κινείται προς τα πάνω λόγω των τριχοειδών δυνάμεων, συμπαρασύρει το λεπτόκοκκο τμήμα του τσιμέντου. Το μείγμα γίνεται φτωχότερο

σε τσιμέντο και στην επάνω επιφάνεια δημιουργείται λεπτό στρώμα κονίας που ρηγματώνεται και αποφλοιώνεται.

- 2) Κατά τη δίοδο του νερού ανάμεσα από τα στερεά συστατικά, δημιουργούνται μέσα στον τσιμεντοπολτό λεπτοί σωληνίσκοι.
- 3) Η συγκέντρωση του νερού εμφανίζεται τοπικά και στις κοιλότητες μεταξύ των σκύρων, όπου γίνεται τοπική συγκέντρωση νερού, με αποτέλεσμα τη δημιουργία κοιλοτήτων (σχ.7.1) [1].
- 4) Το ίδιο φαινόμενο δημιουργείται και σε όλο το μήκος κάτω από τις ράβδους του οπλισμού, όπου το κενό που σχηματίζεται, μειώνει την επιφάνεια συνεργασίας ανάμεσα στο σκυρόδεμα και στο σίδηρο, και συγχρόνως αυξάνει τον κίνδυνο διαβρώσεως των οπλισμών.

Το φαινόμενο της εξιδρώσεως επιτείνεται με την αύξηση του νερού αναμειξεως, καθώς και με την έλλειψη λεπτόκοκκων υλικών, δηλαδή της άμμου και του τσιμέντου. Κάθε τσιμέντο βέβαια έχει διαφορετική ικανότητα συγκρατήσεως νερού (σχ.7.2) [1].

Η ταχύτητα ενυδατώσεως είναι αποφαστικής σημασίας. Γι' αυτό και η χρήση επιβραδυντικών προσθέτων ενισχύει την εμφάνιση της εξιδρώσεως. Αντίθετα η αύξηση της περιεκτικότητας σε αέρα δρα ανασταλτικά, καθότι ο αέρας (οι φυσαλλίδες) παρεμποδίζουν την κίνηση του νερού.

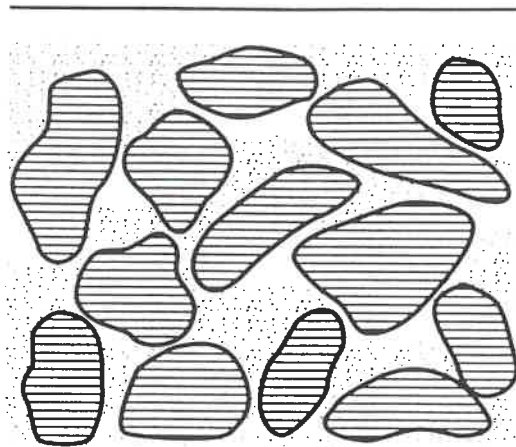
Τρόπο αντιμετώπισης των δυσμενών επιδράσεων της εξιδρώσεως αποτελεί η αναμόχλευση με επαναδόνηση της μάζας. Με την επαναδόνηση οι κόκκοι επαναδιατάσσονται, ενώ λόγω της μειώσεως του νερού (που προκαλείται από την επαναδόνηση) και μη εμφανίσεως πλέον περαιτέρω εξιδρώσεως, βελτιώνεται η ποιότητα του σκυροδέματος.

Στη βιβλιογραφία αναφέρεται αύξηση της αντοχής που μπορεί να φθάσει και το 14%, συνήθως όμως η αύξηση είναι της τάξεως του 5%. [3]

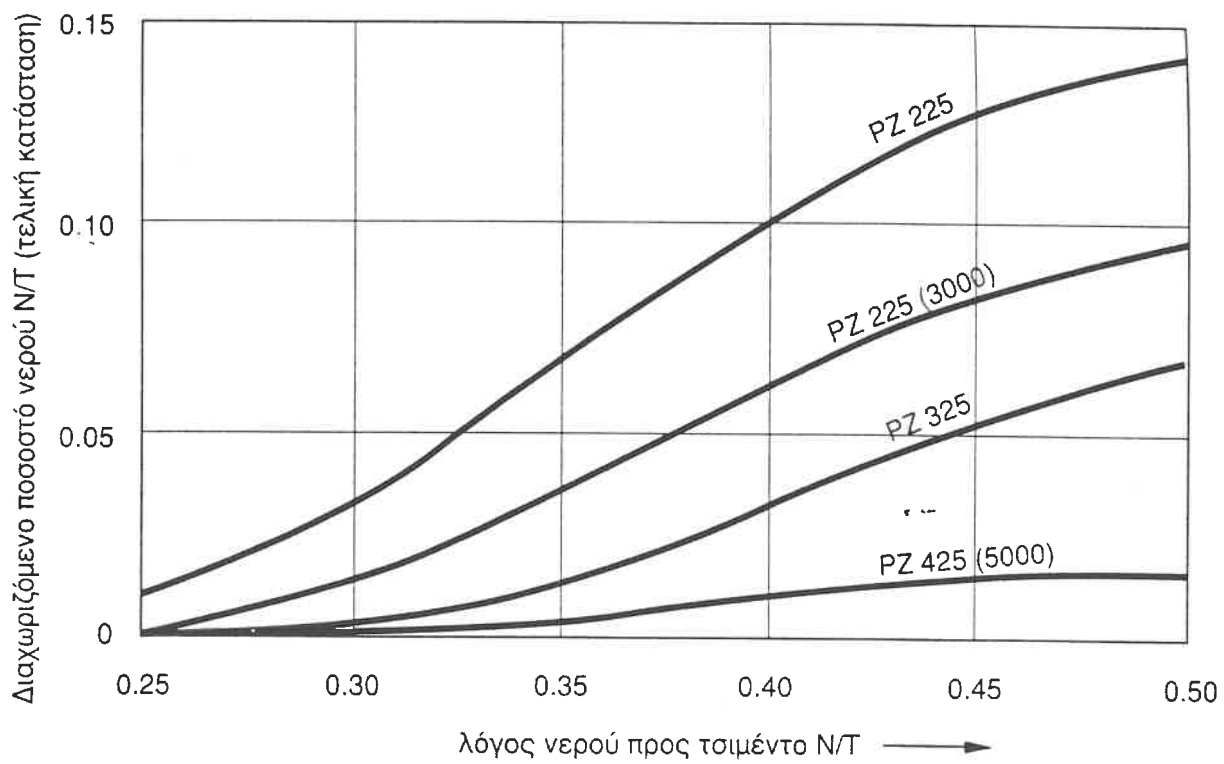
Απαιτείται όμως ιδιαίτερη προσοχή στην εκλογή της κατάλληλης στιγμής για την αναμόχλευση, διότι πέρα από κάποιο χρονικό όριο, μπορεί να καταστραφεί με την αναμόχλευση η κρυσταλλική δομή της κονίας.

7.1.2 Απόμειξη [1]

Όπως αναφέρθηκε και στο φαινόμενο της εξιδρώσεως, τα στερεά συστατικά διαχωρίζονται σε σύνολο από το νερό, αλλά διαχωρίζονται και μεταξύ τους, σύμφωνα με το βάρος τους. Έτσι, τα βαρύτερα κινούνται προς τα χαμηλότερα



Σχήμα 7.1 Σχηματική παράσταση της εξιδρώσεως. [1]



Σχήμα 7.2 Σχέση μεταξύ ποιότητας τσιμέντου και εξιδρώσεως.

στρώματα και τακτοποιούνται σε στρώσεις ανάλογα με το βάρος τους. Το φαινόμενο καλείται **απομείξη** του σκυροδέματος.

Σε περίπτωση που οι κόκκοι προέρχονται από το ίδιο πέτρωμα και επομένως έχουν το ίδιο ειδικό βάρος, ο διαχωρισμός γίνεται ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων.

Το φαινόμενο της απομείξεως είναι από τα πιο καταστρεπτικά για την αντοχή και την ποιότητα του σκυροδέματος, διότι μεταβάλλει τις αναλογίες μείξεως κατά τρόπο ανομοιόμορφο και απρόβλεπτο.

Το φαινόμενο μπορεί ν' αποφευχθεί (ή να μειωθεί στο ελάχιστο) με τις σωστές αναλογίες υλικών. Η σωστή περιεκτικότητα σε τσιμεντοπολτό (και λεπτόκοκκο υλικό) βοηθάει, ώστε το μείγμα να μην απομειχθεί, αφού οι εσωτερικές τριβές (ελκτικές δυνάμεις) είναι ιδιαίτερα ισχυρές. Έτσι έχουμε αύξηση της πλαστικότητας και της συνοχής.

7.1.3 Εργάσιμο [1] , [12]

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3 στην παράγραφο 3.1.3 [2], με τον όρο "εργάσιμο" ή "εργασιμότητα" χαρακτηρίζουμε γενικά την ευκολία με την οποία μπορούμε να μεταφέρουμε, διαστρώσουμε και συμπυκνώσουμε το σκυρόδεμα. Η ευκολία βέβαια με την οποία γίνεται η όποια κατεργασία του σκυροδέματος, είναι άμεσα συνδεδεμένη με το μηχανικό εξοπλισμό και τα μέσα που διαθέτουμε.

Είναι σωστότερο να ορίσουμε το "εργάσιμο" ως το έργο που απαιτείται για την υπερνίκηση των εσωτερικών τριβών, εωσότου πετύχουμε πλήρη συμπίκνωση.

Το εργάσιμο δύσκολα μπορεί ν' αποδοθεί ποσοτικά. Είναι πολύ χρήσιμη ιδιότητα, αλλά και σύνθετη, που συνδέεται με άλλες ρεολογικές ιδιότητες.

Τέτοιες ιδιότητες με τις οποίες συνδέεται και από τις οποίες εξαρτάται το εργάσιμο είναι οι ακόλουθες:

- 1) Η **ρευστότητα** που σημαίνει την ευκολία με την οποία ρέει ένα υλικό. Η ρευστότητα εξαρτάται κυρίως από την ποσότητα του νερού αναμείξεως.
- 2) Η **πλαστικότητα**, με την οποία νοείται η ικανότητα του υλικού να παραμορφώνεται χωρίς διακοπή της συνέχειάς του.
- 3) Η **συνοχή**, η οποία είναι το αποτέλεσμα των δυνάμεων που έλκουν τα μόρια του υλικού μεταξύ τους και επομένως είναι μία από τις ιδιότητες που συντελούν στην πλαστικότητα.

4) Η **συμπυκνωσιμότητα**, δηλαδή η δυνατότητα του υλικού να συμπυκνωθεί και που εξαρτάται από τον αρχικό βαθμό συμπυκνώσεως.

5) Τέλος, τον όρο **συνεκτικότητα** χρησιμοποιούμε πολλές φορές, για να εκφράσουμε άλλοτε το εργάσιμο και άλλοτε τη ρευστότητα.

Τα τελευταία χρόνια έγινε μία συστηματικότερη προσπάθεια συνδέσεως του εργάσιμου με τα ρεολογικά χαρακτηριστικά.

Το εργάσιμο αυξάνεται γενικά όσο αυξάνεται το νερό αναμείξεως, δηλαδή η ρευστότητα του μείγματος. Η ρευστότητα εξαρτάται περισσότερο από την ποσότητα του νερού αναμείξεως και πολύ λιγότερο από το λόγο νερού προς τσιμέντο.

Για την ίδια ρευστότητα το απαιτούμενο νερό ελαττώνεται γενικά, όσο ελαττώνεται η ειδική επιφάνεια των αδρανών. Έτσι, ελαττώνεται όσο αυξάνεται ο μέγιστος κόκκος και η καμπύλη κοκκομετρικής συνθέσεως των αδρανών κατεβαίνει (αυξάνεται δηλαδή το χοντρόκοκκο υλικό). Από την άλλη πλευρά όμως, η αύξηση του μέγιστου κόκκου και των χοντρόκοκκων αδρανών, συντελεί στη μείωση της πλαστικότητας και της συνοχής, με κίνδυνο την απόμειξη.

Εξάλλου, αδρανή με στρογγυλεμένους κόκκους, βοηθούν στην αύξηση της ρευστότητας και του εργάσιμου για την ίδια ποσότητα νερού.

Με την προϋπόθεση ότι το σκυρόδεμα θα συμπυκνωθεί τελείως, το εργάσιμο δεν έχει επίδραση στην τελική αντοχή του σκυροδέματος. [1]

Στην πράξη βέβαια, μικρότερος κόκκος (λεπτότερη διαβάθμιση αδρανών) απαιτεί, για το ίδιο εργάσιμο, περισσότερο νερό, άρα για σταθερή ποσότητα τσιμέντου, θα έχουμε μικρότερη αντοχή. [12]

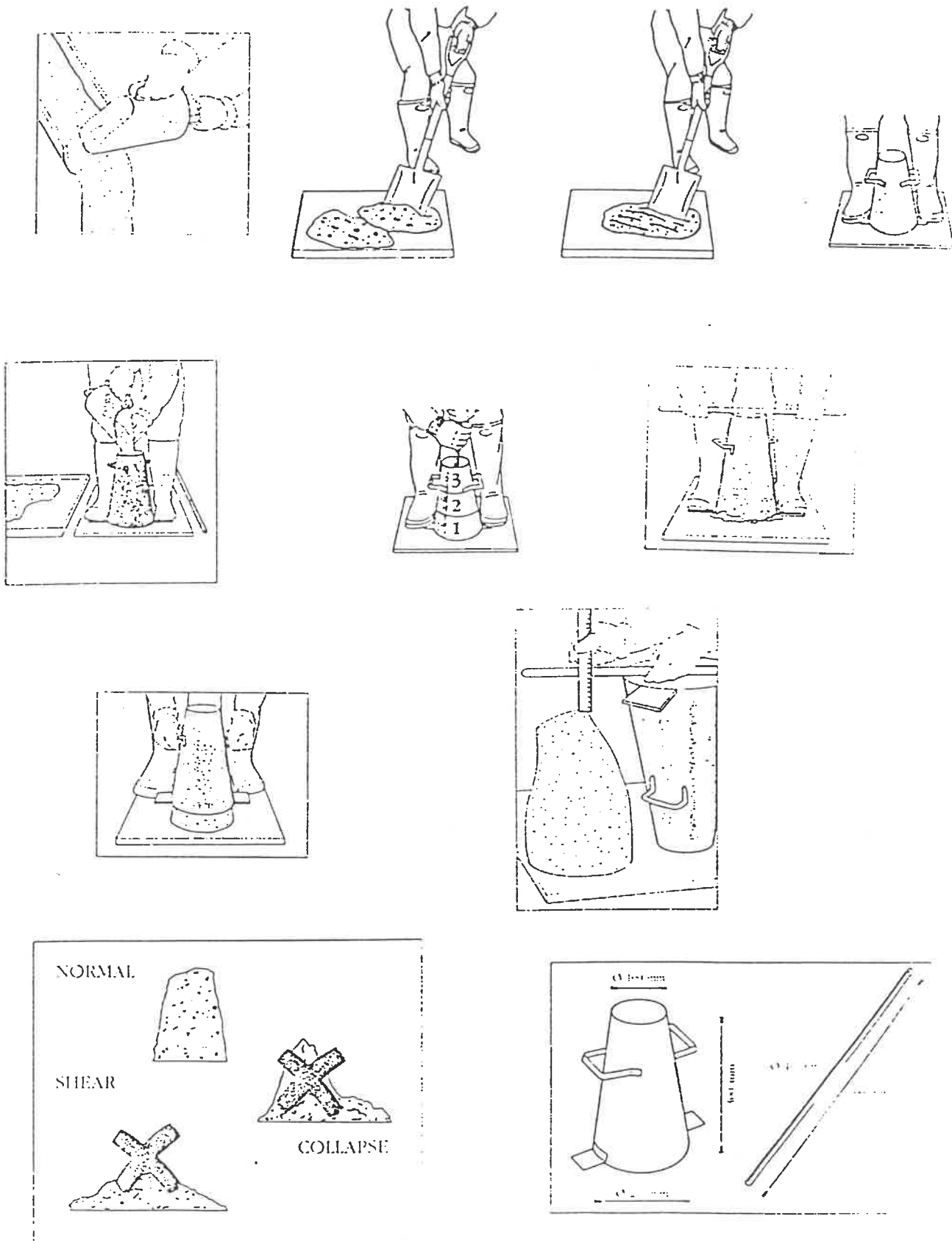
Για το εργάσιμο θα πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπόψη την επιρροή της θερμοκρασίας του νωπού σκυροδέματος, αλλά και του χρόνου που μεσολαβεί από την ανάμειξη μέχρι τη διάστρωση και τη συμπύκνωση.

Υψηλότερη θερμοκρασία περιβάλλοντος ή και σκυροδέματος, συνεπάγεται ταχύτερη ενυδάτωση, άρα μικρότερο εργάσιμο.

Επίσης μεγάλος χρόνος, συνεπάγεται μεγαλύτερη πρόοδο στην ενυδάτωση, άρα και πάλι μικρότερο εργάσιμο. [12]

Για την μέτρηση της εργασιμότητας έχουν καθιερωθεί διάφορες δοκιμές, αλλά η πλέον συνηθισμένη είναι η δοκιμή της κάθισης (σχ. 7.3). Αυτή η δοκιμή πραγματοποιείται μόνο στα πλαστικά σκυροδέματα. Δεν χρησιμοποιείται στα ύφυγρα, γιατί η συμπύκνωση γίνεται με ισχυρά δονητικά μέσα και συνεπώς η εργασιμότητα δεν έχει μεγάλη σημασία. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται διάφορες δοκιμές, όπως η αγγλική δοκιμή του συντελεστή συμπυκνώσεως

Κεφάλαιο 7°



Σχήμα 7.3 Διαδικασία δοκιμής κάθισης

(compacting factor) και η δοκιμή VEBE που έχει τύχει γενικότερης αποδοχής.

Στα ρευστά σκυροδέματα η αυξημένη ρευστότητα προσδίδεται συνήθως, με προσθήκη ενός υπερευστοποιητικού και όχι με την αύξηση του λόγου N/T. Στα σκυροδέματα αυτά η πλέον συνηθισμένη δοκιμή είναι η δοκιμή της εξάπλωσης (σχ. 7.4). Η μέση διάμετρος της μάζας του σκυροδέματος όπως έχει διαμορφωθεί, ονομάζεται μέτρο εξάπλωσης.

Καθεμιά από τις παραπάνω μεθόδους (κάθιση, μέτρο εξάπλωσης, μέτρο συμπτκνώσεως, δοκιμή Vebe) είναι κατάλληλη για διαφορετική περιοχή εργάσιμου.

Ο συγκεντρωτικός πίνακας (7.1) δίνει την αντιστοιχία των τιμών που προκύπτουν από διάφορες μεθόδους που έχουν προταθεί για τη μέτρηση του εργάσιμου.

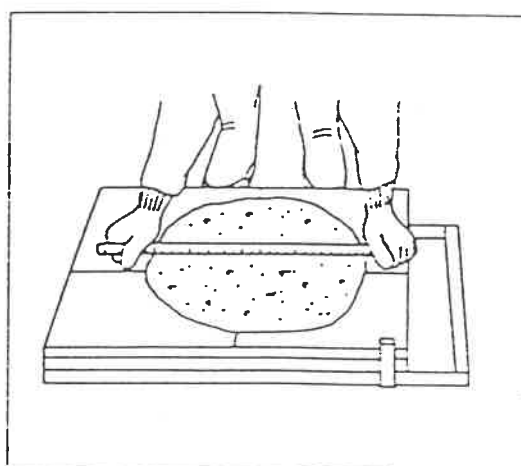
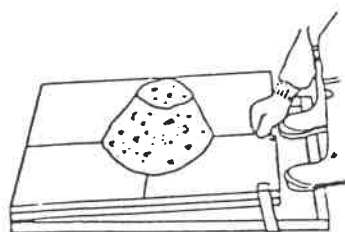
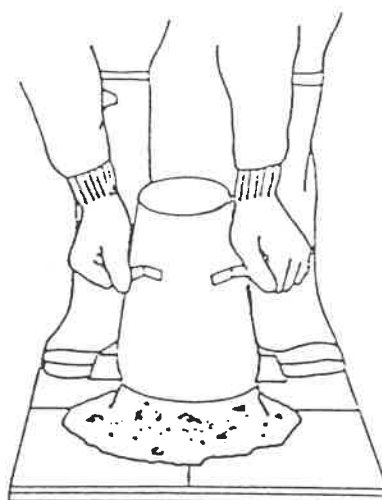
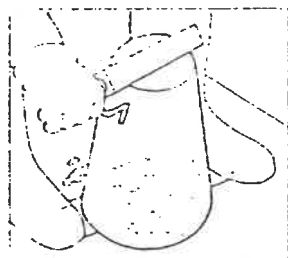
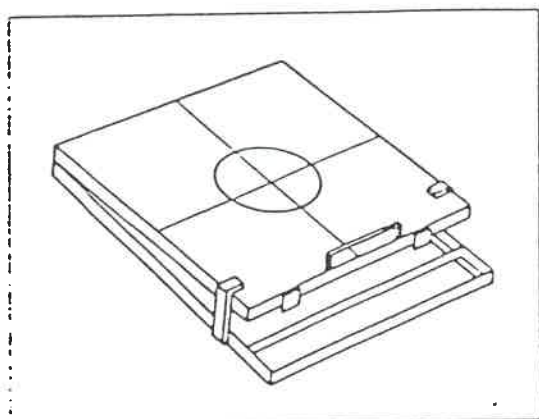
Ο Ελληνικός Κ.Τ.Σ. προδιαγράφει για τη μέτρηση του εργάσιμου την κάθιση (Προδιαγραφή ΣΚ-309), την εξάπλωση (ΣΚ-318) και για ύφυγρα μείγματα τη μέθοδο Vebe (ΣΚ-310).

Τέλος, η εργασιμότητα πρέπει να προδιαγράφεται από το μελετητή ή τον επιβλέποντα, διαφορετικά η μελέτη συνθέσεως θα γίνεται με 10~12cm.

Συνήθως όμως, στην πράξη απαιτούνται εργασιμότητες της τάξεως των 14~15cm καθίσεως, πράγμα το οποίο μπορεί να επιτευχθεί, χωρίς μείωση της αντοχής, με την προσθήκη υπερευστοποιητικών.

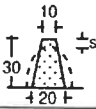
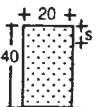
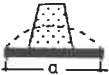
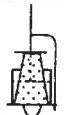
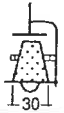
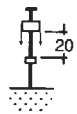
7.2 Ιδιότητες του στερεού σκυροδέματος [1]

Οι ιδιότητες του στερεού σκυροδέματος είναι πολλές και ποικίλουν. Η κυριότερη όμως είναι η αντοχή του. Αυτό το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του άλλωστε, είναι που το κάνει τόσο σπουδαίο. Θα αναφερθούν παρακάτω στοιχεία και ιδιότητες που αφορούν γενικά την αντοχή. Κάποιες ιδιότητες θ' αναφερθούν επιγραμματικά ενώ κάποιες απ' αυτές αναπτύσσονται λεπτομερέστερα. Στο 8° Κεφάλαιο άλλωστε, "Παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή του σκυροδέματος", θα επαναληφθούν κάποια από τα στοιχεία αυτά.



Σχήμα 7.4 Διαδικασία δοκιμής εξάπλωσης

Συγκριτικός πίνακας διαφόρων μεθόδων μετρήσεως του εργασίμου

Μέθοδος μετρήσεως εργασίμου			εργασιμότητα			
			ύφυγρο	πλαστικό	ρευστό	
1		κάθιση (cm) (ABRAMS)	0 - 2	2 - 8	8 - 14	
2		Μέτρο συμπακνώσεως $v = \frac{40}{40 - s}$ (WALZ)	1,45-1,26	1,25-1,11	1,10-1,04	
3		Μέτρο συμπακνώσεως (FRITSCH)	1,40-1,19	1,25-1,11	1,05-1,00	
4		Μέτρο εξαπλώσεως (cm) (GRAF)	—	28 - 40	39 - 50	
5		Χρόνος VEBE (sec) (BÄHRNER)	40 - 8	10 - 3	3 - 1	
6		Δύναμη απομακρύνσεως κώνου (αριθμός κρούσεων) (POWERS)	50 - 27	27 - 10	11 - 3	
7		Αντίσταση διεισδύσεως (αρ. κρούσεων) (HUMMEL)	χαλαρό	8	5	2
		συμπακνωμένο	30 - 14	20 - 6	7 - 2	
8		Βάθος διεισδύσεως (cm) (GRAF)	2 - 6	6 - 14	14 - 23	
9		Χρόνος ροής (sec) (LESAGE)	60 - 30	30 - 5	5 - 1	

Πίνακας 7.1

7.2.1 Η αντοχή σε εξωτερικές δυνάμεις [1]

7.2.1.1 Γενικά για την αντοχή [1]

Μία από τις βασικές ιδιότητες του υλικού (του σκυροδέματος) είναι η αντοχή του. Αντοχή ονομάζουμε τη μέγιστη τιμή της δυνάμεως, που μπορεί να παραληφθεί και μεταβιβαστεί από ένα στοιχειώδες τμήμα του υλικού στο γειτονικό, χωρίς καταστροφή ή παραμόρφωσή του.

Στην Τεχνολογία όμως, ως αντοχή εννοούμε γενικότερα και την ικανότητα του υλικού να αναλαβαίνει και μεταβιβάζει δυνάμεις, με οριακή τιμή την παραπάνω έννοια.

Αλλά η αντοχή εξαρτάται τόσο από τη φύση και την ποιότητα του υλικού, όσο και από τη μορφή της εντατικής καταστάσεως. Διαφορετική εμφανίζεται η αντοχή σε κάποια συγκεκριμένη καταπόνηση από ένα στοιχείο σ' ένα άλλο και διαφορετική για το ίδιο στοιχείο, αν η καταπόνηση είναι αποτέλεσμα διαφορετικής εντατικής καταστάσεως.

Το σωστό στην προκειμένη περίπτωση, είναι ότι η "αντοχή" δεν είναι σταθερή ιδιότητα του υλικού, αλλά **αντοχή συγκεκριμένου υλικού σώματος σε συγκεκριμένη εξωτερική καταπόνηση.**

7.2.1.2 Η αντοχή του σκυροδέματος και ο μηχανισμός της θραύσεως [1]

Στην αντοχή του σκυροδέματος επιδρούν πρακτικοί, τεχνολογικοί παράγοντες, τόσο κατά την παρασκευή του, όσο και στη μέτρηση της αντοχής του. Οι παράγοντες αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

- οι αναλογίες συνθέσεως, δηλαδή οι ποσότητες του τσιμέντου, του νερού και των αδρανών σε κάθε κυβικό μέτρο.
- η ποιότητα των υλικών, στην οποία περιλαμβάνονται όχι μόνον η ποιότητα των τριών συστατικών, αλλά και ο βαθμός αλέσεως του τσιμέντου, το σχήμα και η μορφή των αδρανών, η κοκκομετρική διαβάθμιση, η ποιότητα του πετρώματος των αδρανών,
- τα παρασιτικά υλικά που αθέλητα εισχωρούν είτε μαζί με τους κόκκους των αδρανών είτε με το νερό,
- η συμπίκνωση του νωπού σκυροδέματος,
- η ηλικία του σκυροδέματος,

- ο τρόπος συντηρήσεως, δηλαδή οι θερμοκρασιακές και υγρομετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο γίνεται η πήξη και η σκλήρυνση του σκυροδέματος,
- η μορφή του δοκιμίου, στην οποία πρέπει να περιλάβουμε το σχήμα, το μέγεθος, την εξωτερική υφή, την επιπεδότητα ή την καμπυλότητα των παρειών και την ακρίβεια των γωνιών,
- τέλος, η μορφή της καταπονήσεως, δηλαδή ο τρόπος και η ταχύτητα φορτίσεως.

Όλοι οι παραπάνω παράγοντες έχουν συνέπεια τη δημιουργία μικροδιαφορών στη μάζα του σκυροδέματος κι επομένως διακύμανση των τιμών της αντοχής.

Ο μηχανισμός της θραύσεως άλλωστε έχει ως εξής: Μέσα στη μάζα του σκυροδέματος υπάρχουν μικρορωγμές και ασυνέχειες του υλικού, ακόμα και πριν από οποιαδήποτε καταπόνηση. Αυτές, οφείλονται κυρίως στις συστολές της κονίας κατά την πήξη, στην εξάτμιση του νερού και πολύ πιθανόν στην κακή πρόσφυση μεταξύ κονιάματος και αδρανών. Όσο το φορτίο παραμένει σταθερό και πάντως κάτω από το $1/3$ περίπου του φορτίου θραύσεως, οι ρωγμές αυτές παραμένουν σταθερές. Για φορτίο που κυμαίνεται μεταξύ $1/3$ και $2/3$ του φορτίου θραύσεως, οι μικρορωγμές αυτές πολλαπλασιάζονται κι επεκτείνονται σχετικά γρήγορα. Στο στάδιο αυτό, οι ρωγμές σχηματίζουν ένα συνεχές πλέγμα. Αυτό το πλέγμα με την αύξηση του φορτίου πέρα των $2/3$ του φορτίου θραύσεως, επεκτείνεται πάρα πολύ γρήγορα έως την κατάρρευση του υλικού.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό, ότι στην από κατασκευής ανομοιογένεια του υλικού, πρέπει να συμπεριληφθούν και οι μικρορωγμές που υπάρχουν απαρχής στο υλικό. Μία τέτοια ενέργεια είναι απαραίτητη, καθώς μπορεί αρχικά οι διασκορπισμένες αυτές μικρορωγμές να μη δημιουργούν προβλήματα, όταν όμως επιβληθεί εξωτερικό φορτίο δημιουργούνται μέσα στη μάζα του σκυροδέματος σημεία τοπικής συγκεντρώσεως τάσεων, καθώς και περιοχές εφελκυσμού. Τα σημεία αυτά αποτελούν τα σημεία από τα οποία αρχίζει η καταστροφή του υλικού.

7.2.1.3 Η αντοχή στις διάφορες μορφές καταπονήσεων [1]

Πρόκειται για την αντοχή του υλικού (σκυροδέματος) στις παρακάτω μορφές καταπονήσεων:

α) Στατική καταπόνηση σε θλίψη και εφελκυσμό.

Οι θλιπτικές αντοχές που κατορθώνουμε να πετύχουμε βρίσκονται συνήθως ανάμεσα στα όρια 5MPa και 60MPa. Η εφελκυστική αντοχή κυμαίνεται στο $1/10$ έως

1/15 της θλιπτικής αντοχής. Δεν έχει βρεθεί άμεση αντιστοιχία ανάμεσα στη θλιπτική και εφελκυστική αντοχή.

β) Πολυαξονική καταπόνηση.

γ) Καταπόνηση με μεγάλη διάρκεια.

δ) Επαναλαμβανόμενη καταπόνηση.

Επαναλαμβανόμενη καταπόνηση με το ίδιο φορτίο ή μεταβολή της τάσεως μεταξύ δύο ορίων σ_{min} και σ_{max} , μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη θραύση του υλικού, έστω και αν η μέγιστη τάση σ_{max} , δεν υπερβαίνει τη στατική αντοχή του υλικού. Το φαινόμενο αυτό, όπως είναι γνωστό, ονομάζεται **κόπωση του υλικού**.

Για να συμβεί όμως η αστοχία, πρέπει η τάση σ_{max} να υπερβαίνει κάποιο όριο, που ονομάζεται όριο κοπώσεως. Το όριο αυτό στο σκυρόδεμα βρίσκεται στα 0,65-0,70 περίπου της στατικής αντοχής.

ε) Συνεργασία σκυροδέματος και χάλυβα.

Η ιδιότητα αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία στο οπλισμένο σκυρόδεμα, που αποτελεί και το μεγαλύτερο όγκο του σκυροδέματος, που χρησιμοποιείται σήμερα στην Ελλάδα. Αναφέρεται στη συνάφεια μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος, καθώς και στην αντοχή του σκυροδέματος σε διάτμηση. Ο ρόλος της καθεμιάς από τις παραπάνω ιδιότητες είναι διαφορετικός σε κάθε περίπτωση.

Στην περίπτωση των λείων ράβδων η συνάφεια και η τριβή παίζουν μεγαλύτερο ρόλο, από τη διάτμηση του σκυροδέματος.

Αντίθετα, στην περίπτωση ράβδων με εγκάρσιες νευρώσεις, η αντίσταση στην εξόλκευση της ράβδου στηρίζεται κυρίως στη διατμητική αντοχή του σκυροδέματος.

7.2.1.4 Η ανάπτυξη της αντοχής με το χρόνο

Μία από τις θετικές ιδιότητες του σκυροδέματος είναι ότι η αντοχή του αυξάνει με το χρόνο. Ακολουθεί τον ίδιο εκθετικό νόμο που ακολουθεί και η χημική αντίδραση.

Η ανάπτυξη της αντοχής εξαρτάται πάρα πολύ από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Το γινόμενο της ηλικίας α (σε ημέρες) επί τη θερμοκρασία $(T+10)$ $^{\circ}\text{C}$, όπου T η θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε βαθμούς $^{\circ}\text{C}$:

$$R=\alpha(T+10)$$

αποδίδεται με τον όρο "**ωρίμανση του σκυροδέματος**".

7.2.1.5 Η εξάρτηση της αντοχής από την ποσότητα του νερού και τις αναλογίες συνθέσεως

Όπως έχουμε δει η αντοχή του σκυροδέματος είναι άμεσα συνδεδεμένη με το λόγο N/T , καθώς και από τις αναλογίες των άλλων υλικών, καθώς και από τον βαθμό συμπυκνώσεως.

Στα σχήματα (7.5) και (7.6) φαίνεται η ενδεικτική μορφή της εξαρτήσεως της αντοχής από το λόγο $\omega = N/T$, για διάφορους τύπους τσιμέντου, καθώς επίσης, και η ενδεικτική μορφή της εξαρτήσεως της αντοχής από το λόγο $\omega = N/T$, για διάφορες κοκκομετρικές διαβαθμίσεις αδρανών.

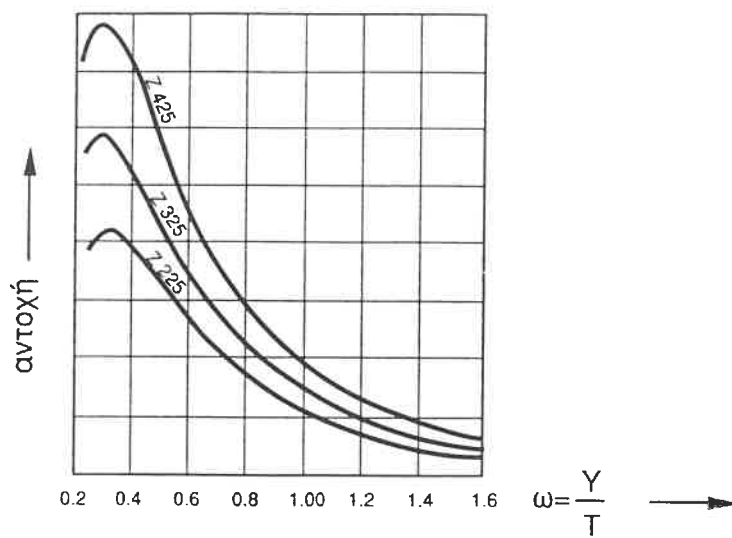
7.2.1.6 Η μέτρηση της αντοχής [13]

Η μέτρηση της αντοχής του σκληρυμένου σκυροδέματος, γίνεται με πολλούς τρόπους. Θα πρέπει να ξεχωρίσουμε την αντοχή, σε θλίψη που προσδιορίζεται από τη θραύση δοκιμίων, που έχουν ληφθεί σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ. Οι αντοχές σε θλίψη αυτών των δοκιμίων πρέπει να ικανοποιούν τα κριτήρια συμμόρφωσης του Κ.Τ.Σ. Τα συμβατικά δοκίμια δεν σχετίζονται άμεσα με την αντοχή του σκυροδέματος που έχει το έργο, γιατί οι συνθήκες σκυροδέτησης, συμπύκνωσης και συντήρησης των συμβατικών δοκιμίων δεν είναι ίδιες με αυτές του έργου. Παρέχουν όμως μία ένδειξη της αντοχής που θα μπορούσε να έχει το σκυρόδεμα του έργου, σε περίπτωση που αυτό έχει σκυροδετηθεί, συμπυκνωθεί και συντηρηθεί με σωστό τρόπο.

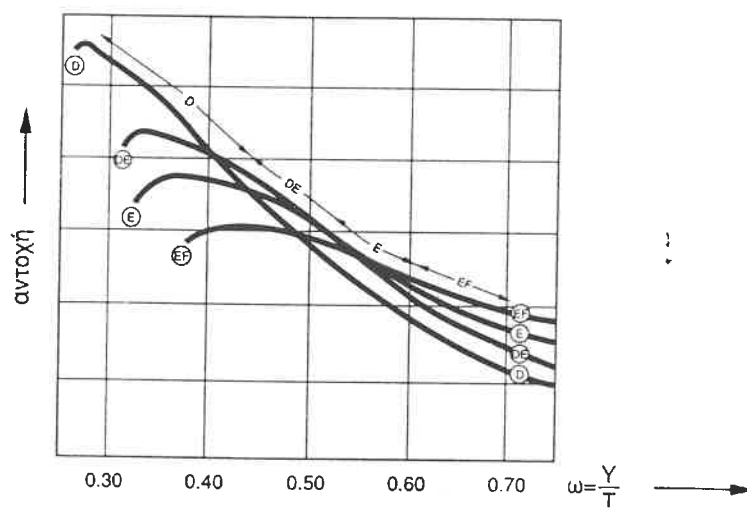
Στο σκυρόδεμα ωστόσο, εκτός από τις καταστρεπτικές μεθόδους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν κι άλλες μέθοδοι δοκιμών, με κύριο χαρακτηριστικό ότι δεν καταστρέφουν το σκυρόδεμα και γι' αυτό ονομάζονται "μη καταστρεπτικές μέθοδοι".

