

99  
707.

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
(Τ.Ε.Ι.)  
ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΤΜΗΜΑ : ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

*ΜΕΛΕΤΗ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ  
ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ*

Εισηγητής - Καθηγητής  
Φ. ΦΩΤΟΠΟΥΛΟΣ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΜΑΡΙΑ Ι. ΜΠΡΑΒΑΚΟΥ

ΑΘΗΝΑ  
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1994

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ

(Τ.Ε.Ι.)

ΠΕΙΡΑΙΑ

ΤΜΗΜΑ : ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1		
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	2		
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	5		
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	7		
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	8		
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	8		
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	9		
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	11		
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	11		
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9</b>	<b>12</b>		
<b>ΜΕΛΕΤΗ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ</b>	<b>ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ</b>	<b>ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ</b>	<b>13</b>
9.1	15		
9.2	22		
9.3	24		
9.4	26		
9.5	26		
9.6	28		
9.7	28		
9.8	30		
9.9	30		
9.10	31		
9.11	35		

ΜΑΡΙΑ Ι. ΜΠΡΑΒΑΚΟΥ

ΑΘΗΝΑ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1994

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	3
ABSTRACT .....	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	7
2. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ .....	8
2.1. Τα υλικά παρασκευής του σκυροδέματος .....	8
2.1.1. Το τσιμέντο.....	9
2.1.1.1. Παραγωγή.....	9
2.1.1.2. Όρια κατηγοριών αντοχών .....	11
2.1.1.3. Ποσότητα του τσιμέντου .....	11
2.1.2. Αδρανή υλικά .....	12
2.1.2.1. Καθαρότητα .....	13
2.1.2.2. Κοκκομετρική διαβάθμιση .....	16
2.1.3 Νερό.....	22
2.1.4 Πρόσθετα μάζας .....	24
2.1.5. Ρευστοποιητικά .....	25
2.2. Σύνθεση του σκυροδέματος .....	26
2.2.1. Αναλογίες σύνθεσης - Μορφολογία του πήγματος και ενυδάτωσή του .....	26
2.2.2. Βασικές αρχές για τη μελέτη σύνθεσης .....	28
2.3. Ιδιότητες του σκυροδέματος .....	30
2.3.1. Ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος .....	30
2.3.2. Εργασιμότητα .....	31
2.3.3. Ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος.....	36

99  
707.

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
(Τ.Ε.Ι.)  
ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΤΜΗΜΑ : ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

*ΜΕΛΕΤΗ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ  
ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ*

Εισηγητής - Καθηγητής  
Φ. ΦΩΤΟΠΟΥΛΟΣ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΜΑΡΙΑ Ι. ΜΠΡΑΒΑΚΟΥ

ΑΘΗΝΑ  
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1994

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
(Τ.Ε.Ι.)  
ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΤΜΗΜΑ : ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

**ΜΕΛΕΤΗ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ  
ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

ΜΑΡΙΑ Ι. ΜΠΡΑΒΑΚΟΥ

ΑΘΗΝΑ  
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1994

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	3
ABSTRACT .....	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	7
2. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ .....	8
2.1. Τα υλικά παρασκευής του σκυροδέματος .....	8
2.1.1. Το τσιμέντο.....	9
2.1.1.1. Παραγωγή.....	9
2.1.1.2. Όρια κατηγοριών αντοχών .....	11
2.1.1.3. Ποσότητα του τσιμέντου .....	11
2.1.2. Αδρανή υλικά .....	12
2.1.2.1. Καθαρότητα .....	13
2.1.2.2. Κοκκομετρική διαβάθμιση .....	16
2.1.3 Νερό.....	22
2.1.4 Πρόσθετα μάζας .....	24
2.1.5. Ρευστοποιητικά .....	25
2.2. Σύνθεση του σκυροδέματος .....	26
2.2.1. Αναλογίες σύνθεσης - Μορφολογία του πήγματος και ενυδάτωσή του .....	26
2.2.2. Βασικές αρχές για τη μελέτη σύνθεσης .....	28
2.3. Ιδιότητες του σκυροδέματος .....	30
2.3.1. Ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος .....	30
2.3.2. Εργασιμότητα .....	31
2.3.3. Ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος.....	36

2.3.3.1. Η αντοχή του σκυροδέματος και ο μηχανισμός της θραύσης.....	36
2.3.3.2. Η ανάπτυξη της αντοχής με το χρόνο .....	38
2.3.3.3. Η εξάρτηση της αντοχής από την ποσότητα του νερού και τις αναλογίες σύνθεσης .....	39
2.3.3.4. Η μέτρηση της αντοχής .....	41
<b>3. ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ .....</b>	<b>43</b>
3.1. Εύρεση αναλογιών των αδρανών για τη μελέτη σύνθεσης .....	43
3.2. Επιλογή κατηγορίας σκυροδέματος - Στόχος μεσης αντοχής.....	46
3.3. Προσδιορισμός λόγου νερού-τσιμέντου (N/T).....	47
<b>4. ΟΡΓΑΝΑ .....</b>	<b>49</b>
4.1. Όργανα - Συσκευές .....	49
4.1.1. Όργανα αδρανών .....	49
4.1.2. Όργανα τσιμέντου.....	50
4.1.3. Όργανα σκυροδέματος.....	52
4.1.4. Φωτογραφίες Οργάνων - Συσκευών .....	53
4.2. Βαθμονομίες οργάνων (Καλιμπραρίσματα).....	67
<b>5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ .....</b>	<b>73</b>
5.1. Έλεγχοι συστατικών υλικών σκυροδέματος.....	73
5.1.1. Αδρανή .....	73
5.1.1.1. Εκτέλεση ελέγχου αδρανών .....	75
5.1.1.2. Αποτελέσματα ελέγχων αδρανών .....	82
5.1.2.1. Αποτελέσματα ελέγχου τσιμέντων.....	92
5.1.3. Νερό.....	94
5.1.4. Ρευστοποιητής .....	94
<b>6. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ .....</b>	<b>95</b>
6.1. Απόφαση ποσότητας παραγωγής αναμίγματος.....	95
6.2. Περιγραφή πειραματικής εκτέλεσης ελέγχων σκυροδέματος .....	96
6.3. Διαδικασία πειραματικής εκτέλεσης .....	100

<b>7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>104</b>
7.1. Αποτελέσματα Συνταγής Αναμίγματος .....	104
7.1.2. Συμπεράσματα από τη μελέτη των συνταγών .....	109
7.2. Στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων θραύσης των δοκιμίων .....	110
7.2.1. Εύρεση πραγματικού μέσου όρου $\mu$ .....	112
7.2.2. Εύρεση πραγματικής τυπικής απόκλισης $\sigma$ .....	116
7.2.3. Εύρεση πραγματικού μέσου όρου $\mu$ για 15 αναμίγ- ματα των 4 δοκιμίων .....	118
7.2.4. Εύρεση αληθινής τυπικής απόκλισης $\sigma$ .....	119
7.2.5. A.C.I. 214-77 .....	119
7.2.6. Υπολογισμός σύμφωνα με A.C.I. ....	120
7.2.3. Ανάλυση διαγραμμάτων Δ.V και Δ.VI .....	123
7.3. Συμπεράσματα από τη στατιστική επεξεργασία των αποτε- λεσμάτων θραύσης.....	128
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>133</b>



## Ερμηνείες Συντμήσεων\*

"ΠΕΤΥΛ"	: Ποιοτικός Έλεγχος και Τεχνολογία Υλικών
ΕΛΟΤ	: Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης
Κ.Τ.Σ.	: Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος
A.S.T.M.	: American Society for Testing and Materials
A.C.I.	: American Concrete Institute
$f_{ck}$	: Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη (ορισμός σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ.)
S	: Τυπική απόκλιση που βρέθηκε πειραματικά στο εργαστήριο
$f_a$	: Απαιτούμενη αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη (ορισμός σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ.)
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
Κ.Τ.	: Κανονισμός Τιμώντων για Έργα από Σκυρόδεμα
ΚΕΔΕ	: Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων
ΠΕΔΕ	: Περιφερειακό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων
Φ.Β.Χ.	: Φαινόμενο Βάρους Χονδρόκοκκου
N.F.	: Norme Francaise
Σ.Κ.	: Μέθοδος ελέγχου σύμφωνα με τα φυλλάδια του ΚΕΔΕ
$x_n$	: Μέσος όρος συμβατικής αντοχής ή δοκιμίων μιας δειγματοληψίας (ορισμός σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ.)
$x_i$	: Συμβατική αντοχή ενός δοκιμίου μιας δειγματοληψίας (ορισμός σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ.)
$\mu$	: Πραγματικός μέσος όρος θλιπτικής αντοχής δοκιμίων
$\sigma$	: Αληθινή τυπική απόκλιση
$n, n$	: Αριθμός δοκιμίων
$V_1$	: Συντελεστής διασποράς (coefficient of variation). Ορισμός σύμφωνα με το A.C.I. 214-77

*\*Οι συντμήσεις είναι με τη σειρά που συναντώνται μέσα στο κείμενο*

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Συνήθως στο σημείο αυτό γράφονται οι ευχαριστίες προς όλους εκείνους οι οποίοι συνετέλεσαν, με τη βοήθειά τους, στην άρτια εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Όμως στην περίπτωσή μας, η απλή παράθεση ευχαριστιών σε εκείνους που με βοήθησαν, θα ήταν υποτίμηση της προσφοράς τους. Από την άλλη μεριά, το να τους επιστρέψω είτε το προϊόν, είτε την υποστήριξη που μου παρείχαν, θα ήταν αδύνατο και μάταιο. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να αρκεστούν στις ευχαριστίες μου, οι οποίες με ειλικρινή και θερμό τρόπο, απευθύνονται στους:

- Κώστα Γεωργίου, Πολιτικό Μηχανικό, υπεύθυνο του Εργαστηριακού Ελέγχου Ποιότητας Σκυροδέματος του εργοστασίου Καμαρίου της τσιμεντοβιομηχανίας TITAN A.E., για την παράλληλη εκτέλεση εργαστηριακών δοκιμών στο εργαστήριο και για τις υποδείξεις του σε θέματα τεχνολογίας σκυροδέματος,
- Γιώργο Γκρίντζο, Χημικό Μηχανικό, και τα εργαστήρια "Α. Γκρίντζος - Α. Γιαννόπουλος", για την εκτέλεση σειράς εργαστηριακών δοκιμών στα εργαστήριά τους,
- Δέσποινα Χρυσοβελίδου, Μεταλλειολόγο Μηχανικό των λατομείων "AMMOS WEST" (πρώην "Αναγνωστάκη"), για την ευγενή προσφορά αδρανών στο ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ,
- Γιώργο Μπαμπάκα, Τεχνολόγο Μηχανικό, απόφοιτο του ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ, υπεύθυνο ελέγχου ποιότητας της βιομηχανίας έτοιμου σκυροδέματος ET BETON/μονάδα Ρέντη, για την παραχώρηση πρώτων υλών και τεχνικής βοήθειας στο εργοτάξιο της μονάδας, καθώς και το προσωπικό που εργάζεται σ' αυτό,

- Αντώνη Σακελλαρίου, Πολιτικό Μηχανικό ΚΔΕΠ/ΔΕΗ, και Νίκο Μαρσέλλο, Πολιτικό Μηχανικό, διδάσκοντες καθηγητές μου στο ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ, για το σχολιασμό κατά την κατάρτιση του προγράμματος δοκιμών και τις εύστοχες υποδείξεις και παρατηρήσεις τους κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των εργαστηριακών μετρήσεων, καθώς και για το ενδιαφέρον με το οποίο αντιμετώπισαν τη δουλειά μου,
- Βαγγέλη Χρόνη, σπουδαστή του ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ, που διενήργησε την πρακτική του άσκηση στο εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου και Τεχνολογίας Υλικών του ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας και χάρη στη βοήθεια του οποίου έγινε δυνατή η πραγματοποίηση του πειραματικού μέρους της εργασίας αυτής. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω και τους σπουδαστές του χειμερινού εξαμήνου 1994 για τη βοήθειά τους.

Τέλος, με πολύ σεβασμό και εκτίμηση θα ήθελα να απευθύνω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον καθηγητή του μαθήματος "Ποιοτικός Έλεγχος και Τεχνολογία Υλικών" και προϊστάμενο του εργαστηρίου Ποιοτικού Ελέγχου, κ. Φώτη Φωτόπουλο, χάρη στην αμέριστη βοήθεια, συμπάρσταση και καθοδήγηση του οποίου έγινε κατορθωτή η σύλληψη, η πραγματοποίηση και η ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Μαρία Ι. Μπραβάκου

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων θλιπτικής αντοχής στο σκυρόδεμα, αποτέλεσε πάντα ένα από τα πιο ενδιαφέροντα σημεία επιστημονικού διαλόγου των διαφόρων ερευνητών.

Οι περισσότερες μάλιστα από τις έρευνες ασχολούνται με τη μέτρηση της διασποράς αυτού του ίδιου του υλικού θεωρώντας - εσφαλμένα ίσως- ότι αυτή είναι η κυριότερη πηγή ανομοιομορφίας.

Στο εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου και Τεχνολογίας Υλικών του ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ, έγινε μία προσπάθεια μέτρησης ενός άλλου παράγοντα, που αποτελεί επίσης πηγή προβλημάτων στην επαναληψιμότητα και αναπαραγωγιμότητα ενός εργαστηριακού αποτελέσματος. Διερευνήθηκε, δηλαδή, η επίδραση του εργαστηριακού εξοπλισμού, της διεργασίας εκτέλεσης της δοκιμής και η "μεταχείριση" των δοκιμίων, ενώ κρατήθηκαν σταθερά η ποιότητα των υλικών, η μελέτη σύνθεσης και οι πρότυπες μέθοδοι ελέγχου.

Ήταν αξιοσημείωτο ότι οι παράγοντες αυτοί, δηλαδή το είδος του εργαστηριακού εξοπλισμού (αναμικτήρας, μήτρες, πρέσσα), η συμπύκνωση, συντήρηση και θραύση, επηρέασαν το αποτέλεσμα αντοχής και θραύσης κατά ποσοστό  $\pm 10-15\%$ . Το γεγονός αυτό είναι πολύ σημαντικό, αν ληφθεί υπόψη ότι μιλάμε για το ίδιο υλικό, το οποίο παρασκευάστηκε με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, από τις ίδιες πρώτες ύλες.

Αν αναλογισθούμε ότι στο εργαστήριο υπεισέρχονται επιπλέον: η ανομοιομορφία των υλικών από παρτίδα σε παρτίδα, η πιθανή ανακρίβεια των ζυγίσεων των εργοταξιακών αναμικτήρων μαζί με τις ανομοιομορφίες που προέρχονται από τον ανθρώπινο παράγοντα

(χειριστής), είναι τότε απολύτως λογικές οι απαιτήσεις των κανονισμών που θέλουν τυπικές αποκλίσεις της τάξης των 30-35 Kg.

Αδύνατο σημείο της έρευνας αυτής αποτέλεσε ο σχετικά μικρός αριθμός αναμιγμάτων και δοκιμίων, που οφείλεται στα περιορισμένα υποστηρικτικά μέσα που διαθέτει το ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ. Έτσι η έρευνα αυτή επεκτάθηκε σε όση έκταση επέτρεπαν οι φιλότιμες προσπάθειες των συνεργαζομένων με το εργαστήριο σπουδαστών, καθώς και από την υποστήριξη που προήλθε από τον Ιδιωτικό και Δημόσιο Τομέα.

## ABSTRACT

The statistical evaluation of the results of compressive strength of concrete specimens has always been one of the most interesting points of scientific argument.

The most of the researches are dealing with the variations of the concrete, considering -wrongly perhaps- that this is the main source of the lack of uniformity of the results.

In the laboratory of "Quality Control and Construction Materials Technology" of TEI PIRAEUS, has been made an attempt to measure another factor which causes problems in the repeatability and reproducibility of a laboratorial result.

It has been searched through, the influence of the laboratorial equipment, the procedure of making the tests and the curing of the specimens. Moreover the quality of all materials, the mix design and the specifications have always been kept the same.

It is noteworthy that the sort of all the laboratory equipment (concrete mixer, molds, compression testing machine), the consolidation, the curing and the compression of the specimens have affected the result of the compressive strength of the concrete by a percentage of  $\pm 10-15\%$ . This remark is something important if we consider that we are talking about the same material that has been produced in the same way, from the same raw materials.

If we consider that on site we have to add the lack of uniformity of the aggregates and cement from batch to batch, the probable inaccuracy of the balances and the mistakes that the human factor (operator of the batching plan) can cause, we can assume that the demands of the

specifications, that want standard deviations of 30-35 Kg, are very reasonable.

Weak points of that thesis were the relatively small number of batches and specimens made, due to the limited supporting means of TEI PIRAEUS. This thesis has gone as far as the generous efforts of the collaborating with the laboratory students, as well as the support of the Public and Private Sector, allowed.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη χώρα μας σήμερα το σκυροδέμα αποτελεί το κυριότερο δομικό υλικό. Για την καλύτερη χρήση του στις κατασκευές απαιτείται η γνώση των ιδιοτήτων του, καθώς και της συμπεριφοράς του κάτω από διάφορες συνθήκες φόρτισης και επίδρασης του περιβάλλοντος.

Το εργαστήριο είναι ένα σημαντικό μέσον διερεύνησης των ιδιοτήτων και της συμπεριφοράς του σκυροδέματος. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σ' αυτό και η ακρίβεια των μετρήσεων είναι βασικοί παράγοντες για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος είναι η ιδιότητα η οποία εξετάζεται συνήθως περισσότερο, διότι μέχρι τώρα έχει βρεθεί ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η αντοχή σε θλίψη συσχετίζεται με αρκετή αξιοπιστία με τις βασικές ιδιότητες του σκυροδέματος.

Στην εργασία αυτή γίνεται μια προσπάθεια εντοπισμού της αξιοπιστίας και των συστηματικών σφαλμάτων ενός κοινού εργαστηρίου, όπως αυτό του "Ποιοτικού Ελέγχου και Τεχνολογίας Υλικών" ("ΠΕΤΥΛ"), που υπάρχει στο ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ. Τέτοια εργαστήρια είναι σχεδόν όλα όσα υπάρχουν στις εργοταξιακές μονάδες των εργαστασίων παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος, καθώς και πολλά άλλα εξουσιοδοτημένα εργαστήρια που ελέγχουν τα υλικά.



## 2. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

### 2.1. Τα υλικά παρασκευής του σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα είναι ένα δομικό υλικό, που σχηματίζεται με την ανάμιξη σε κατάλληλες αναλογίες τσιμέντου, αδρανών και νερού. Μπορεί να περιέχει και άλλα υλικά, τα οποία ονομάζονται *πρόσθετα υλικά μάζας*.

Το τσιμέντο ενώνεται με το νερό σχηματίζοντας μία πάστα που στερεοποιείται, συγκολλώντας τα αδρανή υλικά μεταξύ τους σε ένα τεχνητό πορώδες υλικό. Ο τσιμεντοπολτός περνά βαθμιαία από τη μορφή του αιωρήματος σε στερεά μορφή (σκλήρυνση). Αυτό γίνεται αρχικά με την αύξηση του ιξώδους του πηγματος και στη συνέχεια με την ανάπτυξη των προϊόντων ενυδάτωσης. Το ιξώδες εξαρτάται από την ποσότητα των στερεών υλικών που περιέχονται στο πήγμα. Με την αύξηση των στερεών υλικών και την ενυδάτωση των κόκκων του τσιμέντου το ιξώδες αυξάνει, ενώ παράλληλα αρχίζουν και αναπτύσσονται δεσμοί ανάμεσα στα μόρια του υλικού που εκδηλώνονται με την ανάπτυξη αντοχής σε εξωτερικές δυνάμεις.

Το σκυρόδεμα διακρίνεται:

- α. ανάλογα με την εξέλιξη των αντιδράσεων ενυδάτωσης του τσιμεντοπολτού, σε:
  - νωπό (πρώτες 1÷3 ώρες μετά την παρασκευή του)
  - σκληρυμένο (τελικό προϊόν 6÷12 ώρες τουλάχιστον μετά την παρασκευή)
- β. ανάλογα με το φαινόμενο ειδικό βάρος (φ.ε.β.), σε:
  - ελαφρύ (ξερό φ.ε.β. < 2000Kg/m<sup>3</sup>)
  - σύνηθες (ξερό φ.ε.β. μεταξύ 2300 και 2800Kg/m<sup>3</sup>)

- βαρύ (ξερό φ.ε.β.>2800Kg/m<sup>3</sup>)

γ. ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής του, σε: εργοταξιακό (παρασκευή και ανάμιξη στο εργοτάξιο), εργοστασιακό ή έτοιμο σκυρόδεμα (παραδίνεται νωπό, αφού παρασκευασθεί στο εργοστάσιο), προκατασκευασμένο σκυρόδεμα (παραδίνεται σκληρυμένο έτοιμο για χρήση).

δ. ανάλογα με τις ειδικές απαιτήσεις, σε: σκυρόδεμα υψηλής αντιστάσης στην υδατοδιαπερατότητα ή στον παγετό, υψηλής αντιστάσης σε χημικές προσβολές ή σε τριβή ή σε θερμοκρασίες.

## 2.1.1. Το τσιμέντο

### 2.1.1.1. Παραγωγή

Το τσιμέντο είναι βιομηχανικό κοκκώδες υλικό, σε αντίθεση με άλλες φυσικές κονίες, και παρασκευάζεται από τη σύγχρονη όπτηση ασβεστολίθου και αργίλου.

Γίνεται χωριστή εξόρυξη ασβεστολιθικών πετρωμάτων και αργιλικών εδαφών και αφού τεμαχιστούν σε σπαστήρες, αναμιγνύονται. Έπειτα αλέθονται σε τριβεία για να αποκτήσει το τελικό προϊόν (φαρίνα) διάμετρο λίγων χιλιοστών. Το μίγμα εισάγεται σε κυλινδρική κάμινο με θερμοκρασία 600° στο επάνω άκρο της και 1500° στο κάτω άκρο της που είναι και το σημείο εξόδου των προϊόντων. Τα προϊόντα της όπτησης (Klinker), τα οποία έχουν διάμετρο λίγων εκατοστών αποτελούν τα πετρώματα του τσιμέντου. Αυτά αλέθονται και αποκτούν τη μορφή του τσιμέντου, που ονομάζεται τσιμέντο "Portland".

Τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται στο τσιμέντο είναι οι ποζολάνες. Αυτές είναι δραστικά υλικά ηφαιστιακής προέλευσης και η παρουσία τους στο τσιμέντο βελτιώνει ορισμένες ιδιότητες του σκυροδέματος. Τέτοια υλικά είναι η Θηραϊκή Γη, η Μηλαϊκή Γη, η Σκυδραϊκή Γη, όπως επίσης και οι Ιπτάμενες Τέφρες των θερμοηλεκτρικών εργοστασίων (Μεγαλόπολης, Πτολεμαΐδας κλπ) και η σκωρία των υψικαμίνων. Στην Ελλάδα, παλαιότερα, προστίθονταν στο τσιμέντο Θηραϊκή Γη και ονομαζόταν "τσιμέντο Ελληνικού τύπου ΙΙα". Οι ποζολάνες παρουσία υγρασίας ενώνονται χημικά με την υδράσβεστο και σχηματίζουν υδραυλικές ενώσεις που συμμετέχουν στις αντοχές και αυξάνουν την υδατοστεγανότητα του σκυροδέματος και την ανθεκτικότητά του σε χημικές επιρροές. Η συμμετοχή των ποζολανών στην αντοχή γίνεται με βραδύτερο ρυθμό από το τσιμέντο και έτσι η αντοχή στις μικρές ηλικίες εμφανίζεται μειωμένη. Επειδή όμως αυξάνεται με το χρόνο εμφανίζει πολλές φορές μεγαλύτερες τελικές τιμές.

Με βάση τον Ελληνικό Κανονισμό, τα τσιμέντα διακρίνονται για τη σύνθεσή τους και την αντοχή τους. Η σύνθεση καθορίζεται με τον τύπο (I, II, III, IV) και η αντοχή με την κατηγορία (35, 45, 55). Ο κάθε τύπος μπορεί να παρασκευασθεί σε κάθε μία από τις 3 κατηγορίες αντοχών.

### Τύποι τσιμέντου

ΤΥΠΟΣ I : Σύνθεση: Klinker + Γύψος

ΤΥΠΟΣ II : Σύνθεση: Klinker + Γύψος + Πρόσθετα (ποζολάνες έως 20%)

ΤΥΠΟΣ III : Σύνθεση: Klinker + Γύψος + Πρόσθετα (ποζολάνες έως 40%)

ΤΥΠΟΣ IV : Σύνθεση: Klinker (ειδικής χημικής σύστασης ώστε το τελικό προϊόν να έχει αντοχή στα θειϊκά) + Γύψος

## 2.1.2. Αδρανή ύλη

### 2.1.1.2. Όρια κατηγοριών αντοχών

Στην Ελληνική αγορά, για τα σκυροδέματα των συνήθων κατασκευών, χρησιμοποιείται ο τύπος III/35 με την ονομασία *κοινό τσιμέντο*. Η ανάπτυξη των αντοχών του είναι βραδύτερη συγκριτικά με τους τύπους I/45 και I/35 (υψηλής αντοχής), αλλά εξ αιτίας των ποζολανών αυξάνονται μακροχρόνια οι αντοχές του σκυροδέματος και παρουσιάζει σχετική ανθεκτικότητα στα θειϊκά. Έχει σχετικά χαμηλή θερμότητα ενυδάτωσης και χαμηλή υδατοδιαπερατότητα. Τέλος, για ειδικές κατασκευές (ογκώδεις κατασκευές ή για έργα ανθεκτικά στα θειϊκά ή για το θαλάσσιο νερό) χρησιμοποιούνται οι τύποι II/45, III/45 και IV.

### 2.1.1.3. Ποσότητα του τσιμέντου

Η ποσότητα του τσιμέντου μέσα στο σκυρόδεμα πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή για να είναι οικονομικό το έργο, αφού το τσιμέντο είναι το ακριβότερο συστατικό από τις πρώτες ύλες (εκτός των προσθέτων). Η ποσότητά του, όμως, πρέπει να είναι επαρκής, ώστε να περιβάλλει τους κόκκους των αδρανών κατά την ανάμιξη του σκυροδέματος. Άρα, η ποσότητα του τσιμέντου εξαρτάται από τους κόκκους. Περισσότερο τσιμέντο από το απαιτούμενο έχει σαν αποτέλεσμα τα παρακάτω:

- α) Αυξάνει τη συστολή ξήρανσης και την πλαστική συστολή.
- β) Αυξάνει τον ερπυσμό και μειώνει το μέτρο ελαστικότητας.
- γ) Μειώνει την κάθιση αυξάνοντας την απαίτηση σε νερό, η οποία

άμεσα μειώνει την αντοχή του σκυροδέματος.

### 2.1.2. Αδρανή υλικά

Τα αδρανή υλικά αποτελούν το 75% του όγκου του σκυροδέματος. Είναι, λοιπόν, φυσικό οι ιδιότητές τους να επηρεάζουν τις ιδιότητες του σκυροδέματος. Τα αδρανή συνδέονται και συγκολλούνται μεταξύ τους μέσω της τσιμεντοκονίας και (για φυσικά συνήθη αδρανή) συμβάλλουν έμμεσα στην αντοχή του τελικού προϊόντος.

Το συγγενέστερο στο τσιμέντο υλικό είναι τα πετρώματα και γι' αυτό χρησιμοποιούνται, ως αδρανή υλικά, συντρίμματα διαφόρων πετρωμάτων. Τα φυσικά αδρανή, ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής τους, διακρίνονται σε:

- συλλεκτά (συλλέγονται από ποτάμια, παραλίες, ορυχεία και χρησιμοποιούνται χωρίς καμμία επεξεργασία μορφής).
- θραυστά (δημιουργούνται με θραύση πετρωμάτων που εξορύσσονται από λατομεία ή με θραύση χονδρών συλλεκτών αδρανών).

Τα συνήθη αδρανή έχουν ειδικό βάρος  $2,55 \div 2,80$  και φαινόμενο βάρος  $2000 \div 3000 \text{Kp/m}^3$ . Εκτός από αυτά υπάρχουν:

- βαριά, με ειδικό βάρος  $3,5 \div 4,5$  και φαινόμενο ειδικό βάρος  $>3000 \text{Kp/m}^3$ , τα οποία προέρχονται από πετρώματα λεμονίτη, μαγνητίτη και βαρίτη. Το σκυρόδεμα που παρασκευάζεται από αυτά έχει την ικανότητα να απορροφά ακτίνες  $\gamma$  και χρησιμοποιείται σε σταθμούς ατομικής ενέργειας.
- ελαφρά, με φαινόμενο ειδικό βάρος  $<2000 \text{Kp/m}^3$  (συνήθως είναι της τάξης του  $400 \text{Kp/m}^3$ ) που έχουν μεγάλο πορώδες και χρησιμοποιούνται για την παρασκευή ελαφροσκυροδεμάτων ή σε θερμομο-

νώσεις κτιρίων. Τέτοια φυσικά αδρανή είναι η ελαφρόπετρα και οι σκουριές υψικαμίνων, ενώ τεχνητά είναι ο διογκωμένος περλίτης και η διογκωμένη άργιλος.

Στα εργοτάξια φέρονται τα αδρανή σε κλάσματα κόκκων με μικρή σχετικά μεταβολή διαστάσεων. Το πιο συνηθισμένα κλάσματα είναι η άμμος (0÷5 mm), το γαρμπίλι (5÷10 ή 15mm) και τα σκύρα (>15mm). Περισσότερα από 3 κλάσματα χρησιμοποιούνται μόνο για σκυροδέματα με ειδικές απαιτήσεις.

Οι ιδιότητες των αδρανών επηρεάζονται από την ανθεκτικότητα του μητρικού πετρώματος, το οποίο πρέπει να είναι απαλλαγμένο από κομμούς, να μην αποσαθρώνεται από την επίδραση των καιρικών συνθηκών και να διαθέτει αρκετή αντοχή σε επιφανειακή φθορά (κρούσεις ή τριβή) και κυρίως σε θλίψη.

Εκτός από τις απαιτήσεις στις αντοχές, πρέπει τα αδρανή να μην έχουν ξένες προσμίξεις, οι οποίες εμποδίζουν την πρόσφυση τους με την κονία ή επιφέρουν άλλες επιβλαβείς επιπτώσεις. Συνοπτικά για τις προσμίξεις, αναφέρονται οι επόμενες επιθυμητές ποσότητες: Άργιλος <0,25%, Οργανικά <1%, εύθρυπτοι κόκκοι <3%, διερχόμενο Νο.200 (παιπάλη) <15% του βάρους της άμμου (ΕΛΟΤ 408).

#### **2.1.2.1. Καθαρότητα**

Με την έννοια αυτή εννοούμε ότι τα αδρανή δεν πρέπει να έχουν επάνω στην επιφάνειά τους ή μέσα στη μάζα τους ή ξένες ουσίες μεταξύ τους, που μπορεί να εμποδίσουν την πρόσφυση με το κονίαμα ή να έχουν επιβλαβή χημική επίδραση στο τσιμέντο ή στον οπλισμό.

Το κυριότερα από τα επιβλαβή αυτά πρόσμεικτα υλικά είναι:

#### *α) Παιπάλη*

Ως παιπάλη χαρακτηρίζεται το λεπτότερο τμήμα του υλικού που περνάει από το Αμερικανικό πρότυπο κόσκινο Νο 200 (75μm) και προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο ΣΚ-305.

Η παιπάλη μπορεί να είναι πηλός ή άργιλος ή σκόνη από το ίδιο το πέτρωμα. Ιδιαίτερη όμως σημασία έχει η κατανομή της παιπάλης μέσα στα αδρανή. Μπορεί να είναι: α) κολλημένη επάνω στην επιφάνεια των χοντρότερων κόκκων, β) να σχηματίζει μικρούς σβώλους και γ) να είναι διασκορπισμένη ομοιόμορφα ανάμεσα στους κόκκους των αδρανών.

Στην πρώτη περίπτωση εμποδίζει την πρόσφυση μεταξύ αδρανών και κονιάματος. Στη δεύτερη περίπτωση δημιουργεί αδύνατα σημεία μέσα στη μάζα του σκυροδέματος. Στην τρίτη περίπτωση έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αντοχής, αλλά συντελεί, όμως, ως ένα βαθμό, και στην αύξηση της πυκνότητας και της πλαστικότητας του μίγματος.

Κατά τον Ελληνικό Κανονισμό, η παιπάλη δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16% κ.β. της άμμου και το 1% των χονδρόκοκκων κλασμάτων (ρυζάκι, γαρμπίλι, σκύρα).

Οι νέοι Γερμανικοί Κανονισμοί DIN 1045 καθορίζουν τη μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα λεπτόκκοκου υλικού στο οποίο περιλαμβάνεται και το τσιμέντο (βλ. Πίνακα Ι).

Η παιπάλη απομακρύνεται, όταν τα αδρανή πλυθούν με νερό.

### β) Οργανικές προσμίξεις

Στις οργανικές προσμίξεις περιλαμβάνονται υλικά οργανικής (ζωικής ή φυτικής) προέλευσης, γαϊάνθρακες και λιγνίτες.

Τα οργανικά προϊόντα μπορεί να έχουν επίδραση στην πήξη της κονιάς ή να δημιουργήσουν ρηγματώσεις ή αποφλοιώσεις (σκασίματα) στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Η επίδρασή τους στην πήξη είναι μάλλον επιβραδυντική.

Την ύπαρξη οργανικών ουσιών ελέγχουμε με τις Αμερικανικές Προδιαγραφές ASTM C33 και C87.

**Πίνακας Ι. Μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα λεπτόκοκκου υλικού σε 1m<sup>3</sup> σκυροδέματος κατά DIN 1045.**

Μέγιστος κόκκος αδρανών mm	Ποσότητα λεπτόκοκκου υλικού σε 1m <sup>3</sup> σκυροδέματος (παιπάλη + τσιμέντο) Kg
8	525
16	450
32	400
63	325

Κατά το DIN 1045/72 (§6.5.4.) ο έλεγχος γίνεται με ανάμιξη των αδρανών με διάλυμα υδροξειδίου του Νατρίου (NaOH) 3%. Το χρώμα του διαλύματος δείχνει την ύπαρξη ή όχι οργανικών ουσιών. Ανοικτό κίτρινο είναι ένδειξη αρνητική, ενώ σκούρο κίτρινο έως καφέ ή κόκκινο είναι ένδειξη θετική.



### 2.1.2.2. Κοκκομετρική διαβάθμιση

Οι κόκκοι των αδρανών υλικών παρατίθενται ο ένας δίπλα στον άλλο, αλλά λόγω του ακανόνιστου πολυγωνικού σχήματος που έχουν, δεν εφάπτονται απόλυτα μεταξύ τους αφήνοντας έτσι κενά. Τα κενά αυτά γεμίζει το κονίαμα συγκολλώντας τα αδρανή σε ένα συμπαγές υλικό. Πρέπει, λοιπόν, η ποσότητα του κονιάματος να είναι τουλάχιστον ίση με τα μεταξύ των κόκκων κενά. Επειδή όμως, κατά κανόνα, το κονίαμα είναι περισσότερο πορώδες και λιγότερο ανθεκτικό από το πέτρωμα των αδρανών, όσο λιγότερα είναι τα κενά (και αυτό εξαρτάται από τη διαβάθμιση των κόκκων των αδρανών), τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η αντοχή και η πυκνότητα του σκυροδέματος.

Πρακτικά, η κατανομή των διαμέτρων των κόκκων του αδρανούς βρίσκεται με κοσκίνισμα από μια τυποποιημένη σειρά κοσκίνων. Τα ποσοστά βάρους του υλικού που συγκρατούνται σε κάθε κόσκινο ή που διέρχονται από κάθε κόσκινο εκφράζουν την κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού. Όταν τα διερχόμενα (%) ποσοστά τοποθετηθούν ως τεταγμένες σε ένα διάγραμμα αξόνων, με αντίστοιχες τετμημένες το άνοιγμα της βροχίδας του κόσκινου (σε απλή ή λογαριθμική κλίμακα) σχηματίζεται μια καμπύλη που λέγεται *κοκκομετρική καμπύλη υλικού*.

Τα κόσκινα που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα, σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ 408, είναι οι "Σειρές Ελληνικών, Γερμανικών (DIN-4187 και DIN-4188) και Αμερικανικών (ASTM-E11) κόσκινων" (5). Αυτά αποτελούνται από συρμάτινα πλέγματα που έχουν τετραγωνικές οπές με διαστάσεις  $2 \pm 0,0059$  ίντσες (0,149mm) ή από λαμαρίνα με κυκλικές οπές από  $70 \pm 1$ mm. Για τον έλεγχο του ποσοστού της

παιπάλης υπάρχει το κόσκινο No.200 από πλέγμα, με διάσταση βροχίδας 0,074mm.

Η κοκκομετρική διαβάθμιση ενός μίγματος κόκκων προσδιορίζει την ποσοστιαία, κατ' όγκο, αναλογία κάθε κατηγορίας μεγέθους κόκκων του υλικού, επειδή, όπως προαναφέρθηκε, σημασία έχει ο όγκος των κόκκων και κατ' αντιστοιχία τα κενά μεταξύ των κόκκων. Αν το ειδικό βάρος όλων των ομάδων των κόκκων είναι το ίδιο (από το ίδιο πέτρωμα), τότε η αναλογία όγκων συμπίπτει με την κατά βάρος αναλογία. Σ' αυτήν την περίπτωση οι αναλογίες αυτές βρίσκονται με ζύγισμα του υλικού μετά το κοσκίνισμα, χωρίς να απαιτείται τα βάρη να διαιρεθούν με το φαινόμενο ειδικό βάρος του πετρώματος κάθε ομάδας, για να μετατραπούν σε όγκους.

