



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ
ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΟΡΥΚΤΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΜΠΟΥΜΠΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Η. ΣΤΑΜΠΟΛΙΑΔΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ: ΑΝΑΠΛ.ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Η. ΣΤΑΜΠΟΛΙΑΔΗΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Θ. ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΣ

ΕΠΙΚ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Μ. ΓΑΛΕΤΑΚΗΣ

2008

ΧΑΝΙΑ

Αφιερώνεται

στους μεγάλους μου δασκάλους,

τη μητέρα μου **Αθανασία** και τον πατέρα μου **Θωμά**.

«Η παιδεία είναι δεύτερος ήλιος
για τους μορφωμένους.»

Ηράκλειτος

«Χαράξου κάπου με οποιοδήποτε τρόπο
και μετά πάλι σβήσου με γενναιοδωρία.»

Οδυσσέας Ελύτης

Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας έγινε με τη βοήθεια και τη συμπαράσταση ορισμένων ανθρώπων, τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω. Συγκεκριμένα, ευχαριστώ τον επιβλέποντα αναπληρωτή καθηγητή κ. Σταμπολιάδη Ηλία για την πολύτιμη βοήθεια, τις συμβουλές του και την υπομονή του κατά τη διάρκεια της συνεργασίας μας. Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Μαρκόπουλο Θεόδωρο και τον επίκουρο καθηγητή κ. Γαλετάκη Μιχαήλ που συμμετέχουν στην εξεταστική επιτροπή για την αποδοχή τους στην αξιολόγηση της εργασίας. Για την διεξαγωγή της εργασίας σημαντική ήταν επίσης η βοήθεια της κ. Παντελάκη Όλγα και του κ. Μαυριγιαννάκη Στυλιανού. Επιπλέον, ευχαριστώ τους Μηχανικούς Ορυκτών Πόρων, κ. Λεβεντάκη Κωνσταντίνο και κ. Δρακάκη Δημήτριο καθώς και την επιχείρηση του Λατομείου Χορδακίου, για την παραχώρηση των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία μου. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, για την ηθική και υλική υποστήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια και όλους τους φίλους μου και συμφοιτητές μου, που με βοήθησαν με τις συμβουλές και τις προτάσεις τους.

Με εκτίμηση,

Μπούμπα Κωνσταντίνα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ – ΣΧΗΜΑΤΩΝ	VIII
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	IX
Πρόλογος	XI
Γενική Περίληψη	XII
Θεωρητικό μέρος	
Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή	σελ. 1
1.1. Γενικά για τα αδρανή	σελ. 3
1.1.1. Με βάση την προέλευσή τους	σελ. 3
1.1.2. Με βάση το μέγεθος των κόκκων	σελ. 4
1.1.3. Με βάση την πηγή απόληψης	σελ. 5
1.1.4. Με βάση το ειδικό βάρος	σελ. 5
1.1.5. Με βάση τη χρήση τους	σελ. 6
1.1.5.1. Αδρανή βάσεων και υποβάσεων	σελ. 6
1.1.5.2. Αδρανή σκυροδέματος	σελ. 7
1.1.5.3. Αδρανή για αντισιδηρά	σελ. 8
Κεφάλαιο 2 : Η ιστορία του σκυροδέματος	σελ. 11
2.1. Ιστορική αναδρομή για το τσιμέντο	σελ. 11
2.2. Τα πρώτα προϊστορικά ευρήματα	σελ. 13
2.3. Τα πρώτα ιστορικά βήματα	σελ. 14
2.4. Προδιαγραφές	σελ. 19
2.5. Μονάδες	σελ. 20
Κεφάλαιο 3 : Παραγωγή και χρήσεις αδρανών ασβεστολιθικών προϊόντων	σελ. 22
3.1. Γενικά για τον ασβεστόλιθο	σελ. 22
3.2.1. Δειγματοληψία των αδρανών	σελ. 23
3.2.2. Η μορφή των κόκκων των αδρανών	σελ. 24
3.2.3. Η αντοχή των αδρανών	σελ. 24
3.2.4. Ανάμειξη αδρανών	σελ. 25
3.2.5. Η ανθεκτικότητα των αδρανών στο ψύχος	σελ. 27
3.2.6. Ποιοτικός έλεγχος αδρανών	σελ. 27
3.2.7. Μέθοδοι εξόρυξης & επεξεργασίας αδρανών υλικών	σελ. 28
3.3. Προδιαγραφές του κανονισμού τεχνολογίας σκυροδέματος για τα αδρανή	σελ. 30
Κεφάλαιο 4 : Βασικές έννοιες και υλικά για την παρασκευή σκυροδέματος	σελ. 32
4.1. Το σκυρόδεμα	σελ. 32
4.1.1. Βασικές έννοιες σκυροδέματος	σελ. 33
4.1.2. Υλικά παρασκευής σκυροδέματος	σελ. 35

4.1.3. Πορώδες του σκυροδέματος	σελ. 36
4.1.3.1. Μηχανισμοί δημιουργίας του πορώδους	σελ. 36
4.1.3.2. Ποροσιμετρία	σελ. 38
4.1.3.3. Σχέση αντοχής, N/Τα και πορώδους	σελ. 40
4.1.4. Σημασία της επικάλυψης	σελ. 43
4.1.5. Σημασία της συντήρησης	σελ. 44
4.1.6. Παραθαλάσσιο περιβάλλον	σελ. 47
4.1.7. Πρακτικές κατασκευής στην Ελλάδα	σελ. 48
4.1.8. Προτάσεις για την θωράκιση της κατασκευής ως προς τη διάρκεια ζωής	σελ. 49
Κεφάλαιο 5 : Βασικά υλικά για την παρασκευή σκυροδέματος	σελ.51
5.1. Το τσιμέντο	σελ. 51
5.1.1. Σύνθεση των τσιμέντων	σελ. 53
5.1.2. Τύποι και κατηγορίες των τσιμέντων	σελ. 54
5.1.3. Στάδια παραγωγής του τσιμέντου	σελ. 56
5.1.4. Ιδιότητες τσιμέντου	σελ. 58
5.1.5. Προμήθεια τσιμέντου	σελ. 59
5.1.6. Έλεγχος ποιότητας τσιμέντου	σελ. 60
5.2. Υδροκυκλώνας – Υδροταξινόμηση	σελ. 61
5.3. Προσδιορισμός παιτάλης στην άμμο	σελ. 64
5.3.1. Προσδιορισμός παιτάλης	σελ. 65
5.3.2. Η παιτάλη	σελ. 68
5.4. Νερό	σελ. 69
5.5. Πρόσθετα	σελ. 69
5.6. Ανάμειξη σκυροδέματος	σελ. 70
Κεφάλαιο 6 : Επεξεργασία για το κάθε ένα υλικό	σελ.72
6.1. Προσδιορισμός του δείκτη ΔΑΚΦ	σελ. 72
6.1.1. Απαιτούμενες συσκευές	σελ. 73
6.1.2. Προετοιμασία του δείγματος	σελ. 74
6.1.3. Διεξαγωγή της δοκιμής	σελ. 76
6.1.4. Υπολογισμοί και παρουσίαση των αποτελεσμάτων	σελ. 77
6.2. Προσδιορισμός του δείκτη ΔΑΘ	σελ. 80
6.2.1. Απαιτούμενες συσκευές	σελ. 81
6.2.2. Προετοιμασία του δείγματος	σελ. 82

6.2.3. Διεξαγωγή της δοκιμής	σελ. 83
6.2.4. Υπολογισμοί και παρουσίαση των αποτελεσμάτων	σελ. 85
6.3. Δοκιμή Los Angeles	σελ. 87
6.3.1. Σκοπός της δοκιμής	σελ. 88
6.3.2. Μηχανή Los Angeles	σελ. 88
6.3.3. Φορτίο σφαιρών	σελ. 89
6.3.4. Δείγμα	σελ. 90
6.3.5. Τρόπος εργασίας	σελ. 91
6.3.6. Υπολογισμοί	σελ. 91
6.3.7. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων	σελ. 92
Κεφάλαιο 7 : Προέλευση και χαρακτηρισμός του εξεταζόμενου υλικού.....	σελ. 93
7.1. Προέλευση του υλικού	σελ. 93
7.1.1. Γενικές πληροφορίες για το λατομείο Χορδακίου	σελ. 93
7.1.2. Τοπογραφικά και γεωλογικά στοιχεία της περιοχής	σελ. 94
7.1.3. Τεχνικές πληροφορίες και εξοπλισμός του λατομείου Χορδακίου	σελ. 99
7.1.4. Οργάνωση λατομείου και διάταξη μετώπων	σελ. 102
7.1.5. Προϊόντα λατομείου Χορδακίου	σελ. 103
7.2. Πειραματική διαδικασία	σελ. 105
7.2.1. Συνταγή του σκυροδέματος	σελ. 105
7.2.2. Αναφορά στην πειραματική διαδικασία	σελ. 105
Πειραματικό μέρος	
Κεφάλαιο 8 : Ανάλυση αδρανών υλικών	σελ. 110
Κεφάλαιο 9 : Πειραματική διαδικασία κυβικών δοκιμών	σελ. 121
9.1. Πρώτη σειρά πειραμάτων	σελ. 121
9.1.1. Ανάμειξη των υλικών	σελ. 121
9.1.2. Προετοιμασία της μήτρας (καλούπι)	σελ. 122
9.1.3. Τοποθέτηση του σκυροδέματος στις μήτρες (καλούπια).....	σελ. 123
9.1.4. Ξεκαλούπωμα δοκιμών	σελ. 125
9.1.5. Φύλαξη των δοκιμών	σελ. 126
9.1.6. Προσδιορισμός αντοχής σε θλίψη δοκιμών σκυροδέματος	σελ. 128
9.1.6.1. Παρουσίαση φύλλου της θραύσης δοκιμίου	σελ. 129
9.2. Παρουσίαση αποτελεσμάτων πρώτης σειράς δοκιμών (άπλυτη άμμος)	σελ. 135

9.2.1. Παρουσίαση των δοκιμών άπλυτης άμμου με χρόνο ανάμειξης του υλικού 10 λεπτά	σελ. 135
9.2.2. Παρουσίαση των δοκιμών άπλυτης άμμου με χρόνο ανάμειξης του υλικού 60 λεπτά	σελ. 139
9.2.2.1. Παρατηρήσεις για το χρόνο ανάμειξης	σελ. 140
9.2.2.2. Σύγκριση αντοχών με βάση το χρόνο ανάμειξης	σελ. 141
9.3. Δεύτερη σειρά πειραμάτων	σελ. 144
9.3.1. Παρουσίαση των δοκιμών πλυμένης άμμου με χρόνο ανάμειξης του υλικού 10 λεπτά	σελ. 144
9.3.2. Παρουσίαση των δοκιμών πλυμένης άμμου με χρόνο ανάμειξης του υλικού 60 λεπτά	σελ. 148
9.3.2.1. Παρατηρήσεις για το χρόνο ανάμειξης	σελ. 149
9.3.2.2. Σύγκριση αντοχών με βάση το χρόνο ανάμειξης	σελ. 151
9.4. Σύγκριση των δύο προηγούμενων σειρών δοκιμών σκυροδέματος μεταξύ τους (άπλυτη και πλυμένη άμμου).....	σελ. 154
9.4.2. Σύγκριση των δύο προηγούμενων σειρών δοκιμών σκυροδέματος μεταξύ τους (άπλυτης και πλυμένης άμμου) με βάση το χρόνο ωρίμανσης	σελ. 154
9.4.1. Σύγκριση των δύο προηγούμενων σειρών δοκιμών σκυροδέματος μεταξύ τους (άπλυτης και πλυμένης άμμου) με βάση το χρόνο ανάμειξης	σελ. 157
Κεφάλαιο 10 : Κυλινδρικά δοκίμια	σελ. 160
10.1. Σκοπός της δοκιμής	σελ. 160
10.2. Εξοπλισμός	σελ. 161
10.3. Παρασκευή κυλινδρικών δοκιμών	σελ. 162
10.4. Προετοιμασία των δοκιμών	σελ. 164
10.5. Διαδικασία	σελ. 164
10.6. Παρουσίαση των δοκιμών που παρασκευάσαμε	σελ. 167
10.7. Υπολογισμός αντοχής των κυλινδρικών δοκιμών	σελ. 171
Κεφάλαιο 11 : Συμπεράσματα	σελ. 174
Βιβλιογραφία	σελ. 176
Παράρτημα	σελ. 180

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ – ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1.1. Διάφορα είδη αδρανών	σελ. 10
Εικόνα 2.1. Δεξαμενή νερού στο ναό της Αθηνάς στην αρχαία Κάμιρο της Ρόδου κατασκευασμένη από μίγμα ασβέστη και ηφαιστειακής γης	σελ. 15
Εικόνα 2.2. Δεξαμενή αποθήκευσης φυσικού αερίου στη Ρεβυθούσα κατασκευασμένη από κρυογενές σκυρόδεμα	σελ. 16
Εικόνα 2.3. Σύγχρονες κατασκευές από σκυρόδεμα	σελ. 19
Εικόνα 3.1. Απεικονίσεις ασβεστόλιθου	σελ. 23
Εικόνα 3.2. Η επίδραση της μορφής πάνω στην επιφάνεια για κόκκους με τον ίδιο όγκο	σελ. 24
Εικόνα 4.1. Μηχανισμός ενυδάτωσης τσιμέντου	σελ. 36
Εικόνα 4.2. Το ποροσίμετρο Micromeritics Autopore IV 9520	σελ. 38
Εικόνα 4.3. Ποροσίμετρο εργαστηρίου κεραμικών	σελ. 40
Εικόνα 4.4. Αντοχή, N/T, Πορώδες	σελ. 41
Εικόνα 4.5. Σχέση αντοχής – πορώδους	σελ. 42
Εικόνα 4.6. Παράδειγμα της επίδρασης του πάχους της επικάλυψης του σκυροδέματος	σελ. 43
Εικόνα 4.7. Αύξηση του όγκου των προϊόντων ενυδάτωσης σε σχέση με την ύπαρξη νερού	σελ. 44
Εικόνα 4.8. Αντοχή στοιχείου σκυροδέματος που έχει στεγνώσει	σελ. 45
Εικόνα 4.9. Influence of W/C ratio on permeability ¹⁰	σελ. 46
Εικόνα 5.1. Στάδια παραγωγής τσιμέντου	σελ. 58
Εικόνα 5.2. Συσκευασμένο τσιμέντο σε σακί των 50kg	σελ. 60
Εικόνα 5.3. Υδροκυκλώνας	σελ. 62
Εικόνα 6.1. Συσκευή Los Angeles	σελ. 89
Εικόνα 7.1. Γεωγραφικός χάρτης του νομού Χανίων	σελ. 94
Εικόνα 7.2. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής του λατομείου	σελ. 95
Εικόνα 7.3. Υπόμνημα γεωλογικού χάρτη της περιοχής του λατομείου	σελ. 96
Εικόνα 7.4. Στρωματογραφική στήλη του Ν. Χανίων	σελ. 97
Εικόνα 7.5. Τρισδιάστατη απεικόνιση του λατομικού χώρου πριν την εκμετάλλευση	σελ. 98
Εικόνα 7.6. Τρισδιάστατη απεικόνιση του λατομικού χώρου μετά το πέρας της εκμετάλλευσης	σελ. 99
Εικόνα 7.7. Τοπογραφικός χάρτης εκμετάλλευσης	σελ. 101
Σχήμα 7.1. Διάγραμμα πρωτογενούς θραύσης	σελ. 107
Σχήμα 7.2. Διάγραμμα περαιτέρω θραύσης του υλικού και τελικά προϊόντα	σελ. 108
Εικόνα 8.1. Διαδικασία τετραμερισμού	σελ. 111
Εικόνα 8.2. Κόσκινα διαφόρων μεγεθών	σελ. 114
Εικόνα 8.3. Μηχανική κοσκινίστρα	σελ. 115

Εικόνα 9.1. Αναδευτήρας-μπετονιέρα.....σελ. 122	σελ. 122
Εικόνα 9.2. Μήτρα κατασκευής σκυροδέματοςσελ. 123	σελ. 123
Εικόνα 9.3. Τοποθέτηση σκυροδέματος στις μήτρεςσελ. 125	σελ. 125
Εικόνα 9.4. Δοκίμιο μετά την αφαίρεση της μήτραςσελ. 126	σελ. 126
Εικόνα 9.5. Χώρος φύλαξης των δοκιμών μετά την αφαίρεση της μήτραςσελ. 127	σελ. 127
Εικόνα 9.6. Μηχανή θλίψηςσελ. 129	σελ. 129
Εικόνα 9.7. Φύλλο εργασίαςσελ. 130	σελ. 130
Εικόνα 9.8. Περιγραφή φύλλου εργασίαςσελ. 131	σελ. 131
Εικόνα 9.9. Δοκίμιο 1σελ. 132	σελ. 132
Εικόνα 9.10. Δοκίμιο 2σελ. 132	σελ. 132
Εικόνα 9.11. Δοκίμιο 3σελ. 132	σελ. 132
Εικόνα 9.12. Δοκίμιο 4σελ. 133	σελ. 133
Εικόνα 9.13. Δοκίμιο 5σελ. 133	σελ. 133
Εικόνα 9.14. Δοκίμιο 6σελ. 133	σελ. 133
Εικόνα 10.1. Πλάκες φόρτισης δοκιμώνσελ. 162	σελ. 162
Εικόνα 10.2. Σχηματική παράσταση συσκευής θλιπτικών δοκιμώνσελ. 166	σελ. 166
Εικόνα 10.3. Σύστημα θλιπτικών δοκιμών στο Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων στο Πολυτεχνείο Κρήτηςσελ. 166	σελ. 166
Εικόνα 10.4. Εργαστηριακός λειαντήρας δοκιμώνσελ. 167	σελ. 167
Εικόνα 10.5. Διαχωρισμός της επιφάνειας του κυλινδρικού δοκιμίουσελ. 168	σελ. 168

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1. Συντελεστές μετατροπής μονάδων μετρήσεως δυνάμεων	σελ. 21
Πίνακας 2.2. Συντελεστές μετατροπής μονάδων μετρήσεως αντοχής	σελ. 21
Πίνακας 3.1. Κοκκομετρική διαβάθμιση μείγματος που προκύπτει από ανάμειξη σκύρων και άμμου σε ποσοστό 60% και 40%	σελ. 26
Πίνακας 4.1. Τι προβλέπεται από τους Κανονισμούς (EN 2006) για παραθαλάσσιο περιβάλλον (S1)	σελ. 48
Πίνακας 5.1. Κατηγορίες αντοχών τσιμέντων	σελ. 52
Πίνακας 5.2. Κύρια συστατικά των τυποποιημένων τσιμέντων	σελ. 54
Πίνακας 5.3. Ευρωπαϊκά πρότυπα τσιμέντου	σελ. 55
Πίνακας 5.4. Μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα παιπάλης στα αδρανή ανάλογα με την κοκκομετρική διαβάθμιση	σελ. 66
Πίνακας 5.5. Μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα παιπάλης στα αδρανή ανάλογα με την κοκκομετρική διαβάθμιση	σελ. 68
Διάγραμμα 6.1. Διάγραμμα Crushing Test για χαλίκι κοκκομετρίας 10-20mm	σελ. 87
Πίνακας 6.1. Κοκκομετρία θραυσμένου υλικού για το δείκτη (ΔΑΚΦ)	σελ. 79
Πίνακας 6.2.	σελ. 90
Πίνακας 7.1. Λεπτόκοκκα προϊόντα	σελ. 104
Πίνακας 7.2. Χονδρόκοκκα προϊόντα	σελ. 104
Πίνακας 7.3. Χονδρόκοκκα σκύρα	σελ. 104
Πίνακας 8.1. Σχέση βάρους – μεγέθους κόκκου για τη δειγματοληψία	σελ. 112
Πίνακας 8.2. Παρουσίαση αποτελεσμάτων κοσκίνισης άπλυτης άμμου	σελ. 116
Πίνακας 8.3. Παρουσίαση αποτελεσμάτων κοσκίνισης πλυμένης άμμου	σελ. 119
Διάγραμμα 8.1. Καμπύλη κοκκομετρικής διαβαθμίσεως της άπλυτης άμμου	σελ. 117
Διάγραμμα 8.2. Καμπύλη κοκκομετρικής διαβαθμίσεως της πλυμένης άμμου	σελ. 120
Πίνακας 9.1. Συγκριτικός πίνακας αντοχής σε θραύση – ημέρα ωρίμανσης για κατεργασμένη άμμο	σελ. 136
Πίνακας 9.2. Μέσες τιμές αντοχών σε συνάρτηση με τις ημέρες ωρίμανσης για την άπλυτη άμμο	σελ. 137
Διάγραμμα 9.1. Διάγραμμα αντοχής άπλυτης άμμου σε σχέση με το χρόνο ωρίμανσης	σελ. 138
Πίνακας 9.3. Μέσες τιμές αντοχών σε συνάρτηση με τις ημέρες ωρίμανσης για την πλυμένη άμμο	σελ. 139
Πίνακας 9.4. Συγκριτικός πίνακας σε δοκιμή θραύσης για 10 και 60 λεπτά ανάμιξης υλικών	σελ. 142
Πίνακας 9.5. Συγκριτικός πίνακας σε δοκιμή θραύσης με βάση το χρόνο ανάμιξης	σελ. 143
Διάγραμμα 9.2. Ιστόγραμμα χρόνου ανάμιξης και φορτίου για την άπλυτη άμμο	σελ. 143
Πίνακας 9.6. Συγκριτικός πίνακας αντοχής σε θραύση – ημέρα ωρίμανσης για κατεργασμένη άμμο	σελ. 146
Πίνακας 9.7.	σελ. 147
Διάγραμμα 9.3. Διάγραμμα αντοχής πλυμένης άμμου σε σχέση με το χρόνο ωρίμανσης	σελ. 148

Πίνακας 9.8.	σελ. 149
Πίνακας 9.9.	σελ. 152
Πίνακας 9. 10.	σελ. 153
Διάγραμμα 9.4. Ιστόγραμμα χρόνου ανάμιξης και αντοχής για την πλυμένη άμμο	σελ. 153
Πίνακας 9. 11.	σελ. 155
Διάγραμμα 9.5. Συγκριτικό διάγραμμα αντοχών άπλυτης και πλυμένης άμμου	σελ. 156
Πίνακας 9. 12.	σελ. 158
Διάγραμμα 9.6. Συγκριτικό ιστόγραμμα βάση του χρόνου ανάμιξης για πλυμένη και άπλυτη άμμο	σελ. 158
Πίνακας 10.1.	σελ. 169
Πίνακας 10.2.	σελ. 170
Πίνακας 10.3.	σελ. 172
Πίνακας 10.4.	σελ. 172

Πρόλογος

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε με σκοπό ν' αναγνωριστεί η ικανότητα μου στη διαχείριση προβλημάτων για την απόκτηση του διπλώματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Διεκπεραιώνοντας την εργασία αυτή είχα στο μυαλό μου δύο τύπους αναγνωστικού κοινού. Πρώτα, είναι οι φοιτητές του Πολυτεχνείου Κρήτης που παρακολουθούν μαθήματα σχετικά με το σκυρόδεμα.