Θα πρέπει να τονισθεί ότι οι μη καταστρεπτικές μέθοδοι προσδιορίζουν "έμμεσα" την αντοχή του σκυροδέματος και επομένως η ακρίβεια εκτιμήσεώς τους είναι μειωμένη και εξαρτάται από πολλούς συνήθως παράγοντες. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα 2 ή και 3 μη καταστρεπτικές μέθοδοι, σε συνδυασμό με δοκιμές πυρήνων (καρότων), που λαμβάνονται από το έργο σε περιορισμένο αριθμό, λόγω των δυσκολιών της πυρηνοληψίας και των συνεπειών που αυτή επιφέρει στο έργο.

Από τις κυριότερες έμμεσες μεθόδους είναι η εκτίμηση του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας, η εκτίμηση της ταχύτητας διάδοσης των υπερήχων και η κρουσιμέτρηση (κρουσίμετρο Schmidt).



Σχήμα 7.5 Ενδεικτική μορφή της εξαρτήσεως της αντοχής απο το λόγο $\omega=N/T$, για διάφορους τύπους τσιμέντου



Σχήμα 7.6 Ενδεικτική μορφή της εξαρτήσεως της αντοχής απο το λόγο $\omega=N/T$, για διάφορες κοκκομετρικές διαβαθμίσεις αδρανών

Κεφάλαιο 7°

Κλείνοντας το συγκεκριμένο κεφάλαιο, πρέπει ν' αναφέρουμε ότι το σκυρόδεμα έχει, και επηρεάζεται από πολλές ιδιότητες του, όπως είναι η χρόνια συστολή και χρόνια διαστολή, ο ερπυσμός, το πορώδες, η θερμοαγωγιμότητα κ.α. Ωστόσο δεν κρίνεται αναγκαίο ν' αναπτυχθούν στη συγκεκριμένη εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8°

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

[1] [2] [12] [16]

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από όλα τα δομικά υλικά τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί ποτέ, το σκυρόδεμα είναι ίσως το πλέον ανομοιογενές και πλέον πολυποίκιλο από απόψεως μορφών εκδηλώσεων. Ανομοιογενές όχι μόνον κατά την εσωτερική δομή, αλλά και σε απλή ακόμη μακροσκοπική θεώρηση, έχει ιδιότητες μεταβαλλόμενες τόσο συναρτήσει της συνθέσεως και της τεχνικής παρασκευής του, όσο και συναρτήσει των συνθηκών του περιβάλλοντος -αυτό αποτελεί ιδιάζουσα ιδιορυθμία- από άποψη υγρασίας και θερμοκρασίας, και κατά το στάδιο της παρασκευής του και επί μακρότατο μετέπειτα χρόνο.

Ειδικότερα η αντοχή του σκυροδέματος, την οποία θα εξετάσουμε στα αμέσως επόμενα κεφάλαια, όχι μόνο ποικίλλει συναρτήσει των ανωτέρω παραγόντων, αλλά και επηρεάζεται έντονα αφ' ενός μεν από το είδος και τον τρόπο επιβολής και αναπτύξεως της επιπόνησης, αφ' ετέρου δε από τις διαστάσεις και τη μορφή του εξεταζόμενου στοιχείου.

Πάντα αυτά δημιουργούν μία πολύπλευρη εικόνα συμπεριφοράς από άποψη αντοχής του ιδιόρυθμου αυτού υλικού, του σκυροδέματος (άοπλου ή ωπλισμένου), της οποίας όποιος χρησιμοποιεί είναι υποχρεωμένος να γνωρίζει και να είναι ικανός να αντιμετωπίζει οποιοδήποτε πρόβλημα με επιτυχία, ώστε η μελέτη κατασκευής να είναι άρτια και σωστή.

Αναφέρθηκε άλλωστε σε κάποια από τα προηγούμενα κεφάλαια η σημαντική επιρροή που έχουν κάποιοι απ' αυτούς τους παράγοντες, όπως ο λόγος Ν/Τ, θερ/σία, αδρανή κ.ά.

Είναι λοιπόν απόλυτα κατανοητό ότι το σκυρόδεμα είναι ένα υλικό με πολλές ευεργετικές ιδιότητες (κυρίως η αντοχή του) που όμως είναι πολύ δύσκολο να μελετηθεί. Απαιτεί γνώσεις, εμπειρία και κυρίως μεγάλη υπευθυνότητα ώστε να διασφαλιστεί ο μέγιστος δυνατός δείκτης ασφάλειας για τα έργα από σκυρόδεμα. Ο ίδιος ο άνθρωπος ζει στα έργα αυτά και αυτός είναι η μεγαλύτερη "επένδυση".

Παρακάτω αναφέρονται και αναλύονται μερικοί από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή του σκυροδέματος.

8.1 Λόγος N/T [16]

Από τα πρώτα έτη της εμφανίσεως του σκυροδέματος (λίγο πριν το 1900) είχε διαπιστωθεί η σημασία του λόγου νερό προς τσιμέντος (N/T) για την αντοχή του παραγόμενου υλικού.

Είναι γνωστό πως μεταξύ αντοχής και λόγου N/T υπάρχει μία υπερβολική σχέση. Στη βιβλιογραφία βρίσκουμε πολλές εκφράσεις αυτής της σχέσης, εκ των οποίων οι πιο γνωστές είναι:

$$\diamond \text{ FERET} \quad R = K \left(\frac{1}{1 + (w/c) + a} \right)^2$$

$$\diamond \text{ ABRAMS} \quad R = \frac{K_1}{K_2^X}, \quad X = N/T$$

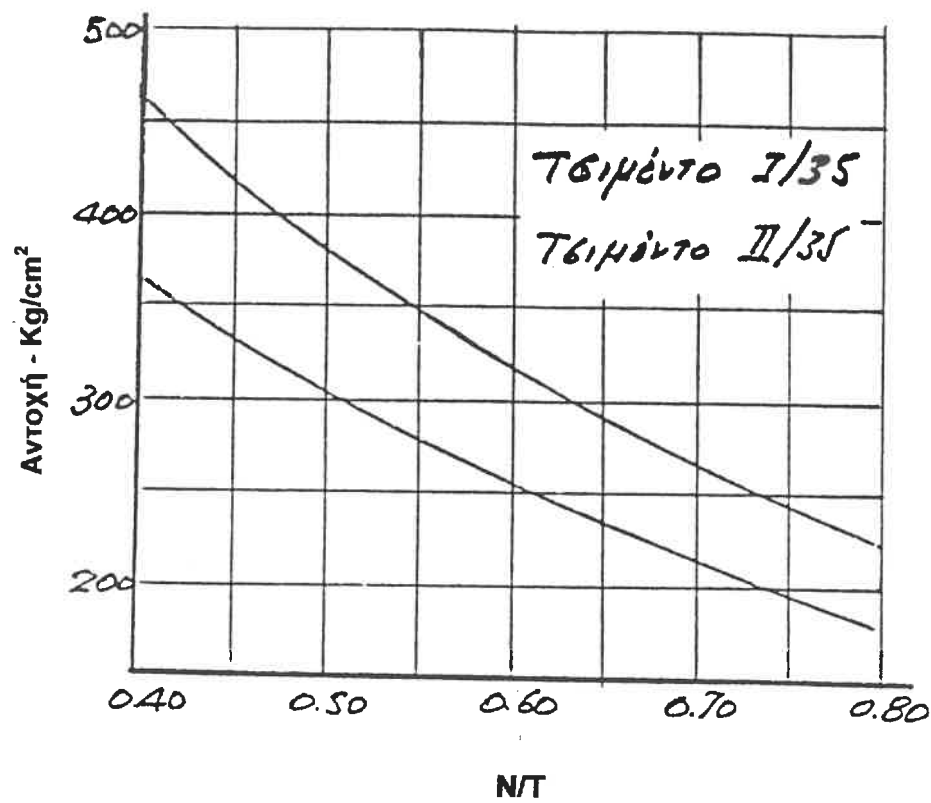
$$\diamond \text{ BOLOMEY} \quad R = K \left(\frac{C}{W} - 0.5 \right)$$

$$\diamond \text{ GRAFT} \quad R = \frac{K}{(W/C)^2}$$

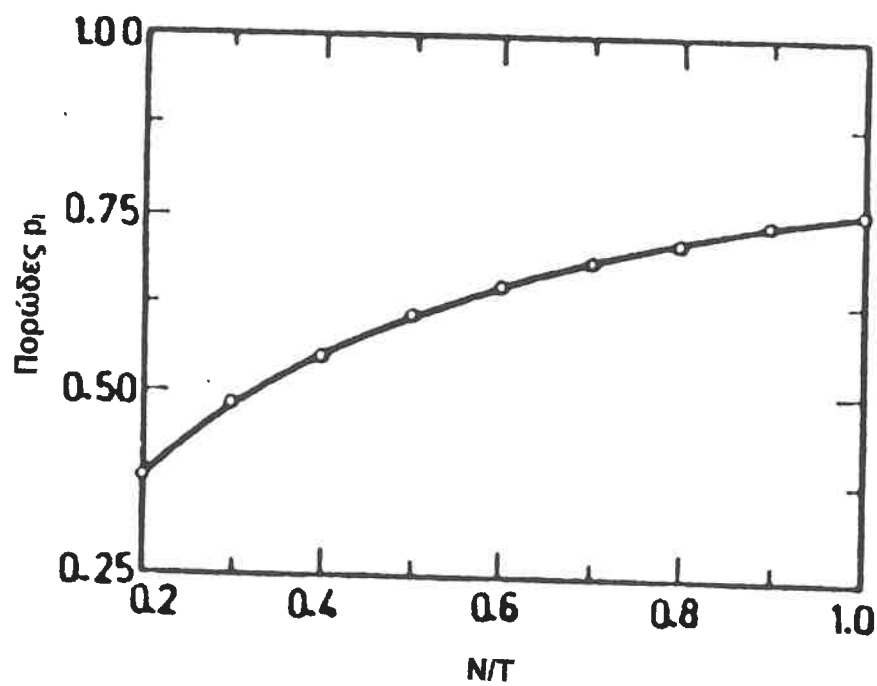
Στο διάγραμμα επίσης του σχ.(8.1) παρουσιάζεται η μορφή της υπερβολικής σχέσης μεταξύ αντοχής σκυροδέματος και λόγου N/T για διάφορους τύπους τσιμέντου. Ωστόσο τα ακριβή στοιχεία της γενικής καμπύλης (θέση και καμπυλότητα) εκφράζονται από τους συντελεστές K που εξαρτώνται από την ποιότητα του τσιμέντου, την ποιότητα των αδρανών και τη διαδικασία ελέγχου (μορφή δοκιμίων, διαστάσεις, συντήρηση κ.ά.). Γι' αυτό και οι καμπύλες διαφέρουν από τη μία χώρα στην άλλη. [2]

Υπάρχει μία βέλτιστη τιμή του λόγου N/T η οποία αποδίδει την καλύτερη δυνατή αντοχή του σκυροδέματος, λαμβάνοντας βέβαια υπόψη ιδιότητες του σκυροδέματος όπως συνοχή, πλαστικότητα εργάσιμο. Από το διάγραμμα προκύπτει πως για μεγάλες τιμές του N/T έχουμε μικρές αντοχές. Η αύξηση της ποσότητας του νερού (αύξηση του N/T) οδηγεί σε απόμειξη. Είναι χαρακτηριστικό άλλωστε πως η περίσσεια του νερού αναμείξεως πέρα από εκείνο που δεσμεύεται (χημικά και κρυσταλλικά) από το τσιμέντο, οδηγεί στη δημιουργία του πορώδους του σκυροδέματος και επομένως στην ελάττωση και της πυκνότητας και της αντοχής. Η αύξηση του πορώδους συναρτήσει της αύξησης του N/T φαίνεται στο σχ.(8.2) [12].

Το πόσο σημαντικό είναι ο λόγος του N/T για την αντοχή του σκυροδέματος φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος (8.3) [12].



Σχήμα 8.1 Σχέση μεταξύ αντοχής σκυροδέματος και λόγου N/T για τσιμέντα Ι/35, ΙΙ/35



Σχήμα 8.2 Σχέση N/T συναρτήσει πορώδους ρ_i

Όπως γνωρίζουμε άλλωστε είναι προτιμότερο να δεσμεύεται όλο το τσιμέντο έστω και με πλεονασμό του νερού παρά να διακινδυνεύσουμε τη μη δέσμευση μέρους του τσιμέντου.

Πρέπει επομένως κατά την επιδίωξη της βέλτιστης αναλογίας ύδατος, να επιδιώκεται πάντοτε για λόγους ασφαλείας η προς τα πάνω απόκλιση. Η προς τα κάτω απόκλιση άλλωστε είναι αυτή που καθιστά μέρος του τσιμέντου ανενεργό.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι για την επίτευξη σκυροδέματος ικανοποιητικής αντοχής, επιβάλλεται μία αναλογία N/T κατά βάρος κυμαινόμενη από 30-35 μέχρι 50-60%.

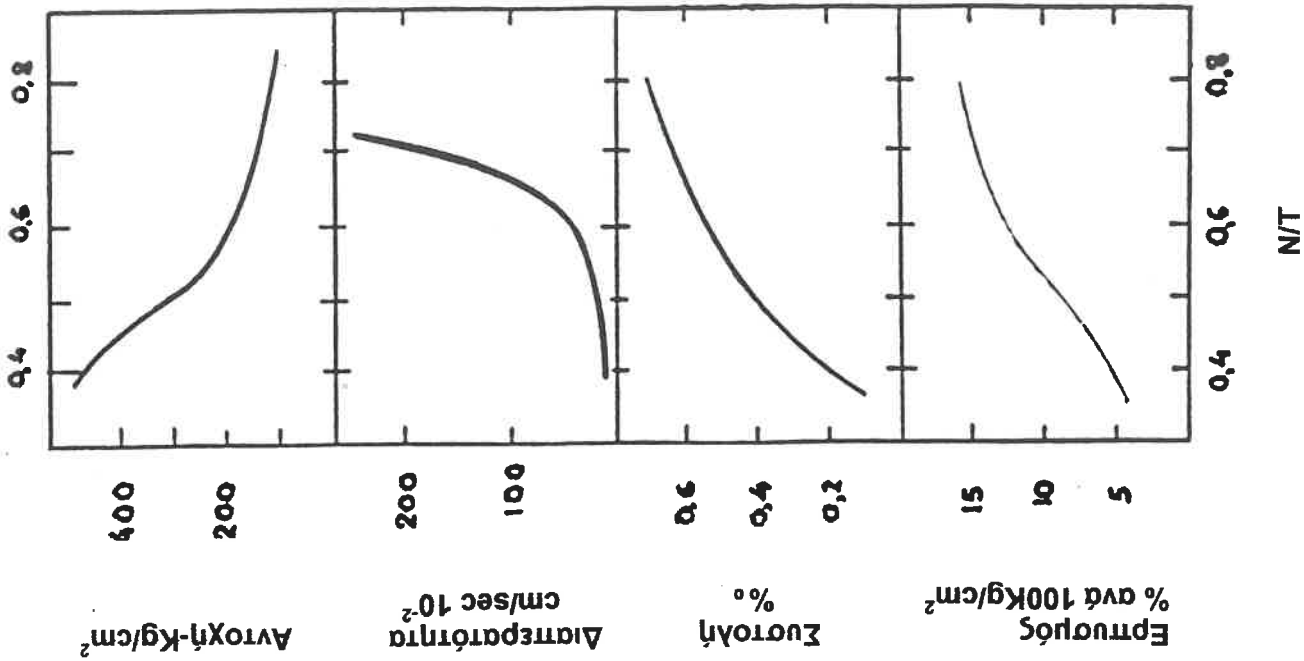
Όπως έχει αναφερθεί και τονιστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη η υγρασία των χρησιμοποιημένων αδρανών καθώς επίσης και η χρησιμοποιούμενη τεχνική συμπυκνώσεως.

Στο σχήμα (8.4) [12] παρουσιάζεται ενδεικτικά η επιρροή του λόγου N/T στις σημαντικότερες ιδιότητες του σκυροδέματος.

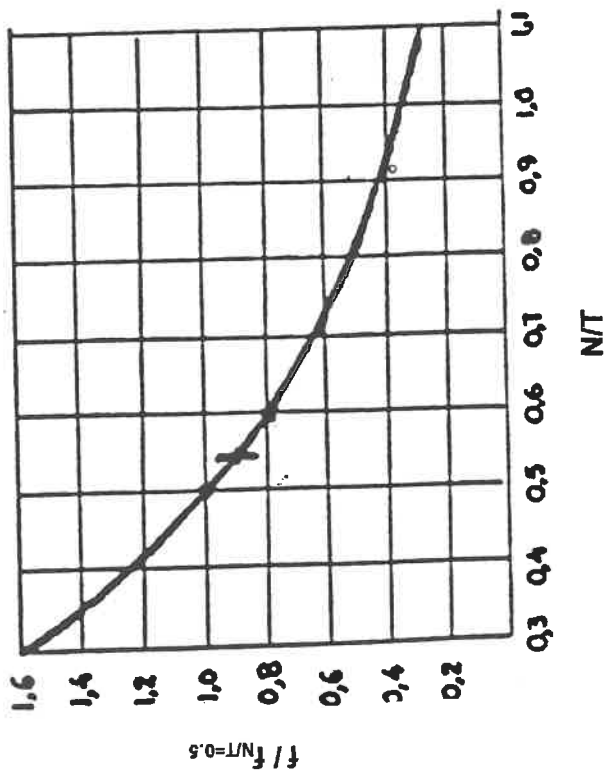
8.2 Αδρανή

Στο 1° Κεφάλαιο έχουν αναφερθεί εκτενώς τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες των αδρανών που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή σκυροδέματος. Επανερχόμενοι μπορούμε ν' αναφέρουμε συνοπτικά τα κύρια χαρακτηριστικά τους που συμβάλλουν στην καλύτερη δυνατή αντοχή του σκυροδέματος. Είναι σημαντικό λοιπόν να προέρχονται από πρωτογενές υλικό (πέτρωμα) πολύ υψηλής αντοχής. Να θραύονται πριν χρησιμοποιηθούν, προκειμένου να υπάρχει πιο καλή πρόσφυση μεταξύ των υλικών. Να πλένονται ώστε ν' απομακρυνθούν οι επιβλαβείς προσμίξεις για το σκυρόδεμα. Να χρησιμοποιούνται με τις κατάλληλες αναλογίες που η κοκκομετρική διαβάθμιση της εκάστοτε μελέτης σύνθεσης απαιτεί. [1]

Η διαβάθμιση του μείγματος είναι το κλειδί της αντοχής αλλά και πολλών άλλων χαρακτηριστικών του νωπού σκυροδέματος. Έχει αναφερθεί στο 1° κεφάλαιο ότι η κοκκομετρική καμπύλη του μείγματος πρέπει να βρίσκεται μέσα σε μια ορισμένη ζώνη. Εντούτοις, η σχετική θέση της καμπύλης μέσα στη ζώνη καθώς και η μορφή της καμπύλης, αλλάζουν τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του μείγματος έτσι που αυτό να γίνεται κατάλληλο για ειδικές χρήσεις. Η βέλτιστη κοκκομετρική διαβάθμιση του μείγματος των αδρανών πρέπει να βρίσκεται στην υποζώνη Δ.



Σχήμα 8.4 Επάρροή του λόγου N/T στις σημαντικότερες ιδιότητες του σκυροδέματος



Αύξηση του νερού κατά:

πτώση αντοχής

1% σημαίνει: για $NT=0.5 = \frac{180}{360} \Rightarrow NT = \frac{180+18}{360} = 0.55 \Rightarrow f \rightarrow 10\%$

$$\begin{array}{ccccccc} 2\% & " & " & " & " & " & " \\ & & & & & & = N/T = \frac{180+36}{360} = 0.60 \Rightarrow f \rightarrow 20\% \end{array}$$

Σχήμα 8.4 Σχέση αντοχής - λόγου N/T

Να επισημανθεί πως το εξεταζόμενο σκυρόδεμα της εργασίας αλλά και ο κύριος όγκος παραγωγής αφορά κυρίως σπλισμένο σκυρόδεμα.

Είναι σημαντικό ν' αναφέρουμε τον τρόπο με τον οποίο τ' αδρανή επηρεάζουν την αντοχή, σε σχέση με το μέγεθος των κόκκων και το νερό που απορροφούν. Έτσι, αδρανή με μεγάλους κόκκους απορροφούν λιγότερο νερό καθώς έχουν μικρότερη ειδική επιφάνεια, ενώ αδρανή μικρότερου μεγέθους έχουν μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια και συνεπώς απορροφούν περισσότερο νερό.

8.3 Θερμοκρασία [3] - [12]

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την τελική αντοχή του σκυροδέματος είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος (συνεπώς και συντήρησης). Είναι δυνατόν να διακριθεί η σκυροδέτηση σε χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος και υψηλή αντίστοιχα. Ο Κ.Τ.Σ. άλλωστε αναφέρει στο παράρτημα και στα Σχέδια Ελληνικού Προτύπου ξεχωριστά τις δύο περιπτώσεις.

8.3.1 Σκυροδέτηση με χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος

Γενικά η χαμηλή θερμοκρασία οδηγεί σε πάγωμα του νερού του μείγματος και συνεπώς σε έντονη διαστολή. Επιδρά πάντα αρνητικά στην αντοχή του σκυροδέματος ενώ πολύ πιθανό είναι να οδηγήσει και στην καταστροφή του.

Στην περίπτωση που το σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται "νεαρό" και η χαμηλή θερμοκρασία επηρεάσει πριν την πήξη, θα υπάρξει σημαντική μείωση της αντοχής. Όταν όμως είναι "νεαρό" και η επίδραση της χαμηλής θερμοκρασίας ενεργήσει μετά την πήξη και για σκυρόδεμα με αντοχή σε θλίψη $\sim < 30 \text{ MPa}$ οδηγούμαστε σε άμεση καταστροφή του σκυροδέματος.

Στην περίπτωση που το σκυρόδεμα είναι ήδη σκληρυμένο, το πάγωμα του νερού (διαστολή) οδηγεί σε επανειλημένους κύκλους ψύξης και απόψυξης με αποτέλεσμα τη σταδιακή καταστροφή του σκυροδέματος.

Το Σχέδιο Ελληνικού Προτύπου ΕΛΟΤ 515 καθορίζει τις παρακάτω γενικές οδηγίες και μέτρα με τα οποία εξασφαλίζεται η αναγκαία αντοχή και ανθεκτικότητα στο χρόνο του σκυροδέματος που παρασκευάζεται, σκυροδετείται και σκληρύνεται, όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι χαμηλή.

Γενικές οδηγίες

- α. Οι προβλέψεις, σε εγκαταστάσεις και υλικά, για την εφαρμογή μεθόδων προστασίας του σκυροδέματος που ενδέχεται να απαιτηθούν, πρέπει να γίνονται έγκαιρα και πριν εμφανιστούν οι χαμηλές θερμοκρασίες που πιθανολογούνται.
- β. Οι μέθοδοι που βασικά προστατεύουν το σκυρόδεμα από βλάβες που γίνονται από τον παγετό δεν εξασφαλίζουν κατ' ανάγκη και την απαραίτητη αντοχή στο σκυρόδεμα, όταν σταματήσει η εφαρμογή τους. Γι' αυτό η ανάπτυξη της αντοχής πρέπει να ελέγχεται ξεχωριστά (π.χ. τότε θα αφαιρεθούν τα ικριώματα).
- γ. Στα από σκυρόδεμα τμήματα του έργου οι γωνίες και οι ακμές όπως και τα λεπτότερα από τα στοιχεία του προσβάλλονται ευκολότερα από τον παγετό και γι' αυτό πρέπει να προστατεύονται με ιδιαίτερη επιμέλεια.
- δ. Νερό σε περίσσεια στο σκυρόδεμα αυξάνει τον κίνδυνο βλάβης του από τις χαμηλές θερμοκρασίες και γι' αυτό πρέπει να επιδιώκεται μικρή δόση νερού αναμείξεως.
- ε. Οι μέθοδοι για θερμική προστασία του νωπού σκυροδέματος πρέπει να εφαρμόζονται με τη μεγαλύτερη δυνατή οικονομία, γιατί σκυροδέτηση που γίνεται με αρχική θερμοκρασία υψηλή συνεπάγεται μείωση της τελικής αντοχής του σκυροδέματος και εμφάνιση, πολλές φορές, θερμικών ρηγματώσεων. Αντίθετα σκυροδέτηση που γίνεται με αρχική θερμοκρασία όσο το δυνατόν πιο χαμηλή, (χωρίς όμως κίνδυνο παγοπληξίας) και έπειτα από κανονική συντήρηση οδηγεί στην πιο μεγάλη δυνατή τελική αντοχή.

Ωστόσο υπάρχουν προφυλακτικά μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται και που βοηθούν στην επίτευξη της απαιτούμενης αντοχής του σκυροδέματος. Είναι επιθυμητό κάθε μέτρο που εμποδίζει το πάγωμα του σκυροδέματος.

Μερικά μέτρα προστασίας είναι:

- Αύξηση τσιμέντου
- Μείωση N/T
- Επιτάχυνση σκλήρυνσης με πρόσθετα
- Θέρμανση υλικών
- Θέρμανση περιβάλλοντος ή θερμική μόνωση
- Θέρμανση σκυροδέματος
- Χρήση αερακτικού προσθέτου για σκυρόδεμα που θα εκτεθεί σε μικρή ηλικία σε κύκλους κατάψυξης

- Αναβολή σκυροδέτησης για θερμοκρασία $\theta < 0^{\circ}\text{C}$

8.3.2 Σκυροδέτηση σε υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος [3] [12]

Είναι γεγονός αναμφισβήτητο πως η επιρροή της θερμοκρασίας στην αντοχή του σκυροδέματος είναι φαινόμενο πολύπλοκο.

Ωστόσο η υψηλή θερμοκρασία έχει σαν συνέπεια την επιτάχυνση της ενυδάτωσης η οποία οδηγεί σε υψηλότερες αρχικές αντοχές. Η επιτάχυνση της ενυδάτωσης όμως με προϊόντα με χειρότερη φυσική δομή, ανομοιόμορφη φυσική δομή και μεγαλύτερο πορώδες, οδηγούν σε χαμηλότερες αντοχές σε μεγαλύτερη ηλικία.

Η υψηλή θερμοκρασία άλλωστε οδηγεί από μόνη της σε διαφορετική διαστολή αδρανών, νερού, αέρα, προϊόντων ενυδάτωσης με αποτέλεσμα μεγαλύτερο πορώδες, εσωτερικές τάσεις και ρωγμές που οδηγούν τελικά σε μικρότερη αντοχή.

Ενδεχόμενοι κίνδυνοι από ψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος είναι:

- α. Κακοτεχνίες από μείωση της εργασιμότητας του νωπού σκυροδέματος.
- β. Μείωση της τελικής αντοχής, όταν η αρχική συντήρηση γίνεται σε υψηλή θερμοκρασία.
- γ. Ρηγματώσεις που οφείλονται στην ταχεία εξάτμιση του νερού και επιδεινώνονται όταν υπάρχει χαμηλή σχετική υγρασία και συγχρόνως πνέει άνεμος.
- δ. Ρηγματώσεις που οφείλονται σε συστολή του σκυροδέματος αφ' ενός επειδή οι θερμοκρασίες ημέρας και νύχτας διαφέρουν σημαντικά και αφ' ετέρου όταν αυξηθεί το νερό αναμίξεως για τη διατήρηση της εργασιμότητας του νωπού σκυροδέματος.
- ε. Επιτάχυνση σκληρύνσεως.
- στ. Αθέλητη δημιουργία αρμών κατά τη διάστρωση.

Και σ' αυτήν την περίπτωση υπάρχουν τρόποι προστασίας και συντήρησης. Επειδή το νερό εξατμίζεται γρήγορα, απαιτείται συνεχής και επιμελής συντήρησης του σκυροδέματος, που επιτυγχάνεται με επικάλυψη με υγρά υφάσματα που διαβρέχονται συνέχεια, με στεγανές μεμβράνες ή με άλλα μέσα.

Τα υγρά υφάσματα πρέπει να διαβρέχονται, έτσι ώστε να αποφεύγεται η ξήρανση και επαναδιαβροχή του σκυροδέματος. Η θερμοκρασία του νερού που χρησιμοποιείται στη διαβροχή δεν πρέπει να απέχει σημαντικά από τη θερμοκρασία

του σκυροδέματος που διαστρώνεται, για να αποφευχθούν διαφορικές συστολοδιαστολές.

Εάν χρησιμοποιούνται στεγανές μεμβράνες, θα πρέπει να προφυλάσσεται το σκυρόδεμα τις πρώτες κρίσιμες ώρες με κατάλληλα σκέπαστρα ώστε να μην αυξηθεί η θερμοκρασία του από την ηλιακή ακτινοβολία.

Η εφαρμογή των μεθόδων συντηρήσεως πρέπει να αρχίζει αμέσως μετά τη σκυροδέτηση χωρίς όμως να προκαλούνται αλλοιώσεις στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

Τα έργα στην ύπαιθρο, που εκτίθενται σε ισχυρούς ανέμους, πρέπει να προστατεύονται με ειδικά φράγματα ή πετάσματα.

Συνιστάται να διαβρέχονται οι ξυλότυποι και μετά τη διάστρωση του σκυροδέματος για να διατηρούνται υγροί.

Αν πρόκειται για μεταλλικούς τύπους, συνιστάται η διατήρησή τους σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Τα γενικά μέτρα προστασίας και συντηρήσεως πρέπει να εφαρμόζονται τουλάχιστο κατά τις πρώτες επτά μέρες μετά τη σκυροδέτηση. Ο συνολικός χρόνος εφαρμογής τους εξαρτάται από τις ειδικές συνθήκες του έργου. Μόλις τελειώσει η υγρή προστασία, τα καλύμματα πρέπει να παραμένουν στις θέσεις τους για μερικές ακόμη μέρες, για να μη ξερανθεί γρήγορα το σκυρόδεμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9°

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θ' ασχοληθούμε με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της μονάδας παραγωγής. Με βάση τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης και μελέτης της λειτουργίας του εργοστασίου, θα σχολιάσουμε και θα προσεγγίσουμε με την προσοχή που απαιτείται, τα αποτελέσματα των αντοχών των δοκιμών σε θλίψη. Η ανάλυση θα περιέχει κι άλλα συγκριτικά στοιχεία όπως η αντοχή συναρτήσει της καθίσσεως.

Θα αναφερθούμε επίσης στα στοιχεία της βαρέλας (**B**) σε σχέση με τα στοιχεία του αναμεικτήρα (**M**). Πρόκειται για την πιθανή διαφορά που παρουσιάζει το σκυρόδεμα που παράγει ο αναμεικτήρας (το εργοστάσιο) σε σχέση μ' αυτή που παραδίδεται στο έργο.

Ο υπολογισμός της τυπικής απόκλισης του αναμεικτήρα με τα στοιχεία (**M**) και (**M'**) θα μας βοηθήσει να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα για την ποιότητα του σκυροδέματος σε ότι αφορά την αντοχή.

Σημαντικό επίσης είναι να τονίσουμε την ύπαρξη ελαττωματικής μήτρας που μας βοηθάει να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα για την εξάρτηση της αντοχής ενός δοκιμίου που προέρχεται από γεωμετρικά σωστό ή όχι καλούπι.

Η δειγματοληψία γινόταν πάντοτε σε κατηγορία σκυροδέματος **C16/20**, δηλαδή χαρακτηριστικής αντοχής $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$ (αντοχή κύβου).

9.1 Αποτελέσματα αντοχής σε θλίψη

Η δοκιμή σε θλίψη, για όλα τα δοκίμια που λήφθηκαν από τη μονάδα παραγωγής, έγινε στο εργαστήριο του εργοστασίου "TITAN" στη Μαγούλα Αττικής.

Όλα τα δοκίμια πριν τη δοκιμή ζυγίζονταν. Ακόμα για τα δοκίμια που ελήφθησαν μετά τις 7/3 και μέχρι το τέλος της δειγματοληψίας (δηλαδή 2/4/97) υπάρχουν στοιχεία διαστάσεων.

Το βάρος κάθε δοκιμίου, οι διαστάσεις του, το φορτίο θραύσης, καθώς και οι ημερομηνίες λήψης και θραύσης αλλά και η κάθιση που παρουσίασε το δείγμα, από το οποίο παρασκευάστηκε το δοκίμιο, παρουσιάζονται αναλυτικά στον **πίνακα 9.1**.