Η εκτίμηση και η αξιολόγηση της κοκκομετρικής καμπύλης και η εκλογή της καταλληλότερης για κάθε περίπτωση, ανάλογα με τις ιδιότητες του σκυροδέματος, είναι ότι οι κόκκοι πρέπει να διατάσσονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε κάθε ομάδα από άποψη διαμέτρου, να εισχωρεί στη θέση των κενών που σχηματίζουν οι κόκκοι της αμέσως μεγαλύτερης ομάδας). Όταν αυτό συμβαίνει, τότε το τελικό μίγμα θα διαθέτει τα λιγότερα κενά και συνεπώς τη μεγαλύτερη πυκνότητα. Ως ιδεατή καμπύλη ο Fuller προτείνει την παραβολή της μορφής:

$$A=100x(d/D)^a$$

όπου A: το διερχόμενο ποσοστό των αδρανών

d: η διάμετρος των οπών του κόσκινου

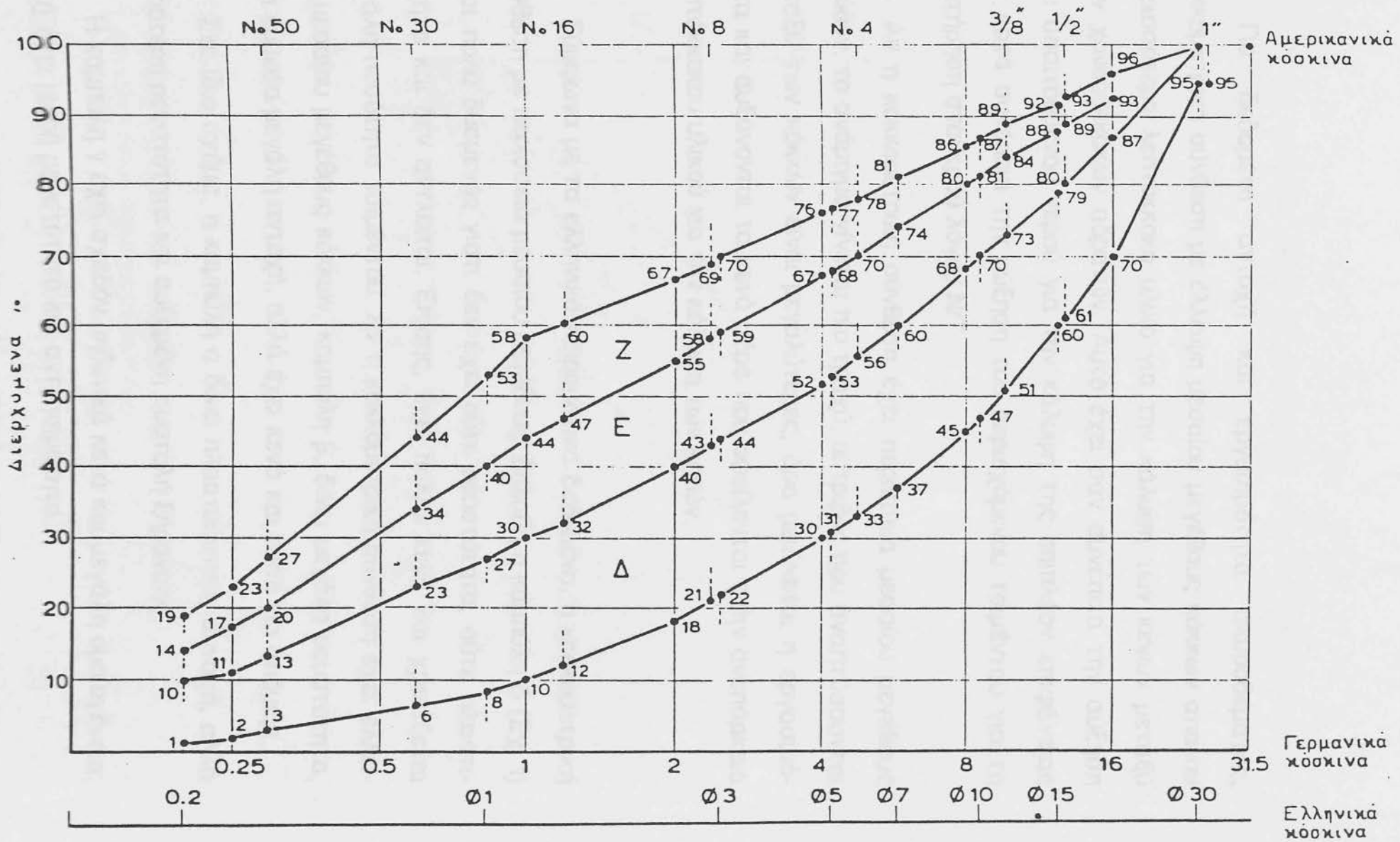
D: η μέγιστη διάμετρος των κόκκων

a: 0,1÷0,8, συνήθως 0,5 (εξαρτάται από τη μορφή των κόκκων)

Από την κοκκομετρική διαβάθμιση του μίγματος των αδρανών του σκυροδέματος, εξαρτώνται κυρίως η οικονομικότητα του σκυροδέματος, η εργασιμότητά του, οι μεταβολές όγκου (πλαστική συστολή, συστολή ξήρανσης, θερμική διαστολή) και το μέτρο ελαστικότητας. Οι κανονισμοί με βάση πειραματικά δεδομένα και με την εμπειρία από τα εντόπια υλικά κάθε χώρας, καθορίζουν περιοχές, μέσα στις οποίες πρέπει να βρίσκονται τα κλάσματα και να επιλέγονται οι καταλληλότερες καμπύλες της κοκκομετρικής διαβάθμισης των υλικών ανάλογα με τις επιδιωκόμενες ιδιότητες του σκυροδέματος.

Στην Ελλάδα η καμπύλη της κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών που επιλέγεται, εξαρτάται από την τελική επιθυμητή αντοχή και από τη διάμετρο του μέγιστου κόκκου των αδρανών που χρησιμοποιούνται. Σύμφωνα με τον "Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος", η καμπύλη της κοκκομετρικής διαβάθμισης του μίγματος των αδρανών, που προορίζεται για οπλισμένο σκυρόδεμα, πρέπει να βρίσκεται στην υποζώνη Δ του Διαγράμματος Ι. Για σκυρόδεμα με χαρακτηριστική αντοχή μικρότερη ή ίση με 40MPa (400Kg/cm<sup>2</sup>), μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως περιοχή του μίγματος και η υποζώνη Ε του Διαγράμματος Ι. Οι ζώνες του Διαγράμματος Ι δείχνουν τα όρια της κοκκομετρικής διαβάθμισης για μέγιστο κόκκο αδρανών Φ30 (ελληνικά κόσκινα) ή 31,5mm (γερμανικά κόσκινα). Αν χρησιμοποιηθεί αδρανές με μέγιστο κόκκο 15mm ή 50mm, πρέπει να επιλεγούν τα όρια της κοκκομετρικής διαβάθμισης από άλλα Διαγράμματα. Η εκλογή του μέγιστου κόκκου (ΕΛΟΤ-408) καθορίζεται από το μέγεθος της διατομής (κανονική, μικρή ή μεγάλη διατομή), από τις αποστάσεις των ράβδων οπλισμού και από την περιεκτικότητα σε τσιμέντο και την κατηγορία του σκυροδέματος.

Δ.1. Ορια κοκκομετρικής διαβάθμισης για μέγιστο κόκκο 1'



Αμερικανικά  
κόσκινα

Γερμανικά  
κόσκινα

Ελληνικά  
κόσκινα

Για δεδομένη αντοχή και εργασιμότητα σκυροδέματος, κοκκομετρική σύνθεση με έλλειψη μεσαίου μεγέθους κόκκων απαιτεί περισσότερο λεπτόκοκο υλικό για την κάλυψη των κενών μεταξύ των χονδροκόκκων αδρανών. Αυτό έχει σαν συνέπεια την αύξηση του απαιτούμενου νερού για την κάλυψη της επιπλέον επιφάνειας και κατά συνέπεια την αύξηση του περιεχόμενου τσιμέντου για τη διατήρηση σταθερού λόγου N/T.

Αν η κοκκομετρική σύνθεση έχει περίσσεια μεσαίου μεγέθους κόκκων, το ανάμιγμα γίνεται πιο τραχύ, οι τριβές που αναπτύσσονται μεταξύ των κόκκων είναι μεγαλύτερες, άρα μειώνεται η εργασιμότητα και αυξάνονται τα κενά αέρα που οφείλονται στην ανεπάρκεια λεπτόκοκου υλικού για την κάλυψη των κενών.

Σύμφωνα με τα ελληνικά πειραματικά δεδομένα, η κοκκομετρική σύνθεση με περίσσεια μεσαίου μεγέθους, δηλαδή η καμπύλη δ (Σχ. 1) είναι πολύ δυσμενής γιατί δεν έχει ούτε ρευστότητα, ούτε πλαστικότητα και δεν αντλείται. Επίσης, έχει πολλά κενά και χρειάζεται μεγάλη ποσότητα τσιμέντου. Αν η κοκκομετρική σύνθεση έχει έλλειψη μεσαίου μεγέθους κόκκων, καμπύλη β, δίνει μεγάλη ρευστότητα, άρα έμμεσα μεγάλη αντοχή, αλλά έχει κενά και τάση για απόμιξη.

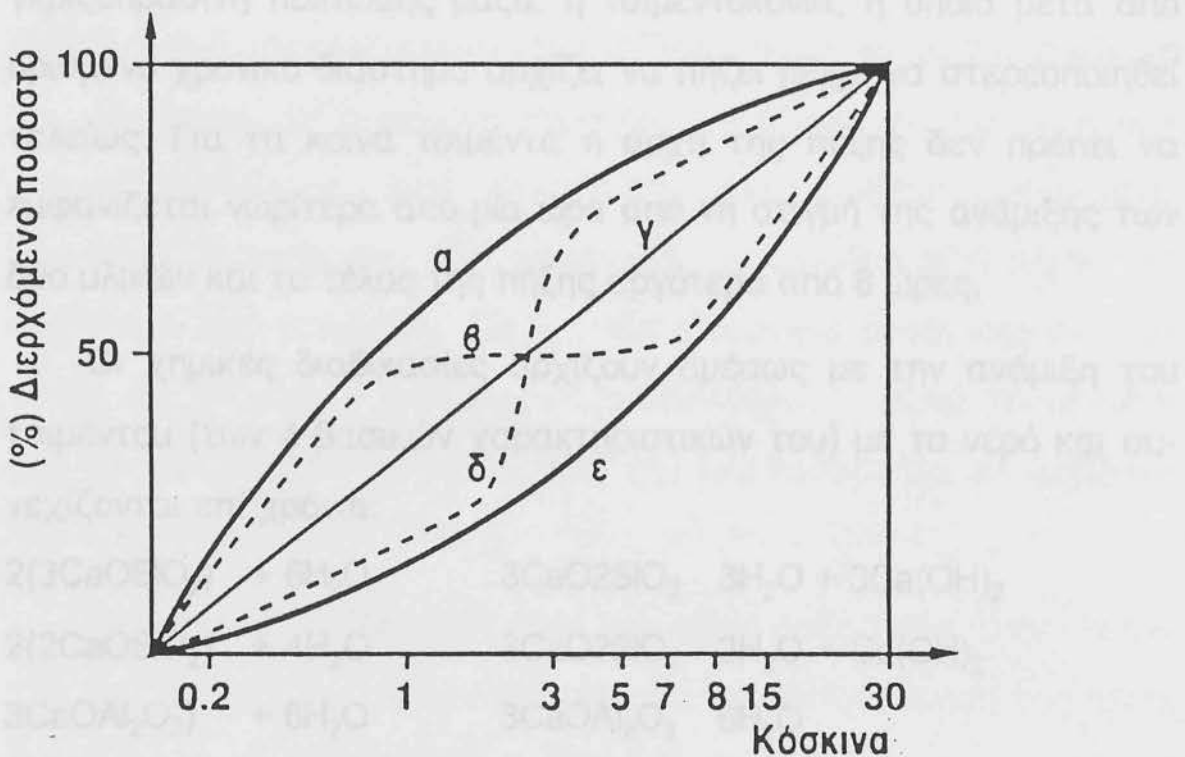
Στο ίδιο σχήμα, η καμπύλη α δίνει πλαστικότητα, συνοχή, αλλά μικρότερη ρευστότητα και αυξημένη συστολή ξήρανσης.

Η καμπύλη γ έχει σχεδόν μηδενικά κενά και μεγάλη ομοιογένεια, αλλά έχει μικρή ρευστότητα και αντλησιμότητα.

Τέλος, η καμπύλη ε είναι μία ψαθυρή καμπύλη που απομιγνύεται εύκολα όταν η κάθιση ξεπεράσει τα 5-6 cm, αλλά είναι η μόνη κα-

τάλληλη για ογκώδεις διατομές (φράγματα κλπ.) και προκατασκευασμένα στοιχεία.

Το τρίτο από τα βασικά στοιχεία του σκυροδέματος είναι το νερό. Η πληθ και η απορρόφηση του σκυροδέματος επηρεάζονται αποκλειστικά στη χημική πράξη μεταξύ τσιμέντου και νερού. Τα συστατικά του τσιμέντου ενώνονται με το νερό ύστερα από μια σειρά πεπλησμένων χημικών αντιδράσεων που διαρκούν επί χρόνια (ενυδάτωση). Κατά την πάρεση του τσιμέντου με το νερό δημιουργείται μία υδατοεπιλυμένη κηλίδα της γάλας, η τσιμεντοκονία, η οποία μετά από



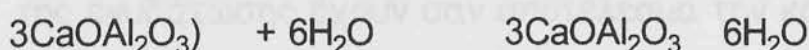
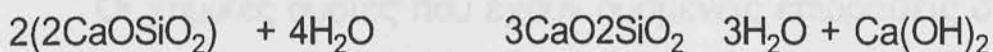
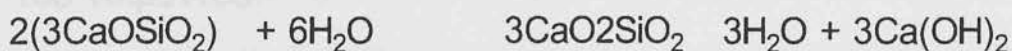
Κατά τη διάρκεια αυτών των αντιδράσεων, παρατηρείται εκούση συγκρότηση που φθάνει ως 12 Ca για κάθε gr τσιμέντου, η οποία είναι αναντίστοιχη με την αντίδοσή της.

Σχ. 1. Γενικές ιδιότητες των διαφόρων τύπων κοκκομετρικών καμπυλών αδρανών

### 2.1.3 Νερό

Το τρίτο από τα βασικά συστατικά του σκυροδέματος είναι το νερό. 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 μια σειρά περίπλοκων χημικών αντιδράσεων που διαρκούν επί χρόνια (ενυδάτωση). Κατά την ανάμιξη του τσιμέντου με το νερό δημιουργείται μία γκριζοπράσινη πολτώδης μάζα, η τσιμεντοκονία, η οποία μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα αρχίζει να πήζει μέχρι να στερεοποιηθεί τελείως. Για τα κοινά τσιμέντα η αρχή της πήξης δεν πρέπει να εμφανίζεται νωρίτερα από μία ώρα από τη στιγμή της ανάμιξης των δύο υλικών και το τέλος της πήξης αργότερα από 8 ώρες.

Οι χημικές διαδικασίες αρχίζουν αμέσως με την ανάμιξη του τσιμέντου (των 4 βασικών χαρακτηριστικών του) με το νερό και συνεχίζονται επί χρόνια:



Κατά τη διάρκεια αυτών των αντιδράσεων, παρατηρείται έκλυση θερμότητας που φθάνει τις 12 Cal για κάθε gr τσιμέντου, η οποία όμως απομακρύνεται, αφού η εξέλιξη της αντίδρασης είναι πολύ αργή. Επίσης, παρατηρείται συστολή του όγκου των αρχικών προϊόντων. Η συστολή αυτή, που δεν οφείλεται σε εξωτερικά αίτια, εμφανίζεται με την ελάττωση του όγκου των προϊόντων της αντίδρασης ίση περίπου με το 1/4 περίπου του αρχικού όγκου του νερού. Η συστολή αυτή είναι γρήγορη στην αρχή και βραδύτερη με την πά-

ροδο του χρόνου και εξαρτάται από την ποιότητα και την ποσότητα του νερού ανάμιξης.

Το νερό όμως, όπως συμβαίνει και με τα αδρανή, δεν πρέπει να περιέχει ουσίες που μπορεί να παρεμποδίσουν τις αντιδράσεις ενυδάτωσης. Ουσίες τέτοιες είναι η ζάχαρη, τα οξέα, τα λάδια και τα λίπη και οι οργανικές ουσίες. Οι διάφοροι Κανονισμοί διαφέρουν πάρα πολύ μεταξύ τους ως προς την εκτίμηση και αξιολόγηση του νερού, καθώς και τις απαιτήσεις που θέτουν. Αυτό συμβαίνει γιατί η δράση των διαφόρων ουσιών μεταβάλλεται ανάλογα με την ποιότητα του τσιμέντου, τη σύγχρονη παρουσία και άλλων στοιχείων, καθώς και ανάλογα με τη μορφή, δηλαδή τη χημική σύνθεση αυτών μέσα στο νερό. Η παρουσία, π.χ., οργανικών ουσιών δεσμεύει μέρος του ασβεστίου του τσιμέντου. Για την ίδια ποσότητα οργανικής ένωσης, όμως, θα υπάρχουν διαφορετικά αποτελέσματα, αφού το μέγεθος της βλαπτικότητας εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε ασβέστιο του τσιμέντου.

Οι χημικές ουσίες που έχουν δυσμενείς επιδράσεις στην εξέλιξη της ενυδάτωσης έχουν σαν αποτέλεσμα την καθυστέρηση της πήξης ή και τη μείωση της τελικής αντοχής.

Για το νερό ανάμιξης που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του σκυροδέματος, επειδή η ποσοστιαία αναλογία του (άρα και κάθε ξένη ουσία σ' αυτό) είναι μικρή, είναι ανεκτή η χρήση του από τα νερά που δρουν εξωτερικά και μόνιμα. Σ' αυτά τα νερά, όπως το θαλάσσιο, η ποσότητα των επιβλαβών ουσιών είναι ανεξάντλητη, αφού τα νερά αυτά ανανεώνονται συνεχώς και η δράση τους είναι μόνιμη. Συγκεκριμένα, το θαλάσσιο νερό και η περιεκτικότητά του σε χλωριούχες ενώσεις επιταχύνουν την οξειδωση του οπλισμού,



ιδιαίτερα όταν ο σιδηροπλισμός δεν έχει επαρκή επικάλυψη. Σε προεντεταμένο σκυρόδεμα απαγορεύεται η χρήση θαλασσινού νερού.

Νερά πόσιμα μπορούν γενικά να θεωρηθούν κατάλληλα. Σε κάθε περίπτωση αμφιβολιών, κριτήριο για την καταλληλότητα ενός νερού, δίνει η παρασκευή δοκιμών με το νερό αυτό και με τα ίδια υλικά (τσιμέντο και αδρανή) και με τις ίδιες συνθήκες συντήρησης, ώστε να ελεγχθεί η πήξη και η αντοχή των δοκιμών αυτών. Βέβαια, ο έλεγχος αυτός, για να δώσει πραγματικά αποτελέσματα, πρέπει να επεκταθεί και σε μεγαλύτερες ηλικίες, γιατί πολλές ουσίες επιταχύνουν την ενυδάτωση και δημιουργούν αύξηση της αντοχής στις μικρές ηλικίες, ενώ η τελική αντοχή (σε μεγαλύτερες ηλικίες) είναι μειωμένη.

#### 2.1.4 Πρόσθετα μάζας

Υλικά που προστίθενται μέσα στο σκυρόδεμα κατά την παρασκευή του και σκοπό έχουν να βελτιώσουν κάποιες ιδιότητές του, αλλά συγχρόνως επιδρούν δυσμενώς σε άλλες. Κατατάσσονται ανάλογα με τη δράση του στις κατηγορίες:

ρευστοποιητικά

επιβραδυντικά

επιταχυντικά

στεγανωτικά

αντιπαγετικά

Σε πειραματικό στάδιο βρίσκονται ακόμη τα διογκωτικά, τα αντιδιαβρωτικά, δραστικά κατά των μηκύτων και των μικροβίων, καθώς επίσης και τα χρώματα.

### 2.1.5. Ρευστοποιητικά

Είναι τα υλικά που προστίθενται για να προκαλέσουν αύξηση της ρευστότητας του μίγματος. Έτσι, μπορεί να ελαττωθεί το νερό ανάμιξης για τον ίδιο βαθμό εργασιμότητας, με αποτέλεσμα να αυξηθεί η αντοχή ή ακόμη να αυξηθεί το εργάσιμο, χωρίς παράλληλη μείωση της τελικής αντοχής.

Η δράση τους στηρίζεται στην ελάττωση της επιφανειακής τάσης του νερού και των δυνάμεων συνοχής που αναπτύσσονται ανάμεσα στους κόκκους του τσιμέντου, με συνέπεια την ελάττωση της εσωτερικής τριβής.

Τα ρευστοποιητικά προκαλούν συνήθως καθυστέρηση της πήξης και αύξηση της χρόνιας συστολής του σκυροδέματος.

Οι Γερμανικοί Κανονισμοί (DIN-1164) και οι Αμερικανικοί Κανονισμοί (ASTM-C494) θέτουν όρια στα ανεπιθύμητα αυτά φαινόμενα, ενώ ταυτόχρονα καθορίζουν και την ελάχιστη ελάττωση νερού που πρέπει να πετυχαίνεται.

Η πήξη, κατά τους Γερμανικούς Κανονισμούς, πρέπει να μην αρχίζει πριν από μία ώρα, να μη λήγει σε χρόνο μεγαλύτερο των δύο ωρών και να ολοκληρώνεται μέσα σε 16 ώρες. Η έναρξη και η λήξη της πήξης, κατά τους Αμερικανικούς ASTM-C494, δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από  $\pm 1$  ώρα.

Η χρόνια συστολή του τσιμεντοκονιάματος μετά από 56 ημέρες επιτρέπεται από τους Γερμανικούς Κανονισμούς να είναι το πολύ 40% μεγαλύτερη (35% μεγαλύτερη κατά ASTM-C494) από την αντίστοιχη συστολή του ίδιου κονιάματος χωρίς ρευστοποιητικά.

Η συνολική ποσότητα νερού πρέπει να είναι μικρότερη (5% μικρότερη κατά ASTM-C494) για την ίδια ρευστότητα.

Το εργάσιμο πρέπει να βελτιώνεται, για την ίδια ποσότητα νερού αναμίξεως.

Τέλος, απαγορεύεται η χρήση ρευστοποιητικού σε προεντεταμένο σκυρόδεμα, όταν προστίθεται στο σκυρόδεμα εξ αιτίας του χλώριου (Cl) περισσότερο από 0,002% του αντίστοιχου βάρους του τσιμέντου.

## 2.2. Σύνθεση του σκυροδέματος

### 2.2.1 Αναλογίες σύνθεσης - Μορφολογία του πήγματος και ενυδάτωσή του

Τα σκύρα (χονδρόκοκκα αδρανή) συνδέονται μεταξύ τους με το τσιμεντοκονίαμα (τσιμέντο + άμμος + νερό) που αποτελεί τη συνδετική τους ύλη. Η ίδια εικόνα, σε μικρότερη κλίμακα, επαναλαμβάνεται και με τους κόκκους της άμμου (λεπτόκοκκο υλικό) και της τσιμεντοκονίας (τσιμέντο + νερό). Η ποσότητα, επομένως, καθενός από τα τρία παραπάνω υλικά, πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τα κενά που σχηματίζουν οι κόκκοι του αμέσως μεγαλύτερου υλικού.

Η ποσότητα νερού καθορίζεται, όπως αναφέρθηκε, από την ποσότητα του τσιμέντου και την υδατοαπορροφητικότητα των αδρανών. Συγκεκριμένα, οι απαιτούμενες ποσότητες νερού, κατά την παρασκευή του σκυροδέματος είναι:

N<sub>x</sub> : ποσότητα νερού που ενώνεται χημικά με το τσιμέντο κατά την ενυδάτωση.

N<sub>k</sub> : ποσότητα νερού που ενώνεται κρυσταλλικά με το τσιμέντο.

Naδ : ποσότητα νερού που απορροφούν οι κόκκοι του αδρανούς υλικού.

Naπ : ποσότητα νερού που εξατμίζεται ή γενικά χάνεται (απώλεια)

Ne : περίσσεια νερού που παραμένει ελεύθερο στους πόρους του σκυροδέματος.

Η συνολική ποσότητα περίσσειας νερού είναι:

$$N = N_x + N_k + Na\delta + Na\pi + Ne$$

Μετά την ανάμιξη του τσιμέντου με το νερό αρχίζουν οι χημικές αντιδράσεις και η πήξη του υλικού. Τα προϊόντα της ενυδάτωσης γεμίζουν τα κενά μεταξύ των κόκκων, αυξάνοντας έτσι τα σημεία επαφής και συνεπώς και τη δυσκαμψία της κονιάς. Σε πιο προχωρημένο στάδιο, το πλήθος των προϊόντων ενυδάτωσης, καθώς και των σημείων επαφής εμποδίζουν τελείως τη μετακίνηση των κόκκων του τσιμέντου, που παραμένουν ανυδάτωτοι, οπότε η κονία έχει πια τη μορφή στερεού σώματος.

Το πήγμα σχηματίζεται από κρυστάλλους πλακοειδούς μορφής ή βελονοειδούς μορφής και κρυστάλλους  $Ca(OH)_2$ . Όλοι αυτοί οι κρύσταλλοι είναι κολλοειδών διαστάσεων, δηλαδή μέχρι  $500\text{\AA}$  και αλληλοεμπλέκονται αφήνοντας ανάμεσα τους πολύ μικρούς πόρους, τους πόρους του πήγματος. Το πλέγμα των κρυστάλλων δεν είναι συνεχές. Υπάρχουν χάσματα που το διακόπτουν, οι τριχοειδείς πόροι. Η τάξη του μεγέθους των τριχοειδών πόρων είναι  $10000\div 15000\text{\AA}$ , των πόρων του πήγματος  $12\div 20\text{\AA}$  και των στερεών του πήγματος  $90\text{\AA}$ . Οι πόροι του πήγματος και οι τριχοειδείς πόροι είναι γεμάτοι νερό. Κατά την περίοδο της ενυδάτωσης, τα στερεά του πήγματος δεν μεγαλώνουν, σχηματίζονται απλώς νέα από άνυδρους κόκκους.

Για να συνεχιστεί η ενυδάτωση του τσιμέντου χρειάζεται νερό απ' έξω, διαφορετικά οι κόκκοι θα αρχίσουν να καταναλώνουν το νερό των τριχοειδών. Όταν τα τριχοειδή αδειάσουν, η ενυδάτωση θα σταματήσει. Στην πραγματικότητα, θα σταματήσει πριν αδειάσουν τα τριχοειδή, διότι αυτά διακόπτονται από το πήγμα και έτσι το νερό δεν μπορεί να κυκλοφορήσει στις θέσεις που απομένει το ανυδάτωτο τσιμέντο. Έχει αποδειχτεί ότι οι κόκκοι του ανυδάτωτου τσιμέντου δεν έχουν δυσμενή επίδραση στην αντοχή. Εκείνοι που επιδρούν δυσμενέστερα στην αντοχή είναι οι τριχοειδείς πόροι, γι' αυτό η ενυδάτωση πρέπει να γίνεται έτσι ώστε να προκύπτει το μικρότερο δυνατό ποσοστό τριχοειδών πόρων. Σημειώνεται ότι το νερό των πόρων του πήγματος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ενυδάτωση, λόγω των διαστάσεών τους ( $15\div 20\text{\AA}$ ), διότι χωρούν περίπου 4 μόρια νερού και οι δυνάμεις που συγκρατούν τα μόρια αυτά είναι πολύ μεγάλες και δεν μπορούν να κινηθούν προς τα τριχοειδή για να ενυδατώσουν και άλλους κόκκους. Για να δημιουργηθεί συνεπώς ισχυρό σκυρόδεμα απαιτείται συνεχής διαβροχή, ώστε τα τριχοειδή να διατηρούνται γεμάτα.

### 2.2.2. Βασικές αρχές για τη μελέτη σύνθεσης

Επειδή στην πράξη οι αναλογίες σύνθεσης επιβάλλονται από τις απαιτήσεις της κατασκευής, τα διαθέσιμα υλικά, τα εργοταξιακά μέσα ή ακόμη και από τις καιρικές συνθήκες, υπάρχει διαφοροποίηση ως προς τις θεωρητικές αναλογίες. Άλλωστε, πρακτικά είναι αδύνατη η "τακτοποίηση" των μικρότερων κόκκων στα κενά των αμέσως μεγαλύτερων κόκκων. Η μελέτη σύνθεσης είναι η εργασία που ξεκινά από τον προσδιορισμό των δεδομένων και των απαιτήσεων των

Κανονισμών και συνεχίζει με την εκτίμηση της σύνθεσης και τη δοκιμή.

Από τη στατική λειτουργία μιας κατασκευής καθορίζεται η απαιτούμενη αντοχή υλικού. Επιπλέον, ο προορισμός και η λειτουργία της κατασκευής μπορεί να θέτουν πρόσθετες απαιτήσεις, όπως καλή εμφάνιση, υδατοστεγανότητα ή ανθεκτικότητα σε χημικές επιρροές ή μείωση της εκλυόμενης θερμότητας.

Τα διαθέσιμα αδρανή υλικά, εφόσον παρέχονται σε ομάδες (άμμος, γαρμπίλι, σκύρα), προσδιορίζουν τη βέλτιστη κοκκομετρική διαβάθμιση που μπορεί να επιτευχθεί με την ανάμιξή τους σε ορισμένες αναλογίες. Επειδή το τσιμέντο και το νερό έχουν γενικά περισσότερο σταθερή ποιότητα, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στο αδρανή. Η μορφή των κόκκων τους επηρεάζει την πρόσφυση και το εργάσιμο του υλικού. Η περιεχόμενη υγρασία, το νερό ανάμιξης και η αντοχή του πετρώματος, επηρεάζουν την τελική αντοχή που πρέπει να επιτευχθεί.

Τα διαθέσιμα εργοταξιακά μέσα παραγωγής, μεταφοράς και διάστρωσης (τρόπος συμπύκνωσης, άντληση ή όχι) καθορίζουν την απαιτούμενη συνεκτικότητα (εργάσιμο) του σκυροδέματος.

Οι καιρικές συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία), τέλος, μπορεί να επιβάλλουν πρόσθετες απαιτήσεις για το νερό ανάμιξης ή για την ανάγκη προσθήκης υλικών μάζας.

Βασικές αρχές που καθοδηγούν την εκλογή της σύνθεσης είναι:

- Μικρότερη δυνατή ποσότητα τσιμέντου για οικονομία και μείωση της συστολής.
- Μεγαλύτερη δυνατή συνεκτικότητα για αύξηση της αντοχής.

- Μεγαλύτερος δυνατός κόκκος αδρανών για αύξηση αντοχής και ελάττωση κονιάματος.

## 2.3. Ιδιότητες του σκυροδέματος

### 2.3.1. Ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος

Για να μπορέσει το νωπό σκυρόδεμα να γεμίσει τους τύπους, να περιβάλλει τις ράβδους του οπλισμού, να συμπυκνωθεί και να σκληρυνθεί, ώστε να αποκτήσει την επιθυμητή μορφή και τις επιθυμητές τελικές ιδιότητες, πρέπει να παρουσιάζει ορισμένα χαρακτηριστικά.

Οι κυριότερες ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος είναι η ομοιογένεια, η συνεκτικότητα-εργασιμότητα και η θερμοκρασία (δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 32C° σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος).

Το νωπό σκυρόδεμα πρέπει να είναι ομοιόμορφο από παρτίδα σε παρτίδα (σταθερότητα σύνθεσης) και μέσα στην ίδια παρτίδα δηλαδή να μην παρουσιάζει απόμιξη.

Τρία είναι τα κυριότερα στοιχεία που ρυθμίζουν την ομοιογένεια του μίγματος:

- α) η περιεκτικότητα του τσιμέντου
- β) η κοκκομετρική διαβάθμιση
- γ) η περιεκτικότητα του νερού.

Όταν η περιεκτικότητα τσιμέντου είναι μεγάλη, τα αδρανή "φέρονται" μέσα σ' αυτήν που αποτελεί τον κύριο ιστό του μίγματος. Αντίθετα, όταν η περιεκτικότητα τσιμέντου είναι μικρή, ο ιστός είναι κυρίως λίθινος από κόκκους που περιβάλλονται ελάχιστα από τσιμεντοκονία, το μίγμα τότε είναι ψαθυρό, αντλείται δύσκολα και τείνει

σε απόμιξη. Αυτό είναι και το μειονέκτημα για τα σκυροδέματα χαμηλής αντοχής. Ενώ η αντοχή ικανοποιείται με λίγο τσιμέντο, ο κίνδυνος της απόμιξης, η απαίτηση της ρευστότητας και, συχνά, η απαίτηση αντλησιμότητας υποχρεώνουν την προσθήκη περισσότερου τσιμέντου. Γι' αυτό και τα σκυροδέματα χαμηλής αντοχής είναι πολλές φορές αντιοικονομικά, ιδιαίτερα όταν παρασκευάζονται με τσιμέντο τύπου Ι.

Η διαβάθμιση του μίγματος επιδρά ιδιαίτερα στην ομοιογένεια. Η θέση της κοκκομετρικής καμπύλης του μίγματος, καθώς και η μορφή της, αλλάζουν τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του μίγματος, έτσι ώστε να γίνεται κατάλληλη για ειδικές χρήσεις.

Τέλος, αυξημένη ποσότητα νερού μπορεί να διαλύσει τελείως το μίγμα. Με την προσθήκη του νερού για την αύξηση της ρευστότητας, αν συγχρόνως δεν αυξηθεί και η ποσότητα του λεπτού υλικού (άμμος, τσιμέντο), ό,τι κερδίζεται σε ρευστότητα χάνεται σε ομοιογένεια και ποιότητα.

### 2.3.2. Εργασιμότητα

Το εργάσιμο ορίζεται από το έργο που απαιτείται για την υπερνίκηση των εσωτερικών τριβών, μέχρι να πετύχουμε πλήρη συμπύκνωση, χωρίς να υπάρξει απόμιξη. Παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην πράξη για το χρόνο της σκυροδέτησης. Είναι σύνθετη ιδιότητα γιατί εξαρτάται από τις ακόλουθες ρεολογικές ιδιότητες:

α) Τη ρευστότητα, δηλαδή την ευκολία με την οποία ρέει ένα υλικό.

Η ρευστότητα εξαρτάται κυρίως από την ποσότητα του νερού ανάμιξης.



- β) Την πλαστικότητα, που δείχνει την ικανότητα του υλικού να παραμορφώνεται χωρίς διακοπή της συνέχειάς του.
- γ) Τη 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.
- δ) Τη συμπυκνωσιμότητα, δηλαδή τη δυνατότητα του υλικού να συμπυκνωθεί, η οποία εξαρτάται από τον αρχικό βαθμό συμπύκνωσης.
- ε) Τη συνεκτικότητα του σκυροδέματος που σχετίζεται άμεσα με τη συνοχή του, την εργασιμότητα και την ικανότητά του κατά την έγχυση και τη συμπύκνωση. Όσο πιο συνεκτικό είναι ένα σκυρόδεμα, τόσο μεγαλύτερη είναι η συνοχή του και τόσο μικρότερη είναι η εργασιμότητά του και η ικανότητά του για έγχυση και συμπύκνωση. Ο όρος της συνεκτικότητας χρησιμοποιείται πολλές φορές για να εκφράσει άλλοτε το εργάσιμο και άλλοτε τη ρευστότητα.

Το εργάσιμο αυξάνεται γενικά όσο αυξάνεται το νερό ανάμιξης, δηλαδή η ρευστότητα του μίγματος. Η ρευστότητα εξαρτάται περισσότερο από την ποσότητα του νερού ανάμιξης και λιγότερο από το λόγο  $\omega = N/T$ .

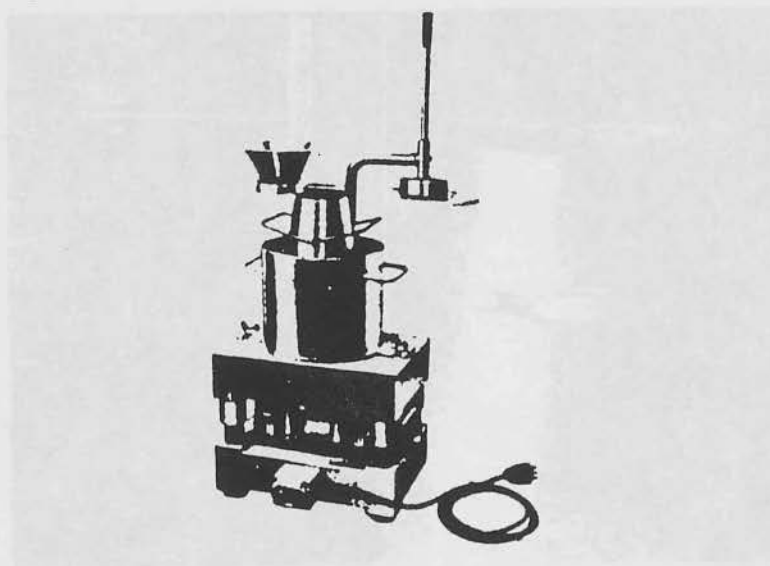
Για την ίδια ρευστότητα, το απαιτούμενο νερό ελαττώνεται γενικά όσο ελαττώνεται η ειδική επιφάνεια των αδρανών. Έτσι, ελαττώνεται όσο αυξάνεται ο μέγιστος κόκκος και η καμπύλη κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών κατεβαίνει (δηλαδή αυξάνεται το χονδρόκοκκο υλικό). Όμως η αύξηση του μέγιστου κόκκου και των χονδρόκοκκων υλικών συντελεί στη μείωση της πλαστικότητας και της συνοχής, με κίνδυνο την απόμιξη. Ανεπάρκεια λεπτόκοκκου υλικού δίνει ένα μίγμα που τείνει να απομιχθεί. Αντίθετα, περίσσεια λεπτόκοκκου υλικού οδηγεί σε σκυρόδεμα λιγότερο οικονομικό (αφού

θα πρέπει να αυξηθεί το νερό για να επιτευχθεί το επιθυμητό εργάσιμο και συνεπώς και η περιεκτικότητα σε τσιμέντο για να διατηρηθεί ο λόγος N/T).

Η χρήση αδρανών με στρογγυλεμένους κόκκους βοηθά στην αύξηση της ρευστότητας και του εργάσιμου για την ίδια ποσότητα νερού.

Το εργάσιμο δεν έχει επίδραση στην τελική αντοχή του σκυροδέματος, εφόσον αυτό έχει συμπυκνωθεί ικανοποιητικά.