Προσπάθεια καταβλήθηκε ώστε να τονιστούν οι βασικές αρχές παρασκευής και ωρίμανσης σκυροδέματος, οι οποίες ακολουθούν επακριβώς τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος που ισχύει από το 1985, για να καταστεί όσο το δυνατόν γίνεται κατανοητό στο αναγνωστικό κοινό.

Το δεύτερο αναγνωστικό κοινό θεωρώ ότι μπορεί να είναι οι επαγγελματίες μηχανικοί και οι επιστήμονες που ασχολούνται με το γνωστικό αντικείμενο του Σκυροδέματος. Ευελπιστώ ότι και οι δύο ομάδες αναγνωστών θα βρουν την εργασία αυτή χρήσιμο εργαλείο στη δουλειά τους.

Γενική Περίληψη

Στην εργασία αυτή ακολουθήθηκε με μεγάλη ακρίβεια ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος για τα δοκίμια που παρασκευάστηκαν. Χρησιμοποιήθηκαν αδρανή υλικά διαφόρων κοκκομετριών, από πολύ ψιλά έως χοντρά. Οι αναλογίες των υλικών παρέμειναν σταθερές σε όλα τα δοκίμια. Θέλοντας να μελετήσουμε πως η παιπάλη επηρεάζει την αντοχή του σκυροδέματος στην θραύση, χωρίσαμε τα δοκίμιά μας σε δύο ομάδες, σε αυτά που περιέχουν παιπάλη και σε εκείνα που δεν περιέχουν. Η διαδικασία παρασκευής των δοκιμίων μας ήταν η ίδια και στις δύο ομάδες. Οι παράμετροι που μελετήθηκαν στα πειράματά μας, ήταν η ύπαρξη ή όχι της παιπάλης στα δοκίμιά μας και τι επιπτώσεις έχει η παρουσία της στην αντοχή τους κατά τη θραύση, ο χρόνος ωρίμανσης των δοκιμίων μας, ο οποίος ήταν 3, 7, 28 και 56 ημέρες, καθώς και ο χρόνος ανάμειξης των υλικών μας, ο οποίος ήταν 10' και 60'.

Από τα πειράματά μας, διαπιστώσαμε ότι το σκυρόδεμα στο οποίο έχουμε μειώσει το ποσοστό της παιπάλης, έχει καλύτερες αντοχές από το αντίστοιχό του, που έχει παρασκευασθεί δίχως να έχουμε αφαιρέσει παιπάλη. Αυτό συμβαίνει, διότι η παιπάλη απορροφά ποσότητα νερού και την κατακρατεί ενδιάμεσα στους κόκκους της με συνέπεια να διατηρεί υγρασία το σκυρόδεμα και να μη του επιτρέπεται να αναπτύξει καλές αντοχές στη θραύση που το υποβάλουμε.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Η συσσώρευση των λεπτών ασβεστολιθικών παραπροϊόντων που προέρχονται από την παραγωγή αδρανών υλικών αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της βιομηχανίας των αδρανών. Τα προϊόντα αυτά, που σε μεγάλο ποσοστό παραμένουν ανεκμετάλλευτα, θα μπορούσαν να είναι σημαντική πηγή πρώτης ύλης για τον κατασκευαστικό τομέα.

Το μέγεθος του προβλήματος που δημιουργούν τα λεπτομερή είναι χαρακτηριστικό στην Ελλάδα, όπου η παραγωγή αδρανών για το έτος 2004 υπολογίζεται στα 30 εκατομμύρια τόνους, εκ των οποίων 3-4,5 εκατομμύρια τόνοι είναι τα λεπτομερή παραπροϊόντα (ποσοστό 10-15%) (Γαλετάκης 2004). Λαμβάνοντας υπόψη και τους κανονισμούς που περιορίζουν ολοένα και περισσότερο το ποσοστό παιπάλης στα διάφορα προϊόντα όπου συμμετέχουν τα αδρανή, γίνεται αντιληπτή η ανάγκη για εξεύρεση λύσεων.

Μέχρι σήμερα τα λεπτομερή ασβεστολιθικά προϊόντα έχουν περιορισμένη χρήση ως γεωργικά πρόσθετα ή πληρωτικά υλικά σε άλλους τομείς της βιομηχανίας. Σε πολλές περιπτώσεις η επεξεργασία του υλικού ώστε να καταστεί σε μορφή κατάλληλη για να συμμετέχει σε ένα προϊόν είναι αρκετά δύσκολη ή αρκετά δαπανηρή. Πριν αναζητηθεί οποιαδήποτε λύση θα πρέπει να γίνει η αξιολόγηση των χαρακτηριστικών της παιπάλης ώστε οι αντοχές του σκυροδέματος που παρασκευάζουμε να είναι όσο το δυνατόν καλύτερες. Στη συνέχεια θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως η γεωγραφική θέση του λατομείου και η ύπαρξη βιομηχανιών που να ενδιαφέρονται για το νέο προϊόν, η οικονομική απόκτηση και συντήρηση του εξοπλισμού που θα απαιτηθεί για να παραχθεί το νέο προϊόν και η ικανότητα του ανθρώπινου

δυναμικού να το υλοποιήσει. Τέλος, πρέπει να ελεγχθούν διάφορες παράμετροι του προϊόντος που θα παραχθεί για να εντοπιστούν τυχόν ατέλειες ή παραλείψεις στη φάση που το προϊόν βρίσκεται ακόμη σε πειραματικό στάδιο.

Έχοντας, υπόψη τα παραπάνω, επιχειρείται μέσα από την εργασία αυτή να γίνει μια διερεύνηση της επίδρασης των λεπτομερών ασβεστολιθικών υλικών (παιπάλη) στην ποιότητα δοκιμών σκυροδέματος τα οποία παρασκευάζονται από τα υλικά αυτά.

Το πρώτο στάδιο της διερεύνησης αφορά στον προσδιορισμό των ιδιοτήτων του υλικού μέσω εργαστηριακών μετρήσεων. Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει την παρασκευή δοκιμών σκυροδέματος με σκοπό να ελεγχθεί η καταλληλότητά τους για χρήση ως δομικό στοιχείο. Τα δοκίμια παρασκευάζονται από άμμο (τα μισά περιέχουν παιπάλη και τα άλλα μισά όχι), ψηφίδα, χαλίκι, τσιμέντο και νερό σε σταθερές αναλογίες συνεχώς και ομογενοποιούνται με τη βοήθεια μπετονιέρας. Τοποθετούνται σε καλούπια (μήτρες) και ακολουθεί η διαδικασία ωρίμανσής τους. Στη συνέχεια, ελέγχονται κύριες ιδιότητες του προϊόντος, όπως είναι η αντοχή τους σε θλίψη, το πορώδες.

Εκτός όμως από το ίδιο το προϊόν, εξετάζεται και η πειραματική διαδικασία. Με τον τρόπο αυτό μελετάται κάθε φορά η επίδραση του παράγοντα που μεταβάλλεται. Όταν οι παράγοντες είναι πολλοί το πείραμα απαιτεί αρκετό χρόνο για να ολοκληρωθεί και επιπλέον δεν είναι εφικτό να εξεταστούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραγόντων.

Στην συγκεκριμένη εργασία οι παράγοντες που επιδρούν στα χαρακτηριστικά ποιότητας (αντοχή σε θλίψη) του προϊόντος (δοκίμια σκυροδέματος) είναι κατά κύριο λόγο, η συμμετοχή ή όχι της παιπάλης και ο χρόνος ωρίμανσης

των δοκιμίων. Κατά δεύτερο λόγο και τελείως εμπειρικά επιλέξαμε και τον χρόνο ανάμειξης του υλικού μας στον αναδευτήρα.

1.1. Γενικά για τα αδρανή

Τα αδρανή υλικά (αγγλόφωνα aggregates, γαλλόφωνα aggregat) πήραν την ονομασία τους από το γεγονός ότι δεν έχουν καμία συμμετοχή στις χημικές αντιδράσεις και γενικότερα στις διεργασίες που συμβαίνουν κατά την ενυδάτωση του σκυροδέματος, από την ώρα δηλαδή που θα έρθει το τσιμέντο σε επαφή με το νερό. Βέβαια, αυτό δεν ανταποκρίνεται εντελώς στην πραγματικότητα, διότι η χημική αδράνεια των υλικών αυτών εξαρτάται από την ορυκτολογική τους σύσταση και τα υλικά με τα οποία έρχονται σε επαφή. Είναι τα κύρια συστατικά παραγωγής σκυροδεμάτων και ασφαλικών σκυροδεμάτων, ενώ έχουν και πληθώρα άλλων εφαρμογών όπως οδοστρώση, πλήρωση χανδάκων, διάστρωση δωματίων (π.χ. για προστασία της θερμομόνωσης), αμμοβολή κλπ. (www.latomiki.gr).

Τα αδρανή υλικά διακρίνονται σε οικογένειες ως εξής (Τσούτσικα Π., Σολδάτος Τ., Τσιαραμπίδης Α., Κορωνάιος Α., Τ.Ε.Ε., Οκτώβριος 2005) :

1.1.1. Με βάση την προέλευσή τους

- *Φυσικής προέλευσης*: είναι τα αδρανή τα οποία έχουν ληφθεί από το φυσικό περιβάλλον και έχουν υποστεί μόνο μηχανική επεξεργασία θραύσης, πλυσίματος και ταξινόμησης κατά μέγεθος.

- **Τεχνητά ή βιομηχανικά:** είναι τα αδρανή που έχουν προκύψει ως προϊόντα ή παραπροϊόντα βιομηχανικής δραστηριότητας από χημική ή θερμική επεξεργασία πρώτων υλών ορυκτής ή άλλης προέλευσης (π.χ. τέφρες, σκωρίες, υπολείμματα καύσεων, άργιλοι, βερμικουλίτης, περλίτης, αργιλικόι σχιστόλιθοι, σχιστοπηλοί κλπ.).
- **Ανακυκλωμένα:** είναι τα αδρανή που προκύπτουν από την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση δομικών υλικών από υφιστάμενες κατασκευές (υλικά κατεδάφισης σκυροδέματος, τοιχοποιίας, ασφαλτικών έργων κλπ.).

1.1.2. Με βάση το μέγεθος των κόκκων

Τα αδρανή υλικά ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους, τα διακρίνουμε στις παρακάτω βασικές κατηγορίες σύμφωνα με τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς Αδρανών Υλικών :

- **Παιπάλη ή άλευρο.** Είναι το διαβαθμισμένο λεπτομερές αδρανές υλικό με μέγεθος κόκκων μικρότερο 0,1 mm.
- **Άμμος.** Είναι τα αδρανή με μέγεθος κόκκων μέχρι 7 mm.
- **Σκύρα.** Είναι τα αδρανή με μέγεθος κόκκων από 7 – 70 mm.

Ακριβέστερα ως παιπάλη ορίζεται το διερχόμενο από το κόσκινο Νο 200 (75μm) και ως άμμος το διερχόμενο σε ποσοστό τουλάχιστον 95% από το κόσκινο Φ5 ή Νο 4 (4,75 mm) ή π 4. Πέρα από τις πιο πάνω κατηγορίες, τα αδρανή κατατάσσονται και σε ειδικότερες, ανάλογα με την προέλευση και το μέγεθος των κόκκων τους, όπως :

- άμμος λεπτόκοκκος
- άμμος χονδρόκοκκος
- άμμος ποταμίσια
- ρυζάκι
- γαρμπίλι
- ψηφίδα
- λεπτόκοκκα σκύρα

- χονδρόκοκκα σκύρα
- σκύρα οδοστρωσίας κλπ.

1.1.3. Με βάση την πηγή απόληψης

• *Φυσικά ή συλλεκτά αδρανή*: ονομάζονται τα αδρανή που η λήψη τους γίνεται από φυσικές αποθέσεις (π.χ. ποτάμια κλπ.). Είναι τα γνωστά χαλίκια, τα αμμοχάλικα ή η φυσική άμμος. Τα μειονεκτήματά τους είναι οι προσμίξεις χώματος, η λεία επιφάνεια και το στρογγυλεμένο σχήμα των κόκκων τους. Τα φυσικά είναι σχετικά σπάνια (ειδικότερα στην Ελλάδα) και βρίσκονται στις όχθες ποταμών ή χειμάρρων ή σε ερημικές εκτάσεις. Για το σκοπό αυτό και συνήθως έχουν στρογγυλεμένες έδρες, όπως διαμορφώθηκαν από τις καιρικές επιδράσεις (weathering).

• *Θραυστά αδρανή (αδρανή λατομείων)*: ονομάζονται τα αδρανή που προκύπτουν από εξόρυξη και θραύση όγκων πετρώματος. Είναι η κύρια κατηγορία αδρανών υλικών που χρησιμοποιούνται στον Ελλαδικό χώρο. Περιέχουν ποσοστό παιπάλης πολύ μεγαλύτερο από αντίστοιχα φυσικά αδρανή. Επειδή αποτελούν προϊόν εκρήξεως, οι σπασμένοι κόκκοι έχουν ανώμαλες έδρες, γεγονός που τους προσδίδει αυξημένες αντοχές σε διάτμηση σε σχέση με τα φυσικά, είναι όμως ακριβότερη η παραγωγή τους.

1.1.4. Με βάση το ειδικό τους βάρος

• *Κανονικού ειδικού βάρους*: είναι τα αδρανή με ειδικό βάρος 2000-3000 kg/m³ (gr/cm³). Είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα αδρανή για τεχνικά έργα (ασφαλτικά, οδοστρωσίας, παραγωγή σκυροδέματος, κονιαμάτων, κλπ.).

• *Ελαφροβαρή*: είναι τα αδρανή με ειδικό βάρος <2 Mgr/m³

• *Βαρέα*: είναι τα αδρανή με ειδικό βάρος >3 Mgr/m³. Έχουν ειδικές χρήσεις (π.χ. κατασκευές από σκυρόδεμα για προστασία από την ακτινοβολία κλπ.).

1.1.5. Με βάση τη χρήση τους

1.1.5.1. Αδρανή βάσεων και υποβάσεων

Στην οδοποιία χρησιμοποιούνται αδρανή υλικά για την κατασκευή στρώσεων βάσεων ή υποβάσεων. Σκοπός του οδοστρώματος είναι να παραλάβει τα φορτία της κυκλοφορίας και να τα κατανείμει στο υπέδαφος (Νικολαΐδης Α., 1996, Οδοποιία, Οδοστρώματα- Υλικά- Έλεγχος Ποιότητας, Μ. Τριανταφύλλου & Σια, Θεσσαλονίκη).

Τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται σε βάσεις ή υποβάσεις μπορεί να είναι φυσικά αδρανή ή θραυστά (αδρανή λατομείων). Σύμφωνα με την ΠΤΠ Ο-150¹ (1966) και ΠΤΠ Ο-155² (1966) (Ελληνικές Προδιαγραφές που ισχύουν μέχρι σήμερα δίχως καμία αναθεώρηση) τα αδρανή της υπόβασης μπορούν να είναι φυσικά ή θραυστά, ενώ τα αδρανή της βάσης πρέπει να είναι μόνο θραυστά. Σύμφωνα με το νέο Ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 13242, τα αδρανή της βάσης και της υπόβασης μπορεί, εκτός από φυσικά και θραυστά, να είναι τεχνητά και ανακυκλωμένα. Μια ουσιαστική αλλαγή είναι ότι εισάγει την ορυκτολογική και πετρογραφική εξέταση του προοριζόμενου πετρώματος για χρήση αδρανών, η οποία μπορεί να δώσει σαφείς πληροφορίες για τη συμπεριφορά του πετρώματος σε διάφορες καιρικές συνθήκες. Μη επιθυμητά πετρώματα είναι ο σχιστόλιθος, ο φυλλίτης, η κιμωλία, η μάργα, ο αργιλικός σχιστόλιθος και πετρώματα συνδεδεμένα χαλαρά με αργιλικά ορυκτά (Τσούτσικα Π., Σολδάτος Τ., Τσιαραμπίδης Α., Κορωναίος Α., Τ.Ε.Ε., Οκτώβριος 2005).

¹ ΠΤΠ Ο-150 (1996) : Πρότυπος Τεχνική Προδιαγραφή Ο-150, κατασκευή υποβάσεων οδοστρωμάτων δι' αδρανών υλικών σταθεροποιημένου τύπου. Υπουργείο Δημοσίων Έργων, Εγκύκλιος Γ.2516/28.2.1966, Αθήνα

² ΠΤΠ Ο-155 (1996) : Πρότυπος Τεχνική Προδιαγραφή Ο-155, κατασκευή βάσεων οδοστρωμάτων δι' αδρανών υλικών σταθεροποιημένου τύπου, Υπουργείο Δημοσίων Έργων, Εγκύκλιος Γ.2517/28.2.1966, Αθήνα.

1.1.5.2. Αδρανή σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα αποτελείται από αδρανή με συγκεκριμένη κοκκομετρική διαβάθμιση και τσιμέντο ως συγκολλητικό υλικό. Τα αδρανή υλικά αποτελούν το σκελετό του σκυροδέματος, επηρεάζουν καθοριστικά τις ιδιότητές του, τόσο στη νωπή όσο και στη σκληρυμένη μορφή. Η ανθεκτικότητα των κατασκευών από σκυρόδεμα επιτυγχάνεται με την αντίσταση του σκυροδέματος στις φθορές από φυσικά ή χημικά αίτια και από την προστασία του οπλισμού από τη διάβρωση. Οι κύριες αιτίες της αποσάθρωσης του σκυροδέματος (και άρα της μείωσης της ανθεκτικότητας) είναι:

α) φθορές που οφείλονται στη δράση του περιβάλλοντος (αέρας, νερό, διάβρωση εξαιτίας της επίδρασης της θάλασσας κλπ.) και στη δράση του ανθρώπινου παράγοντα (π.χ. κίνηση οχημάτων). Πετρώματα τα οποία αποσαθρώνονται εύκολα όπως οι αργιλικοί σχιστόλιθοι, είναι ακατάλληλα για αδρανή.