α/α	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ		ΒΑΡΟΣ (gr)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ mm ³	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ -KN-	ΦΑΙΝ. ΒΑΡΟΣ t/m ³	ΤΑΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ -MPa-	ΚΑΘΙΣΗ -cm-	ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ*
		ΘΡΑΥΣΗΣ	ΛΗΨΗΣ							
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1.	B M M*	06.03.97	06.02.97	8209 7982 7986	150x150x150 -/- -/-	627 594 624	-	27,9 26,4 27,7	5 5 5	Θ
2.	B M M*	07.03.97	07.02.97	8142 8208 8106	-/- -/- -/-	676 647 641	-	30,1 28,7 28,5	6 8 9	Θ
3.	B M M*	10.03.97	10.02.97	8152 8131 8149	-/- -/- -/-	757 768 758	-	33,6 34,1 33,7	8 13 14	A
4.	B M M*	11.03.97	11.02.97	8112 8030 8077	-/- -/- -/-	696 684 681	-	30,9 30,4 30,3	7 11 9	Θ
5.	B M M*	13.03.97	13.02.97	8049 7984 8059	-/- -/- -/-	575 630 611	-	25,5 28,0 27,1	11 13 13	Θ
6.	B M M*	20.03.97	20.02.97	7815 7989 8022	-/- -/- -/-	514 594 602	-	22,8 26,5 26,8	13 13 12	A
7.	B M M*	21.03.97	21.02.97	7854 8016 7984	-/- -/- -/-	679 503 472	-	30,2 22,4 21,0	10 11 11	A
8.	B M M*	26.03.97	24.02.97	7955 7907 8038	-/- -/- -/-	602 697 487	-	26,7 31,0 21,7	8 11 11	Θ
9.	B M	26.03.97	25.02.97	7974 8012	-/- -/-	724 685	-	32,2 30,4	8 12	Θ

α/α	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ		ΒΑΡΟΣ (gr)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ mm ³	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ -KN-	ΦΑΙΝ. ΒΑΡΟΣ t/m ³	ΤΑΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ -MPa-	ΚΑΘΙΣΗ -cm-	ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ*
		ΘΡΑΥΣΗΣ III	ΛΗΨΗΣ IV							
I	B			7905	-/-	706		31,4	X	XI
10.	M	26.03.97	26.02.97	8045	-/-	664	-	29,5	8	
	M*			7975	-/-	638		28,9	12	Θ
	M*			7964	-/-	626		27,8	11	
11.	B	27.03.97	27.02.97	7962	-/-	609	-	27,1	10	
	M			7963	-/-	582		25,9	12	Θ
	M*			7997	-/-	610		27,1	11	
12.	B	28.03.97	28.02.97	7989	-/-	566	-	25,2	9	
	M			8019	-/-	604		26,8	11	Θ
	M*			7876	-/-	588		26,1	12	
13.	B	31.03.97	03.03.97	7972	-/-	560	-	24,9	12	
	M			7865	-/-	559		24,8	14	Δ
	M*			7985	-/-	562		25,0	13	
14.	B	01.04.97	04.03.97	8062	-/-	671	-	29,8	10	
	M			8096	-/-	661		29,5	12	Δ
	M*			7993	-/-	660		29,3	11	
15.	B			8110	-/-	735		32,7	9	
	M			8155	-/-	703		31,3		
	M			7952	-/-	619		27,5		
	M			7985	-/-	703		31,3		
	M			8036	-/-	694		30,8	11	
	M			8003	-/-	713		31,7		
	M			8907	-/-	703		31,2		
	M	02.04.97	05.03.97	8019	-/-	713	-	31,7		Θ
	M*			7887	-/-	358		15,9		
	M*			7915	-/-	412		18,3		

α/α	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ		ΒΑΡΟΣ (gr)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ mm ³	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ -KN-	ΦΑΙΝ. ΒΑΡΟΣ t/m ³	ΤΑΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ -MPa-	ΚΑΘΙΣΗ -cm-	ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ*
		ΘΡΑΥΣΗΣ	ΛΗΨΗΣ							
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
	M*			7965	-/-	415		18,4		
	M*			7931	-/-	397		17,6	19	
	M*			7930	-/-	427		19,0		
	M*			7980	-/-	399		17,0		
	M*			7909	-/-	384		17,1		
16.	B			8015	-/-	662		29,4	12	
	M			8043	-/-	785		34,9		
	M			7988	-/-	804		35,7		
	M			7890	-/-	634		28,4	11	
	M			8020	-/-	785		34,9		
	M			7900	-/-	792		35,2		
	M			8090	-/-	739		32,8		
	M			8030	-/-	779		34,6		
	M*	03.04.97	06.03.97	7820	-/-	701		31,1		
	M*			7980	-/-	716		31,8		
	M*			7870	-/-	704		31,3		
	M*			7935	-/-	671		29,8	8	
	M*			7895	-/-	731		32,5		
	M*			7970	-/-	720		32,0		
	M*			8010	-/-	691		30,7		
17.	B			7955	150,4x150,5x150,5	578	2,335	25,5	12	
	M			7992	150,6x150,6x150,5	655	2,341	28,9		
	M			7995	151,4x151,4x150,3	630	2,321	27,5		
	M			8002	151,4x151,4x150,4	652	2,321	28,4	15	
	M			7733	148,9x1,48,9x150,9	548	2,311	24,7		
	M			7964	151,1x150,9x150,5	685	2,321	30,0		
	M			7968	151,4x151,1x150,6	642	2,313	28,0		

α/α	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ		ΒΑΡΟΣ (gr)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ mm ²	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ -KN-	ΦΑΙΝ. ΒΑΡΟΣ ύm ²	ΤΑΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ -MPa-	ΚΑΘΙΣΗ -cm-	ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ*
		ΘΡΑΥΣΗΣ	ΛΗΨΗΣ							
I	II	III	IV	V	VI	VII	ΙΧ	ΙΧ	X	XI
18.	M	04.04.97	07.03.97	7900	150,6x150,6x150,4	641	2,316	28,3	7	Θ
	M*			8029	151,4x151,4x150,9	684	2,321	29,8		
	M*			7954	150,6x150,6x150,5	697	2,330	30,7		
	M*			8049	151,1x151,1x150,3	718	2,346	31,4		
	M*			8013	151,1x151,1x150,4	726	2,334	31,8		
	M*			7934	150,2x150,2x150,3	737	2,340	32,7		
	M*			7980	150,7x150,7x150,5	731	2,335	32,2		
	M*			7898	150,1x150,1x150,5	677	2,329	30,0		
	B			7948	150,2x150,2x150,0	832	2,349	36,9		
	M	08.04.97	11.03.97	7945	152,1x152,1x149,2	741	2,302	32,0		
19.	M*			7834	150,6x150,6x149,3	707	2,314	31,2	8	Δ
	B			8037	151,1x151,1x151,7	769	2,320	33,7		
	M			7835	149,5x149,1x153,0	505	2,297	22,7		
	M			8004	151,9x151,9x151,1	638	2,296	27,7		
	M			7884	150,2x150,2x151,4	673	2,308	29,9		
	M			7895	150,4x150,4x151,1	681	2,310	30,1		
	M			7970	150,2x150,2x151,6	674	2,330	29,8		
	M			7982	150,2x150,2x151,6	689	2,334	30,5		
	M	09.04.97	12.03.97	7949	151,3x151,3x151,5	656	2,292	28,7		
	M*			7993	150,6x150,6x151,0	812	2,334	35,2		
20.	M*			8038	151,9x151,9x151,3	696	2,302	30,2	10	Δ
	M*			8050	150,9x150,9x151,3	797	2,337	35,0		
	M*			8044	151,6x151,6x151,2	791	2,315	34,4		
	M*			8086	151,6x151,6x151,3	815	2,325	35,5		
	M*			7902	150,1x150,1x151,1	790	2,321	35,1		
	M*			7974	150,9x150,9x151,1	832	2,318	36,5		
	B			8185	152,3x152,3x150,0	779	2,352	33,6		

α/α	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ		ΒΑΡΟΣ (gr)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ mm ³	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ -KN-	ΦΑΙΝ. ΒΑΡΟΣ t/m ³	ΤΑΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ -MPa-	ΚΑΘΙΣΗ -cm-	ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ*
		ΘΡΑΥΣΗΣ	ΛΗΨΗΣ							
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
	M			8167	152,4x152,4x150,4	794	2,338	34,2		
	M			8119	151,9x151,9x150,3	764	2,341	33,9		
	M			8133	151,8x151,8x150,5	799	2,345	34,7		
	M			8039	150,4x150,4x150,2	778	2,366	34,4	8	
	M			8003	150,7x150,7x149,9	799	2,351	35,2		
	M			7978	150,2x150,2x150,1	801	2,356	35,6		
	M			7906	148,9x148,9x151,2	617	2,358	27,8		
	M*	10.04.97	13.03.97	8186	150,4x150,4x150,0	661	2,413	29,2		Δ
	M*			8014	150,9x150,9x151,3	618	2,326	27,2		
	M*			7978	150,4x150,4x149,9	662	2,353	29,3		
	M*			7968	150,7x150,7x149,7	588	2,344	25,9	12	
	M*			8006	150,6x150,6x150,0	664	2,353	29,3		
	M*			7950	150,1x150,1x151,1	567	2,335	25,1		
	M*			8076	151,4x151,4x149,8	660	2,352	29,2		
21.	B			7933	150,2x150,2x149,8	728	2,347	32,3	12	
	M			7959	150,6x150,6x150,2	715	2,336	31,5		
	M			8019	150,6x150,6x150,3	739	2,352	32,6		
	M			8979	150,4x150,4x150,5	705	2,344	31,2		
	M			7956	150,6x150,6x150,1	674	2,337	29,7	8	
	M			8016	152,3x152,3x150,5	736	2,325	31,7		
	M			8075	151,4x151,4x150,2	719	2,345	31,4		
	M			8031	150,9x150,9x150,3	726	2,347	31,9		
	M*	11.04.97	14.03.97	7862	149,2x149,2x151,4	552	2,333	24,8		Δ
	M*			7959	159,1x151,1x149,8	646	2,327	28,3		
	M*			7915	150,7x150,7x150,3	616	2,319	27,1		
	M*			7990	150,9x150,9x150,4	670	2,333	29,4	12	
	M*			7899	150,7x150,7x149,9	641	2,320	28,2		

α/α	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ		ΒΑΡΟΣ (gr)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ mm ³	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ -KN-	ΦΑΙΝ. ΒΑΡΟΣ t/m ³	ΤΑΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ -MPa-	ΚΑΘΙΣΗ -cm-	ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ*
		ΘΡΑΥΣΗΣ	ΛΗΨΗΣ							
I	II	III	IV	V	VI	VII	IX	IX	X	XI
	M*			7941	150,7x150,7x150,0	717	2,331	31,6		
	M*			7960	151,3x151,3x150,1	658	2,318	28,7		
22.	B	11.04.97	15.03.97	7916	150,2x150,2x150,0	525	2,339	23,3	12	
	M			7836	149,1x149,1x149,9	545	2,351	24,5	14	Δ
	M*			7948	149,9x149,9x150,0	567	2,358	25,2	14	
23.	B			8097	151,6x151,6x150,7	835	2,338	36,3	6	
	M	14.04.97	17.03.97	8091	151,6x151,6x150,7	872	2,336	37,9	7	Δ
	M*			7893	151,6x151,6x150,7	707	2,279	31,4	10	
24.	B	15.04.97	18.03.97	7974	150,7x150,7x151,2	556	2,322	24,5	7	
	M			8075	150,1x150,1x150,2	636	2,386	27,6	7	A
	M*			8109	150,7x150,7x150,1	629	2,379	27,7	10	
25.	B	16.04.97	19.03.97	7776	148,6x148,6x151,1	440	2,331	19,9	5	
	M			7862	149,9x149,9x150,1	515	2,331	22,9	6	A
	M*			7940	150,2x150,2x150,0	521	2,346	23,1	10	
26.	B	17.04.97	20.03.97	7800	151,1x151,1x152,6	474	2,239	21,6	10	
	M			7932	150,4x150,4x151,2	649	2,319	28,7	16	A
	M*			7966	150,4x150,4x151,1	646	2,331	28,6	13	
27.	B	18.04.97	21.03.97	7783	148,4x148,4x151,8	531	2,328	24,1	11	
	M			7895	149,9x149,9x150,8	599	2,330	24,7	15	A
	M*			7882	149,9x149,9x150,8	609	2,326	27,1	14	
28.	B	18.04.97	22.03.97	7808	149x,1x149,1x151,3	577	2,321	25,9	5	
	M			7992	150,7x150,7x150,5	732	2,338	32,2	6	A
	M*			7957	150,9x150,9x150,5	780	2,322	34,3	6	
29.	B	21.04.97	24.03.97	7994	152,1x152,1x150,0	664	2,304	28,7	10	
	M			7973	150,2x150,2x148,2	715	2,385	31,7	11	Δ
	M*			8019	150,4x150,4x148,1	705	2,394	31,1	8	

α/α	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ		ΒΑΡΟΣ (gr)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ mm ³	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ -KN-	ΦΑΙΝ. ΒΑΡΟΣ t/m ³	ΤΑΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ -MPa-	ΚΑΘΙΣΗ -cm-	ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ*
		ΘΡΑΥΣΗΣ	ΛΗΨΗΣ							
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
30.	B	23.04.97	26.03.97	7844	148,2x148,2x150,0	541	2,381	24,6	12	
	M			7917	151,1x151,1x148,7	595	2,332	26,1	15	Δ
	M*			7842	149,9x149,9x150,0	580	2,327	23,4	14	
31.	B	24.04.97	28.03.97	7966	149,4x149,4x151,1	689	2,362	30,9	8	
	M			8110	151,3x151,3x151,0	849	2,382	37,1	10	A
	M*			8091	150,7x150,7x150,9	844	2,361	37,2	10	
32.	B	29.04.97	01.04.97	7998	150,1x150,1x152,0	751	2,335	33,4	7	
	M			8067	150,1x150,1x150,9	949	2,373	42,1	8	A
	M*			8039	150,7x150,7x150,6	959	2,350	42,2	9	
33.	B	30.04.97	02.04.97	7781	148,0x148,0x152,0	668	2,337	30,5	7	
	M			8082	148,0x148,0x150,5	874	2,452	39,9	8	A
	M*			8082	148,0x148,0x150,4	841	2,453	38,4	9	

* ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Η συγκεκριμένη στήλη αναφέρεται στο πρόσωπο το οποίο πραγματοποιήσε στις συγκεκριμένες ημερομηνίες της στήλης 4 τις λήψεις των δοκιμών. Με το γράμμα Θ αναφερόμαστε στο Θεόδωρο Ζεάκη, με το γράμμα Δ στο Δημήτρη Σιαβελή και με το γράμμα Α στον Ανδρέα Λαμπρόπουλο ο οποίος μας εξυπηρέτησε τις ημέρες που δεν μπορούσαμε να βρισκόμαστε στο Αίγιο.

Όπως είδαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο τα δοκίμια είχαν για συμβολισμό τα γράμματα **M**, **M'** και **B**. Θα υπενθυμίσουμε ότι **M** είναι το δοκίμιο που προέρχεται από τον αναμεικτήρα και η λήψη του γινόταν το πρωί, **M'** το δοκίμιο με προέλευση όμοια του **M**, αλλά η λήψη του γινόταν το μεσημέρι και τέλος **B** είναι το δοκίμιο το οποίο προέρχεται από βαρέλα μετά από 5λεπτη αναμονή και λειτουργία στις γρήγορες στροφές. Ακόμα τα δοκίμια **B** συνδέονται με τα δοκίμια **M**, διότι ένα από τα τρία χαρμάνια που αναμείγνυε η βαρέλα ήταν εκείνο από το οποίο είχε προέλθει το δοκίμιο **M**.

Στον πίνακα (9.1) λοιπόν, είναι συγκεντρωμένα όλα τα αποτελέσματα των δοκιμών σε θλίψη για τα δοκίμια, **M**, **M'** και **B**.

9.2 Τυπική απόκλιση μονάδας

Για τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης μιας μονάδας παραγωγής σκυροδέματος απαιτούνται, ώστε το αποτέλεσμα να μην χρειάζεται διόρθωση, τουλάχιστον 60 δοκίμια.[3]

Στην παρούσα εργασία έγινε δειγματοληψία για 33 ημέρες και για κάθε ημέρα γινόταν η λήψη δύο δοκιμίων, ένα το πρωί (**M**), και ένα το μεσημέρι (**M'**).

Σύμφωνα με το 2° Κεφάλαιο οι αντοχές των δοκιμίων θα ακολουθούν κανονική κατανομή και με βάση τις σχέσεις που ισχύουν θα υπολογίσουμε την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση του δείγματος των αντοχών των δοκιμίων **M** και **M'**.

9.2.1 Δείγμα για τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης

Ο υπολογισμός της τυπικής απόκλισης έγινε από το δείγμα του πίνακα (9.2).

Το μέγεθος του δείγματος είναι:

$$n = 66$$

Η μέση τιμή υπολογίζεται από την σχέση:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9.1)$$

ενώ η τυπική απόκλιση από τη σχέση:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (9.2)$$

η σχέση (9.1) δίνει με αντικατάσταση:

$$\bar{x} = 29.60 \text{ MPa}$$

ενώ η σχέση (9.2) δίνει:

$$s = 4.84 \text{ MPa}$$

Έτσι η τυπική απόκλιση της μονάδας είναι 4.84 MPa.

Εδώ, θα πρέπει να τονίσουμε ότι αυτή η τυπική απόκλιση δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα και σε επόμενες παραγράφους θα δούμε τους λόγους για τους οποίους αυτή η τυπική απόκλιση δεν είναι αντιπροσωπευτική της παραγωγής της μονάδας και θα υπολογίσουμε καινούργιες τιμές τυπικής απόκλισης.

9.2.2 Συντελεστής μεταβλητότητας μονάδας

Στο 2° Κεφάλαιο και στην παράγραφο (2.2.2) αναφερόμαστε στο συντελεστή μεταβλητότητας V , ο οποίος σύμφωνα με τον Αμερικάνικο κανονισμό ACI - 214 χαρακτηρίζει μία μονάδα από πλευράς παρακολούθησης. [2]

Ο συντελεστής μεταβλητότητας εκφράζει την τυπική απόκλιση s ως ποσοστό του μέσου όρου $\bar{x}$, σύμφωνα με τη σχέση:

$$V = \frac{s}{\bar{x}}$$

Για $\bar{x} = 29.60$ και $s = 4.84$ η σχέση (9.3) δίνει:

$$V = 0.163 \approx 0.16$$

Είναι λοιπόν: $0.16 < V < 0.20$

και η παρακολούθηση χαρακτηρίζεται μέτρια προς καλή.

9.2.3 Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων - Ιστόγραμμα

Η ανάλυση των στοιχείων ενός δείγματος διευκολύνεται ιδιαίτερα με την γραφική απεικόνιση αυτών. [5]

Τα στοιχεία του δείγματος χωρίζονται σε ομάδες ή κλάσεις, ο αριθμός των οποίων δίνεται από τη σχέση:

$$K = \sqrt{n}, \text{ για } n < 1000 \quad (9.4)$$

και για $n = 66$ έχουμε από την (9.4):

$$K = \sqrt{66} = 8.12 \approx 8$$

άρα έχουμε 8 κλάσεις.

Το εύρος των κλάσεων υπολογίζεται από τη σχέση:

$$c = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{K} \quad (9.5)$$

όπου $x_{\max}$ η μέγιστη και $x_{\min}$ η ελάχιστη αντοχή του δείγματος και K ο αριθμός των κλάσεων.

Είναι λοιπόν:

- $x_{\max} = 42.20 \text{ MPa}$
- $x_{\min} = 21.0 \text{ MPa}$
- $K = 8$

και συνεπώς $C = 2.65 \text{ MPa}$.

Από τη βιβλιογραφία [5], συνιστάται: $C \leq 0.6 \times s \quad (9.6)$

Εδώ όμως:

$$0.6 \times s = 0.6 \times 4.84 = 2.9$$

και $C \leq 2.9$ ισχύει.

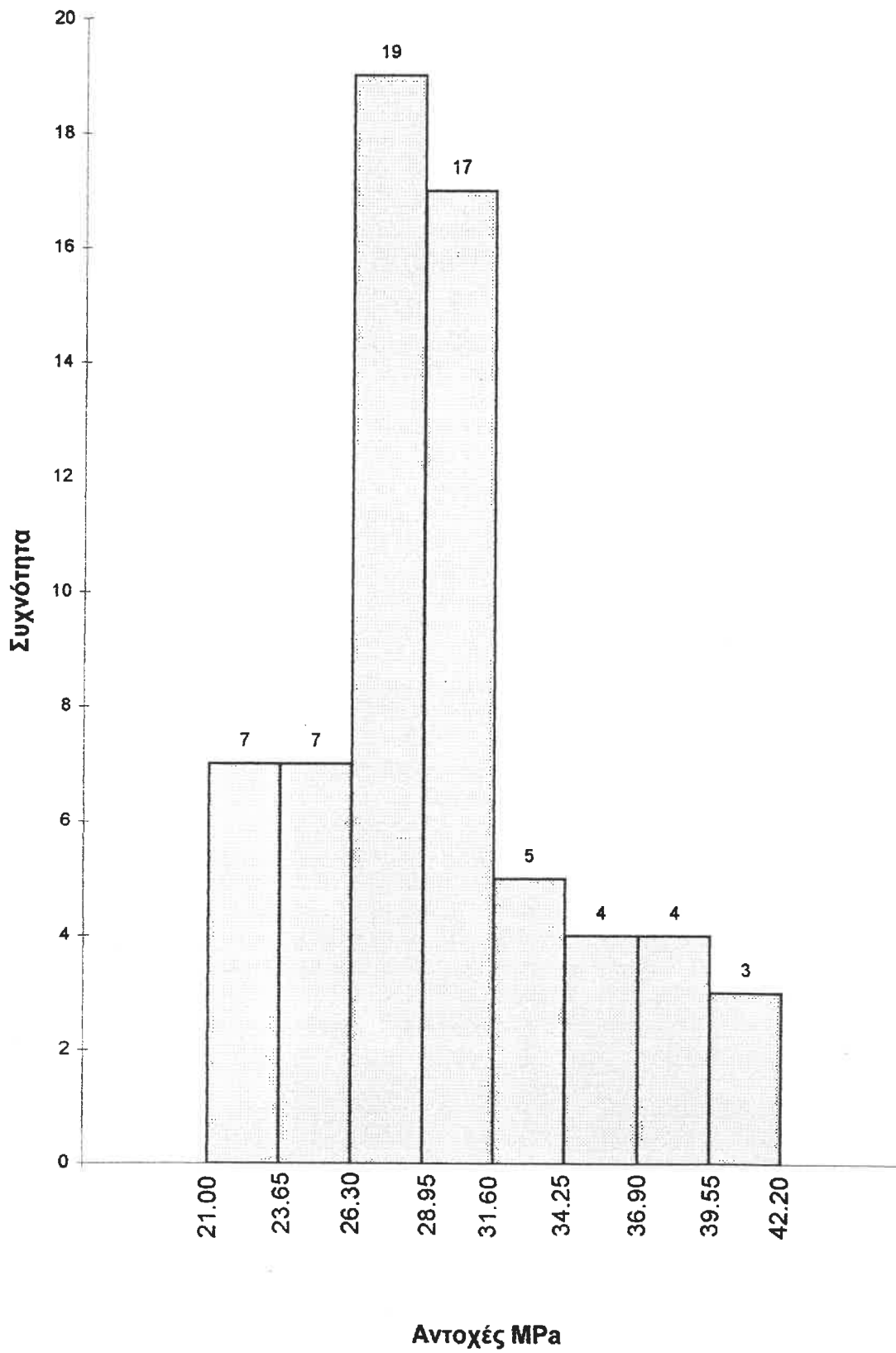
Έτσι λοιπόν σχηματίζουμε τον πίνακα (9.3), σύμφωνα με τον οποίο προκύπτει το ιστόγραμμα του σχήματος (9.1).

Πίνακας 9.2: Δείγμα για τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης

α/α	ANTOXH MPa	α/α	ANTOXH MPa	α/α	ANTOXH MPa	α/α	ANTOXH MPa
1	26.4	18.	31.4	35.	32.0	52.	28.6
2	27.7	19.	28.9	36.	31.2	53.	26.7
3	28.7	20.	27.8	37.	30.1	54.	27.1
4	28.5	21.	25.9	38.	35.0	55.	32.2
5	34.1	22.	27.1	39.	29.3	56.	34.3
6	33.7	23.	26.1	40.	34.7	57.	31.7
7	30.4	24.	26.8	41.	31.2	58.	31.1
8	30.3	25.	24.8	42.	29.4	59.	26.1
9	28.0	26.	25.0	43.	24.5	60.	23.4
10	27.1	27.	29.5	44.	25.2	61.	37.1
11	26.5	28.	29.3	45.	37.9	62.	37.2
12	26.8	29.	31.3	46.	31.4	63.	42.1
13	22.4	30.	18.4	47.	27.6	64.	42.2
14	21.0	31.	34.9	48.	22.7	65.	39.9
15	31.0	32.	31.3	49.	22.9	66.	38.4
16	21.7	33.	28.4	50.	23.1		
17	30.4	34.	31.4	51.	28.7		

α/α	ΕΥΡΟΣ ΚΛΑΣΗΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (F)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (F)
1	21-23.65	7	7
2	23.65-26.30	7	14
3	26.30-28.95	19	33
4	28.95-31.60	17	50
5	31.60-34.65	5	55
6	34.25-36.90	4	59
7	36.90-39.55	4	63
8	39.55-42.2	3	66

Πίνακας 9.3: Κύρος κλάσεων - συχνότητα - Αθροιστική συχνότητα



Σχήμα 9.1 Ιστόγραμμα αντοχών

Από το ιστόγραμμα φαίνεται η συγκέντρωση των τιμών γύρω από τη μέση τιμή του δείγματος $\bar{x} = 29.60 \text{ Mpa}$.

Αν στον κατακόρυφο άξονα παρασταθούν οι αθροιστικές συχνότητες, τότε έχουμε την κατανομή των αθροιστικών συχνοτήτων (σχήμα 9.2). Από αυτή την κατανομή μπορούμε κάθε φορά να δούμε τον αριθμό των στοιχείων του δείγματος, των οποίων οι τιμές είναι μικρότερες ή ίσες με μία ορισμένη τιμή.

9.2.4 Έλεγχος καταλληλότητας κατανομής (TEST χ^2)

Θεωρητικά οι αντοχές μιας μεγάλης ποσότητας σκυροδέματος, αν αυτή μετατραπεί σε δοκίμια, ακολουθούν την κανονική κατανομή.

Η προσαρμογή όμως των τιμών του δείγματος στην κανονική κατανομή (Gauss) πρέπει να ελεγχθεί, ώστε όσα θα πούμε παρακάτω, χρησιμοποιώντας την εξίσωση της κανονικής κατανομής:

$$z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad (9.7)$$

να είναι αξιόπιστα.

Ο συνηθέστερος έλεγχος καταλληλότητας κατανομής για την προσαρμογή σ' ένα δείγμα είναι το TEST χ^2 .

9.2.4.1 TEST χ^2

Στην κατανομή Gauss ο αριθμός των παραμέτρων είναι:

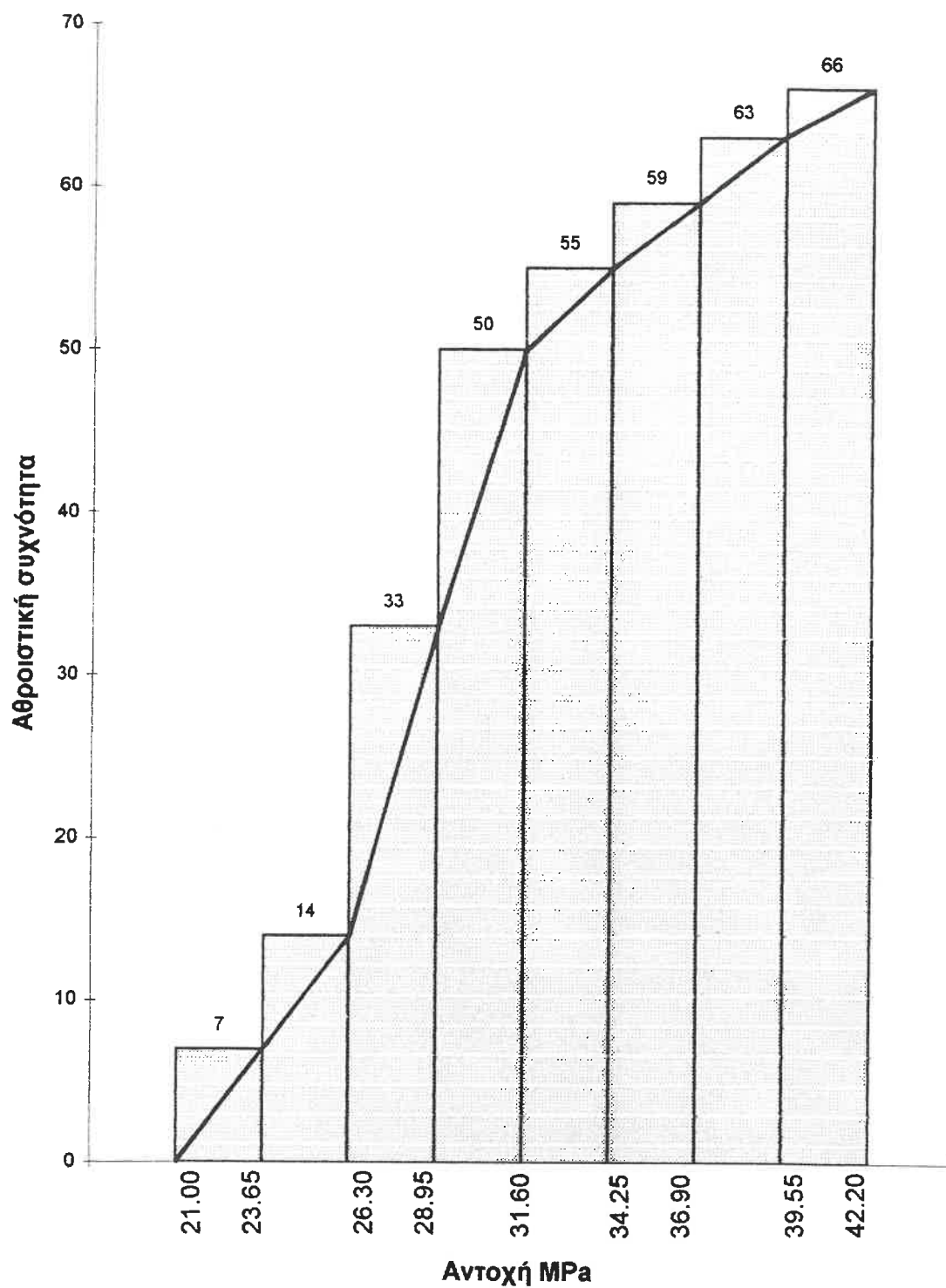
$$p = 2 \text{ (μέση τιμή, τυπική απόκλιση)}$$

Στο Test- χ^2 χωρίζουμε το δείγμα σε K κλάσεις, έτσι ώστε τα θεωρητικά στοιχεία ℓ που θα υπάρχουν σε κάθε κλάση είναι:

$$\ell = \frac{N}{K} \geq 5 \quad (9.8)$$

Δηλαδή

$$\frac{N}{K} \geq 5 \Rightarrow K \leq \frac{N}{5} \quad (9.9)$$



Σχήμα 9.2 Κατανομή αθροιστικών συχνοτήτων και πολύγωνο αθροιστικών συχνοτήτων

Από τη σχέση (9.9) για $N = 66$ και $K = 5$ έχουμε:

$$\frac{66}{5} = 13.2 > 5$$

Τα θεωρητικά στοιχεία κάθε κλάσης είναι:

$$\ell = 13.2 > 5, \text{ δεκτό}$$

Ο αριθμός των κλάσεων είναι:

$$K = 5$$

και οι βαθμοί ελευθερίας της κατανομής χ^2 με την οποία γίνεται ο έλεγχος είναι:

$$v = K - 1 - p \Rightarrow v = 5 - 1 - 2 = 2 \geq 1$$

Έτσι σχηματίζουμε τον πίνακα (9.4):

α/α ΚΛΑΣΕΩΝ	ΟΡΙΑ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ	ΟΡΙΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ x_i	ℓ_i	n_i	$n_i - \ell_i$	$\frac{(n_i - \ell_i)^2}{\ell_i}$
1.	$0 \leq F_i \leq 0.20$	$x \geq 33.67$	13.2	13	0.2	0.003
2.	$0.2 \leq F_i \leq 0.4$	$33.67 \leq x \leq 30.82$	13.2	12	1.2	0.1091
3.	$0.4 \leq F_i \leq 0.6$	$30.82 \leq x \leq 28.37$	13.2	11	2.2	0.366
4.	$0.6 \leq F_i \leq 0.8$	$28.37 \leq x \leq 25.53$	13.2	19	5.8	2.548
5.	$0.8 \leq F_i \leq 1$	$x \leq 25.53$	13.2	11	2.2	0.366
			66	65		

Πίνακας 9.4

$$F_i = 0.20 \Rightarrow z = 0.841 \Rightarrow x_1 = 29.60 + 4.84 * 0.841 = 33.67$$

$$F_i = 0.40 \Rightarrow z = 0.253 \Rightarrow x_2 = 29.60 + 4.84 * 0.253 = 30.82$$

$$F_i = 0.60 \Rightarrow z = 0.253 \Rightarrow x_3 = 29.60 + 4.84 (-0.253) = 28.37$$

$$F_i = 0.80 \Rightarrow z = -0.841 \Rightarrow x_4 = 29.60 + 4.84 (-0.841) = 25.53$$

$$\text{Είναι λοιπόν } \chi^2 = \sum_{k=i}^s \frac{(n_i - \ell_i)^2}{\ell_i} = 0.003 + 0.109 + 0.366 + 2.548 + 0.366 = 3.03$$

Από πίνακες κατανομής για $\left. \begin{matrix} v = 2 \\ x^2 = 3.03 \end{matrix} \right\} \Rightarrow F_1(x^2) = 0.23$

Άρα $F(x^2) = 0.23 > 0.05$ και συνεπώς η κατανομή του δείγματος μπορεί να προσαρμοστεί στην κανονική κατανομή.

9.3 Δείγμα M

Όπως είπαμε η λήψη των δοκιμών M γινόταν από τον αναμεικτήρα τις πρωινές ώρες.

Για τις 33 ημέρες δειγματοληψίας συμπληρώνουμε τον πίνακα (9.5), από τον οποίο προκύπτει η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των δοκιμών **M**:

$$\bar{x}_M = 29.95 \text{ MPa}$$

$$S_M = 4.59 \text{ MPa}$$

9.4 Δείγμα M'

Τα δοκίμια **M'** διαφέρουν από τα M μόνο ως προς την ώρα λήψης, δηλαδή η παρασκευή των **M'** γινόταν το μεσημέρι.

Το δείγμα των **M'** φαίνεται στον πίνακα (9.6) και έτσι η μέση τιμή $\bar{x}_{M'}$ και η τυπική απόκλιση $S_{M'}$ είναι:

$$\bar{x}_{M'} = 29.23 \text{ MPa}$$

$$S_{M'} = 5.11 \text{ MPa}$$

9.5 Δείγμα B

Το δείγμα των δοκιμών **B** αποτελείται από 33 στοιχεία πίνακας (9.7).

Το δείγμα των δοκιμών **B** δίνει:

$$\bar{x}_B = 28.61 \text{ MPa}$$

$$S_B = 4.29 \text{ MPa}$$

9.6 Απαιτούμενη αντοχή ($f_{\text{απ}}$)

Από την εξίσωση σχεδιασμού:

$$f_{\text{απ}} = f_{\text{ck}} + 1.64 * S \quad (9.10)$$

α/α	ANTOXH MPa	α/α	ANTOXH MPa
1	26.4	18.	32.0
2	28.7	19.	30.1
3	34.1	20.	29.3
4	30.4	21.	31.2
5	28.0	22.	24.5
6	26.5	23.	37.9
7	22.4	24.	27.6
8	31.0	25.	22.9
9	30.4	26.	28.7
10	28.9	27.	26.7
11	25.9	28.	32.2
12	26.8	29.	31.7
13	24.8	30.	26.1
14	29.5	31.	37.1
15	31.3	32.	42.1
16	34.9	33.	39.9
17	28.4		

Πίνακας 9.5: Δείγμα Μ

α/α	ANTOXH MPa	α/α	ANTOXH MPa
1	27.7	18	31.2
2	28.5	19	35.0
3	33.7	20	34.7
4	30.3	21	29.4
5	27.1	22	25.2
6	26.8	23	31.4
7	21.0	24	27.7
8	21.7	25	23.1
9	31.4	26	28.6
10	27.8	27	27.1
11	27.1	28	34.3
12	26.1	29	31.1
13	25.0	30	23.4
14	29.3	31	27.2
15	18.4	32	42.2
16	31.3	33	38.4
17	31.4		

Πίνακας 9.6: Δείγμα Μ'

α/α	ANTOXH MPa	α/α	ANTOXH MPa
1	27.9	18.	36.9
2	30.1	19.	33.7
3	33.6	20.	33.6
4	30.9	21.	32.3
5	25.5	22.	23.3
6	22.8	23.	36.3
7	30.2	24.	24.5
8	26.7	25.	19.9
9	32.2	26.	21.6
10	29.5	27.	24.1
11	27.1	28.	25.9
12	25.2	29.	28.7
13	24.9	30.	24.6
14	29.8	31.	30.9
15	32.7	32.	33.4
16	29.4	33.	30.5
17	25.5		

Πίνακας 9.7: Δείγμα Β

για ποσοστό υποαντοχής 5%

παίρνουμε $f_{\text{απ.}} = 20 + 1.64 \cdot 4.84 = 27.94 \text{ MPa}$

Η μέση τιμή (f_m) του δείγματος είναι:

$$f_m = 29.60 \text{ MPa}$$

Παρατηρούμε ότι η μέση τιμή είναι αυξημένη κατά 1.66 MPa από την απαιτούμενη και ισχύει:

$$f_m > f_{\text{απ.}} \quad (9.11)$$

9.7 Ποσοστό υποαντοχής δείγματος

Το δείγμα των 66 αντοχών προέρχεται από σκυρόδεμα κατηγορίας C16/20, κάτι που σημαίνει ότι η χαρακτηριστική αντοχή του κύβου θα είναι $f_{ck \text{ κύβου}} = 20 \text{ MPa}$.

Όπως έχουμε αναφέρει, χαρακτηριστική αντοχή f_{ck} , είναι εκείνη η αντοχή, κάτω από την οποία αναμένεται να συναντηθεί το 5% ενός πληθυσμού δοκιμών από σκυρόδεμα.

Εδώ θα υπολογίσουμε το πραγματικό ποσοστό υποαντοχής του δείγματος των 66 δοκιμών, από τη σχέση (9.12).

$$z = \frac{x - \bar{x}}{s} \quad (9.12)$$

Η σχέση (9.12) για $\bar{x} = 29.60 \text{ MPa}$ και $s = 4.84 \text{ MPa}$ δίνει:

$$z = -1.9834$$

και από τον πίνακα (2.1) του κεφαλαίου 2, ο οποίος δίνει για κάθε z , το ποσοστό α το οποίο βρίσκεται κάτω από την τιμή η οποία αντιστοιχεί στο z , έχουμε με γραμμική παρεμβολή

$$\alpha = 0.023663$$

Έτσι το ποσοστό υποαντοχής του δείγματος των 66 δοκιμών είναι 2.37%.

Εδώ παρατηρούμε ότι το δείγμα, παρόλο που παρουσιάζει αυξημένη τυπική απόκλιση ($s = 4.84 \text{ MPa}$), ταυτόχρονα εμφανίζει χαμηλό ποσοστό υποαντοχής, κάτι

που οφείλεται στην υψηλή μέση τιμή του και η οποία βρίσκεται $1.98 \cdot s$ υψηλότερα της χαρακτηριστικής αντοχής των 20 MPa, όπως δείχνει και το σχήμα (9.3).

9.8 Σύγκριση δειγμάτων M και B (σχήμα 9.4)

Στο έτοιμο σκυρόδεμα, το αυτοκίνητο αναδευτήρας -βαρέλα- ομοιομορφοποιεί σε μεγάλο βαθμό ένα σύνολο αναμειγμάτων, αντικαθιστώντας έτσι τον πληθυσμό των αναμειγμάτων με τον πληθυσμό των φορτίων.

Το φορτίο κάθε αυτοκινήτου αποτελείτο συνήθως από τρία αναμείγματα και μετά την 5λεπτη συνεχή του ανάδευση τείνει να γίνει ένα νέο ανάμειγμα που δημιουργείται από την ομοιομορφοποίηση δύο ή τριών αναμειγμάτων του αναμεικτήρα.

Αποδεικνύεται [5], ότι αν ο μητρικός πληθυσμός, εδώ τα δοκίμια **M**, ακολουθεί κανονική κατανομή, τότε η κατανομή των μέσων όρων των τριών αναμειγμάτων που ανάδευε η βαρέλα, δηλαδή τα δοκίμια **B**, ακολουθεί κανονική κατανομή με τυπική απόκλιση

$$S_B = \frac{S_M}{\sqrt{n}} \quad (9.13)$$

Η σχέση (9.13) δίνει για $s_M = 4.59$ και $n = 3$,

$$s_B = 2.65 \text{ MPa}$$

Θα έπρεπε λοιπόν τα δοκίμια **B** να έχουν τυπική απόκλιση κοντά στο 2.65, κάτι που όμως δεν συμβαίνει.