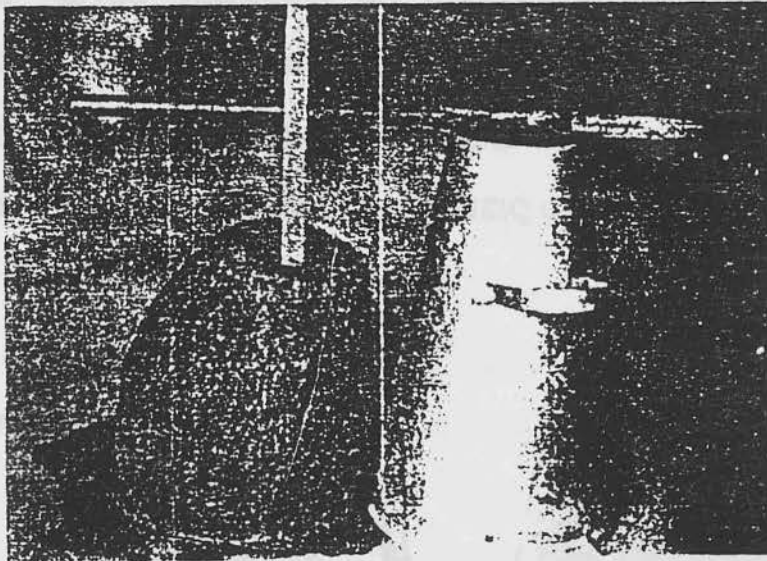
Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του βαθμού εργασιμότητας του σκυροδέματος. Οι κυριότερες είναι η κάθιση (ASTM, RILEM [1975]), το μέτρο εξάπλωσης (ASTM, DIN-1048), το μέτρο συμπίκνωσης (DIN-1048) και η δοκιμή VEBE (Σχ. 2).



Σχ. 2. Συσκευή VEBE για τη μέτρηση εργάσιμου

### α) Κάθιση

Ανοικτός μεταλλικός κώλυρος κώνος με διάμετρο κάτω βάσης 8 ίντσες, άνω βάσης 4 ίντσες και ύψος 12 ίντσες, γεμίζεται με σκυρόδεμα σε 3 στρώσεις και συμπυκνώνεται η κάθε στρώση με 25 ραβδισμούς με Φ16. Στη συνέχεια αφαιρείται ο κώνος κατακόρφα οπότε το σκυρόδεμα παραμορφώνεται και κάθεται. Μετριέται η διαφορά του μέσου ύψους του υλικού μετά την πτώση, από το ύψος του κώνου (ASTM C143). Σύμφωνα με τον κανονισμό BS-1881: Part 2, γεμίζεται με σκυρόδεμα σε 4 στρώσεις και μετριέται η διαφορά από το υψηλότερο σημείο. Η δοκιμή είναι τελείως εμπειρική. Ακόμα και αν δύο σκυροδέματα δώσουν την ίδια κάθιση, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον ίδιο σκοπό (Σχ. 3).



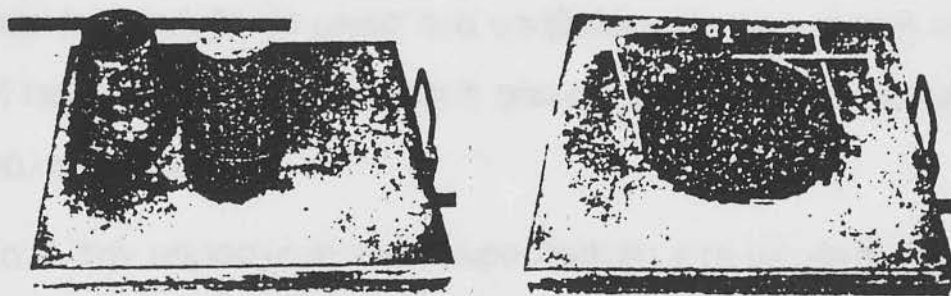
Σχ. 3. Μέτρηση κάθισης με τον κώνο του Abrams

Σκυροδέματα με κάθιση μικρότερη από 25 mm πρέπει να εξετάζονται με άλλη διαδικασία. Προτιμότερο με κάποια που περιλαμβάνει δόνηση (π.χ. VEBE). Η κάθιση για το ίδιο σκυρόδεμα διαφέρει σημαντικά ανάλογα με το πότε έλαβε χώρα μετά την ανάμιξη και με τη θερμοκρασία του μίγματος. Παρ' όλα αυτά, η κάθιση είναι χρήσιμη δοκιμή. Γενικά, σκυροδέματα με παρόμοια κάθιση μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τον ίδιο τρόπο.

Η κάθιση είναι χρήσιμη, κυρίως, για έλεγχο ποιότητας. Αν μία συγκεκριμένη διαδικασία παρασκευής χρησιμοποιείται με τα ίδια υλικά και η κάθιση διαφέρει σημαντικά σημαίνει ότι ή τα αδρανή ή το νερό ή τα πρόσθετα που χρησιμοποιήθηκαν άλλαξαν.

#### *β) Μέτρο εξάπλωσης*

Μεταλλικός τύπος με τη μορφή της παράπλευρης επιφάνειας κόλουρου κώνου γεμίζεται με σκυρόδεμα και συμπυκνώνεται με καθορισμένο τρόπο. Ο τύπος που βρίσκεται σε τράπεζα εξάπλωσης (Σχ. 4) έχει τη δυνατότητα να ανυψώνεται και να πέφτει ελεύθερα με τρόπο που να μεταδίδει τις κρούσεις στη μάζα του σκυροδέματος.



Σχ. 4. Τράπεζα εξαπλώσεως

Μετά την αφαίρεση του κώνου, η βάση αναγκάζεται να πραγματοποιήσει ορισμένο αριθμό κρούσεων, ώστε το σκυρόδεμα να απλωθεί πέρα από την αρχική κάθιση. Το μέτρο εξάπλωσης είναι η μέση διάμετρος της μάζας του σκυροδέματος, όπως έχει διαμορφωθεί.

### 2.3.3. Ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος

#### 2.3.3.1. Η αντοχή του σκυροδέματος και ο μηχανισμός της θραύσης

Αντοχή ονομάζεται, γενικά, η μέγιστη τιμή της δύναμης που μπορεί να αναληφθεί και να μεταβιβαστεί από ένα στοιχειώδες τμήμα του υλικού στο γειτονικό, χωρίς καταστροφή ή επικίνδυνη παραμόρφωσή του.

Η αντοχή εξαρτάται από τη φύση και την ποιότητα του υλικού, αλλά και από τη μορφή της εντατικής κατάστασης. Διαφορετική εμφανίζεται η αντοχή σε κάποια συγκεκριμένη καταπόνηση από ένα στοιχείο σε ένα άλλο, και διαφορετική εμφανίζεται η αντοχή για το ίδιο στοιχείο, αν η καταπόνηση είναι αποτέλεσμα διαφορετικής εντατικής κατάστασης. Είναι ορθότερη η έκφραση "αντοχή υλικού σώματος σε συγκεκριμένη εξωτερική καταπόνηση". Έχουν εξεταστεί οι θλιπτικές αντοχές σε υλικά που υποβάλλονται σε στατική καταπόνηση ή πολυαξονική καταπόνηση ή επαναλαμβανόμενη ή καταπόνηση με μεγάλη διάρκεια.

Κατά την παρασκευή του σκυροδέματος στη μέτρηση της αντοχής επιδρούν πολλοί παράγοντες:

- οι αναλογίες σύνθεσης, δηλαδή οι ποσότητες του τσιμέντου, του νερού και των αδρανών σε κάθε κυβικό μέτρο.

- η ποιότητα των υλικών, στην οποία περιλαμβάνονται όχι μόνο η ποιότητα των 3 συστατικών του σκυροδέματος, αλλά και ο βαθμός άλεσης του τσιμέντου, το σχήμα και η μορφή των αδρανών, η κοκκομετρική διαβάθμιση και η ποσότητα του πετρώματος των αδρανών,
- τα παρασιτικά υλικά, δηλαδή επιβλαβείς ουσίες που αθέλητα εισχωρούν μαζί με τους κόκκους των αδρανών ή με το νερό,
- η συμπύκνωση του νωπού σκυροδέματος,
- η ηλικία του σκυροδέματος,
- ο τρόπος συντηρησης, δηλαδή οι θερμοκρασιακές και υγρομετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο γίνεται η πήξη και η σκλήρυνση του σκυροδέματος,
- η μορφή του δοκιμίου, που περιλαμβάνει το σχήμα, το μέγεθος, την εξωτερική υφή, την επιπεδότητα ή καμπυλότητα των παρειών και την ακρίβεια των γωνιών,
- τέλος, η μορφή της καταπόνησης, δηλαδή ο τρόπος και η ταχύτητα φόρτισης.

Αυτοί οι παράγοντες δημιουργούν ένα μεγάλο πλήθος μικροδιαφορών μέσα στη μάζα του σκυροδέματος που προκαλούν διασπορά, δηλαδή διακύμανση των τιμών της αντοχής.

Έχει διαπιστωθεί ότι ασυνέχειες του υλικού (μικρορωγμές) ανάμεσα στο τσιμεντοκονίαμα και τα αδρανή υπάρχουν μέσα στη μάζα του σκυροδέματος ακόμη και πριν από κάθε καταπόνηση. Οι μικρορωγμές αυτές δημιουργούνται κυρίως από τη συστολή της κονίας κατά την πήξη, από τις συστολές που οφείλονται στην εξάτμιση του νερού ή και από κακή πρόσφυση μεταξύ κονιάματος και αδρανών. Οι ρωγμές παραμένουν σταθερές εφόσον το φορτίο είναι το πολύ ίσο προς το 1/3 του φορτίου θραύσης. Μετα από αυτή την τιμή οι ρωγμές αρχίζουν να επεκτείνονται και πολλαπλασιάζονται γρήγορα, μέχρι το

φορτίο να είναι τα  $\frac{2}{3}$  του φορτίου θραύσης. Κατά το στάδιο αυτό, οι ρωγμές αποτελούν συνεχές πλέγμα και μεταξύ κονιάματος και αδρανών και μέσα στο κονίαμα. Με περαιτέρω αύξηση του φορτίου το πλέγμα των ρωγμών επεκτείνεται ως την κατάρρευση του υλικού στο όριο διαρροής του. Οι μικρορωγμές έχουν διάφορες κατευθύνσεις, όμως με την επιβολή εξωτερικού (θλιπτικού) φορτίου οι τάσεις μέσα στη μάζα δεν κατανέμονται ομοιόμορφα, αλλά δημιουργούνται σημεία τοπικής συγκέντρωσης τάσεων, καθώς και περιοχές εκφυλισμού. Από τα σημεία αυτά αρχίζει η καταστροφή του υλικού.

### 2.3.3.2. Η ανάπτυξη της αντοχής με το χρόνο

Επειδή η αντοχή είναι αποτέλεσμα της ενυδάτωσης του τσιμέντου και της δημιουργίας των ένυδρων κρυστάλλων, γι' αυτό η εξέλιξή της ακολουθεί τον ίδιο εκθετικό νόμο με τη χημική αντίδραση.

Η ανάπτυξη της αντοχής είναι διαφορετική για κάθε ένα από τα βασικά συστατικά του τσιμέντου. Τα πυριτικά συστατικά δίνουν γρήγορες και μεγάλες αντοχές έναντι των αργλικών. Έτσι, η χρονική εξέλιξη της αντοχής, ιδιαίτερα στις μικρές ηλικίες, εξαρτάται από τη σύνθεση του τσιμέντου. Άλλοι παράγοντες είναι ο βαθμός άλεσης του τσιμέντου, καθώς και οι θερμοκρασιακές και ογκομετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος.

Γι' αυτούς τους λόγους, η ακριβής ποσοτική εκτίμηση της εξέλιξης της αντοχής μόνο με δοκιμές με τα ίδια υλικά και τις ίδιες συνθήκες συντήρησης μπορεί να επιτευχθεί.

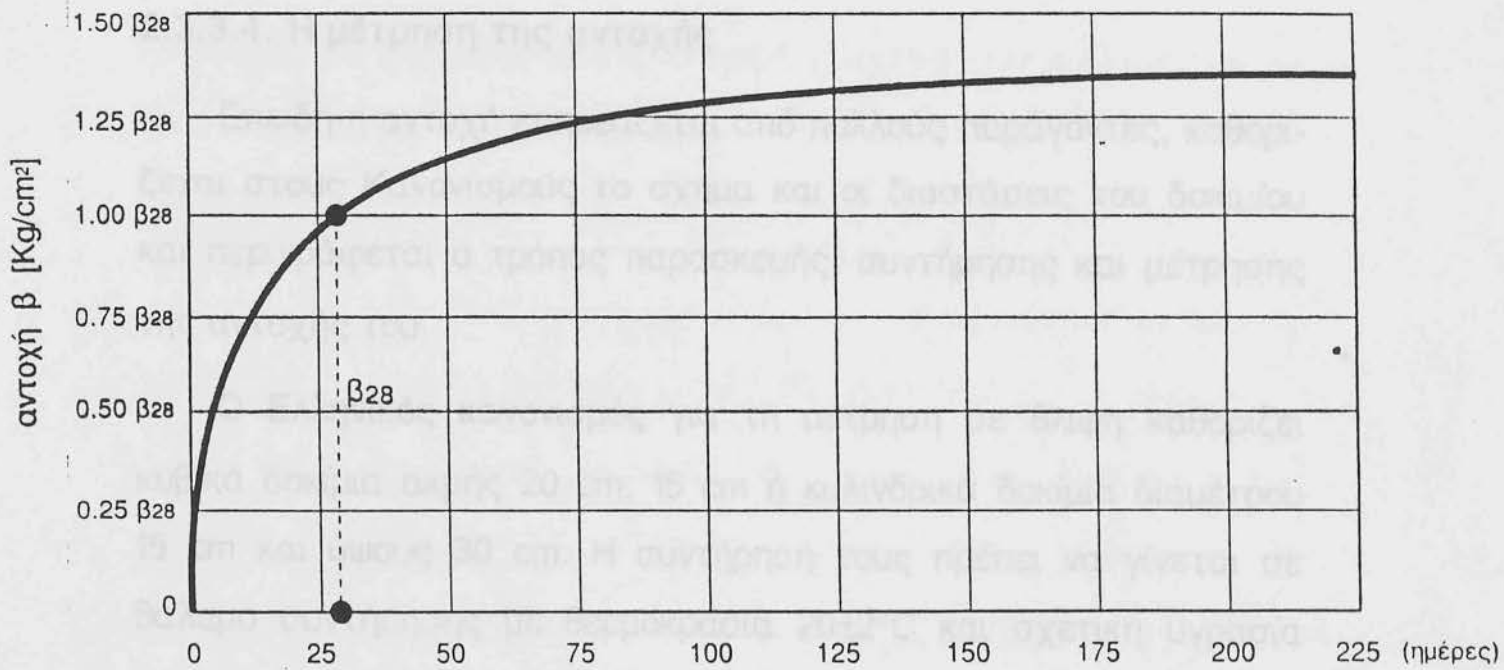
Η ανάπτυξη της αντοχής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το γινόμενο της ηλικίας  $a$  (σε ημέρες) επί τη θερμοκρασία  $(T+10)^\circ$ , όπου  $T$  η θερμοκρασία περιβάλλοντος σε  $^\circ\text{C}$ , δίνει την ωρίμανση του σκυροδέματος:  $R = a(T+10)$ . Ως χαμηλότερη θερμοκρασία εκλέγεται η  $-10^\circ\text{C}$ , γιατί σ' αυτή θεωρείται ότι αναστέλλονται τελείως οι χημικές διαδικασίες μεταξύ τσιμέντου και νερού.

### 2.3.3.3. Η εξάρτηση της αντοχής από την ποσότητα του νερού και τις αναλογίες σύνθεσης

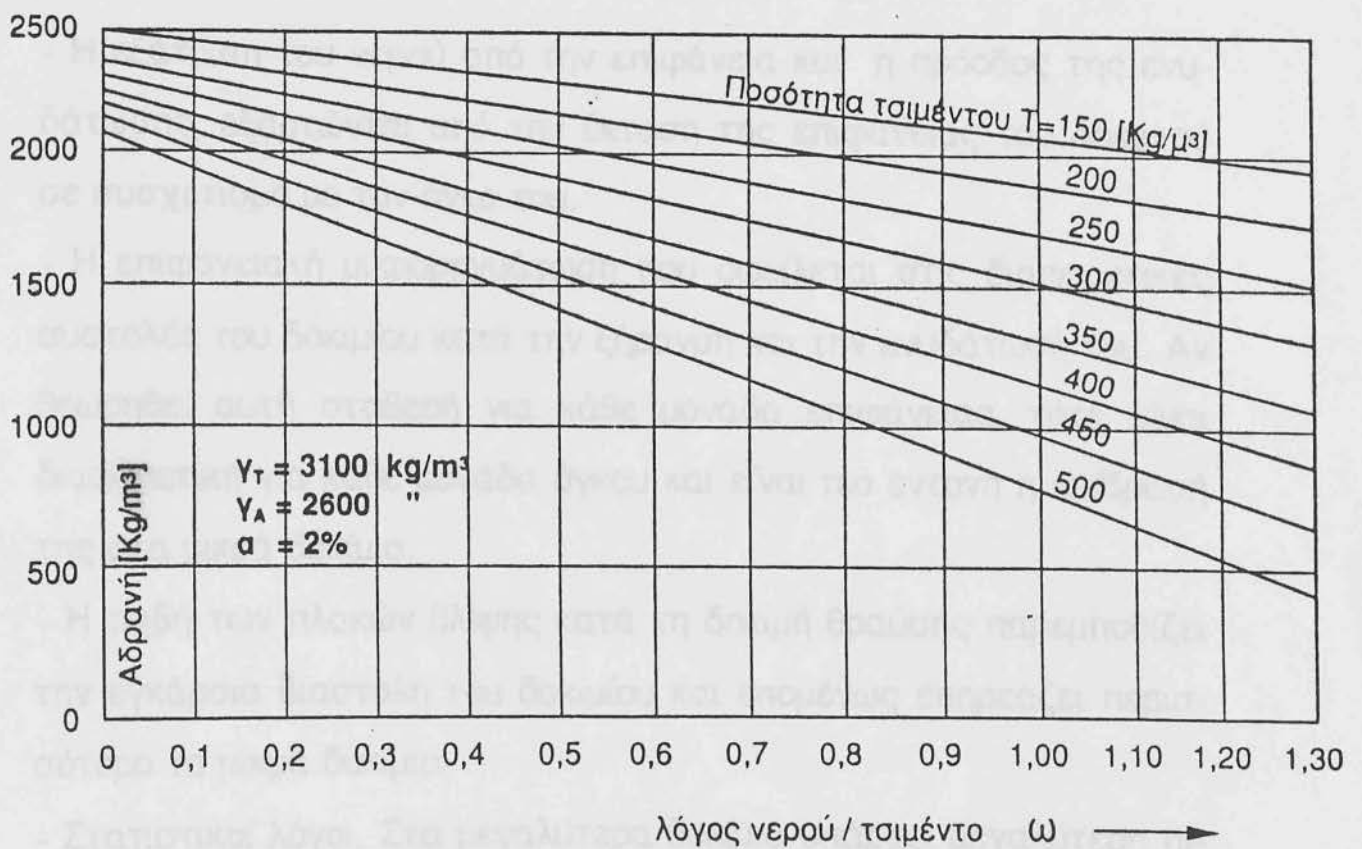
Εκτός από το νερό που δεσμεύεται χημικά  $N_x$  και κρυσταλλικά  $N_k$  από το τσιμέντο, περισσευούμενο νερό οδηγεί στη δημιουργία του πορώδους και επομένως στην ελάττωση της πυκνότητας και της αντοχής. Η αντοχή εξαρτάται άμεσα από το λόγο  $\omega = N/T$  (κατά Abrams) (Σχ. 5).

Εν τούτοις, η μορφή και η θέση της καμπύλης δεν είναι ανεξάρτητη από τις αναλογίες και των άλλων υλικών, καθώς και από το βαθμό συμπύκνωσης. Από το Σχ. 6 φαίνεται ότι, για κάθε μία κοκκομετρική καμπύλη υπάρχει μία διαφορετική βέλτιστη τιμή του λόγου  $\omega$  που δίνει τη μέγιστη αντοχή. Όταν η τιμή του λόγου  $\omega$  ελαττωθεί πέρα από κάποια τιμή, η αντοχή αρχίζει να μειώνεται. Στο τμήμα αυτό η ποσότητα του νερού είναι ανεπαρκής για την πλήρη συμπύκνωση του σκυροδέματος με τα χρησιμοποιούμενα συμπυκνωτικά μέσα, με αποτέλεσμα την αντίστοιχη μείωση της αντοχής.





Σχ. 5. Ανάπτυξη της αντοχής με το χρόνο



Σχ. 6. Σχέση ανάμεσα στις ποσότητες νερού και αδρανών

#### 2.3.3.4. Η μέτρηση της αντοχής

Επειδή η αντοχή επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, καθορίζεται στους Κανονισμούς το σχήμα και οι διαστάσεις του δοκιμίου και περιγράφεται ο τρόπος παρασκευής, συντήρησης και μέτρησης της αντοχής του.

Ο Ελληνικός κανονισμός για τη μέτρηση σε θλίψη καθορίζει κυβικά δοκίμια ακμής 20 cm, 15 cm ή κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 15 cm και ύψους 30 cm. Η συντήρησή τους πρέπει να γίνεται σε θάλαμο συντήρησης με θερμοκρασία  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  και σχετική υγρασία μεγαλύτερη από 90% (Σ.Κ. 303). Η μέτρηση της αντοχής τους γίνεται την 28η ημέρα σύμφωνα με τις διαδικασίες που περιγράφονται στην προδιαγραφή Σ.Κ. 304.

Φαινόμενα που εξαρτώνται από τη μορφή του δοκιμίου και που επιδρούν στην αντοχή είναι:

- Η εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια και η πρόοδος της ενυδάτωσης, εξαρτώνται από την έκταση της επιφάνειας του δοκιμίου σε συσχέτισμό με τον όγκο του.
- Η επιφανειακή μικρορηγμάτωση που οφείλεται στις διαφορετικές συστολές του δοκιμίου κατά την ξήρανση και την ενυδάτωσή του. Αν θεωρηθεί αυτή σταθερή για κάθε μονάδα επιφάνειας, τότε είναι διαφορετική για κάθε μονάδα όγκου και είναι πιο εντονή η επίδρασή της στα μικρά δοκίμια.
- Η τριβή των πλακών θλίψης κατά τη δοκιμή θραύσης παρεμποδίζει την εγκάρσια διαστολή του δοκιμίου και επομένως επηρεάζει περισσότερο τα μικρά δοκίμια.
- Στατιστικοί λόγοι. Στα μεγαλύτερα δοκίμια υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να βρεθούν περιοχές μειωμένης αντοχής από ότι στα μικρότερα. Στις περιοχές αυτές θα γίνει η έναρξη της θραύσης.

- Η δομή του δοκιμίου, τέλος, δηλαδή η σχέση των κόκκων των αδρανών προς τις διαστάσεις του.

### 3.1. Εύρεση αναλογιών των αδρανών για τη μελέτη σύνθεσης

Η σύνταξη που προτείνεται να χρησιμοποιηθεί είναι μια εφαρμογή στην παραγωγή σύνταξη για σκυρόδεμα σκυροδέμα

Η αναλογία των αδρανών βάσει της οποίας έγινε η σύνθεση του σκυροδέματος, αποφασίστηκε με τα εξής κριτήρια:

Το μέγιστο ποσοστό πέρισμα της άμμου σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ. είναι 15%. Σύμφωνα με παρατηρήσεις από την παραγωγή το συνολικό ποσοστό πέρισμα για τις άμμες των ελληνικών λατινικών κυμαίνεται στο 1-10%. Αυτό από κοινοπραξίας που έγιναν στα εργαστήρια δίνει διαρκώς ποσοστό άμμου στα κόκκινο Νο 100, περίπου, στο 20%. Επίσης, από τις απαιτήσεις της αγοράς για αικία κρητών και πρόσας για το αντίλογο σκυρόδεμα που δουλεύεται στην παραγωγή, το διαρκώς ποσοστό της άμμου είναι περίπου στο κόκκινο Νο 50. Σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ. το όρα της άμμου για το Νο 100 κόκκινο δεν προδιαρίζεται. Αν θεωρήσουμε ότι από τις απαιτήσεις της παραγωγής σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν το ποσοστό της άμμου είναι 50% του συνόλου των αδρανών καταλήγουμε στο ότι το μέγιστο πέρισμα από τα κόκκινο Νο 100 θα ήταν 10% ( $50:100 \times 20 = 10$ ).

Από τα δεδομένα της ελληνικής προδιαγραπτικής σημαίνει η σύνθεση σκυροδέματος έχει ποσοτήρα άμμου μικρότερη από το 50% του συνόλου των αδρανών. Επίσης ο Κ.Τ.Σ. δίνει όρα για το κόκκινο 0,2 ελληνικό αντίστοιχο με το κόκκινο Νο 70 του ASTM 1-10 και ποσοστό πρόσας άμμου μικρότερο από 25%. Αν λάβουμε υπόψη ότι σύμφωνα με τα στοιχεία 25% άμμου στο κόκκινο Νο 70 και

### 3. ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ

#### 3.1. Εύρεση αναλογιών των αδρανών για τη μελέτη σύνθεσης

Η συνταγή που αποφασίστηκε να εφαρμοστεί είναι μια εφαρμόσιμη στην παραγωγή συνταγή για αντλήσιμο σκυρόδεμα.

Η αναλογία των αδρανών βάσει της οποίας έγινε η σύνθεση του σκυροδέματος, αποφασίστηκε με τα εξής κριτήρια:

Το μέγιστο ποσοστό παιπάλης της άμμου σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ. είναι 16%. Σύμφωνα με παρατηρήσεις από την παραγωγή, το συνηθέστερο ποσοστό παιπάλης για τις άμμους των ελληνικών λατομείων κυμαίνεται στο 12-16%. Αυτό από κοκκομετρήσεις που έγιναν στο εργαστήριο δίνει διερχόμενο ποσοστό άμμου στο κόσκινο No 100, περίπου στο 20%. Επίσης, από τις απαιτήσεις της αγοράς για ευκολία εργατών και πρέσσας για το αντλήσιμο σκυρόδεμα που δουλεύεται στην παραγωγή, το διερχόμενο ποσοστό της άμμου είναι αυξημένο στο κόσκινο No 50. Σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ. τα όρια της άμμου για το No 100 κόσκινο δεν προσδιορίζονται. Αν θεωρήσουμε ότι από τις απαιτήσεις της παραγωγής σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν το ποσοστό της άμμου είναι 50% του συνόλου των αδρανών καταλήγουμε στο ότι το μέγιστο πέρασμα από το κόσκινο No 100 θα ήταν 10% ( $50:100 \times 20 = 10$ ).

Από τα δεδομένα της ελληνικής πραγματικότητας σπάνια η σύνθεση σκυροδέματος έχει ποσότητα άμμου μικρότερη από το 50% του συνόλου των αδρανών. Επίσης ο Κ.Τ.Σ. δίνει όρια για το κόσκινο 0,2 ελληνικό αντίστοιχο με το κόσκινο No 70 του ASTM, 1-10 και ποσοστό περάσματος άμμου μικρότερο από 25%. Αν λάβουμε ακόμα υπόψη ότι ενώνοντας τα σημεία 25% άμμος στο κόσκινο No 70 και

16% παιπάλη στο κόσκινο No 200, που είναι απαιτήσεις του Κ.Τ.Σ., προκύπτει ότι το πέρασμα στο κόσκινο No 100 θα ήταν περίπου 21%.

Από όλα τα παραπάνω καταλήγουμε ότι, για τα ελληνικά δεδομένα, το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο στο κόσκινο No 100 θα μπορούσε να είναι 12,5%. Αυτό βέβαια έρχεται σε αντίθεση με το A.C.I. 304 που απαιτεί πέρασμα στο κόσκινο No 100 που να κυμαίνεται από 5-10%.

Αν σκεφτούμε ότι το A.C.I. 304, όπως και όλες οι αμερικάνικες προδιαγραφές, αναφέρονται σε σκυροδέματα που κατασκευάζονται με άμμους με μέγιστη παιπάλη 5% (αντί 16% Κ.Τ.Σ.) μπορούμε να δεχτούμε αυτό ως μοναδική παρέκκλιση, για να είμαστε κοντά στην ελληνική πραγματικότητα.

Έτσι αποφασίζεται το ποσοστό της άμμου να είναι μεγαλύτερο από 50% του συνόλου των αδρανών και το ανώτατο όριο στο κόσκινο No 100 θα είναι 12,5%.

Η επιθυμία της παραγωγής για το αντλήσιμο σκυρόδεμα είναι να πετύχουμε ασυνεχή κοκκομετρική καμπύλη, έτσι ώστε να έχουμε τα περισσότερα κενά και να αντλείται το σκυρόδεμα ευκολότερα από την πρέσσα. Αυτό επιτυγχάνεται με ελάττωση του ποσοστού του γαρμπιλιού και αύξηση των ποσοστών της άμμου και του χαλικιού.

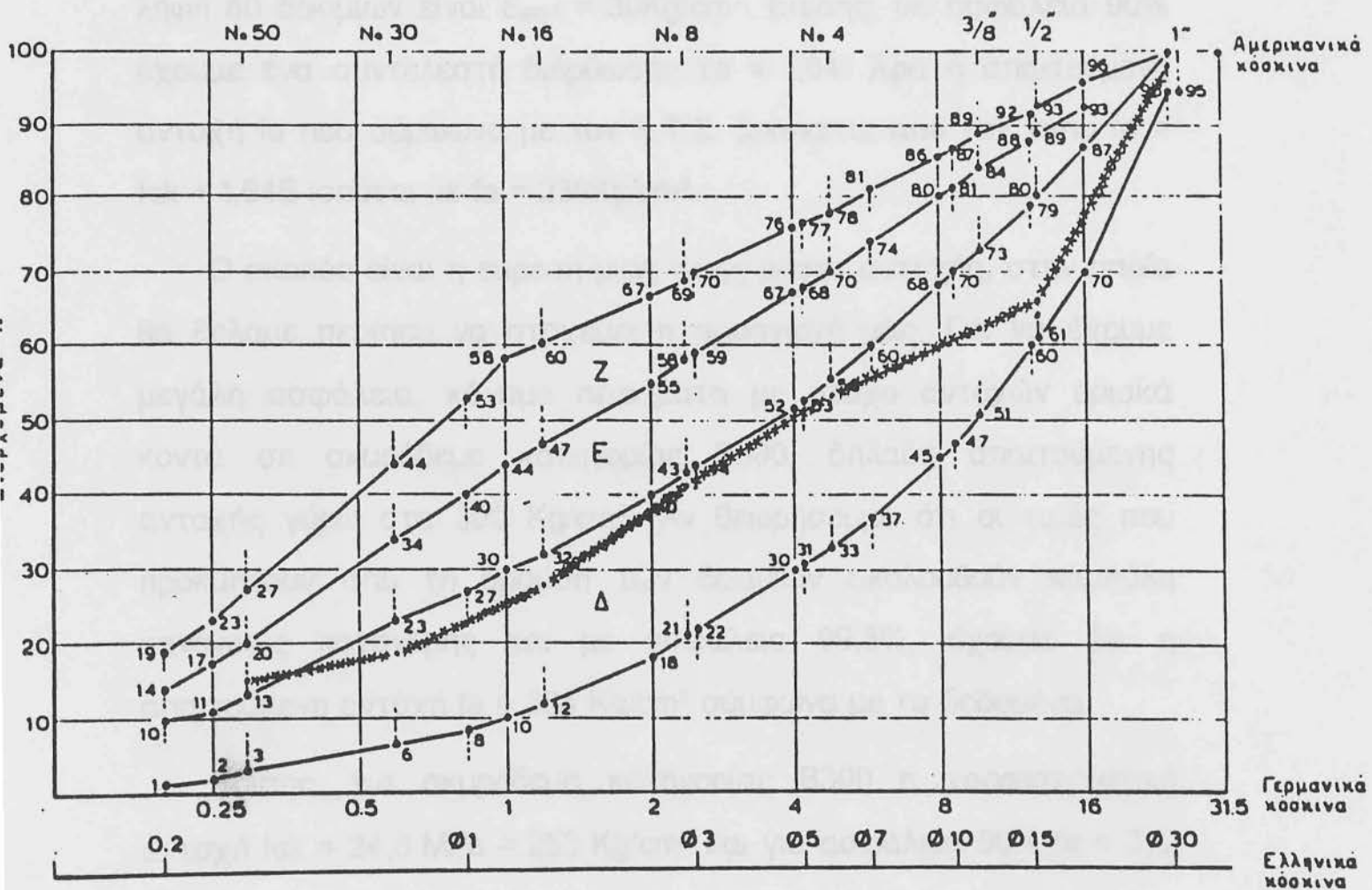
Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, το κατώτερο εν ασφαλεία τέτοιο σημείο του δικού μας διαγράμματος με τα διαθέσιμα υλικά είναι Χ:Γ:Α = 35:10:55, ώστε να μπορούμε να έχουμε περιθώριο αντοχής  $\pm 2\%$  χωρίς να βγαίνουμε από την αποδεκτή περιοχή.

Η επιλογή του τελικού σημείου έγινε έτσι ώστε να είναι το κατώτερο οριακό σημείο χωρίς ασφάλεια, έτσι ώστε να φανεί τυχόν

λάθος στη σύνθεση που θα μπορούσε να εξαφανιστεί με τυχόν αύξηση υπέρ της ασφάλειας.

Μετά απ' όλα τα παραπάνω αποφασίστηκε η τελική επιλογή να είναι  $X \div \Gamma \div A = 36,6 \div 7,7 \div 55,7$ .

Στο Διάγραμμα II (Δ.ΙΙ) βλέπουμε την κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος που αποφασίστηκε και τα όρια των περιοχών Δ, Ε, Ζ, όπως απαιτούνται σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ.



Δ.ΙΙ. Κοκκομετρική καμπύλη μίγματος

### 3.2. Επιλογή κατηγορίας σκυροδέματος - Στόχος μέσης αντοχής

Όπως παρατηρήθηκε, η συνηθέστερη κατηγορία σκυροδέματος, που ζητείται στην ελληνική αγορά, είναι το B225. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε η μελέτη της εργασίας αυτής να γίνει για ενός τέτοιου τύπου σκυρόδεμα. Σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ. η χαρακτηριστική αντοχή  $f_{ck}$  για την κατηγορία αυτή είναι ίση με  $18,3 \text{ MPa} = 187 \text{ Kg/cm}^2$ . Ας θεωρήσουμε ότι έχουμε τυπική απόκλιση ενός καλού εργοστασίου παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος που έχει βρεθεί με λήψη 60 δοκιμών είναι  $S_{60-1} = 30 \text{ Kg/cm}^2$ . Επίσης, με ασφάλεια 90% έχουμε ένα συντελεστή διόρθωσης  $t_a = 1,64$ . Άρα η απαιτούμενη αντοχή  $f_a$  που σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ. βρίσκεται από τον τύπο  $f_a = f_{ck} + 1,64S$  ισούται με  $f_a = 236 \text{ Kg/cm}^2$ .

Ο σκοπός είναι η εύρεση μιας τιμής μέσης αντοχής, στην οποία θα θέλαμε περίπου να στοχεύει η παραγωγή μας. Για να έχουμε μεγάλη ασφάλεια, κάναμε πειράματα με στόχο αντοχών οριακά κοντά σε σκυρόδεμα κατηγορίας B300, δηλαδή απαιτούμενης αντοχής γύρω στα  $300 \text{ Kg/cm}^2$ . Αν θεωρήσουμε ότι οι τιμές που προκύπτουν από τη θραύση των δοκιμών ακολουθούν καμπύλη κανονικής κατανομής και με ασφάλεια 99,5%, έχουμε ότι η απαιτούμενη αντοχή  $f_a = 304 \text{ Kg/cm}^2$  σύμφωνα με τα δεδομένα.

Επίσης, για σκυρόδεμα κατηγορίας B300 η χαρακτηριστική αντοχή  $f_{ck} = 24,8 \text{ MPa} = 253 \text{ Kg/cm}^2$  και για ασφάλεια 90%  $f_a = 302 \text{ Kg/cm}^2$ .

Φαίνεται λοιπόν, ότι με ποσοστό ασφαλείας 99,5% για την παραγωγή του σκυροδέματος B225, η καλύτερη τιμή που αποφασίστηκε να τεθεί ως στόχος αντοχών είναι  $300 \text{ Kg/cm}^2$ .

### 3.3. Προσδιορισμός λόγου νερού-τσιμέντου (N/T)

Από τη δοκιμή παρασκευής τσιμεντοκονίας που γίνεται με αναλογία υλικών Άμμος÷Τσιμέντο÷Νερό = 3÷2÷1 προκύπτει ότι ο λόγος N/T=0,5. Οι αντοχές σε θλίψη που βρέθηκαν από τη θραύση των δοκιμίων τσιμεντοκονίας για μίγμα τσιμέντων των τύπων I και II σε αναλογία I/II = 33/67 ήταν 390 Kg/cm<sup>2</sup>. Το σημείο αυτό ανήκει στην καμπύλη που προκύπτει από τη γραφική παράσταση των στοιχείων του Πίνακα A.1.5.3.4(α) του A.C.I. 211-1.89. Σύμφωνα με την καμπύλη του A.C.I. 211, για να πετύχουμε τον επιθυμητό μέσο όρο αντοχών, που ήταν γύρω στα 300 Kg/cm<sup>2</sup>, έπρεπε να δουλέψουμε με λόγο N/T=0,63. Βάσει του λόγου αυτού έγινε πείραμα και οι αντοχές του σκυροδέματος βρέθηκαν πολύ κάτω του στόχου (300 Kg/cm<sup>2</sup>).

Σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ. ο απαιτούμενος λόγος N/T για ανεπίχριστο σκυρόδεμα είναι ίσος με 0,67 και για επιχρισμένο σκυρόδεμα είναι 0,70.