β) αποσάθρωση λόγω παγετού: οφείλεται στην εναλλαγή ψύξης-απόψυξης του σκυροδέματος παρουσία νερού.

γ) αποσάθρωση από χημικές προσβολές: οφείλεται στη χημική δράση διαφόρων ουσιών στο σκυρόδεμα, όπως ενώσεις θείου, σιδήρου, μολύβδου, ψευδαργύρου, χλωριούχες, φωσφορικές, νιτρικά άλατα και αλογόνα κλπ.

δ) αποσάθρωση λόγω αλκαλοπυριτικής αντίδρασης: οφείλεται σε αντίδραση των αλκαλίων του τσιμέντου με πυριτικά αδρανή που περιέχουν άμορφο SiO_2 . Η αντίδραση αυτή προκαλεί διόγκωση στην οποία οφείλεται η αποσάθρωση του σκυροδέματος. Τέτοια πετρώματα μπορεί να είναι οι δολομίτες, ζεόλιθοι, υαλώδεις έως κρυπτοκρυσταλλικοί ρυόλιθοι, δακίτες, λατίτες και ανδεσίτες. Επικίνδυνα ορυκτά είναι ο οπάλιος, χαλκηδόνιος, τριδυμίτης και χριστοβαλίτης (ΕΛΟΤ 408). Ο κίνδυνος για τη χώρα μας είναι πολύ μειωμένος, γιατί κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούμε ασβεστολιθικά αδρανή και επιπλέον όπου χρησιμοποιούνται πυριτικά αδρανή αυτά δεν είναι ενεργά.

Οι ισχύουσες προδιαγραφές για τα αδρανή σκυροδέματος είναι ο ΚΤΣ-97 «Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος 1997» και το Σχέδιο Ελληνικού Πρότυπου ΕΛΟΤ 408 «Θραυστά αδρανή για συνήθη σκυροδέματα». Σύμφωνα με το νέο Ευρωπαϊκό Πρότυπο Αδρανών Σκυροδέματος ΕΛΟΤ EN 12620 ως αδρανή υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνητά και ανακυκλωμένα αδρανή. Επιπλέον το νέο πρότυπο εισάγει την ονοματολογία του αδρανούς και την ορυκτολογική και πετρογραφική εξέταση (Τσούτσικα Π., Σολδάτος Τ., Τσιαραμπίδης Α., Κορωναίος Α., Τ.Ε.Ε., Οκτώβριος 2005).

1.1.5.3. Αδρανή για αντισιολισθηρά

Για την κατασκευή των αντισιολισθηρών στρώσεων των οδοστρωμάτων χρησιμοποιούνται αδρανή ειδικών χρήσεων. Τέτοια θεωρούνται εκείνα που εκτός από ιδιαίτερα μηχανικά και φυσικά χαρακτηριστικά παρουσιάζουν υψηλή αντοχή και κυρίως ανθεκτικότητα (Harrison & Bloodworth 1994). Ο ρόλος των αδρανών στην αντισιολισθηρή στρώση είναι να δώσουν σε αυτήν μεγάλη διάρκεια ζωής και να έχουν μεγάλη αντίσταση στην ολίσθηση. Η ικανότητα των αδρανών να ανθίστανται στη λείανση της επιφάνειας, χαρακτηρίζεται από την τιμή του δείκτη στίλβωσης PSV (Polished Stone Value).

Μέχρι στιγμής έχει γίνει αρκετή έρευνα για τη σημασία της αντισιολισθηρής στρώσης, την έρευνα και την αξιολόγηση των σκληρών πετρωμάτων για αντισιολισθηρές στρώσεις (Καζακόπουλος 1992, Λοΐζος κ.ά. 1996, Παλαιόκωστας & Βεράνης 1998, Βιδάκης & Παπατρέχας 1998, Μουρατίδης κ.ά. 1998, Νικολαΐδης κ.ά. 1999, Νταμπίτζιας κ.ά. 1999,2001). Η έρευνα για την εύρεση και αξιολόγηση των σκληρών αδρανών πρέπει να στραφεί σε πετρώματα που πληρούν ορισμένες τιμές όσον αφορά το δείκτη αντίστασης σε λείανση, το δείκτη αντίστασης σε τριβή και κρούση, το δείκτη αντίστασης σε απότριψη. Τέτοια πετρώματα είναι τα όξινα και βασικά πλουτωνικά, τα όξινα

ενδιάμεσα και βασικά ηφαιστειακά, χαλαζίτες και ψαμμίτες. Επίσης, οι συμπαγείς σκουριές υψικαμίνων.

Τα πυριγενή πετρώματα αποτελούν τα καλύτερα μητρικά πετρώματα για τη λήψη σκληρών αδρανών. Τα περισσότερο συμπαγή και λεπτοκρυσταλλικά από αυτά περιγράφονται διεθνώς ως trap (rock) και σ' αυτά περιλαμβάνονται δακίτες, ανδεσίτες, βασάλτες, διαβάσεις κ.ά. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά εξαρτώνται από την ορυκτολογική σύσταση, τον ιστό, το μέγεθος των κρυστάλλων, τις επιφάνειες ασυνέχειας ή αδυναμίας, το μέγεθος και την αναλογία των ανομοιογενών ως προς τη σκληρότητα συστατικών (Μουρατίδης κ.ά. 1998, Νταμπίτζιας κ.ά. 2003).

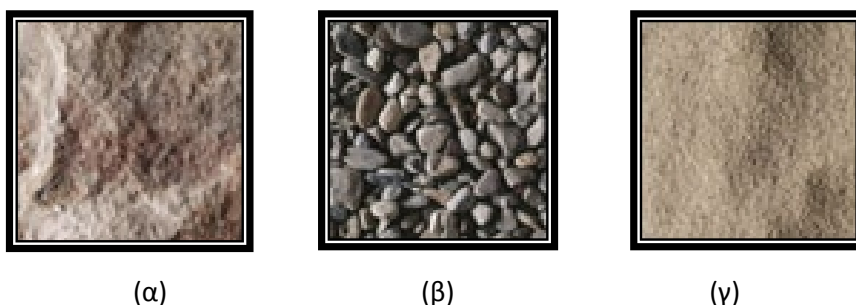
Από έρευνες του ΙΓΜΕ (Νταμπίτζιας κ.ά. 1991, 2001) και από έρευνες της Εγνατίας ΑΕ (Μουρατίδης κ.ά. 1998, Νικολαΐδης κ.ά. 1999) έχουν βρεθεί πολλές περιοχές με αδρανή που θεωρούνται σκληρά (κατάλληλα για αντιολισθηρά και σκύρα του ΟΣΕ) στην Κεντρική και Ανατολική Μακεδονία και κατά μήκος της Εγνατίας Οδού. Σύμφωνα με τους Νταμπίτζια κ.ά. (2003) πετρώματα του ελληνικού χώρου που θα μπορούσαν ενδεχομένως να χρησιμοποιηθούν ως αντιολισθηρά είναι διαβάσεις, γάββροι, μονζοδιορίτες, νορίτες, χαλαζιακοί διορίτες, ανδεσίτες, δακίτες, μερικοί γρανίτες, μεταβασίτες, ψαμμίτες και αρκόζες (Τσούτσικα Π., Σολδάτος Τ., Τσιαραμπίδης Α., Κορωναίος Α., Τ.Ε.Ε., Οκτώβριος 2005).

Οι κύριες χρήσεις των αδρανών υλικών αφορούν στον τομέα της κατασκευής δομικών και συγκοινωνιακών έργων όπως :

- σκυροδέματα
- κονιάματα
- ασφαλτομείγματα
- υλικά βάσης και

- υπόβασης οδοποιΐας.

Βασική προϋπόθεση για κάθε χρήση των αδρανών είναι να είναι ελεύθερα οργανικών ουσιών (ρίζες φυτών κλπ.).



Εικόνα 1.1. Διάφορα είδη αδρανών α) αδρανή, β) θραυστά αδρανή και γ) λεπτόκοκκα αδρανή.

Τα συνηθέστερα πετρώματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αδρανών υλικών στη χώρα μας είναι τα ασβεστολιθικά για τους παρακάτω λόγους :

- ικανοποιούν τις μηχανικές αντοχές των συνήθων κατασκευών.
- έχουν μικρό κόστος θραύσης.
- συναντώνται στα περισσότερα μέρη του Ελλαδικού χώρου.

Ως αδρανή χρησιμοποιούνται επίσης ορισμένα τεχνητά προϊόντα ή ειδικά πετρώματα όπως, σκουριές υψικαμίνων, σμύριδα, αμίαντος, κίσηρη (ελαφρόπετρα), διογκωμένος περλίτης, μπετονίτης κ.ά. Το φαινόμενο ειδικό βάρος των πετρωμάτων των συνήθων αδρανών, δηλαδή όσων προέρχονται από ελαφρά αδρανή (π.χ. ελαφρόπετρα) ή από βαριά ορυκτά (π.χ. βαρίτης), είναι της τάξης των $2,6 \text{ kg/cm}^3$. Η αντοχή τους αντίστοιχα ξεπερνά τα 800 kg/cm^2 , σαφώς ανώτερη από τα $400 - 500 \text{ kg/cm}^2$ που είναι η αντοχή του τσιμεντοκονιάματος(www.latomiki.gr).

Κεφάλαιο 2

Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.1. Ιστορική αναδρομή για το τσιμέντο

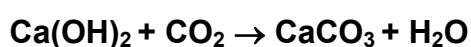
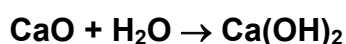
Από αρκετές χιλιάδες χρόνια η ύλη αυτή χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο στις οικοδομές. Μίγμα από ασβέστη κι άμμο σχηματίζει το αμμοκονίαμα, που μεταχειρίζονται οι οικοδόμοι για συνδετική ουσία ανάμεσα στις πέτρες των οικοδομών. Με πολύ ψιλή άμμο ή μαρμαρόσκονη και ασβέστη γίνεται η αμμοκονία, που χρησιμοποιείται για την επίστρωση των επιφανειών των τοίχων (σοβάτισμα). Το μίγμα αυτό γρήγορα στεγνώνει και σκληραίνει πολύ.

Η άσβεστος είναι χημική ένωση, που ονομάζεται «οξειδίο του ασβεστίου». Περιέχει δύο χημικά στοιχεία, ασβέστιο και οξυγόνο. Παράγεται από τους ασβεστόλιθους, τις γνωστές λευκές ή σταχτιές ή σταχτόμαυρες πέτρες, που συναντούμε άφθονες στην εξοχή, καθώς επίσης κι από το μάρμαρο. Οι ασβεστόλιθοι ή ασβεστόπετρες θερμαίνονται σε μεγάλα καμίνια (ασβεστοκάμινια) και στην θερμοκρασία 1000°K. Απελευθερώνουν το διοξείδιο του άνθρακα που περιέχουν, χάνουν το 44% από το βάρος τους κι απομένει το οξείδιο του ασβεστίου (ασβεστίτης).



Αν ρίξουμε μέσα στο νερό έναν ασβεστόλιθο, βλέπουμε πως δε διαλύεται. Αν ρίξουμε όμως έστω και μερικές σταγόνες νερό επάνω σε ένα κομμάτι ασβέστη, το νερό απορροφιάται αμέσως και συγχρόνως παράγεται

θερμότητα. Αν ρίξουμε περισσότερο νερό, το κομμάτι του ασβέστη φουσκώνει και διαλύεται, γίνεται μια μάζα που λέγεται πια σβησμένος ασβέστης, κατάλληλος για τις οικοδομικές εργασίες (αμμοκονιάματα, άσπρισμα σπιτιών κλπ.). Τα αμμοκονιάματα απορροφούν από την ατμόσφαιρα διοξείδιο του άνθρακα και σκληρύνονται, δηλαδή ο ασβέστης πάει να επανέλθει στην προηγούμενη κατάστασή του, να γίνει ασβεστόλιθος.

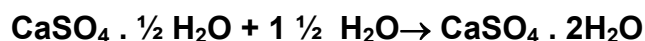


Αν διαλύσουμε μέσα σε νερό ολίγον ασβέστη και τον αφήσουμε να κατακαθίσει, ξεχωρίζει προς τα επάνω το διαυγές «ασβεστίου ύδωρ» της χημείας. Έχει την ιδιότητα να θολώνει μόλις έρθει σε επαφή με διοξείδιο του άνθρακα.

Υπάρχουν πολλά είδη ασβέστου. Οι καθαροί ασβεστόλιθοι δίνουν την πικτή άσβεστο. Μίγμα ασβεστόλιθου και αργίλου άμα τριφτούν και γίνουν ψιλή σκόνη και ύστερα πυρωθούν σε θερμοκρασία 800°C δίνουν το τσιμέντο, που είναι η βασική οικοδομική ύλη στην εποχή μας. Έχει την ιδιότητα να αναμιγνύεται εύκολα με το νερό, τα αμμοκονιάματα στερεοποιούνται πολύ γρήγορα κι αν «οπλισθούν» με σίδερο έχουν μεγάλη αντοχή (μπετόν αρμέ). Τσιμεντοβιομηχανίες υπάρχουν στην Ελευσίνα, Χαλκίδα και Πηλάκι Εύβοιας.

Ένα είδος ασβέστου είναι και η γύψος (θεικό ασβέστιο), που χρησιμοποιείται στην οικοδομική, στην πλαστική και στην χειρουργική. Η γύψος ενώνεται εύκολα με το νερό και δίνει έναν πολτό, που στερεοποιείται πολύ γρήγορα. Ο γύψος βγαίνει από τον ανυδρίτη, το σεληνίτη και τον αλάβαστρο με θέρμανση στους 110°C. Υπάρχουν κι άλλα είδη, όπως το χλωριούχο ασβέστιο, η

χλωροάσβεστος, το ανθρακικό ασβέστιο (Εγκυκλοπαίδεια Νέος θησαυρός γνώσεων)



2.2. Τα πρώτα προϊστορικά ευρήματα

Το σκυρόδεμα υπό την ευρύτερη του έννοια, δηλαδή ως υλικό που κατασκευάζει ο άνθρωπος με τη χρήση κάποιου συνδετικού υλικού μέσα στο οποίο προσθέτει διάφορα άλλα φυσικά υλικά που συνδέονται με τη συγκολλητική του δράση και σχηματίζουν ένα νέο στερεό υλικό, έχει ιστορία 9000 ετών.

Το αρχαιότερο γνωστό σήμερα σκυρόδεμα χρονολογούμενο από το 7000 π.Χ. βρίσκεται στη νότια Γαλιλαία, Yiftah El , Ισραήλ. Ανακαλύφθηκε το 1985 από μία μπουλντόζα στη διάνοιξη ενός δρόμου και σχηματίζει κάποιο δάπεδο. Αποτελείται από μίγμα ασβέστη με πέτρες. Ο ασβέστης όταν αναμιχθεί με νερό και άμμο δημιουργεί μία "λάσπη" - κονίαμα το οποίο ερχόμενο σε επαφή με το διοξείδιο του άνθρακα του ατμοσφαιρικού αέρα σκληραίνει και δημιουργεί ένα στερεό σώμα. Αν το κονίαμα αυτό ανακατευτεί με πέτρες, συνδέει - συγκολλάει τις πέτρες και δημιουργεί ένα είδος σκυροδέματος.

Άλλο παλαιό εύρημα σκυροδέματος υπάρχει στις όχθες του Δούναβη στο Lepenski Vir στη Γιουγκοσλαβία και χρονολογείται από το 5600 π.Χ. Αποτελεί το δάπεδο μιας προϊστορικής καλύβας.

2.3. Τα πρώτα ιστορικά βήματα

Στη μεγάλη πυραμίδα στην Γκίζα, στην Αίγυπτο (2500 π.Χ.) οι λίθοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με κάποιο κονίαμα από ασβέστη ή γύψο. Στην ίδια χώρα, στις αρχαίες Θήβες, υπάρχει τοιχογραφία με αναπαράσταση των εργασιών παρασκευής ασβεστοκονιάματος και χτισίματος με το υλικό αυτό.

Η τέχνη αυτή του χτισίματος φαίνεται ότι μεταφέρθηκε και στην αρχαία Ελλάδα όπου χρησιμοποιήθηκαν διάφορα μίγματα ασβέστη για χτίσιμο και για επικάλυψη πλίνθων φτιαγμένων από πηλό και ξεραμένων στον ήλιο.

Ο Ρωμαίος συγγραφέας Vitruvius αποτελεί μία σημαντική πηγή πληροφοριών για την αρχαία Ελληνική αρχιτεκτονική και οικοδομική. Χρησιμοποιεί την ελληνική λέξη " έ μ π λ ε κ τ ο ν " για να περιγράψει ένα "πρόδρομο" του σημερινού σκυροδέματος, υλικό που αποτελείται από ένα συνδετικό κονίαμα στο οποίο αναμιγνύονται μικρά τεμάχια λίθων.

Όλα τα κονιάματα με ασβέστη και νερό για να πήξουν και να σκληρυνθούν χρειάζεται να παραμείνουν στον αέρα (αερικά κονιάματα) για να γίνει η χημική αντίδραση της άσβεστου με το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας. Οι αρχαίοι Έλληνες ήσαν ίσως οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν υδραυλικές κονίες δηλ. κονίες που όταν ανακατευτούν με το νερό μπορούν να πήξουν και να σκληρυνθούν τόσο στον αέρα όσο και μέσα στο νερό. Επομένως τα κονιάματα και τα σκυροδέματα που παρασκευάζονται με υδραυλικές κονίες έχουν πολύ μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στις χρόνιες επιδράσεις του περιβάλλοντος. Τέτοια υδραυλικά κονιάματα χρησιμοποίησαν οι αρχαίοι Έλληνες τα κυριότερα από τα οποία είναι:

• Μίγμα ασβέστη και ηφαιστειακής γης από τη Θήρα ή τη Νίσυρο στην Ελλάδα ή τη Δικαιαρχεία, αργότερα Pozzuoli, στην ελληνική αποικία της Ιταλίας κοντά στη Napolì (Νεάπολη). Το μίγμα αυτό έχει τη δυνατότητα να πήζει και να σκληραίνει μέσα στο νερό (υδραυλική κονία) και δε διαλύεται από νερό όπως τα ασβεστοκονιάματα. Από την άποψη αυτή το μίγμα ασβέστη και ηφαιστειακής γης είναι πολύ συγγενές με το τσιμέντο και θα μπορούσε να θεωρηθεί ως "πρόδρομο" υλικό του σημερινού τσιμέντου. (Σήμερα παρασκευάζονται και έχουν ευρύτατη χρήση τσιμέντα με προσθήκη ποζολάνης, τα ποζολανικά τσιμέντα). Τέτοιο μίγμα φαίνεται ότι χρησιμοποιήθηκε για να γίνει υδατοστεγανή δεξαμενή χωρητικότητας 600 m³ στο ναό της Αθηνάς στην αρχαία Κάμιρο στη Ρόδο, καθώς και στην κατασκευή του λιμανιού του Πειραιά (Ζέα). Επίσης μίγματα ασβέστη, τριμμένης ηφαιστειακής γης και μαρμαρόσκονης χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα στην κατασκευή σοβάδων, ειδικών επικαλύψεων για να αποτελέσουν την επιφάνεια για ζωγραφική (στούκο) αλλά και για "συγκόλληση σπασμένων τεμαχίων μαρμάρων" (αρχαϊκός ναός Αρτέμιδος). Τα υλικά αυτά περιγράφονται από τους αρχαίους συγγραφείς Θεόφραστο, Στράβωνα και Vitruvius, αλλά και σύγχρονους ερευνητές (Τάσιος, Μπαντέκα, Haegerman Botticher, Bulard, Ευσταθιάδης, Wilski κ.ά.).



Εικόνα 2.1. Δεξαμενή νερού στο ναό της Αθηνάς στην αρχαία Κάμιρο της Ρόδου κατασκευασμένη από μίγμα ασβέστη και ηφαιστειακής γης.

- Τριμμένα κεραμίδια ή πλίνθοι με ασβέστη κυρίως σε θαλάσσια έργα (Δήλος, Ρόδος βίλα ελληνιστικής περιόδου).
- Διάφορα άλλα υλικά, όπως τέφρες (Κόρτυς Αρκαδία), σιδερόσκονη (Αγορά Αθηνών), πρωτοξείδιο του μόλυβδου (Λαυρίων).



Δεξαμενή αποθήκευσης φυσικού αερίου από σκυρόδεμα (κρυογενές σκυρόδεμα) στη Ρεβυθούσα

Εικόνα 2.2. Δεξαμενή αποθήκευσης φυσικού αερίου στη Ρεβυθούσα κατασκευασμένη από κρυογενές σκυρόδεμα.