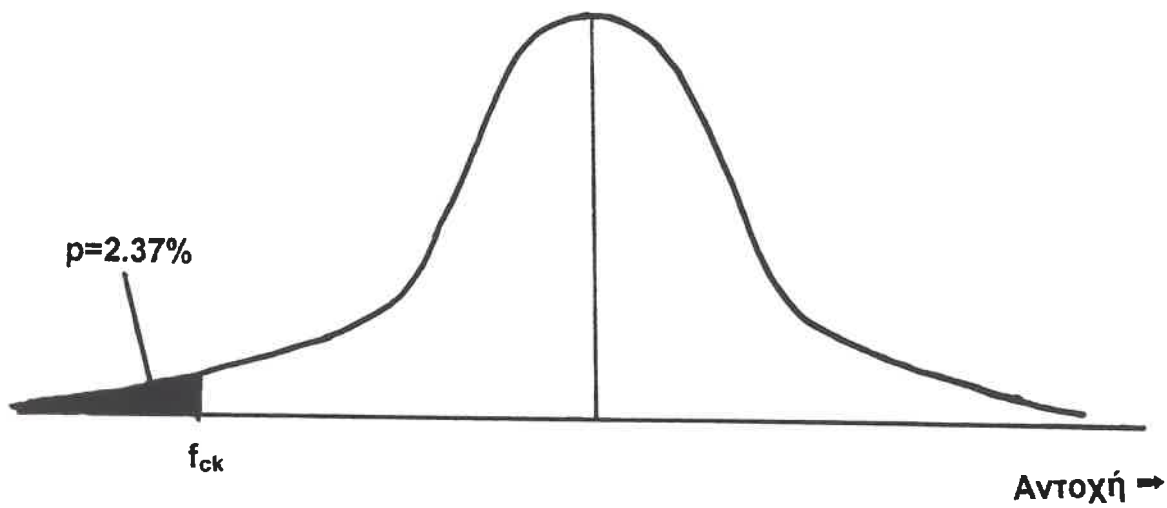
Ο λόγος που δεν συναντάται αυτή η απόκλιση είναι ότι το μείγμα μετά την ανάδευση δεν είναι σίγουρο ότι είναι πλήρως ομογενοποιημένο. Άλλωστε το αυτοκίνητο αναδευτήρας δεν είναι αναμεικτήρας. Ακόμα το δοκίμιο δεν λαμβανόταν όπως ορίζει ο κανονισμός, μετά την αποφόρτωση του 1/3 του φορτίου αλλά από την αρχή της βαρέλας.

9.9 Σύγκριση δειγμάτων M και M'

Συγκρίνοντας, σχήμα (9.5) τις αντοχές των δειγμάτων **M** και **M'**, παρατηρούμε αρχικά την αυξημένη τυπική απόκλιση του **M'** ($s_{M'} = 5.11 \text{ MPa}$) σε σχέση με αυτή του **M** ($s_M = 4.59 \text{ MPa}$).

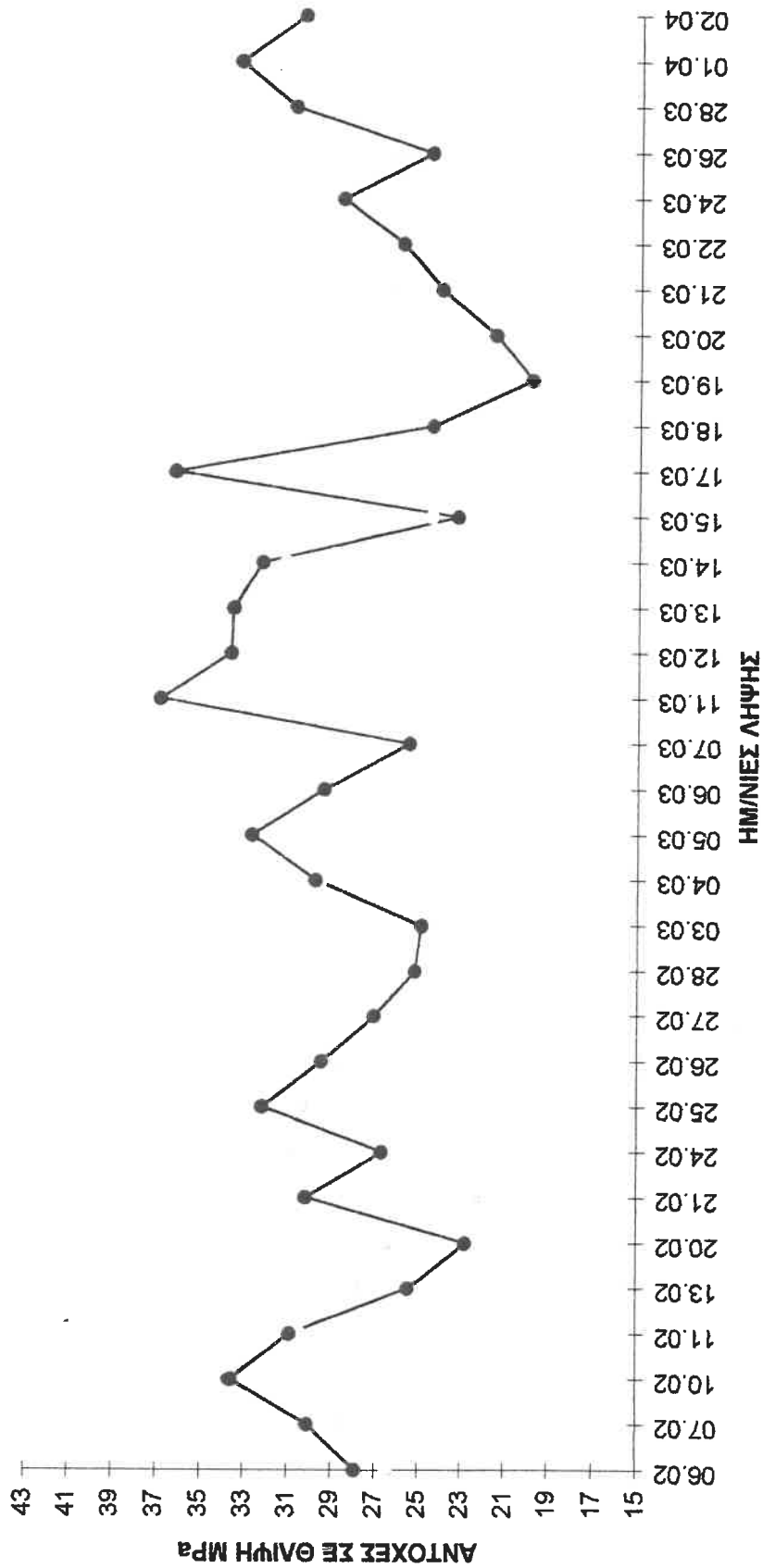
Μέση τιμή $\bar{x}=29.6 \text{ MPa}$

Τυπική απόκλιση $s=4.84 \text{ Mpa}$



Σχήμα 9.3 Ποσοστό υποαντοχής δείγματος p

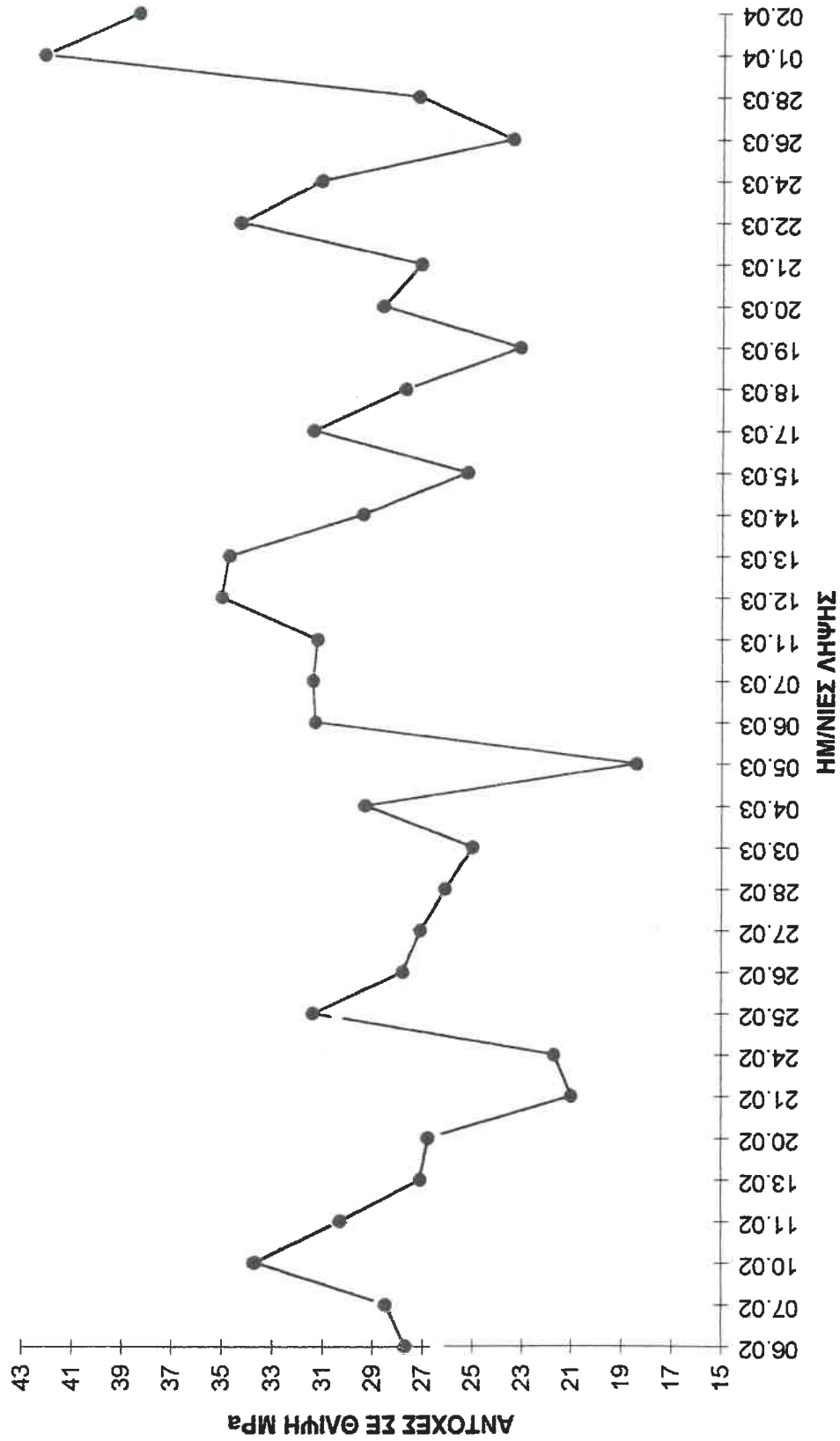
ΑΝΤΟΧΕΣ B & M



Σχήμα 9.4

Αντοχή M
—•— Αντοχή M'

ANTOXES M & M'



Σχήμα 9.5

Επειδή η δειγματοληψία των M' γινόταν τις μεσημεριανές ώρες, αυτή η αύξηση μπορεί να οφείλεται στην κούραση του χειριστή η οποία οδηγούσε σε μικρολάθη, στην ζύγιση και στην ανάμειξη των υλικών, κάτι που τελικά οδηγούσε σε μεγαλύτερη ανομοιομορφία.

Ακόμα από το σχήμα (9.5) φαίνεται ότι τα δύο δείγματα παρουσιάζουν περίπου ίδια αντοχή. Τα M και M' συμβαδίζουν, εκτός δύο-τριών περιπτώσεων, σε αντοχή.

9.10 Δειγματοληψία επτάδων

Κατά τις ημερομηνίες 5/3, 6/3, 7/3, 12/3, 13/3, 14/3 έγινε η λήψη επτά δοκιμών M και επτά δοκιμών M' αντί του ενός που είχε ληφθεί τις υπόλοιπες ημέρες.

Από αυτές τις επτάδες, με τυχαία επιλογή πήραμε το τρίτο δοκίμιο, κάθε φορά, για τη συμπλήρωση του δείγματος των 66 αντοχών.

Θα μπορούσαμε βέβαια να πάρουμε αντί του ενός δοκιμίου, το μέσο όρο της επτάδας, όμως αυτό δεν έγινε, πρώτον γιατί το ένα δοκίμιο αντιπροσώπευε και τις προηγούμενες δειγματοληψίες από τον αναμεικτήρα, και δεύτερον γιατί αν παίρναμε το μέσο όρο θα εμπλέκαμε την μικρή τυπική απόκλιση που παρουσιάζουν τα δοκίμια ενός αναμείγματος σε σχέση με ολόκληρο τον πληθυσμό.

Οι αντοχές των επτάδων παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα (9.8).

9.10.1 Ελεγχος ακραίων αντοχών

Πριν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, καλό θα είναι να ελέγξουμε την απόρριψη ή όχι της επτάδας M' που παρασκευάστηκε στις 5/3.

Από τον πίνακα (9.8), με μια πρώτη ματιά φαίνεται ότι αυτές οι αντοχές ανήκουν σε άλλο πληθυσμό, διαφορετικό από εκείνο που ανήκουν οι υπόλοιπες. Το βάρος αυτών των δοκιμών είναι μικρότερο από εκείνο που συνήθως έχουν τα δοκίμια της συγκεκριμένης κατηγορίας σκυροδέματος C16/20. Αυτό σημαίνει μικρότερο φαινόμενο βάρος και άρα χαμηλή περιεκτικότητα σε τσιμέντο και ίσως άλλη κατηγορία σκυροδέματος.

Χρειάζεται όμως, ένας στατιστικός έλεγχος για το αν θ' απορρίψουμε ή όχι τη συγκεκριμένη επτάδα.

α/α	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ΠΡΟΣΕΛΕΥΣΗ	M	M'	M	M'	M	M'	M	M'	M	M'	M	M'
ΑΝΤΟΧΕΣ MPa	31.3	15.9	34.9	31.1	28.9	29.8	22.7	35.8	34.2	29.2	31.5	24.8
	27.5	18.3	35.7	31.8	27.5	30.7	27.7	30.2	33.9	27.2	32.6	28.3
	31.3	18.4	28.4	31.3	28.4	31.4	29.9	35.0	34.7	29.3	31.2	27.1
	30.8	17.6	34.9	29.8	24.7	31.8	30.1	34.4	34.4	25.9	29.7	29.4
	31.7	19.0	35.2	32.5	30.0	32.7	29.8	35.5	35.2	29.3	31.7	28.2
	31.2	7.7	32.8	32.0	28.0	32.2	30.5	35.1	35.6	25.1	31.4	31.6
	31.7	17.1	34.6	30.7	28.3	30.0	28.7	36.5	27.8	29.2	31.9	28.7

Πίνακας 9.8: Αποτελέσματα αντοχής σε θλίψη των επάδων

Επιλέγουμε, μια άλλη επτάδα M' και υπολογίζουμε μέσο όρο και τυπική απόκλιση και των δύο.

α/α	ΗΜ/ΝΙΑ ΛΗΨΗΣ	α/α	ΗΜ/ΝΙΑ ΛΗΨΗΣ
16	06.03.97	15	05.03.97
31.1		15.9	
31.8		18.3	
31.3		18.4	
29.8		17.6	
32.5		19.0	
32		17.7	
30.7		17.1	
$\bar{x}_1 = 31.31$		$\bar{x}_2 = 17.71$	
$s_1 = 0.897$		$s_2 = 1.012$	

Πίνακας 9.9

Θεωρούμε ότι τα δύο δείγματα προέρχονται από διαφορετικούς πληθυσμούς με μέσους όρους μ_1 και μ_2 αντιστοίχως.

Θέτουμε την ανακλητή υπόθεση $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ και την εναλλακτική της

$H_1: \mu_1 - \mu_2 > 0$.

Επειδή οι δύο πληθυσμοί προέρχονται από την ίδια μονάδα θα πρέπει $\sigma_1 = \sigma_2$.

Ο βαθμός ελευθερίας είναι: $v = 7 + 7 - 2 = 12$ και σε επίπεδο σημαντικότητας 0.01 είναι $t = 2.681$.

- αν βρεθεί $t > 2.681$ δέχομαι την H_1 και απορρίπτω την επτάδα
- αν βρεθεί $t < 2.681$ δέχομαι την H_0 και την επτάδα

Η τυπική απόκλιση $\sigma = \sigma_1 = \sigma_2$ εκτιμάται από την σχέση:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{N s_1^2 + N s_2^2}{N+N-2}} \quad (9.14)$$

η σχέση (9.14) δίνει για:

- $s_1 = 0.897$
- $s_2 = 1.012$
- $N = 7$

$$\hat{\sigma} = 1.254$$

$$\text{και τελικά } t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\hat{\sigma} \sqrt{\left(\frac{1}{N} + \frac{1}{N}\right)}} = 20.29 \quad (9.15)$$

Οπότε $20.29 > 2.681$ συνεπώς η επτάδα δεν ανήκει στον ίδιο πληθυσμό. Ο στατιστικός έλεγχος για την απόρριψη της επτάδας επαναλαμβάνεται άλλες δύο φορές με δύο διαφορετικές επτάδες όπως φαίνεται παρακάτω.

α/α	ΗΜ/ΝΙΑ ΛΗΨΗΣ	α/α	ΗΜ/ΝΙΑ ΛΗΨΗΣ
21	14.03.97	15	05.03.97
31,5		15,9	
32,6		18,3	
31,2		18,4	
29,7		17,6	
31,7		19,0	
31,4		17,7	
31,9		17,1	
$\bar{x}_{11} = 31.43$		$\bar{x}_2 = 17.71 \text{ MPa}$	
$s_{11} = 0.89$		$s_2 = 1.012 \text{ MPa}$	

Πίνακας 9.10

$v = 7 + 7 - 2 = 12$ και σε επίπεδο σημαντικότητας 0.01 είναι $t = 2.681$.

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{7*0,89^2 + 7*1,012^2}{14-2}} \Rightarrow \hat{\sigma} = 1,029 \quad (9.14)$$

$$\Rightarrow t = \frac{(31,43 - 17,71)}{1,029 \sqrt{\left(\frac{1}{7} + \frac{1}{7}\right)}} = 24.94$$

Οπότε $24.94 > 2.681$ συνεπώς η επτάδα δεν ανήκει στον ίδιο πληθυσμό.

Ακολουθεί ο τρίτος στατιστικός έλεγχος στην επόμενη σελίδα.

α/α	ΗΜ/ΝΙΑ ΛΗΨΗΣ	α/α	ΗΜ/ΝΙΑ ΛΗΨΗΣ
20	13.03.97	15	05.03.97
29,2		15,9	
27,2		18,3	
29,3		18,4	
25,9		17,6	
29,3		19,0	
25,1		17,7	
29,2		17,1	
$\bar{x}_{10} = 27,68$		$\bar{x}_2 = 17,71 \text{ MPa}$	
$s_{10} = 1,71$		$s_2 = 1,012 \text{ MPa}$	

Πίνακας 9.11

$$\hat{\sigma} = 1,181$$

$$\Rightarrow t = 15,79 > 2,681 \Rightarrow \text{δεν ανήκει στον ίδιο πληθυσμό}$$

Είναι προφανές πως η συγκεκριμένη επτάδα, μετά και από τους τρεις στατιστικούς ελέγχους, δεν ανήκει στον ίδιο πληθυσμό με τις υπόλοιπες επτάδες. Η συγκεκριμένη επτάδα εξαιρείται παρακάτω από το δείγμα για τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης της μονάδας του εργοστασίου, καθώς και από την ανάλυση που ακολουθεί και αφορά το δείγμα των επτάδων.

9.10.2 Ανίχνευση ελαττωματικής μήτρας

Τις ημέρες που η δειγματοληψία περιελάμβανε 15 δοκίμια (7M-7M'-1B), ανάμεσα στις 15 μήτρες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν, υπήρχε μια μήτρα ελαττωματική. Αυτή η μήτρα είναι κατασκευασμένη από το ίδιο εργοστάσιο σκυροδέματος, με σκοπό τη λήψη δοκιμών από οικοδομές και άλλα έργα, για να ελέγχεται η ποιότητα του σκυροδέματος που παραδίδει το εργοστάσιο. Εδώ, θα πρέπει να τονίσουμε ότι το εργοστάσιο διαθέτει αρκετές μαντεμένιες μήτρες οι

οποίες δεν είναι αρκετές για να καλύψουν τις ανάγκες των έργων, ανάγκες οι οποίες καλύπτονται με τις πιο πάνω μήτρες. Εν γνώση μας και λόγω ανάγκης, χρησιμοποιήσαμε τη συγκεκριμένη (ελαττωματική μήτρα) για την οποία υπήρχε υποψία μη ανεκτής επιπεδότητας των εδρών της. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκε στις ομάδες των 7 δοκιμίων ώστε τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους και να είναι εύκολη η εξαγωγή συμπεράσματος. Ωστόσο, το εργοστάσιο χρησιμοποιεί κυρίως μαντεμένιες μήτρες της εταιρίας ATLANTIC και στην ανάγκη συμπληρώνεται ο αριθμός των αναγκαίων μητρών για τη λήψη των δοκιμίων από μήτρες ιδιοκατασκευής.

Η ανίχνευση της ελαττωματικής μήτρας είναι μια λεπτή υπόθεση, όμως επειδή τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν ήταν αρκετά και σαφή, η ανίχνευση της ήταν τελικά μια απλή υπόθεση.

Όταν γινόταν το καλούπωμα των δεκαπεντάδων, έγινε προσπάθεια ώστε η πιο πάνω μήτρα να μην χρησιμοποιείται για την παρασκευή του δοκιμίου που λαμβανόταν από τη βαρέλα καθώς αυτό ήταν μοναδικό.

Είναι φανερό ότι αν με την ελαττωματική μήτρα, γινόταν η λήψη δοκιμίου που να ανήκε στις τριάδες των υπόλοιπων ημερών, (κάτι που αναπόφευκτα όπως θα δούμε πιο κάτω έγινε τις τελευταίες ημέρες), θα ήταν δύσκολη η ανίχνευσή της.

Την ανίχνευση των ελαττωματικών δοκιμίων, ουσιαστικά βοήθησε:

- α) το ότι ανήκε σε επτάδα δοκιμίων **M** ή **M'**
- β) το ότι τα δοκίμια πάντα ζυγίζονταν πριν τη θλίψη και αυτό το δοκίμιο είχε, σε σχέση με τα υπόλοιπα έξι δοκίμια, σαφώς μικρότερο βάρος
- γ) η μέτρηση των διαστάσεων των δοκιμίων πριν τη θλίψη, με μηκυνσιόμετρο ακρίβειας 0.1 mm το οποίο για κάθε ελαττωματικό δοκίμιο έδινε μια τιμή 1.5 ~ 2 mm μικρότερη από τις υπόλοιπες μετρήσεις της επτάδας
- δ) η μικρότερη αντοχή σε σχέση με τα υπόλοιπα έξι δοκίμια. Αυτή η παρατήρηση, ήταν το ερέθισμα για να εξακριβωθεί τι συμβαίνει και υπάρχει αυτή η μειωμένη τιμή στην αντοχή ενός μόνο δοκιμίου, στο σύνολο της επτάδας.

Τα δοκίμια που προήλθαν από αυτή τη μήτρα παρουσίαζαν πρόβλημα επιπεδότητας, τόσο στην επιφάνεια μιας έδρας, όσο και μεταξύ δύο απέναντι εδρών.

Οι πλάκες της μηχανής θλίψης δεν είχαν πλήρη επαφή με τις έδρες του δοκιμίου που έφεραν το φορτίο, με αποτέλεσμα την ανομοιογένεια στην κατανομή των τάσεων και τελικά την θραύση του δοκιμίου, με τάση μικρότερη απ' αυτή που θα είχαμε, αν το δοκίμιο προερχόταν από μια κανονική μήτρα.

9.10.3 Πτώση αντοχής ενός δοκιμίου που προήλθε από την ελαττωματική μήτρα

Οι αντοχές αυτών των δοκιμών καθώς και ο μέσος όρος των υπολοίπων έξι που απομένουν φαίνονται στον πίνακα (9.12):

Επτάδα α/α	Αντοχή ελαττωματικού δοκιμίου	Μέσος όρος υπόλοιπων δοκιμών
2 ^η	15.9	18.02
3 ^η	28.4	34.68
5 ^η	24.7	28.52
7 ^η	22.7	29.45
9 ^η	27.8	34.67
12 ^η	24.8	28.88

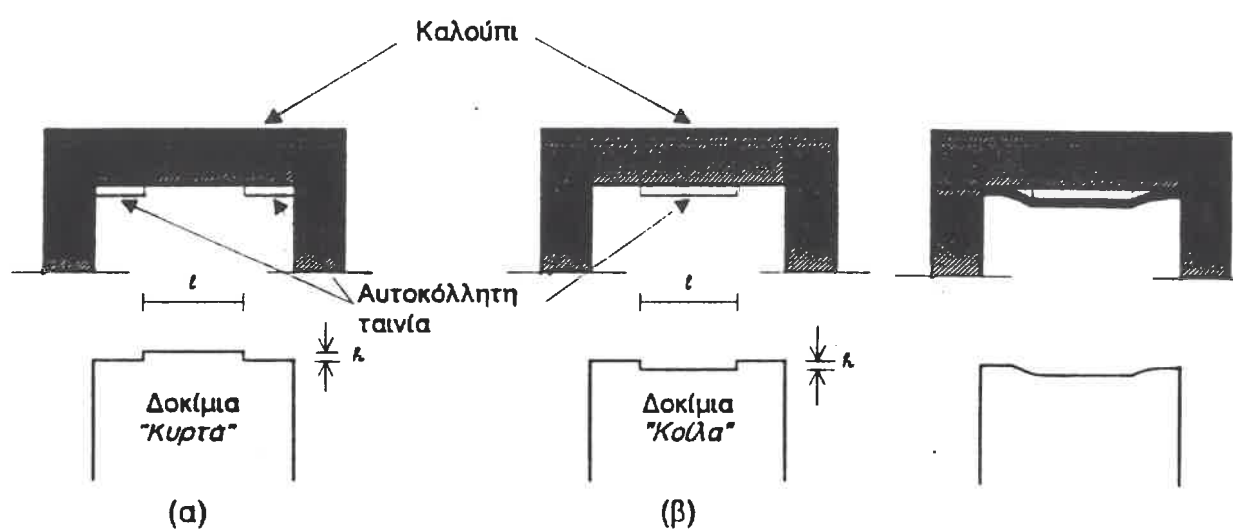
Πίνακας 9.12

Από τον πίνακα (9.12) βρίσκουμε κάθε φορά την πτώση της αντοχής:

- 2^η επτάδα πτώση 2.12 MPa ή 11.76 %
- 3^η επτάδα πτώση 6.28 MPa ή 18.11 %
- 5^η επτάδα πτώση 3.82 MPa ή 13.39 %
- 7^η επτάδα πτώση 6.75 MPa ή 22.92 %
- 9^η επτάδα πτώση 4.08 MPa ή 14.13 %

Από τα πιο πάνω αποτελέσματα φαίνεται η πτώση της αντοχής, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 11.76% και 22.92%.

Από τη βιβλιογραφία [19] και την εργασία των Στ. Κόλλια και Μ. Κατσάκου, οι οποίοι παρασκεύασαν δοκίμια με καθορισμένες ανωμαλίες στις επιφάνειες τους, σχήμα (9.6) [19], παρατηρείται πτώση στην αντοχή που κάποιες φορές φτάνει στο 1/3 της αντοχής επίπεδου κυβικού δοκιμίου. Βέβαια σκοπός της πιο πάνω εργασίας ήταν να εξαχθούν ορισμένα συμπεράσματα όσον αφορά την επίδραση της



Σχήμα 9.6 Μέθοδος παρασκευής δοκιμίων με προκαθορισμένη απόκλιση από την επιπεδότητα (σκαρίφημα) [19]

επιπεδότητας στην μετρούμενη αντοχή του σκυροδέματος και οι δοκιμές έγιναν σε δοκίμια με ορισμένες αποκλίσεις στην επιπεδότητα (κοίλα, κυρτά), όπως φαίνεται και στο σχ. (9.6).

Επιστρέφοντας στην εργασία μας, παρατηρούμε τη σοβαρή πτώση στην αντοχή, πτώση που ξεπερνά το 1/10 και φτάνει στο 1/5 της μέσης αντοχής που παρουσιάζει ένα σύνολο γεωμετρικά σωστών δοκιμών. Αυτό μας προβληματίζει στις περιπτώσεις που ο έλεγχος συμμορφώσεως μιας ποσότητας σκυροδέματος γίνεται με τέτοιες μήτρες.

Συνιστάται λοιπόν, κάθε φορά που γίνεται η λήψη δοκιμών, η χρήση καλουπιών που δεν παρουσιάζουν προβλήματα επιπεδότητας, ώστε το αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται από ένα επιπλέον παράγοντα. Είναι φανερό πλέον, ότι η τιμή της αντοχής σε θλίψη ενός δοκιμίου, πρέπει να εξαρτάται μόνο από τη σύνθεση του σκυροδέματος που παρασκευάστηκε και όχι από παράγοντες όπως η συμπύκνωση, η συντήρηση του δοκιμίου, καθώς και οι ανωμαλίες στην επιφάνεια του δοκιμίου. Απαιτείται λοιπόν προσοχή σε όλα τα στάδια της δειγματοληψίας, συντήρησης και θραύσης ενός δοκιμίου, ώστε το αποτέλεσμα να είναι συγκρίσιμο.

9.10.4 Ανομοιομορφία εντός αναμειγμάτων - τυπική απόκλιση αναμεικτήρα

Με την εξαίρεση των ελαττωματικών δοκιμών, όπου υπήρχαν, οι επτάδες διαμορφώνονται όπως φαίνεται στον πίνακα (9.13).

α/α επτάδας	1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η	5 ^η	6 ^η	7 ^η	8 ^η	9 ^η	10 ^η	11 ^η	12 ^η
ΑΝΤΟΧΕΣ MPa	31.3	18.3	34.9	31.1	28.9	29.8	27.7	35.8	34.2	29.2	31.5	28.3
	27.5	18.4	35.7	31.8	27.5	30.7	29.9	30.2	33.9	27.2	32.6	27.1
	31.3	17.6	34.9	31.3	28.4	31.4	30.1	35	34.7	29.3	31.2	29.4
	30.8	19.0	35.2	29.8	30.0	31.8	29.8	34.4	34.4	25.9	29.7	28.2
	31.7	17.7	32.8	32.5	28.0	32.7	30.5	35.5	35.2	29.3	31.7	31.6
	31.2	17.1	34.6	32.0	28.3	32.2	28.7	35.1	35.6	25.1	31.4	28.7
	31.7			30.7		30.0		36.5		29.2	31.9	
Αριθμός δοκιμών	n = 7	n = 6	n = 6	n = 7	n = 6	n = 7	n = 6	n = 7	n = 6	n = 7	n = 7	n = 6

Πίνακας 9.13

Στον πίνακα (9.13), βλέπουμε ότι υπάρχει και η 2^η επτάδα με μέση τιμή 18.02 MPa, η οποία μπορεί να ανήκει σε άλλο πληθυσμό, διαφορετική θέση στον άξονα των x όπως θα δούμε παρακάτω, αλλά μας ενδιαφέρει η τιμή της τυπικής της απόκλισης.

Η τιμή αυτή είναι ανεξάρτητη από την ποιότητα του σκυροδέματος και εξαρτάται μόνο από τον αναμεικτήρα. Η τυπική απόκλιση του αναμεικτήρα τον χαρακτηρίζει από άποψη καλής λειτουργίας και ομοιογένειας στα παραγόμενα αναμείγματα.

9.10.4.1 Μέση τιμή - τυπική απόκλιση δειγμάτων

Οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις, υπολογίζονται και παρουσιάζονται στον πίνακα (9.14).

α/α	Πλήθος στοιχείων	Μέση τιμή x_i	Τυπική απόκλιση s_i
1.	7	30.78	1.48
2.	6	18.02	0.68
3.	6	34.68	0.99
4.	7	31.31	0.897
5.	6	28.52	0.86
6.	7	31.23	1.10
7.	6	29.45	1.05
8.	7	34.64	2.07
9.	6	34.67	0.64
10.	7	27.68	1.71
11.	7	31.43	0.89
12.	6	28.88	1.53

Πίνακας 9.14

9.10.4.2 Εκτίμηση τυπικής απόκλισης αναμεικτήρα [5]

Μέση τιμή αντοχών αναμειγμάτων. Η μέση τιμή των αντοχών είναι:

$$\bar{x}_A = 31.2 \text{ MPa}$$

Η μέση τυπική απόκλιση του αναμεικτήρα υπολογίζεται από την σχέση [5].

$$\hat{s}^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (n_i - 1) s_i^2}{n_i - k} \quad (9.16)$$

όπου n_i , ο αριθμός των αποτελεσμάτων στην περίπτωση ℓ

s_i , η τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων στην περίπτωση ℓ

k , ο αριθμός των δειγμάτων εδώ $k = 12$

αν αντικαταστήσουμε στη σχέση (9.16) παίρνουμε:

$$\hat{S}^2 = \frac{103.41}{66} \Rightarrow \hat{S}^2 = 1.57$$

και $\hat{S} = 1.25 \text{ MPa}$

Έτσι η τυπική απόκλιση του αναμεικτήρα εκτιμάται 1.25 MPa. Αυτή η τιμή δείχνει την άριστη λειτουργία του αναμεικτήρα ο οποίος, αν δούμε και τον πίνακα (9.12), παρασκευάζει ομοιογενή μείγματα με τυπικές αποκλίσεις που πλησιάζουν και τα 0.64 MPa.

Στο σχήμα (9.7) φαίνονται οι κατανομές των δειγμάτων (ανομοιομορφία εντός των αναμειγμάτων).

Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι ανεξάρτητα από την ποιότητα του σκυροδέματος, η τυπική απόκλιση μέσα στο ίδιο το ανάμειγμα είναι πολύ μικρή, γεγονός που όπως είδαμε πιο πάνω, προέρχεται από την μικρή τυπική απόκλιση που δίνει ο αναμεικτήρας, λόγω καλής λειτουργίας του.

9.10.5 Εφαρμογή του κριτηρίου A - Έλεγχος συμμορφώσεως

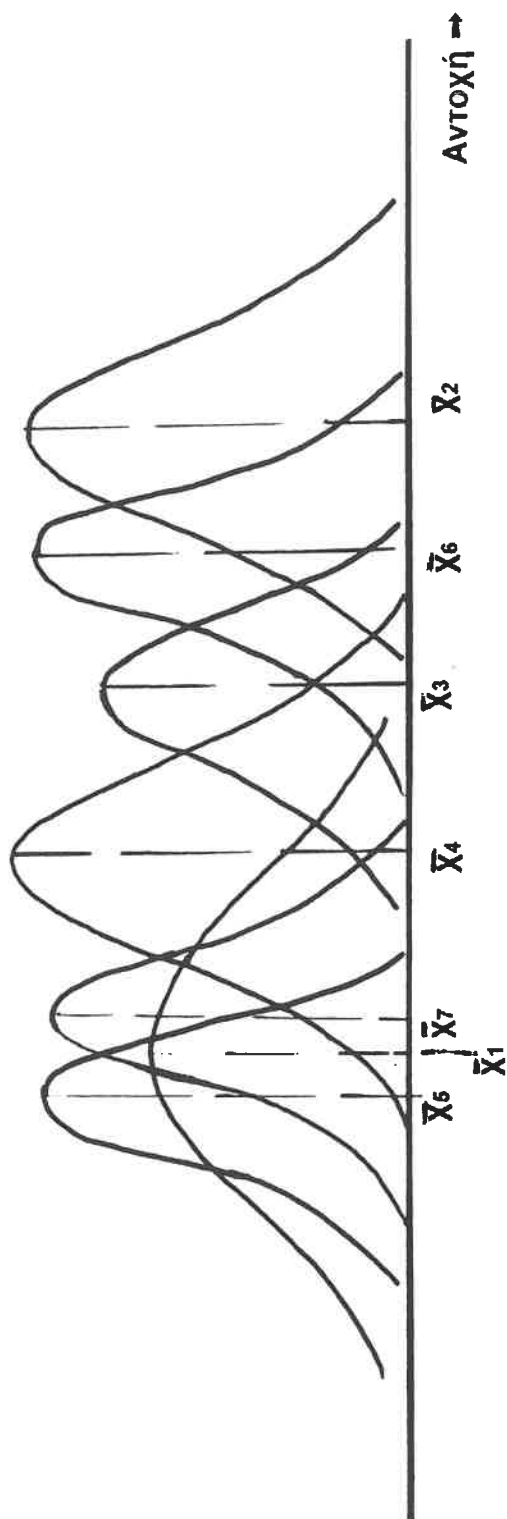
Όπως γνωρίζουμε το κριτήριο A είναι:

$$\bar{x}_6 \geq f_{ck} + 1.40 s \quad 1^{\text{ος}} \text{ κανόνας αποδοχής}$$

$$x_i \geq f_{ck} - 2.5 \text{ MPa} \quad 2^{\text{ος}} \text{ κανόνας αποδοχής}$$

όπου:

Κατανομές αναμειγμάτων



Σχήμα 9.7 Ενδεικτικό διάγραμμα της ανομοιομορφίας εντός των αναμειγμάτων

$\bar{x}_6$, ο μέσος όρος αντοχής των 6 δοκιμών της δειγματοληψίας

x_i , η αντοχή κάθε δοκιμίου δειγματοληψίας

s , η τυπική απόκλιση της δειγματοληψίας

Από κάθε δείγμα, εκτός του 2^{ου}, λαμβάνονται τα έξι πρώτα δοκίμια και γίνεται ο έλεγχος όπως φαίνεται στον πίνακα(9.15).