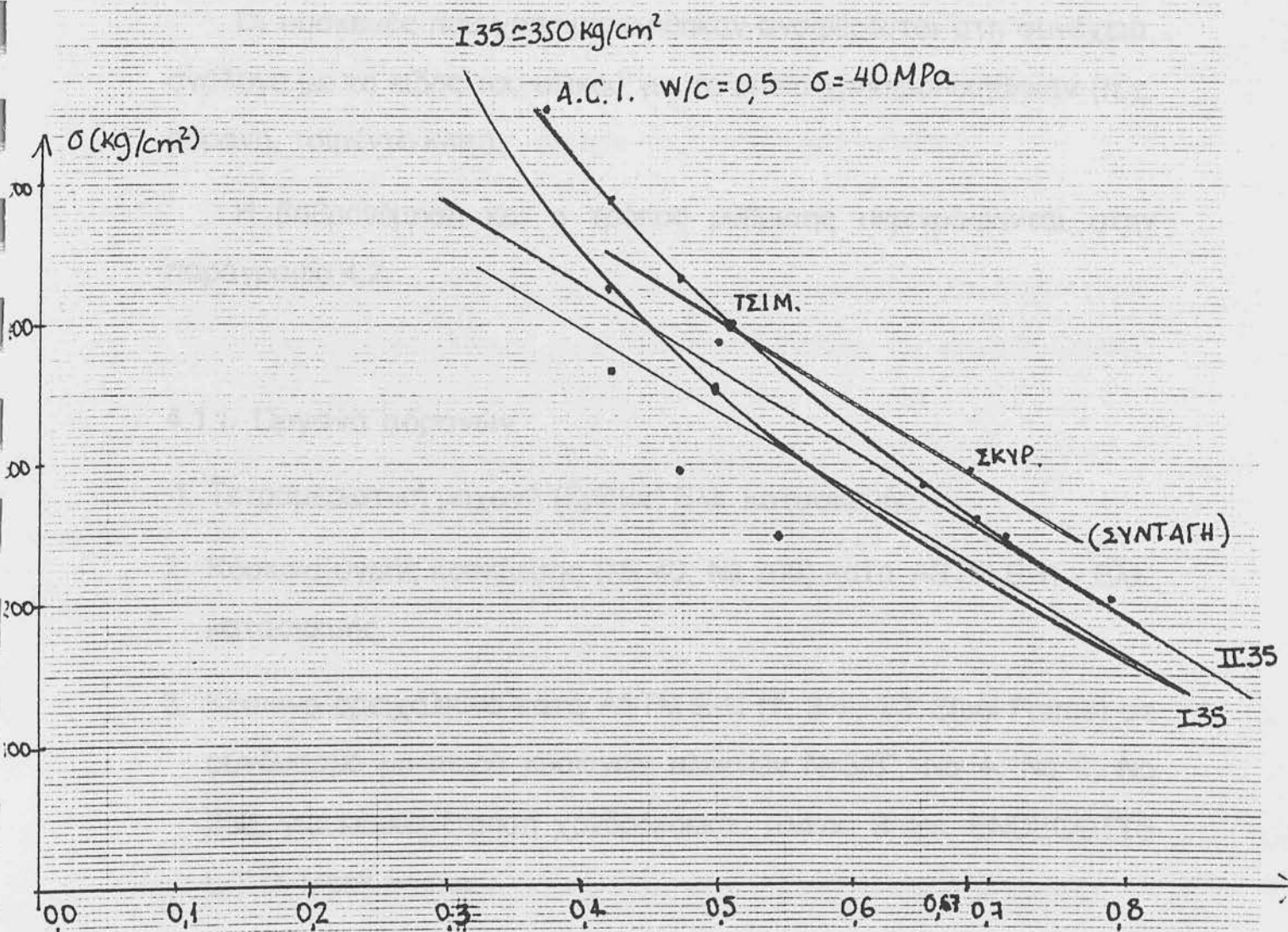
Για την επίτευξη της επιθυμητής αντοχής εκτελέσθηκαν πειράματα με λόγους N/T από 0,67 μέχρι 0,70. Τελικά καταλήξαμε σε λόγο N/T=0,68 και οι αντοχές βρέθηκαν 300 Kg/cm<sup>2</sup>.

Το σημείο αυτό δεν ανήκει στην καμπύλη του A.C.I. 211, όμως βρίσκεται μέσα στα όρια του Κ.Τ.Σ. Έτσι αποφασίστηκε ο λόγος να είναι N/T=0,68. Ο λόγος αυτός είναι πιο κοντά στο N/T=0,67 που απαιτεί ο Κ.Τ.Σ. για ανεπίχριστο σκυρόδεμα όπως αυτό που μελετάμε. Επίσης ο Κ.Τ.Σ. δίνει ελάχιστη ποσότητα τσιμέντων για την περίπτωση αυτή 270 Kg/m<sup>3</sup>. Επειδή αποφασίσαμε να δουλέψουμε με λόγο N/T=0,68 και επειδή δουλεύουμε για λόγους οικονομίας, αλλά και παράλληλης ανάπτυξης αντοχών, με μίγμα τσιμέντων I και II, αποφασίστηκε να χρησιμοποιούμε στη σύνθεση ποσότητα



μίγματος τσιμέντου ίση με  $276 \text{ Kg/m}^3$  που είναι κοντά στις απαιτήσεις του Κ.Τ.Σ., αλλά δίνει και τις επιθυμητές αντοχές με λόγο  $N/T=0,68$ .

Στο Διάγραμμα ΙΙΙ (Δ.ΙΙΙ) βλέπουμε τη γραφική απεικόνιση των παραπάνω στοιχείων.



Δ.ΙΙΙ. Γραφική απεικόνιση των στοιχείων της παραγωγής και των απαιτήσεων του Α.Κ.Ι. για τσιμέντα κατηγορίας I35, II35, I45 και μίγματος αυτών

## 4. ΟΡΓΑΝΑ

### 4.1. Όργανα - Συσσκευές

Τα όργανα και οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της εργασίας αυτής, βαθμονομήθηκαν όπου αυτό ήταν δυνατόν ή ρυθμίστηκαν έτσι ώστε να είναι αξιόπιστα.

Οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται στη συνέχεια, ανάλογα με το είδος του υλικού για το οποίο χρησιμοποιήθηκαν (π.χ. αδρανή, τσιμέντο κλπ.).

Η βαθμονόμηση και ο τρόπος ρύθμισης περιγράφονται στην παράγραφο 4.2.

#### 4.1.1. Όργανα αδρανών

1. Τετραμεριστική μηχανή (Splitter) Ελλ. κατασκευής.
2. Κόσκινα υγρής κοσκίνισης (№ 40, № 200) κατά ASTM E-11 - Ελλ. κατασκευής.
3. Κόσκινα ορειχάλκινα κατά ASTM E-11 (1', 3/4', 1/2' Steel Frame) σε συνδυασμό με σειρά κόσκινων πλεκτών N=3/8", No 4, No 8, No 200, για κοκκομέτρηση χονδρόκοκκου υλικού Brass, ENDECOTTS L.T.D. Mesk Frame.
4. Κόσκινα μικρά, κατά ASTM E-11, ENDECOTTS L.T.D. Frame Brass, Mesk S. Steel, B.S. 410 (No 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200) πλεκτά, για κοκκομέτρηση άμμου.
5. Ηλεκτροκίνητη μηχανή κοσκίνισματος μικρή R.M.U. 91-02.85 για τα κόσκινα κοκκομέτρησης άμμου με χρονοδιακόπτη έως 10 min.

6. Ηλεκτροκίνητη μηχανή κοσκινίσματος μεγάλη ENDECOTTS "Sieve shaker" 220/240 με χρονοδιακόπτη έως 60 min. Ι φάση. B.F.L. Z.M.U.L1.
7. Ζυγός OHAUS heavy duty solution balance, capacity 20 Kg-45 lb, σύμφωνα με την προδιαγραφή AASHTO M231-86 "Weighting Devices Used in the Testing of Materials".
8. α) Ξηραντήρια ΕΛΒΜ (Πρότυπος Εταιρία Κατασκευών Επιστημονικών Μηχανημάτων), τύπος 101 Watt 1000 Volt 220.  
β) Ε.Λ.Ε. 250°C : Fan-circulated ovens (EL22-1170 series with thermometer, sample tray, glass thermometer).
9. Μικροσκόπιο.
10. Κολουροκωνικός κώνος και ράβδος συμπύκνωσης για δημιουργία κατάστασης ελεύθερης ροής "Mold and Tamper for specific Gravity of Fine Aggregate".  
Διαστάσεις κώνου: επάνω διάμ.  $d = 40$  mm,  
κάτω διάμ.  $d = 90$  mm,  
πάχος 0,9 mm,  
ύψος 75 mm.  
Βάρος ράβδου: 339,2 gr.  
Όλες οι διαστάσεις βρέθηκαν στα πλαίσια της προδιαγραφής AASHTO T84-86.
11. Sand Equivalent Mechanical Suaker ELE και όλο το σετ μέτρησης.

#### 4.1.2. Όργανα τσιμέντου

1. Μηχανικός αναδευτήρας Hobart Corporation 3 ταχυτήτων. N 50G, Volt 220, Hz 50.

2. Ζυγος Stanton 21CJ μέγιστου φορτίου 1000 gr και ακρίβειας 0,01 gr.
3. Χρονόμετρο.
4. Συσσκευή χειροκίνητη Vicat RMU με μήτρες πλαστικές, βελόνες, έμβολο σύμφωνα με τους Ελλ. κανονισμούς.
5. Συσσκευή αυτόματη Vicat προγραμματισμένων χρονικών διαστημάτων μέτρησης χρόνου αρχής και τέλους πήξης.
6. Μήτρες κονιαμάτων από χυτοσίδηρο, διαστάσεων 4x4x16 και 2,5x2,5x28,5 cm σύμφωνα με την προδιαγραφή AASHTO M210.
7. Συσσκευή συμπύκνωσης με κρούση κονιαμάτων ELE EL 39-1150.
8. Συσσκευή αυτόκλειστου σύμφωνα με ASTM C151 ELE τύπου EL 38-3800/01.
9. Φλάσκα Le Chatellier 250 ml, για μέτρηση του ειδικού βάρους τσιμέντου. Controls.
10. Συσσκευή αεροδιαπερατότητας Blaine, για μέτρηση της ειδικής επιφάνειας του τσιμέντου. Controls Caf. L41. Ρύθμιση 22°C.  
 $V_{\omega\phi. \text{ συσ.}} = 1,772 \text{ cm}^3$   
 $P_s = 2,90$   
 $S_s = 4.180 \text{ cm}^2/\text{gr}$   
 $T_s = 63''$
11. Μηχανή θραύσης σε θλίψη και κάμψη κονιαμάτων. ELE 250 KN ASTM C109, τύπου EL 39-1501.
12. Θάλαμος υγρασίας Vindon Scientific.
13. Μικρόμετρο ELE, TYPE 56.  
 Ραβδί διαστάσεων : ύψος 295 mm  
 διάμετρος Φ8.

Στο ρολόι του μικρόμετρου μία πλήρης περιστροφή στο μεγάλο δίσκο αντιστοιχεί σε μία γραμμή στο μικρό.

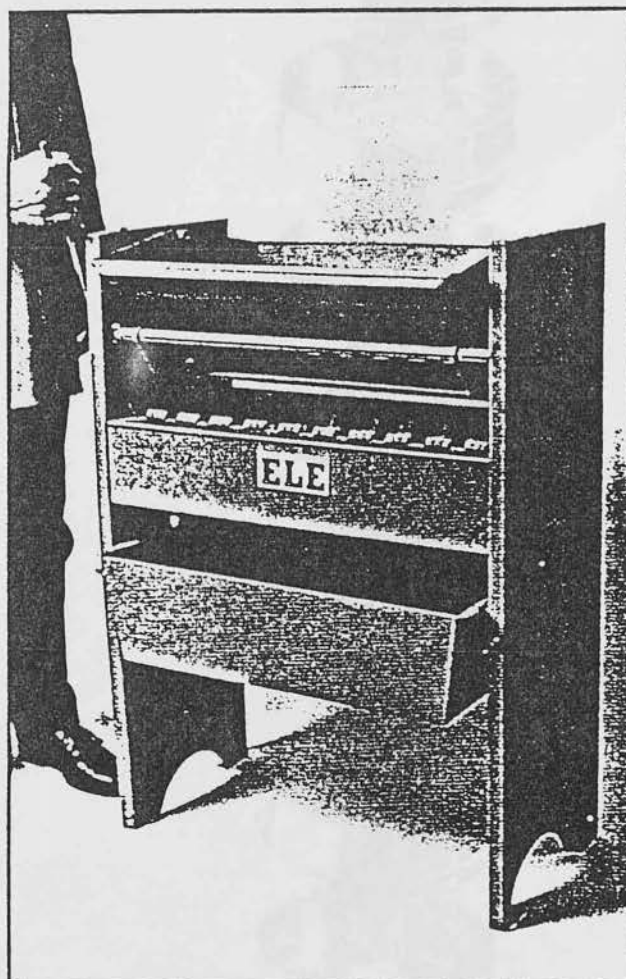
#### 4.1.3. Όργανα σκυροδέματος

1. Αναμικτήρας τύπου 55-C196 χωρητικότητας 50 lt, 220-240 Volt, 50 Hz, 1ph, 2HP (1470W), διαστάσεων  $d = 63,5$  cm,  $h = 33$  cm, Controls.
2. Μήτρες χυτοσιδηρές 15<sup>3</sup> Ελληνικής κατασκευής.
3. Ράβδος  $\Phi 16$ , 600 mm, με στρογγυλεμένα άκρα.
4. Κώνος κάθισης, Ελλ. κατασκευής, διαστάσεων:  
κάτω διάμ.  $d = 201,5-202$  mm,  
επάνω διάμ.  $d = 101$  mm,  
πάχος 155 mm,  
ύψος 299 mm.

Ο κώνος έχει εσωτερική ραφή και η επιφάνεια δεν είναι εντελώς λεία.

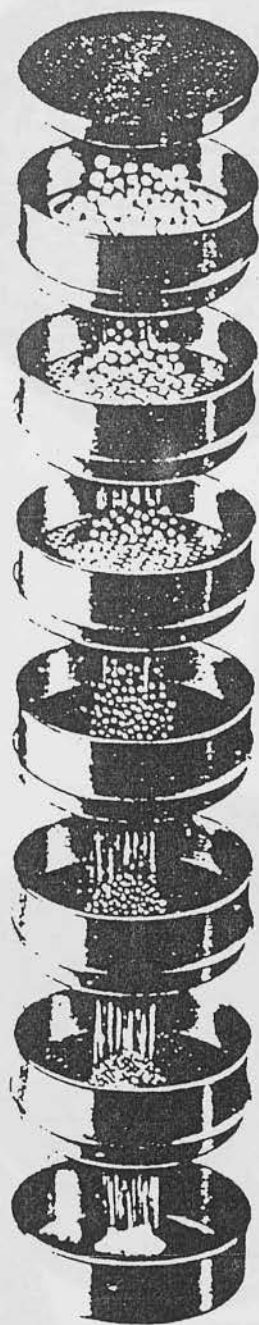
5. Συσκευή μέτρησης αεροπεριεκτικότητας ELE, τύπου EL34-3260 (type B).  
Δοχείο αέρα, διαστάσεων: ύψος  $h = 24,8$  cm, διάμετρος  $d = 20$  cm, πάχος  $d' = 6$  mm.
6. Αεροσυμπιεστής Airco A.E., τύπος N.S.-11, φάσεις 3, Volt 380.

#### 4.1.4. Φωτογραφίες Οργάνων - Συσκευών



EL23-3425

Σχ. 7. Τετραμεριστική μηχανή (Splitter)

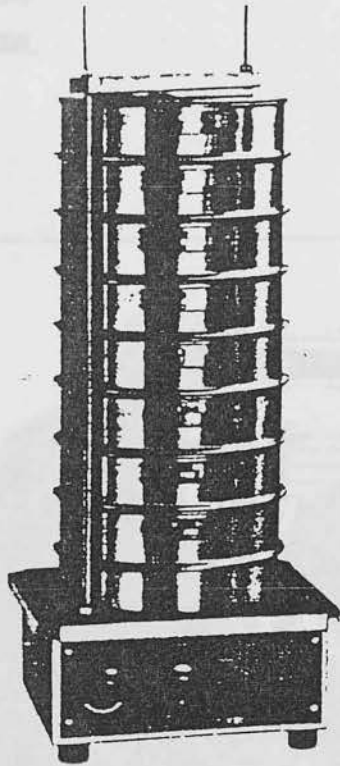


Σχ. 8. Σειρά κοσκίνων, ELE

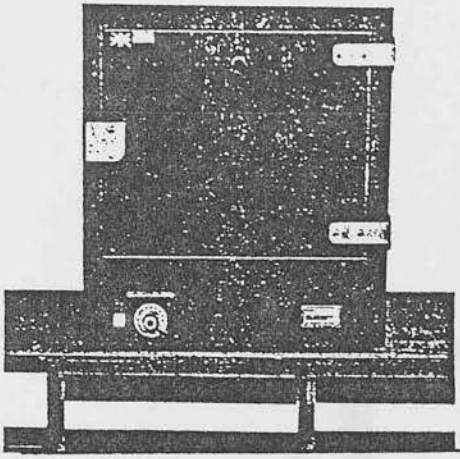


Σχ. 9. Κόσκινα πλεκτά ορειχάλκινα, ELE

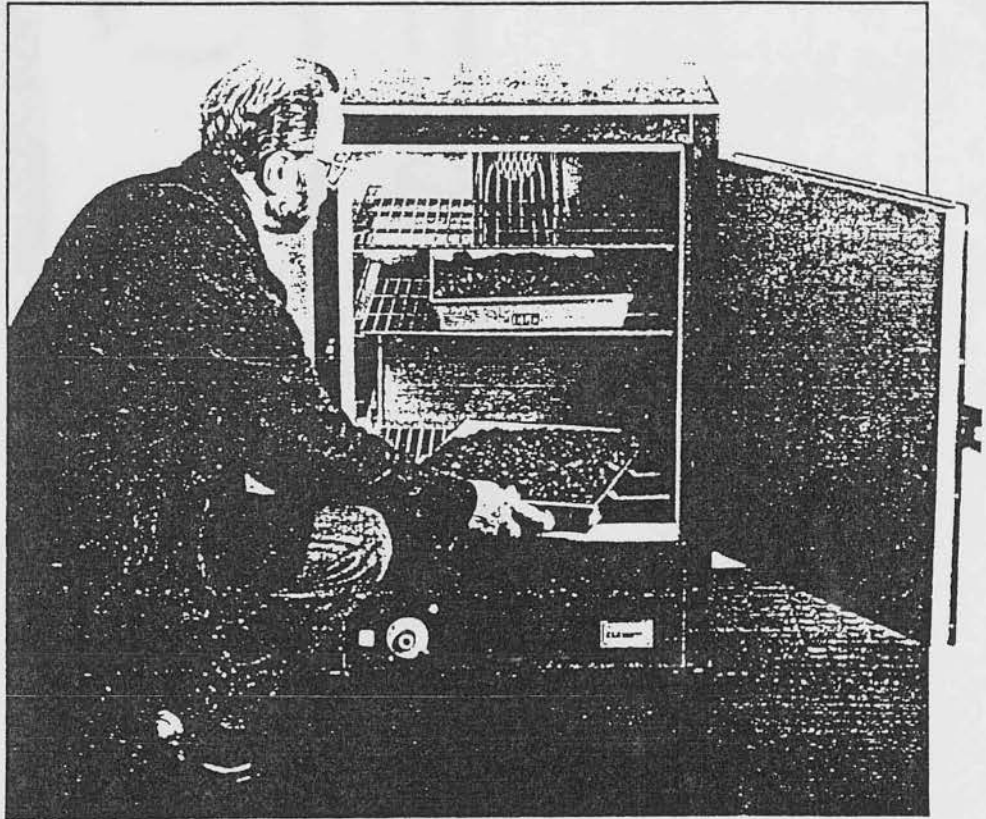




Σχ. 10. Ηλεκτροκίνητη μηχανή κοσκινίσματος, RMU

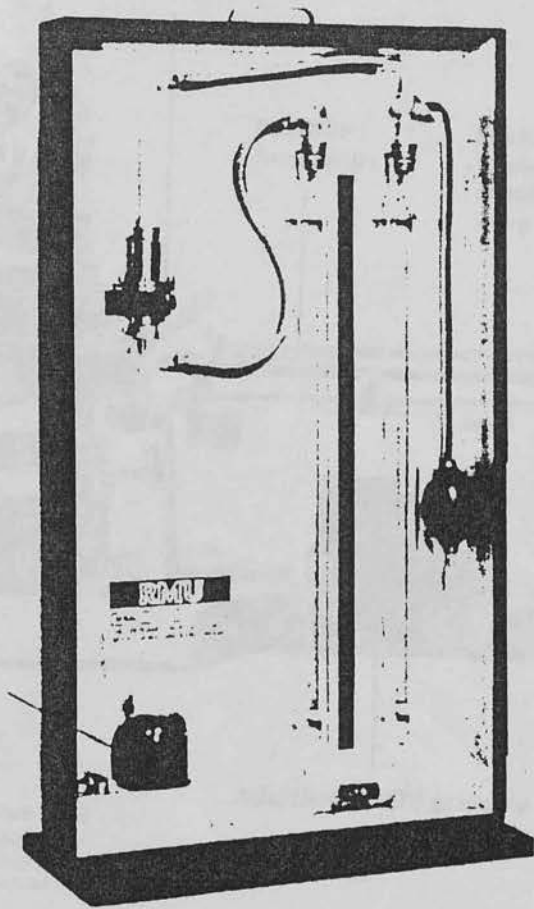


EL22-1170/01



EL22-1180/01

Σχ. 11. Ξηραντήριο, ELE

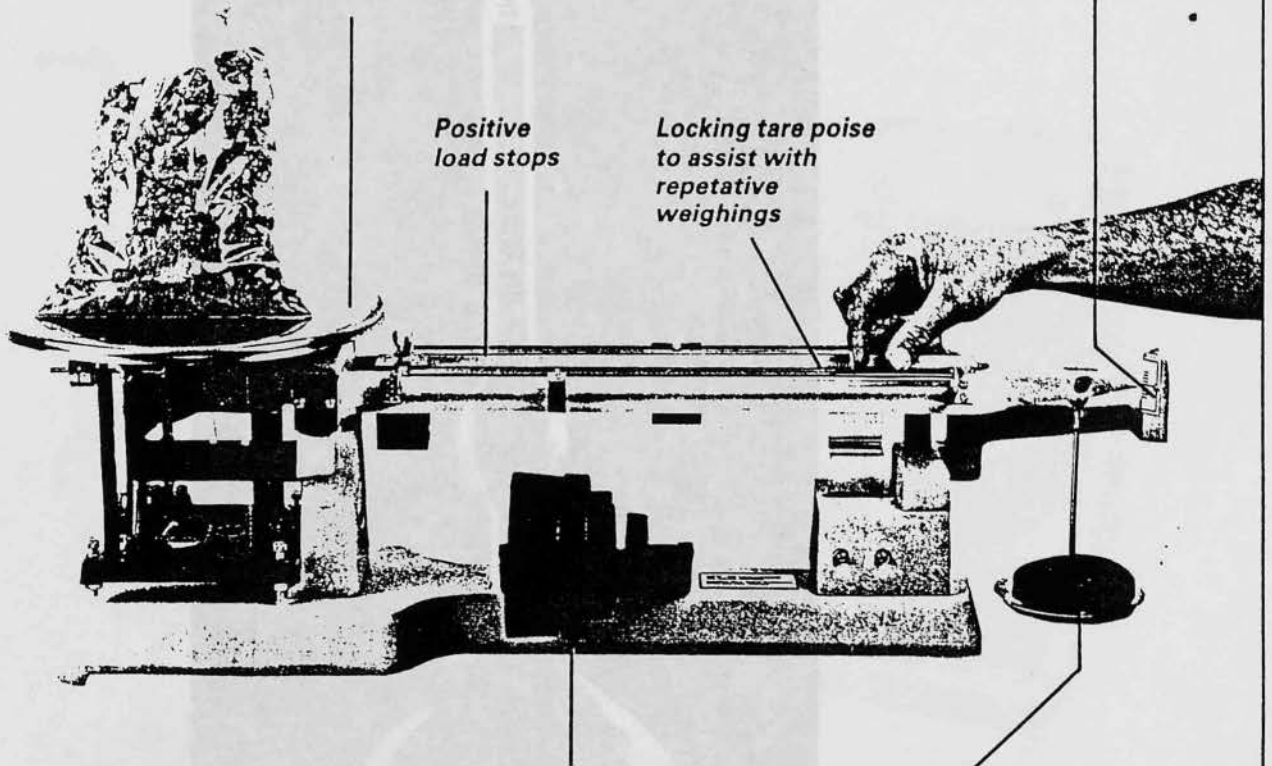


Σχ. 12. Συσκευή Blaine, ELE

*Simple, rugged construction for maintenance-free use*

*Large flat pan, ideal for weighing large items or bulk solutions using containers*

*Magnetic damping speeds operation by minimising pointer swing*



*Positive load stops*

*Locking tare poise to assist with repetitive weighings*

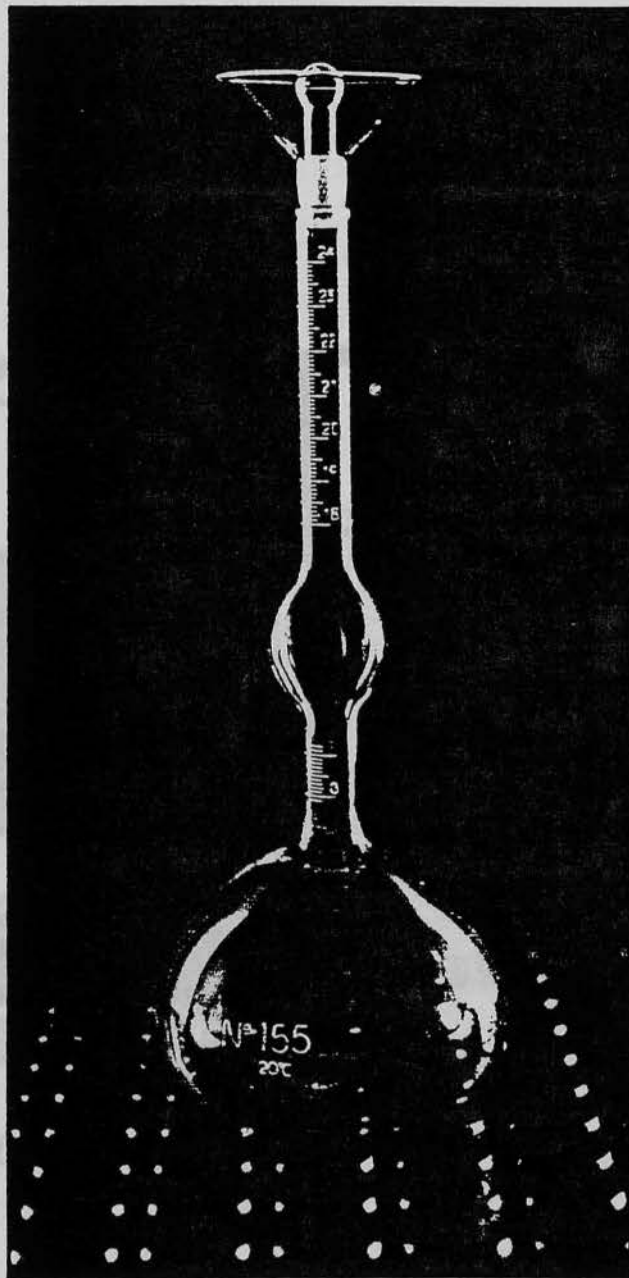
**EL22-7600**  
**Heavy-duty Solution Balance,**  
**20 kg x 1 g** with additional 2270 g tare. Front beam graduated 100 g x 1 g, rear beam graduated 1000 g x 100 g. Supplied complete with stainless steel pan 280 mm diameter, and weight set. *Weight 20 kg*

**Accessory for EL22-7600**

**EL22-7620**  
**Footed Scoop,** 560 x 290 x 150 mm (approx) with slotted counterweight.

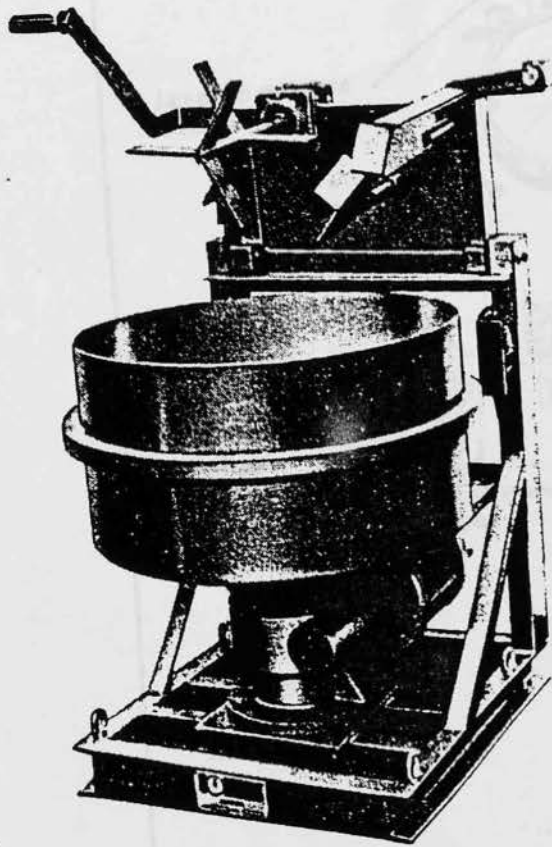
*Additional 2270 gramme weights for tare*