Οι Ρωμαίοι φαίνεται ότι από το 300 π.Χ. πήραν τις γνώσεις αυτές από τους Έλληνες, πιθανότατα των Ελληνικών αποικιών της Ιταλίας, και τις ανέπτυξαν σε μεγάλο βαθμό τόσο ως προς τα ασβεστοκονιάματα (αερικά κονιάματα) όσο και ως προς τη χρήση μίγματος ασβέστη και ηφαιστειακής γης (υδραυλικά κονιάματα). Την ηφαιστειακή γη την προμηθεύονταν από το χωριό Pozzuoli κοντά στο Βεζούβιο. Το χωριό αυτό έδωσε το όνομα "Ποζολάνη" στα ηφαιστειακά υλικά αλλά και σε τεχνικά υλικά με τις ίδιες περίπου ιδιότητες (ορισμένες Ιπτάμενες Τέφρες- πυριτική παιπάλη) που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη έκταση σήμερα (Ποζολανικά τσιμέντα- ποζολανική χημική αντίδραση). Το αρχαίο Θέατρο της Πομπηίας χωρητικότητας 20.000 θεατών (75 π.Χ.) είναι ένα σημαντικό έργο των αρχαίων Ρωμαίων στο οποίο έγινε χρήση ποζολανικού τσιμέντου. Ακολουθούν πλήθος θαυμαστών από τεχνικής και αρχιτεκτονικής άποψης έργων, όπως το Κολοσσαίο (82 μ.Χ.), το Πάνθεον (123 μ.Χ.) και τα διάφορα υδραγωγεία, όπως το υδραγωγείο στη πόλη Nimes στη Γαλλία (150 μ.Χ.).

Αξιομνημόνευτο είναι το γραπτό κείμενο που περιγράφει την παρασκευή του αρχαίου αυτού τσιμέντου και ανήκει στον Vitruvius το 13 π.Χ. στο οποίο δίνονται οδηγίες στους αρχιτέκτονες για την παρασκευή κονιάματος που “πήζει τόσο στον αέρα όσο και μέσα στο νερό”. Είναι επίσης γνωστό ότι οι Ρωμαίοι προσέθεταν μερικές φορές στο “σκυρόδεμα” διάφορα υλικά για να βελτιώσουν τις ιδιότητές του και τα υλικά αυτά μπορούν να θεωρηθούν ως “πρόδρομα” των σήμερα χρησιμοποιούμενων “χημικών προσθέτων”. Για παράδειγμα, χρησιμοποίησαν αίμα του οποίου η δράση είναι παρόμοια με εκείνη των αερακτικών προσθέτων (υλικών που εισάγουν αέρα στο σκυρόδεμα με σκοπό να βελτιώσουν την ανθεκτικότητά του στη δράση του παγετού και να αυξήσουν την εργασιμότητά του). Επίσης ενδιαφέρον παρουσιάζει η προσθήκη κατά την ανάμιξη τριχών αλόγου “πρόδρομο” υλικό των χρησιμοποιούμενων σήμερα πλαστικών και χαλύβδινων ινών (ινοπλισμένο σκυρόδεμα).

Κατά το μεσαίωνα δεν παρουσιάζεται καμία εξέλιξη.

Το πρώτο ουσιαστικά βήμα για τη δημιουργία του τσιμέντου υπό τη μορφή που χρησιμοποιείται σήμερα θα μπορούσε να αποδοθεί στον Άγγλο μηχανικό John Smeaton στα μέσα του 1700 μ. Χ . Στο μηχανικό αυτό ανατέθηκε η κατασκευή ενός φάρου κοντά στο Plymouth , ο οποίος είχε προηγουμένως κατασκευασθεί από ξύλο και είχε δύο φορές καταστραφεί, αρχικά από πυρκαγιά και τελικά από θύελλα. Ήταν πλέον αυτονόητο ότι ο φάρος θα έπρεπε να κατασκευαστεί από πέτρα αλλά η γειννίαση με τη θάλασσα και η βραδύτητα πήξεως και σκλήρυνσης των ασβεστοκονιαμάτων δεν επέτρεπαν το ασφαλές χτίσιμο. Ο Smeaton άρχισε να ερευνά τα διάφορα υλικά και διαπίστωσε ότι τα ασβεστοκονιάματα με ασβέστη ο οποίος έχει παρασκευαστεί από το ψήσιμο ασβεστόλιθου που περιείχε άργιλο (δηλαδή πυρίτιο και αργίλιο) μπορούσαν να πήξουν τόσο στον αέρα όσο-και σπουδαιότερο- μέσα στο νερό. Αυτή η παρατήρηση θεωρείται ότι αποτελεί το πρώτο σημαντικό βήμα για την παραγωγή του τσιμέντου με τη μορφή που παράγεται σήμερα. Ανάλογες εξελίξεις την ίδια εποχή αναφέρονται στη Γαλλία

αποδιδόμενες στους Vicat και Lesage. Ακολουθούν διάφορες άλλες "εφευρέσεις" με αντίστοιχα διπλώματα ευρεσιτεχνίας όπως του εφημέριου James Parker με το "Ρωμαϊκό τσιμέντο". Η συστηματικότερη όμως παρασκευή τσιμέντου αποδίδεται στον Άγγλο μηχανικό Joseph Aspdin ο οποίος έδωσε στο υλικό (για το οποίο πήρε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας) το όνομα που και σήμερα χρησιμοποιείται "τσιμέντο Portland". Το όνομα αυτό δόθηκε γιατί το χρώμα του σκληρυμένου τσιμέντου ήταν πολύ κοντά στο χρώμα των πετρωμάτων στο Portland. Σήμερα σώζεται (σε εγκαταστάσεις Βρετανικής Τσιμεντοβιομηχανίας) ένας από τους πέτρινους κλιβάνους που χρησιμοποίησε ο γιος του Aspdin, William για την παραγωγή του τσιμέντου.

Έκτοτε η παραγωγή του τσιμέντου εξαπλώθηκε σε όλο τον κόσμο και παρουσίασε σημαντικές εξελίξεις για να φθάσει στο σημερινό επίπεδο εξέλιξης.

Σήμερα παράγονται ετησίως σε όλο τον κόσμο πάνω από 1,5 δισεκατομμύρια τόνοι τσιμέντου και το σκυρόδεμα που παρασκευάζεται από το τσιμέντο αυτό υπερβαίνει τα 10 δισεκατομμύρια τόνους. Το γεγονός αυτό καθιστά το τσιμέντο και το σκυρόδεμα από τα σπουδαιότερα δομικά υλικά της εποχής μας. Για να επιτευχθεί όμως αυτό χρειάστηκε να γίνουν σημαντικές πρόοδοι κυρίως τα τελευταία 80 - 100 χρόνια όπως ο συνδυασμός του σκυροδέματος με χάλυβα για να παραλαμβάνει τις εφελκυστικές τάσεις, η χρήση προεντεταμένων χαλύβων, η χρήση ινών, μη μεταλλικού οπλισμού, χημικών πρόσθετων (ιδίως των λεγόμενων υπέρ-ρευστοποιητικών) και πολύ λεπτόκοκκων υλικών (ποζολανών).

Σήμερα παρασκευάζεται σκυρόδεμα με θλιπτική αντοχή μεγαλύτερη από 200 MPa αλλά και σκυρόδεμα με προεπιλεγμένες ιδιότητες (χαμηλής αντοχής, υψηλής ανθεκτικότητας σε διαβρωτικές επιδράσεις του περιβάλλοντος,

αυτοσυμπυκνούμενο, με αντοχή σε τριβή και κρούση και σκυρόδεμα που απορροφά αέριες ενώσεις ΝΟ_x που μολύνουν το περιβάλλον).



Εικόνα 2.3. Σύγχρονες κατασκευές από σκυρόδεμα.

2.4 Προδιαγραφές

Στο σχεδιασμό και την κατασκευή ενός έργου απαιτείται τήρηση των προδιαγραφών που ισχύουν σε κάθε χώρα. Οι κανονισμοί που αναφέρονται πιο κάτω αφορούν πέρα από τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό στη μελέτη και εκτέλεση των έργων από σκυρόδεμα στη χώρα μας.

- Κανονισμός για τη μελέτη και κατασκευή έργων από σκυρόδεμα (1991)
- Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (1997)
- Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης (ΕΛΟΤ)

- Ευρωκώδικας 2 (EC2 1983)
- Πρότυπο ISO/DP 4357
- Αντισεισμικός Κανονισμός (1992)

Ειδικά για τον υπολογισμό των δομικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα πρέπει να ληφθούν κυρίως υπόψη οι διατάξεις του Κανονισμού για τη μελέτη και κατασκευή έργων από σκυρόδεμα (1991) καθώς και του Αντισεισμικού Κανονισμού που ισχύουν για την Ελλάδα.

2.5 Μονάδες

Σύμφωνα με το νέο κανονισμό για τη μελέτη και κατασκευή έργων από σκυρόδεμα οι μονάδες που χρησιμοποιούνται βασίζονται στο διεθνές σύστημα μονάδων S.I. Έτσι οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς των δυνάμεων για παράδειγμα είναι kN (kilonewton) συνήθως.

Παρακάτω παρατίθενται ο Πίνακας 2.1. στον οποίο φαίνεται η αντιστοιχία των μονάδων μετρήσεως δυνάμεων. Ας σημειωθεί ότι στον πίνακα αυτό η αντιστοιχία των μονάδων έχει γίνει για λόγους απλοποίησης με την παραδοχή ότι για την επιτάχυνση της βαρύτητας g ισχύει η σχέση $g=10\text{m/s}^2$ και όχι η ακριβέστερη τιμή $g=9,81\text{m/s}^2$. Η προσέγγιση αυτή θεωρείται απόλυτα επαρκής για τους στατικούς υπολογισμούς των κατασκευών, εάν μάλιστα λάβει κανείς υπόψη τις διάφορες ανακρίβειες που υπεισέρχονται στις τεχνικές εφαρμογές όσον αφορά στις τιμές των αντοχών των υλικών, τις τιμές των φορτίων ή τη θέση εφαρμογής τους κ.λ.π.

Δύναμη	kp	Mp	N	kN	MN
1 N =	10^{-1}	10^{-4}	1	10^{-3}	10^{-6}
1 kN =	10^2	10^{-1}	10^3	1	10^{-3}
1 MN =	10^5	10^2	10^6	10^3	1
1 kp =	1	10^{-3}	10	10^{-2}	10^{-5}
1 Mp =	10^3	1	10^4	10	10^{-2}

N = Newton (νέα μονάδα)

kN = Kilonewton

MN = Meganewton

kp = Kilopond (παλιά μονάδα)

Mp = Megapond

Πίνακας 2.1. Συντελεστές μετατροπής μονάδων μετρήσεως δυνάμεων.

Στον Πίνακα 2.2 που ακολουθεί, παρατίθενται οι συντελεστές μετατροπής μονάδων αντοχής.

Δύναμη/Επιφάνεια	Αντοχή
1 kp/cm ² =	0,1 Mpa
1 kN/cm ² =	10 Mpa

Πίνακας 2.2. Συντελεστές μετατροπής μονάδων μετρήσεως αντοχής.

Κεφάλαιο 3

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ.

3.1. Γενικά για τον ασβεστόλιθο

Ο ασβεστόλιθος είναι ένα ιζηματογενές πέτρωμα χημικής ή βιογενούς προέλευσης που αποτελείται κυρίως από το ορυκτό ασβεστίτη (ανθρακικό ασβέστιο CaCO_3). Άλλα ορυκτά που μπορεί να περιέχονται στον ασβεστόλιθο σε μικρές ποσότητες είναι ο δολομίτης, ο χαλαζίας, ο χλωρίτης, ο οπάλιος, αργιλικά ορυκτά, άστριοι, μαρμαρυγίες, ο λειμωνίτης, ο αιματίτης, ο σιδηρίτης καθώς και οργανικές ουσίες. Η ύπαρξη οργανικών ουσιών προσδίδει στο πέτρωμα τεφρό χρώμα, ενώ αντίθετα ο λειμωνίτης και ο σιδηρίτης το χρωματίζουν ανοιχτοκίτρινο ως καστανό, ο χλωρίτης τεφροπράσινο και ο αιματίτης ροδόχρουν ως κεραμέρυθρο. Ο καθαρός ασβεστόλιθος έχει λευκό χρώμα και ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων του ασβεστίτη χαρακτηρίζεται από λεπτόκοκκος ως κρυσταλλικός ασβεστόλιθος. Όταν το πέτρωμα αποτελείται από 10% έως 50% από το ορυκτό δολομίτης ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ονομάζεται δολομίτης ή δολομιτικός ασβεστόλιθος.

Το ειδικό βάρος του ασβεστόλιθου είναι 2.72gr/cm^3 και η σκληρότητα κατά Mohs 3. Η αντοχή του σε θλίψη κυμαίνεται από 20-200 MPa, σαν συνέπεια των ποικίλων γεωλογικών διεργασιών που έχουν επιδράσει κατά τη δημιουργία του πετρώματος και έπειτα. Αναβράζει έντονα σε ψυχρό υδροχλωρικό οξύ, σε αντίθεση με τον δολομίτη και τον μαγνησίτη. Η επιφανειακή εξάπλωση των ασβεστόλιθων είναι πολύ μεγάλη. Περίπου το 75% της συνολικής χερσαίας επιφάνειας της γης καλύπτεται από ιζηματογενή πετρώματα, με τους ασβεστόλιθους και τους δολομίτες να αποτελούν το 20%

του τμήματος αυτού. Βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια σε όλες τις ηπείρους ενώ η ηλικία τους ποικίλει από το Προκάμβιο ως πρόσφατα.



Εικόνα 3.1. Απεικονίσεις ασβεστόλιθου.

3.2.1. Δειγματοληψία των αδρανών

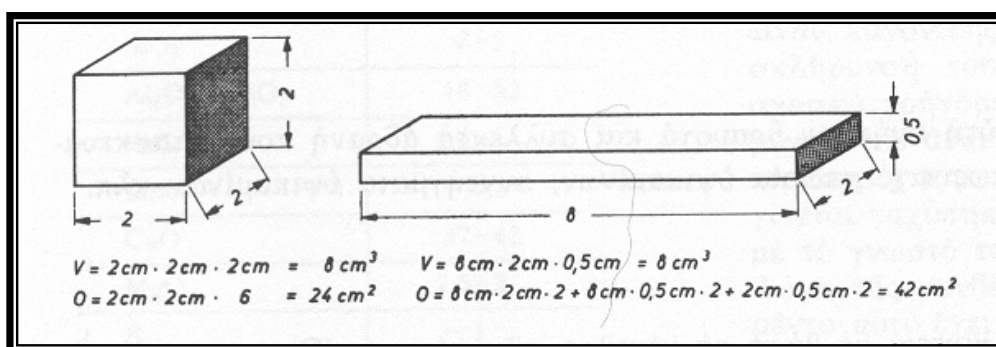
Η επιλογή του δείγματος αποτελεί τον κρίσιμότερο παράγοντα ενός ελέγχου ή δοκιμής. Η δειγματοληψία πρέπει να γίνει κατά τέτοιο τρόπο ώστε το δείγμα που θα ληφθεί να εκφράζει πιστά τις ιδιότητες όλης της ποσότητας της ύλης. Η δειγματοληψία των αδρανών και στην συνήθη περίπτωση που αυτά μεταφέρονται με αυτοκίνητα γίνεται στους σωρούς. Το δείγμα σχηματίζεται από μικρές ποσότητες που παίρνονται με φτυάρι από δέκα τουλάχιστον σημεία της ελεύθερης επιφάνειας του σωρού. Τα σημεία αυτά δεν πρέπει να είναι από το κάτω πέμπτο μέρος του σωρού.

3.2.2. Η μορφή των κόκκων των αδρανών

Το ποσοστό των ακατάλληλων κόκκων (ιδιαίτερα επιπέδων ή επιμηκών κόκκων) δεν πρέπει να ξεπερνά το 50% κατά βάρος της συνολικής ποσότητας αδρανών μεγέθους μεγαλύτερου των 8 mm.

Ο έλεγχος του ποσοστού ακατάλληλων κόκκων πραγματοποιείται με ειδικό παχύμετρο. Η μορφή των κόκκων των αδρανών έχει καθοριστική σημασία για την ποσότητα του τσιμεντοκονιάματος που απαιτείται κατά την παρασκευή σκυροδέματος.

Ένας επιμήκης ή πολύ επίπεδος κόκκος έχει μεγαλύτερη επιφάνεια από έναν σφαιρικό κόκκο. Χρειάζεται συνεπώς μεγαλύτερη ποσότητα τσιμεντοκονίας (βλ. εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2. Η επίδραση της μορφής πάνω στην επιφάνεια για κόκκους με τον ίδιο όγκο.

3.2.3. Η αντοχή των αδρανών

Οι κόκκοι των αδρανών πρέπει να έχουν τέτοια αντοχή, που να επιτρέπει την Παρασκευή σκυροδέματος με τις απαιτούμενες ιδιότητες. Η απαίτηση αυτή ικανοποιείται γενικά από τα φυσικής προέλευσης αδρανή, συλλεκτά ή

θραυστά, που στη φυσική τους κατάσταση έχουν υποστεί σημαντικές επιπονήσεις.

Ακατάλληλα από άποψη αντοχής για την παραγωγή αδρανών, θεωρούνται τα αποσαθρωμένα, αργιλικά και μαλακά μητρικά πετρώματα.

Η επάρκεια του πετρώματος σε αντοχή ελέγχεται με την χάραξή του, με τη βοήθεια ενός μαχαιριού ή με ένα ελαφρό χτύπημα με τη βοήθεια ενός σφυριού.

3.2.4. Η ανάμειξη αδρανών

Οι συνηθέστερες εφαρμογές των αδρανών υλικών απαιτούν την ανάμειξη υλικών διαφορετικής κοκκομετρικής σύστασης. Για παράδειγμα ο Κ.Τ.Σ. προβλέπει την ανάμειξη τριών τουλάχιστον κλασμάτων αδρανών για παρασκευή σκυροδέματος κατηγορίας C20/25 ή μεγαλύτερης. Γνωρίζοντας την κοκκομετρική διαβάθμιση των επί μέρους κλασμάτων μπορούμε να υπολογίσουμε αυτήν του μείγματος, που θα προκύψει αν τα αναμείξουμε σε μια γνωστή αναλογία. Έτσι για να υπολογίσουμε το ποσοστό διερχόμενου του μείγματος σε κάποιο κόσκινο αθροίζουμε τα γινόμενα του ποσοστού διερχόμενου κάθε κλάσματος στο συγκεκριμένο κόσκινο επί το ποσοστό συμμετοχής του στο δείγμα.

Παράδειγμα :

Η κοκκομετρική διαβάθμιση του μείγματος που θα προκύψει από την ανάμειξη άμμου και σκύρων σε ποσοστό 40% και 60% αντίστοιχα έχει ως ακολούθως.

κόσκινο	% διερχόμενο		
γερμανική σειρά	άμμος	σκύρα	μείγμα
31.5	100	100	$0.4 \cdot 100 + 0.6 \cdot 100 = 100$
16.0	100	80	$0.4 \cdot 100 + 0.6 \cdot 80 = 88$
8.0	100	30	$0.4 \cdot 100 + 0.6 \cdot 30 = 58$
4.0	100	5	$0.4 \cdot 100 + 0.6 \cdot 5 = 43$
2.0	92	2	$0.4 \cdot 92 + 0.6 \cdot 2 = 38$
1.0	70	-	$0.4 \cdot 70 = 28$
0.50	30	-	$0.4 \cdot 30 = 12$
0.25	10	-	$0.4 \cdot 10 = 4$

Πίνακας 3.1. Κοκκομετρική διαβάθμιση μείγματος που προκύπτει από ανάμειξη σκύρων και άμμου σε ποσοστό 60% και 40%.

Στην πλειοψηφία των εφαρμογών η διάταξη των κόκκων των αδρανών υλικών πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο που το μείγμα να διαθέτει τα λιγότερα κενά, να παρουσιάζει δηλαδή μεγάλη συνεκτικότητα. Παράλληλα όμως υψηλή τιμή της συνεκτικότητας μεταβάλλει δυσμενώς άλλες ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

Για τους παραπάνω λόγους, με βάση τα πειραματικά δεδομένα και την εμπειρία, οι κανονισμοί καθορίζουν περιοχές μέσα στις οποίες πρέπει να βρίσκονται οι καμπύλες κοκκομετρικής διαβάθμισης των υλικών, ανάλογα με τις ζητούμενες ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

3.2.5. Η ανθεκτικότητα των αδρανών στο ψύχος

Τα αδρανή, ανάλογα με τις θερμοκρασιακές συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο θα βρεθούν, πρέπει να έχουν και την αντίστοιχη ανθεκτικότητα. Η άμμος και οι χάλικες φυσικής προελεύσεως, συλλεκτά ή θραυστά αδρανή, σπάνια προσβάλλονται από το ψύχος. Επικίνδυνα είναι τα αδρανή τα οποία απορροφούν σημαντική ποσότητα νερού (ο έλεγχος γίνεται στάζοντας μια σταγόνα νερό πάνω στον ξηρό κόκκο του αδρανούς).