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ C16/20

α/α	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ MPa	31.3	34.9	31.1	28.9	29.8	27.7	35.8	34.2	29.2	31.5	28.3
	27.5	35.7	31.8	27.5	30.7	29.9	30.2	33.9	27.2	32.6	27.1
	31.3	34.9	31.3	28.4	31.4	30.1	35	34.7	29.3	31.2	29.4
	30.8	35.2	29.8	30.0	31.8	29.8	34.4	34.4	25.9	29.7	28.2
	31.7	32.8	32.5	28.0	32.7	30.5	35.5	35.2	29.3	31.7	31.6
	31.2	34.6	32	28.3	32.2	28.7	35.1	35.6	25.1	31.4	28.7
Μ.Ο. ΕΞΑΔΑΣ	30.63	34.68	31.42	28.52	31.43	29.45	34.33	34.67	27.67	28.88	28.88
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΕΞΑΔΑΣ	1.56	0.99	0.94	0.86	1.05	1.05	2.080	0.64	1.88	1.53	1.53
1 ^{ος} ΚΑΝΟΝΑΣ $f_{ck} + 1.40 \cdot 5$	22.84	21.39	21.32	21.20	21.47	21.47	22.9	20.9	22.63	22.14	22.14
(ΝΑΙ/ΟΧΙ)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2 ^ο ΚΑΝΟΝΑΣ $f_{ck} - 2.5 \text{ MPa}$	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
(ΝΑΙ/ΟΧΙ)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

Πίνακας 9.15

Από τον πίνακα (9.13) βλέπουμε ότι όλα τα δοκίμια ικανοποιούν το δεύτερο κανόνα και ότι οι μέσες τιμές των εξάδων ικανοποιούν τον πρώτο.

Εφόσον το δείγμα των δοκιμών λαμβανόταν από την έξοδο του αναμεικτήρα, μπορούμε να θεωρήσουμε το σκυρόδεμα αυτό σαν εργοταξιακό (άρθρο 13, παράγραφος 13.1 του Κ.Τ.Σ.).

Η συγκεκριμένη μονάδα είναι εργοστασιακή, ωστόσο μπορούμε να τη θεωρήσουμε και εργοταξιακή, καθότι είναι δυνατό να ελέγχονται ανά πάσα στιγμή τα μηχανικά μέσα και η σύνθεση του σκυροδέματος, κατόπιν συμφωνίας με τον κύριο του έργου που προμηθεύεται σκυρόδεμα.

9.11 Πραγματική τυπική απόκλιση μονάδας - Πραγματική μέση τιμή σκυροδέματος

Όπως γνωρίζουμε η τιμή της τυπικής απόκλισης είναι καθοριστική για ένα εργοστάσιο παραγωγής ετοιμού σκυροδέματος και το χαρακτηρίζει από άποψη ποιότητας παραγωγής.

Στη συγκεκριμένη εργασία έγινε έλεγχος μιας μονάδας παραγωγής με τον προσδιορισμό της τυπικής απόκλισης 60 δοκιμών σκυροδέματος ποιότητας C16/20.

9.11.1 Τυπική απόκλιση - μέση τιμή

Μετά την εξαίρεση ορισμένων αποτελεσμάτων, όπως είδαμε στις παραγράφους (9.10.1) και (9.10.2), καθώς και την εξαίρεση των δοκιμών των τριών τελευταίων ημερών, λόγω υψηλών τιμών αντοχής, θα υπολογίσουμε τις πραγματικές τιμές μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης της παραγωγής.

Θα πρέπει να τονίσουμε εδώ ότι εξαιρέθηκαν οι αντοχές που φαίνονται στον πίνακα (9.16).

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΛΗΨΗΣ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΑΝΤΟΧΗ MPa
28.03	M	37.1
28.03	M'	37.2
01.04	M	42.1
01.04	M'	42.2
02.04	M	39.9
02.04	M'	38.4

Πίνακας 9.16

Αυτές οι τιμές αποφασίστηκε να μην συμπεριληφθούν στον πληθυσμό του δείγματος. Οι συγκεκριμένες λήψεις δοκιμίων πραγματοποιήθηκαν σε περίοδο που εμείς (Θ. Μ. Ζεάκης - Δ. Μ. Σιαβελής) βρισκόμασταν στην Αθήνα. Είναι πολύ πιθανό από παρεξήγηση ή λάθος συνενόηση να πήραν δοκίμια από άλλη ποιότητα σκυροδέματος. Έτσι, κατόπιν και της προτροπής του κ^{ου} Κ. Γεωργίου, που πολύ συχνά μας καθοδηγούσε και μας συμβούλευε, κι έπειτα από συνεννόηση του ίδιου με τον κ^ο Σ. Κόλλια απορρίψαμε τα συγκεκριμένα δοκίμια.

Το δείγμα λοιπόν που τελικά απομένει παρουσιάζεται στον πίνακα (9.17) και αποτελείται από δοκίμια **M**, **M'**. Το δείγμα είχε συνολικά 59 στοιχεία και για να συμπληρωθεί ο αριθμός των 60 δοκιμίων πήραμε ένα στοιχείο από την επτάδα **M** της 05.03. '97 με αντοχή 30.8 MPa.

Από τις γνωστές σχέσεις (9.1) και (9.2), για $n = 60$ και τον πίνακα (9.17) παίρνουμε:

$$\bar{x}_{60} = 28.80 \text{ MPa}$$

$$s_{60} = 3.56 \text{ MPa}$$

και ο συντελεστής ανομοιομορφίας της παραγωγής είναι:

$$V = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{3.56}{28.80} \Rightarrow V = 0.12$$

είναι $0.10 < V < 0.15$ και η παραγωγή χαρακτηρίζεται σύμφωνα με τον ACI-214 καλή έως άριστη.

α/α	Αντοχή MPa	α/α	Αντοχή MPa
1.	26.4	31.	31.3
2.	27.7	32.	28.4
3.	28.7	33.	31.4
4.	28.5	34.	32.0
5.	34.1	35.	31.2
6.	33.7	36.	29.9
7.	30.4	37.	35.0
8.	30.3	38.	29.3
9.	28.0	39.	34.7
10.	27.1	40.	31.2
11.	26.5	41.	27.1
12.	26.8	42.	24.5
13.	22.4	43.	25.2
14.	21.0	44.	37.9
15.	31.0	45.	31.4
16.	21.7	46.	27.6
17.	30.4	47.	27.7
18.	31.4	48.	22.9
19.	28.9	49.	23.1
20.	27.8	50.	28.7
21.	25.9	51.	28.6
22.	27.1	52.	26.7
23.	26.8	53.	27.1
24.	26.1	54.	32.2
25.	24.8	55.	34.3
26.	25.0	56.	31.7
27.	29.5	57.	31.1
28.	29.3	58.	26.1
29.	31.3	59.	23.4
30.	34.9	60.	30.8

Πίνακας 9.17

9.11.2 Απαιτούμενη αντοχή

Από την εξίσωση σχεδιασμού: σχέση (9.10)

$$f_{\text{απ.}} = f_m + 1.64 * s$$

παίρνουμε για $s = 3.56$

$$f_{\text{απ.}} = 25.83 \text{ MPa}$$

εδώ $f_m = 28.80 > f_{\text{απ.}}$ (ισχύει)

9.11.3 Ποσοστό υποαντοχής

Από τα 60 στοιχεία του δείγματος τα οποία προέρχονται από σκυρόδεμα C16/20 και όμοια με την παράγραφο (9.6) για $s_{60} = 3.5 \text{ MPa}$ όμως και $\bar{x}_{60} = 28.80 \text{ MPa}$ η σχέση (9.12) δίνει:

$$z = -2.47$$

και από τον πίνακα (2.1) του 2^{ου} κεφαλαίου βρίσκουμε $\alpha = 0.00676$, οπότε το ποσοστό υποαντοχής είναι 0.67% (σχήμα 9.8).

9.11.4 Μέση τιμή - τυπική απόκλιση δειγμάτων M, M' και B

Από τα στοιχεία που έχουν απομείνει υπολογίζουμε τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση για τα δείγματα **M**, **M'** και **B**.

- **Δείγμα M**

$$n = 31$$

$$\bar{x}_{31} = 29.20 \text{ MPa}$$

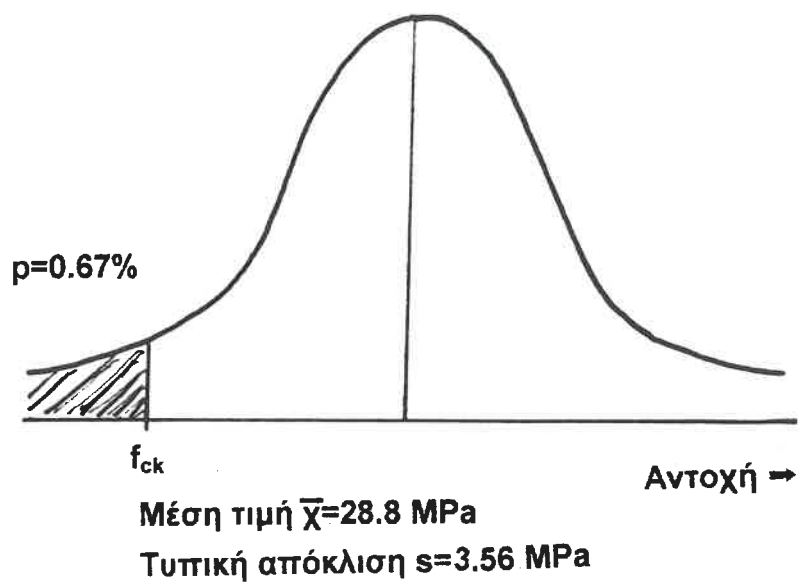
$$s_{31} = 3.57 \text{ MPa}$$

- **Δείγμα M'**

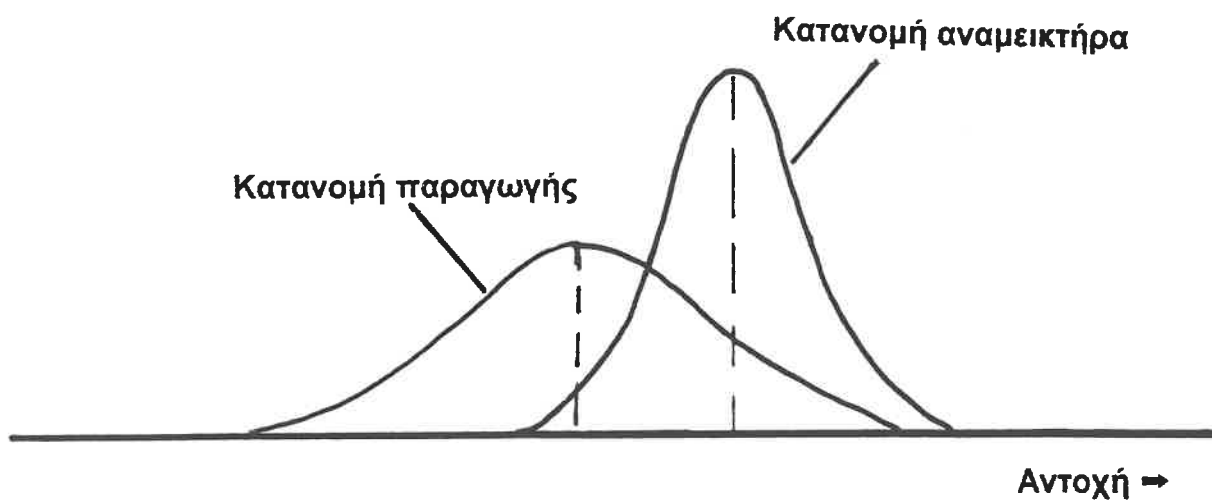
$$n = 28$$

$$\bar{x}_{28} = 28.20 \text{ MPa}$$

$$s_{28} = 3.57 \text{ Mpa}$$



Σχήμα 9.8 Ποσοστό υποαντοχής δείγματος p



Σχήμα 9.9 Ανομοιομορφία μεταξύ αναμεικτήρα και παραγωγής

- **Δείγμα Β**

$$n = 30$$

$$\bar{x}_{31} = 29.30 \text{ MPa}$$

$$s = 3.85 \text{ MPa}$$

9.11.5 Ανομοιομορφία μεταξύ αναμεικτήρα και παραγωγής

Εκτός από την ανομοιομορφία μέσα σε ένα ανάμειγμα, υπάρχει και η ανομοιομορφία μεταξύ των αναμειγμάτων, η οποία είναι η ανομοιομορφία της παραγωγής και εκφράζεται από την τυπική απόκλιση που υπολογίσαμε στην παράγραφο (9.11.1).

Η ανομοιομορφία του αναμεικτήρα (ανομοιομορφία εντός) εκφράζεται από την τυπική απόκλιση $s_A = 1.25 \text{ MPa}$ που υπολογίστηκε στην παράγραφο (9.10.4.2). Η ανομοιομορφία της παραγωγής εκφράζεται από την τυπική απόκλιση $s_{60} = 3.56 \text{ MPa}$.

Συγκρίνοντας τις δύο πιο πάνω τιμές παρατηρούμε την αύξηση της τυπικής απόκλισης της παραγωγής, αύξηση που αναμενόταν, αφού πλέον εισέρχονται και άλλοι παράγοντες στην διαμόρφωση αυτής της τιμής. Παράγοντες οι οποίοι είναι είτε τυχαίοι, οπότε είναι δύσκολη η ανίχνευσή τους, είτε επανορθώσιμοι οι οποίοι μπορούν να εντοπισθούν και να διορθωθούν.

Η τιμή 3.56 MPa χαρακτηρίζεται ικανοποιητική, αν όχι πολύ καλή, για ένα εργοστάσιο παραγωγής σκυροδέματος. Η παραγωγή δεν εξαρτάται μόνο από τον αναμεικτήρα αλλά και από πλήθος άλλων μηχανημάτων, από τη μεταβολή στην ποιότητα των πρώτων υλών και τέλος από τον ανθρώπινο παράγοντα.

Στο σχήμα (9.9) φαίνεται η ανομοιομορφία παραγωγής και αναμεικτήρα και η θέση τους στον άξονα των x (άξονας μέσων αντοχών).

9.12 Σχολιασμός δοκιμών κάθισης - Σχέση κάθισης αντοχής

9.12.1 Αποτελέσματα κάθισης

Όπως αναφέρθηκε στο 6° Κεφάλαιο σε κάθε δείγμα από το οποίο λαμβάνονταν δοκίμια, γινόταν δοκιμή καθίσεως δύο φορές και καταγραφόταν ο μέσος όρος τους. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα (9.1) (πίνακας με ημερομηνίες λήψης δοκιμίων, συμβολισμό δοκιμίου και κάθιση σε cm). Ακόμα αυτά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκριτικά στα σχήματα (9.10.M), (9.10.M') και (9.10.B) για τα δείγματα **M**, **M'** και **B**.

Τα αποτελέσματα των δύο δοκιμών κάθισης από το ίδιο δείγμα, είχαν διαφορά μεταξύ τους μικρότερη από 2 cm και πολλές φορές τα αποτελέσματα είχαν ίδια τιμή ή διέφεραν κατά 0.5 cm. Οπότε σύμφωνα με το BS 1881 υπάρχει επαναληψιμότητα της δοκιμής και τα αποτελέσματα είναι αξιόπιστα. [20]

Από τα σχήματα (9.10.M) και (9.10.B) αν συγκρίνουμε τις τιμές των καθίσεων του δείγματος **M** και του δείγματος **B**, παρατηρούμε ότι η κάθιση για το δείγμα της βαρέλας είχε σχεδόν πάντα τιμή μικρότερη από αυτή που παρουσίαζε το δείγμα του αναμεικτήρα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μετά από 5 λεπτά ανάδευσης στη βαρέλα, τα αδρανή έχουν απορροφήσει επιπλέον νερό, η ενυδάτωση έχει προχωρήσει και έχει δεσμευθεί περισσότερο νερό από το τσιμέντο. Αν κάποιες ημέρες η βαρέλα παρουσιάζει αυξημένη κάθιση, τούτο αποδίδεται στο ότι η βαρέλα αναδεύει τρία διαφορετικά, όσο αφορά την ρευστότητα, αναμείγματα. Έτσι, είναι πιθανόν τα δύο πρώτα αναμείγματα να ήταν ρευστά ενώ το τελευταίο πιο σφικτό.

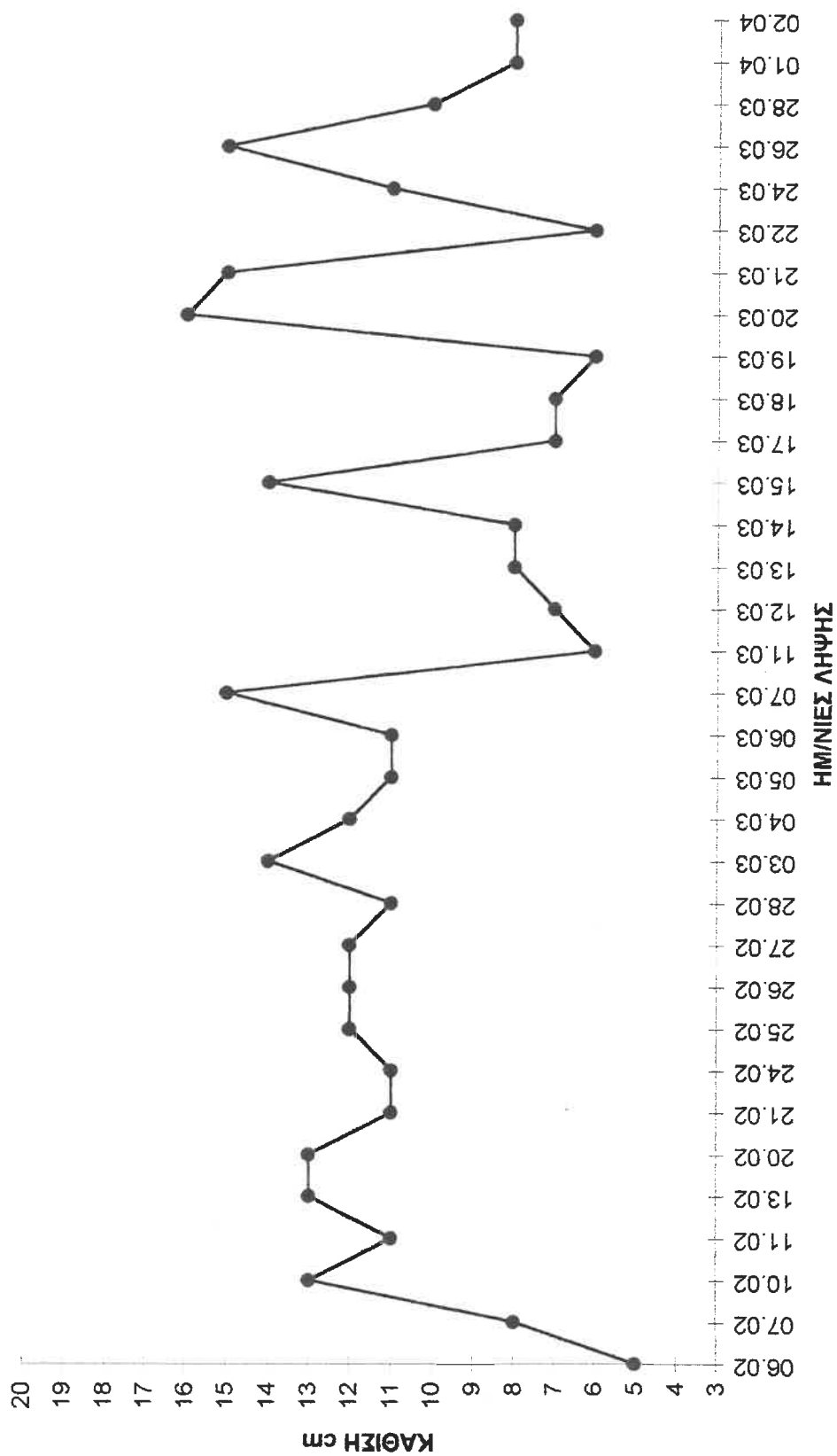
Έτσι το σκυρόδεμα παρουσιάζεται μετά την 5λεπτη ανάδευση, πιο σφικτό και ομοιόμορφο από εκείνο που συναντάμε στην έξοδο του αναμεικτήρα. Παρατηρώντας το διάγραμμα με την κάθιση της βαρέλας, είναι φανερό η σταθερότητα που αυτό παρουσιάζει. Αντίθετα, τα διαγράμματα με τις καθίσεις των δειγμάτων του αναμεικτήρα, ενώ το μήνα Φεβρουάριο παρουσιάζουν μια σταθερότητα, το Μάρτιο παρατηρούμε σημαντικές μεταβολές.

Σε γενικές γραμμές μία κάθιση μεταξύ 10-12 cm θεωρείται καλή. Σε ορισμένες περιπτώσεις βέβαια παρατηρείται κάθιση μεγαλύτερη από 13 cm. Είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί, πως πολλές φορές γίνεται επέμβαση από τους ηθύνοντες του έργου, για μεγάλη κάθιση και συνεπώς ευκολότερη διάστρωση και συμπύκνωση.

Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις έργων με ιδιαίτερες συνθήκες, όπως π.χ. πολύ πυκνός οπλισμός, και συνεπώς απαιτείται κάποια μεγαλύτερη κάθιση. Δυστυχώς η εμπειρία αποδεικνύει πως σε τέτοιες περιπτώσεις, πολύ εύκολα προσθέτουν νερό, με όσα αρνητικά αποτελέσματα έχει αυτό. Η χρήση ρευστοποιητικών προσθέτων κοστίζει και η χρήση τους είναι περιορισμένη.

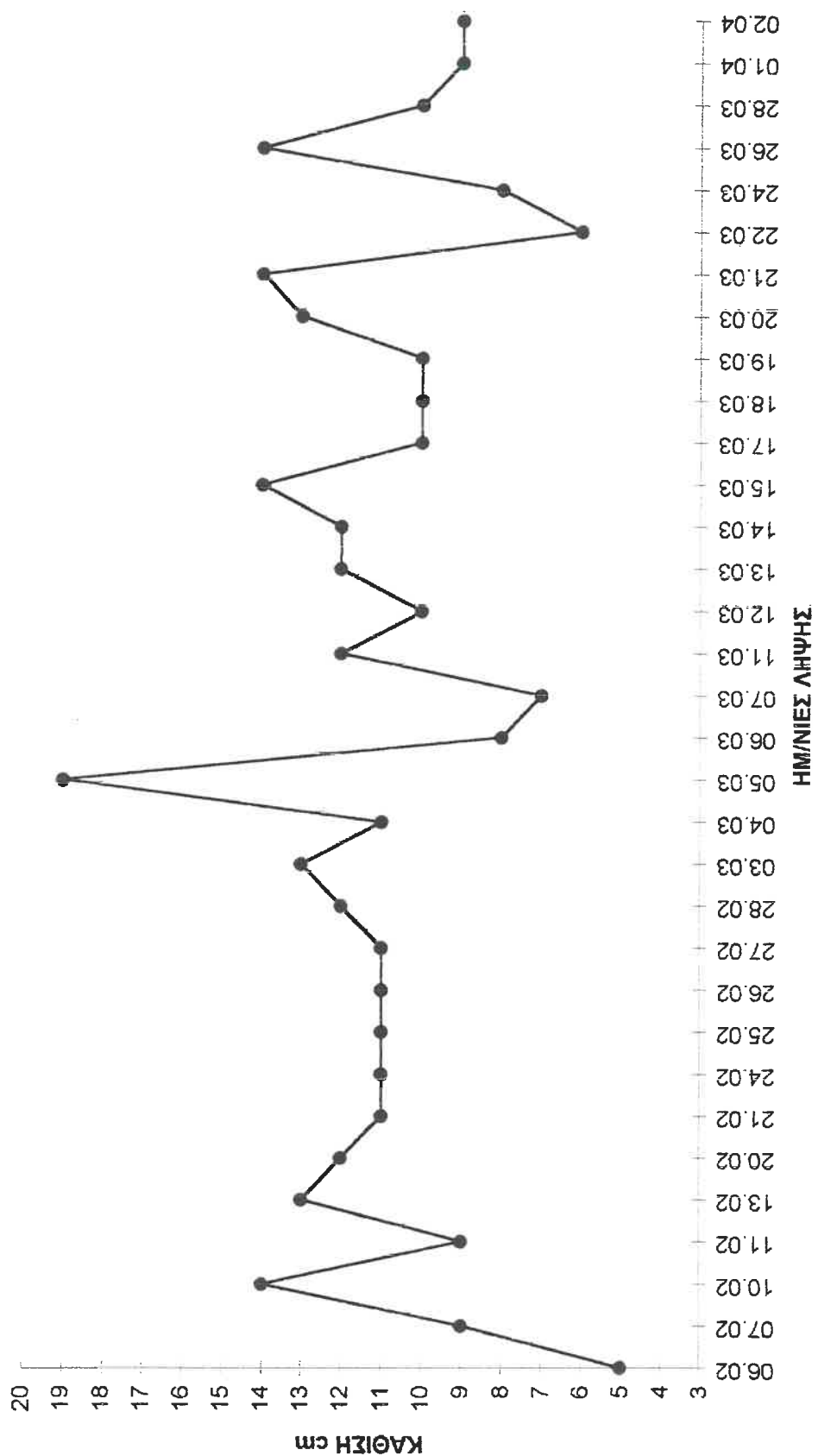
Το συγκεκριμένο εργοστάσιο έχει προβλέψει για την προσθήκη ύδατος μετά την παραγωγή. Έτσι όλα τα αυτοκίνητα αναδευτήρες είναι εφοδιασμένα με τεπόζιτα από νερό που έχουν μετρητή, ενώ στο "Δελτίο Αποστολής" υπάρχει ειδικός χώρος που αναγράφει "Προσθήκη Ύδατος Κατόπιν Εντολής του Πελάτου".

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΘΙΣΗΣ ΑΝΑΜΕΙΚΤΗΡΑ Μ



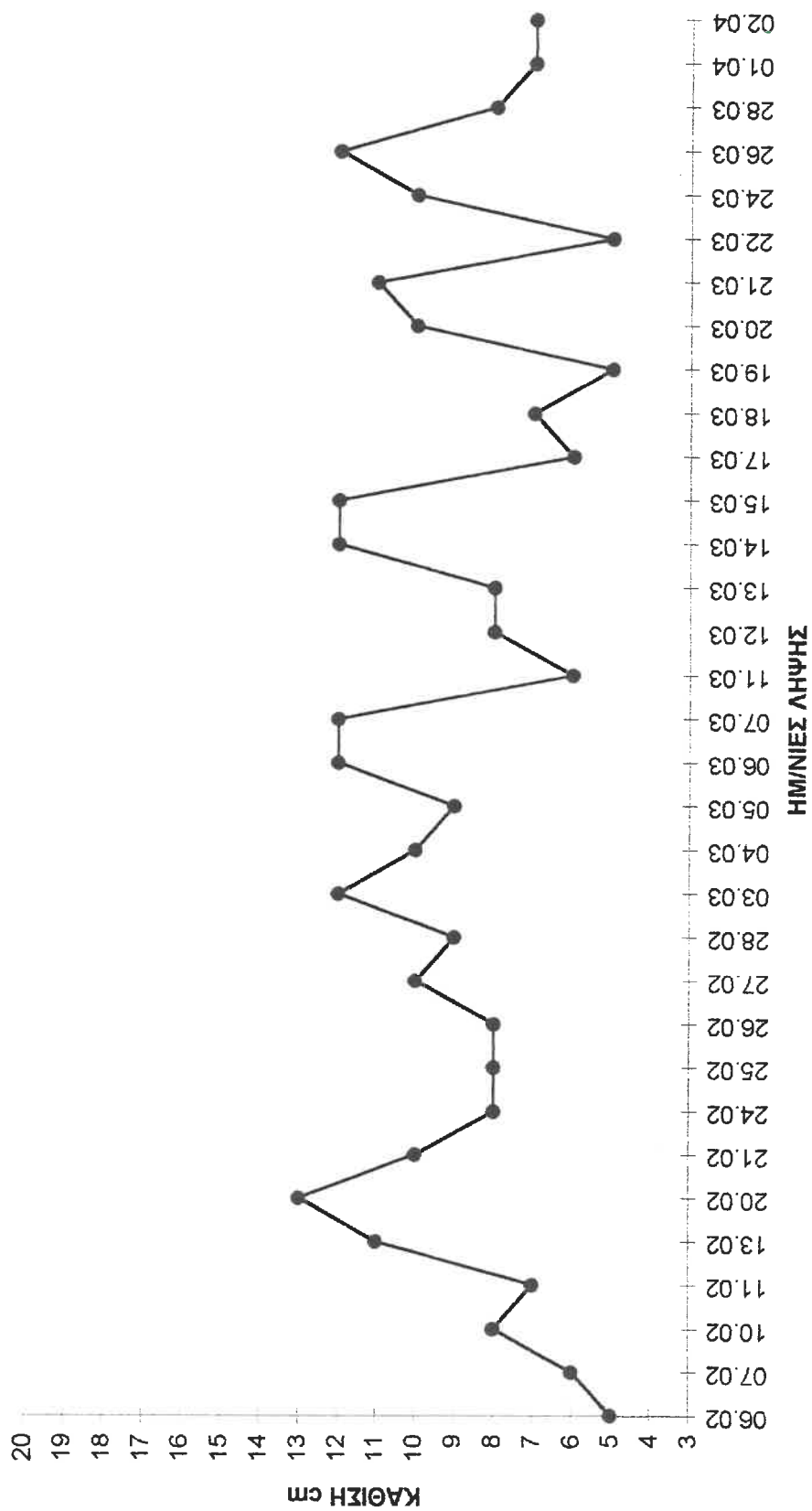
Σχήμα 9.10.Μ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΘΙΣΗΣ ΑΝΑΜΕΙΚΤΗΡΑ Μ'



Σχήμα 9.10.Μ'

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΘΙΣΗΣ ΒΑΡΕΛΑΣ



Σχήμα 9.10.Β

9.12.2 Σχέση κάθισης - Αντοχής

Όπως γνωρίζουμε αύξηση της κάθισης, η οποία προκαλείται μόνο από την αύξηση του νερού, δηλαδή μείωση του λόγου N/T , δίνει χαμηλότερες αντοχές.

Στα διαγράμματα των σχημάτων (9.11), (9.12), (9.13) φαίνεται καθαρά η πτώση της αντοχής, τις περισσότερες τουλάχιστον φορές, όταν η κάθιση παρουσιάζεται αυξημένη.

Αυτό συμβαίνει διότι αυξάνεται το νερό, χωρίς ταυτόχρονη αύξηση του λεπτόκοκκου υλικού (άμμος τσιμέντο). Αν υπήρχε ταυτόχρονη αύξηση και στην ποσότητα του τσιμέντου, τότε ο λόγος N/T θα έμενε σταθερός και η ρευστότητα θα προέκυπτε από την αύξηση του τσιμεντοπολτού του μείγματος, ο οποίος περιβάλλει τα αδρανή.

9.13 Φαινόμενο βάρος σκυροδέματος

Σύμφωνα με τις αναλογίες της μελέτης σύνθεσης, δηλαδή:

- **350 kg/m³ Τσιμέντο**
- **180 kg/m³ Νερό**
- **800 kg/m³ Σκύρα**
- **1050 kg/m³ Άμμο**

το φαινόμενο βάρος σκυροδέματος είναι: **2.80 t/m³**.

Από τις μετρήσεις στις διαστάσεις και το βάρος για 100 από τα δοκίμιά μας, πήραμε ένα μέσο όρο φαινόμενου ειδικού βάρους:

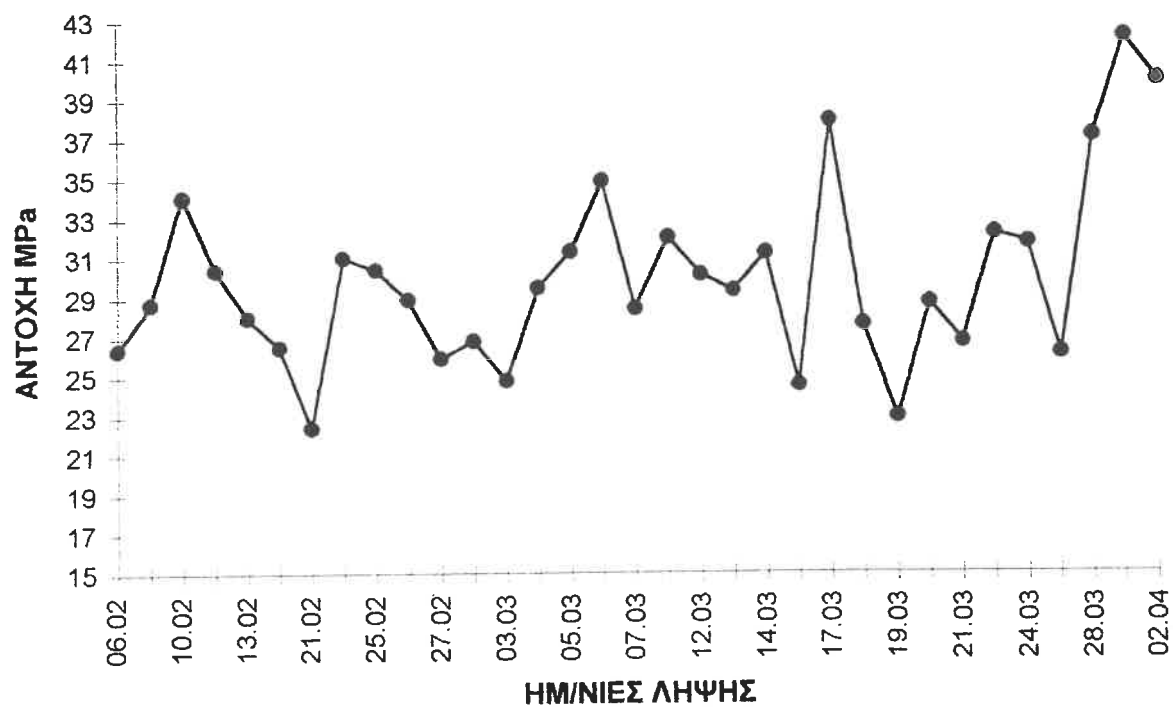
$$\bar{x}_{\Phi B} = 2.34 \text{ t/m}^3$$

και απόκλιση από τη μέση τιμή:

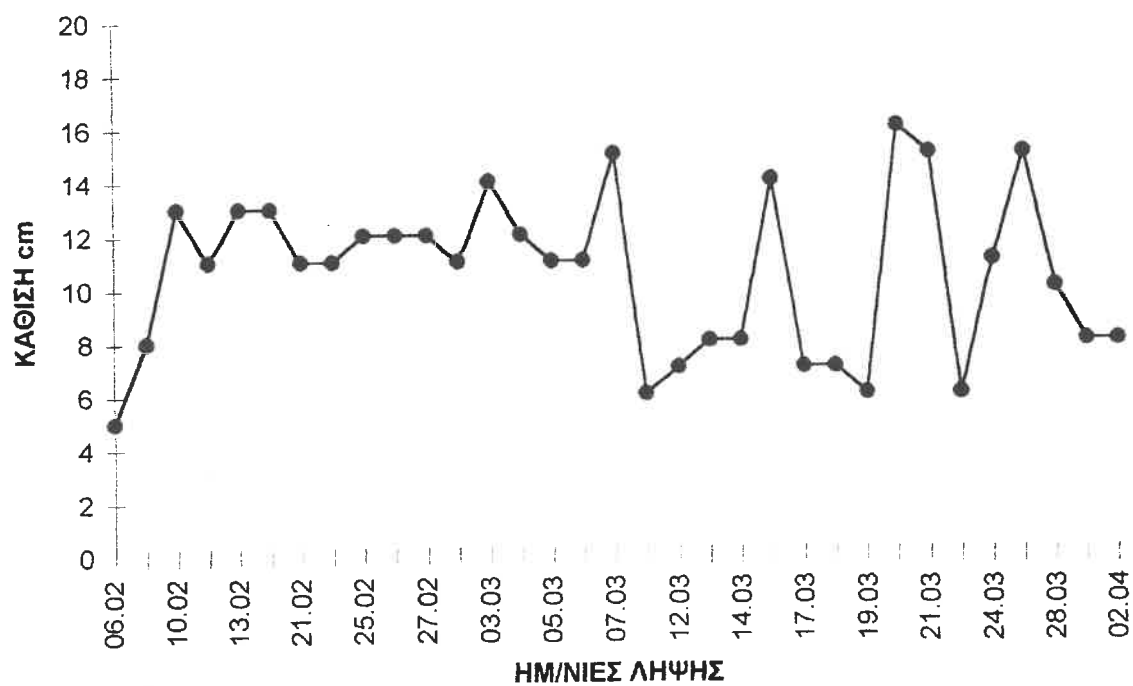
$$s_{\Phi B} = 0.03 \text{ t/m}^3$$

Βλέπουμε λοιπόν ότι η τιμή που υπολογίστηκε από τις μετρήσεις (2.34 t/m³) διαφέρει από τη θεωρητική τιμή 2.38 t/m³. Αυτό συμβαίνει, τόσο γιατί η μέθοδος προσδιορισμού του φαινόμενου ειδικού βάρους δεν είναι η ακριβέστερη σε αποτελέσματα, αλλά και γιατί η αυξημένη περιεκτικότητα σε νερό μειώνει το φαινόμενο ειδικό βάρος. Ακόμα η μικρή απόκλιση που παρουσιάζουν τα φαινόμενα βάρη των δοκιμίων γύρω από την τιμή 2.34 t/m³ καταδίκνυει ότι οι αναλογίες των