Σχ. 13. Ζυγός Heavy Duty Solution Balance

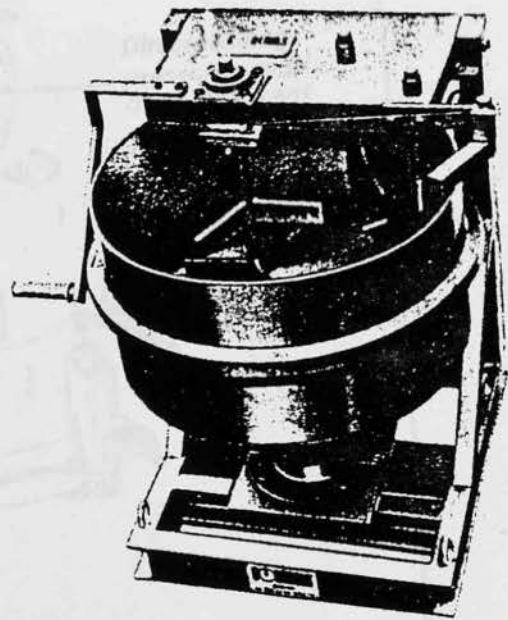


EL38-1200

Σχ. 14. Φλάσκα Le Chatellier

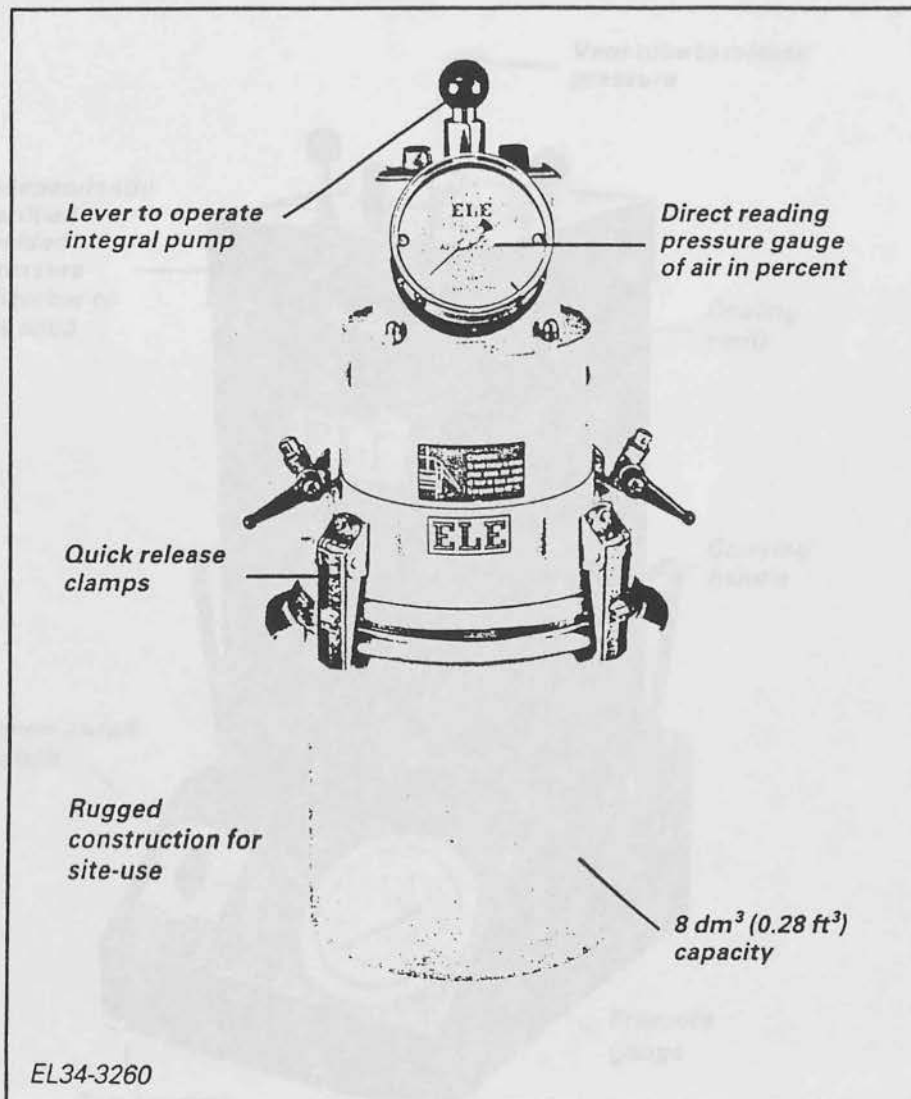


55-C197 Loading position

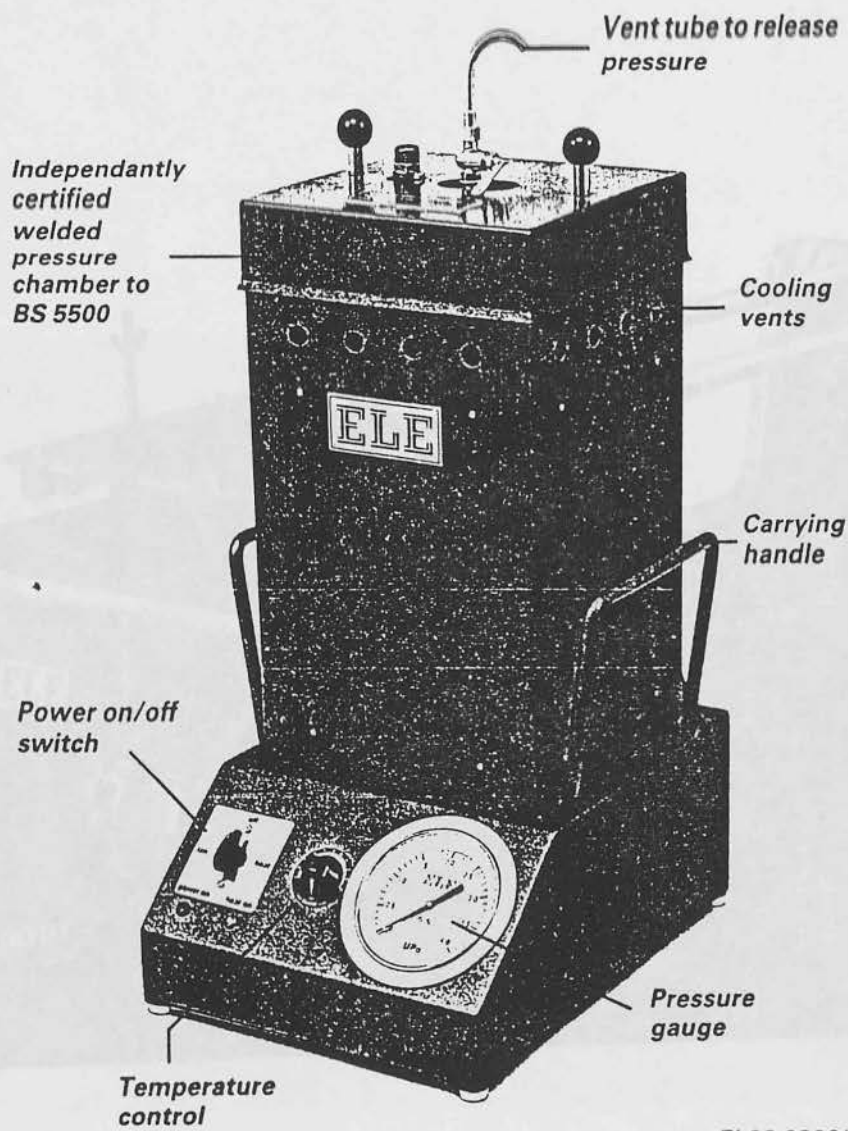


55-C197

Σχ. 15. Αναμικτήρας, Controls

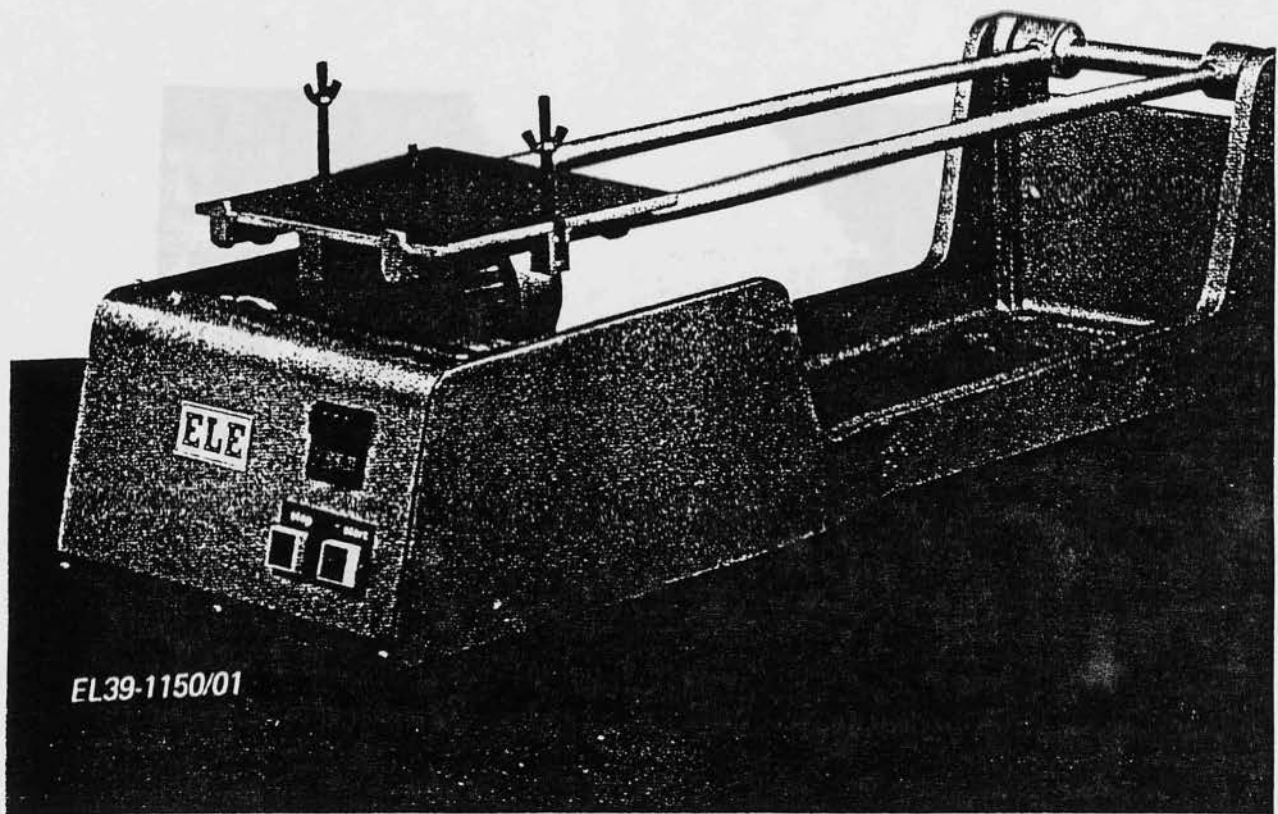


Σχ. 16. Συσσκευή μέτρησης αεροπεριεκτικότητας, ELE

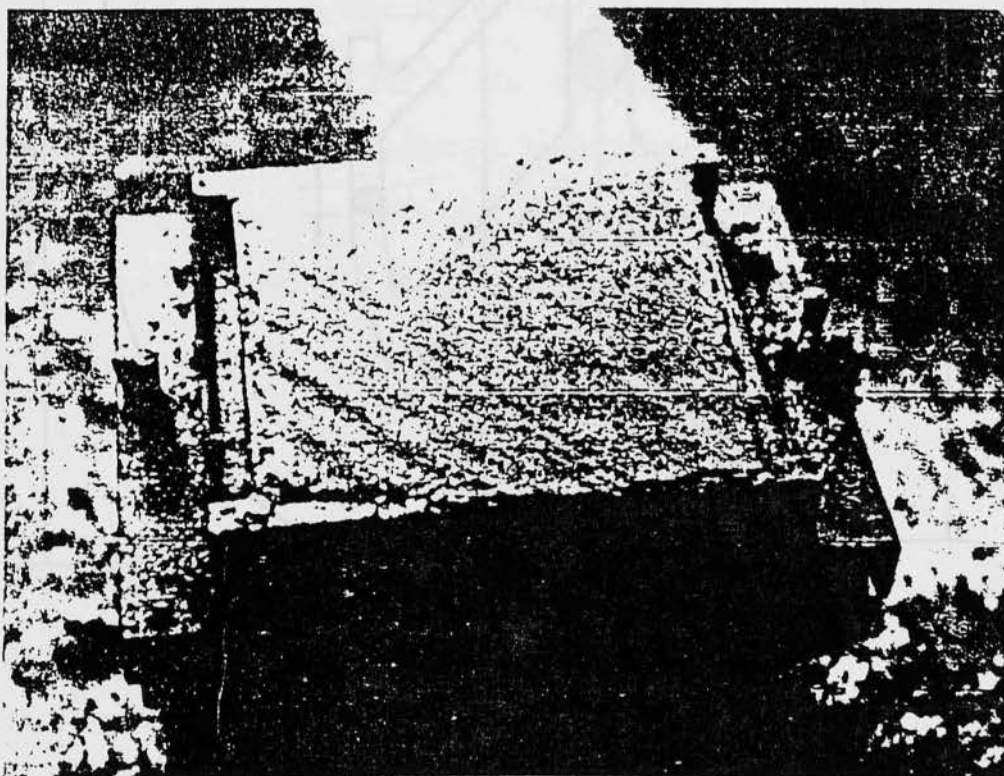


Σχ. 17. Συσκευή αυτόκλειστου, ELE



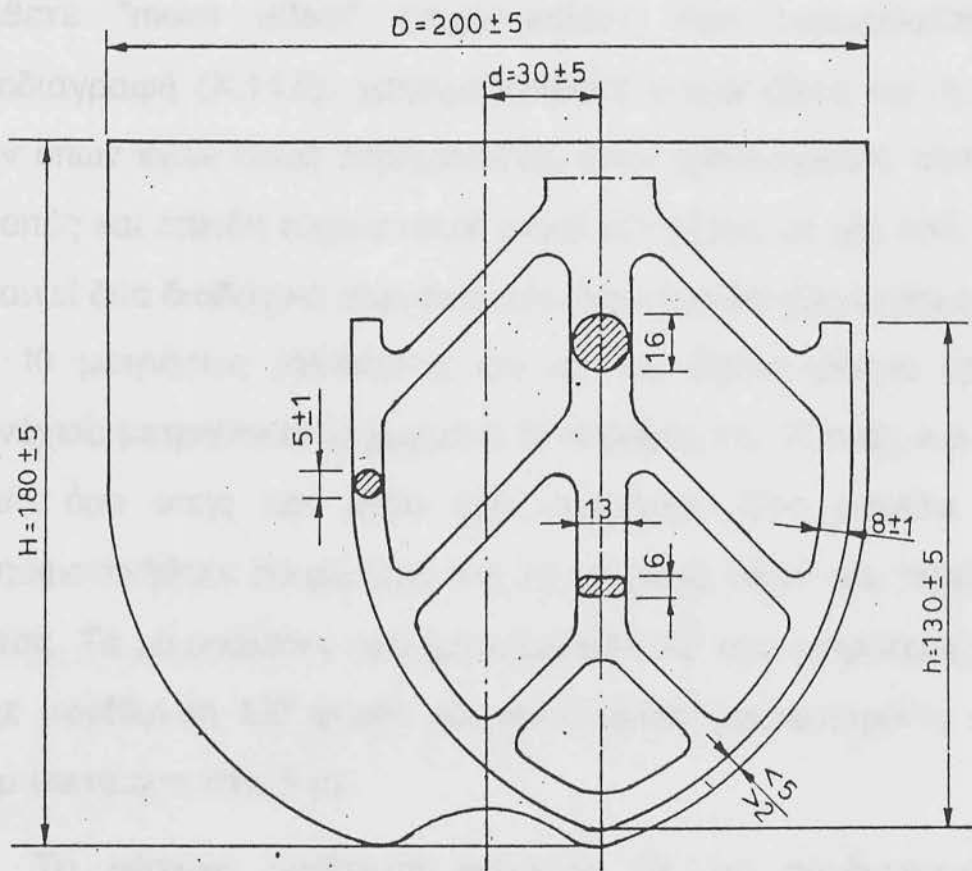


Σχ. 18. Συσκευή συμπύκνωσης με κρούση κονιαμάτων, ELE



Σχ. 20. Υαλοκύβος επί άκρας μηχανικής αναβάθισης  
(Προβλεπόμενος σε όλη από Κανονισμό Ελέγχου Τσιμεντίων)

Σχ. 19. Λήψη κυβικού δοκιμίου



Σχ. 20. Υποδοχέας και μίτρο μηχανικού αναδευτήρα  
(διαστάσεις σε mm από Κανονισμό Ελέγχου Τιμέντων)

#### 4.2. Βαθμονομίες οργάνων (Καλιμπραρίσματα)

Μετρήθηκαν όλες οι σειρές των κόσκινων σύμφωνα με την προδιαγραφή AASHTO M92-85 "Wire Cloth Sieres for Testing purposes", παράγραφος X1. Επειδή το εργαστήριο "ΠΕΤΥΛ" δεν διαθέτει "moire effect" (νεφελοειδές), που περιγράφεται στην προδιαγραφή (X.1.1.5), χρησιμοποιήθηκε μικροσκόπιο και η μέτρηση των οπών έγινε όπως περιγράφεται στην προδιαγραφή. Μετρήθηκαν 10 οπές και επειδή είχαμε μικρό φακό εστιάζαμε σε μία οπή. Το βήμα απαιτεί δύο διαδοχικά σύρματα στο ίδιο επίπεδο. Εκτιμήθηκε το βήμα με 10 μετρήσεις (άξονες  $\chi$  και  $\varphi$ ) και βγήκε μέσος όρος. Στη συνέχεια μετρήθηκαν ξεχωριστά 10 σύρματα και 10 οπές και βρήκαμε μέσο όρο οπής και μέσο όρο σύρματος. Στα μεγάλα κόσκινα χρησιμοποιήθηκε παχύμετρο για τη μέτρηση οπών και πάχους σύρματος. Το μικροσκόπιο που χρησιμοποιήθηκε στα μικρότερα κόσκινα, είχε μεγέθυνση 100 φορές και υποδιαίρεση μικρομετρικής κλίμακας 10  $\mu$  (εκτίμηση στα 5  $\mu$ ).

Τα κόσκινα βρέθηκαν σύμφωνα με τις προδιαγραφές των κατασκευαστών. Οι κοκκομετρήσεις έγιναν σύμφωνα με τη σειρά κόσκινων που περιγράφει ο Ελληνικός Κανονισμός. Επειδή οι σειρές που υπάρχουν στο εργαστήριο "ΠΕΤΥΛ" είναι σύμφωνα με τα Αμερικάνικα πρότυπα (δηλαδή τα ίδια κόσκινα εκτός από το 0,2), χρησιμοποιήθηκε το κόσκινο No 70 αντί του 0,2 Ελληνικού. Το κόσκινο No 70 μετρήθηκε και βρέθηκε ανοίγματος 0,21 mm, δηλαδή με αρκετά μικρή απόσταση από το κόσκινο που απαιτεί ο Ελληνικός Κανονισμός, οπότε το δεχτήκαμε και δουλέψαμε στη συνέχεια με αυτό.

Ο ζυγός OHAUS ελέγχθηκε ζυγίζοντας ένα αντικείμενο γνωστού βάρους και βρέθηκε σωστός στη ζύγισή του με ακρίβεια 1 gr.

Το ίδιο συνέβη και για τον ηλεκτρονικό ζυγό, η ακρίβεια του οποίου είναι 0,01 gr.

Οι ταχύτητες του μηχανικού αναδευτήρα χρονομετρήθηκαν με ηλεκτρονικό χρονόμετρο και βρέθηκαν μέσα στα όρια ανοχής των ταχυτήτων που περιγράφει ο "Κανονισμός Τσιμέντων για έργα από σκυρόδεμα" ("Κ.Τ."). Επίσης, ελέγχθηκαν οι διαστάσεις του υποδοχέα και του μίκτρου του αναδευτήρα και βρέθηκαν σύμφωνες με τις απαιτήσεις. Όλες οι μήτρες λύθηκαν, λαδώθηκαν και ξαναδέθηκαν. Μετρήθηκαν ακριβώς οι διαστάσεις τους με παχύμετρο και βρέθηκαν σύμφωνες με τα μεγέθη που περιγράφει ο "Κ.Τ.". [Μήτρες (4x4x16), (25x25x28), χυτοσιδηρές και (70x80x40), (60x70x40) κολουροκωνικές].

Η χειροκίνητη συσκευή Vicat μηδενίστηκε χρησιμοποιώντας γυαλί 6mm και κολουροκωνική μήτρα διαστάσεων 60x80x40 ύψος.

Η αυτόματη συσκευή ρυθμίστηκε με γυαλί και μήτρα των ίδιων διαστάσεων.

Η συσκευή συμπίκνωσης με κρούση ελέγχθηκε και βρέθηκε όπως περιγράφεται στον "Κ.Τ."

Η συσκευή αυτόκλειστου έχει καλιμπραριστεί και βαθμονομηθεί μετά από εξαμηνιαία εργασία οπότε ακολουθώντας τις παρατηρήσεις επιτεύχθηκαν τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Οι μήτρες για την παρασκευή δοκαριών που τοποθετούνται στο αυτόκλειστο είναι σύμφωνες με την προδιαγραφή AASHTO M210.

Η συσκευή Blaine καλιμπραρίστηκε σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται στην §5.4.3. του "Κ.Τ." στα εργαστήρια ελέγχου τσιμέντου του ΚΕΔΕ ΥΠΕΧΩΔΕ.

Ο θάλαμος υγρασίας ελέγχθηκε με θερμοστάτη και με υδράργυρικό θερμομέτρο, άδειος και φορτωμένος. Επίσης ελέγχθηκε η θερμοκρασία με θερμομέτρο μεγίστου-ελαχίστου και η διαφορά βρέθηκε λιγότερη από 1°C.

Ο θάλαμος δουλεύει με απεσταγμένο νερό και η υγρασία που φτάνει είναι λιγότερη από 90%. Η δίοδος του αέρα βρέθηκε σωστή μετά από έλεγχο.

Συσκευή μέτρησης αεροπεριεκτικότητας. Η συσκευή αυτή περιγράφεται στην προδιαγραφή AASHTO T152-86. Το δοχείο της συσκευής αυτής έπρεπε να είναι γνωστού όγκου και η εύρεση (μέτρηση) του όγκου του έγινε ως εξής:

Καθαρίστηκε το εσωτερικό του δοχείου. Ζυγίστηκε άδειο μαζί με μια πλάκα γυαλιού πάχους 5 mm και διαστάσεων 20x20 cm και σημειώθηκε το βάρος τους (A).

Γεμίστηκε το δοχείο με νερό απιονισμένο, εγκλιματισμένο στο χώρο του εργαστηρίου, γνωστής θερμοκρασίας. Με μικρά χτυπήματα αφαιρέθηκε ο αέρας που υπήρχε μέσα στο δοχείο και στη συνέχεια σύρθηκε το γυαλί στην επιφάνεια του δοχείου έτσι ώστε να μην εγκλωβιστεί αέρας ανάμεσα στο γυαλί και την επιφάνεια του γεμάτου με νερό δοχείου.

Στη συνέχεια σκουπίστηκε προσεκτικά η εξωτερική επιφάνεια του δοχείου και τα ελεύθερα μέρη της πλάκας του γυαλιού. Μεταφέρθηκε πολύ προσεκτικά και χωρίς κρούσεις το δοχείο με το νερό και γυαλί επάνω στη ζυγαριά όπου ζυγίστηκε και κρατήθηκε το βάρος τους (B).

Η διαφορά B-A δίνει το βάρος του νερού που περιέχεται στο δοχείο (C).

Από τον πίνακα 3 της προδιαγραφής AASHTO T19-80 (1986) για γνωστή θερμοκρασία νερού, βρίσκεται ότι η πυκνότητα απιονισμένου νερού σ' αυτή τη θερμοκρασία είναι (D).

Διαιρώντας C/D βρίσκουμε τον όγκο του νερού, άρα και τον περιεχόμενο όγκο του δοχείου.

Τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής είναι τα ακόλουθα:

$$\text{Βάρος(δοχείο+νερό)} = 5.591 \text{ gr} \quad T_{\text{νερού}} = 20,5^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Βάρος(δοχείο+γυαλί+νερό)} = 13.600 \text{ gr}$$

$$\text{Βάρος(νερού)} = 13.600 - 5.591 = 8.009 \text{ gr}$$

Ο πίνακας 3 AASHTO T19-80(86) δίνει πυκνότητα νερού  $998,09 \text{ Kg/m}^3$

$$\text{Όγκος νερού} = 8.009 : 998,09 = 8,025 \text{ lt.}$$

Άρα ο όγκος του δοχείου της συσκευής μέτρησης της αεροπεριεκτικότητας είναι  $8,025 \text{ lt.}$

Για να ρυθμίσουμε το μηδέν στο "καπέλο" της συσκευής αφαιρούμε προσεκτικά το γυαλί από το δοχείο (συρτά). Γεμίζουμε μέχρι πληρώσεως του δοχείου με νερό σε περίπτωση απώλειας νερού κατά τη μετακίνηση της γυάλινης πλάκας. Κτυπάμε ελαφρά το δοχείο για να φύγει ο αέρας (φουσκάλες ανεβαίνουν στην επιφάνεια). Αφού το νερό που περιέχεται στο δοχείο δεν έχει καθόλου αέρα, κλείνουμε το δοχείο με το "καπέλο", γεμίζουμε με αέρα το επάνω μέρος της συσκευής, αφού έχουμε απομονώσει, γυρίζοντας, τις βαλβίδες, και πατάμε το κουμπί test. Αν δεν δείξει 0 στην κλίμακα από 0-100 του μανόμετρου, ρυθμίζουμε τη βελόνα έτσι ώστε εκείνη τη στιγμή να δείχνει την ένδειξη 0.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΡΕΝΧΑΡΑΚΤΗΡΩΣ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΑΣ  
ΕΡΕΥΝΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Η πρέσσα στην οποία έγιναν όλες οι θραύσεις των κυβικών δοκιμίων 15x15x15 που παρασκευάστηκαν κατά τη διάρκεια της εργασίας αυτής, ήταν η πρέσσα του Εργαστηρίου Ελέγχου Σκυροδέματος του ΚΕΔΕ ΥΠΕΧΩΔΕ. Το καλιμπράρισμα της πρέσσας αυτής έγινε από ειδικούς με την εξής διαδικασία:

Τοποθετούμε κεντρικά κάτω από την πρέσσα πρότυπη συσκευή που στο εσωτερικό της περιέχει υδράργυρο. Η συσκευή αυτή έχει κάποιες σταθερές σε σύγκριση με τις οποίες θα δούμε το σφάλμα της υπό έλεγχο πρέσσας. Κατεβάζουμε την επάνω πλάκα της πρέσσας έτσι ώστε αυτή μόλις να εφάπτεται με την επάνω επιφάνεια της πρότυπης συσκευής. Κοιτάζοντας μέσα από το μεγεθυντικό φακό σταθεροποιούμε τη στήλη του υδραργύρου της πρότυπης συσκευής και αρχίζουμε τη φόρτιση. Ταυτόχρονα, μετακινώντας τον βερνιέρο, που είναι συνδεδεμένος με την πρότυπη συσκευή, προσπαθούμε να διατηρήσουμε σταθερό το ύψος της υδραργυρικής στήλης το οποίο αυξομειώνεται κατά τη διάρκεια της επιβολής φορτίου. Σε προκαθορισμένες τιμές φορτίου παίρνουμε τις ενδείξεις του βερνιέρου. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλες τις κλίμακες της πρέσσας. Τα αναλυτικά αποτελέσματα της βαθμονόμησης δίνονται στο πιστοποιητικό βαθμονόμησης της συσκευής του ΚΕΔΕ ΥΠΕΧΩΔΕ.



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
 ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ  
 ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΗΜ. ΕΡΓΩΝ  
 ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ (Δ14)  
 ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ (Β)  
 ΟΔΟΣ ΠΕΙΡΑΙΩΣ 166-ΑΘΗΝΑ (ΤΚ 118 54) ΤΗΛ. 3464158-3458918  
 ΑΡΙΘΜ. ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟΥ 2114 ΑΘΗΝΑ 16-12-93  
 ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

ΑΙΤΗΣΗ (ΕΓΓΡΑΦΟ): Δ14/γ  
 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΣΚΕΥΗΣ: Ηλεκτρονική μηχανή θλίψης "RIENNE  
 Νο 5-40220 με κλίμακες 300000, 60000 LBS  
 ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ: 15-12-93 Η βαθμονόμηση έγινε στο ΚΕΔΕ  
 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ: AMSLER MD 31/2215 30 τον AMSLER  
 MD 31/2346, 200 τόννων.

ΕΝΔΕΙΞΙΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΣΕ LBS	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΕΝΔΕΙΞΕΩΝ ΠΡΟΤ.ΣΥΣΚ.	ΣΤΑΘΕΡΑ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ	ΣΦΑΛΜΑ %	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΣΕ LBS
-------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------	-------------	--------------------------------

1. Κλίμακα 60000 LBS Πρότυπη συσκευή: AMSLER MD 31/2215, 30 τον

10000	2725	2495	+1,48	10148
20000	5335	5365	-0,55	19888
30000	7935	8032	-1,20	29637
40000	10600	10686	-0,80	39378
50000	13150	13316	-1,24	49176
55000	14430	14630	-1,36	54248

1. Κλίμακα 300000 LBS Πρότυπη συσκευή: AMSLER MD 31/2346, 200 τον

30000	2147	2147	0,00	30000
60000	4300	4294	+0,13	60063
90000	6405	6436	-0,48	89524
120000	8535	8575	-0,46	118985
150000	10665	10709	-0,41	148383
180000	12755	12837	-0,63	178050
210000	14875	14960	-0,56	208806
240000	14975	15072	-0,54	239674
270000	19105	19179	-0,39	269958

Σ Επιβλέπων του έργου: Δ. Καλλέργης Γ. ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ  
 Γ. ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ  
 ΓΡΑΜΜΑΤΕΑΣ Α' Ε. Τζινιέρης Ε. ΤΖΙΝΙΕΡΗΣ  
 ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ Α' ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ Α'  
 Σ. Τεσσέρης Σ. ΤΕΣΣΕΡΗΣ  
 ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ Α' ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ Α'

ΑΚΡΙΒΕΣ ΑΝΤΙΓΡΑΦΟ  
 Η ΠΡΟΚΑΤΑΜΕΝΗ Δ14/ε

ΑΡΧΥΡΗ ΑΝΔΡΕΟΥ  
 ΤΜΗΜΑΤΑΡΧΗΣ Α'

## 5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

### 5.1. Έλεγχοι συστατικών υλικών σκυροδέματος

Ένας από τους κύριους στόχους της εργασίας αυτής ήταν ο έλεγχος της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων της συνταγής όσον αφορά στις αρχικές απαιτήσεις βάσει των οποίων σχεδιάστηκε (κάθιση, Φ.Β.) και της συμφωνίας των αποτελεσμάτων αυτών με τις απαιτήσεις του Κ.Τ.Σ. (αντοχές). Η επανάληψη της ίδιας ακριβώς διαδικασίας από τον ίδιο άνθρωπο κάθε φορά, με τον ίδιο εργαστηριακό εξοπλισμό, θα είχε σαν αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση σφαλμάτων που οφείλονται σε αιτίες όπως διαφορά μεθόδου εργασίας, εργαστηριακού εξοπλισμού ή προσωπικού. Επίσης, τυχόν σφάλματα είτε στο σκεπτικό της μεθοδολογίας, είτε στον εργαστηριακό, που την επαναλάμβανε, θα ήταν επαναλαμβανόμενα, άρα και εύκολο να ληφθούν υπόψη στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Ο τρόπος εργασίας βασίστηκε στις Ελληνικές (Κ.Τ.Σ., προδιαγραφές ΚΕΔΕ ΥΠΕΧΩΔΕ) και στις Αμερικάνικες Προδιαγραφές (AASHTO, ASTM) ή σε συνδυασμό αυτών. Στη συνέχεια θα γίνει λεπτομερής περιγραφή της διαδικασίας που ακολουθήθηκε με αναφορές στις προδιαγραφές, αλλά κυρίως στις παρεκλίσεις ή στις επιλογές μεθόδων που αναφέρονται σ' αυτές.

#### 5.1.1. Αδρανή

Η δειγματοληψία των αδρανών είναι εξ ίσου σημαντική όσο και οι έλεγχοι αυτών. Για το λόγο αυτό η διαδικασία αυτή πρέπει να γίνεται προσεκτικά, έτσι ώστε τα δείγματα που θα ληφθούν να είναι

αντιπροσωπευτικά της φύσης και της κατάστασης της αρχικής ποσότητας. Η δειγματοληψία των αδρανών για την εργασία αυτή έγινε βάσει της προδιαγραφής AASHTO T-2-84 "Sampling Aggregates" και κυρίως της παραγράφου αυτής 4.3.3. "Sampling from Stockpiles or Transportation Units" με τη διαφορά ότι τα δείγματα σχηματίστηκαν από μικρές ποσότητες που πάρθηκαν με το φτυάρι από 10 αντί 3 τυχαία σημεία της ελεύθερης επιφάνειας του σωρού για να είμαστε σύμφωνοι με την παρ. 4.3.4.2β του Κ.Τ.Σ. Όπως προαναφέρθηκε, τα δείγματα των αδρανών ελήφθησαν από το εργοτάξιο, μονάδα παραγωγής Ρέντη της "ΕΤ ΒΕΤΟΝ", μόλις είχαν ξεφορτωθεί από το φορτηγό που τα μετέφερε από το λατομείο. Μετά την εκφόρτωσή τους ανακατεύθηκαν, το κάθε υλικό χωριστά (χαλίκι, γαρμπίλι, άμμος), από το φορτωτή. Στη συνέχεια με το φτυάρι αποκαλύφθηκαν 10 γεννέτηρες κατά μήκος του σωρού που η κάθε μία είχε περίπου πλάτος και βάθος 0,3 m. Κατά μήκος της κάθε γεννέτηρας λαμβανόταν υλικό από 3 σημεία βάζοντας το φτυάρι μέσα στο υλικό και τοποθετώντας το μέσα σε σακούλες. Η διαδικασία αυτή ακολουθήθηκε και για τα τρία υλικά μέχρι να ληφθεί η απαιτούμενη ποσότητα για την παρασκευή 15 αναμιγμάτων.

Τα δείγματα που ελήφθησαν, μεταφέρθηκαν σε κάποιο σημείο του εργοταξίου όπου και αδειάστηκαν χωριστά σε μεγάλες λαμαρίνες με σκοπό να τετραμεριστούν σύμφωνα με την προδιαγραφή AASHTO T248-83 "Reducing Field Samples of Aggregate to Testing Size".

Ο σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι η μείωση των ποσοτήτων των αδρανών που ελήφθησαν κατά τη δειγματοληψία, μέχρι τις ποσότητες που απαιτεί η συνταγή και οι διαδικασίες των δοκιμών στις οποίες πρόκειται να υποβληθούν (π.χ. κοκκομέτρηση). Με τη

μέθοδο αυτή το υλικό ομογενοποιείται οπότε μειώνονται οι αποκλίσεις που θα υπήρχαν στις ιδιότητές του αν οι έλεγχοι γίνονταν κατευθείαν μετά τη δειγματοληψία του.

Η μείωση του δείγματος της άμμου έγινε με τη χρήση της τετραμεριστικής μηχανής (mechanical splitter - Method 4) η οποία ακολουθεί τις απαιτήσεις της αντίστοιχης παραγράφου της προδιαγραφής T248-83.

Για τα χονδρόκοκκα αδρανή χρησιμοποιήθηκε η διαδικασία του τετραμερισμού (Quartering - Method B) και συγκεκριμένα της παραγράφου 9.1.1. Οι τελικές ποσότητες που θέλαμε για την παρασκευή των αναμιγμάτων σκυροδέματος σύμφωνα με τη συνταγή ήταν για την άμμο 35 Kg, για το χαλίκι 25 Kg και για το γαρμπίλι 5 Kg. Οι ποσότητες αυτές ήταν αρκετές και για την εκτέλεση των κοκκομετρήσεων όπως θα δούμε στη συνέχεια.

Οι τετραμερισμένες ποσότητες κλείστηκαν καλά σε σακούλες και μεταφέρθηκαν στο χώρο του εργαστηρίου "ΠΕΤΥΛ" του ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ. Κατά τη διάρκεια του τετραμερισμού ελήφθησαν ποσότητες του ενός περίπου κιλού (1 Kg) από το κάθε υλικό, για τη μέτρηση της φυσικής του υγρασίας. Οι ποσότητες αυτές κλείστηκαν σε σακούλες και αμέσως μετά τη μεταφορά τους στο εργαστήριο ζυγίσθηκαν, ξεράθηκαν στον κλίβανο για 24 ώρες, ξαναζυγίσθηκαν και έτσι υπολογίσθηκε η υγρασία που είχαν τα αδρανή κατά τη δειγματοληψία.

#### **5.1.1.1. Εκτέλεση ελέγχου αδρανών**

##### *(α) Προσδιορισμός ποσοστού παιπάλης*

Ως παιπάλη ορίζεται το κλάσμα του υλικού που είναι μικρότερο από 75 $\mu$ m. Ο υπολογισμός του ποσοστού της παιπάλης που διέρχεται

από το κόσκινο No 200, έγινε σύμφωνα με την προδιαγραφή AASHTO T11-85 "Amount of Materials Finer than 75µm Sieve in Aggregate". Η μέθοδος αυτή περιγράφει τον υπολογισμό του ποσοστού της παιπάλης με τη μέθοδο του πλυσίματος. Το πλύσιμο των υλικών γίνεται πάνω στο κόσκινο No 200, οπότε η διαφορά βάρους πριν και μετά το πλύσιμο επί ξηρού υλικού, είναι το ποσοστό της παιπάλης επί της αρχικής ποσότητας του δείγματος.

Οι ποσότητες των αδρανών που πλύθηκαν για τον υπολογισμό αυτό, ήταν: χαλίκι 5.000 gr, γαρμπίλι 2.500 gr και άμμος 500 gr.

Σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ. παράγραφος 4.3.2.10, η παιπάλη της άμμου δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16% του ξηρού βάρους της και η παιπάλη των χονδρόκοκκων κλασμάτων δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1% του ξηρού βάρους τους.

Οι υπολογισμοί και τα αποτελέσματα δίνονται στο κεφ. 5.1.1.2β.

### (β) Κοκκομέτρηση

Η κοκκομετρική ανάλυση των αδρανών έγινε σύμφωνα με την προδιαγραφή AASHTO T27-84 "Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates". Η μέθοδος αυτή καλύπτει τον προσδιορισμό της κατανομής κατά κλάσματα των χονδρόκοκκων και των λεπτόκοκκων αδρανών. Από τους πίνακες των παραγράφων 63, 64 και με νέο τετραμερισμό για την άμμο και το χαλίκι κατά τις μεθόδους που περιγράφησαν, λαμβάνουμε τις εξής ποσότητες:

Άμμος (No 4)	500 gr	} AASHTO T27-84	20 Kg	} Κ.Τ.Σ. Πίνακας 4.3.4.4
Χαλίκι (1')	10 Kg		30 Kg	
Γαρμπίλι (3/4')	5 Kg		30 Kg	

Όπως φαίνεται, ο αρχικός τετραμερισμός του γαρμπιλιού μέχρι την ποσότητα των 5Kg είναι επαρκής και για την κοκκομέτρηση. Ξεραίνουμε τα δείγματα σε θερμοκρασία 100°C για 24 ώρες. Τοποθετούμε πάνω στη μεγάλη κοσκίνα τα κόσκινα με την εξής σειρά: 1', 3/8', 1/2', No 4, No 8, No 200, τετραγωνικής οπής, πάτος. Στη συνέχεια βάζουμε το υλικό μέσα στο κόσκινο της 1' και κλείνουμε με το καπάκι. Ρυθμίζουμε το χρονοδιακόπτη και μετά από κοσκίνισμα 10' αρχίζουμε και ζυγίζουμε το συγκρατούμενο υλικό που υπάρχει σε κάθε κόσκινο, καταγράφοντάς τα αποτελέσματα.

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για το γαρμπίλι.

Παρατηρήθηκε ότι οι ποσότητες που αναφέρει η προδιαγραφή είναι μεγάλες με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται σε κάθε κόσκινο ποσότητες μεγαλύτερες από αυτές που περιγράφονται στην παράγραφο 7.3 της T27-84. Για το λόγο αυτό επαναλήφθηκε η όλη διαδικασία για δείγματα ποσοτήτων 5 Kg για το χαλίκι και 2,5 Kg για το γαρμπίλι. Επειδή στο γαρμπίλι στο κόσκινο No 8 η συγκρατούμενη ποσότητα είναι μεγάλη, έγινε επιπλέον κοσκίνισμα με το χέρι, όπως περιγράφεται στην παράγραφο 7.7. της ίδιας προδιαγραφής.

Στην περίπτωση της άμμου χρησιμοποιήθηκαν τα εξής κόσκινα: No 4, No 8, No 16, No 30, No 50, No 70, No 100, No 200 τετράγωνης οπής, πάτος. Το κόσκινο No 70 χρησιμοποιήθηκε αντί του κόσκινου 0,2 mm τετραγωνικής οπής, το οποίο μετρήθηκε και βρέθηκε ανοίγματος 0,212 mm. Επειδή αυτό είναι το κοντινότερο δυνατό από τα υπάρχοντα, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί αυτό. Τα αποτελέσματα καταγράφονται στο κεφάλαιο 5.1.1.2.9.

Από τα συγκρατούμενα ποσοστά σε κάθε κόσκινο μπορούμε να κάνουμε μια κοκκομετρική καμπύλη για κάθε υλικό χωριστά και να

ελέγχουμε αν το υλικό μας είναι σύμφωνα με τα όρια της κοκκομετρικής διαβάθμισης που δίνουν οι προδιαγραφές AASHTO M43, M80 για χονδρόκοκκο και λεπτόκοκκο υλικό αντίστοιχα.

Σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ., η καμπύλη της κοκκομετρικής διαβάθμισης του μίγματος των αδρανών που προορίζεται για οπλισμένο σκυρόδεμα, πρέπει να βρίσκεται στην υποζώνη 1 του Διαγράμματος Ι.

Επίσης, επειδή θέλουμε το σκυρόδεμα μας να είναι αντλήσιμο, πρέπει η καμπύλη του μίγματος να βρίσκεται μέσα στα όρια της περιοχής του ACI 304. Όπως φαίνεται στη συνέχεια (Διαγράμματα, Πίνακες), η καμπύλη του μίγματος είναι μέσα στα απαιτούμενα όρια για την περιοχή Δ και για αντλήσιμο σκυρόδεμα.

Μία ακόμη απαίτηση του Κ.Τ.Σ. για την άμμο, όπως αναφέρεται στην παράγραφο 5.3.2.9, είναι ότι το ποσοστό των κόκκων της άμμου που περνάει από κόσκινο 0,2 δεν πρέπει να υπερβαίνει το 25% του ξερού βάρους της, όταν πρόκειται για σκυρόδεμα χαρακτηριστικής αντοχής μικρότερης των 30MPa.

Επίσης, σύμφωνα με το A.C.I 304, το διερχόμενο ποσοστό της άμμου από το κόσκινο Νο 50 πρέπει να κυμαίνεται από 15-30 του ξερού βάρους της.

Όπως φαίνεται στην παράθεση των αποτελεσμάτων των κοκκομετρικών διαβαθμίσεων των αδρανών και οι δύο αυτές προϋποθέσεις πληρούνται (κεφ. 5.1.1.2α).

*Παρατήρηση: Για την ευκολία στην εκτέλεση της δοκιμής υπολογισμού των ειδικών βαρών, τα δείγματα που κοκκομετρήθηκαν φυλάγονται χωριστά, αφού πρώτα αφαιρεθούν οι ποσότητες του υλικού που διέρχονται από το κόσκινο Νο 4.*

#### *(γ) Μέτρο λεπτότητας άμμου*

Ο υπολογισμός του μέτρου λεπτότητας της άμμου έγινε προσθέτοντας τα συγκρατούμενα ποσά των κόσκινων Νο 100, Νο 50, Νο 30, Νο 16, Νο 8 και Νο 4 και διαιρώντας το άθροισμα αυτό με 100. Το μέτρο λεπτότητας αναφέρεται με ακρίβεια εκατοστού (0,01). Το ολικό ποσοστό της παιπάλης υπολογίζεται προσθέτοντας στο ποσοστό της παιπάλης που βρέθηκε συγκρατούμενο στον πάτο των κόσκινων, αυτό που έχει ήδη βρεθεί μετά από το αρχικό πλύσιμο του υλικού.

#### *(δ) Φαινόμενο Βάρους*

Ο υπολογισμός του φαινομένου βάρους των αδρανών έγινε σύμφωνα με την προδιαγραφή AASHTO T19-80 (1985) "Unit Weight and Voids in Aggregate". Το δοχείο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το δοχείο της συσκευής μέτρησης της αεροπεριεκτικότητας του σκυροδέματος, οι διαστάσεις και η ογκομέτρηση του οποίου περιγράφονται στο κεφάλαιο 4.1.3(5). Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν απόλυτα σύμφωνη με την T19-80 και τα αποτελέσματα δίδονται στο κεφ. 5.1.1.2γ.

#### *(ε) Ειδικό Βάρος*

Ο υπολογισμός του ειδικού βάρους και της απορροφητικότητας των χονδρόκοκκων αδρανών έγινε σύμφωνα με την Ελληνική Προδιαγραφή ΣΚ301 "Υπολογισμοί ειδικού βάρους και υγρασίας απορροφήσεως χονδρόκοκκων υλικών". Όπως προαναφέρθηκε, κατά την κοκκομέτρηση απορρίφθηκε το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο Νο 4 με καλή έκπλυση, ώστε να απομακρυνθούν η σκόνη και άλλα



προσκολλημένα σωματίδια. Το απαιτούμενο ελάχιστο βάρος για την εκτέλεση της δοκιμής αυτής συμπίπτει με τα αντίστοιχα ελάχιστα βάρη της αντίστοιχης δοκιμής της κοκκομέτρησης. Έτσι, τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αυτά που κοκκομετρήθηκαν. Οι υπολογισμοί και τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής αναφέρονται στο κεφ. 5.1.1.2δ.

Ο υπολογισμός του ειδικού βάρους και της υγρασίας απορρόφησης του λεπτόκοκκου αδρανούς έγινε σύμφωνα με την προδιαγραφή AASHTO T84-86 "Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate".

Με τετραμερισμό λαμβάνεται δείγμα άμμου, ποσότητας λίγο μεγαλύτερης από 1Kg. Ξεραίνεται στον κλίβανο μέχρι σταθερού βάρους και μετά βυθίζεται σε νερό για 15 ώρες. Απομακρύνουμε το πλεονάζον νερό προσέχοντας να μην έχουμε απώλεια των λεπτότερων κλασμάτων του υλικού. Στη συνέχεια απλώνουμε την άμμο σε μία απορροφητική επιφάνεια και με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα κουνάμε συνέχεια το υλικό μέχρι να στεγνώσει επιφανειακά. Αυτό γίνεται όταν το αδρανές φτάσει σε κατάσταση ελεύθερης ροής, γεγονός που διαπιστώνεται σύμφωνα με την παράγραφο 6.2.1. της προδιαγραφής αυτής. Ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφεται, υπολογίζουμε το φαινόμενο ειδικό βάρος (Apparent 5.6), το μικτό ειδικό βάρος (Bulk 5.6) και το μικτό ειδικό βάρος κορεσμένης ξηρής επιφάνειας (Bulk 5.6. S.S.D.).

Οι υπολογισμοί και τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής αναφέρονται στο κεφ. 5.1.1.2δ.

*Παρατήρηση: Οι δοκιμές του ειδικού βάρους και της υγρασίας απορρόφησης για τα χονδρόκοκκα και τα λεπτόκοκκα αδρανή έγιναν στο εργαστήριο ελέγχου υλικών "Α. Γκρίντζος - Α. Γιαννόπουλος".*

Ο προσδιορισμός του πλαστικού λεπτόκοκκου υλικού σε διαβαθμισμένα αδρανή, έγινε με τη δοκιμή του ισοδύναμου άμμου, σύμφωνα με την προδιαγραφή AASHTO T176-86 "Plastic Fines in Graded Aggregates and Soils by Use of the Sand Equivalent Test".