Αν υπάρχουν αμφιβολίες ως προς την ανθεκτικότητα των αδρανών και αν το σκυρόδεμα, που θα παρασκευασθεί με αυτά, πρόκειται να υποστεί έντονες εναλλαγές θερμότητας-ψύχους σ' ένα έντονα υγρό περιβάλλον, τότε τα αδρανή πρέπει να ελεγχθούν εργαστηριακώς σύμφωνα με τα γραφόμενα στο DIN 4226, φύλλο 3, παράγραφος 3.5.1(κατάψυξη μέσα σε νερό).

Αν το σκυρόδεμα, που θα παρασκευασθεί με τα αμφιβόλου ανθεκτικότητας αδρανή, πρόκειται να βρεθεί σε σχετικά υγρό περιβάλλον με έντονες εναλλαγές θερμότητας-ψύχους, τότε ο εργαστηριακός έλεγχος των αδρανών πρέπει να γίνει σύμφωνα με τα γραφόμενα στο DIN 4226, φύλλο 3, παράγραφος 3.5.2 (κατάψυξη στον αέρα).

3.2.6. Ποιοτικός έλεγχος αδρανών

Το σκυρόδεμα πρέπει να παράγεται σύμφωνα με τις σχετικές προδιαγραφές. Η τήρηση των προδιαγραφών πιστοποιείται με τον ίδιο έλεγχο και με τον έλεγχο από τρίτους.

Ο ίδιος έλεγχος: τα συγκροτήματα παραγωγής αδρανών πρέπει να πιστοποιούν ότι τα αδρανή που παράγουν είναι κατάλληλα για τη χρήση που προορίζονται.

Οι απαιτούμενοι έλεγχοι καταλληλότητας πρέπει να γίνονται σύμφωνα με το DIN 4226, φύλλα 1 και 3.

Ο έλεγχος από τρίτους: η γνησιότητα των αποτελεσμάτων του ίδιου ελέγχου πρέπει να ελέγχεται από μια αναγνωρισμένη εταιρία ποιοτικού ελέγχου.

Ο έλεγχος αυτός πρέπει να γίνεται τουλάχιστον κάθε 6 μήνες. Για τους ελέγχους αυτούς πρέπει να τηρείται ειδικό πρωτόκολλο και τα πορίσματά του να καταγράφονται σε ειδικά πιστοποιητικά. Τα συγκροτήματα που ελέγχονται από τρίτους πρέπει να αναγράφουν στα δελτία παραδόσεως «DIN 4226, φύλλο 1» καθώς και τα στοιχεία του οργανισμού που διενεργεί τον έλεγχο.

3.2.7. Μέθοδοι εξόρυξης και επεξεργασίας αδρανών υλικών

Ο ασβεστόλιθος εξορύσσεται κυρίως με υπαίθρια και πολύ λιγότερο με υπόγεια εκμετάλλευση. Η μέθοδος της υπαίθριας εκμετάλλευσης επιτυγχάνει υψηλότερη παραγωγή και είναι οικονομικότερη από την υπόγεια εκμετάλλευση. Η συνηθέστερη μέθοδος εξόρυξης είναι η μέθοδος της ασυνεχούς λειτουργίας που βρίσκει εφαρμογή σε σκληρούς σχηματισμούς. Επιτυγχάνεται με τις συμβατικές μεθόδους διάτρησης και ανατίναξης. Χαρακτηρίζεται από τη χρησιμοποίηση εκρηκτικών υλών για την προχαλάρωση ή την απευθείας εξόρυξη του πετρώματος και εκσκαφών - φορτωτών - χωματουργικών αυτοκινήτων για την φόρτωση και τη μεταφορά.

Το κατάλληλο αρχικό μέγεθος των τεμαχίων του πετρώματος είναι σημαντικό για την ομαλή λειτουργία του σπαστήρα. Αν ο σπαστήρας τροφοδοτηθεί με πολύ μεγάλα τεμάχια μπορεί να μπλοκάρει και να καθυστερήσει όλη την παραγωγή έως ότου επιτευχθεί ικανοποιητική μείωση του μεγέθους του βράχου. Για την αποφυγή τέτοιων προβλημάτων, πολλές φορές χρησιμοποιούνται σφύρες που μειώνουν το μέγεθος των βράχων πριν ακόμη γίνει η φόρτωση και μεταφορά τους.

Μετά την ανατίναξη του πετρώματος γίνεται η φόρτωση και η μεταφορά του στη μονάδα θραύσης. Αρχικά, γίνεται ένας διαχωρισμός των λεπτότερων τεμαχίων από τα μεγαλύτερα μέσω μιας σχάρας. Στο σημείο αυτό αποβάλλονται πρωτογενή λεπτομερή, τα οποία κυρίως περιέχουν αργιλικά υλικά από τα υπερκείμενα του ασβεστόλιθου, ενώ τα υπόλοιπα τεμάχια τροφοδοτούνται στους σπαστήρες για περαιτέρω μείωση του μεγέθους τους.

Χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι σπαστήρων, όπως ο κρουστικός, ο σφυρόμυλος κ.ά. Στην πρωτογενή θραύση, όπου γίνεται μείωση του μεγέθους των τεμαχίων του ασβεστόλιθου γύρω στα 10 cm, χρησιμοποιούνται κυρίως οι δύο πρώτοι τύποι σπαστήρων. Η θραύση επιτυγχάνεται με δύο τρόπους: μέσω σύνθλιψης του πετρώματος όπου το φορτίο ασκείται σταθερά και προκύπτουν κυρίως επιμήκη σωματίδια και μέσω κρούσης όπου το πέτρωμα υπόκειται σε ξαφνική φόρτιση με αποτέλεσμα να παράγεται μεγάλη ποσότητα λεπτομερών αλλά και να υπάρχει καλύτερη ομοιομορφία στο μέγεθος και το σχήμα των σωματιδίων. Κατά την δευτερογενή θραύση το υλικό περνάει από άλλους σπαστήρες που μειώνουν το μέγεθος στα επιθυμητά κλάσματα χαλίκιων και άμμου που προορίζονται για την παρασκευή σκυροδέματος. Στα σημεία αυτά, και κυρίως στα αμμοτριβεία, παρατηρείται η μεγαλύτερη παραγωγή παιπάλης.

Μετά τους σπαστήρες τα αδρανή διέρχονται από δονούμενα συνήθως κόσκινα όπου διαχωρίζονται ανάλογα με το μέγεθός τους. Το ξέπλυμα των

αδρανών με νερό, ώστε να απομακρυνθούν τα λεπτομερή, είναι καλό να γίνεται τόσο στην περίπτωση που προορίζονται δια αδρανή σκυροδέματος όσο και για αδρανή ασφαλτομίγματος.

Αφού γίνει και ο διαχωρισμός στα κόσκινα, τα αδρανή ταξινομούνται σε σωρούς σύμφωνα με το μέγεθός τους σε υλικά βάσεων/υποβάσεων, σκύρα, χαλίκια και άμμο για τις τελικές χρήσεις.

3.3. Προδιαγραφές του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος για τα αδρανή υλικά στο σκυρόδεμα

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (1997) τα αδρανή που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή σκυροδέματος πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές ως προς το ποσοστό παιπάλης που περιέχουν.

Ως παιπάλη ορίζεται το κλάσμα του αδρανούς που περνάει από το Αμερικανικό πρότυπο Κόσκινο No 200 (75 μm). Βρίσκεται είτε προσκολλημένη στους κόκκους του υλικού εμποδίζοντας την πρόσφυση των αδρανών με την κονία, είτε σχηματίζοντας συσσωματώματα δημιουργώντας αδύναμα σημεία στη μάζα του σκυροδέματος, ή ακόμα διασκορπισμένη ομοιόμορφα μέσα στη μάζα του αδρανούς με αποτέλεσμα να μειώνεται η αντοχή. Η παιπάλη έχει γενικά την ιδιότητα να αυξάνει την αναγκαία ποσότητα του νερού στο σκυρόδεμα και να ελαττώνει αντίστοιχα την αντοχή του. Για το λόγο αυτό, η παιπάλη της θραυστής άμμου δε πρέπει να υπερβαίνει το 16% του ξηρού βάρους της και η παιπάλη των πιο χονδρόκοκκων κλασμάτων (ρυζάκι, γαρμπίλι, σκύρα) δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1% του ξηρού βάρους τους. Για άοπλα σκυροδέματα χωρίς ειδικές απαιτήσεις επιτρέπεται παιπάλη στην άμμο μέχρι 20% του ξηρού βάρους της. Αντίθετα, η παιπάλη της φυσικής άμμου δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5% του ξηρού βάρους της άμμου.

Στο ασφαλικό σκυρόδεμα το ποσοστό παιπάλης των αδρανών πρέπει να βρίσκεται μεταξύ 5-12%. Μεγάλο ποσοστό παιπάλης δίδει στο ασφαλικό σκυρόδεμα μεγάλη πλαστικότητα. Επειδή η παιπάλη έχει την ιδιότητα να προσκολλάται πάνω στο χονδρόκοκκο υλικό, ο διαχωρισμός της από αυτό με το συνήθη τρόπο κοσκίνισματος είναι αρκετά δύσκολος και όχι πλήρης. Γι' αυτό και η απομάκρυνσή της γίνεται με έκπλυση ή με απαγωγή από ρεύμα αέρα.

Έχει παρατηρηθεί ότι, τα τελευταία χρόνια, υπάρχει σημαντική βελτίωση στα μεγέθη τα οποία χαρακτηρίζουν την ποιότητα των σκυροδεμάτων. Η σημαντική αυτή βελτίωση στην ποιότητα του σκυροδέματος με τσιμέντο και ανάλογα στα λοιπά είδη σκυροδεμάτων με ή χωρίς συνδετικό υλικό, οφείλεται στους εξής κυρίως παράγοντες :

- Βελτίωση των μεθόδων τροφοδότησης και ανάμιξης
- Βελτίωση της κοκκομετρικής διαβάθμισης και της μορφής των κόκκων των αδρανών υλικών
- Χρήση χημικών πρόσθετων
- Ποιότητα των αδρανών υλικών

Από τους παραπάνω παράγοντες ο πιο σημαντικός θεωρείται ο τελευταίος, ο οποίος επηρεάζει την αντοχή και ομοιογένεια των σκυροδεμάτων.

Κεφάλαιο 4

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

4.1. Το σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα είναι ένα τεχνητό δομικό υλικό που παρασκευάζεται με την ανάμιξη τσιμέντου, αδρανών (σκύρων), νερού και ενδεχομένως προσμίκτων μέσων (στην παρασκευή του συγκεκριμένου σκυροδέματος δε χρησιμοποιήθηκαν τέτοια μέσα) και που στερεοποιείται μετά τη χημική ένωση του νερού με το τσιμέντο (ενυδάτωση).

Ο όρος αδρανή περιλαμβάνει γενικά την άμμο και τα χαλίκια ή λιθοσύντριμμα. Εκτός από τα συστατικά αυτά, είναι δυνατόν να προστεθούν στο σκυρόδεμα κατά την παρασκευή του και ορισμένα άλλα υλικά που τροποποιούν κατά συγκεκριμένο τρόπο μερικές από τις ιδιότητές του.

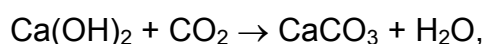
Για να παρασκευαστεί ένα καλό σκυρόδεμα, δεν αρκεί η καλή διαλογή και σύνθεση των συστατικών του. Εξίσου σημαντικό είναι, η παρασκευή του, η διάστρωσή του και η επεξεργασία του μετά τη διάστρωση να γίνουν σύμφωνα με τις σχετικές προδιαγραφές. Η γνώση των ιδιοτήτων των υλικών για κανένα άλλο δομικό υλικό δεν είναι τόσο απαραίτητη, όσο για το σκυρόδεμα. Επισταμένη έρευνα οδήγησε στην ανάπτυξή του σαν δομικό υλικό και στην έκταση που έχει σήμερα καταλάβει στον τομέα των κατασκευών τόσο σαν άοπλο όσο και σαν οπλισμένο σκυρόδεμα.

4.1.1. Βασικές έννοιες σκυροδέματος

Ο ο π λ ι σ μ έ ν ο σ κ υ ρ ό δ ε μ α (stahlbeton, beton arme, reinforced concrete) είναι το σκυρόδεμα που έχει ενσωματωμένο χάλυβα με τη μορφή ράβδων ή πλεγμάτων για την παραλαβή τάσεων. Ο χάλυβας αποτελεί τότε τον οπλισμό των δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα. Ο οπλισμός παραλαμβάνει τις εφελκυστικές τάσεις σε στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα, που επιπονούνται σε κάμψη ή εφελκυσμό, αφού το σκυρόδεμα ως τεχνητός λίθος έχει υψηλή αντοχή σε θλίψη και μικρή σε εφελκυσμό και διάτμηση. Η παρουσία του οπλισμού μπορεί επίσης να αυξήσει τη φέρουσα ικανότητα δομικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα που επιπονούνται μόνο σε θλίψη.

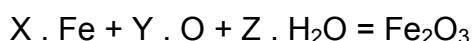
Η συνεργασία του χάλυβα των οπλισμών και του σκυροδέματος επιτυγχάνεται χάρη στον κοινό συντελεστή θερμικής διαστολής των δύο αυτών υλικών ($\alpha_c \sim \alpha_{st} \sim 10^{-5} \text{ m/m } ^\circ\text{C}$, επιμήκυνση $\sim 1\text{mm/m}$ στους 100°C) καθώς στις αναπτυσσόμενες τάσεις συνάφειας μεταξύ των ράβδων του οπλισμού και του περιβάλλοντος σκυροδέματος.

Από χημικής πλευράς βασική προϋπόθεση για τη συνεργασία του σκυροδέματος και των ράβδων οπλισμού είναι η διατήρηση αλκαλικού περιβάλλοντος ($\text{pH} > 12$) για τον χάλυβα που προσφέρει το σκυρόδεμα (πήγμα τσιμέντου). Το περιβάλλον αυτό με την πάροδο του χρόνου καταστρέφεται λόγω ενανθράκωσης (carbonation) σύμφωνα με την εξίσωση :



η οποία εκφράζει τη μεταβολή του αλκαλικού περιβάλλοντος -επίδραση του CO₂ της ατμόσφαιρας στο Ca(OH)₂ του τσιμεντοπολτού και μετατροπή του σε CaCO₃ που μπορεί να προκαλέσει οξείδωση του ενσωματωμένου στο σκυρόδεμα χάλυβα.

Η οξείδωση του χάλυβα σύμφωνα με την εξίσωση :



μπορεί να αποφευχθεί στα δομικά στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα, όταν υπάρχει πλήρης και επαρκής κάλυψη (πολύ μεγαλύτερη από τη ζώνη ενανθράκωσης) των ράβδων του οπλισμού από σκυρόδεμα.

Όσον αφορά στο κόστος των υλικών πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ο χάλυβας είναι περίπου τρεις φορές ακριβότερος από τα σκυρόδεμα (καταπόνηση σε σύνθλιψη), σε εφελκυστική όμως καταπόνηση το σκυρόδεμα δεν παραλαμβάνει σχεδόν καθόλου τάσεις εφελκυσμού και τότε είναι συμφέρουσα η χρήση του χάλυβα για την παραλαβή τους.

Το σ ι μ ε ν τ ο κ ο ν ί α μ α είναι το μίγμα νερού, τσιμέντου και άμμου με διάμετρο κόκκων < 4mm.

Ν ω π ό σκυρόδεμα είναι το σκυρόδεμα που δεν έχει ακόμα σκληρυνθεί και για το λόγο αυτό είναι ακόμα εύπλαστο. Το νωπό σκυρόδεμα τοποθετείται – χύνεται μέσα στους ξυλοτύπους 9 καλούπια) για την πρόσδοση της επιθυμητής μορφής στο δομικό στοιχείο και συμπυκνώνεται με δονητές. Οι ξυλότυποι αποτελούν τη φέρουσα κατασκευή για το νωπό σκυρόδεμα και

αφαιρούνται μετά τη σκλήρυνσή του (απόκτηση επαρκούς αντοχής) οπότε το δομικό στοιχείο διατηρεί τη μορφή του.

Ά ο π λ ο σκυρόδεμα είναι το σκυρόδεμα σε ένα δομικό στοιχείο που δεν περιέχει οπλισμό.

Π ρ ο ε ν τ ε τ α μ έ ν ο σκυρόδεμα (spannbeton, beton precontrain, prestressed concrete) είναι το σκυρόδεμα δομικών στοιχείων, όπου με “τάνυση” χαλύβων υψηλής αντοχής εισάγονται στη μάζα του σκυροδέματος μεγάλες θλιπτικές δυνάμεις, οι οποίες αναιρούν τις αναπτυσσόμενες σε εφελκυστικές περιοχές των διατομών εφελκυστικές τάσεις λόγω εξωτερικής φόρτισης και αποτρέπουν τη ρηγμάτωση του δομικού στοιχείου.

Έ τ ο ι μ ο σκυρόδεμα είναι το σκυρόδεμα που παρασκευάζεται σε μονάδες μαζικής παραγωγής και μεταφέρεται με ειδικά οχήματα σε νωπή κατάσταση έτοιμο για σκυροδέτηση στο εργοτάξιο.

Π ρ ο κ α τ α σ κ ε υ ή είναι η δόμηση με δομικά στοιχεία στα οποία το σκυρόδεμα έχει σκληρυνθεί πριν αυτά τοποθετηθούν στην οριστική τους θέση στην κατασκευή. Ο τρόπος αυτός δόμησης απαιτεί μεταφορά και τοποθέτησης-συναρμολόγηση επί τόπου των μεμονωμένων δομικών στοιχείων έχει όμως γρήγορη και απλούστερη διαδικασία παραγωγής των στοιχείων.

4.1.2. Υλικά παρασκευής σκυροδέματος

Τα κύρια συστατικά του σκυροδέματος είναι το τσιμέντο, τα αδρανή και το νερό. Συχνά για τη βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων του σκυροδέματος (π.χ. επιτάχυνση ή επιβράδυνση της πήξεως, μείωση της διαπερατότητας κ.λ.π.)

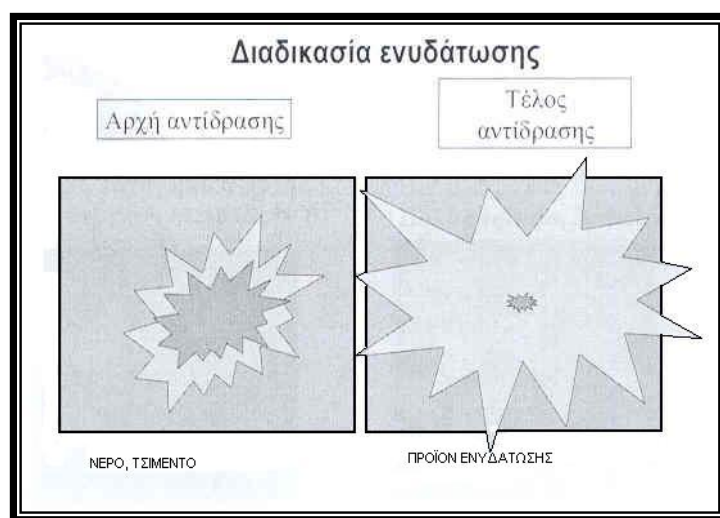
προστίθενται στο μίγμα ορισμένες χημικές ουσίες που ονομάζονται **π ρ ό σ θ ε τ α** (κάτι το οποίο δεν έγινε στη δική μας παρασκευή σκυροδέματος).

Όλα τα υλικά του σκυροδέματος πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις που προδιαγράφονται από τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος [2.1].

4.1.3. Πορώδες του σκυροδέματος.

4.1.3.1. Μηχανισμοί δημιουργίας του πορώδους.