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ ΘΛΙΨΗ Μ

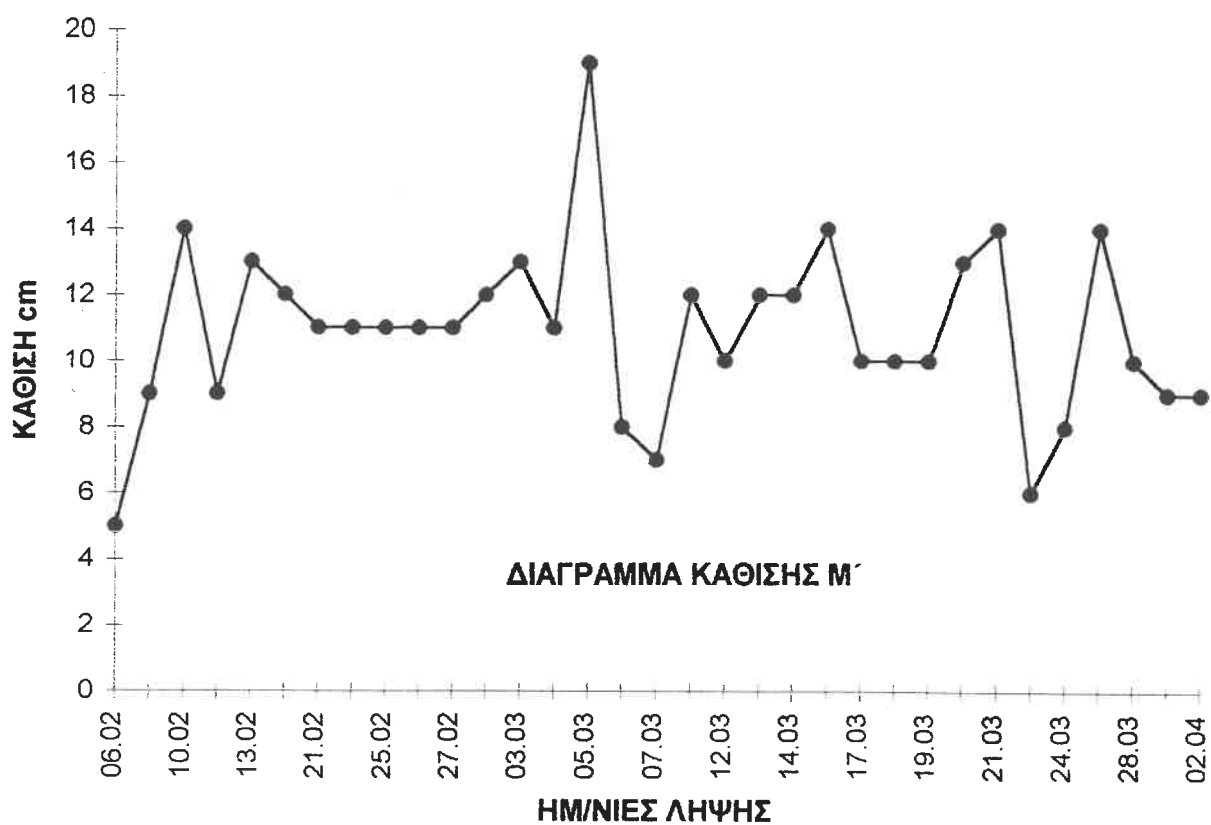
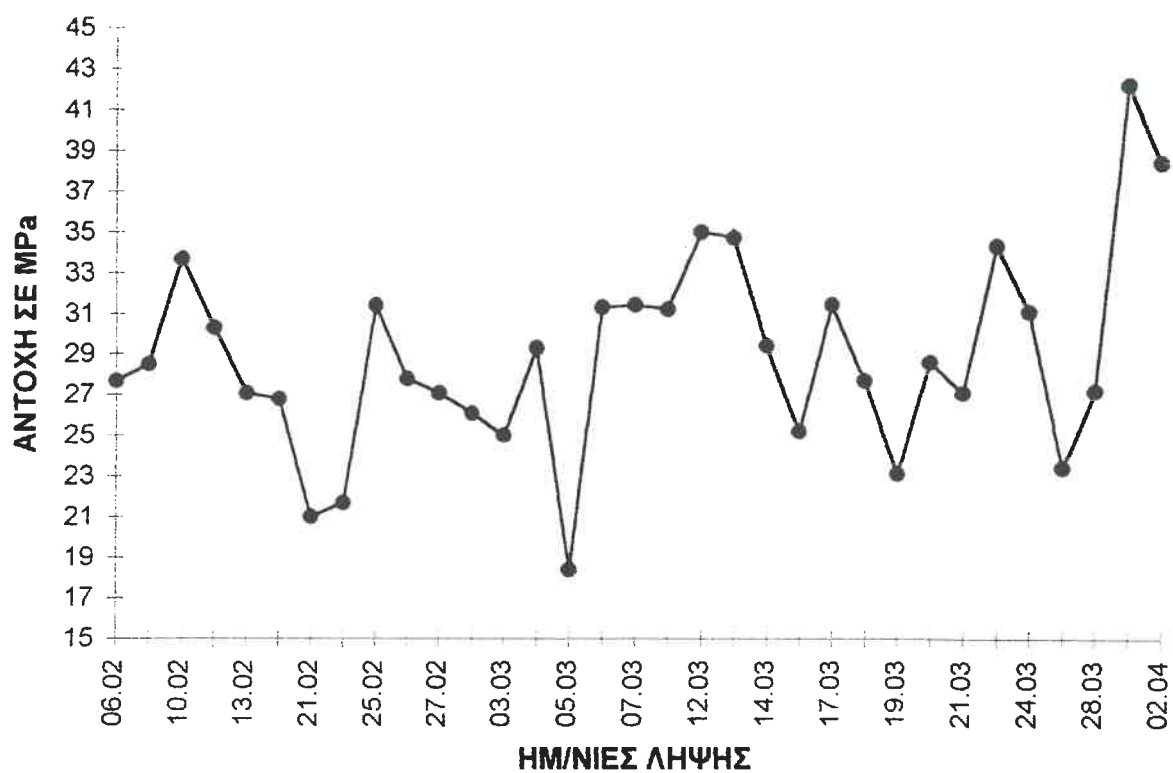


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΘΙΣΗΣ Μ



Σχήμα 9.11

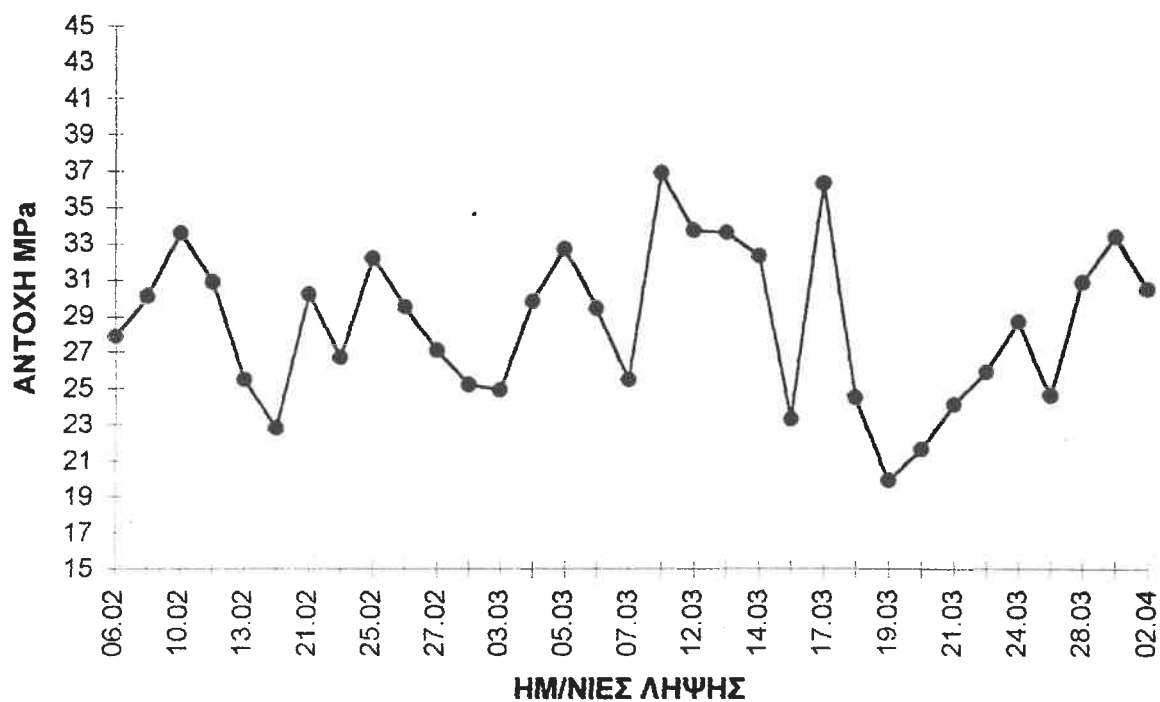
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ ΘΛΙΨΗ Μ'



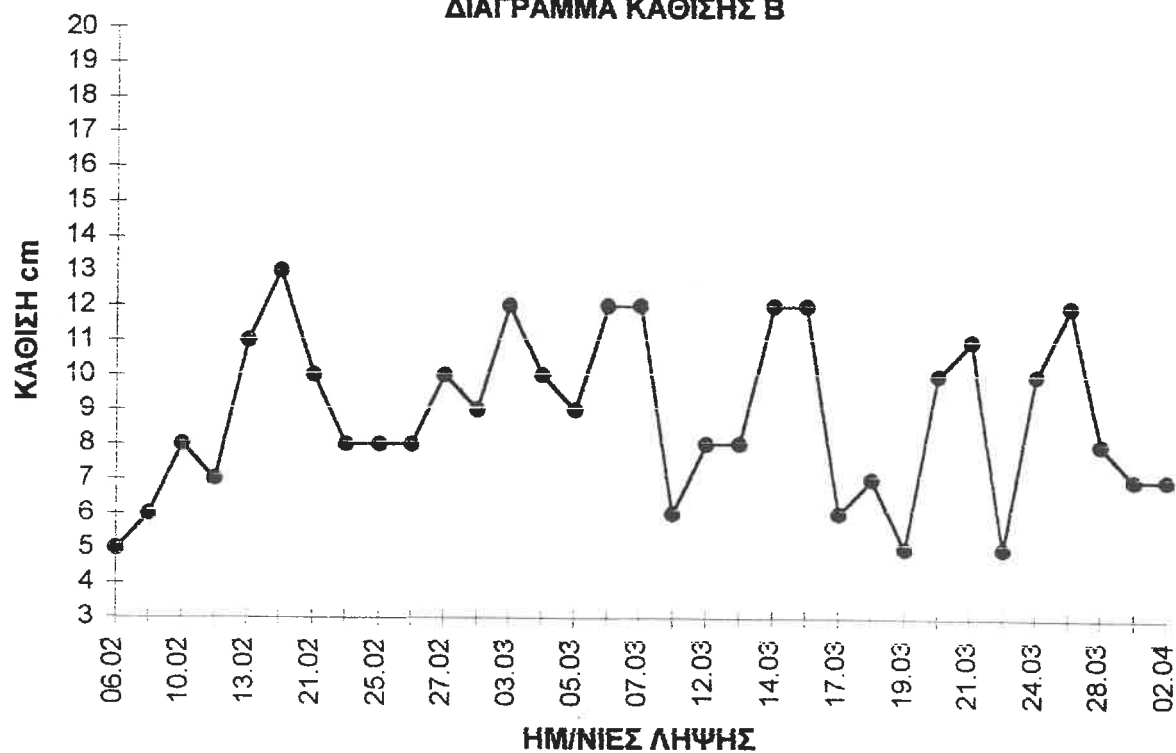
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΘΙΣΗΣ Μ'

Σχήμα 9.12

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ ΘΛΙΨΗ Β



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΘΙΣΗΣ Β



Σχήμα 9.13

υλικών της μελέτης σύνθεσης παραμένουν πρακτικά σταθερές κατά τη διάρκεια της παραγωγής.

Π.χ. Έστω ότι έχουμε 350 kg τσιμέντο. Τότε ο όγκος του τσιμέντου είναι:

$$V_T = \frac{350}{3} = 117 \text{ m}^3, \text{ ο όγκος του νερού (για 180 kg νερό) είναι } V_N = 180 \text{ dm}^3$$

και συνεπώς ο όγκος των αδρανών σε 1 m³ σκυροδέματος είναι

$$V_{\text{ΑΔΡ.}} = 1000 - 117 - 180 = 703 \text{ dm}^3 \text{ και αν θεωρήσουμε ειδικό βάρος αδρανών}$$

$$2.63 \text{ t/m}^3 \Rightarrow \text{Αδρανή} = 703 \times 2.63 = 184 \text{ kg}$$

$$\text{και } \Phi.B. = 1848 + 350 + 180 = 2380 \text{ kg/m}^3$$

Αν η ποσότητα νερού αυξηθεί κατά 40 kg τότε:

$$V_{\text{ΑΔΡ.}} = 1000 - 117 - 220 = 663 \text{ dm}^3$$

$$\text{και } \text{Αδρ.} = 663 \times 2.63 = 1745 \text{ kg} \Rightarrow$$

$$\Phi.B. = 1745 + 350 + 220 = 2315 \text{ kg/m}^3.$$

Είναι φανερό λοιπόν ότι η αύξηση στην ποσότητα του νερού δίνει μικρότερο φαινόμενο βάρος.

Συγκρίνοντας τώρα, όπου υπάρχουν στοιχεία, την αντοχή και το φαινόμενο βάρος κάθε δοκιμίου, παρατηρούμε ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η αντοχή εξαρτάται από τη μείωση του $\Phi.B.$ που είναι και η ένδειξη της αύξησης στην ποσότητα του νερού ανά m³ πίνακας (9.1)

9.14 Ο ανθρώπινος παράγοντας

Εδώ θα θέλαμε να αναφέρουμε τη σημασία του ανθρώπινου παράγοντα κατά τη δειγματοληψία. Σε κάθε πειραματική διαδικασία υπησέρχεται ένα σταθερό σφάλμα που οφείλεται στον παρατηρητή. Στη συγκεκριμένη εργασία η δειγματοληψία δεν ήταν δυνατό να γίνει από ένα και μόνο άτομο λόγω της φύσης της εργασίας και της περιοχής που βρίσκεται η μονάδα.

Στην προκειμένη περίπτωση όμως το σφάλμα δεν είναι συστηματικό, αλλά μπορεί να εκτιμηθεί κατά περίπτωση ανάλογα με τον παρατηρητή. Γι' αυτό κρίναμε σκόπιμο να συμπληρώσουμε στον πίνακα (9.1) τον εκάστοτε δειγματολήπτη.

9.15 Συμπεράσματα

Στις προηγούμενες παραγράφους είχαμε τη δυνατότητα της εξαγωγής συμπερασμάτων για την τυπική απόκλιση μιας μονάδας παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος. Ακόμα μας δόθηκε η ευκαιρία να υπολογίσουμε την απόκλιση του αναμεικτήρα.

Πριν όμως γίνει οποιοσδήποτε υπολογισμός, είδαμε πόσο χρήσιμο είναι να ελέγχονται τα αποτελέσματα μέσω διαφόρων πληροφοριών, όπως το βάρος του δοκιμίου, οι διαστάσεις του, το φαινόμενο ειδικό βάρος του, καθώς και η κάθιση του δείγματος από το οποίο παρασκευάστηκε το δοκίμιο. Οι πιο πάνω πληροφορίες, μαζί βέβαια με το αποτέλεσμα της αντοχής σε θλίψη, βοηθούν ώστε τα αποτελέσματα από τα οποία θα προκύψουν οποιαδήποτε συμπεράσματα να ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό.

Προσδιορίσαμε λοιπόν την τυπική απόκλιση του αναμεικτήρα. Τυπική απόκλιση που εκτιμάται 1.25 MPa και φανερώνει την πολύ καλή λειτουργία του αναμεικτήρα, καλή λειτουργία που εκφράζεται από τα ομοιογενή αναμείγματα που παράγει. Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε ότι η τυπική απόκλιση του αναμεικτήρα, είναι ανεξάρτητη από την ποιότητα του σκυροδέματος, δηλαδή τη μέση τιμή, και τελικά η απόκλιση μέσα στο ίδιο ανάμειγμα παρουσιάζεται πολύ μικρή πίνακας(9.12).

Ακόμη από ένα δείγμα 60 δοκιμίων ποιότητας σκυροδέματος C16/20 υπολογίσαμε τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση της παραγωγής.

Οι τιμές αυτές είναι 28.80 MPa και 3.56 MPa αντίστοιχα. Από αυτές τις τιμές βλέπουμε ότι η παραγωγή σκυροδέματος C16/20 ικανοποιεί την εξίσωση:

$$f_m = 28.80 \text{ MPa} > f_{\text{στ.}} = 25.83 \text{ MPa}$$

Ακόμα προκύπτει ότι το ποσοστό υποαντοχής είναι 0.676% και το σκυρόδεμα γίνεται αποδεκτό με πιθανότητα 98%.

Από την εφαρμογή του κριτηρίου συμμορφώσεως A για τις εξάδες που λαμβάναμε στην έξοδο του αναμεικτήρα, παρατηρούμε ότι και οι 11 εξάδες ικανοποιούν το κριτήριο με χαρακτηριστική ευκολία. Το γεγονός αυτό, καθώς και το χαμηλό ποσοστό υποαντοχής (0.676%) που παρουσιάζει το δείγμα φανερώνουν, εκτός από την καλή λειτουργία του εργοστασίου (μικρή τυπική απόκλιση 3.56 MPa) και την καλή ποιότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του σκυροδέματος, καθώς και την αυξημένη ποσότητα (350 kg/m^3) τσιμέντου που χρησιμοποιείται.

Από τη σύγκριση του δείγματος **M** που λαμβάναμε τις πρωινές ώρες και του δείγματος **M'** που λαμβάναμε τις μεσημεριανές ώρες δεν υπάρχει καμμία ουσιαστική διαφορά, τόσο στη μέση τιμή όσο και στην τυπική απόκλιση.

Το προϊόν που παραδίδει το εργοστάσιο σε ένα έργο (δείγμα **B**), παρουσιάζεται σχεδόν πάντα με υψηλότερη αντοχή και σαφώς πιο ομοιόμορφο απ' αυτό που λαμβάνουμε στην έξοδο του αναμεικτήρα κατά τη διάρκεια της παραγωγής.

Με το ελαττωματικό καλούπι που χρησιμοποιήθηκε μεταξύ των επτάδων, έγινε δυνατή η εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών για την επιρροή στην αντοχή όταν υπάρχει πρόβλημα στην επιτεδότητα της μήτρας. Η πτώση στην αντοχή ενδεχομένως να φτάσει και στο 1/5 της αντοχής που επιτυγχάνεται με ένα δοκίμιο χωρίς πρόβλημα επιτεδότητας. Τα παραπάνω μας υποχρεώνουν η δειγματοληψία να γίνεται με καλούπια ορθών γεωμετρικών διαστάσεων, ώστε να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος χαμηλών αντοχών που οφείλονται στη γεωμετρία του δοκιμίου.

Κλείνοντας αυτό το σημαντικό κεφάλαιο, θα θέλαμε να τονίσουμε ότι η δειγματοληψία έγινε κατά τη διάρκεια της παραγωγής και σε καμία περίπτωση δεν προσαρμόστηκε η παραγωγή για τις ανάγκες της μελέτης μας. Δε λήφθηκε δηλαδή ιδιαίτερη μέριμνα για τη βελτίωση της ποιότητας του σκυροδέματος. Ακολουθήθηκε η καθημερινή συνιτισμένη τακτική της παραγωγικής διαδικασίας χωρίς προσπάθεια μεταβολής-βελτιστοποίησης των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος. Αυτό το φανερώνουν και οι τιμές των δοκιμών καθίσεως οι οποίες είναι μεταβαλλόμενες, ανάλογα με την απαίτηση του εργολάβου και το στοιχείο όπου θα διαστρωνόταν το σκυρόδεμα (πέδιλο, πλάκα, υποστύλωμα κ.λπ.).

Έτσι λοιπόν μπορούμε να μιλάμε για πραγματική τυπική απόκλιση. Τυπική απόκλιση που αντιπροσωπεύει την παραγωγή της συγκεκριμένης μονάδας παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος.

Η μικρή τιμή (3.56 MPa) της τυπικής απόκλισης δείχνει ότι η παραγωγή βρίσκεται υπό έλεγχο και ότι οι αντοχές μιας ποσότητας σκυροδέματος είναι συγκεντρωμένες γύρω από τη μέση τιμή της.

Παρά το γεγονός λοιπόν, ότι το συγκεκριμένο εργοστάσιο λειτουργεί αρκετά ικανοποιητικά, ωστόσο υπάρχουν προοπτικές βελτίωσης της παραγωγής και συγκεκριμένα θα μπορούσαν να γίνουν οι ακόλουθες βελτιώσεις:

- α) τα αδρανή να διαχωρίζονται σε τρία κλάσματα άμμος, γαρμπίλι, χαλίκι
- β) στέγαση των αδρανών (προφύλαξη από καιρικές συνθήκες)

- γ) κάλυψη του αναμεικτήρα, έτσι ώστε να μειώνεται η θερμοκρασία κατά τους θερινούς μήνες και να αυξάνεται κατά τους χειμερινούς
- δ) δημιουργία μικρού εργοταξιακού εργαστηρίου με θάλαμο συντήρησης δοκιμίων υπό σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας.

Τελειώνοντας θα πρέπει να τονιστεί ότι οι μετρήσεις αυτές των αντοχών και η παρακολούθηση της ομοιομορφίας της παραγωγής του εργοστασίου θα πρέπει να επαναλαμβάνεται κατά τακτά χρονικά διαστήματα και καλύτερα να είναι συνεχής. Διότι τα συμπεράσματα τα οποία εξήχθησαν στο κεφάλαιο αυτό αφορούν τους μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο και Απρίλιο και δεν είναι βέβαιο ότι η εικόνα είναι αντιπροσωπευτική και των υπόλοιπων μηνών του χρόνου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10°

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ - Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ, ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε προηγούμενα κεφάλαια αναφέραμε, άλλοτε λιγότερο και άλλοτε περισσότερο, την επιρροή ορισμένων παραγόντων στην αντοχή του σκυροδέματος.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε αποκλειστικά την επίδραση της θερμοκρασίας στην αντοχή του σκυροδέματος και θα εισάγουμε την έννοια της ωρίμανσης.

Με την παρασκευή 18 δοκιμών, τα οποία συντηρήθηκαν σε διαφορετικές θερμοκρασίες, είχαμε την ευκαιρία να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα για την ωρίμανση όπως θα διαπιστώσουμε και στη συνέχεια.

10.1 Η επίδραση της θερμοκρασίας [21], [22], [23]

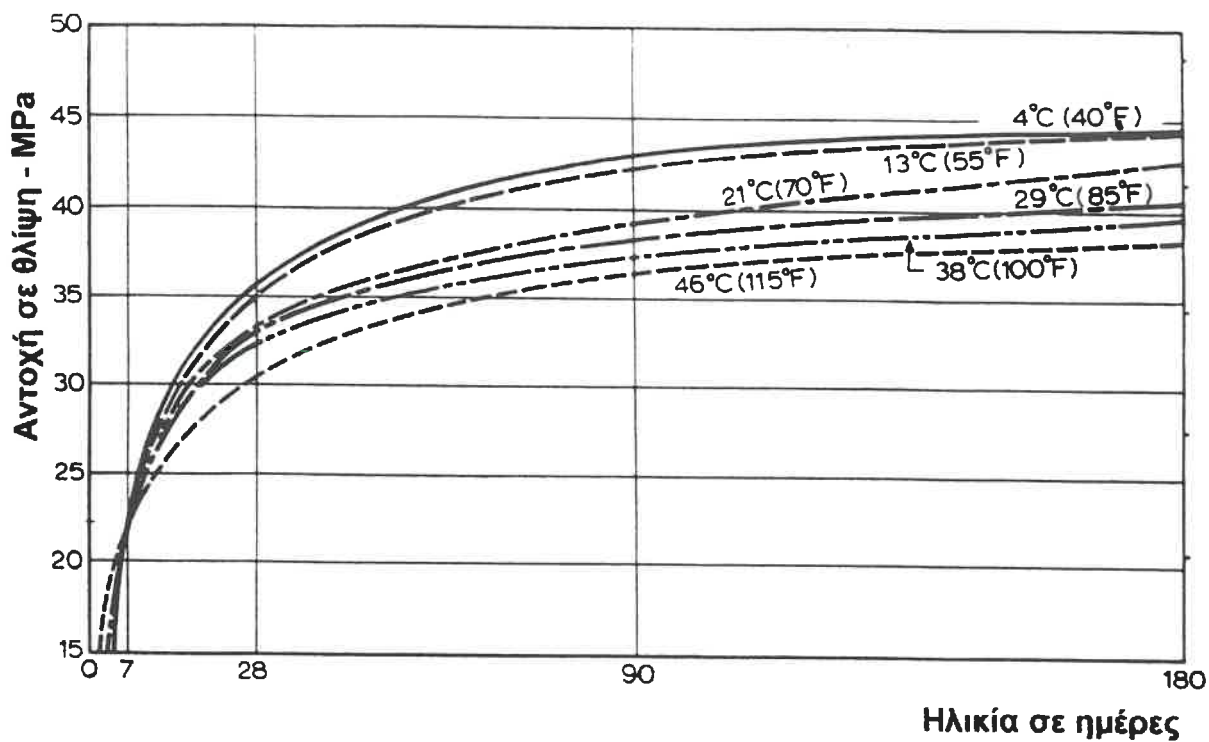
Έχουμε αναφέρει την επίδραση της θερμοκρασίας στις ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος (εργάσιμο, απόμειξη, εξίδρωση) αλλά και στην αντοχή.

Είναι γνωστό και γενικά αποδεκτό, ότι η υψηλή θερμοκρασία οδηγεί σε υψηλές αντοχές σκυροδέματος (τουλάχιστον αρχικά).

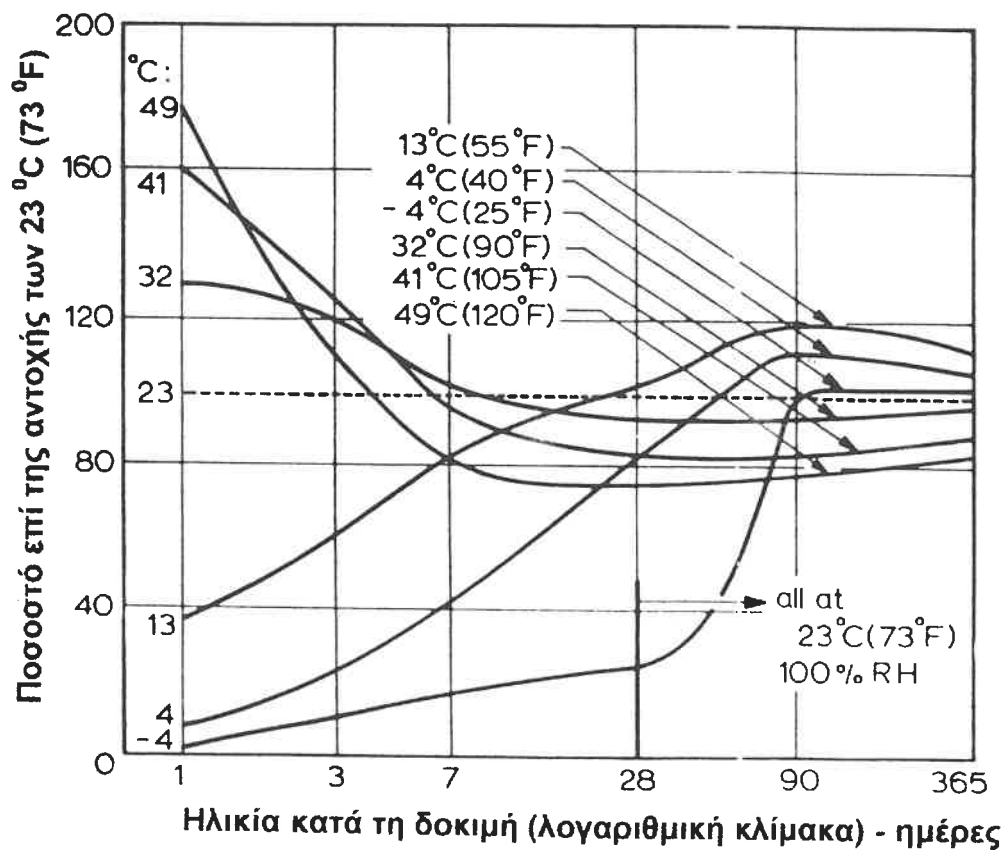
Ας δούμε όμως αν όντως συμβαίνει κάτι τέτοιο και αν όντως οι υψηλές θερμοκρασίες είναι επιθυμητές.

Στο διάγραμμα του σχήματος (10.1) [12], όπου στον κατακόρυφο άξονα είναι η αντοχή σε θλίψη και στον οριζόντιο η ηλικία των δοκιμών, παρατηρούμε την επίδραση της αρχικής θερμοκρασίας του νωπού σκυροδέματος. Τις δύο πρώτες ώρες υπήρχαν οι θερμοκρασίες που αντιπροσωπεύουν οι καμπύλες, δηλαδή 4°C, 13°C, 21°C, 29°C, 38°C και 46°C, ενώ στη συνέχεια και μέχρι τη θραύση όλα τα δοκίμια συντηρήθηκαν στους 21°C. Είναι εμφανές ότι οι ψηλότερες θερμοκρασίες των 38°C και 46°C, δίνουν σαφώς χαμηλότερες αντοχές σε σχέση με τις χαμηλές θερμοκρασίες των 4°C και 13°C στις 28 ημέρες. Παρατηρούμε ακόμα, πως όσο αυξάνει η ηλικία του σκυροδέματος, η διαφορά των αντοχών αυξάνεται μέχρι να σταθεροποιηθεί στα 7 MPa.

Ας συνεχίσουμε τώρα με την επίδραση της θερμοκρασίας συντηρήσεως στην τελική αντοχή. Στα σχήματα (10.2) [22] και (10.3) [23] φαίνεται καθαρά η επίδραση της θερμοκρασίας συντηρήσεως στην τελική αντοχή του προϊόντος.



Σχήμα 10.1 Επιρροή της θερμοκρασίας του νωπού σκυροδέματος τις δύο πρώτες ώρες (μετά τις δύο ώρες όλα τα δοκίμια συντηρήθηκαν στους 21 °C) [22]



Σχήμα 10.2 Επιρροή της θερμοκρασίας συντηρήσεως στην τελική αντοχή (μετά τις 28 ημέρες όλα τα δοκίμια συντηρήθηκαν στους 23 °C) [22]

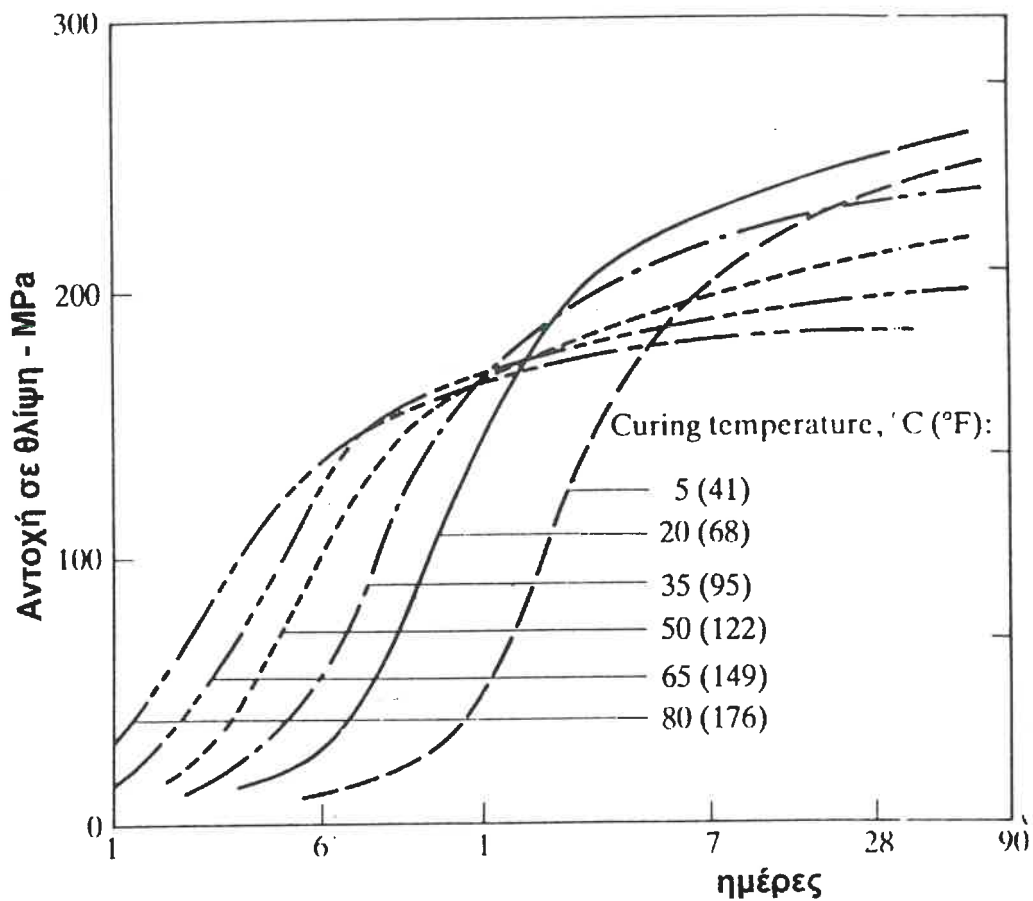
Στο σχήμα (10.2) μετά τις 28 ημέρες, όλα τα δοκίμια συντηρήθηκαν στους 23°C και σε συνθήκες υγρασίας 100%, ενώ πριν συντηρήθηκαν μέσα σε νερό και σε θερμοκρασίες -4, 4, 13, 23, 32, 41 και 49°C. Στον οριζόντιο άξονα είναι η ηλικία, ενώ στον κατακόρυφο το ποσοστό επί τοις εκατό της αντοχής που αποκτά το σκυρόδεμα στους 23°C. Βλέπουμε λοιπόν ότι στις υψηλές θερμοκρασίες 32, 41, 49°C, το σκυρόδεμα αποκτά υψηλές αρχικές αντοχές μέχρι και 18% της αντοχής των 23°C, ενώ κατόπιν και όσο περνά ο χρόνος, το σκυρόδεμα υφίσταται σοβαρή πτώση στην αντοχή και τελικά στις 28 ημέρες η αντοχή μειώνεται στο 75% της αντοχής των 23°C. Αντίθετα στις χαμηλές θερμοκρασίες, και κυρίως στους 4°C, ενώ αρχικά η αντοχή είναι αρκετά χαμηλή, στη συνέχεια με την πάροδο του χρόνου υπάρχει αύξηση της αντοχής και μειώνεται σημαντικά η διαφορά των αντοχών μεταξύ 4, 13 και 23°C. Από το ίδιο σχήμα παρατηρούμε ότι μετά την υποβολή όλων των δοκιμίων στη συντήρηση των 23°C, οι καμπύλες παύουν να είναι ακανόνιστες και συγκεντρώνονται γύρω από τη θερμοκρασία των 23°C.

Αν προχωρήσουμε τώρα στο επόμενο σχήμα (σχ. 10.3) παρατηρούμε πάλι τις αυξημένες αντοχές των δοκιμίων στις μικρές ηλικίες, όταν συντηρούνται σε υψηλές θερμοκρασίες (50, 65, 80°C), αλλά και την μικρή αύξηση στην αντοχή μετά την πρώτη μέρα, που παρουσιάζουν αυτά. Αντίθετα τα δοκίμια που συντηρούνται στους 5 και 20°C παρουσιάζουν μία σταθερή αύξηση στην αντοχή και τελικά αποκτούν υψηλότερες αντοχές από εκείνα που συντηρήθηκαν σε υψηλές θερμοκρασίες και αρχικά παρουσίασαν αρκετά υψηλή τιμή αντοχής σε σχέση με τα υπόλοιπα.