Σκοπός της μεθόδου αυτής είναι ο ταχύς εργοστασιακός έλεγχος για τον προσδιορισμό του ποσοστού της παιπάλης ή των λεπτόκοκκων αργιλωδών υλών σε διαβαθμισμένα αδρανή. Η εκτέλεση της δοκιμής απαιτεί και την παρουσίαση μητρικού διαλύματος πυκνού χλωριούχου ασβεστίου και στη συνέχεια διάλυση ποσότητας αυτού σε απεσταγμένο νερό για την παρασκευή διαλύματος δοκιμής. Η ανατάραξη του πλαστικού κυλίνδρου έγινε με τη μηχανική μέθοδο ανατάραξης (Mechanical Shaker Method), όπως περιγράφεται στην παράγραφο 5.3.1 της αντίστοιχης προδιαγραφής.

Μέγεθος Σημάτων	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
100	0.075	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5.0	10
150	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5.0	10	20
200	0.3	0.6	1.2	2.5	5.0	10	20	40
250	0.6	1.2	2.5	5.0	10	20	40	75
300	1.2	2.5	5.0	10	20	40	75	150
350	2.5	5.0	10	20	40	75	150	300
400	5.0	10	20	40	75	150	300	600
450	10	20	40	75	150	300	600	1200
500	20	40	75	150	300	600	1200	2400

Μέτρο λεπτόκοκκου άμμου = 14%

Πέρασμα στο 75 μm = 24,7% (από 100% άμμου 24,7%)

Πέρασμα στο 150 μm = 24,7% (από 100% άμμου 24,7%)

Πέρασμα στο 300 μm = 24,7% (από 100% άμμου 24,7%)

### 5.1.1.2. Αποτελέσματα ελέγχων αδρανών

#### α) Αποτελέσματα κοκκομετρικής διαβάθμισης

Τα τρία υλικά, σύμφωνα με τη συνταγή, είναι σε ποσοστά:

$$X = 36,6\% \quad \Gamma = 7,7\% \quad A = 55,7\%.$$

Άνοιγμα οπών κόσκινου	Διερχόμενα ποσοστά επί τοις εκατό (%)						Όρια περιεκτ. Δ (Κ.Τ.Σ.)	Αποτελ. μίγματος
	X (x36,6%)	Γ (x7,7%)	A (x55,7%)					
1 ½	100	36,60	100	7,7	100	55,7	-	100
1	95,75	35,04	100	7,7	100	55,7	95-100	98,44
¾	53,80	19,70	100	7,7	100	55,7	-	83,10
½	5,10	1,86	94,2	7,14	100	55,7	61-80	65,70
3/8	1,10	0,40	70,4	5,37	100	55,7	51-73	61,50
№ 4	0,50	0,18	12,3	0,94	97,44	54,3	33-56	55
№ 8	0,40	0,14	1,4	0,10	74,10	41,3	21-43	41,60
№ 16	0,30	0,10	1,0	0,07	48,50	27,0	12-32	27,20
№ 30	0,30	0,10	1,0	0,07	33,2	18,5	6-23	18,70
№ 50	0,30	0,10	1,0	0,07	24,4	13,6	3013	13,80
№ 70 (0,2)	0,30	0,10	1,0	0,07	21,4	11,9	1-10	21,10
№ 100	0,30	0,10	1,0	0,07	19,10	10,6	-	10,70
№ 200	0,30	0,10	1,0	0,07	15,70	8,7	-	8,90

Μέτρο λεπτότητας άμμου = 3,03.

Πέρασμα στο № 50 = 24,4%. Τα όρια του ACI 304 είναι 10-30%.

Πέρασμα στο № 100 = 19,0%. Τα όρια του ACI 304 είναι 5-10%.

Πέρασμα στο 0,2 Ελλ. = 21,4%. Το μέγιστο όριο του Κ.Τ.Σ.

§4.3.2.9B είναι 25%.

β) Εύρεση παιπάλης

- Χονδρόκοκκα αδρανή (μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό 1% Κ.Τ.Σ. §4.3.2.10).

- Χαλίκι

Φυσικό υλικό, ξερό σε κλίβανο = 4.984 gr

Πλυμένο υλικό, ξερό σε κλίβανο = 4.965 gr

Ποσοστό παιπάλης = 0,38%

- Γαρμπίλι

Φυσικό υλικό, ξερό σε κλίβανο = 2.184 gr

Πλυμένο υλικό, ξερό σε κλίβανο = 2.157 gr

Ποσοστό παιπάλης = 1,2%

- Λεπτόκοκκα αδρανή (μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό 16% Κ.Τ.Σ. §4.3.2.10).

- Άμμος

Φυσικό υλικό, ξερό σε κλίβανο = 475,9 gr

Πλυμένο υλικό, ξερό σε κλίβανο = 401,2 gr

Ποσοστό παιπάλης = 15,7%

γ) Υπολογισμός Φαινόμενου Βάρους χονδρόκοκκου αδρανούς (Φ.Βχ.)

Ο υπολογισμός του φαινόμενου βάρους του χονδρόκοκκου αδρανούς έγινε στο δοχείο μέτρησης της αεροπεριεκτικότητας, όπως περιγράφεται στο κεφ. 4.1.1.1δ.

1<sup>ο</sup> ζύγι (ίσως θέλει και λίγα χαλίκια για κάλυψη των κενών) = 12.393 gr

2<sup>ο</sup> ζύγι (μετά την πρόσθεση λίγων χαλικιών) = 12.418 gr

3<sup>ο</sup> ζύγι = 12.263 gr

Το φαινόμενο βάρος βρίσκεται με τη διαίρεση της μάζας του υλικού δια του όγκου του δοχείου.

SYNCHRONIC GRAVITY AND ABSORPTION

1<sup>ο</sup> ζύγι = 1,55

2<sup>ο</sup> ζύγι = 1,55

3<sup>ο</sup> ζύγι = 1,53

Θεωρούμε Φ.Βx = 1,55.

δ. Ειδικά Βάρη και απορροφητικότητες

Δίνονται στο έντυπο του εργαστηρίου ελέγχου υλικών "Α. Γκρίντζος - Α. Γιαννόπουλος"

Οι δοκιμές έγιναν για δύο δείγματα χαλκιού και για δύο δείγματα γαρμπιλιού. Αυτά σημειώνονται ως Α και Β από το κάθε είδος στην επάνω πίνακα. Για το λεπτόκοκκο υλικό τα αποτελέσματα δίνονται στο αντίστοιχο έντυπο.

Sample Material	A	B		
Surface Dried Material				
Absorption	B-A			
Immersion (after washing)	C			
Water Displacement (Appar)	A-D			
of Water Displacement (Dish)	E-C			
of Overflow Water	F			
Calculations				
% Absorption	$\frac{B-A}{A} \times 100$			
Sp. Gr. (appar)	$\frac{C}{D}$			
Sp. Gr. (Dish)	$\frac{E}{F}$			
Sp. Gr. (S&D)	$\frac{E}{F}$			

**A. GRINTZOS - A. YANNOPOULOS**

TEL. 8071647 - 8071390

TESTED BY:

DATE:

M.T.L.

W.O. No. ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ

DATE \_\_\_\_\_

**SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION**

		ΣΚΥΡΑ		ΓΑΡΜΗΛΙ	
		A	B	A	B
Dried Material	A	1766,4	1760,8	1249,9	1252,0
Surface Dried Material	B	1773,0	1768,0	1257,6	1259,8
Absorption	B-A	6,6	7,2	7,7	7,8
Imersed (after soaking)	C	1112,4	1109,4	788,8	791,5
Water Displace (Appar)	A-C	654,0	651,4	461,1	460,5
or Water Displace (Bulk)	B-C	660,6	658,6	468,8	468,3
or Overflow Water	D				
<u>Calculations</u>					
% Absorption	$\frac{B-A}{A} \times 100$	0,37	0,41	0,62	0,62
Sp. G. (Appar)	$\frac{A}{A-C}$	2,70	2,70	2,71	2,72
Sp. G. (Bulk)	$\frac{A}{B-C}$ or $\frac{A}{D}$	2,67	2,67	2,67	2,67
Sp. Gr. (S.S.D.)	$\frac{B}{B-C}$	2,68	2,68	2,68	2,69

Dried Material	A				
Surface Dried Material	B				
Absorption	B-A				
Imersed (after soaking)	C				
Water Displace (Appar)	A-C				
or Water Displace (Bulk)	B-C				
or Overflow Water	D				
<u>Calculations</u>					
% Absorption	$\frac{B-A}{A} \times 100$				
Sp. G. (Appar)	$\frac{A}{A-C}$				
Sp. G. (Bulk)	$\frac{A}{B-C}$ or $\frac{A}{D}$				
Sp. Gr. (S.S.D.)	$\frac{B}{B-C}$				

LAB. W.O. No. :

SAMPLE No : ΑΜΜΟΣ

SPEC. GRAVITY OF F.A.  
ASTM C-128-73

A = weight of oven dry sample (g)

B = weight of flask + water (500 ml) (g) at 23°C.

C = weight of flask + sample + water up to 500 ml mark, at 23°C (g).

$$\text{APPARENT SP. GR.} = \frac{A}{B+A-C} = \frac{2720}{\phantom{000}} = \text{Φαινόμενο βάρος ην βάσης}$$

$$\text{BULK SP. GR.} = \frac{A}{(B+500-C)} = \frac{2678}{\phantom{000}} = \text{Μικτό βάρος ην βάσης}$$

$$\text{S.S.D. SP. GR.} = \frac{500}{(B+500-C)} = \frac{2690}{\phantom{000}} = \text{Μ.Β. κορεσμένης ην βάσης}$$

$$\text{ABSORPTION} = \frac{500-A}{A} \times 100 = \frac{0560}{\phantom{000}} = \text{Απορροφητικότητα}$$

NOTES : 1. Take 500.0 g S.S.D. material

2. Flask No. : 2

A = 497,2 g.

B = 662,4 g.

C = 976,8 g.

### 5.1.2. Τσιμέντα

Όπως προαναφέρθηκε, κατά την εκτέλεση της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι τσιμέντων, το I/45 και το II/35. Η δειγματοληψία των απαιτούμενων ποσοτήτων έγινε την ίδια μέρα και για τους δύο τύπους τσιμέντων από το σιλοφόρο όχημα μεταφοράς από το εργοστάσιο παραγωγής στο εργοτάξιο (μονάδα παραγωγής ετοιμού σκυροδέματος της εταιρείας "ET BETON" στου Ρέντη).

Η δειγματοληψία έγινε κατευθείαν από τη "μάνικα" του σιλοφόρου μέσα στις πλαστικές σακούλες, στις οποίες φυλάχτηκε το τσιμέντο μέχρι τη χρησιμοποίησή του. Οι σακούλες κλείστηκαν αεροστεγώς και μεταφέρθηκαν στο χώρο του εργαστηρίου "ΠΕΤΥΛ" του ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ. Εκεί ήταν προφυλαγμένες από υγρασία και διατηρήθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια της φύλαξής τους σε σταθερή θερμοκρασία  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ . Στο εργαστήριο ανοίχτηκαν οι σακούλες και αφού ανακατεύθηκε το περιεχόμενό τους, λήφθηκε δείγμα ποσότητας γύρω στο 1 Kg από την κάθε μία από αυτές. Προφανώς όλη η διαδικασία έγινε χωριστά για τα δείγματα του τσιμέντου τύπου I από αυτά του τύπου II. Έτσι, συγκεντρώθηκαν δύο ποσότητες περίπου, από 8 Kg για τον κάθε τύπο τσιμέντου, που χρησίμευσαν για την εκτέλεση των δοκιμών ελέγχου του υλικού. Στη συνέχεια, οι αρχικές σακούλες κλείστηκαν αεροστεγώς και φυλάχθηκαν στις συνθήκες που προαναφέρθηκαν.

Τα τελικά δείγματα αυτά ομογενοποιήθηκαν μέσα στις πλαστικές σακούλες με συνεχή ανάδευση κυκλικά μέσα στον εγκλωβισμένο αέρα της σακούλας. Στη συνέχεια αφέθηκαν να ηρεμήσουν και μετά ανοίχτηκαν προσεκτικά για να μη φύγουν τα λεπτότερα κλάσματα των υλικών. Αφού έγινε οπτική εκτίμηση ύπαρξης συσ-



σωματωμάτων και ξένων υλών, το δείγμα θεωρήθηκε κατάλληλο για περαιτέρω έλεγχο. Το εργαστήριο "ΠΕΤΥΛ" μέσα στο οποίο έγιναν όλες οι δοκιμές ανταποκρινόταν στις απαιτήσεις του "Κανονισμού Τσιμέντων για Έργα από Σκυρόδεμα" Π.Δ. 244/29.2.89 (ΦΕΚ 69Α/28.3.80). Δηλαδή, είχε θερμοκρασία  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  και σχετική υγρασία 65%. Οι δοκιμές που περιγράφονται στη συνέχεια, έχουν γίνει ακολουθώντας τις διαδικασίες που αναφέρονται στον "Κανονισμού Τσιμέντων για Έργα από Σκυρόδεμα", απαίτηση και του Κ.Τ.Σ. παρ. 4.2.

Όλοι οι έλεγχοι που περιγράφονται στη συνέχεια έχουν γίνει για κάθε τύπο τσιμέντου χωριστά (I/45, II/35), καθώς και για ανάμιγμα αυτών σε αναλογία I/II=37/63. Η αναλογία αυτή προέκυψε από τις απαιτήσεις της σύνθεσης, αφού προϋπολογίσθηκε η απαιτούμενη ποσότητα του μίγματος (I, II) που απαιτείται για την εκτέλεση των δοκιμών. Η ανάμιξη έγινε μέσα σε κοινή σακούλα όπου τοποθετήθηκαν ποσότητες με την προαναφερθείσα αναλογία. Αφού το δείγμα ανακατεύθηκε καλά με σέσουλα μέσα στη σακούλα, στη συνέχεια εγκλωβίστηκε αέρας και με συνεχείς κυκλικές αναταράξεις, ανακατεύθηκε για 5'. Στη συνέχεια το δείγμα αφέθηκε να ηρεμήσει χωρίς να ανοιχτεί η σακούλα (κατακάθιση ψιλών κλασμάτων που αιωρούνται). Μετά το πέρας 5' ανοίχτηκε προσεκτικά η σακούλα. Η όλη διαδικασία επαναλήφθηκε τρεις φορές. Μετά την τρίτη φορά ελήφθησαν τα απαιτούμενα δείγματα για την εκτέλεση των δοκιμών. Ο ζυγός που χρησιμοποιήθηκε ήταν Stanton, μέγιστου φορτίου 1000 Kg και ακρίβειας 0,01 gr.

Μία μηχανική δοκιμασία του τσιμέντου είναι ο προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη και κάμψη. Η δοκιμή αυτή έγινε όπως περιγράφεται στον κανονισμό με τη χρησιμοποίηση πρότυπης άμμου AFNOR NF P 15-403. Κατασκευάστηκαν 3 μήτρες, μία για κάθε τύπο (I, II,

I+II) και το κάθε ένα από τα τρία πρίσματα έσπασε στις 2, στις 7 και στις 28 ημέρες, αντίστοιχα. Η παρασκευή, η συντήρηση και η θραύση των δοκιμίων έγινε στο εργαστήριο ελέγχου τσιμέντων του ΚΕΔΕ ΥΠΕΧΩΔΕ. Τα αποτελέσματα δίνονται στο κεφ. 5.1.2.1γ.

Στις φυσικές δοκιμασίες του τσιμέντου είναι η παρασκευή κανονικού τσιμεντοπολτού. Σκοπός της μεθόδου αυτής είναι ο καθορισμός του τρόπου προσδιορισμού της ποσότητας του νερού για την παρασκευή τσιμεντοπολτού κανονικής συνεκτικότητας, ο οποίος χρησιμοποιείται για τις δοκιμασίες προσδιορισμού χρόνου πήξεως. Ως κανονικός τσιμεντοπολτός, σύμφωνα με τον "Κανονισμού Τσιμέντων για Έργα από Σκυρόδεμα", ορίζεται εκείνος που κατά τη δοκιμή συνεκτικότητας δίνει απόσταση εμβόλου - πλάκας στήριξης  $6 \pm 1$  mm. Η αντίστοιχη ποσότητα νερού που αναμιγνύεται με 500 gr τσιμέντο για την παρασκευή κανονικού τσιμεντοπολτού είναι το νερό της κανονικής συνεκτικότητας.

Η δοκιμή αυτή έγινε σύμφωνα με τις διαδικασίες που περιγράφει ο κανονισμός των κολουροκωνικών μητρών. Οι πλάκες στήριξης ήταν γυαλιά κυκλικής διατομής 90 mm και πάχους 6 mm και μ' αυτές έγινε ο μηδενισμός της ένδειξης του χαλίβδινου δίσκου της συσκευής Vicat.

Ο προσδιορισμός των χρόνων πήξεως (αρχής και τέλους) έγινε με τη βοήθεια της αυτόματης συσκευής Vicat, η οποία έπαιρνε μετρήσεις κάθε 10' στην αρχή και κάθε 5' όσο πλησίαζαμε στο χρόνο αρχής πήξης. Όταν δηλαδή, η απόσταση της βελόνας αρχής πήξης ως την πλάκα στήριξης (γυαλί πάχους 6 mm) ήταν  $5 \pm 1$  mm.

Στη συνέχεια γυρίσαμε ανάποδα την κολουροκωνική μήτρα, τοποθετήσαμε τη βελόνα τέλους πήξης στη συσκευή και παίρναμε μετρήσεις στην αρχή κάθε 30' και μετά κάθε 10'. Όταν η βελόνα

βυθίστηκε στον τσιμεντοπολτό 0,5 mm για πρώτη φορά, έχουμε το χρόνο τέλους πήξης.

Αποτελέσματα στο κεφ. 5.1.2.1α.

Ο προσδιορισμός της λεπτότητας του τσιμέντου με τη συσκευή αεροδιαπερατότητας Blaine έγινε όπως περιγράφεται στον "Κ.Τ.". Η λεπτότητα του τσιμέντου εκφράζεται σαν ειδική επιφάνεια, η οποία είναι το συνολικό εμβαδόν, σε  $\text{cm}^2$ , της επιφάνειας των κόκκων ενός γραμμαρίου τσιμέντου. Η συσκευή αεροδιαπερατότητας Blaine δίνει, ουσιαστικά, τη δυνατότητα διέλευσης καθορισμένης ποσότητας αέρα από στρώμα τσιμέντου με καθορισμένο πορώδες. Ο αριθμός και το μέγεθος των πόρων σε ένα στρώμα τσιμέντου με ορισμένο πορώδες, είναι συνάρτηση του μεγέθους των κόκκων και καθορίζει την ταχύτητα ροής του αέρα μέσα από το στρώμα.

Η συσκευή βαθμονομήθηκε στο εργαστήριο ελέγχου τσιμέντων του ΚΕΔΕ ΥΠΕΧΩΔΕ. Τα αποτελέσματα αναφέρονται στο κεφ. 5.1.2.1δ.

Η εύρεση της πυκνότητας του τσιμέντου γίνεται βάσει της προδιαγραφής AASHTO T133-86 "Density of Hydraulic cement". Η δοκιμή γίνεται με τη βοήθεια της φλάσκας Le Chatellier η οποία είναι όπως περιγράφεται στην παράγραφο 3 της προδιαγραφής αυτής και όπως φαίνεται στο Σχ. 14, κεφ.4.1.4. Η μέτρηση της πυκνότητας του υλικού έγινε από δείγματα που λήφθηκαν από τις αναμεμιγμένες τελικές ποσότητες των 8 Kg, που περιγράφηκε στο κεφ. 5.1.2. Το υγρό που χρησιμοποιήθηκε ήταν κηροζίνη και η όλη δοκιμή έγινε σε λουτρό ύδατος σταθερής θερμοκρασίας 20,5°C.

Ο υπολογισμός και τα αποτελέσματα αναφέρονται στο κεφ. 5.1.2.1β.

Ο προσδιορισμός της επιμήκυνσης του τσιμέντου με το αυτόκλειστο έγινε σύμφωνα με την προδιαγραφή AASHTO T107-86 "Autoclave expansion of Portland Cement". Ο σκοπός της δοκιμής αυτής είναι να ελέγξει την πιθανή επιμήκυνση του τσιμεντοπολτού που οφείλεται στην ενυδάτωση του CaO ή του MgO ή και των δύο ταυτόχρονα. Με τη διαδικασία του αυτόκλειστου επιτυγχάνονται συνθήκες ταχείας γήρανσης του τσιμεντοπολτού, οπότε μέσα σε λίγες ώρες ξέρουμε αποτελέσματα από αντιδράσεις που θα λάμβαναν χώρα μετά από πολύ καιρό.

Επειδή στον Ελληνικό Κανονισμό Τσιμέντων η δοκιμή αυτή δεν περιγράφεται, η παρασκευή του τσιμεντοπολτού και η εύρεση της συνεκτικότητάς του έγιναν σύμφωνα με τις Αμερικανικές Προδιαγραφές AASHTO T162-84 "Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency" και T129-85 "Normal consistency of Hydraulic Cement" αντίστοιχα, τα βασικά σημεία των οποίων αναφέρονται στη συνέχεια.

Η παρασκευή του τσιμεντοπολτού σύμφωνα με το AASHTO T129-85 "Normal consistency of Hydraulic Cement" γίνεται με ανάμιξη 650 gr τσιμέντου και νερού τέτοιας ποσότητας, ώστε μετά την ανάμιξη του μίγματος και την τοποθέτησή του στην συσκευή Vicat, η ράβδος να σταματήσει σε απόσταση  $10 \pm 1$  mm κάτω από την αρχική επιφάνεια του τσιμεντοπολτού. Στην αναλογία αυτή έχουμε κανονική συνεκτικότητα.

Η ανάμιξη του μίγματος όπως αναφέρεται στην προδιαγραφή AASHTO T162-84 "Mechanical mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic consistency". Η δοκιμασία της ανάμιξης τσιμεντοπολτού έχει ως εξής:

1. Βάζουμε το νερό στο δοχείο.
2. Προσθέτουμε το τσιμέντο και αφήνουμε 30 sec για την απορρόφηση του νερού.
3. Αρχίζουμε ανάμιξη στην χαμηλή ταχύτητα ( $140 \pm 5$  rpm) για 30 sec.
4. Σταματάμε την ανάμιξη για 15 sec και ανακατεύουμε το μίγμα κατά τη διάρκεια αυτών.
5. Ξαναανακατεύουμε στην υψηλή ταχύτητα ( $285 \pm 10$  rpm) για 4'.

Στο Σχ. 20 του κεφ. 4.1.4. δίνονται οι απαιτήσεις από τον Ελληνικό και Αμερικανικό κανονισμό για τον υποδοχέα και το μίκτρο. Όπως φαίνεται οι διαφορές στις διαστάσεις είναι πολύ μικρές. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στο εργαστήριο ήταν σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό.

Παρατηρήθηκε ότι κατά την πλήρωση της διπλής μήτρας διαστάσεων 25x25x285 mm η ποσότητα του τσιμεντοπολτού που προκύπτει από ανάμιξη 650 gr τσιμέντου με το ανάλογο νερό δεν είναι αρκετή. Για το λόγο αυτό παρασκευάστηκε τσιμεντοπολτός από 800 gr τσιμέντο και το απαιτούμενο νερό. Στη συνέχεια ακολουθήθηκε η διαδικασία όπως περιγράφεται στις παραγράφους 9 και 10 της προδιαγραφής T107.

#### 5.1.2.1. Αποτελέσματα ελέγχου τσιμέντων

##### *α) Εύρεση συνεκτικότητας*

Τσιμέντο τύπου I/45 : Νερό = 127 gr

Τσιμέντο τύπου II/35 : Νερό = 134 gr

Ανάμιγμα τσιμέντων I/45 και II/35 σε αναλογία I/II = 33/67

Νερό 130 gr

β) Εύρεση ειδικών βαρών με τη φλάσκα Le Chatellier

	V <sub>αρχ.</sub>	V <sub>τελ.</sub>	Β <sub>αρχ.</sub>	Β <sub>τελ.</sub>	ε
I/45	0,70	20,2	476,4	536,2	3,07
II/35	0,75	19,75	468,9	523,6	2,88
I-II	0,60	19,90	415,7	472,4	2,94

Τύπος εύρεσης ειδικού βάρους (ε) =  $\frac{Β_{τελ}-Β_{αρχ}}{V_{τελ}-V_{αρχ}}$

γ) Αποτελέσματα θραύσης δοκιμών σε θλίψη και κάμψη σε Kg/cm<sup>2</sup>

	2 Ημέρες		7 Ημέρες		28 Ημέρες	
	Κάμψη	Θραύση	Κάμψη	Θραύση	Κάμψη	Θραύση
I/45	30	<u>135,6</u> 140,7	44	<u>238,7</u> 241,7	68	<u>377,4</u> 375,4
II/35	44	<u>202</u> 199	62	<u>341,7</u> 336,6	82	<u>470</u> 466
I-II	33	<u>165,2</u> 161,1	54	<u>291,7</u> 287,6	73	<u>389,6</u> 392,7

δ) Εύρεση ειδικής επιφάνειας (Blaine)

Ποσότητα τσιμέντου = 2,97 gr

Χρόνος = 65 sec

Ειδική Επιφάνεια = 4210

### 5.1.3. Νερό

Το νερό που χρησιμοποιήθηκε για όλες τις αναμίξεις του σκυροδέματος ήταν κοινό νερό βρύσης, η θερμοκρασία του οποίου καταγράφεται πριν την κάθε δοκιμή.

### 5.1.4. Ρευστοποιητής

Για την αύξηση της κάθισης χρησιμοποιήθηκε πρόσθετο ρευστοποιητικό τύπου 105-R.

## 6. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

### 6.1. Απόφαση ποσότητας παραγωγής αναμίγματος

Η ποσότητα του σκυροδέματος που αποφασίστηκε να παράγεται σε κάθε ανάμιγμα, προέκυψε βάσει του ακόλουθου συλλογισμού:

Ο εργαστηριακός αναμικτήρας είναι περιεκτικότητας 50lt. Παρατηρήθηκε μετά από δοκιμαστικά αναμίγματα ότι η βέλτιστη ποσότητα απόδοσής του είναι 27-32lt. Οι Γάλλοι στην προδιαγραφή NF P18-404 συνιστούν να εκμεταλλευόμαστε το 25% της χωρητικότητας του αναμικτήρα και οι Αμερικάνοι στο AASHTO T126, note 3, προτείνουν "Somewhat less than the max capacity", δηλαδή "κάτι λιγότερο από τη μέγιστη χωρητικότητα".

Όπως έχει υπολογισθεί, ο κώνος του Abrams που χρησιμοποιούμε στη δοκιμή της κάθισης χρειάζεται για την πλήρωσή του ποσότητα σκυροδέματος ίση με 8lt περίπου. Η δοκιμή του Φ.Β. που εκτελείται στο δοχείο της συσκευής μέτρησης της αεροπεριεκτικότητας για λόγους που αναφέρονται παρακάτω, χρειάζεται άλλα 8lt. Επίσης, αποφασίστηκε ότι η λήψη των δοκιμών θα γίνει σε μήτρες διαστάσεων 15x15x15 και η ποσότητα αυτών θα είναι 5 δοκίμια. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι από τον πίνακα 3.4.1. του A.C.I. 214 τα 5 δοκίμια έχουν συντελεστή ανασφάλειας 0,4299 στον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης μέσα στο ανάμιγμα (within test standard deviation). Αντίθετα στις περιπτώσεις των 2 ή 3 δοκιμών, οι αντίστοιχοι συντελεστές είναι σχεδόν διπλάσιοι. Επίσης, αποφασίζοντας να κάνουμε περισσότερα δοκίμια φεύγουμε από την περιοχή βέλτιστης απόδοσης του αναμικτήρα. Έτσι, αθροίζοντας τις απαιτούμενες ποσότητες  $8+8+5 \times 3375 \approx 32$  lt αποφασίστηκε να δουλεύουμε με ποσό-

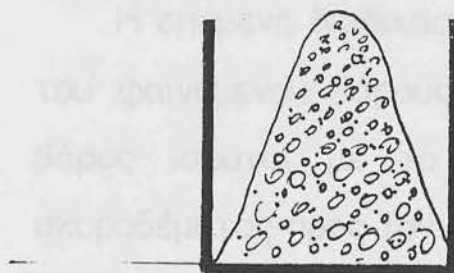


τητα ίση με 32lt σε κάθε ανάμιγμα. Για το λόγο αυτό η συνταγή που είχε υπολογισθεί από τη μελέτη σύνθεσης, μετατράπηκε σε ποσότητες που να μας δίνουν όγκο σκυροδέματος 32 lt.

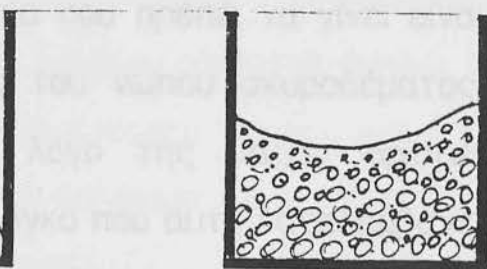
## 6.2. Περιγραφή πειραματικής εκτέλεσης ελέγχων σκυροδέματος

Οι εργαστηριακές δοκιμές που γίνονται για τον έλεγχο του σκυροδέματος είναι οι εξής: εύρεση κάθισης και φαινόμενου βάρους, μέτρηση αεροπεριεκτικότητας και λήψη δοκιμίων για έλεγχο αντοχής. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε για την εκτέλεση των δοκιμών, περιγράφεται στη συνέχεια.

Πριν ξεκινήσει η ζύγιση των αδρανών υγραινόταν ο κάδος του αναμκτήρα με σφιχτά στυμμένο σφουγγάρι, έτσι ώστε να μην απορροφηθεί μέρος υγρασίας των αδρανών όταν αυτά έρθουν σε επαφή με τη στεγνή επιφάνεια του κάδου. Στη συνέχεια γινόταν η ζύγιση των υλικών σύμφωνα με τη συνταγή, με ακρίβεια γραμμαρίου. Η σειρά τοποθέτησης των υλικών μέσα στον αναμκτήρα ήταν η εξής: πρώτα τα χονδρόκοκκα αδρανή και μετά η άμμος, έτσι ώστε να μη μείνει η λεπτόκοκκη άμμος κολλημένη στα τοιχώματα και τον πάτο του αναμκτήρα. Στη συνέχεια επειδή μετά την τοποθέτηση της άμμου είχε δημιουργηθεί "ύψωμα" (Σχ. 21) και το τσιμέντο θα σκορπιζόταν στις άκρες, ανοιγόταν "λακούβα" στην οποία έμπαινε το τσιμέντο (Σχ. 22). Με τον τρόπο αυτό κατά την ανάμιξη περιοριζόταν η διασπορά των λεπτότερων κλασμάτων του τσιμέντου στην ατμόσφαιρα, αφού λόγω της κατασκευής του αναμκτήρα δεν ήταν δυνατή η κάλυψη της επάνω επιφάνειάς του με σακούλα ή άλλο καπάκι. Στη συνέχεια ζυγιζόταν το νερό και ο ρευστοποιητής, ο οποίος διαλυόταν στο νερό.



Σχ. 21.



Σχ. 22.

Ο αναμικτήρας ήταν μονοφασικός, οπότε δεν γινόταν ξηρή ανάμιξη, όπως αναφέρεται στη Γαλλική προδιαγραφή NF P 18-404. Έτσι, η προσθήκη του νερού με τον ρευστοποιητή γινόταν παράλληλα με το κατέβασμα των μαχαιριών του αναμικτήρα.

Το νερό έπεφτε στη σημείο που συγκεντρωνόταν το περισσότερο υλικό κατά την περιστροφή του αναμικτήρα, δηλαδή ανάμεσα στο κέντρο (που ήταν τα μαχαίρια) και τα τοιχώματα. Με τον τρόπο αυτό το νερό κατανέμετο σε όλα τα σημεία του αναμίγματος χωρίς απώλειες επάνω στα μεταλλικά μέρη του οργάνου. Μετά την προσθήκη όλων των υλικών (χρόνος 0) η ανάμιξη διαρκούσε για 3'. Πριν την έναρξη της ανάμιξης παίρναμε τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και του νερού και αμέσως μετά τη λήξη της τη θερμοκρασία του σκυροδέματος.

Στη συνέχεια και αφού είχαμε υγράνει τον κώνο της κάθισης, τη ράβδο και την επίπεδη στερεή επιφάνεια επάνω στην οποία εκτελείται η δοκιμή, ακολουθούμε τη διαδικασία που περιγράφεται στην προδιαγραφή Σ.Κ. 309.

Λαμβάνοντας δείγματα από τον αναμικτήρα προσέχουμε έτσι ώστε αυτά να είναι αντιπροσωπευτικό της όλης ποσότητας από όλα τα σημεία του αναμίγματος.

Η επόμενη διαδικασία που πρέπει να γίνει είναι ο υπολογισμός του φαινόμενου βάρους του νωπού σκυροδέματος. Το φαινόμενο βάρος ισούται με το λόγο της μάζας ορισμένης ποσότητας σκυροδέματος προς τον όγκο που αυτή καταλαμβάνει. Η δοκιμή αυτή γίνεται στο δοχείο της συσκευής μέτρησης αεροπεριεκτικότητας του οποίου ο όγκος είναι γνωστός (καλιμπράρισμα, κεφ. 4.2.). Επειδή η ζύγιση του δοχείου γεμάτου με σκυρόδεμα (βάρος >20 Kg) δεν μπορεί να γίνει στο ζυγό που έχουμε διαθέσιμο, η διαδικασία γίνεται με διαφορά βαρών ως εξής:

Γεμίζουμε μία επίπεδη στερεή επιφάνεια με δείγμα, που έχει ληφθεί ομοιόμορφα, ποσότητας περίπου 20 Kg. Στη συνέχεια ζυγίζουμε το υλικό και τα όργανα που θα χρησιμοποιήσουμε κατά την εκτέλεση του πειράματος (σέσουλα, μυστρί, ράβδος) και κρατάμε το ζύγι. Υγραίνουμε με σφιχτά στυμμένο σφουγγάρι το εσωτερικό του δοχείου και τοποθετούμε το δοχείο επάνω σε μια επιφάνεια σκληρή και καθαρή. Με τη σέσουλα που ζυγίσαμε τοποθετούμε υλικό στο δοχείο σε τρεις ισοϋψείς στρώσεις και συμπυκνώνουμε με τη ράβδο 25 κτύπους κάθε στρώση, όπως περιγράφεται και στη δοκιμή μέτρησης αεροπεριεκτικότητας που θα ακολουθήσει στη συνέχεια για την ίδια ποσότητα. Κατά τη μεταφορά του υλικού από την επίπεδη επιφάνεια στο δοχείο προσέχουμε έτσι ώστε να μην έχουμε απώλειες από την ήδη ζυγισμένη ποσότητα του σκυροδέματος. Μετά τη συμπύκνωση και της τρίτης στρώσης συμπληρώνουμε με υλικό και επιπεδώνουμε την επιφάνεια. Στη συνέχεια καθαρίζουμε το στόμιο (χείλια) του δοχείου και μαζεύουμε το υλικό που έχει πέσει στην επιφάνεια γύρω από το δοχείο και το τοποθετούμε μαζί με το υλικό που έχουμε προζυγίσει. Ζυγίζουμε το υπόλοιπο υλικό και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν και κρατάμε τη δεύτερη μέτρηση. Η διαφορά

των δύο ζυγίσεων μας δίνει τη μάζα του σκυροδέματος που απαιτείται για την περάτωση δοχείου γνωστού όγκου. Έτσι, διαιρώντας με τον όγκο του δοχείου βρίσκουμε το φαινόμενο βάρος του νωπού σκυροδέματος και το συγκρίνουμε με αυτό που είχε υπολογιστεί κατά τη μελέτη της σύνθεσης.

Αφού έχουμε καθαρίσει το στόμιο του δοχείου, τοποθετούμε το επάνω μέρος της συσκευής, που περιέχει το μανόμετρο, και κουμπώνουμε σταυρωτά. Προσέχουμε να ακουμπάει καλά στο στόμιο του δοχείου, έτσι ώστε να μπορέσει να εγκλωβιστεί ο αέρας χωρίς απώλειες. Η δοκιμή μέτρησης της αεροπεριεκτικότητας γίνεται βάσει της προδιαγραφής AASHTO T152 "Air Content of Pressure Method" βάσει της οποίας είναι κατασκευασμένη και η συσκευή μέτρησης (δοχείο+καπέλλο type B meter). Μετά την εκτέλεση της διαδικασίας διαβάζουμε στο μανόμετρο το ποσοστό επί τοις εκατό του αέρα στο σκυρόδεμα.

Στη συνέχεια παρασκευάζουμε τα δοκίμια σύμφωνα με την προδιαγραφή Σ.Κ. 303 με τη διαδικασία του ραβδισμού (rodding) σε χρόνο <math><30'</math>. Μετά την παρασκευή τους, τα δοκίμια καλύπτονται με λινάτσα υγρή και πάνω της τοποθετείται σιδερένια λαμαρίνα μη απορροφητική για τη διατήρηση της υγρασίας και την αποφυγή επιφανειακής ξήρανσης του σκυροδέματος. Το ξεκαλούπωμα γίνεται 24 ώρες μετά την παρασκευή τους. Αμέσως μετά ζυγίζονται και μεταφέρονται τυλιγμένα σε υγρές λινάτσες στο θάλαμο υγρασίας όπου θα συντηρηθούν για 28 ημέρες. Ο θάλαμος ήταν του ΚΕΔΕ ΥΠΕΧΩΔΕ με σταθερή θερμοκρασία  $T=20\pm 22^{\circ}\text{C}$  και σχετική υγρασία  $Y>90\%$  όπως περιγράφεται στη Σ.Κ. 303.

Μετά από 28 ημέρες παραμονής τους στο θάλαμο, τα δοκίμια έβγαιναν σε χρονικό διάστημα λιγότερο της μιας ώρας πριν τη θραύ-

ση τους και ζυγίζονταν. Η θραύση γινόταν στην πρέσσα του ΚΕΔΕ ΥΠΕΧΩΔΕ. Η τοποθέτηση των δοκιμών γινόταν σύμφωνα με την προδιαγραφή Σ.Κ. 304 προσέχοντας ώστε:

- α) Η ελεύθερη επιφάνεια του δοκιμίου, που δεν είναι τόσο επίπεδη, να μην έρχεται σε επαφή με τις επιφάνειες της πρέσσας που επιβάλλουν το φορτίο θραύσης.
- β) Ο κεντρικός άξονας επιβολής του φορτίου να περνάει από το κέντρο του δοκιμίου. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση του δοκιμίου, έτσι ώστε οι άκρες του να βρίσκονται και οι 4 στον ίδιο ομόκεντρο κύκλο από αυτούς που βρίσκονται επάνω στην επιφάνεια έδρασης του δοκιμίου επάνω στην πρέσσα.