Ο μηχανισμός δημιουργίας των κενών στο σκυρόδεμα, που με μία λέξη αποκαλούμε πορώδες, σχετίζεται με τον βασικό μηχανισμό σκλήρυνσης του σκυροδέματος και της αύξησης της αντοχής του, τη χημική αντίδραση του νερού με το τσιμέντο, που ονομάζεται «ενυδάτωση του τσιμέντου». Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ενδεικτικά ο μηχανισμός ενυδάτωσης του τσιμέντου.



Εικόνα 4.1. Μηχανισμός ενυδάτωσης τσιμέντου.

Σε χοντρικές γραμμές, η περιγραφή της αντίδρασης έχει ως εξής. Στην αρχή της αντίδρασης ο κόκκος του τσιμέντου που περιβάλλεται από νερό, αντιδρά με το νερό δημιουργώντας σύμπλοκα άλατα σε μορφή βελόνας. Στην αρχή αντιδρά η εξωτερική επιφάνεια του κόκκου και όσο προχωράει η αντίδραση προς το εσωτερικό του κόκκου, τόσο πιο πολλά άλατα δημιουργούνται καταλαμβάνοντας μεγαλύτερο όγκο. Η αντίδραση προχωράει με την πάροδο του χρόνου, οπότε ο όγκος των αλάτων καταλαμβάνει το μέγιστο όγκο που μπορεί να καταλάβει. Η πρόοδος της αντίδρασης με την πάροδο του χρόνου είναι ασυμπτωτική και ποτέ δεν πραγματοποιείται η πλήρης ενυδάτωση του τσιμέντου.

Οι «βελόνες» των σύμπλοκων αλάτων – προϊόντων αντίδρασης τσιμέντου – νερού των κόκκων που γεινιάζουν, «μπλέκονται» μεταξύ τους, δημιουργώντας ένα στερεό σύμπλεγμα, το οποίο αποτελεί τη στερεά τσιμεντόπαστα. Η σκληρυμένη τσιμεντόπαστα μαζί με τα περιεχόμενα αδρανή, αποτελούν το σκληρυμένο σκυρόδεμα.

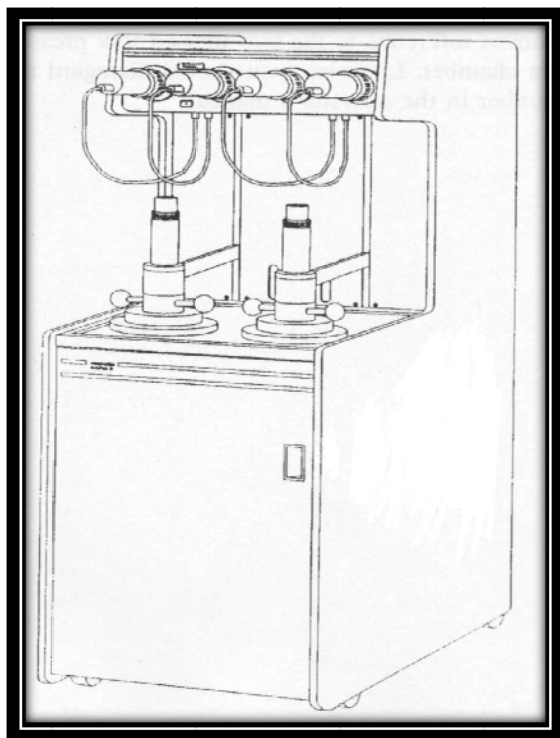
Το σύνολο των κενών που απομένει μεταξύ των προϊόντων της ενυδάτωσης, αποτελεί το πορώδες του σκυροδέματος, το οποίο, ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες και της απόστασης του κάθε τμήματος του σκυροδέματος από ελεύθερη επιφάνεια, μπορεί να είναι πλήρες νερού ή αέρα.

Στα κυλινδρικά δείγματα που πραγματοποιήσαμε μετρήσεις πορώδους, τα αποτελέσματα που πήραμε ήταν τα αναμενόμενα, έχοντας υπόψη την προηγούμενη θεωρία. Για την άπλυτη άμμο λάβαμε ένα ποσοστό πορώδους 16,06% και για την πλυμένη ένα μεγαλύτερο ποσοστό πορώδους 19,26%. Αυτή η αύξηση που παρατηρείται στο πορώδες των δοκιμίων της πλυμένης άμμου είναι αναμενόμενη, γιατί στα δοκίμια αυτά αφαιρέθηκε το ψιλό της παιπάλης ($-10\mu\text{m}$), οπότε τα κενά μεταξύ των κόκκων που πληρούσαν οι ψιλοί κόκκοι της, παραμένουν ανοιχτά με συνέπεια να αφήνουν να περάσει το νερό από μέσα. Ενώ στα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκε η άμμος χωρίς να της

αφαιρέσουμε ποσοστό παιπάλης, το πορώδες είναι μικρότερο, εφόσον η ύπαρξή της δεν επιτρέπει την διακίνηση νερού μέσα από τους κόκκους της τόσο εύκολα.

4.1.3.2 Ποροσιμετρία

Για την εκτέλεση των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε το ποροσίμετρο Micromeritics Autopore IV 9510 του εργαστηρίου Τεχνολογίας Κεραμικών και Υάλου. Γενικά το ποροσίμετρο υδραργύρου μπορεί να ασκήσει πίεση μέχρι 228MPa (33.000psia) οπότε ο υδράργυρος διεισδύει σε πόρους μέχρι 0,005μm διάμετρο. Πριν αναλυθεί το δείγμα πρέπει να ζυγιστεί όπως επίσης και το πενετρόμετρο (δειγματοφορέας του οργάνου). Μέσω ειδικού λογισμικού καταχωρούνται τα δεδομένα του δείγματος και ρυθμίζονται διάφοροι παράμετροι της ανάλυσης.



Εικόνα 4.2. Το ποροσίμετρο Micromeritics Autopore IV 9520. Το 9510 που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα έχει δυο θύρες χαμηλής πίεσης και μια υψηλής αντί για τέσσερις και δυο αντίστοιχα του σχήματος.

Η ανάλυση αρχίζει με την εισαγωγή του πενετρόμετρου στην θύρα χαμηλής πίεσης. Η πρώτη φάση της ανάλυσης με χαμηλή πίεση περιλαμβάνει την αφαίρεση του αέρα από το πενετρόμετρο. Την απαέρωση ακολουθεί η πλήρωση με υδράργυρο. Η μέγιστη πίεση που ασκείται είναι 207KPa (30psia). Μόλις ολοκληρωθεί η ανάλυση χαμηλής πίεσης το πενετρόμετρο ξαναζυγίζεται και τοποθετείται στην θύρα υψηλής πίεσης. Η μέγιστη τιμή της πίεσης αυτού του τμήματος της ανάλυσης είναι 228MPa (33.000psia). Το όργανο διαθέτει δυο θύρες χαμηλής πίεσης και μια υψηλής.

Ο όγκος των πόρων υπολογίζεται από τον όγκο του υδραργύρου που έχει παραμείνει στο στέλεχος του πενετρόμετρου (penetrometer stem). Με την αύξηση της πίεσης, ο υδράργυρος εισχωρεί στους πόρους του δείγματος αδειάζοντας το στέλεχος. Όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση τόσο μικρότερη είναι η διάμετρος του πόρου που διεισδύει. Με γνωστή την γωνία επαφής και την ακτίνα καμπυλότητας του υδραργύρου υπολογίζεται η διάμετρος του πόρου που έχει διεισδύσει σε δεδομένη πίεση.

Ο όγκος του υδραργύρου στο στέλεχος μετράται μέσω της ηλεκτρικής χωρητικότητας του πενετρόμετρου. Χωρητικότητα είναι το σύνολο του ηλεκτρικού φορτίου που έχει αποθηκευτεί ανά μονάδα τάσης του εφαρμοζόμενου ρεύματος. Η χωρητικότητα του πενετρόμετρου αλλάζει ανάλογα με το μήκος του στελέχους που είναι γεμάτο με υδράργυρο. Με την αύξηση της πίεσης ο υδράργυρος διεισδύει στους πόρους του δείγματος οπότε μειώνεται ο όγκος του υδραργύρου μέσα στο στέλεχος. Αυτή η μείωση του μήκους του στελέχους του πενετρόμετρου που είναι καλυμμένο με υδράργυρο προκαλεί μείωση στην χωρητικότητά του. Το λογισμικό του οργάνου αναλαμβάνει να μετατρέψει τις μετρήσεις χωρητικότητας σε μέτρηση διαμέτρου πόρων.



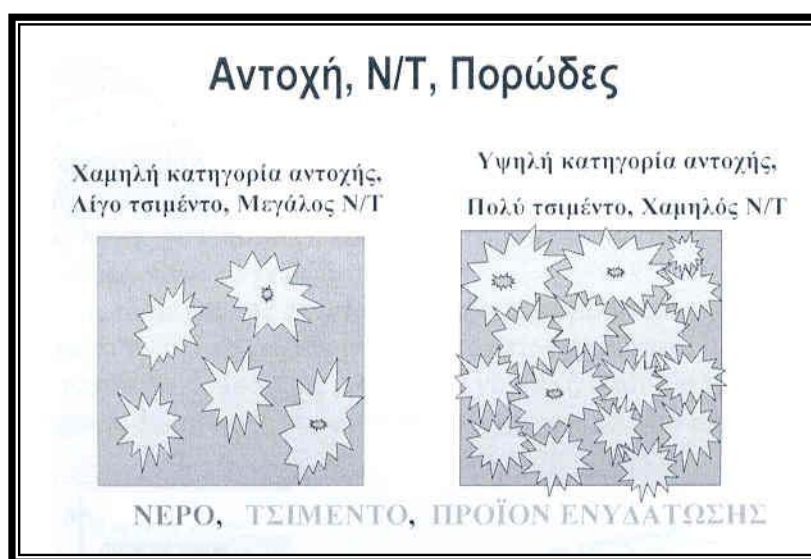
Εικόνα 4.3. Ποροσίμετρο εργαστηρίου κεραμικών.

ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΑ	
ΑΜΜΟΣ	ΠΟΡΩΔΕΣ (%)
ΠΛΥΜΕΝΗ	19,26
ΑΠΛΥΤΗ	16,06%

4.1.3.3. Σχέση αντοχής, N/T και πορώδους.

Το νερό που απαιτείται για την πλήρη αντίδραση του τσιμέντου με το νερό είναι περίπου το 22 – 23 % του βάρους του τσιμέντου, δηλαδή $N/T = 0,23$. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει περίσσεια νερού για τις υπόλοιπες

ιδιότητες που πρέπει να έχει το σκυρόδεμα, όπως η εργασιμότητα, αντλησιμότητα κλπ. Για να αποκτήσει το σκυρόδεμα αυτές τις ιδιότητες, εκτός των άλλων, απαιτείται περίσσεια νερού. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ενδεικτικά η επίδραση της σχέσης N/T στην αντοχή και στα κενά – πορώδες του σκυροδέματος.

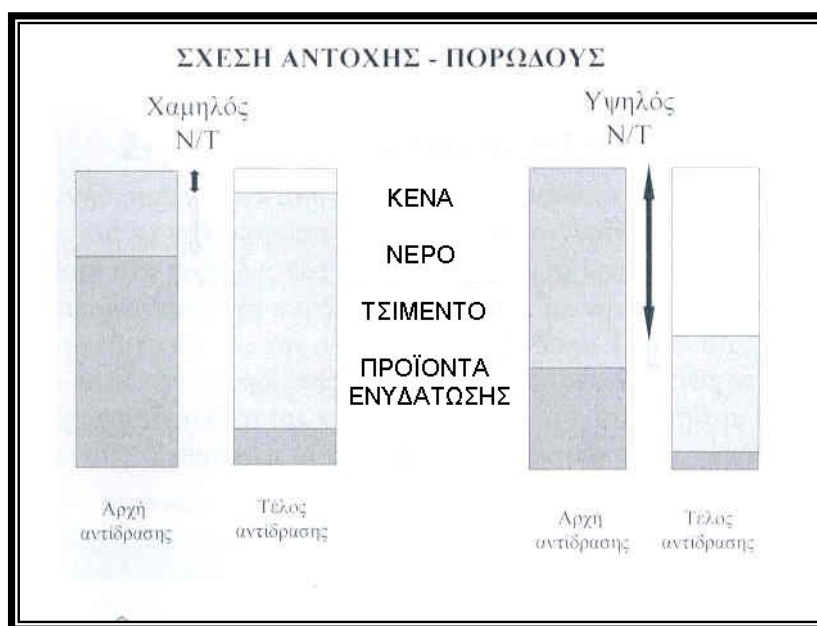


Εικόνα 4.4. Αντοχή, N/T, Πορώδες.

Όσο περισσότερο είναι το νερό σε σχέση με το τσιμέντο (μεγάλος N/T), οι βελόνες των προϊόντων ενυδάτωσης «μπλέκονται» λίγο μεταξύ τους, τα κενά που σχηματίζονται μεταξύ των προϊόντων ενυδάτωσης (πορώδες) των διπλανών κόκκων είναι σχετικά μεγάλα, με αποτέλεσμα η τάση που απαιτείται για να σπάσει αυτός ο «δεσμός», να είναι σχετικά μικρή, οπότε και η αντοχή είναι μικρή (αριστερό σχήμα στην Εικ. 8.4.). Όταν το νερό σε σχέση με το τσιμέντο είναι λιγότερο (μικρός N/T), οι βελόνες των προϊόντων ενυδάτωσης είναι «σφιχτά μπλεγμένες» μεταξύ τους, τα κενά που σχηματίζονται μεταξύ τους είναι σχετικά μικρά, με αποτέλεσμα η τάση που απαιτείται για να «σπάσει» αυτός ο δεσμός να είναι μεγαλύτερη από το πρώτο παράδειγμα (δεξιό σχήμα στην Εικ. 6.4.). Οι λόγοι N/T για τα συνηθισμένα έργα

κυμαίνονται από 0,45 – 0,70. για ειδικά σκυροδέματα μπορούμε να φτάσουμε και την τιμή $N/T = 0,30 - 0,35$.

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται ογκομετρικά οι δύο παραπάνω περιπτώσεις.



Εικόνα 4.5. Σχέση αντοχής - πορώδους.

Το βέλος $\updownarrow$ δείχνει το μέρος του νερού που αντιδρά με το τσιμέντο. Το υπόλοιπο ή παραμένει εντός ή εξατμίζεται, όταν οι συνθήκες το επιτρέψουν.

Η επίπτωση στο πορώδες, τη «δίοδο» μέσω της οποίας εισέρχονται οι παράγοντες που προσβάλλουν τον οπλισμό, των διαφόρων παραμέτρων, για σταθερά όλα τα υπόλοιπα, είναι :

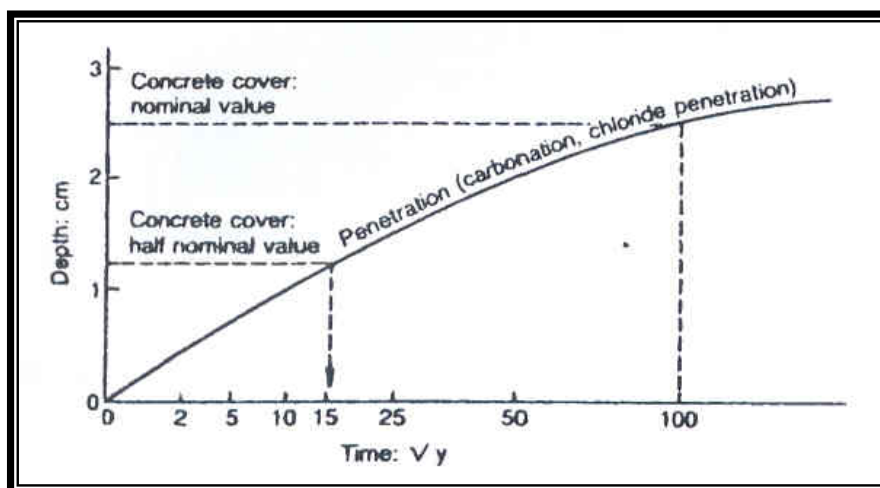
- ο Μεγάλη ποσότητα τσιμέντου $\rightarrow$ μικρό πορώδες.
- ο Μικρός λόγος $N/T \rightarrow$ μικρό πορώδες.
- ο Μεγάλη αντοχή $\rightarrow$ μικρό πορώδες.

4.1.4. Σημασία της επικάλυψης.

Για τον οπλισμό, το στοιχείο του σκυροδέματος που είναι αποφασιστικής σημασίας για τη διάρκεια ζωής του, είναι η επικάλυψη. Όσο πυκνότερη η επικάλυψη, μεγάλη αντοχή, μικρότερος λόγος N/T , μεγάλη ποσότητα τσιμέντου και σε τελευταία ανάλυση, όσο μικρότερο είναι το πορώδες.

Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος της επικάλυψης, τόσος μεγαλύτερος χρόνος απαιτείται για να φτάσουν οι επιβλαβείς παράγοντες στον οπλισμό. Σημειώνεται ότι η ταχύτητα διείσδυσης ακολουθεί νόμο $\sqrt{t}$, όπου t ο χρόνος.

Παράδειγμα της σχέσης διείσδυσης συναρτήσει του χρόνου, δίνεται στο παρακάτω σχήμα.

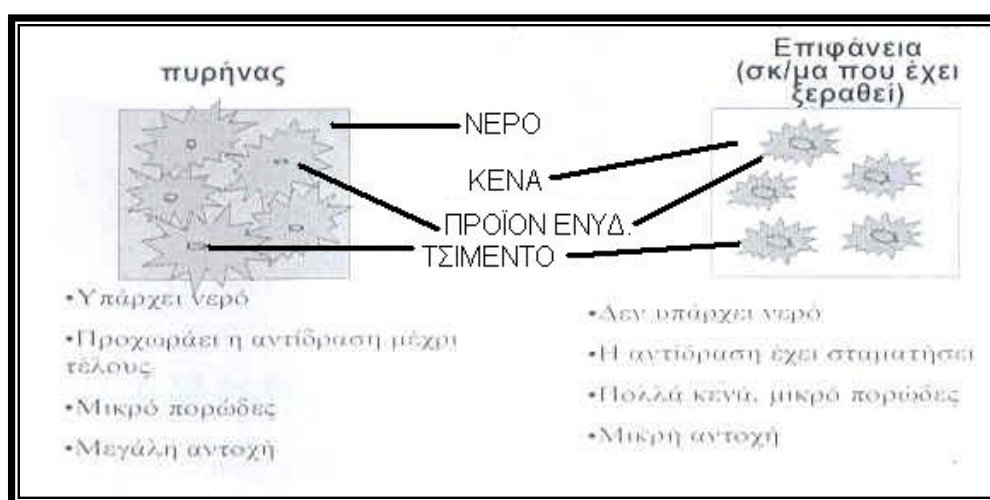


Εικόνα 4.6. Παράδειγμα της επίδρασης του πάχους της επικάλυψης του σκυροδέματος.

Η σημαντικότητα του πάχους της επικάλυψης φαίνεται από το ότι όταν η επικάλυψη μειωθεί κατά το μισό, η διάρκεια ζωής μειώνεται κατά 85 % περίπου.

4.1.5. Σημασία της συντήρησης.

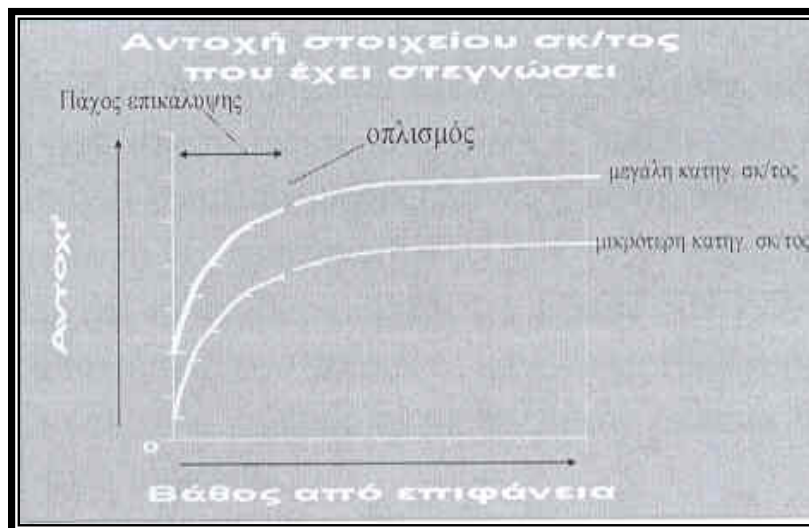
Στην Ελλάδα η συνηθισμένη πρακτική είναι να συντηρούνται τα οριζόντια στοιχεία για μερικές ημέρες και τα κατακόρυφα σχεδόν καθόλου. Αυτή η πρακτική έχει ουσιαστική επίδραση στο πορώδες της επικάλυψης του σκυροδέματος. Τα αναφερόμενα στην αντίστοιχη παράγραφο, ισχύουν με την βασική προϋπόθεση της ύπαρξης των συστατικών για την αντίδραση, Νερού και Τσιμέντου. Όταν για οποιοδήποτε λόγο κατά την πρόοδο της ενυδάτωσης υπάρξει έλλειψη νερού, η πρόοδος της αντίδρασης διακόπτεται, οπότε σταματά και η αύξηση του όγκου των προϊόντων ενυδάτωσης. Σχηματικά αυτό φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 4.7. Αύξηση του όγκου των προϊόντων ενυδάτωσης σε σχέση με την ύπαρξη νερού.

Ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, όταν η συντήρηση σταματήσει, το νερό που δεν έχει ακόμη αντιδράσει με το τσιμέντο αρχίζει να εξατμίζεται. Η εξατμηση είναι μεγάλη στην επιφάνεια και μειώνεται όσο προχωρούμε στο βάθος. Έτσι, ενώ στον πυρήνα του σκυροδέματος η ενυδάτωση του τσιμέντου προχωρά, στις επιφανειακές στιβάδες του σκυροδέματος, η ενυδάτωση σταματά. Έτσι το πορώδες του σκυροδέματος ή η αντοχή του σε σχέση με την

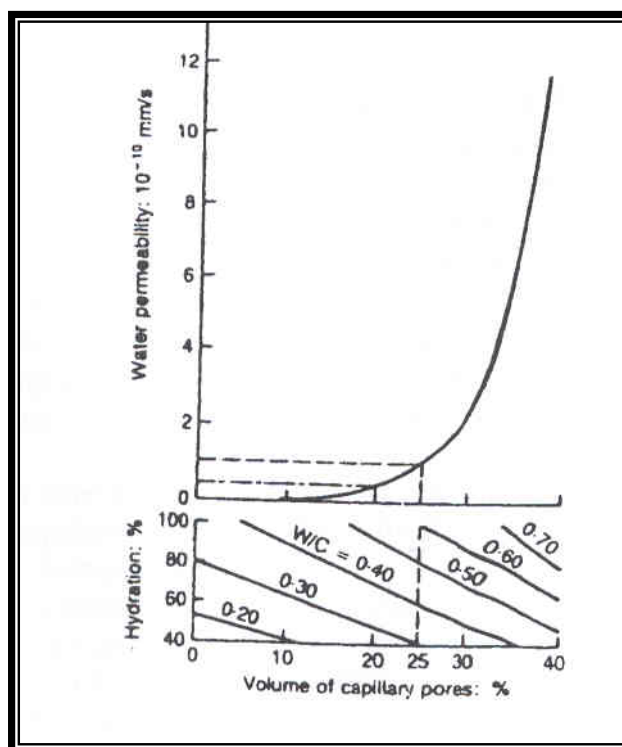
απόσταση από την επιφάνεια, για συγκεκριμένη αρχική κατηγορία αντοχής, μπορεί σχηματικά να απεικονιστεί ως εξής :



Εικόνα 4.8. Αντοχή στοιχείου σκυροδέματος που έχει στεγνώσει.

Στην πράξη, η επικάλυψη έχει μεγαλύτερο πορώδες από τον πυρήνα ή αντίστροφα μικρότερη αντοχή.

Έτσι, η διαπερατότητα του σκυροδέματος κοντά στην επιφάνεια, όταν η συντήρηση έχει διαρκέσει για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, είναι μεγάλη στην επιφάνεια και μειώνεται συναρτήσει του βάθους, μέχρι το ελάχιστο που μπορεί να φτάσει, το οποίο εξαρτάται από τη συμβατική αντοχή του σκυροδέματος. Όλα αυτά συγκεντρωτικά φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 4.9. Influence of W/C ratio on permeability¹⁰.

Συμπερασματικά για καλή προστασία του οπλισμού απαιτούνται :

1. Μεγάλο πάχος επικάλυψης.
2. Επικάλυψη με μειωμένη διαπερατότητα (μεγάλη αντοχή, πολύ τσιμέντο, χαμηλό N/T).
3. Καλή συντήρηση εξωτερικής επιφάνειας, ώστε να αξιοποιηθεί η μειωμένη διαπερατότητα που έχει σχεδιαστεί.
4. Καλή συμπύκνωση, ιδίως της εξωτερικής επιφάνειας (νέες τεχνολογίες, αυτοσυγκρατούμενο σκυρόδεμα).

4.1.6. Παραθαλάσσιο περιβάλλον.

Στο παραθαλάσσιο περιβάλλον, εκτός του CO₂ δρουν αθροιστικά και τα Cl⁻, των οποίων η δραστικότητα είναι μεγαλύτερη από του CO₂. εκτός της μειωμένης διαπερατότητας, στην αντίσταση της διείσδυσης των Cl⁻ παίζει ρόλο και το είδος του τσιμέντου. Έχει βρεθεί ότι τσιμέντα με ποζολάνες ή σκωρία υψικαμίνων, τύπου I, III, IV σύμφωνα με το νέο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1, είναι ανθεκτικότερα στη διείσδυση των Cl⁻ από ότι τα «καθαρά» (τύπου I, ΕΛΟΤ EN 197-1).

Παρακάτω φαίνονται οι παρατηρήσεις που θέτουν οι κανονισμοί διαφόρων χωρών για έκθεση περιβάλλοντος S1 (σε αέρα κορεσμένο σε θαλάσσια άλατα), η οποία για την χώρα μας έχει τη μεγαλύτερη σημασία.

Τι προβλέπεται από τους Κανονισμούς**(EN 206)****για παραθαλάσσιο περιβάλλον (S1)****Πίνακας 4.1.**

		Ελάχιστη	
	μέγιστος N/T	Περιεκτικότητα	ελάχιστη
		Τσιμέντου	αντοχή
Γερμανία	0.50	300	C 30/37
Αγγλία	0.50	340	C 32/40
Γαλλία	0.55	330	C 30/37
Ιταλία	0.50	340	C 32/40
Ελλάδα			
(ΚΤΣ 97)	0.60	330	

4.1.7. Πρακτικές κατασκευής στην Ελλάδα.

Οι σημερινές πρακτικές κατασκευής στα έργα στην Ελλάδα, όσον αφορά την κατηγορία σκυροδέματος και την κατασκευή, μπορούν να συνοψιστούν ως εξής :

- Ο σχεδιασμός στις μελέτες γίνεται για αντοχή C 16/20 και C 20/25.
- Συνήθως, για λόγους εργασιμότητας και ευκολίας στη διάστρωση, γίνεται προσθήκη νερού στο έργο.
- Τη δεύτερη μέρα τα κατακόρυφα στοιχεία ξεκαλουπώνονται.

- Η τοποθέτηση αποστατήρων είναι μη συνηθισμένη πρακτική, με αποτέλεσμα οι οπλισμοί να μην έχουν την επικάλυψη που οι κανονισμοί θέτουν.

Οι επιπτώσεις των παραπάνω συνοψίζονται ως εξής :

- Η αντοχή σχεδιασμού (C 16/20 και C 20/25) είναι χαμηλή όσον αφορά τις απαιτήσεις διαπερατότητας.
- Η προσθήκη επιπλέον νερού μειώνει κατά μία κατηγορία περίπου την αρχική αντοχή, με αποτέλεσμα στην πραγματική κατασκευή η διαπερατότητα του συνόλου του σκυροδέματος να είναι ακόμα μικρότερη.
- Η πρακτική του ξεκαλουπώματος τη δεύτερη μέρα, χωρίς τη μετέπειτα συντήρηση των κατακόρυφων στοιχείων, έχει σαν αποτέλεσμα η επικάλυψη του οπλισμού να μην έχει ούτε αυτή την αντοχή που προκύπτει μετά την προσθήκη του νερού, αλλά ακόμη μικρότερη λόγω ξήρανσης της εξωτερικής επιφάνειας και διακοπής της ενυδάτωσης του τσιμέντου.
- Η έλλειψη αποστατήρων επιφέρει δραματική μείωση του πάχους της επικάλυψης, η οποία σε συνδυασμό με τα προηγούμενα, έχει σαν αποτέλεσμα η προστασία του οπλισμού να είναι τελείως ανεπαρκής, με αποτέλεσμα την ταχεία οξείδωση του οπλισμού.

4.1.8. Προτάσεις για την θωράκιση της κατασκευής ως προς τη διάρκεια ζωής.

- Θεωρούμε ότι το ελάχιστο που θα πρέπει να εξασφαλίζεται, είναι οι απαιτήσεις των κανονισμών ως προς την περιεκτικότητα σε τσιμέντο,

N/T κλπ. Ο ΚΤΣ επιβάλλει σε παραθαλάσσιο σκυρόδεμα ελάχιστο τσιμέντο 330 kg/m^3 .

- Η απαίτηση αυτή δεν είναι άμεσα ούτε έμμεσα ελέγξιμη, γι' αυτό προτείνεται ο σχεδιασμός με ελάχιστη κατηγορία σκυροδέματος C 25/30, για την επίτευξη της οποίας απαιτείται η προαναφερόμενη ποσότητα τσιμέντου.
- Να αποφεύγεται αυστηρά η προσθήκη νερού στο έργο. Για τις απαιτήσεις υψηλής εργασιμότητας, να χρησιμοποιείται μόνον υπερευστοποιητής.
- Να επιβάλλεται ο αυστηρός έλεγχος για όχι μόνο την χρήση, αλλά και για την ορθή χρήση αποστατήρων.
- Πρέπει να αποφεύγεται το ξεκαλούπωμα των κατακόρυφων στοιχείων την επόμενη μέρα της σκυροδέτησης.

Κεφάλαιο 5

ΒΑΣΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

5.1. Το τσιμέντο

Το τσιμέντο (ή κονία) είναι συνδετικό μέσο σκληρυνόμενο στον αέρα και μέσα στο νερό (πλήζει), ανθεκτικό στο νερό μετά την σκλήρυνση. Αποτελεί τη δραστική συγκλητική ουσία που σαν πολτός γεμίζει τα κενά της άμμου. Το τσιμέντο³ έχει μεγαλύτερη μηχανική αντοχή από τις άλλες κονίες (ασβέστης, γύψος) και το κόστος του είναι αρκετά χαμηλό. Αποτελείται από οξείδια του ασβεστίου (CaCO_3), πυριτίου (SiO_2), αργιλίου (Al_2O_3) και σιδήρου (Fe_2O_3) που είναι ενωμένα μεταξύ τους και αποτελούν το 90% του βάρους του. Το υπόλοιπο μέρος είναι γύψος και μικρές ποσότητες αλάτων μαγνησίου, καλίου, νατρίου και άλλων στοιχείων. Το τσιμέντο πρέπει να διατηρεί σταθερό τον όγκο του και να έχει μια συγκεκριμένη αντοχή σε θλίψη 28 ημέρες μετά την παρασκευή του. Η μεγάλη του αντοχή σε θλίψη το ξεχωρίζει από τις άλλες υδραυλικές κονίες, όπως είναι οι ποζολάνες ή ο ασβέστης.

³ το τσιμέντο πρέπει να συμφωνεί με τις απαιτήσεις του Π.Δ. 244/80 «Περί Κανονισμού τσιμέντου για έργα από σκυρόδεμα» (ΦΕΚ 69Α/28-3-80). Συνιστάται η χρήση τύποι Ι εάν έτσι βοηθείται η ανάπτυξη αντοχών των πρώτων ωρών με τη χρήση επιταχυντών πήξης και σκλήρυνσης.

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Τσιμέντου για έργα από σκυρόδεμα [2.2] από απόψεως αντοχών τα τσιμέντα κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες που καθορίζονται από τις αντοχές του τσιμέντου (28 ημερών) σύμφωνα με τον Πίνακα 5.1.

Κατηγορία αντοχών (ονομαστική)	Αντοχή	σε θλίψη	[N/mm ²]	
	2 ημερών	7 ημερών	28	ημερών
	ελάχιστη τιμή	ελάχιστη τιμή	ελάχιστη τιμή	μέγιστη τιμή
35	-	15	25	45
45	10	-	35	55
55	15	-	45	χωρίς όριο

Πίνακας 5.1. Κατηγορίες αντοχών τσιμέντων.

Τα τσιμέντα διακρίνονται επίσης ανάλογα με τη σύστασή τους σε τσιμέντα τύπου I – πόρτλαντ, τύπου II – πόρτλαντ με ποζολάνη, τύπου III – ποζολανικά τσιμέντα πόρτλαντ και τύπου IV – πόρτλαντ ανθεκτικά σε θειικά [2.2].

- Τσιμέντα πόρτλαντ (PZ) χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από συνάλεση κλίνκερ και γύψου (για τη ρύθμιση του χρόνου πήξεως). Το κλίνκερ αλέθεται σε ειδικούς μύλους και παίρνει τη μορφή της λεπτής σκόνης του τσιμέντου.
- Τσιμέντα πόρτλαντ με ποζολάνη (EPZ) χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από συνάλεση κλίνκερ πόρτλαντ, ποζολάνης φυσικής ή τεχνητής και του απαραίτητου γύψου. Το ποσοστό της ποζολάνης ορίζεται από το αδιάλυτο υπόλειμμα του τσιμέντου και πρέπει να είναι το πολύ ως 20% ειδικά το τσιμέντο με 10% αδιάλυτο υπόλειμμα ονομάζεται Τσιμέντο Πόρτλαντ ελληνικού τύπου (IIα).

- Ποζολανικά τσιμέντα πόρτλαντ (HOZ) χαρακτηρίζονται εκείνα που προέρχονται από συνάλεση κλίνκερ πόρτλαντ, ποζολάνης και γύψου, το ποσοστό της ποζολάνης που καθορίζεται από το αδιάλυτο υπόλειμμα του τσιμέντου είναι 20% έως 40%.

- Τσιμέντα (TrZ) ανθεκτικά σε θειικά άλατα και θαλασσινό νερό χαρακτηρίζονται εκείνα που προέρχονται από συνάλεση κλίνκερ πόρτλαντ και γύψου στα οποία το αργιλικό τριασβέστιο (C_3A) είναι μικρότερο από 3.5% και η περιεκτικότητα σε SO_3 δεν υπερβαίνει το 25%.

Οι ποζολάνες είναι φυσικά ή τεχνητά πυριτικά ή αργιλοπυριτικά άλατα τα οποία παρουσιάζουν υδραυλικές ιδιότητες δηλ. μετά από ανάμειξη με νερό πήγνυνται και σκληρύνονται στον αέρα ή μέσα στο νερό, στις φυσικές ποζολάνες ανήκουν οι διάφορες ηφαιστειογενείς γαίες, όπως είναι η θηραϊκή, η σκυδραϊκή γη κ.λ.π., ενώ στις τεχνητές ποζολάνες υπάγονται και οι ιπτάμενες τέφρες εφόσον έχουν υδραυλικές ιδιότητες.

5.1.1. Σύνθεση των τσιμέντων

Τα κύρια συστατικά του τσιμέντου είναι το κλίνκερ και ενδεχομένως σκωρία υψικαμίνων ή τρασσία γη. Δευτερεύον συστατικό είναι το θειικό ασβέστιο, που προστίθεται για τη ρύθμιση της πήξεως υπό μορφή γύψου $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ή ανυδρίτη $CaSO_4$.

Στον Πίνακα 5.2 δίνεται η ανάλυση των τυποποιημένων τσιμέντων στα κύρια συστατικά τους.

Συστατικά	PZ	EPZ	HOZ	TrZ
	(% - κ.β.)			
Κλίνκερ	100	min 65	64-15	80-60
Σκωρία υψικαμίνων	-	max 35	36-85	-
Τρασσία γη		-	-	20-40

Πίνακας 5.2. Κύρια συστατικά των τυποποιημένων τσιμέντων.

Η χημική σύνθεση των τσιμέντων κυμαίνεται μεταξύ ορισμένων τιμών και είναι διαφορετική για κάθε τύπο τσιμέντου.

5.1.2. Τύποι και κατηγορίες τσιμέντων

Κάθε χώρα παρασκευάζει τσιμέντο χρησιμοποιώντας τις πηγές πρώτων υλών που διαθέτει. Ανάλογα με τις υπάρχουσες πρώτες ύλες, παράγονται διάφοροι τύποι τσιμέντων (καθαρό ή αμιγές, με ποζολάνη, με ιπτάμενη τέφρα, σκωρία υψικαμίνου, πυριτική παιπάλη, ασβεστόλιθο κλπ.), ποιότητες που δεν κυκλοφορούν σε όλες τις χώρες-μέλη της Ενωμένης Ευρώπης.

Τα νέα ευρωπαϊκά πρότυπα προδιαγράφουν το είδος και το ποσοστό των συστατικών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή 27 τύπων προϊόντων τσιμέντου και τα κατατάσσουν σε έξι κατηγορίες αντοχών, ανάλογα με την αντοχή τους σε θλίψη κονιάματος πρότυπης σύνθεσης και τρόπου παρασκευής.

Στην Ελλάδα, τα πρότυπα του ΕΛΟΤ EN 197-1 και ΕΛΟΤ EN 197-2 τέθηκαν σε εφαρμογή από την 1η Απριλίου 2001. Εντούτοις, προβλέπεται μεταβατική περίοδος έξη μηνών, μέχρις ότου προσαρμοστεί σε αυτά η τσιμεντοβιομηχανία. Στο διάστημα αυτό θα κυκλοφορούν συγχρόνως στην αγορά τα υπάρχοντα μέχρι σήμερα τσιμέντα και τα πιστοποιημένα σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα.

Σημειώνεται ότι τροποποιείται παράλληλα και ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, ώστε να συμπεριλάβει στις διατάξεις του τα ευρωπαϊκά πρότυπα τσιμέντων. Η σύνταξή του προβλέπεται να ολοκληρωθεί μέσα στο μεταβατικό διάστημα των έξη μηνών. Στον Πίνακα 4.3 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι βασικοί τύποι τσιμέντου με προδιαγραφές πρότυπου ΕΛΟΤ EN.

CEM I	ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΠΟΡΤΛΑΝΤ
CEM II	ΣΥΝΘΕΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΠΟΡΤΛΑΝΤ
CEM III	ΣΚΩΡΙΟΤΣΙΜΕΝΤΟ
CEM IV	ΠΟΖΟΛΑΝΙΚΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ
CEM V	ΣΥΝΘΕΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Πίνακας 5.3. Ευρωπαϊκά πρότυπα τσιμέντου.