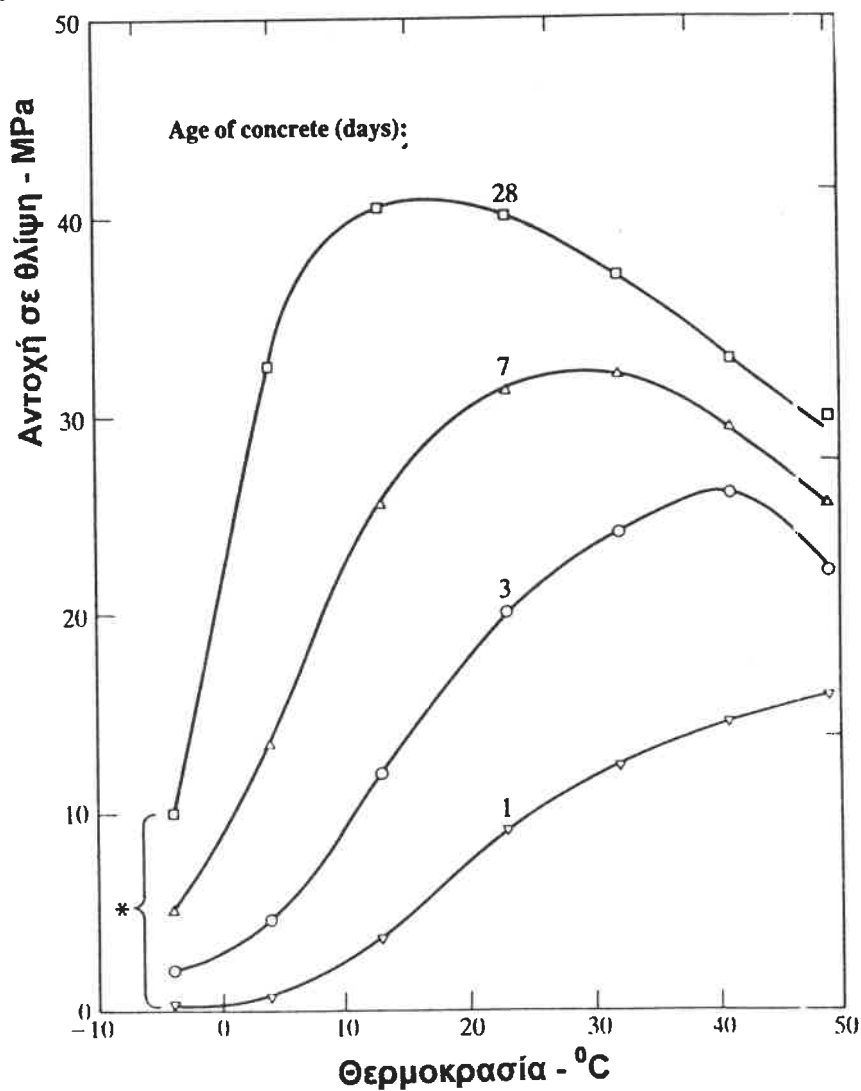
Τα πιο πάνω φαίνονται ακόμα πιο καθαρά στο σχήμα (10.4) [23], όπου στον οριζόντιο άξονα είναι η θερμοκρασία συντήρησης και στον κατακόρυφο η αντοχή σε θλίψη. Οι καμπύλες αντιπροσωπεύουν την αντοχή μιας ορισμένης θερμοκρασίας σε 1, 3, 7 και 28 ημέρες συντήρησης. Εδώ για άλλη μια φορά φαίνεται η υψηλή αντοχή τις πρώτες 3 ημέρες για υψηλή θερμοκρασία, χωρίς περαιτέρω αύξηση καθώς και η σταδιακή αύξηση της αντοχής για συντήρηση σε χαμηλή θερμοκρασία.

Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η υψηλή θερμοκρασία επιταχύνει την ενυδάτωση του τσιμέντου και δίνει σε μικρή ηλικία, αρκετά υψηλή αντοχή. Όμως η υψηλή θερμοκρασία δίνει προϊόντα ενυδατώσεως με χειρότερη φυσική δομή και περισσότερο ανομοιόμορφα. Ακόμα υπάρχει διαφορετική διαστολή, αδρανών, νερού, αέρα και των προϊόντων ενυδατώσεως με αποτέλεσμα μεγαλύτερο πορώδες, ρωγμές και εσωτερικές τάσεις. Αυτό συνεπάγεται χαμηλή αντοχή σε μεγαλύτερη ηλικία. [23]

Γενικά το φαινόμενο είναι εξαιρετικά πολύπλοκο και εξαρτάται από το τσιμέντο και τις συνθήκες συντήρησης. [22]



Χρόνος συντήρησης (λογαριθμική κλίμακα)
 Σχήμα 10.3 Επίρροή της θερμοκρασίας συντηρήσεως στην αντοχή



Σχήμα 10.4 Αντοχή σκυροδέματος σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία

Έτσι, είναι φανερό ότι η ιδανική θερμοκρασία συντήρησης του σκυροδέματος, κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 16°C και 27°C, σε σχέση πάντα με τις υγρομετρικές συνθήκες συντήρησης. [22]

10.2 Η έννοια της ωρίμανσης [21], [22], [23]

Η αντοχή και η ποιότητα του σκυροδέματος εξαρτάται τόσο από τη θερμοκρασία όσο και από το χρόνο ενυδάτωσης του τσιμέντου. [21]

Υπάρχει λοιπόν κάποια σχέση μεταξύ του τελικού προϊόντος και του χρόνου t στον οποίο συντηρήθηκε το σκυρόδεμα σε θερμοκρασία T . Έτσι η αντοχή του σκυροδέματος είναι συνάρτηση της ποσότητας Σ (χρόνος x θερμοκρασία).

Αυτή η ποσότητα ονομάζεται ωρίμανση (maturity) και η γενική σχέση που την εκφράζει είναι:

$$(\text{ωρίμανση}) = f(T \times t) \quad (10.1)$$

Για να εφαρμοστεί η έννοια της ωρίμανσης πρέπει να οριστεί μία τιμή της θερμοκρασίας, κάτω από την οποία η αντοχή του σκυροδέματος δεν παρουσιάζει καμία αύξηση με την πάροδο του χρόνου. Η τιμή αυτή κυμαίνεται από -20°C μέχρι -10°C, αλλά η πιο χρησιμοποιούμενη είναι -10°C.

Η πιο αντιπροσωπευτική συνάρτηση για την ωρίμανση (R) είναι αυτή των Nurse-Saul. [21] :

$$R (^{\circ}\text{C} \times \text{ημέρες}) = \sum \alpha_i (T + 10) \quad (10.2)$$

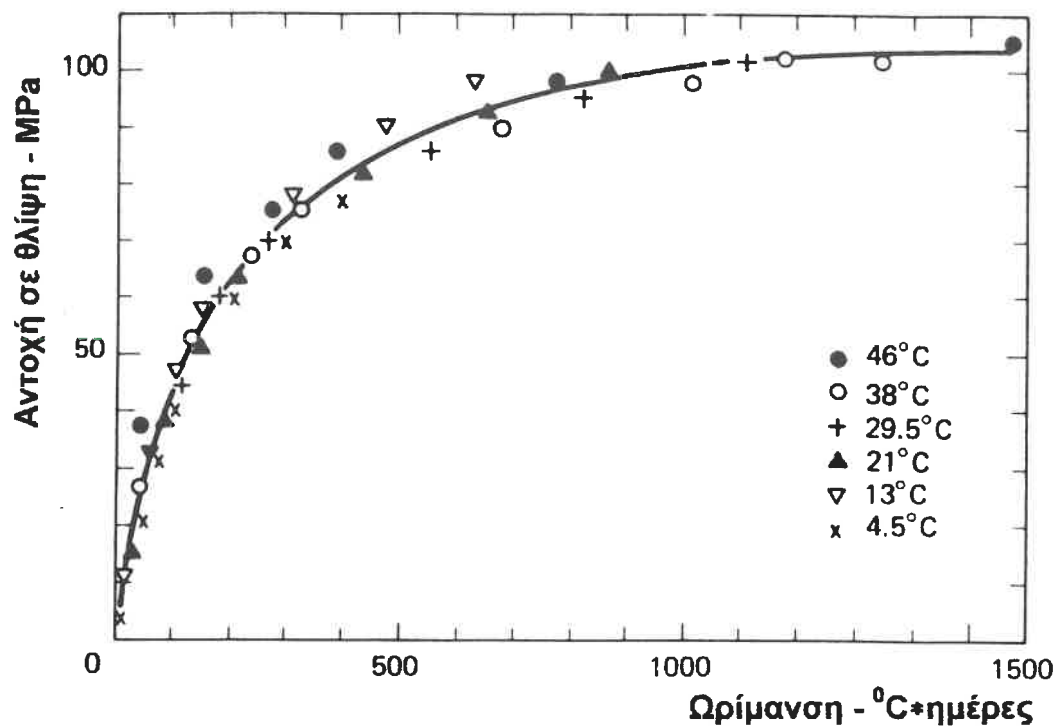
όπου: α_i ο χρόνος συντήρησης σε ημέρες για θερμοκρασία T σε βαθμούς °C.

Σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχει πολύ καλή σχέση μεταξύ της ωρίμανσης και της αντοχής, όπως δείχνει και το σχήμα (10.5). [21] Ακόμα αν στον οριζόντιο άξονα η ωρίμανση εκφραστεί λογαριθμικά, τότε λαμβάνουμε μία γραμμική σχέση μεταξύ αντοχής σε θλίψη - ωρίμανσης, σχήμα (10.6). [22]

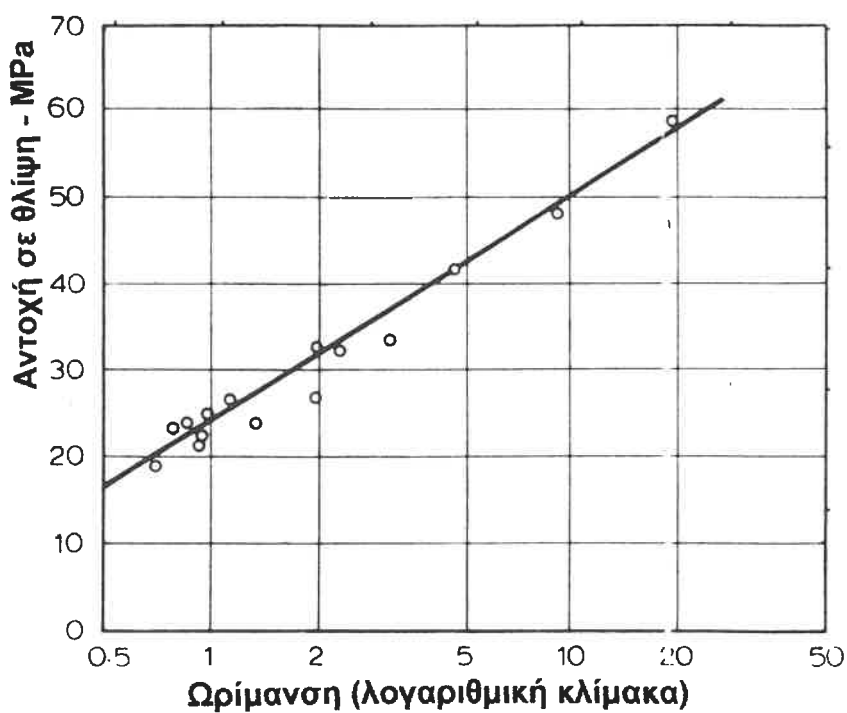
Είναι δυνατόν να εκφράσουμε την αντοχή που αντιστοιχεί σε κάποια ωρίμανση σαν ποσοστό της αντοχής κάποιας άλλης ωρίμανσης. Αυτή η ωρίμανση είναι συνήθως 19,800 °C x ώρες (ή 35,600 °F x ώρες), δηλαδή η ωρίμανση που αποκτά το σκυρόδεμα σε 18°C (64°F) για 28 ημέρες. [22]

Τη σχέση αυτή τη διατύπωσε ο Plowman και είναι:

$$\begin{aligned} \text{ποσοστό αντοχής (\%)} & \text{για ωρίμανση } 19,800 ^{\circ}\text{C} \times \text{ώρες} = \\ & = A + B \log_{10} (\text{ωρίμανση} \times 10^{-3}) \end{aligned} \quad (10.3)$$



Σχήμα 10.5 Σχέση ωρίμανσης-αντοχής (Nurse-Saul) [21]



Σχήμα 10.6 Σχέση ωρίμανσης-αντοχής (ωρίμανση σε λογαριθμική κλίμακα) [22]

Οι τιμές των συντελεστών A και B εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, την κατηγορία σκυροδέματος καθώς και τον τύπο του τσιμέντου.

Στον πίνακα (10.1) δίνονται οι τιμές τους για συνηθισμένο τσιμέντο Portland.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ

MN/m ²	B	A	
		για °C x ώρες	για °F x ώρες
< 17	68	10	-7
17-35	61	21	6
35-52	54	32	18
52-69	46,5	42	30

Πίνακας 10.1: Τιμές των συντελεστών A, B [22]

Είναι λοιπόν αναμενόμενο σκυροδέματα με την ίδια ωρίμανση, ανεξάρτητα πως οδηγηθήκαμε σ' αυτή, να έχουν περίπου ίδια αντοχή. [21]

Παρόλ' αυτά έχουν παρατηρηθεί σημαντικές διαφορές στην αντοχή των σκυροδεμάτων. Αυτό συμβαίνει, διότι παρόλο που η τιμή της ωρίμανσης είναι η ίδια (ίση ολική θερμοκρασία), εντούτοις παίζει σημαντικό ρόλο το πως διακύμανθηκε η θερμοκρασία. Διαπιστώνεται ότι οι μικρότερες τιμές της αντοχής παρουσιάζονται όταν έχουμε υψηλές θερμοκρασίες τις πρώτες 7 ημέρες. [22]

Ο νόμος της ωρίμανσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί πρακτικά, μόνο για εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος, διότι η σχέση αντοχής - ωρίμανσης, εξαρτάται κάθε φορά από το συγκεκριμένο τσιμέντο, το λόγο N/T και από το γεγονός αν αρχικά υπήρχαν υψηλές θερμοκρασίες. [23]

Παρόλα αυτά η ωρίμανση μπορεί να εφαρμοστεί αρκετά καλά, όταν οι αρχικές θερμοκρασίες είναι μεταξύ (16 - 27°C) και όταν δεν παρατηρείται καμία απώλεια υγρασίας. [22].

Έτσι είναι φανερό ότι η ωρίμανση δεν χρησιμοποιείται ευρέως και είναι χρήσιμη μόνο για πολύ καλά προσδιορισμένα σκυροδέματα. [23]

10.3 Εργαστηριακός προσδιορισμός της επίδρασης θερμοκρασίας, και κατ' επέκταση της ωρίμανσης στην αντοχή

Κατά τη διάρκεια της Διπλωματικής Εργασίας έγινε μία προσπάθεια συσχέτισης της αντοχής σε θλίψη, με τη θερμοκρασία συντηρήσεως.

Αυτό το κατορθώσαμε παρασκευάζοντας 18 δοκίμια διαστάσεων 10x10x10 cm και συντηρώντας τα ανά έξι σε διαφορετικές θερμοκρασίες για 28 ημέρες, οπότε και έγινε η δοκιμή θλίψης στο εργαστήριο.

10.3.1 Παρασκευή των δοκιμίων

Πριν την παρασκευή των δοκιμίων, ήταν απαραίτητο να βρεθούν τα υλικά από τα οποία θα γινόταν το μείγμα παρασκευής τους.

Τα αδρανή υλικά μεταφέρθηκαν στην Αθήνα από το Αίγιο μέσα σε σακιά χωρισμένα σε δύο κλάσματα (άμμο - σκύρα). Τα αδρανή ήταν όμοια με αυτά που χρησιμοποιεί το εργοστάσιο, όπως και το τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε και πρόκειται για το κοινό τσιμέντο Portland, τύπου II/35.

Τα αδρανή υλικά είχαν αυξημένο ποσοστό υγρασίας και έπρεπε να στεγνώσουν. Τα σκύρα απλώθηκαν σε σκάφη και με συχνή αναμόχλευση στέγνωσαν εντελώς, ενώ για την άμμο κατά κύριο λόγο χρησιμοποιήθηκε φούρνος.

Όταν έμειναν στεγνά τα υλικά είχαμε να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα του μέγιστου κόκκου των αδρανών. Τα δοκίμια είχαν ακμή 10 cm και ανάμεσα στα σκύρα υπήρχαν κόκκοι με μέγεθος έως 35 mm, κάτι που απαγόρευε τη χρήση τους αφού ξεπερνούσαν το 1/3 της ακμής των δοκιμίων. Έτσι η απαραίτητη ποσότητα σκύρων πέρασε από το κόσκινο της μιας ίντσας και ο μέγιστος κόκκος μειώθηκε στα 2.5 mm.

Η τυπική σύνθεση που χρησιμοποιεί το εργοστάσιο για την παραγωγή 1 m³ σκυροδέματος ποιότητας C16/20 είναι:

1050	kg	άμμος	
800	kg	σκύρα*	Λόγος N/T = 0.51
350	kg	Τσιμέντο	
180	kg	Νερό	

* Στα σκύρα περιέχεται και το γαρμπίλι.

Για ένα δοκίμιο διαστάσεων 10x10x10 cm και όγκου 0,001 m³, ποιότητας C16/20 απαιτούνται:

1,50	kg	άμμος	
0,80	kg	σκύρα	Λόγος N/T = 0,51
0,35	kg	Τσιμέντο	
0,18	kg	Νερό	

οπότε για το μείγμα των 18 δοκιμών απαιτούνται:

18,90	kg	Άμμος	
14,40	kg	Σκύρα	
6,30	kg	Τσιμέντο	Λόγος N/T=0.51
<u>3,24</u>	kg	Νερό	
42,84	kg	Σύνολο	

Βέβαια κατά την παρασκευή του μείγματος δεν χρησιμοποιήθηκε υλικό ακριβώς για 18 δοκίμια, ώστε να μην μαζεύουμε το υλικό από τα περύγια και την περιφέρεια της σκάφης του αναμεικτήρα.

Τελικά παρασκευάστηκε μείγμα για 21 δοκίμια (συνολικό βάρος 49,98 kg). Έγινε προσπάθεια ώστε να μην ξεπεράσουμε την ικανότητα ανάμειξης του αναμεικτήρα, ο οποίος έχει ικανότητα 50-55 kg.

Κατά την ανάμειξη του υλικού, εκτός από προβλήματα που είχαμε με τον αναμεικτήρα, ο οποίος συνήθως δεν αναμειγνύει σκύρα, παρουσιάστηκε και ένα ακόμα σοβαρό πρόβλημα.

Μετά από την ανάμειξη τριών λεπτών το μείγμα έδειχνε μη εργάσιμο και ήταν σίγουρο ότι θα ήταν αδύνατη η διάστρωση του στα καλούπια. Το πρόβλημα ξεπεράστηκε με την προσθήκη επιπλέον νερού, και ενώ πάλι το σκυρόδεμα έδειχνε πολύ σφιχτό, δεν αντιμετωπίσαμε επιπλέον προβλήματα διότι η συμπίκνωση έγινε με τράπεζα δονήσεως.

Το επιπλέον νερό ήταν 0.3 Kg οπότε ο λόγος N/T πήρε την τιμή 0.56.

Ο λόγος για τον οποίο υπήρξε αυτό το πρόβλημα αποδίδεται :

- 1) στη θερμοκρασία που είχαν τα αδρανή (η μισή ποσότητα της άμμου είχε βγει από το φούρνο, πριν μια ώρα),
- 2) το ότι τα αδρανή ήταν τελείως στεγνά, και
- 3) το ότι μειώθηκε ο μέγιστος κόκκος των αδρανών, δηλαδή αυξήθηκε η ειδική επιφάνεια (cm^2/cm^3) και επομένως οι απαιτήσεις σε νερό.

Η συμπίκνωση όπως είπαμε και πιο πάνω έγινε με τράπεζα συμπακνώσεως, στην οποία κάθε φορά τοποθετούσαμε τρία δοκίμια.

Η διαδικασία της παρασκευής και της συμπίκνωσης των δοκιμών έγινε στις 18/4/97.

10.3.2 Συντήρηση των δοκιμίων

Τα 18 δοκίμια μέχρι και την έναρξη της συντηρήσεως χαρακτηρίζονται από ομοιογένεια, διότι παρασκευάστηκαν από τα ίδια υλικά, προέρχονται από το ίδιο ανάμειγμα, συμπυκνώθηκαν με τον ίδιο τρόπο και σε όμοια καλούπια. Αυτή η ομοιογένεια την οποία μπορούμε να πούμε ότι επιτύχαμε, σταματά από τη στιγμή που άρχισε η συντήρηση τους σε διαφορετικές πλέον θερμοκρασίες.

Η αφαίρεση των καλουπιών έγινε την επομένη της παρασκευής των δοκιμίων. Όλα τα δοκίμια ζυγίστηκαν και κατόπιν ξεκίνησε η συντήρηση τους σε διαφορετικές αλλά σταθερές θερμοκρασίες.

Η πρώτη εξάδα συντηρήθηκε μέσα σε μια λεκάνη με νερό, η οποία βρισκόταν μέσα στο ψυγείο σε θερμοκρασία 4°C. Η δεύτερη εξάδα τοποθετήθηκε μέσα σε μονωμένη δεξαμενή στους 14°C και τα υπόλοιπα έξι δοκίμια σε ένα δοχείο με νερό, σε θερμοκρασία δωματίου στους 18°C.

Κάθε ημέρα, νωρίς το πρωί και το μεσημέρι, γινόταν μέτρηση της θερμοκρασίας στο νερό όπου ήταν τοποθετημένα τα δοκίμια, ώστε να μην ξεφύγουμε από τις επιθυμητές θερμοκρασίες. Ειδικά για την δεξαμενή η οποία έπρεπε να έχει σταθερή θερμοκρασία 14°C, κατά τακτά χρονικά διαστήματα γινόταν αλλαγή κάποιας ποσότητας νερού και προσθήκη πάγου, ώστε η θερμοκρασία να διατηρείται στους 14°C. Ο πάγος παρεμβалλόταν στο κενό ανάμεσα στο μονώμενο καπάκι της δεξαμενής και στην επιφάνεια του νερού και δεν έμπαινε ποτέ μέσα στο νερό.

Έτσι καταφέραμε να διατηρήσουμε τις θερμοκρασίες σταθερές στους 4, 14 και 18°C και τις 28 ημέρες που συντηρήθηκαν τα δοκίμια.

10.3.3 Θραύση των δοκιμίων

Η θραύση των δοκιμίων έγινε στις 16/5/97, δηλαδή 28 ημέρες μετά την παρασκευή τους, στο ίδιο εργαστήριο όπου και συντηρήθηκαν.

Πριν τη θραύση τα δοκίμια ζυγίστηκαν ξανά και το βάρος που είχαν μαζί με εκείνο που μετρήθηκε αμέσως μετά την αφαίρεση των καλουπιών παρουσιάζεται στον πίνακα (10.2).

Τα αποτελέσματα της δοκιμής σε θλίψη παρουσιάζονται στον πίνακα (10.3).

10.3.4 Αύξηση βάρους δοκιμίων - Φαινόμενο βάρος

Από τον πίνακα (10.2) παρατηρούμε αύξηση του βάρους των δοκιμίων μετά τις 28 ημέρες συντήρησης. Η αύξηση στο βάρος είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας και οφείλεται στην απορρόφηση νερού από το δοκίμιο.

Οι διαστάσεις των δοκιμίων μετρήθηκαν και σημειώνονται στον πίνακα (10.4). Στον ίδιο πίνακα αναγράφονται και οι τιμές του φαινόμενου ειδικού βάρους, πριν και μετά τη συντήρηση.

Αν παρατηρήσουμε προσεκτικά τον πίνακα (10.4) βλέπουμε ότι το φαινόμενο ειδικό βάρος του σκυροδέματος δεν έχει μεταβληθεί σε σχέση με το θεωρητικό φ.β. ($2,38 \text{ t/m}^3$), δηλαδή το επιπλέον νερό δεν επηρέασε την τελική σύνθεση του σκυροδέματος. Ακόμα συγκρίνοντας τις τιμές του πίνακα (10.4) με αυτές του πίνακα (9.1) δεν παρατηρείται σχεδόν καμία διαφορά στο φ.β. του σκυροδέματος.

α/α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΒΑΡΟΣ ΠΡΙΝ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (gr)	ΒΑΡΟΣ ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (gr)	ΔΙΑΦΟΡΑ (gr)	ΔΙΑΦΟΡΑ (%)
1.	2400	2415	+15	0,63
2.	2400	2415	+15	0,63
3.	2390	2410	+20	0,84
4.	2400	2420	+20	0,83
5.	2400	2420	+20	0,83
6.	2390	2400	+10	0,42
7.	2400	2420	+20	0,83
8.	2390	2410	+10	0,84
9.	2435	2450	+15	0,61
10.	2415	2435	+20	0,82
11.	2400	2420	+20	0,83
12.	2410	2430	+20	0,83
13.	2400	2420	+20	0,83
14.	2430	2450	+20	0,82
15.	2405	2425	+20	0,82
16.	2410	2430	+20	0,83
17.	2385	2400	+15	0,63
18.	2410	2425	+15	0,63

Πίνακας 10.2 Βάρος δοκιμίων πριν και μετά τη συντήρηση

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ 4°C		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ 14°C		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ 18°C	
α/α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ -MPa-	α/α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ -MPa-	α/α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ -MPa-
1.	26,85	7.	31,71	13.	34,00
2.	26,26	8.	31,06	14.	34,58
3.	27,22	9.	33,38	15.	34,53
4.	27,94	10.	32,27	16.	35,39
5.	26,30	11.	32,52	17.	33,73
6.	25,98	12.	33,61	18.	34,62

Πίνακας 10.3 Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης κυβικών δοκιμίων ακμής 10cm

α/α	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ mm	Φ.Β. πριν V/m^3	Φ.Β. μετά V/m^3
1.	100x100x101,0	2,380	2,390
2.	100x100x101,5	2,364	2,379
3.	100x100x101,5	2,355	2,374
4.	100x100x101,5	2,364	2,384
5.	100x99,5x101,5	2,376	2,396
6.	100x100x101,0	2,366	2,380
7.	100x100x102,5	2,341	2,361
8.	100x100x101	2,366	2,386
9.	100x100x102	2,387	2,400
10.	100x100x103	2,345	2,364
11.	100x100x102,5	2,341	2,361
12.	100x100x101,5	2,374	2,394
13.	101x101x102	2,306	2,326
14.	100x101x102	2,358	2,378
15.	100x100x101,5	2,369	2,389
16.	100x100x101,5	2,374	2,394
17.	100x100x101	2,380	2,361
18.	101x99x101	2,386	2,400

Πίνακας 10.4 Διαστάσεις δοκιμίων και φαινόμενο βάρος σκυροδέματος πριν και μετά τη συντήρηση

10.4 Σχέση Θερμοκρασίας - Αντοχής

Από τον πίνακα (10.3), για κάθε θερμοκρασία, βρίσκουμε την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των αντοχών:

Θερμοκρασία 4°C

$$\bar{x}_4 = 26,70 \text{ MPa}$$

$$s_4 = 0,73 \text{ MPa}$$

Θερμοκρασία 14°C

$$\bar{x}_{14} = 32,50 \text{ MPa}$$

$$s_{14} = 1,03 \text{ MPa}$$

Θερμοκρασία 18°C

$$\bar{x}_{18} = 34,50 \text{ MPa}$$

$$s_{18} = 0,57 \text{ MPa}$$

Από τις πιο πάνω τιμές των τυπικών αποκλίσεων παρατηρούμε την ομοιομορφία των εξάδων αλλά και τη μικρή τυπική απόκλιση του αναμεικτήρα του εργαστηρίου που υπολογίζεται από τη γνωστή σχέση (9.16):

$$\hat{s}_A^2 = \frac{\sum_i^K (n_i - 1) s_i^2}{n_i - K}$$

και αντικαθιστώντας έχουμε:

$$s_A = 0,78$$

Για να διαπιστωθεί αν υπάρχει σχέση μεταξύ της αύξησης στην αντοχή και της αύξησης στη θερμοκρασία, έγινε απλή γραμμική παλινδρόμηση τόσο μεταξύ όλων των αντοχών και θερμοκρασιών, όσο και μεταξύ θερμοκρασιών και μέσων τιμών αντοχών. Η παλινδρόμηση έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος Statigraph.

10.4.1 Σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και αντοχών

Από τον πίνακα (10.5) κάνοντας παλινδρόμηση και θεωρώντας ανεξάρτητη μεταβλητή τη θερμοκρασία και εξαρτημένη την αντοχή παίρνουμε συντελεστή προσαρμογής:

$$R_1^2 = 0,9511$$

και τυπική απόκλιση των σφαλμάτων

$$s_1 = 0,79$$

ενώ η ευθεία της παλινδρόμησης είναι:

$$y = 24,59 + 0,56 x$$

Η ευθεία παρουσιάζεται στο σχήμα (10.7).

Από τον πίνακα (10.6) αντικαθιστώντας τις αντοχές με τις μέσες τιμές για κάθε θερμοκρασία και εκτελώντας πάλι απλή γραμμική παλινδρόμηση έχουμε:

- συντελεστή προσαρμογής $R_2^2 = 0,999$
- και η τυπική απόκλιση των σφαλμάτων $s_2 = 0,18$

ενώ η ευθεία της παλινδρόμησης είναι:

$$y = 24,49 + 0,56 x \quad (10.5)$$

και φαίνεται στο σχήμα (10.8).

Αν συγκρίνουμε τις σχέσεις (10.4) και (10.5) δεν παρατηρούμε καμία διαφορά.

Επειδή ο συντελεστής προσαρμογής είναι $R_1^2 = 0,9511$, δηλαδή πλησιάζει αρκετά τη μονάδα η προσαρμογή των αποτελεσμάτων σε μία ευθεία $y = a + bx$ είναι ικανοποιητική.

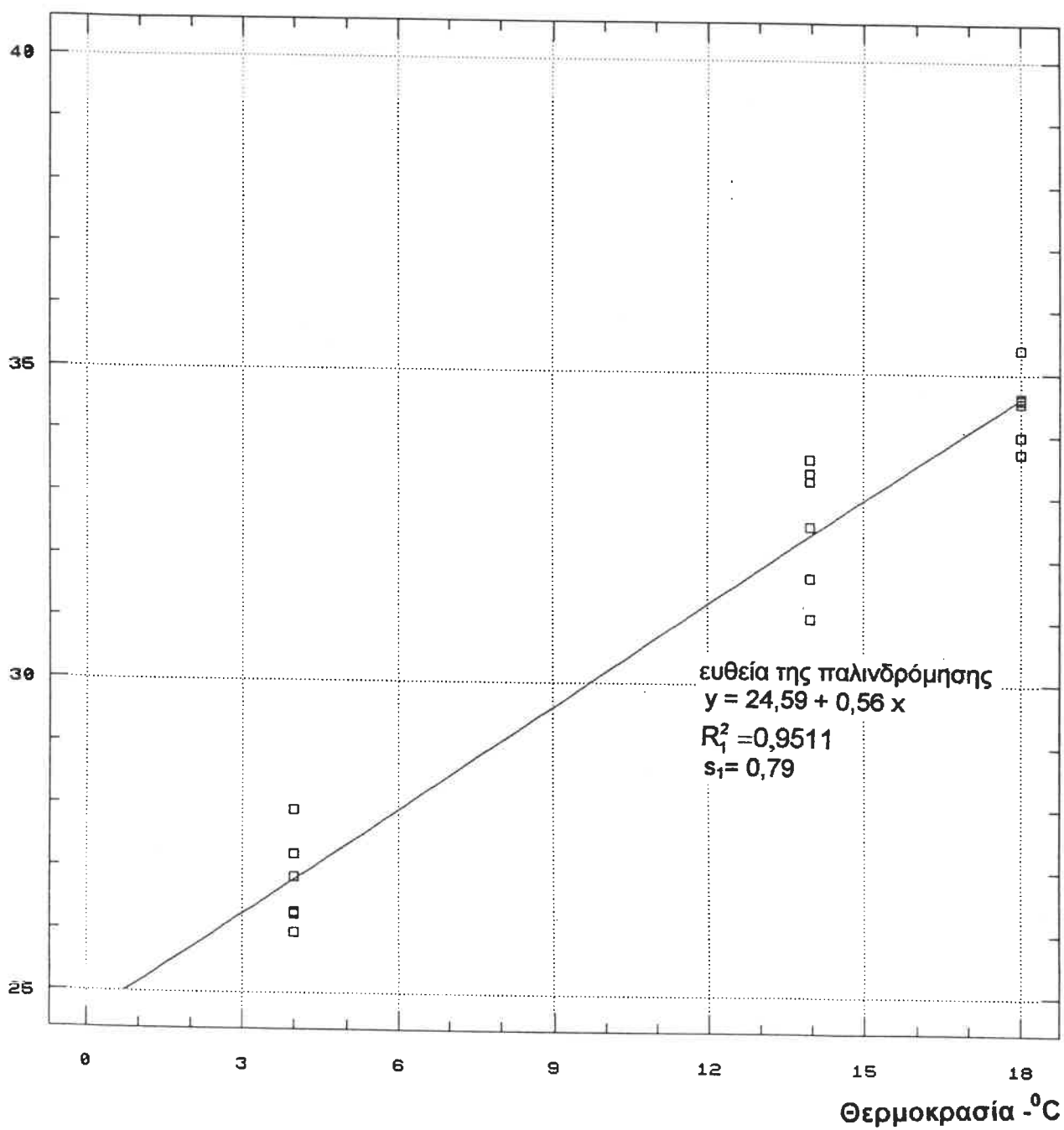
Ακόμα η διασπορά των σφαλμάτων, δηλαδή η διασπορά των Y (αντοχών), γύρω από την ευθεία της παλινδρόμησης είναι μικρή. Σε συνδυασμό λοιπόν με την τιμή του R^2 μας δίνεται η ευκαιρία να μιλήσουμε για μία γραμμική σχέση θερμοκρασίας - αντοχής της μορφής:

$$f = 24,59 + 0,56 * T$$

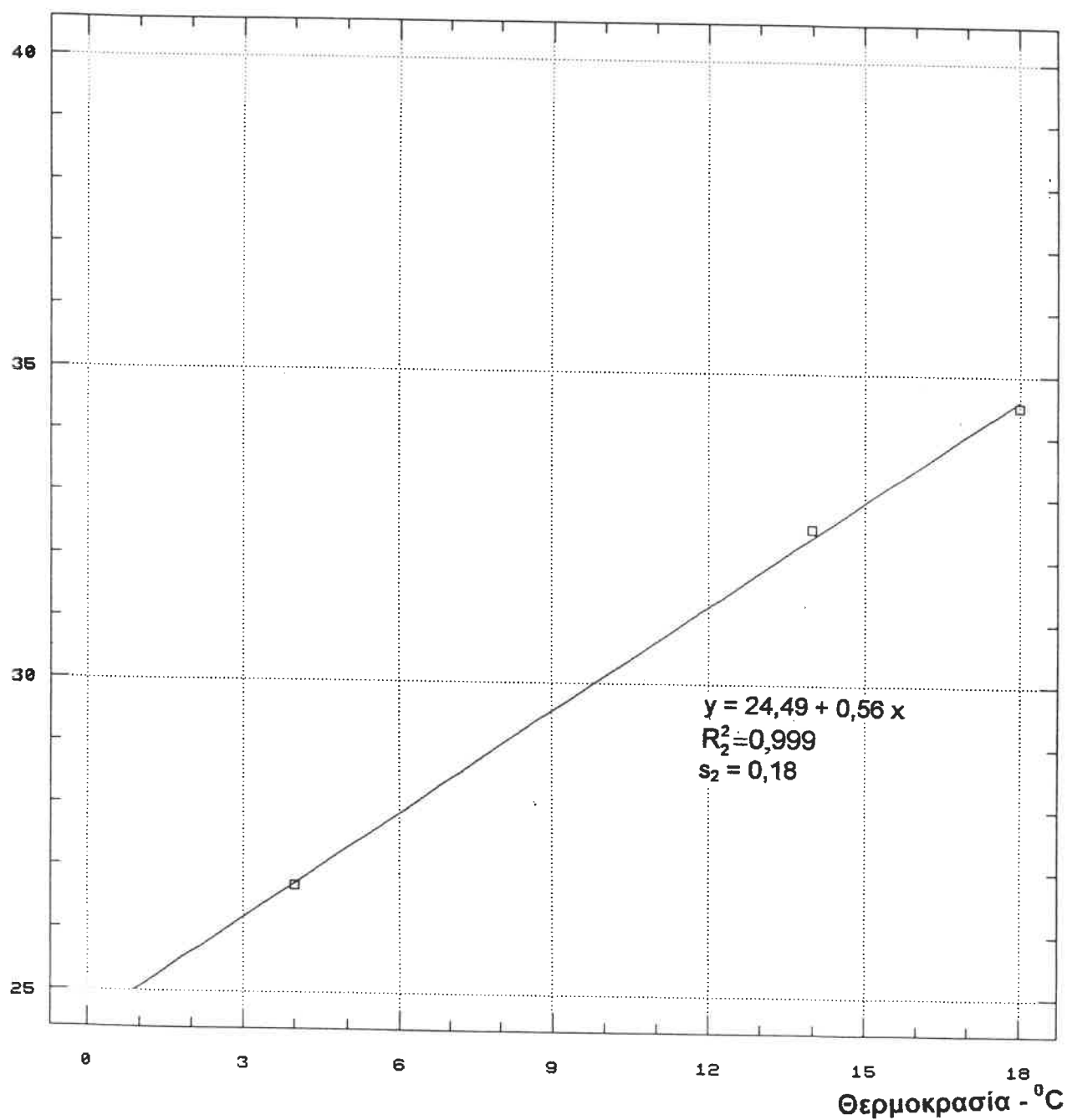
όπου T η θερμοκρασία συντήρησης σε °C.