Οι τιμές της θραύσης των δοκιμών αναφέρονται στους Πίνακες IV και V.

### 6.3. Διαδικασία πειραματικής εκτέλεσης

1. Υγραίναμε με σφιχτά στυμμένο σφουγγάρι τον αναμκτήρα.
2. Ζυγίζαμε τα αδρανή και τα τσιμέντα με ακρίβεια γραμμαρίου και τοποθετούσαμε τα υλικά στον αναμκτήρα με την εξής σειρά: χαλίκι, γαρμπίλι, άμμος. Κάναμε μια τρύπα στη μέση και εκεί τοποθετούσαμε τα δύο τσιμέντα.
3. Παίρναμε θερμοκρασία περιβάλλοντος στο χώρο του εργαστηρίου που γινόταν το πείραμα.
4. Σε πλαστικό κουβά, αφού τον είχαμε γεμίσει και αποχύσει, παίρναμε απόβαρο. Η ζύγιση του νερού γινόταν σε αυτόν τον κουβά, του οποίου το απόβαρο ελεγχόταν πάντα μετά την αποχύση του νερού μέσα στον αναμκτήρα και καταγράφονταν τυχόν

διαφορά στα γραμμάρια του νερού που είχαν τοποθετηθεί στον αναμικτήρα.

5. Παίρναμε θερμοκρασία νερού.
6. Ζυγίζαμε την ποσότητα του ρευστοποιητή παίρνοντας το απόβαρο του δοκιμαστικού σωλήνα μέσα στον οποίο γινόταν η ζύγιση συν του ρευστοποιητή που είχαμε από πριν αποχύσει.
7. Αδειάζαμε το ρευστοποιητή στον κουβά με το ζυγισμένο νερό. Ανακατεύαμε χωρίς απώλειες νερού ή ρευστοποιητή.
8. Ξεκινάγαμε την ανάμιξη του μίγματος προσθέτοντας κατευθείαν την ποσότητα του νερού και κατεβάζοντας σιγά-σιγά τα μαχαίρια για χρόνο 10-20 sec έως ότου κατέβουν εντελώς στον πάτο του αναμικτήρα. Η απόχυση του νερού και του ρευστοποιητή γινόταν με σταθερό ρυθμό και για χρόνο περίπου 20-30 sec ρίχνοντάς το γύρω-γύρω στον αναμικτήρα. Το νερό και ο ρευστοποιητής δεν έπεφτε στο κέντρο του μίγματος, ούτε επάνω στα μαχαίρια του αναμικτήρα.
9. Η διάρκεια της ανάμιξης ήταν 3 λεπτά από την ώρα που είχε τελειώσει η προσθήκη του νερού και ρευστοποιητή.
10. Μετά το τέλος της ανάμιξης βάζουμε το θερμόμετρο στο σκυρόδεμα.
11. Υγραίνουμε με σφιχτά στυμμένο σφουγγάρι τον κώνο, τη ράβδο και τη σέσουλα.
12. Ξεκινάμε τη δοκιμή της κάθισης όπως περιγράφεται στο Σ.Κ. 309, παίρνοντας δείγμα απ' όλα τα σημεία του αναμίγματος.
13. Παίρνουμε θερμοκρασία σκυροδέματος εντός του αναμικτήρα.
14. Γεμίζουμε δύο μεγάλα ταψιά και τα ζυγίζουμε στη ζυγαριά.

15. Τοποθετώ το δοχείο υγρό του αέρα σε ένα ταψί για να μπορώ να μεταφέρω ό,τι πέσει.
16. Γεμίζουμε το δοχείο του αέρα σε τρεις στρώσεις με 25 ραβδίσματα σύμφωνα με Σ.Κ. 311, παίρνοντας υλικό μόνο μέσα από τα ταψιά και προσθέτοντας ξανά ό,τι πέσει απ' έξω μέσα. Επίσης, καθαρίζω τις σέσουλες και τα μυστριά που χρησιμοποίησα από τυχόν υλικό που έχει κολλησει επάνω τους και το τοποθετώ μέσα στα ταψιά.
17. Παίρνω το απόβαρο των ταψιών κι έτσι υπολογίζω την ποσότητα (μάζα) νωπού σκυροδέματος που χρειάζεται για την πλήρωση του δοχείου αέρα. Γνωρίζοντας τον όγκο του δοχείου (ο υπολογισμός του όγκου περιγράφηκε κεφ. 4.2.) βρίσκω το φαινόμενο βάρος του νωπού σκυροδέματος.
18. Μετρώ την αεροπεριεκτικότητα όπως περιγράφεται στη Σ.Κ. 311.
19. Με το υλικό του αναμικτήρα γεμίζω 5 μήτρες παίρνοντας υλικό από κάθε σημείο του αναμικτήρα και γεμίζοντας τις μήτρες κυκλικά, μία-μία. Η συμπύκνωση γίνεται με ράβδο σύμφωνα με την Σ.Κ. 303.
20. Καλύπτω τις μήτρες με υγρές πετσέτες και τις σκεπάζω με λαμαρίνες.
21. Μετά το πέρας 24 ωρών γίνεται το ξεκαλούπωμα.
22. Ζυγίζω τα δοκίμια στη ζυγαριά και σημειώνω τυχόν αστοχίες στη συμπύκνωση.
23. Τα μεταφέρω στο ΚΕΔΕ χωρίς κραδασμούς τυλιγμένα σε υγρές πετσέτες.

24. Τοποθετούνται κατευθείαν στο θάλαμο υγρασίας όπου μένουν για 28 ημέρες.

25. Βγαίνουν από το θάλαμο πριν τη θραύση, ζυγίζονται και τοποθετούνται στην πρέσσα όπως αναφέρεται στη Σ.Κ. 304. Μετά την πραγματοποίηση της θραύσης παίρνω τις τιμές των αποτελεσμάτων (τάσεις θραύσης).



## 7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 7.1. Αποτελέσματα Συνταγής Αναμίγματος

Κατά τη διάρκεια αυτής της πτυχιακής εργασίας, όπως έχει προαναφερθεί, εκτελέσθηκαν 15 αναμίγματα βάσει της ίδιας συνταγής και με τις ίδιες ακριβώς πειραματικές διαδικασίες. Επειδή η φυσική υγρασιών των αδρανών διέφερε από μέρα σε μέρα, οι τελικές συνταγές επί ξηρού είχαν μικρές διαφορές ως προς την τελική ποσότητα του κάθε αδρανούς. Από αυτές επελέγη μία, η πιο αντιπροσωπευτική, βάσει της οποίας γίνεται η διερεύνηση των αποτελεσμάτων. Αναλυτικά όλες οι συνταγές δίνονται στον Πίνακα II.

Το ποσοστό του αέρα σε όλα τα αναμίγματα βρέθηκε ότι κατά μέσο όρο ήταν 14% μετά τη διόρθωση και το καλιμπράρισμα της βελόνας στη συσκευή μέτρησης της αεροπεριεκτικότητας, διαδικασία που περιγράφεται στο κεφ. 5.2.

Χρήσιμοι ορισμοί για την κατανόηση των περαιτέρω υπολογισμών, είναι οι ακόλουθοι:

*Παρατήρηση Πρέπει να σημειωθεί ότι όπου αναφερόμαστε σε ειδικά βάρη εννοούμε τα σχετικά με τα ειδικά βάρη, δηλαδή το λόγο μάζας υλικού προς τον αντίστοιχο όγκο νερού που καταλαμβάνει.*

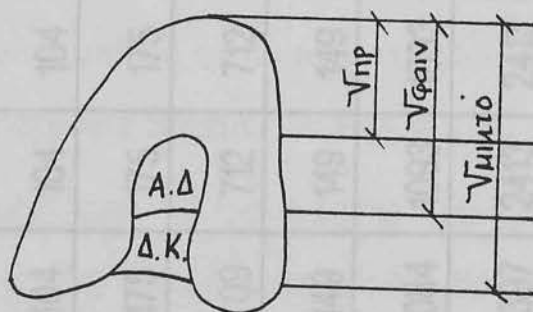
Ως Φαινόμενο Ειδικό Βάρος (Φ.Ε.Β.) ορίζεται ο λόγος της μάζας υλικού ξερού σε κλίβανο ως προς τη μάζα του νερού ίσου όγκου με το αδρανές μαζί με τα αδιάβρεκτα κενά.

Ως Μικτό Ειδικό Βάρος (Μ.Ε.Β.) ορίζεται ο λόγος της μάζας υλικού ξερού σε κλίβανο προς τη μάζα νερού ίσου όγκου με το αδρανές

μαζί με τα αδιάβρεκτα κενά μέχρι την περατωτική επιφάνεια του κόκκου.

Ως Μ.Ε.Β. κεκορεσμένης ξηρής επιφάνειας (MEB SSP) ορίζεται ο λόγος της μάζας του υλικού κορεσμένου με νερό προς νερό ίσου όγκου με το μικτό όγκο.

Ως Μικτός Όγκος ορίζεται ο όγκος που περιλαμβάνει αδρανές και αδιάβρεκτα κενά (ΑΚ) και διαβρεκτά κενά (ΔΚ) μέχρι την περατωτική επιφάνεια του κόκκου (Σχ. 23).



Σχ. 23. Κόκκος αδρανούς

Στο Σχ. 23 βλέπουμε μια σχηματική παράσταση ενός κόκκου με τα αδιάβρεκτα και τα διαβρεκτά. Ως  $V_{\pi}$  ορίζεται ο πραγματικός όγκος και είναι ο όγκος που θα καταλάμβανε το υλικό αν θρυμματιζόνταν και γινόταν πούδρα και δεν υπήρχαν κενά ανάμεσα στους θρυμματισμένους κόκκους. Ως  $V_{\phi\alpha\iota\nu}$  ορίζεται ο φαινόμενος όγκος (ΦΕΒ). Ως  $V_{\mu\iota\kappa}$  ορίζεται ο μικτός όγκος (ΜΕΒ) που χωρίζεται σε ΜΕΒ ξηρής βάσης και κορεσμένης ξηρής επιφάνειας.

Πίνακας II

Σχέδιο Συνταγής		Πραγματοποιηθείσες συνταγές επί ξηρού (Kg/m <sup>3</sup> )														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
N	175	184	183	179	179	180	176	176	180	180	181	181	181	181	177	178
TI	103	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104
TII	173	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
X	707	714	712	710	710	710	709	709	712	712	711	711	711	709	709	709
Γ	148	150	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149
A	1084	1090	1087	1084	1084	1084	1084	1084	1093	1093	1087	1087	1087	1084	1084	1084
Σ	2390	2417	2410	2401	2401	2402	2397	2397	2413	2413	2407	2407	2407	2398	2399	2399
αέρας (%)		14	15	13	14	14	14	13	14	14	14	14	14	14	14	14
κάθ. (cm)		7	8	8	8	8	7,5	9	7,5	8	7	7,5	7,5	6	7	8
Tνερ. (°C)		15,5	18	18	19	19,5	20,5	20	17,5	19,5	19,5	20	22	22	22	23,5
Tσκ. (°C)		17,5	16	17,5	18	20	20,5	20	17,5	20	18	20	21	22	22,5	23
Tεργ. (°C)		16,5	17,5	19	18	19	19	19	17	19	17,5	19	19	21	22,5	23,5

Στη συνέχεια περιγράφονται οι εξής υπολογισμοί:

1. Μετατροπή της συνταγής από Kg σε It μέσω του Μικτού Ειδικού Βάρους (Bulk Specific Gravity) M.E.B. των αδρανών, πως περιγράφεται στο A.C.I. 211.

Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή και με τον ορισμό του M.E.B., τα αδρανή δεν έχουν απορροφήσει καθόλου νερό μετά το πέρας μισής ώρας από την ανάμειξη. Το χρονικό διάστημα της μισής ώρας είναι περίπου αυτό που απαιτείται για την ολοκλήρωση όλων των δοκιμών του νωπού σκυροδέματος.

2. Μετατροπή από Kg σε It μέσω του Φαινόμενου Ειδικού Βάρους των αδρανών (Apparent Specific Gravity) Φ.Ε.Β.

3. Μετατροπή από Kg σε It μέσω του Μικτού Ειδικού Βάρους κεκορεσμένης ξηράς επιφάνειας (Bulk Specific Gravity, saturated surface dry) S.S.D.

Σύμφωνα μ' αυτό τα αδρανή έχουν απορροφήσει όλο το νερό που χρειάζονται για να κορεσθούν στο χρονικό διάστημα της μισής ώρας. Στον υπολογισμό αυτό αφαιρείται από το συνολικό νερό, αυτό που έχουν απορροφήσει τα αδρανή.

Επίσης θα μπορούσαμε, ως περαιτέρω διερεύνηση, να πούμε τα εξής:

1. Το τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε, όπως προαναφέρθηκε, ήταν ανάμιγμα των τύπων I και II. Τα ειδικά βάρη του κάθε τύπου ξεχωριστά, αλλά και του μίγματος αυτών, δόθηκαν στο κεφ. 5.1.2.1β. Σύμφωνα με τα πειραματικά δεδομένα από ελληνικά εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου, κάποιες άλλες τιμές ειδικών βαρών  $\epsilon$  είναι για τον τύπο I  $\epsilon = 3,10$  και για τον τύπο II  $\epsilon = 2,90$ . Με τις τιμές αυτές, η

τιμή του ειδικού βάρους για το μίγμα αυτών, στην αναλογία που δουλέψαμε, είναι  $\varepsilon = 3,00$ .

2. Το χαλίκι και η άμμος που χρησιμοποιήθηκαν, προέρχονται από το ίδιο λατομείο. Το φαινόμενο ειδικό βάρος της άμμου βρέθηκε 2,72, ενώ του χαλικιού 2,70. Σύμφωνα πάλι με πειραματικά δεδομένα της ελληνικής πραγματικότητας, μία συνήθης τιμή για το Φ.Ε.Β. του χαλικιού είναι 2,71. Επειδή δε προέρχεται και από το ίδιο λατομείο με αυτό της άμμου 2,72, θα μπορούσαμε να ερευνήσουμε και την περίπτωση που το χαλίκι έχει Φ.Ε.Β. 2,71.

Η στήλη (4) του Πίνακα III δίνει τα αποτελέσματα της επιπλέον αυτής διερεύνησης.

Πίνακας III

Υλικά	Συνταγή επί ξηρού (Kg)	M.E.B. (1)	Όγκοι lt	Φ.Ε.Β. (2)	Όγκοι lt	S.S.D. (3)	Όγκοι lt	Παραλλαγή (4)	Όγκοι lt
N	182	1	182	1	182	1	171	1	182
Τολ.	278	2,94	94,5	2,94	94,5	2,94	94,5	3,00	93
Χ	711	2,67	266	2,70	263	2,68	266	2,71	262
Γ	149	2,67	56	2,71	55	2,68	56	2,71	55
A	1087	2,68	405,5	2,72	399,5	2,69	406,5	2,72	399
αερ %			14		14		14		14
Σ	2407		1018		1008		1008		1005

*Παρατήρηση: Οι απορροφητικότητες για τα αδρανή δίνονται στο κεφ. 5.1.1.2δ. Οι τελικές ποσότητες των κορεσμένων αδρανών και το συνολικό νερό της απορρόφησης έχουν ως εξής:*

X :	711 x 1.004 =	714 Kg	δηλαδή	+ 3	Kg νερό
Γ :	149 x 1.006 =	150 Kg	"	+ 1	Kg νερό
A :	1.087 x 1.006 =	1.094 Kg	"	<u>+ 7</u>	<u>Kg νερό</u>
				+ 11	Kg νερό

## 7.2. Στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων θραύσης

### 7.1.2. Συμπεράσματα από τη μελέτη των συνταγών

Τα συμπεράσματα που εξάγονται από τα παραπάνω είναι τα εξής:

Όλοι οι λογαριασμοί που προηγήθηκαν στον Πίνακα III έγιναν και για τα 15 αναμίγματα και δώσανε τα ίδια περίπου αποτελέσματα (με απόκλιση 2-3%).

Στόχος της πτυχιακής ήταν να αποδείξει την επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων της ίδιας συνταγής που επαναλήφθηκε με τις ίδιες διαδικασίες στον ίδιο εργαστηριακό αναμικτήρα. Άρα και το ότι το παρασκευαζόμενο σκυρόδεμα δίνει τα ίδια σχεδόν αποτελέσματα σε όλα τα αναμίγματα από πλευράς ποσότητας, ποιότητας και συμπύκνωσης.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η μέθοδος που περιγράφεται στο A.C.I. 211 ανταποκρίνεται όσον αφορά την επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων.

Με τα δεδομένα όμως της ελληνικής πραγματικότητας (υλικά: τσιμέντα, αδρανή, επιτρεπτά όρια παιπάλης, αναμικτήρες και τρόπος παραγωγής) η μετατροπή σε όγκους μέσω του M.E.B. δεν καταφέρνει να δώσει τον επιθυμητό όγκο των 1000 lt της αρχικής μελέτης σύνθεσης.

Ενδιαφέρον αντικείμενο για άλλη μελέτη, θα ήταν η διερεύνηση εύρεσης τρόπου μετατροπής της συνταγής σε όγκο ίσο με 1000 lt, σύμφωνα με τα ελληνικά δεδομένα.

## 7.2. Στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων θραύσης των δοκιμίων

Οι τιμές των αντοχών που βρέθηκαν μετά τη θραύση των δοκιμίων δίνονται σε Kg/cm<sup>2</sup> δίπλα στο νούμερο της μήτρας, μέσα στην οποία σκυροδετήθηκαν, στον Πίνακα IV. Η τοποθέτησή της κατά την ωρίμανση μέσα στο θάλαμο υγρασίας έγινε σε κατακόρυφη στήλη, το ένα επάνω στο άλλο κατά τον αύξοντα αριθμό της μήτρας μέσα στην οποία συμπυκνώθηκαν.

Παρατηρήσεις κατά την ωρίμανση: Τα 10 πρώτα αναμίγματα, δηλαδή τα 50 πρώτα δοκίμια, ωρίμασαν στο θάλαμο υγρασίας του ΚΕΔΕ ΥΠΕΧΩΔΕ. Εκεί παρατηρήθηκε ότι:

1. Στο κάτω μέρος του θαλάμου και για ύψος 1-2 cm υπήρχε ποσότητα λιμνάζοντος νερού, με αποτέλεσμα το κάτω-κάτω δοκίμιο να είναι για 1-2 cm μέσα σε νερό.

2. Από την οροφή τού θαλάμου που υπάρχουν σωλήνες για την επίτευξη της υγρασίας, κατά τη διάρκεια της νύχτας που ο θάλαμος μένει κλειστός για πολλές ώρες, υπάρχουν διαρροές νερού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να στάζουν νερά επάνω στη στήλη των δοκιμίων τα οποία συσσωρεύονται στο κάτω δοκίμιο.

Τα 5 τελευταία αναμίγματα, δηλαδή τα τελευταία 25 δοκίμια, ωρίμασαν στο θάλαμο υγρασίας του ΠΕΔΕ Καλλιθέας. Η τοποθέτηση έγινε για όλα στην ίδια θέση (σε μία γωνία του θαλάμου) οπότε τυχόν μεροληψία ως προς το ποσοστό της υγρασίας ή της θερμο-

κρασίας εντός του θαλάμου είναι ομοιόμορφη για όλα τα δοκίμια. Η θραύση των δοκιμίων αυτών έγινε στην πρέσσα του ΠΕΔΕ, της οποίας στοιχεία για τη βαθμονόμηση δεν είχαμε στη διάθεσή μας.

Τα αποτελέσματα της θραύσης των δοκιμίων, χωρισμένα σε τρεις κατηγορίες, δίνονται στον Πίνακα IV.

Πίνακας IV

1. 306	6. 287	1. 297	6. 311	6. 232
2. 299	7. 243	2. 301	7. 317	7. 323
3. 281	8. 318	3. 311	8. 265	8. 303
4. 319	9. 252	4. 305	9. 298	9. 263
5. 313	10. 248	5. 295	10. 297	10. 298
1. 301	6. 293	1. 313	6. 333	6. 246
2. 311	7. 275	2. 335	7. 339	7. 347
3. 307	8. 269	3. 340	8. 333	8. 329
4. 304	9. 275	4. 349	9. 341	9. 335
5. 316	10. 282	5. 327	10. 345	10. 335
1. 294	6. 313	1. 284	6. 311	6. 280
2. 285	7. 262	2. 280	7. 302	7. 258
3. 285	8. 302	3. 289	8. 293	8. 302
4. 298	9. 282	4. 262	9. 351	9. 298
5. 316	10. 289	5. 267	10. 306	10. 311

Από τα παραπάνω αποτελέσματα βρίσκουμε το μέσο όρο των αντοχών  $x$  και την τυπική απόκλιση  $S_{n-1}$ , που είναι:  $\bar{x} = 300$ ,  $S_{n-1} = 27$ .



### 7.2.1. Εύρεση πραγματικού μέσου όρου $\mu$ .

Η εύρεση του πραγματικού μέσου όρου για περιορισμένο αριθμό στοιχείων γίνεται μέσω της κατανομής student για το δείγμα πληθυσμού:  $\mu = \bar{x} - t \cdot s$  για  $n-1 = 14$  βρίσκουμε το συντελεστή  $t$  από τον πίνακα (table 1-16, Γ203) και για πιθανότητα 95% ότι  $t = 1,761$ .

$$\text{Άρα } \mu = 300 - 1,761 \cdot 27 \Rightarrow \mu = 252 \text{ Kg/cm}^2.$$

Δηλαδή υπάρχει πιθανότητα 1 στα 20 αναμίγματα να πέσει κάτω από μέση αντοχή με τιμή  $252 \text{ Kg/cm}^2$ .

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα IV, τα αποτελέσματα παρουσιάζουν μια ομοιομορφία ανά 3 ομάδες των 5 αναμιγμάτων. Αυτό δικαιολογείται και από το γεγονός ότι:

α. Στα πρώτα 5 αναμίγματα, επειδή δεν είχε τελειοποιηθεί ο τρόπος δουλειάς στο εργαστήριο όσον αφορά την εμπειρία στο θέμα της συμπύκνωσης των δοκιμών, παρατηρείται μεγαλύτερη ανομοιομορφία στα αποτελέσματα.

Έτσι, συγκεντρωτικά για την 1η ομάδα έχουμε:

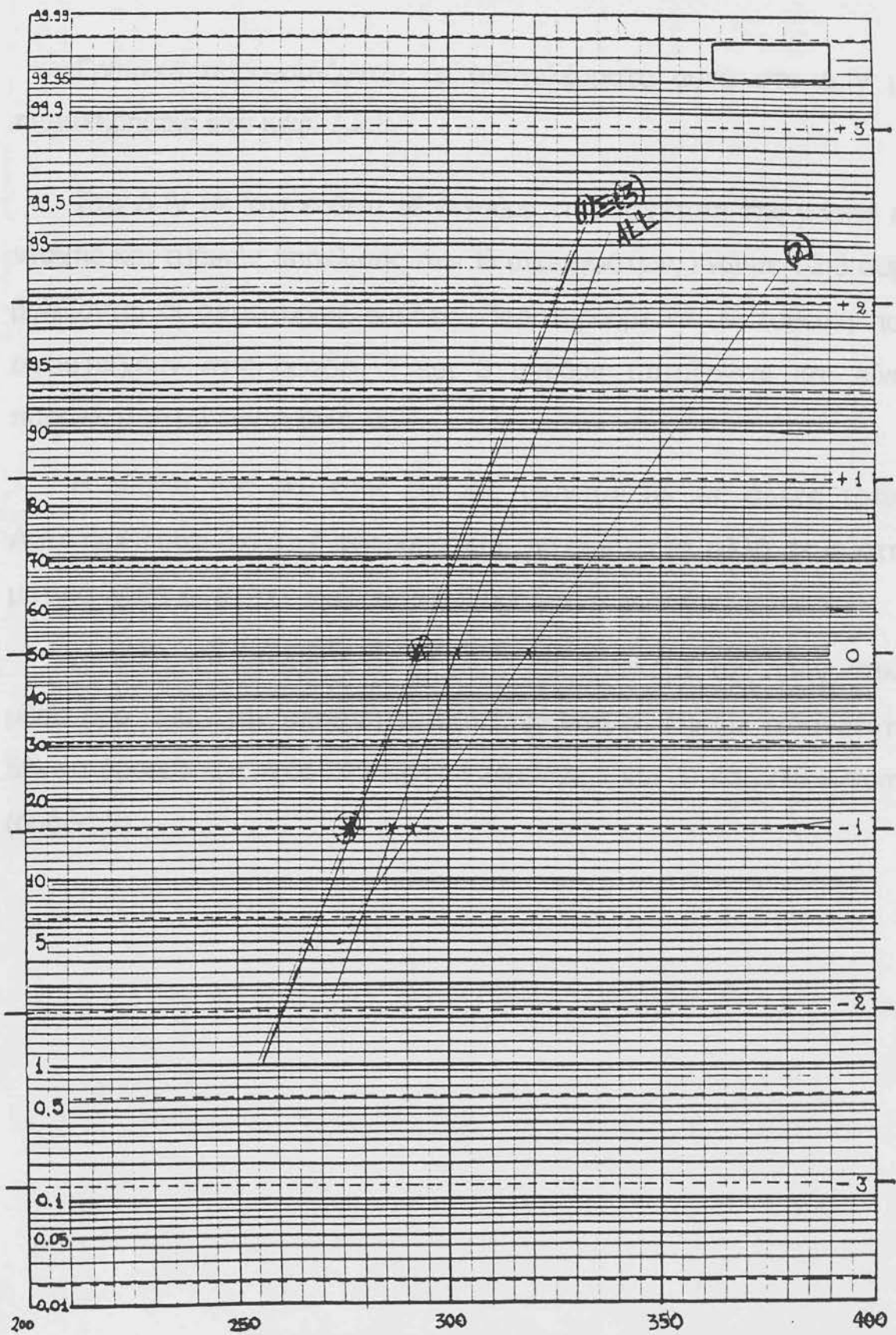
$$\bar{x} = 291 \text{ Kg/cm}^2 \quad S_{n-1} = 14,7 \quad \mu = 261 \text{ Kg/cm}^2.$$

β. Στη 2η ομάδα έχουμε στρωμένη παραγωγή και πλήρη ομοιομορφία σε όλη την πειραματική εκτέλεση παραγωγής των δοκιμών. Επίσης έχουμε ωρίμανση στον ίδιο θάλαμο υγρασίας με την 1η ομάδα. Έτσι τα αποτελέσματα δίνουν και μεγαλύτερες αντοχές.

$$\bar{x} = 315 \text{ Kg/cm}^2 \quad S_{n-1} = 23,5 \quad \mu = 268 \text{ Kg/cm}^2.$$

γ. Η 3η ομάδα διαφέρει από τις προηγούμενες στο θάλαμο υγρασίας που έγινε η ωρίμανση των δοκιμών, καθώς και στην πρέσσα που έγιναν οι θραύσεις. Έτσι:

$$\bar{x} = 289 \text{ Kg/cm}^2 \quad S_{n-1} = 7,6 \quad \mu = 274 \text{ Kg/cm}^2.$$



Δ.ΙV. Συσχέτιση μέσης αντοχής και τυπικής απόκλισης για τρεις ομάδες αναμιγμάτων

Γραφικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτά στο Δ.IV με παρατηρήσεις στο κεφ. 7.2.6.

Στο Δ.IV με την ευθεία all εννοούμε τη συσχέτιση της μέσης αντοχής και τυπικής απόκλισης των 15 αναμιγμάτων, ενώ με 1,2,3 συμβολίζονται οι αντίστοιχες ομάδες. Παρατηρούμε ότι οι ευθείες που αντιστοιχούν στις ομάδες 1 και 3 σχεδόν ταυτίζονται και είναι παράλληλες με την ευθεία all.

Η ευθεία της δεύτερης ομάδας τέμνεται με τις άλλες τρεις. Αυτό οφείλεται όχι σε διαφοροποίηση της συνταγής, αλλά σε συστηματικά λάθη κατά την ωρίμανση και θραύση των δοκιμίων.

Δηλαδή, αν κάναμε 5 αναμίγματα και βρίσκαμε τον πραγματικό μέσο όρο  $\mu$  και την αληθινή τυπική απόκλιση  $\sigma$ , είχαμε πιθανότητα 5% να βρούμε αντοχές  $266 \text{ Kg/cm}^2$  (ομάδες 1 και 3) και  $276 \text{ Kg/cm}^2$  (ομάδα 2).

$S =$  τυπική απόκλιση μετρούσων από το  $\bar{X}$ .  
 $\eta =$  βαθμός ελευθερίας δοκιμής ή δοκιμές.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ  $\chi^2$   
 για δείγμα πιθανότητας

$\eta - 1 =$  μέσος όρος ελευθερίας.

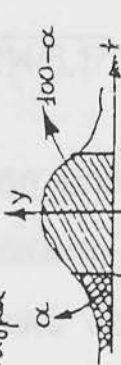
$S =$  τυπική απόκλιση σταδείγμα.



$\sigma = S \sqrt{\frac{\nu-1}{2}}$

$\bar{X} =$  μέσος όρος η μετρήσεων.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ STUDENT για δείγμα, πιθανότητα

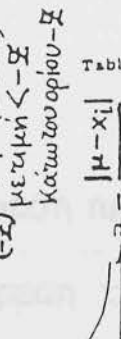


$\eta \bar{X} = \sum X$  (η-1) S² = Σ (X - X̄)²

$\chi_1 =$  τυχαία μεταβλητή (για μέτρηση).

ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ GAUSS

για απύρο πιθανός (1-A)/2 = ποσοστό δοκιμής (η μετρήσεων) μετρήτη < -Z



$\mu = \bar{X} \pm z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

$\mu = \bar{X} \pm z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

Table 1-15. Ordinates and Area between Abscissa Values -z and +z of the Normal Distribution Curve

$z$	$y$	$A$
0.0	0.0000	0.5000
0.1	0.0398	0.5398
0.2	0.0794	0.5794
0.3	0.1191	0.6191
0.4	0.1587	0.6587
0.5	0.1985	0.6985
0.6	0.2381	0.7381
0.7	0.2774	0.7774
0.8	0.3163	0.8163
0.9	0.3549	0.8549
1.0	0.3934	0.8934
1.1	0.4308	0.9308
1.2	0.4678	0.9678
1.3	0.5044	0.9844
1.4	0.5405	0.9945
1.5	0.5764	0.9996
1.6	0.6121	0.9999
1.7	0.6476	0.9999
1.8	0.6828	0.9999
1.9	0.7177	0.9999
2.0	0.7522	0.9999
2.1	0.7864	0.9999
2.2	0.8203	0.9999
2.3	0.8539	0.9999
2.4	0.8873	0.9999
2.5	0.9205	0.9999
2.6	0.9534	0.9999
2.7	0.9860	0.9999
2.8	0.9980	0.9999
2.9	0.9995	0.9999
3.0	0.9999	0.9999

Table 1-16. Values of  $t$

$\alpha$	$\eta=1$	$\eta=2$	$\eta=3$	$\eta=4$	$\eta=5$	$\eta=10$	$\eta=20$	$\eta=30$	$\eta=40$	$\eta=50$	$\eta=100$
0.10	0.690	0.816	0.925	1.024	1.107	1.280	1.533	1.646	1.755	1.846	2.000
0.05	0.677	0.809	0.917	1.016	1.099	1.270	1.522	1.634	1.742	1.835	1.990
0.025	0.665	0.797	0.905	1.004	1.087	1.256	1.507	1.618	1.725	1.818	1.972
0.01	0.654	0.785	0.893	0.992	1.075	1.242	1.492	1.602	1.708	1.801	1.954
0.005	0.651	0.781	0.889	0.988	1.071	1.237	1.486	1.595	1.700	1.793	1.945
0.001	0.648	0.777	0.885	0.984	1.067	1.232	1.481	1.590	1.694	1.787	1.938
0.0005	0.646	0.775	0.883	0.982	1.065	1.230	1.479	1.588	1.691	1.784	1.935

When the table is read from the front, the tabulated values are to be printed with a negative sign. Interpolation should be performed using the reciprocal of the degrees of freedom.

Table 1-17. Percentiles of the  $\chi^2$  Distribution

$\alpha$ (%)	$\eta=1$	$\eta=2$	$\eta=3$	$\eta=4$	$\eta=5$	$\eta=10$	$\eta=20$	$\eta=30$	$\eta=40$	$\eta=50$	$\eta=100$
95	0.001	0.004	0.008	0.013	0.019	0.038	0.072	0.094	0.115	0.136	0.178
90	0.016	0.020	0.032	0.048	0.064	0.131	0.257	0.318	0.364	0.412	0.509
80	0.054	0.072	0.115	0.175	0.235	0.461	0.854	1.013	1.153	1.293	1.676
70	0.138	0.180	0.275	0.411	0.540	1.004	1.850	2.156	2.403	2.628	3.578
60	0.234	0.300	0.443	0.657	0.854	1.549	2.770	3.178	3.519	3.822	5.024
50	0.354	0.455	0.638	0.949	1.237	2.148	3.778	4.351	4.848	5.246	7.378
40	0.509	0.638	0.879	1.284	1.676	2.919	4.850	5.591	6.179	6.628	9.348
30	0.708	0.879	1.213	1.753	2.204	3.771	6.191	7.042	7.707	8.201	11.459
20	1.024	1.237	1.713	2.366	2.878	4.608	7.779	8.757	9.348	9.889	13.838
10	1.637	1.925	2.499	3.357	4.045	5.791	9.590	10.757	11.342	11.832	16.756
5	2.204	2.602	3.357	4.478	5.401	7.779	12.592	13.838	14.451	14.933	20.515
1	16.27	19.02	24.48	32.01	37.79	54.06	84.29	94.30	100.00	104.75	138.58

For large values of degrees of freedom the approximate formula

$\chi^2_p = \left(1 - \frac{1}{2\eta} + \sqrt{\frac{1}{2\eta}}\right)^2$

where  $\chi^2_p$  is the normal deviate and  $\eta$  is the number of degrees of freedom, may be used. For example,  $\chi^2_{0.05} = 2.31 - 1.36/20 = 2.31 - 0.068 = 2.242$  is the 95th percentile for 20 degrees of freedom.

### 7.2.2. Εύρεση πραγματικής τυπικής απόκλισης $\sigma$

Η εύρεση της πραγματικής τυπικής απόκλισης για δείγματα πληθυσμού, γίνεται με την κατανομή  $\chi^2$  σύμφωνα με τον τύπο:

$$\sigma = S_{n-1} \times \sqrt{v-1/\chi^2}$$

$v$  : ο αριθμός των αναμιγμάτων :  $v = 15$

$\chi^2$  : ο συντελεστής που προκύπτει από τον πίνακα (table 1-17, Γ203) για  $v-1$  αναμίγματα :  $\chi^2 = 6,57$ , πιθαν. 5%

$S_{n-1}$  : η πειραματική τυπική απόκλιση :  $S_{n-1} = 27$

$$\sigma = 27 \times \sqrt{14/6,57} \Rightarrow \sigma = 39,4$$

Δηλαδή υπάρχει πιθανότητα 1 στα 20 αναμίγματα να δώσει τυπική απόκλιση 39. Το νούμερο αυτό είναι βέβαια πολύ μεγάλο για εργαστηριακά πειράματα. Επίσης οι πραγματικοί μέσοι όροι των 3 ομάδων απέχουν πολύ ο ένας από τον άλλο.

Επειδή, όπως προαναφέραμε, έχουμε στοιχεία για τη μη ομοιομορφία του κάτω δοκιμίου μέσα στο θάλαμο υγρασίας, θα αφαιρέσουμε από τους υπολογισμούς το πρώτο δοκίμιο, οπότε ο νέος πίνακας αποτελεσμάτων, Πίνακας V, βάσει των οποίων γίνονται οι υπολογισμοί, είναι ο εξής:

Πίνακας V

2. 299	7. 243	2. 301	7. 317	7. 323
3. 281	8. 318	3. 311	8. 265	8. 303
4. 319	9. 252	4. 305	9. 298	9. 263
5. 313	10. 248	5. 295	10. 297	10. 298
2. 311	7. 275	2. 335	7. 339	7. 347
3. 307	8. 269	3. 340	8. 333	8. 329
4. 304	9. 275	4. 349	9. 341	9. 335
5. 316	10. 282	5. 327	10. 345	10. 335
2. 285	7. 262	2. 280	7. 302	7. 258
3. 285	8. 302	3. 289	8. 293	8. 302
4. 298	9. 282	4. 262	9. 351	9. 298
5. 316	10. 289	5. 267	10. 306	10. 311

Από τα νέα στοιχεία βρίσκουμε ότι χωρίζοντας σε 3 υποομάδες, για τους λόγους που προαναφέραμε, οι τυπικές αποκλίσεις ανά ομάδα είναι πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες ομάδες των 5 δοκιμών, τα αποτελέσματα της κάθε ομάδας είναι τα εξής:

$$1. \quad \bar{x} = 292 \text{ Kg/cm}^2 \quad S_{n-1} = 15,8$$

$$2. \quad \bar{x} = 319 \text{ Kg/cm}^2 \quad S_{n-1} = 28$$

$$3. \quad \bar{x} = 292 \text{ Kg/cm}^2 \quad S_{n-1} = 14,7$$

### 7.2.3. Εύρεση πραγματικού μέσου όρου $\mu$ για 15 αναμίγματα των 4 δοκιμών

$$\mu = \bar{x} - (t \times S_{n-1})$$

$$\bar{x} = 301 \text{ Kg/cm}^2 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{ πειραματικά δεδομένα}$$

$$S_{n-1} = 27$$

$$t = 1,761 \text{ για πιθανότητα } 5\% \text{ (table 1.16, } \Gamma 203)$$

$$\text{Άρα: } \mu = 301 - (1,761 \times 27) \Rightarrow \mu = 253 \text{ Kg/cm}^2 .$$

Δηλαδή υπάρχει πιθανότητα 1 στα 20 αναμίγματα να δώσει μέσο όρο αντοχών κάτω από  $253 \text{ Kg/cm}^2$ .

Εύρεση πραγματικού  $\mu$  για κάθε μία από τις 3 ομάδες των 5 αναμιγμάτων:

$$1\eta : \left. \begin{array}{l} \bar{x} = 292 \text{ Kg/cm}^2 \\ S_{n-1} = 15,8 \end{array} \right\} \mu = 258 \text{ Kg/cm}^2$$

$$2\eta : \left. \begin{array}{l} \bar{x} = 319 \text{ Kg/cm}^2 \\ S_{n-1} = 27,7 \end{array} \right\} \mu = 260 \text{ Kg/cm}^2$$

$$3\eta : \left. \begin{array}{l} \bar{x} = 292 \text{ Kg/cm}^2 \\ S_{n-1} = 14,7 \end{array} \right\} \mu = 260 \text{ Kg/cm}^2$$

Βλέπουμε λοιπόν ότι ο πραγματικός μέσος όρος  $\mu$  διατηρείται σταθερός και για τις 3 ομάδες. Αν, δηλαδή, κάποιος έκανε πειράματα για μία πεντάδα των 4 δοκιμών και τον ίδιο τρόπο που εκτελέστηκαν τα πειράματα αυτής της εργασίας, τότε έχει πιθανότητα 5% να βρει μέσο όρο αντοχών κάτω από  $260 \text{ Kg/cm}^2$ .

Ακόμα όμως και για τα 5 αναμίγματα, ο μέσος όρος είναι μεγαλύτερος από τα  $252 \text{ Kg/cm}^2$  που έβγαине ο αντίστοιχος μέσος όρος των 15 αναμιγμάτων με 5 δοκίμια.

#### 7.2.4. Εύρεση αληθινής τυπικής απόκλισης $\sigma$

Σύμφωνα με την κατανομή  $\chi^2$  και βάσει του Πίνακα (table 1-17, Γ203), για τα 15 αναμίγματα έχουμε:

$$\sigma = S_{n-1} \times \sqrt{n-1/\chi^2}$$

$$S_{n-1} = 15,7$$

$$n-1 = 14$$

$$\chi^2 = 6,57$$

$$\left. \begin{array}{l} S_{n-1} = 15,7 \\ n-1 = 14 \end{array} \right\} \sigma = 22,9$$

Δηλαδή η τυπική απόκλιση που βρέθηκε πειραματικά σε 15 αναμίγματα 15,7 είχε 5% πιθανότητες να βρεθεί και μεγαλύτερη από 22,9.

*Παρατήρηση: Όπως φαίνεται από την αύξηση του πραγματικού μέσου όρου  $\mu$  από 252 Kg/cm<sup>2</sup> σε 273 Kg/cm<sup>2</sup>, από τη σταθεροποίησή του στα 260 Kg/cm<sup>2</sup> για τις 3 ομάδες και από τη μείωση της αληθινής τυπικής απόκλισης από 39,4 σε 22,9 ήταν σωστή η αφαίρεση της πρώτης σειράς των δοκιμών. Άρα οι παρατηρήσεις που προαναφέρθηκαν στο κεφ. 7.2. είναι επιτυχείς και θα πρέπει να μεριμνάται η αποφυγή παρόμοιων συνθηκών στην ωρίμανση των δοκιμών.*

#### 7.2.5. A.C.I. 214-77

Σύμφωνα με το A.C.I. 214-77 η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της διαδικασίας που ακολουθήθηκε, γίνεται ως εξής:

1. Υπολογίζουμε την ολική τυπική απόκλιση  $\sigma$  όλων των δοκιμών με το γνωστό τρόπο.
2. Υπολογίζουμε την τυπική απόκλιση εντός του αναμίγματος  $\sigma_1$  (within test standard deviation), όπως αναφέρεται στην παράγραφο



3.4. του (A.C.I. 214-77). Επίσης υπολογίζουμε το συντελεστή διασποράς  $V_1$  (coefficient of deviation).

3. Από τη σχέση  $\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$  βρίσκουμε τη  $\sigma_2$  που αντιστοιχεί στην τυπική απόκλιση από ανάμιγμα σε ανάμιγμα ( Batch to batch standard deviation).

4. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μας γίνεται βάσει του πίνακα 3.5.

#### 7.2.6. Υπολογισμός σύμφωνα με A.C.I.

Η ολική τυπική απόκλιση  $\sigma$ , όπως έχει προϋπολογιστεί πειραματικά για 15 αναμίγματα των 4 δοκιμίων το καθένα, έχει βρεθεί να είναι:  $\sigma = 27$ .

Η τυπική απόκλιση  $\sigma_1$  εντός του αναμίγματος υπολογίζεται από τη σχέση  $\sigma_1 = 1/d_2 \times R$  όπου:

$\sigma_1$  : η τυπική απόκλιση εντός του αναμίγματος,

$1/d_2$  : ένας συντελεστής που εξαρτάται από τον αριθμό των δοκιμίων που λαμβάνονται σε κάθε ανάμιγμα,

$R$  : μέσος όρος των διακυμάνσεων των αντοχών.

Έτσι, από τον Πίνακα 34.1 του A.C.I. 214-77 έχουμε ότι για 4 δοκίμια ο συντελεστής  $1/d_2 = 0,4857$ .

Επίσης, υπολογίσαμε το μέσο όρο των διακυμάνσεων των αντοχών και βρήκαμε  $R = 33$ .

Έτσι έχουμε  $\sigma_1 = 0,4857 \times 33 = 16,1$ .

Επίσης ο συντελεστής διασποράς  $V_1$  υπολογίζεται από τον τύπο:

$V_1 = \sigma_1 \sqrt{\bar{x}} \times 100$ , όπου:

$\bar{x}$  = ο μέσος όρος της θλιπτικής αντοχής,

$\sigma_1$  = η τυπική απόκλιση εντός του αναμίγματος.

Όπως έχει προαναφερθεί, ο μέσος όρος των θλιπτικών αντοχών για τα 15 αναμίγματα των 4 δοκιμών βρέθηκε 301 Kg/cm<sup>2</sup>.

Έτσι έχουμε:  $V_1 = 16,1/301 \times 100 \Rightarrow V_1 = 5,3$ .

Η τυπική απόκλιση  $\sigma_2$  από ανάμιγμα σε ανάμιγμα βρίσκεται από τη σχέση  $\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$  και βρέθηκε ότι ισούται με  $\sigma_2 = 22,0$ .

Σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ., στον Πίνακα 5.2.2.1. ο συντελεστής διόρθωσης της τυπικής απόκλισης για 15 αναμίγματα είναι 1,27. Άρα η πραγματική τυπική απόκλιση  $\sigma_2$  από ανάμιγμα σε ανάμιγμα θα είναι:  $\sigma_2 = 1,27 \times S_{n-1} \Rightarrow \sigma_2 = 1,27 \times 15,7 \Rightarrow \sigma_2 = 20$ .

Άρα λοιπόν, με τρεις μεθόδους (A.C.I., κατανομή  $\chi^2$ , Κ.Τ.Σ.) επαληθεύεται ότι η τυπική απόκλιση  $\sigma_2$  από ανάμιγμα σε ανάμιγμα είναι σχεδόν  $\sigma = 22$ .

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι, σύμφωνα με το A.C.I. 214 και την κατανομή  $\chi^2$  για πιθανότητα 95%, η τυπική απόκλιση  $\sigma_2$  από ανάμιγμα σε ανάμιγμα, δεν μπορεί να βγει πάνω από 22,0. Δηλαδή, η τιμή αυτή είναι η δυσμενέστερη με πιθανότητα σφάλματος 5%. Αν θεωρήσουμε ότι η τιμή αυτή είναι η αληθινή τυπική απόκλιση, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την κανονική κατανομή, η οποία μας δείχνει τα εξής:

Έστω ότι δέχομαι σαν πραγματικό μέσο όρο  $\mu = 301$  Kg/cm<sup>2</sup> και αληθινή τυπική απόκλιση  $\sigma = 22,0$ , τότε με αυτές τις υποθετικά πραγματικές τιμές, που είναι όμως οι δυσμενέστερες με πιθανότητα 95%, έχουμε:  $z = |\mu - x_i|/\sigma$ , όπου:

$z$  : ο συντελεστής που προκύπτει για πιθανότητα (ποσοστό υπαντοχών  $\alpha$  ίσο με 5%)

$\alpha$  : ποσοστό υπαντοχών ίσο με  $(1-A)/2$

$\mu$  : ο πραγματικός μέσος όρος

$\sigma$  : η αληθινή τυπική απόκλιση

Για  $\alpha = 5\% = 0,05$  έχουμε ότι  $\alpha = (1-A)/2 \Rightarrow A = 0,9$ .

Για  $A = 0,9$  ο πίνακας (table 1-15, Γ203) δίνει  $z = 1,645$

Άρα  $x_i = \mu - (z \times \sigma) = 301 - (1,645 \times 22) \Rightarrow x_i = 265 \text{ Kg/cm}^2$ .

Άρα, αν θεωρήσουμε ότι οι τιμές  $\mu$  και  $\sigma$  είναι πραγματικές και χρησιμοποιήσουμε την κανονική κατανομή, βλέπουμε ότι με 5% ανασφάλεια, δηλαδή 1 στα 20 αναμίγματα, ο μέσος όρος των αντοχών θα είναι μεγαλύτερος των  $265 \text{ Kg/cm}^2$  όπως φαίνεται στο Διάγραμμα Δ.VI.

Επίσης στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής διασποράς  $V_1 = 22/301 \times 100 = 7,3\%$ .

Από τον Πίνακα 3.5. του A.C.I. 214 και για τα αποτελέσματα που βρήκαμε, προκύπτουν τα εξής:

Η ολική τυπική απόκλιση  $\sigma$  βρέθηκε  $\sigma = 27,3$  και ο συντελεστής διασποράς  $V_1$  εντός του αναμίγματος βρέθηκε  $V_1 = 5,3$ .

Από τον πίνακα προκύπτει ότι και οι δύο τιμές κατατάσσονται στην κατηγορία poor για εργαστηριακές δοκιμές. Ο συντελεστής  $V_1$ , αν προερχόταν από αποτελέσματα βιομηχανικής παραγωγής, θα εντασσόταν στην κατηγορία fair και η ολική τυπική απόκλιση  $\sigma$  στην κατηγορία excellent.

Βέβαια, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές δεν είναι καθόλου ικανοποιητικά όπως προκύπτει και από

τα παραπάνω. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε συστηματικά λάθη που έγιναν κατά την πειραματική εκτέλεση, τα οποία αναφέρονται στο κεφάλαιο 7.3.

### 7.2.3. Ανάλυση διαγραμμάτων Δ.V και Δ.VI

1. Στο Δ.V η διακοπτόμενη ευθεία προκύπτει από την ένωση των σημείων  $\bar{x} = 301$  και  $\bar{x} - 1\sigma = 286$  με  $S_{n-1} = 15,7$ , που είναι τα αποτελέσματα των 15 αναμιγμάτων από 4 δοκίμια.

Η κανονική ευθεία προκύπτει από την ένωση των σημείων  $x = 300$  και  $\bar{x} - 1\sigma = 273$ , που είναι τα αποτελέσματα των 15 αναμιγμάτων από 5 δοκίμια.

Βλέπουμε ότι αφαιρώντας το 1ο κάτω δοκίμιο από κάθε ανάμιγμα, που, όπως παρατηρήθηκε, δεν είναι απολύτως όμοιο με τα άλλα, έχουμε, για πιθανότητα 5%, αύξηση αντοχών από  $273 \text{ Kg/cm}^2$  σε  $286 \text{ Kg/cm}^2$ . Δηλαδή αύξηση της αντοχής της τάξης του 4,5%.

2. Στο Δ.VI η συνεχόμενη γραμμή παριστά την αναλυτική τοποθέτηση των σημείων που προκύπτουν από το μέσο όρο των αντοχών του κάθε αναμίγματος (Πίνακας VI) και της τυπικής απόκλισης του κάθε ενός από το σύνολο.

Η διακεκομμένη γραμμή προκύπτει αν θεωρήσουμε το  $\mu = 301 \text{ Kg/cm}^2$  και  $\sigma = 22$  ως πραγματικά και ενώσουμε το  $\bar{x} = 301 \text{ Kg/cm}^2$  για πιθανότητα 50% και το  $\bar{x} - 1\sigma = 281 \text{ Kg/cm}^2$ .

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, οι δύο αυτές ευθείες σχεδόν συμπίπτουν, οπότε επιβεβαιώνεται ότι μόνο το 5% των

αναμιγμάτων μπορεί να προκύψει μικρότερο με μέσο όρο κάτω από 265 Kg/cm<sup>2</sup>.

Στον Πίνακα VI βλέπουμε την ανά ομάδες κατανομή των δοκιμίων με τη μέση αντοχή, την τυπική απόκλιση, το συντελεστή διασποράς και τη διακύμανση των αντοχών για τα 4 δοκίμια.

Πίνακας VI

a/a	Μέση αντοχή των 4 δοκ. x <sub>4</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	Τυπική απόκλιση των 4 δοκ. S <sub>4</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	Συντελεστής διασποράς V	Διακύμανση των αντοχών των 4 δοκ. R
1.	303	16,9	5,6	38
2.	265	35,4	13,4	75
3.	303	6,7	2,2	16
4.	294	21,5	7,3	52
5.	297	25,0	8,4	60
1.	309	5,2	1,7	12
2.	275	5,3	1,9	13
3.	338	9,2	2,7	22
4.	339	5,0	1,5	12
5.	336	7,5	2,2	18
1.	296	14,7	4,5	31
2.	283	16,7	5,9	40
3.	274	12,3	4,5	27
4.	313	25,9	8,3	58
5.	292	23,4	8,0	53

Συνολικά, ο μέσος όρος των μέσων όρων των αντοχών των 15 αναμιγμάτων είναι  $\bar{x}_{15} = 301 \text{ Kg/cm}^2$  και η  $\sigma$  των μέσων όρων είναι  $S_{15-1} = 15,7 \text{ Kg/cm}^2$ . Επίσης  $\bar{x} - 1\sigma = 285 \text{ Kg/cm}^2$ .

Τα αποτελέσματα της κάθε ομάδας είναι:

1η  $\bar{x}_4 = 292, \quad S_{4-1} = 15,8^*, \quad \bar{x} - 1\sigma = 276 \text{ Kg/cm}^2$

2η  $\bar{x}_4 = 319, \quad S_{4-1} = 27,8, \quad \bar{x} - 1\sigma = 291 \text{ Kg/cm}^2$

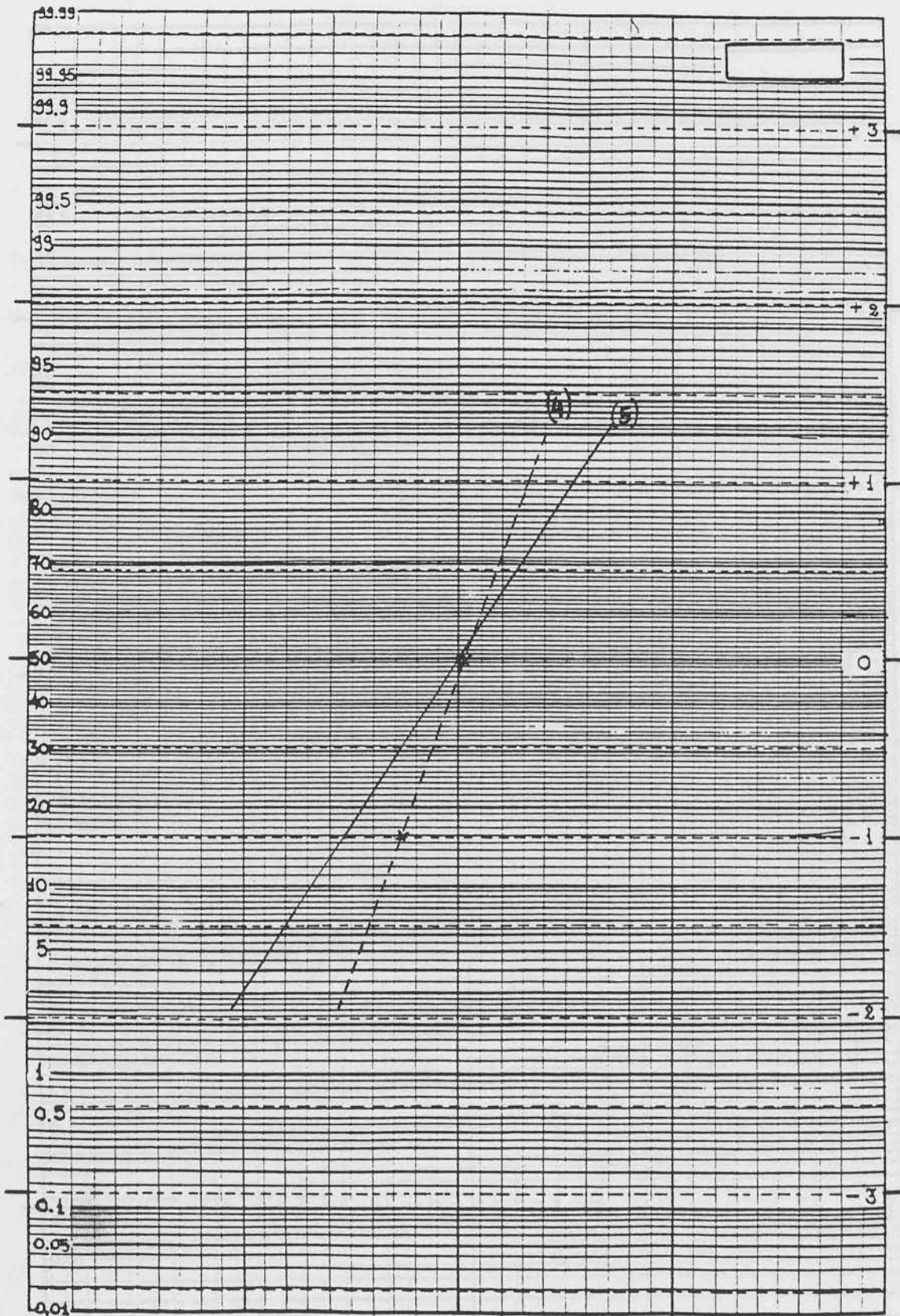
3η  $\bar{x}_4 = 292, \quad S_{4-1} = 14,7, \quad \bar{x} - 1\sigma = 277 \text{ Kg/cm}^2$

\* τυπική απόκλιση των 5 μέσων όρων

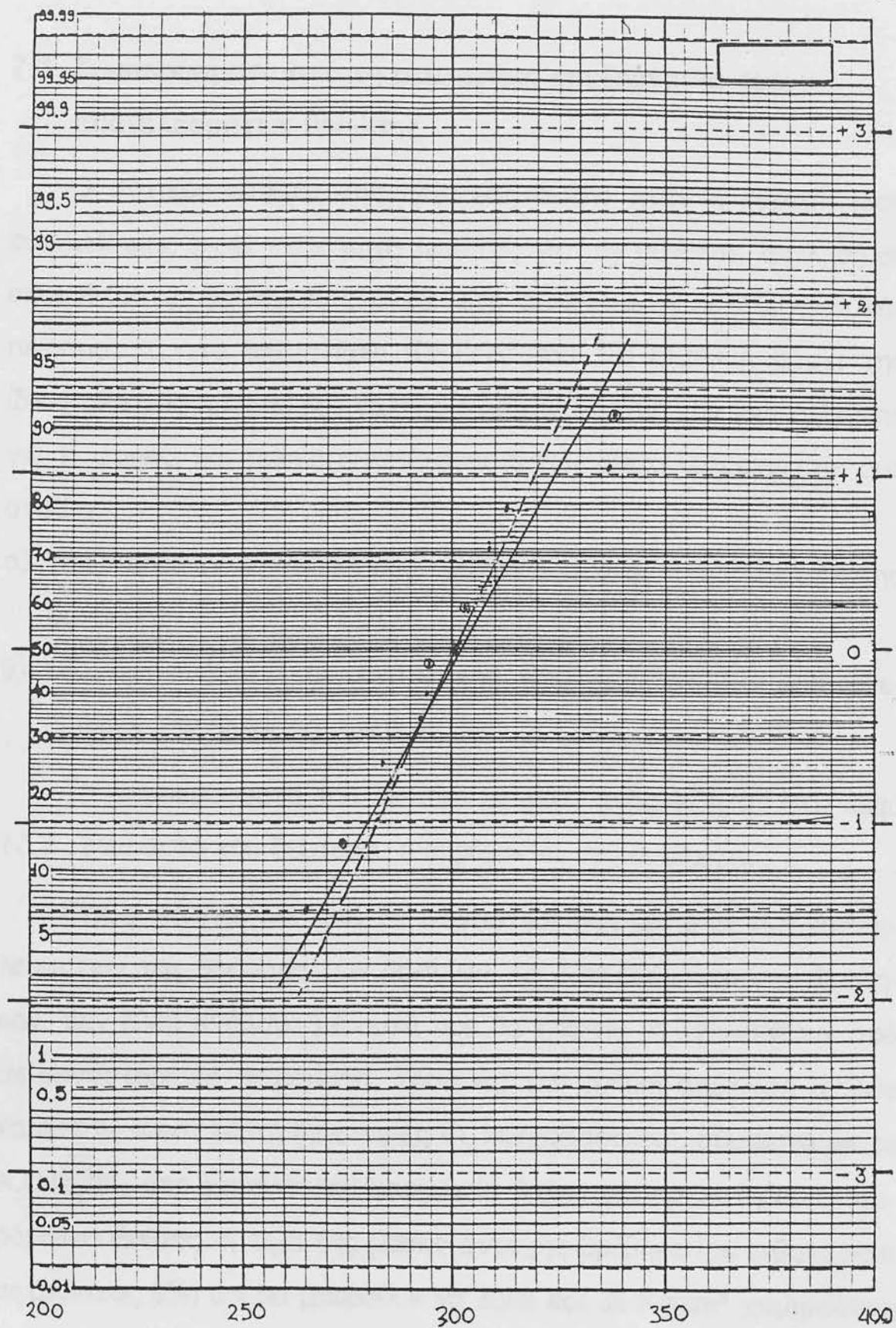
Ο μέσος όρος των αντοχών και των 15 αναμιγμάτων είναι  $\bar{x}_{15} = 301 \text{ Kg/cm}^2$  και η τυπική απόκλιση των μέσων όρων των 15 αναμιγμάτων είναι  $S_{15-1} = 15,7 \text{ Kg/cm}^2$ . Επίσης  $\bar{x} - 1\sigma = 285 \text{ Kg/cm}^2$ .

Δ.Ν. Γ.Α. επιβλέπων και προέβλεψε για τα 15 αναμιγματα  
των 4 και 5 δοκιμών για το κάθε ανάμικτο

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ



Δ.Υ. Οι ευθείες που προκύπτουν για τα 15 αναμίγματα των 4 και 5 δοκιμών για το κάθε ανάμιγμα



Δ. VI. Εύρεση μέσου όρου των 15 αναμιγμάτων με 4 δοκίμια με αναλυτικό και συνοπτικό τρόπο



### 7.3. Συμπεράσματα από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων θραύσης

Ο αρχικός στόχος της εργασίας αυτής ήταν η εύρεση μιας εφαρμόσιμης στην παραγωγή μελέτης για τη σύνθεση αντλήσιμου σκυροδέματος κατηγορίας B225. Στη συνέχεια, η εκτέλεση αυτής πειραματικά στο εργαστήριο "ΠΕΤΥΛ" του ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ βάσει της ίδιας ακριβώς προαποφασισμένης διαδικασίας από τον ίδιο άνθρωπο για 15 φορές, και τελικά η επεξεργασία των αποτελεσμάτων σε δύο στάδια:

- α) της διερεύνησης σε επίπεδο πραγματοποίησης ή όχι της μελέτης σύνθεσης.
- β) της διερεύνησης και στατιστικής επεξεργασίας των αποτελεσμάτων της θραύσης των δοκιμίων.

Τα συμπεράσματα του πρώτου σταδίου αναφέρθηκαν στο κεφ. 7.1.2., ενώ αυτά του δευτέρου αναφέρονται στη συνέχεια.

Όπως φάνηκε και από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων της θραύσης των δοκιμίων, τα αποτελέσματα που βρέθηκαν, δεν είναι ανάλογα με αυτά που θα έπρεπε να προκύπτουν από σε εργαστηριακά πειράματα. Τόσο για την τυπική απόκλιση  $\sigma$ , όσο και για το συντελεστή διασποράς  $V_1$ , κατατάσσονται, σύμφωνα με το A.C.I. 214, στη χαμηλότερη κατηγορία (poor) για εργαστηριακά πειράματα. Επίσης, η τιμή της μέσης αντοχής βρέθηκε (με πιθανότητα σφάλματος 5%) ότι θα μπορούσε να είναι και  $35 \text{ Kg/cm}^2$  χαμηλότερη από αυτή που είχε τεθεί ως αρχικός στόχος αντοχών ( $300 \text{ Kg/cm}^2$ ).

Είναι προφανές ότι κάποια συστηματικά σφάλματα κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των πειραμάτων σε συνδυασμό με κάποια ανεπάρκεια των εργαστηριακών οργάνων ευθύνεται για την αστοχία αυτή.

### 7.3. Συμπεράσματα από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων θραύσης

Ο αρχικός στόχος της εργασίας αυτής ήταν η εύρεση μιας εφαρμόσιμης στην παραγωγή μελέτης για τη σύνθεση αντλήσιμου σκυροδέματος κατηγορίας B225. Στη συνέχεια, η εκτέλεση αυτής πειραματικά στο εργαστήριο "ΠΕΤΥΛ" του ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ βάσει της ίδιας ακριβώς προαποφασισμένης διαδικασίας από τον ίδιο άνθρωπο για 15 φορές, και τελικά η επεξεργασία των αποτελεσμάτων σε δύο στάδια:

- α) της διερεύνησης σε επίπεδο πραγματοποίησης ή όχι της μελέτης σύνθεσης.
- β) της διερεύνησης και στατιστικής επεξεργασίας των αποτελεσμάτων της θραύσης των δοκιμίων.

Τα συμπεράσματα του πρώτου σταδίου αναφέρθηκαν στο κεφ. 7.1.2., ενώ αυτά του δευτέρου αναφέρονται στη συνέχεια.

Όπως φάνηκε και από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων της θραύσης των δοκιμίων, τα αποτελέσματα που βρέθηκαν, δεν είναι ανάλογα με αυτά που θα έπρεπε να προκύπτουν από σε εργαστηριακά πειράματα. Τόσο για την τυπική απόκλιση  $\sigma$ , όσο και για το συντελεστή διασποράς  $V_1$ , κατατάσσονται, σύμφωνα με το A.C.I. 214, στη χαμηλότερη κατηγορία (poor) για εργαστηριακά πειράματα. Επίσης, η τιμή της μέσης αντοχής βρέθηκε (με πιθανότητα σφάλματος 5%) ότι θα μπορούσε να είναι και  $35 \text{ Kg/cm}^2$  χαμηλότερη από αυτή που είχε τεθεί ως αρχικός στόχος αντοχών ( $300 \text{ Kg/cm}^2$ ).

Είναι προφανές ότι κάποια συστηματικά σφάλματα κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των πειραμάτων σε συνδυασμό με κάποια ανεπάρκεια των εργαστηριακών οργάνων ευθύνεται για την αστοχία αυτή.

Μετά από λεπτομερείς παρατηρήσεις καταλήξαμε στα εξής:

#### *α) Όργανα*

1. Ο εργαστηριακός αναμικτήρας ήταν μέγιστης χωρητικότητας 50 lt. Από πειράματα όμως διαπιστώθηκε ότι λειτουργώντας με 35 lt πετάει ποσότητες υλικού έξω κατά τη διάρκεια της ανάμιξης. Γι' αυτό και για τους λόγους που αναφέρονται στο κεφ. 6.1. αποφασίστηκε να δουλέψουμε με ποσότητα 32 lt. Η ποσότητα αυτή έδινε τη δυνατότητα παρασκευής 5 δοκιμίων, τα οποία δεν ήταν αρκετά για τη διεξοδική μελέτη που θέλαμε.
2. Ο θάλαμος υγρασίας του ΚΕΔΕ ΥΠΕΧΩΔΕ, όπως αναφέρεται στο κεφ. 7.2., δεν πληροί τις απαιτούμενες από την προδιαγραφή Σ.Κ. 303 προϋποθέσεις.
3. Για την πρέσσα του ΠΕΔΕ Καλλιθέας δεν έχουμε στοιχεία από τη βαθμονόμησή της, άρα δεν είμαστε απολύτως βέβαιοι για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της, τουλάχιστον συγκριτικά με αυτή του ΚΕΔΕ ΥΠΕΧΩΔΕ, όπου έγινε η θραύση του μεγαλύτερου ποσοστού των δοκιμίων.

#### *β) Διαδικασίες*

1. Πανομοιότυπη εκτέλεση των πειραματικών διαδικασιών, κυρίως όσον αφορά τη ζύγιση και τη συμπύκνωση των δοκιμίων.
2. Τύλιγμα των μητρών με υγρές λινάτσες, οι οποίες να διατηρούνται υγρές μέχρι το ξεκαλούπωμα των δοκιμίων. Έτσι θα αποφεύγεται η απορρόφηση του νερού της ελεύθερης επιφάνειας του δοκιμίου.
3. Διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας στους  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  μέσα στο εργαστήριο καθ' όλη τη διάρκεια της εκτέλεσης των πειραμάτων.
4. Προσοχή κατά το ξεκαλούπωμα των δοκιμίων όταν είναι ακόμα νωπά, έτσι ώστε να αποφεύγονται θραύσεις των γωνιών που είναι

ακόμα ευαίσθητες κατά την εκτέλεση όλης της πειραματικής διαδικασίας.

5. Προσεκτική μεταφορά των δοκιμίων χωρίς κρούσεις στο θάλαμο υγρασίας τυλιγμένα σε υγρές λινάτσες.
6. Άμεση τοποθέτηση στο θάλαμο υγρασίας, προσέχοντας ώστε να μη σπάνε οι ευαίσθητες γωνίες του δοκιμίου.
7. Διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας στους  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  και υγρασίας σε ποσοστό μεγαλύτερο του 90% μέσα στο θάλαμο καθ' όλη τη διάρκεια των 28 ημερών.

Η θερμοκρασία και η υγρασία πρέπει να ελέγχονται ότι είναι σταθερές σε όλα τα σημεία του θαλάμου (ψηλά, χαμηλά) και όχι μόνο στο σημείο που είναι τοποθετημένα το θερμόμετρο και το υγρασιόμετρο. Επίσης στο θάλαμο υγρασίας δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να υπάρχουν λιμνάζοντα νερά στην κάτω επιφάνεια αυτού και διαρροή από πάνω.

8. Απομάκρυνση των δοκιμίων από το θάλαμο υγρασίας το πολύ μία ώρα πριν τη θραύση τους.
9. Προσεκτική τοποθέτηση των δοκιμίων στην πρέσσα, έτσι ώστε ο κεντρικός άξονας επιβολής του φορτίου να συμπίπτει με τον κεντροβαρικό άξονα του δοκιμίου (σύμφωνα με την Σ.Κ. 304).

Μετά τον εντοπισμό των παραπάνω, θα είχε ενδιαφέρον η επανάληψη της εργασίας με αποφυγή αυτών, αλλά και άλλων σφαλμάτων, για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων. Αξίζει στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι έγινε η επανάληψη της όλης πειραματικής διαδικασίας μετά τον εντοπισμό και την αποφυγή όλων των παραγόντων που προαναφέρθηκαν (από συμπύκνωση μέχρι θάλαμο υγρασίας). Οι τιμές αντοχής που βρέθηκαν, ήταν κατά πολύ

μεγαλύτερες από αυτές που έδωσαν τα αποτελέσματα που εξετάσαμε στην εργασία αυτή.

Βέβαια, η επανάληψη αυτή έγινε για ένα μόνο ανάμιγμα, οπότε και δεν είναι αξιόπιστη. Τα αποτελέσματα όμως που βρέθηκαν κατά τη θραύση των 5 δοκιμίων έδωσαν μέση αντοχή  $370 \text{ Kg/cm}^2$  με διασπορά μόνο 18 Kg. Το αποτέλεσμα αυτό δεν είναι βέβαια αξιόπιστο, είναι όμως ικανό, ώστε να προκαλέσει ερεθίσματα για περαιτέρω διερεύνηση.

Η όλη διαδικασία που εφαρμόστηκε κατά τη διάρκεια αυτής της μελέτης, έγινε με εξοπλισμό (αναμικτήρα, θάλαμο υγρασίας, πρέσσα) που χρησιμοποιείται ευρέως στην ελληνική πραγματικότητα από τα περισσότερα εργαστήρια παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος.

Όπως αποδείχτηκε, με τις υπάρχουσες συνθήκες παραγωγής, ένα ανάμιγμα δε είναι αρκετό για να δώσει ικανοποιητική απάντηση για το μέσο όρο αντοχής της παρτίδας του σκυροδέματος ακόμα κι αν αυτή έχει παρασκευαστεί σε εργαστηριακό αναμικτήρα. Βέβαια, με την υπάρχουσα συνταγή για παρασκευή σκυροδέματος κατηγορίας B225 η  $f_{ck}$  βρέθηκε ίση με  $265 \text{ Kg/cm}^2$  με αποδεκτή την  $f_{ck} = 187 \text{ Kg/cm}^2$ . Σε περίπτωση όμως που η μελέτη σύνθεσης δεν δίνει τέτοια περιθώρια ασφαλείας, θα πρέπει να είμαστε πολύ προσεκτικοί στον έλεγχο των σκυροδεμάτων που παραλαμβάνουμε.

Ενδιαφέρον θα παρουσίαζε επίσης, η σύγκριση των θλιπτικών αντοχών και με δοκίμια που ωρίμασαν 28 ημέρες μέσα σε νερό. Η μέθοδος αυτή της ωρίμανσης παρατηρείται άλλωστε και σε πάρα πολλά εργαστήρια των μονάδων παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος και περιγράφεται σε ξένες προδιαγραφές (AASHTO T126-86).

Τα παραπάνω αντικείμενα μελέτης, καθώς και πληθώρα άλλων σχετικά με το σκυρόδεμα, αλλά και με την αξιοπιστία των εργαστη-

ρίων και της παραγωγής, θα μπορούσαν να αποτελέσουν θέματα έρευνας στα πλαίσια άλλων πτυχιακών εργασιών.

1. Οικονόμου Χ.: "Τεχνολογία του Σκυροδέματος". Θεσσαλονίκη 1993.
2. Τάσιος Θ.Π., Αλιζάνη Κ.: "Ανθεκτικότητα υπηλομένου σκυροδέματος". Αθήνα 1993.
3. "Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος", Φ.Ε.Κ. 269/Β/9-5-1986.
4. "Κανονισμός Τιμώντων για έργα από σκυροδέμα", Διάταγμα 29-2-1980.
5. Μέθοδος ελέγχου ΣΚ-301: "Προσδιορισμός ειδικού βάρους και υγρασίας απορροφητικής χονδρόκοκτων υλικών", ΚΕΔΕ, Αθήνα 1991.
6. Μέθοδος ελέγχου ΣΚ-303: "Μέθοδος παρασκευής και συντήρησης δοκιμίων σκυροδέματος", ΚΕΔΕ, Αθήνα 1991.
7. Μέθοδος ελέγχου ΣΚ-304: "Μέθοδος προσδιορισμού αντοχής σε θλίψη δοκιμίων σκυροδέματος", ΚΕΔΕ, Αθήνα 1991.
8. Μέθοδος ελέγχου ΣΚ-309 "Μέθοδος δοκιμής κυθίσωσης", ΚΕΔΕ, Αθήνα 1991.
9. American Concrete Institute (A.C.I.):  
211.1-89 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete.  
214-(77)89 Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Result of Concrete.  
308-89 Placing Concrete by Pumping Methods.
10. R. S. A.M.: "The Relation Between Standard Deviation and Mean Strength of Concrete Test Cubes". Magazine of Concrete Research (London), V. II, No 22, July 1959, pp. 75-84.
11. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO, Materials, Part II, Tests, 1989.  
Hydraulic Cement  
T106-86 Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar  
T107-86 Autoclave Expansion of Portland Cement  
T127-86 Sampling Hydraulic Cement

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Οικονόμου Χ.: "Τεχνολογία του Σκυροδέματος". Θεσσαλονίκη 1993.
2. Τάσιος Θ.Π., Αλιγιζάκη Κ.: "Ανθεκτικότητα ωπλισμένου σκυροδέματος". Αθήνα 1993.
3. "Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος". Φ.Ε.Κ. 266/Β/9-5-1985.
4. "Κανονισμός Τσιμέντων για έργα από σκυρόδεμα". Διάταγμα 29-2-1980.
5. Μέθοδος ελέγχου ΣΚ-301: "Προσδιορισμός ειδικού βάρους και υγρασίας απορροφήσεως χονδρόκοκκων υλικών". ΚΕΔΕ, Αθήνα 1991.
6. Μέθοδος ελέγχου ΣΚ-303: "Μέθοδος παρασκευής και συντήρησης δοκιμίων σκυροδέματος". ΚΕΔΕ, Αθήνα 1991.
7. Μέθοδος ελέγχου ΣΚ-304: "Μέθοδος προσδιορισμού αντοχής σε θλίψη δοκιμίων σκυροδέματος". ΚΕΔΕ, Αθήνα 1991.
8. Μέθοδος ελέγχου ΣΚ-309 "Μέθοδος δοκιμής καθίσεως". ΚΕΔΕ, Αθήνα 1991.
9. American Concrete Institute (A.C.I.):  
211.1-89 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete.  
214-(77)89 Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Result of Concrete.  
304-71 Placing Concrete by Pumping Methods.
10. Neville, A.M.: "The Relation Between Standard Deviation and Mean Strength of Concrete Test Cubes". Magazine of Concrete Research (London), V. II, No 32, July 1959, pp. 75-84.
11. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO, Materials, Part II, Tests, 1989.  
*Hydraulic Cement*  
T106-86 Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar  
T107-86 Autoclave Expansion of Portland Cement  
T127-85 Sampling Hydraulic Cement

- T129-85 Normal Consistency of Hydraulic Cement
- T131-85 Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle
- T133-86 Density of Hydraulic Cement
- T162-84 Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency

*Aggregates*

- T2-84 Sampling Aggregates
- T11-85 Amount of Material Finer than 0.075 mm Sieve in Aggregate
- T19-80 Unit Weight and Voids in Aggregate
- T27-84 Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates
- T84-86 Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate
- T85-85 Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate
- T284-83 Reducing Field Samples of Aggregate to Testing Size

*Concrete*

- T26-79 Quality of Water to Be Used in Concrete
- T119-82 Slump of Portland Cement Concrete
- T121-86 Sampling and Acceptance of Hydraulic Cement
- T126-86 Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory
- T152-86 Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method

12. Norme Francaise P 18-404.