Η σχέση (10.5) είναι αυτή που υπολογίστηκε για όλες τις τιμές των αντοχών, διότι αντιπροσωπεύει περισσότερο την πραγματικότητα.

Από τη σχέση (10.5) και το σχήμα (10.7) φαίνεται καθαρά η αύξηση της αντοχής όσο αυξάνεται η θερμοκρασία συντηρήσεως και γίνεται εφικτή πλέον η εκτίμηση της



Σχήμα 10.7 Ευθεία παλινδρόμησης σχέση θερμοκρασίας-αντοχής



Σχήμα 10.8 Σχέση θερμοκρασίας-μέσης τιμής αντοχών

αντοχής σκυροδέματος C16/20 μέσω της (10.5) ανάλογα με τη θερμοκρασία συντήρησης.

10.4.2 Σχέση Ωρίμανσης - Αντοχής

Όπως αναφέραμε στην παράγραφο (10.2) η ωρίμανση δίνεται από τη σχέση:

$$R = \sum (T + 10) \quad (^\circ\text{C} \times \text{ημέρες})$$

Έτσι φαίνεται, ότι η τιμή της ωρίμανσης εξαρτάται από την τιμή της θερμοκρασίας και αν η συντήρηση γίνεται σε σταθερή θερμοκρασία, τότε η τιμή της ωρίμανσης για 28 ημέρες προκύπτει από το σχήμα (10.9).

Επειδή η συντήρηση των δοκιμίων έγινε σε σταθερή θερμοκρασία κάθε φορά, δηλαδή 4, 14 και 18°C, τότε η ωρίμανση κάθε εξάδας δοκιμίων μπορεί να συσχετιστεί με την αντοχή που αυτά παρουσίασαν.

Η τιμή της ωρίμανσης για 4, 14 και 18°C είναι αντίστοιχα 392, 692 και 784 °C x ημέρες.

Από τον πίνακα (10.7) προσπαθούμε να βρούμε μία γραμμική σχέση μεταξύ ωρίμανσης και αντοχής.

Εισάγοντας τις τιμές αυτές στο πρόγραμμα Statigraph παίρνουμε:

- συντελεστή συσχέτισης $R_3^2=0,9511$
- τυπική απόκλιση των σφαλμάτων $s_3 = 0,79$ και ευθεία παλινδρόμησης:

$$y = 19,01 + 0,02 x \quad (10.6)$$

η ευθεία αυτή είναι σχεδιασμένη στο σχ. (10.10).

Αν τώρα αντί του συνόλου των αντοχών, αντικαταστήσουμε κάθε φορά τις μέσες τιμές έχουμε όμοια με πιο πάνω από τον πίνακα (10.8)

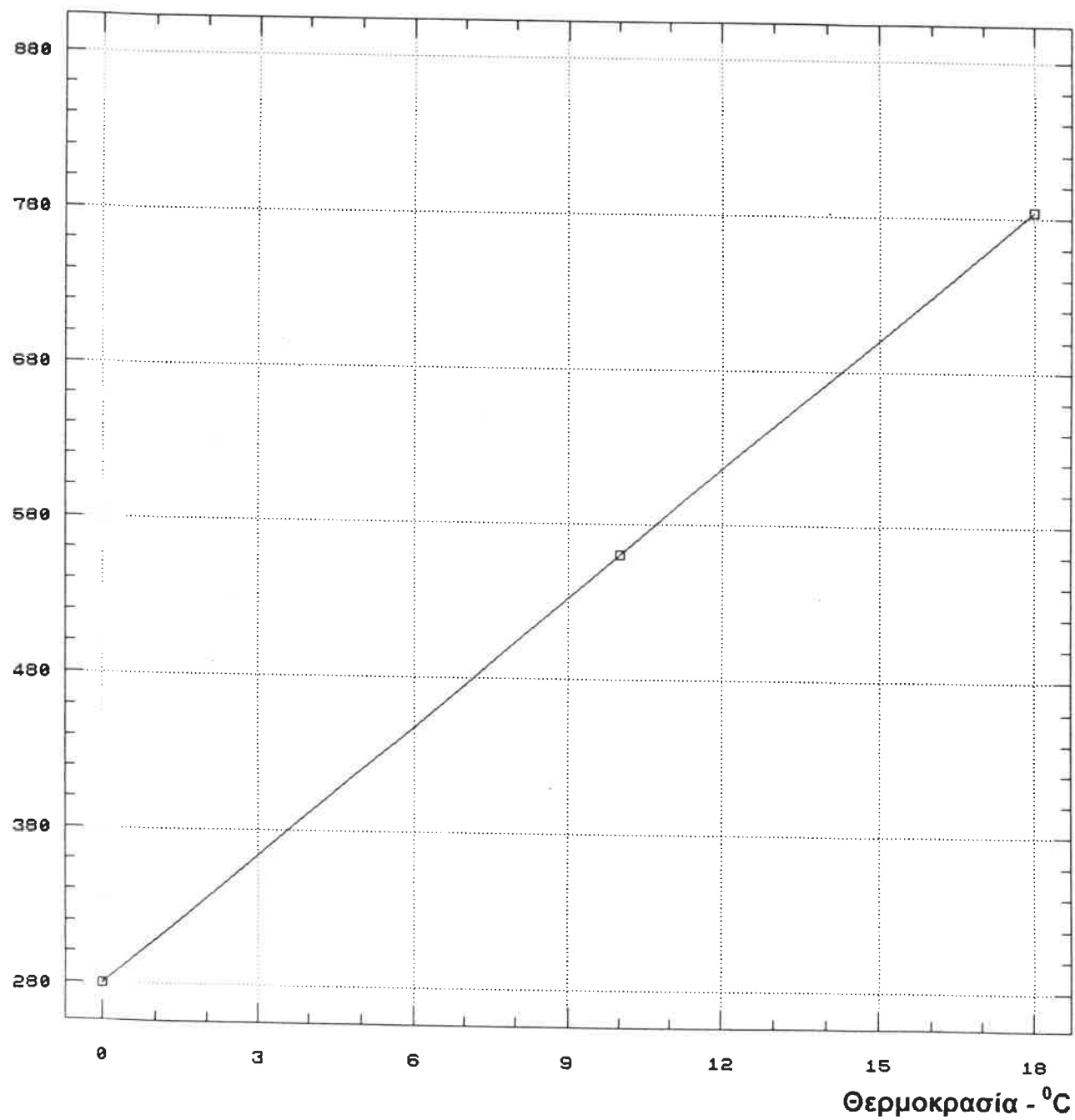
- συντελεστή συσχέτισης $R_4^2=0,999$
- τυπική απόκλιση σφαλμάτων $s_4 = 0,18$ και η ευθεία είναι:

$$y = 18,88 + 0,02 x \quad (10.7)$$

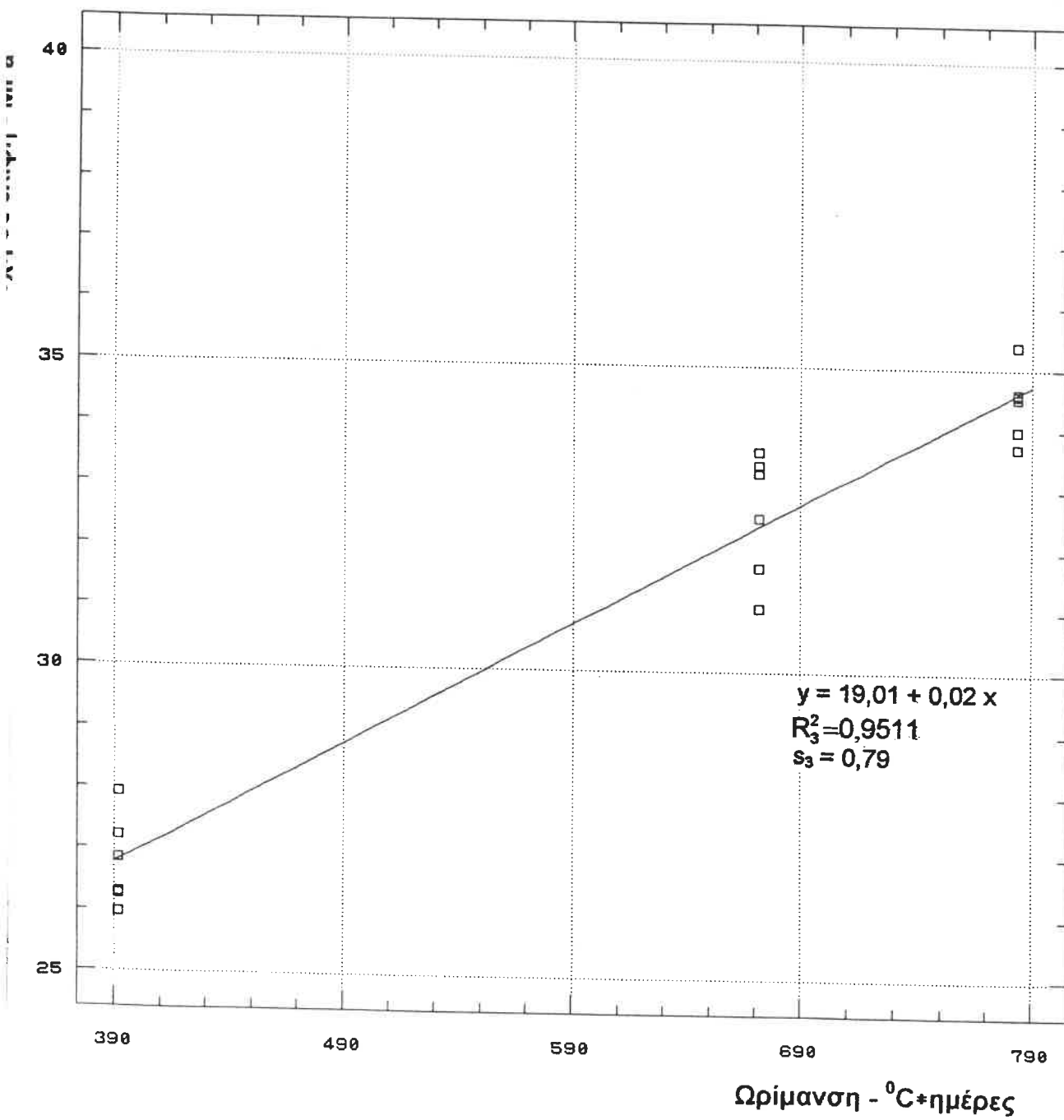
και φαίνεται στο σχήμα (10.11)

Από τις τιμές που λαμβάνει, τόσο ο συντελεστής συσχέτισης όσο και η διασπορά των σφαλμάτων, παρατηρούμε τη γραμμική σχέση ωρίμανσης - αντοχής, σχέση που έχει τη μορφή:

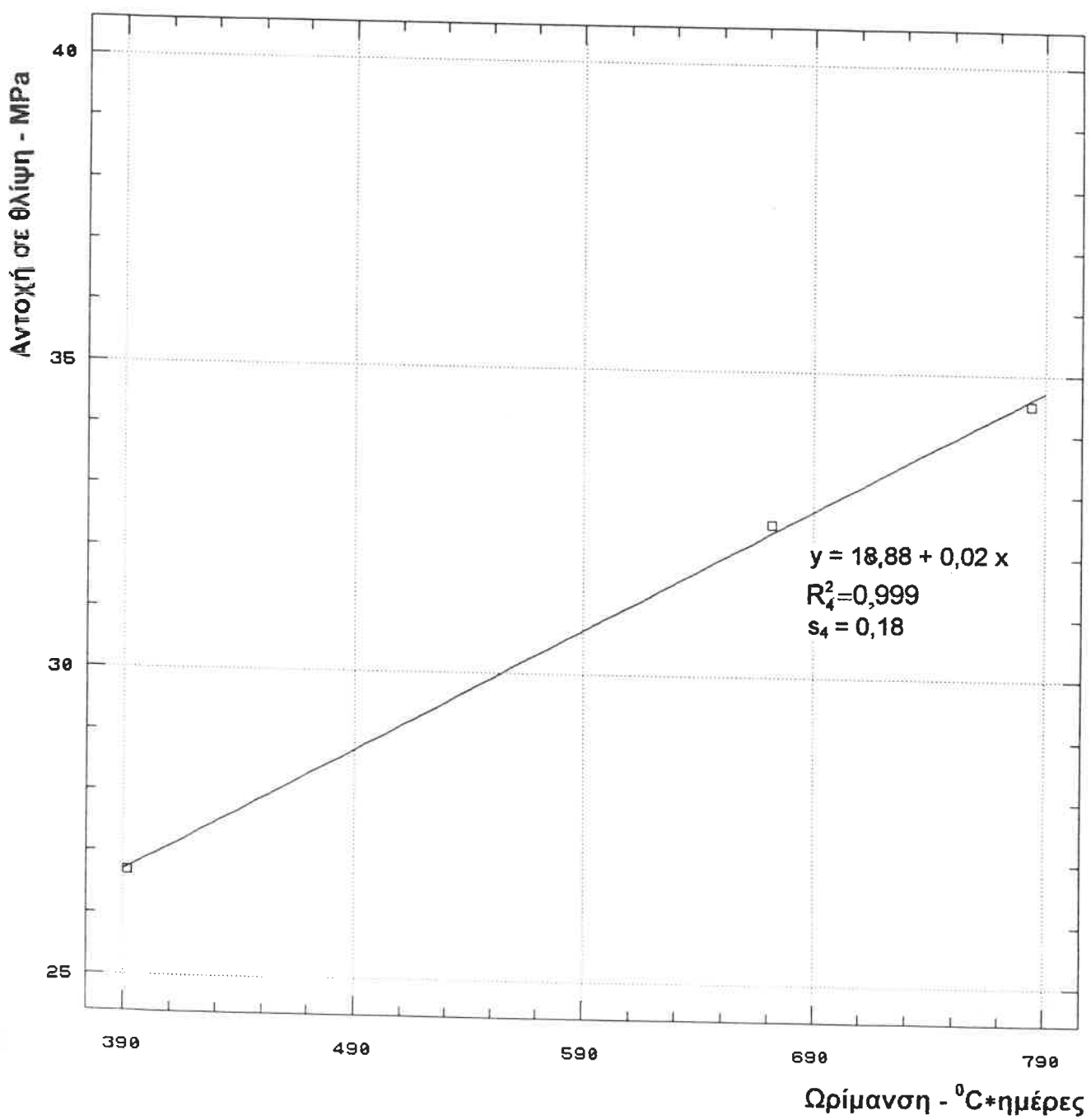
$$f = 19,01 + 0,02 R \quad (10.8)$$



Σχήμα 10.9 Σχέση θερμοκρασίας-ωρίμανσης $R=\alpha(T+10)$



Σχήμα 10.10 Ευθεία ωρίμανσης-αντοχής



Σχήμα 10.11 Σχέση ωρίμανσης-μέσης τιμής αντοχών

x	y	x	y	x	y
4	26,85	14	31,71	18	34,00
4	26,26	14	31,06	18	34,58
4	27,22	14	33,38	18	34,53
4	27,94	14	32,27	18	35,39
4	26,30	14	32,52	18	33,73
4	25,98	14	33,61	18	34,62

Πίνακας 10.5 Τιμές θερμοκρασιών - Αντοχών. Ανεξάρτητη μεταβλητή x η θερμοκρασία, εξαρτημένη μεταβλητή y η αντοχή

x	y
4	26,7
14	32,5
18	34,5

Πίνακας 10.6 Ανεξάρτητη μεταβλητή x η θερμοκρασία, εξαρτημένη μεταβλητή y η μέση τιμή των αντοχών

x	y	x	y	x	y
392	26,85	692	31,71	784	34,00
392	26,26	692	31,06	784	34,58
392	27,22	692	33,38	784	34,53
392	27,94	692	32,27	784	35,39
392	26,30	692	32,52	784	33,73
392	25,98	692	33,61	784	34,62

Πίνακας 10.7 Τιμές Ωρίμανσης-Αντοχής. Ανεξάρτητη μεταβλητή x η ωρίμανση εξαρτημένη μεταβλητή y η αντοχή

x	y
392	26,7
692	32,5
784	34,5

Πίνακας 10.8 Ωρίμανση - Μέση τιμή αντοχών. Ανεξάρτητη μεταβλητή x η ωρίμανση εξαρτημένη μεταβλητή y η μέση τιμή των αντοχών

Όπως προκύπτει λοιπόν από τη σχέση (10.8) και το σχήμα (10.10) η αντοχή αυξάνεται με την αύξηση της ωρίμανσης και μέχρι την τιμή των 784 (°C x ημέρες) που αντιστοιχεί σε συντήρηση 28 ημερών στους 18°C.

Η ωρίμανση σύμφωνα με τη σχέση $R = \sum (T + 10)$, θεωρείται πιο αντιπροσωπευτικό μέγεθος για την εκτίμηση της αντοχής, διότι δεν είναι σίγουρο ότι θα επιτύχουμε σταθερή θερμοκρασία κατά τη συντήρηση ενός στοιχείου από σκυρόδεμα. Αθροίζοντας όμως τα επιμέρους γινόμενα - $\alpha (T+10)$, όπου α οι ημέρες συντήρησης σε θερμοκρασία T °C - προκύπτει η ωρίμανση η οποία όπως φαίνεται και στη σχέση (10.8) επηρεάζει αισθητά το μέγεθος της αντοχής.

10.5 Αναγωγή αντοχών στη θερμοκρασία των 18°C, σύμφωνα με την ωρίμανση του δοκιμίου στις 28 ημέρες

Σύμφωνα με τον Plowman [22], είναι δυνατόν να γίνει αναγωγή κάποιας αντοχής ωρίμανσης R_i , στην ωρίμανση 784°C x ημέρες, που αντιστοιχεί σε συντήρηση στους 18°C για 28 ημέρες.

Έτσι λοιπόν παρακάτω θα γίνει εφαρμογή αυτής της πρότασης στις αντοχές που παρουσίασαν τα δοκίμια τα οποία συντηρήθηκαν τόσο στη δεξαμενή του Αιγίου, όσο και στη σταθερή θερμοκρασία των 18°C στον θάλαμο του εργαστηρίου του "TITAN".

10.5.1 Ωρίμανση δοκιμίων

Για να προκύψει η τιμή της ωρίμανσης γίνεται ο πολλαπλασιασμός ημέρες x θερμοκρασία. Για τη θερμοκρασία στο Αίγιο λαμβάνεται ο μέσος όρος της θερμοκρασίας που καταγραφόταν το πρωί και το βράδυ. Έτσι αθροίζουμε το γινόμενο ημέρες x θερμοκρασία, που συντηρήθηκαν τα δοκίμια στο Αίγιο, με το γινόμενο ημέρες x 18°C για τα δοκίμια που συντηρήθηκαν στο θάλαμο του "TITAN". Στον πίνακα (10.9), παρουσιάζονται για τη δεξαμενή του Αιγίου οι θερμοκρασίες κάθε ημέρας και ο μέσος όρος τους. Στον πίνακα (10.10), φαίνεται η τιμή της ωρίμανσης που προκύπτει από τη συντήρηση στο Αίγιο και στο εργαστήριο του "TITAN".

Κεφάλαιο 10°

α/α	ΗΜ/ΝΙΑ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΠΟΘΗΚΗΣ		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ		ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ °C
		ΠΡΩΙ	ΒΡΑΔΥ	ΠΡΩΙ	ΒΡΑΔΥ	
1.	06.02.97	12	13	11	12	12,5
2.	07.02.97	14	14	13	14	14
3.	08.02.97	14	13	13	13	13,5
4.	09.02.97	14	13	13	14	13,5
5.	10.02.97	14	14	14	14	14
6.	11.02.97	15	15	14	14	15
7.	12.02.97	15	13	14	13	14,5
8.	13.02.97	14	12	13	12	13
9.	14.02.97	13	13	12	12	13
10.	15.02.97	12	11	12	12	11,5
11.	16.02.97	13	12	12	13	12,5
12.	17.02.97	10	11	11	11	10,5
13.	18.02.97	11	11	11	11	11
14.	19.02.97	11	12	12	12	11,5
15.	20.02.97	10	11	11	11	10,5
16.	21.02.97	12	12	11	11	12
17.	22.02.97	13	12	12	12	12,5
18.	23.02.97	12	12	11	12	12
19.	24.02.97	12	11	11	11	11,5
20.	25.02.97	10	13	11	12	11,5
21.	26.02.97	14	13	12	12	13,5
22.	27.02.97	13	14	12	12	13,5
23.	28.02.97	14	15	12	12	14,5
24.	1.03.97	13	14	12	13	13,5
25.	02.03.97	13	14	12	12	13,5
26.	03.03.97	14	15	12	12	14,5
27.	04.03.97	14	14	12	13	14
28.	05.03.97	14	15	14	13	14,5
29.	06.03.97	14	14	14	14	14
30.	07.03.97	14	14	14	14	14
31.	08.03.97	12	12	11	12	12
32.	09.03.97	11	12	11	11	11,5
33.	10.03.97	11	11	11	11	11
34.	11.03.97	9	10	13	13	9,5
35.	12.03.97	9	10	12	12	9,5

Κεφάλαιο 10°

α/α	ΗΜ/ΝΙΑ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΠΟΘΗΚΗΣ		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ		ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ °C
		ΠΡΩΙ	ΒΡΑΔΥ	ΠΡΩΙ	ΒΡΑΔΥ	
36.	13.03.97	12	13	12	13	12,5
37.	14.03.97	13	13	14	14	13
38.	15.03.97	13	11	14	14	12
39.	16.03.97	12	12	13	13	12
40.	17.03.97	10	13	14	12	11,5
41.	18.03.97	15	14	10	10	14,5
42.	19.03.97	13	14	10	11	13,5
43.	20.03.97	14	14	10	11	14
44.	21.03.97	15	14	11	11	14,5
45.	22.03.97	14	12	11	11	13
46.	23.03.97	13	12	11	10	12,5
47.	24.03.97	12	13	10	10	12,5
48.	25.03.97	13	13	12	13	13
49.	26.03.97	14	14	12	12	14
50.	27.03.97	14	13	12	12	13,5
51.	28.03.97	13	12	11	11	12,5
52.	29.03.97	13	13	12	11	13
53.	30.03.97	12	12	12	12	12
54.	31.03.97	12	12	11	11	12
55.	01.04.97	11	12	10	10	11,5
56.	02.04.97	11	14	10	10	11

Πίνακας 10.9 Ημερομηνίες και θερμοκρασίες συντήρησης στη δεξαμενή του Αιγίου καθώς και μέση όροι της θερμοκρασίας δεξαμενής

- Τα δοκίμια των ημερομηνιών 6/2, 7/2, 10/2, 11/2, 13/2 και 20/2 μεταφέρθηκαν από τη δεξαμενή του Αιγίου στο θάλαμο της τσιμεντοβιομηχανίας "TITAN" στις 3/3/97.
- Τα δοκίμια των ημερομηνιών 21/2, 24/2, 25/2, 26/2, 27/2, 28/2, 3/3 και 4/4 μεταφέρθηκαν στις 17/3/97.
- Τα δοκίμια των ημερομηνιών 5/3, 6/3, 7/3 μεταφέρθηκαν στις 31/3/97.
- Τα δοκίμια των υπόλοιπων ημερομηνιών μεταφέρθηκαν στις 3/4/97

α/α	ΗΜ/ΝΙΑ ΛΗΨΗΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΗΜ. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	ΗΜ. ΔΕΞ. ΑΙΓΙΟΥ	ΗΜ. ΘΑΛ. ΤΙΤΑΝ	ΩΡΙΜΑΝΣΗ		ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΩΡΙΜΑΝΣΕΩΣ
					ΑΙΓΙΟ	ΤΙΤΑΝ	
1.	06.02.97	28 ημέρες	25	3	568,5	84	≈ 653
2.	07.02.97	-//-	24	4	546,0	112	≈ 658
3.	10.02.97	-//-	21	7	475,0	196	≈ 671
4.	11.02.97	-//-	20	8	450,0	224	≈ 674
5.	13.02.97	-//-	18	10	401,5	280	≈ 682
6.	20.02.97	-//-	11	17	248,5	476	≈ 725
7.	21.02.97	-//-	24	4	542,0	112	≈ 654
8.	24.02.97	-//-	21	7	475,5	196	≈ 672
9.	25.02.97	-//-	20	8	454,0	224	≈ 678
10.	26.02.97	-//-	19	9	432,5	252	≈ 685
11.	27.02.97	-//-	18	10	409,0	280	≈ 689
12.	28.02.97	-//-	17	11	385,5	308	≈ 694
13.	03.03.97	-//-	14	14	314,0	392	≈ 706
14.	04.03.97	-//-	13	15	289,5	420	≈ 710
15.	05.03.97	-//-	27	2	611,5	56	≈ 668
16.	06.03.97	-//-	26	3	587,0	84	≈ 671
17.	07.03.97	-//-	25	4	563,0	112	≈ 675
18.	11.03.97	-//-	23	5	517,0	140	≈ 657
19.	12.03.97	-//-	22	6	497,5	168	≈ 665
20.	13.03.97	-//-	21	7	478,0	196	≈ 674
21.	14.03.97	-//-	20	8	455,0	224	≈ 680
22.	15.03.97	-//-	19	9	432,5	252	≈ 685
23.	17.03.97	-//-	17	11	388,5	308	≈ 697
24.	18.03.97	-//-	16	12	367,0	336	≈ 703
25.	19.03.97	-//-	15	13	342,5	364	≈ 707
26.	20.03.97	-//-	14	14	319,0	392	≈ 711
27.	21.03.97	-//-	13	15	295,0	420	≈ 715
28.	22.03.97	-//-	12	16	270,5	448	≈ 719
29.	24.03.97	-//-	10	18	225,0	504	≈ 729
30.	26.03.97	-//-	8	20	179,5	560	≈ 740
31.	28.03.97	-//-	6	22	132,0	616	≈ 748
32.	01.04.97	-//-	2	26	42,5	728	≈ 771
33.	02.04.97	-//-	1	27	21	756	≈ 777

Πίνακας 10.10 Ωρίμανση δοκιμών - Αναλυτικά στοιχεία

10.5.2 Αναγωγή Αντοχών

Για να πραγματοποιηθεί η αναγωγή των αντοχών απαιτείται ένας συντελεστής αναγωγής που προκύπτει από τη σχέση:

$$\frac{784}{R_i} \quad (10.9)$$

όπου $784 \text{ }^{\circ}\text{C} \times \text{ημέρες}$ η ωρίμανση των 28 ημερών σε 18°C

$$i = 1, 2, \dots, 33$$

Από τη σχέση (10.9) προκύπτει ο πίνακας (10.11) στον οποίο έχουν συμπληρωθεί και οι τιμές των διορθωμένων αντοχών, αντοχές από τις οποίες στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε ο υπολογισμός της τυπικής απόκλισης της μονάδας.

10.5.3 Διόρθωση τυπικής απόκλισης μονάδας

Από τον πίνακα (10.11) προκύπτει νέα μέση τιμή και τυπική απόκλιση:

$$\bar{X}' = 32,86 \text{ MPa}$$

$$s' = 4,34 \text{ MPa}$$

για την παραγωγή C16/20 από τη μονάδα.

Από τις πιο πάνω τιμές υπολογίζουμε το ποσοστό υποαντοχής, από τη σχέση:

$$z = \frac{f_{ck} - \bar{X}'}{s'} \Rightarrow z = 2,96$$

και το ποσοστό υποαντοχής του δείγματος είναι 0,00154 ή 0,154%.

Παρατηρούμε λοιπόν το αναμενόμενο: ότι αφού πολλαπλασιάσαμε με συντελεστές μεγαλύτερους της μονάδας τα στοιχεία του δείγματος, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση αυξήθηκαν. [5]

Ακόμα παρατηρούμε ότι παρόλο που η τυπική απόκλιση αυξήθηκε (4,40 MPa) το ποσοστό υποαντοχής (του διορθωμένου πλέον δείγματος) είναι πολύ μικρό. Αυτό οφείλεται στην αυξημένη μέση τιμή του δείγματος (32,9 MPa).

Βέβαια η πιο πάνω αναγωγή έγινε για να δείξουμε τη διαφορά των αντοχών που προκύπτουν από τη σωστή συντήρηση.

Κεφάλαιο 10°

α/α	ΗΜ/ΝΙΑ ΛΗΨΗΣ	ΩΡΙΜΑΝΣΗ R_i	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΑΝΤΟΧΗ* (MPa)	ΣΥΜΒΟΛΙ- ΣΜΟΣ
1.	06.02.97	653	1,20	33,5 31,6 33,3	B M M'
2.	07.02.97	658	1,19	35,8 34,2 33,9	B M M'
3.	10.02.97	671	1,17	39,3 39,9 39,4	B M M'
4.	11.02.97	674	1,16	35,9 35,3 35,2	B M M'
5.	13.02.97	682	1,15	29,3 29,2 31,2	B M M'
6.	20.02.97	725	1,08	24,6 28,6 28,9	B M M'
7.	21.02.97	654	1,22	36,8 27,3 25,6	B M M'
8.	24.02.97	672	1,17	31,2 36,3 25,4	B M M'
9.	25.02.97	678	1,16	37,3 35,3 36,4	B M M'
10.	26.02.97	685	1,14	33,6 32,9 31,7	B M M'

* Διορθωμένη αντοχή είναι η αντοχή που προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό των αντοχών που παρουσίασαν τα δοκίμια με την ωρίμανση R_i επί του συντελεστή αναγωγής που προκύπτει από τη σχέση $784/R_i$

Κεφάλαιο 10°

α/α	ΗΜ/ΝΙΑ ΛΗΨΗΣ	ΩΡΙΜΑΝΣΗ R _i	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΑΝΤΟΧΗ' (MPa)	ΣΥΜΒΟΛΙ- ΣΜΟΣ
11.	27.02.97	689	1,14	30,9 29,5 30,9	B M M'
12.	28.02.97	694	1,13	28,5 30,3 29,5	B M M'
13.	03.03.97	706	1,11	27,6 27,5 27,8	B M M'
14.	04.03.97	710	1,10	32,8 32,4 32,2	B M M'
15.	05.03.97	668	1,17	38,3 36,6 21,6	B M M'
16.	06.03.97	671	1,17	34,4 40,8 36,6	B M M'
17.	07.03.97	675	1,16	29,6 32,9 36,4	B M M'
18.	11.03.97	657	1,19	44,0 38,0 37,1	B M M'
19.	12.03.97	665	1,18	39,8 35,5 41,3	B M M'
20.	13.03.97	674	1,16	39,0 34,0 40,3	B M M'
21.	14.03.97	680	1,15	37,1 36,0 39,8	B M M'

Κεφάλαιο 10°

α/α	ΗΜ/ΝΙΑ ΛΗΨΗΣ	ΟΡΙΜΑΝΣΗ R_t	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΑΝΤΟΧΗ' (MPa)	ΣΥΜΒΟΛΙ- ΣΜΟΣ
22.	15.03.97	685	1,14	26,6 27,09 28,8	B M M'
23.	17.03.97	697	1,12	40,7 42,4 35,2	B M M'
24.	18.03.97	703	1,11	27,2 30,6 30,8	B M M'
25.	19.03.97	707	1,11	22,1 25,4 25,6	B M M'
26.	20.03.97	711	1,10	23,8 31,6 31,5	B M M'
27.	21.03.97	715	1,10	26,5 29,4 29,8	B M M'
28.	22.03.97	719	1,10	28,5 35,4 37,8	B M M'
29.	24.03.97	729	1,07	30,7 33,9 33,3	B M M'
30.	26.03.97	740	1,06	26,1 27,7 24,8	B M M'
31.	28.03.97	748	1,05	32,4 38,9 39,0	B M M'
32.	01.04.97	771	1,02	34,1 42,9 43,0	B M M'

α/α	ΗΜ/ΝΙΑ ΛΗΨΗΣ	ΩΡΙΜΑΝΣΗ R_t	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ	ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΑΝΤΟΧΗ' (MPa)	ΣΥΜΒΟΛΙ- ΣΜΟΣ
33.	02.04.97	777	1,00	30,5 39,9 38,4	B M M'

Πίνακας 10.11 Συντελεστές αναγωγής και διορθωμένες αντοχές

Βέβαια ότι αναφέρθηκε πιο πάνω δεν μπορεί να είναι παρά μία εκτίμηση της αντοχής που θα παρουσίαζαν τα δοκίμια αν είχαν τιμή ωρίμανσης 784 ($^{\circ}\text{C} \times \text{ημέρες}$) και κατά προτίμηση αυτή η τιμή της ωρίμανσης να είχε προκύψει από συντήρηση σε σταθερή θερμοκρασία 18°C .

10.6 Συμπεράσματα

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων που έγινε στις προηγούμενες παραγράφους είναι εμφανές πλέον πόσο εξαρτάται η αντοχή από τη θερμοκρασία, αλλά και από την ποσότητα που ονομάζεται ωρίμανση.

Βέβαια για να εφαρμοστούν οι σχέσεις (10.5) και (10.8) μεταξύ των θερμοκρασιών $4-18^{\circ}\text{C}$ και για σκυρόδεμα C16/20 πρέπει αυτό να είναι σωστά αναμειγμένο, συμπυκνωμένο και συντηρημένο σε ατμόσφαιρα με υγρασία πάνω από 90% ή σε νερό.

Η τιμή που προκύπτει από τις σχέσεις (10.5) και (10.8) δεν μπορεί να είναι παρά μια εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος για δεδομένη, θερμοκρασία και ωρίμανση, διότι στο αποτέλεσμα της αντοχής και εν γένει της ποιότητας του σκυροδέματος συντελούν πλήθος παραγόντων.

Αυτές οι σχέσεις όμως δεν παύουν να είναι χρήσιμες και να βοηθούν στην εκτίμηση της αντοχής, αν από πριν είναι γνωστή η θερμοκρασία στην οποία θα συντηρηθεί, ακόμα και αν αυτή δεν είναι σταθερή σε όλη τη διάρκεια της συντήρησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. "Τεχνολογία Σκυροδέματος", Χρ. Οικονόμου, Θεσσαλονίκη 1993
2. "Θέματα Τεχνολογίας Σκυροδέματος", Παν. Κουφόπουλος, Διαλέξεις, Αθήνα 1988
3. "Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος", (Κ.Τ.Σ.), Φ.Ε.Κ. αρ. 266, Αθήνα 8 Μαρτίου 1985
4. "Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος", Αιτιολογική Έκθεση
5. "Εισαγωγή στη στατιστική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων εδαφομηχανικής στην οδοποιία", Σ. Κόλλιας, Ανάπτυπο από το δελτίο ΚΕΔΕ, Τεύχος 3-4/1980
6. "Εισαγωγή στη θεωρία των Πιθανοτήτων και της Στατιστικής", Ι.Σπηλιώτης, Γ. Κοκολάκης, Αθήνα, Μάιος 1991
7. "Χημεία και Τεχνολογία Τσιμέντου", Γ. Παρισάκη, Αθήνα 1991
8. "Τεχνολογία Σκυροδέματος", Ημερίδα, Λάρισα 19 Μαρτίου 1996
9. Μέθοδος ελέγχου ΣΚ-309 : " Μέθοδος δοκιμής καθίσσεως ", Δελτίο ΚΕΔΕ, Αθήνα 1995
10. Μέθοδος ελέγχου ΣΚ-303 : " Μέθοδος παρασκευής και συντήρησης δοκιμίων σκυροδέματος ", Δελτίο ΚΕΔΕ Αθήνα 1995
11. Μέθοδος ελέγχου ΣΚ-304: " Μέθοδος προσδιορισμού αντοχής σε θλίψη δοκιμίων σκυροδέματος ", Δελτίο ΚΕΔΕ, Αθήνα 1995

12. "Σημειώσεις από τις παραδόσεις", Σ. Κόλλιας, Ε.Μ.Π., Αθήνα 1996
13. "Σημειώσεις εργαστηριακών ασκήσεων" (Ειδικά κεφάλαια οδοστρωμάτων), Σ. Κόλλιας, Α. Λοΐζος, Αθήνα 1996
14. "Τσιμέντο", Δελτίο Σ.Π.Μ.Ε., αρ. 199, Νοέμβρης - Δεκέμβρης 1990
15. "Εσωτερικός και Εξωτερικός Έλεγχος Σκυροδέματος - Στατιστική Διερεύνηση", Διπλωματική Εργασία Μ. Κωσταγιάννη, Φεβρουάριος 1992, Αθήνα
16. "Ιδιότητες και Συμπεριφορά του Σκυροδέματος", Παν. Σπυρόπουλος, Αριστοτέλειο Πολυτεχνείο Θεσσαλονίκης
17. "Ωπλισμένο Σκυρόδεμα", Θ.Π.Τάσιος, Π.Ι.Γιαννόπουλος, Κ.Γ.Τρέζος, Σ.Γ.Τσουκαντάς, Αθήνα 1992
18. "Αντοχή Υλικών", Ι.Πρασιανάκης, Β.Κωσταντέλλος, Ι.Μηλιός, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 1993
19. "11^ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος", Έκδοση Τ.Ε.Ε., Κέρκυρα 18 - 20 Μαΐου 1994
20. "B.S.1881 : Part 102 : 1983"
21. "Concrete", Sidney Mindess, J. Francis Young © 1981
22. "Properties of Concrete", A.M. Neville, 1975
23. "Concrete Technology", A.M. Neville & J.J. Brooks, 1987
24. "Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος", Αθήνα 28 Μαρτίου 1997