5.1.3. Τα στάδια παραγωγής του τσιμέντου

- Πρώτο στάδιο – εξόρυξη πρώτων υλών : οι πρώτες ύλες εξορύσσονται με τη χρήση ισχυρών εκσκαπτικών μηχανημάτων ή με τη χρήση εκρηκτικών υλών.
- Δεύτερο στάδιο – θραύση πρώτων υλών : τα υλικά θραύονται σε μεγάλους θραυστήρες σε τεμάχια, συνήθως μικρότερα των 30 χιλιοστών.
- Τρίτο στάδιο – αποθήκευση και προομοιογένεια πρώτων υλών : οι θραυσμένες πρώτες ύλες αποθηκεύονται (με σύγχρονη ανάμιξη) χωριστά κατά κατηγορία και από εκεί οδεύουν προς τους μύλους συνάλεσης σε αυστηρά καθορισμένη και συνεχώς ελεγχόμενη δοσολογία.
- Τέταρτο στάδιο – ξήρανση και άλεση πρώτων υλών : οι μύλοι είναι μεταλλικοί κύλινδροι, με ισχυρή εσωτερική μεταλλική θωράκιση και περιέχουν πολλούς τόνους από σφαιρικά χαλύβδινα αλεστικά σώματα. Κατά την περιστροφική κίνηση των μύλων οι σφαίρες κονιοποιούν τις προθραυσμένες πρώτες ύλες σε κόκκους μέσης διαμέτρου. Το προϊόν αυτό ονομάζεται φαρίνα.
- Πέμπτο στάδιο – ομογενοποίηση και αποθήκευση φαρίνας : η φαρίνα οδηγείται στα ειδικά σιλό όπου συντελείται η ομοιογενοποίηση.
- Έκτο στάδιο – έψηση : μετά την ομοιογενοποίηση η φαρίνα περνάει από ένα σύστημα κυκλώνων που ονομάζεται προθερμαντής και υφίσταται μια προοδευτική θερμική κατεργασία σε θερμοκρασία μέχρι 900° C. Στη συνέχεια οι περιστροφικοί κλίβανοι αναλαμβάνουν την έψηση. Οι περιστροφικοί κλίβανοι είναι μεταλλικοί κύλινδροι μήκους 50-150 μέτρων και διαμέτρου 3-5 μέτρων με εσωτερική επένδυση από ειδικά πυρότουβλα. Η περιστροφική κίνηση του κλίβανου και η κλίση του εξωθούν τη φαρίνα προς την έξοδο. Στην

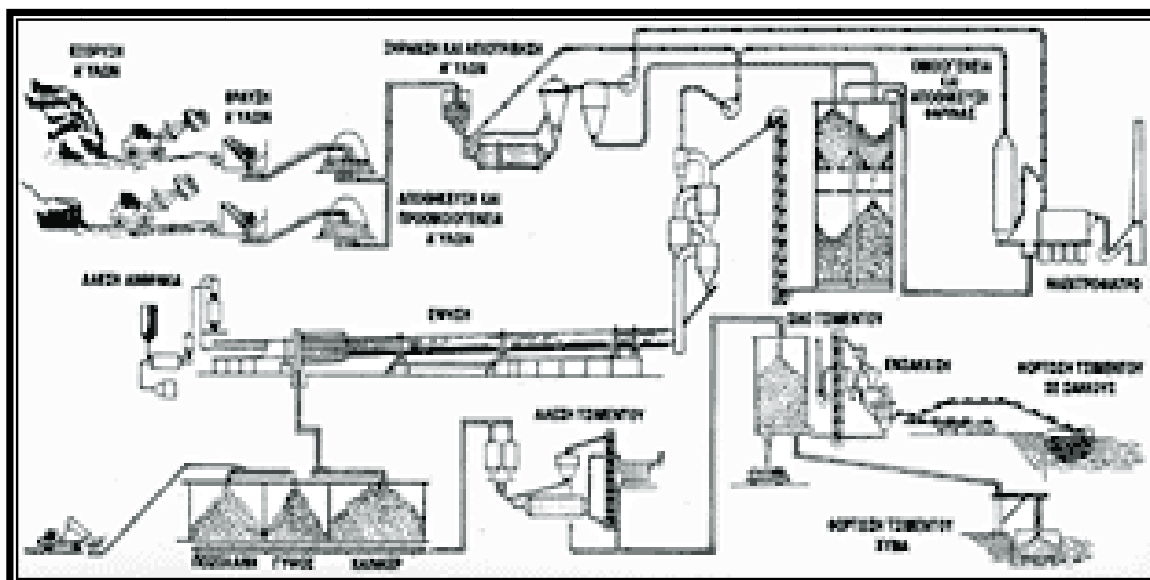
πορεία της συναντάει θερμοκρασίες που φτάνουν τους 1400 C. Μέσα στον κλίβανο χάρη στις φυσικοχημικές διεργασίες, η φαρίνα μετατρέπεται σε ένα κοκκώδες προϊόν που λέγεται κλίνκερ.

▪ Έβδομο στάδιο – άλεση τσιμέντου : το κλίνκερ αποτελεί το βασικό συστατικό του τσιμέντου και από την ποιότητά του εξαρτάται στο μέγιστο βαθμό η ποιότητά του. Το τσιμέντο ως τελικό προϊόν είναι μία πολύ λεπτή σκόνη και για τη δημιουργία του απαιτείται συνάλεση κλίνκερ γύψου και ορισμένων φυσικών ή τεχνητών υλικών, που προσδίδουν στο τσιμέντο ωφέλιμες ιδιότητες. Τέτοιες ύλες είναι οι ποζολάνες. Οι μύλοι τσιμέντου μοιάζουν με τους μύλους φαρίνας. Οι δοσολογίες των υλικών συνάλεσης είναι αυστηρά καθορισμένες και συνεχώς ελεγχόμενες. Οι διάφοροι τύποι τσιμέντων και το επίπεδο των αντοχών τους, που αποτελεί και το σημαντικότερο χαρακτηριστικό τους, διαμορφώνονται από τη χημική σύσταση του κλίνκερ, το βαθμό άλεσης του τσιμέντου και την παρουσία ή όχι των διαφόρων πρόσθετων.

▪ Όγδοο στάδιο – σιλό τσιμέντου : το τσιμέντο αποθηκεύεται σε σιλό, που αποτελούν χώρους αποθήκευσης μέσης χρονικής διάρκειας.

▪ Ένατο στάδιο-κατανάλωση : το τσιμέντο διατίθεται στην κατανάλωση χύμα ή σε σάκους. Οι μεγαλύτερες ποσότητες διατίθενται χύμα με ειδικά σιλοφόρα αυτοκίνητα ή πλοία.

Ο πίνακας που ακολουθεί δείχνει τα στάδια παραγωγής από την εξόρυξη μέχρι και τη στιγμή που το τσιμέντο είναι έτοιμο να παραδοθεί στον καταναλωτή.



Εικόνα 5.1. Στάδια παραγωγής τσιμέντου.

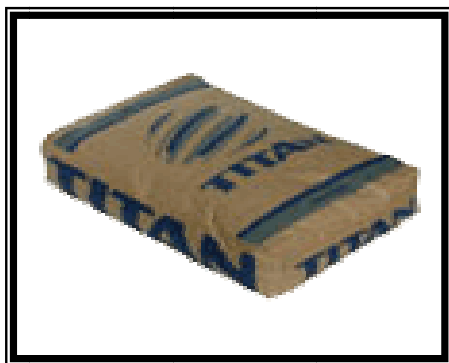
5.1.4. Ιδιότητες τιμέντου

Οι ιδιότητες του τσιμέντου μεταβάλλονται ανάλογα με τη σύνθεση και την κατηγορία αντοχής τους. Με βάση τον διαφορετικό τρόπο ανάπτυξης της θερμότητας ενυδατώσεως κατά την πήξη του τσιμέντου και τη σχεδόν παράλληλη ανάπτυξη της αντοχής του, καθορίζεται η καταλληλότητα κάθε τσιμέντου για μια συγκεκριμένη χρήση. Κατηγορίες τσιμέντων μεγάλης αντοχής επιτυγχάνονται με προσεκτική επιλογή των πρώτων υλών, με καλύτερη όπτηση του κλίνκερ και κυρίως με λεπτότερη άλεση του τσιμέντου. Τα τσιμέντα μεγάλης αντοχής χαρακτηρίζονται από την νωρίτερη εμφάνιση της αρχικής τους αντοχής. Επειδή όμως και τα βραδύπηκτα τσιμέντα των μικρότερων κατηγοριών αντοχής εμφανίζουν ισχυρή σκλήρυνση μετά την ηλικία των 28 ημερών, η διαφορά των τελικών αντοχών των διαφόρων κατηγοριών μετά από πολύ χρόνο είναι ασήμαντη.

5.1.5. Προμήθεια του τσιμέντου

Το τσιμέντο φτάνει στο εργοτάξιο είτε συσκευασμένο σε σάκους είτε ασυσκευάστο (χύμα). Κατά την παράδοση τσιμέντου χύμα, καθοριστικό είναι το βάρος, το οποίο εμφανίζεται στο δελτίο ζυγίσεως του εργοστασίου παραγωγής. Το τσιμέντο χύμα πρέπει να μεταφέρεται μόνο με ειδικά οχήματα, τα οποία έχουν προηγούμενα καθαριστεί από ενδεχόμενα υπολείμματα άλλων μεταφορών. Κατά τη διάρκεια της μεταφοράς, πρέπει να αποφευχθεί η πρόσμιξη ακαθαρσιών με το τσιμέντο. Το συσκευασμένο τσιμέντο παραδίδεται σε χαρτόσακους. Το μικτό βάρος ενός γεμάτου σάκου είναι 50 kg. Αποκλίσεις μέχρι 2% από το βάρος αυτό είναι ανεκτές. Στα πειράματα της εργασίας μας χρησιμοποιήθηκε συσκευασμένο τσιμέντο.

Για να είναι δυνατή η απαίτηση ενδεχομένων εγγυήσεων ποιότητας, πρέπει κατά την παράδοση του τσιμέντου να γίνεται δειγματοληψία με την παρουσία μάρτυρος. Όταν πρόκειται για ασυσκευάστο τσιμέντο, η δειγματοληψία πρέπει να διενεργείται πριν από την παραλαβή. Το βάρος του δείγματος δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 5 Kg. Στην περίπτωση σάκων τσιμέντου το δείγμα σχηματίζεται από μερικά δείγματα του 1 έως 2 kg. Τα δείγματα αυτά, λαμβάνονται από το μέσο 5 τουλάχιστον γερών σάκων και αναμιγνύονται καλά για να αποτελέσουν ένα μέσο δείγμα βάρους περίπου 5 kg. Το δείγμα πρέπει να τοποθετηθεί και να διατηρηθεί σε αεροστεγή συσκευασία και να σφραγιστεί με τα ακόλουθα στοιχεία: Εργοστάσιο παραγωγής, ημέρα και ώρα παραδόσεως, τόπο και είδος αποθήκευσης και επί πλέον, για ασυσκευάστο τσιμέντο, αριθμό του δελτίου παραδόσεως. Οι δειγματοληψίες τσιμέντου είναι απαραίτητες, γιατί αργότερα κατά τον έλεγχο της ποιότητας του σκυροδέματος απαιτείται η γνώση της προελεύσεως και της ποιότητας του τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκε. Στα πειράματά μας χρησιμοποιήθηκε συσκευασμένο τσιμέντο σε σάκους των 50 kg το οποίο προερχόταν από την εταιρεία TITAN.



Εικόνα 5.2. Συσκευασμένο τσιμέντο σε σακί των 50kg.

5.1.6. Έλεγχος ποιότητας τσιμέντου

Η διεξαγωγή του ίδιου του ελέγχου των τσιμέντων πρέπει να γίνεται από την αντίστοιχη βιομηχανία παραγωγής. Τα αποτελέσματα των ελέγχων αυτών αξιολογούνται στατιστικά. Για την διεξαγωγή του ίδιου ελέγχου, διαθέτουν οι βιομηχανίες τσιμέντου δικά τους εργαστήρια με τον απαιτούμενο εξοπλισμό.

Το τσιμέντο TITAN πληρεί τις αυστηρότερες διεθνείς προδιαγραφές - αποτέλεσμα συστηματικών ερευνών και αυστηρών ελέγχων των πρώτων υλών, των καυσίμων και του παραγόμενου προϊόντος.

Όλα τα παραγόμενα τσιμέντα πληρούν το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 197-1 και φέρουν τη σήμανση CE (από τον ΕΛΟΤ Κοινοποιημένο Φορέα στην Ευρωπαϊκή Ένωση 0365).

Το σύστημα διασφάλισης ποιότητας των Εργοστασίων της Εταιρίας είναι πιστοποιημένο από τον ΕΛΟΤ, σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 9001 (2000). Το προϊόν διαθέτει επίσης πιστοποιητικά ή σήματα

ποιότητας από τους Οργανισμούς Πιστοποίησης Ποιότητας Ελλάδας και Αγγλίας.

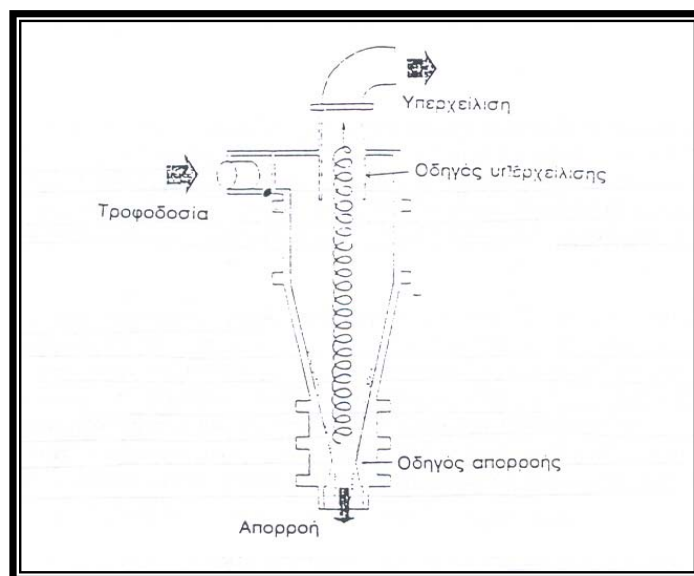
Παρόμοιες διαδικασίες ελέγχων ισχύουν και για το έτοιμο σκυρόδεμα (ISO 9001 σε όλες τις μονάδες σκυροδέματος INTERMPETON και στο Λατομείο Δρυμού και Ξηρορέματος), τα κονιάματα και άλλα προϊόντα του Ομίλου, στα εργαστήρια αναλύσεων των μονάδων παραγωγής τους και σε συνεργασία με το Ερευνητικό Εργαστήριο της Εταιρίας.

5.2. Υδροκυκλώνας – Υδροταξινόμηση

Ο υδροκυκλώνας χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στην Ολλανδία για τον καθαρισμό του νερού από μικρά σωματίδια άμμου και άλλα στερεά υλικά (Σταμπολιάδης, 2001). Η χρήση του επεκτάθηκε στην μεταλλευτική βιομηχανία για την απομάκρυνση της ιλύος από αμμώδης υλικά, για την ταξινόμηση προϊόντων λειοτρίβησης κατά μέγεθος και τέλος, για τον εμπλουτισμό με την μέθοδο των βαρέων διαμέσων.

Ένας τυπικός κυκλώνας παρουσιάζεται στο σχήμα 5.3. αποτελείται από ένα κυλινδρικό τμήμα, στο άνω μέρος του οποίου εισάγεται εφαπτομενικά ο πολφός τροφοδοσίας. Στην άνω βάση του κυλίνδρου υπάρχει ένας σωλήνας εξόδου, ομοαξονικός προς τον κύλινδρο του κυκλώνα. Ο σωλήνας αυτός που ονομάζεται οδηγός υπερχειλίσης (vortex finder) προεκτείνεται και προς το εσωτερικό του κυλίνδρου, ώστε να μη μπορεί η τροφοδοσία να φύγει κατευθείαν προς την υπερχειλίση. Στο κάτω μέρος του κυλίνδρου του

κυκλώνα υπάρχει ένας ανεστραμμένος κώνος με άνοιγμα στο κάτω μέρος για την απορροή του υλικού (apex orifice, spigot).



Εικόνα 5.3. Υδροκυκλώνας.

Ο πολφός τροφοδοσίας εισέρχεται στον κυκλώνα εφαπτομενικά ως προς τον κύλινδρο σε επίπεδο κάθετο προς τον άξονα συμμετρίας και εξέρχεται αξονικά παράλληλα προς τον άξονα είτε προς τα κάτω (απορροή, υπορροή), είτε προς τα πάνω (υπερχείλιση).

Μέσα στον κύλινδρο τα σωματίδια κατ' αρχήν κινούνται σε μία κυκλική τροχιά με γραμμική ταχύτητα V_t εφαπτομενική της τροχιάς κίνησης. Η ταχύτητα V_t εξαρτάται από την απόσταση r από το κέντρο του άξονα, που είναι η ακτίνα της διαγραφόμενης τροχιάς και συνδέεται με τη σχέση :

$$V_t \cdot r^n = \text{σταθερά}$$

όπου $n = 0,48-0,92$ (Dahlstrom $n = 0.64$, Driessen $n = 0.68$). Εξαρτάται κυρίως από τη ζώνη του κυκλώνα, την περιεκτικότητα του πολφού σε στερεά κλπ.

Ως αποτέλεσμα της κυκλικής κίνησης των σωματιδίων εξασκείται σ' αυτά μια φυγόκεντρος δύναμη :

όπου m η μάζα των τεμαχιδίων.

$$F_c = m \cdot V_t^2 / r$$

Στα μεγαλύτερα σωματίδια με τη μεγαλύτερη μάζα εξασκείται μεγαλύτερη φυγόκεντρος δύναμη κι έτσι οδεύουν γρηγορότερα προς την περιφέρεια. Με τη συνεχή εισροή πολφού στον κυκλώνα δημιουργείται και μια οριζόντια κίνηση του νερού από την περιφέρεια προς το κέντρο του άξονα. Η οριζόντια κίνηση του νερού παρασύρει τους μικρούς κόκκους προς το κέντρο υπερνικώντας τη φυγόκεντρο δύναμη. Αντίθετα, στους μεγάλους κόκκους υπερισχύει η φυγόκεντρος δύναμη και οδεύουν προς την περιφέρεια. Βεβαίως, υπάρχει και κάποιο μέγεθος κόκκου στο οποίο οι δύο δυνάμεις ισορροπούν.

Εκτός από την περιφερειακή και την οριζόντια κίνηση δημιουργούνται δευτερογενείς κινήσεις του νερού.

Η μία, στο άνω μέρος του κυλινδρικού τμήματος του κυκλώνα, μεταξύ του κελύφους του κυλίνδρου και του σωλήνα της υπερχείλισης βοηθάει την ταξινόμηση των χονδρών κόκκων προς την περιφέρεια και των ψιλών προς το κέντρο.

Η άλλη δευτερογενής κίνηση του νερού δημιουργείται στο κωνικό τμήμα του κυκλώνα. Εδώ, υπάρχει μία ροή καθοδική, προς την απορροή από την πλευρά του κελύφους του κώνου. Όλη αυτή η ροή δε χωράει να διαφύγει από την απορροή, με αποτέλεσμα να αλλάζει φορά και να κατευθύνεται προς τα άνω από τη μεριά του άξονα.

Υπάρχει μία ζώνη που η κατακόρυφη κίνηση, είτε προς τα κάτω, είτε προς τα πάνω, έχει μηδενική ταχύτητα.

Η προς τα κάτω ροή στην περιφέρεια παρασύρει τους χονδρούς κόκκους προς την απορροή, ενώ η προς τα άνω ροή στο εσωτερικό παρασύρει τους ψιλούς κόκκους προς την υπερχείλιση.

Οι κόκκοι που ευρίσκονται στη ζώνη ισορροπίας των δύο κατακόρυφων κινήσεων έχουν την ίδια πιθανότητα να πάνε στα χονδρά ή στα ψιλά και αποτελούν το μέγεθος που “κόβει” ο κυκλώνας d_{50} (Σταμπολιάδης, 2001).

5.3. Προσδιορισμός παιπάλης στην άμμο.

Παιπάλη ή φίλλερ χαρακτηρίζεται το λεπτόκοκκο υλικό που διέρχεται από το κόσκινο τετραγωνικής οπής No 200 (0,074mm).

Η παιπάλη μπορεί να είναι άργιλος ή σκόνη από το ίδιο υλικό. Βρίσκεται είτε προσκολλημένη στους κόκκους του υλικού εμποδίζοντας την πρόσφυση των

αδρανών με το κονίαμα, είτε σχηματίζοντας συσσωματώματα δημιουργώντας αδύνατα σημεία στη μάζα του σκυροδέματος, ή ακόμη διασκορπισμένη ομοιόμορφα μέσα στη μάζα του αδρανούς. Η παιπάλη είναι επιβλαβής όταν περιέχεται σε μεγάλη ποσότητα, όταν είναι κολλημένη πάνω στην επιφάνεια των χονδρότερων κόκκων και όταν σχηματίζει μικρούς σβώλους που δεν διαλύονται κατά την παρασκευή του σκυροδέματος. Με τη δοκιμή διαχωρισμού, είναι δυνατός ο υπολογισμός της περιεκτικότητας των αδρανών σε παιπάλη. Η παιπάλη έχει γενικά την ιδιότητα να αυξάνει την αναγκαία ποσότητα του νερού στο σκυρόδεμα και να ελαττώνει αντίστοιχα την αντοχή του. Παράλληλα συντελεί στην αύξηση της πλαστικότητας του μείγματος αδρανών - κονιάματος. Για τον παραπάνω λόγο, σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ. για τα αδρανή που χρησιμοποιούνται στο σκυρόδεμα το μέγιστο επιτρεπτό ποσοστό παιπάλης δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16% για την άμμο και το 1% για τα χονδρόκοκκα υλικά (σκύρα, γαρμπίλι, ρυζάκι). Ειδικότερα για άοπλα σκυροδέματα το ποσοστό παιπάλης στην άμμο μπορεί να φτάσει το 20%. Η παιπάλη της φυσικής άμμου δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5%. Στο ασφαλικό σκυρόδεμα και για την στρώση κυκλοφορίας το ποσοστό παιπάλης των αδρανών πρέπει να βρίσκεται μεταξύ 5-12%. Μεγάλο ποσοστό παιπάλης δίδει στο ασφαλικό σκυρόδεμα μεγάλη πλαστικότητα. Επειδή η παιπάλη έχει την ιδιότητα να προσκολλάται πάνω στο χονδρόκοκκο υλικό, ο διαχωρισμός της από αυτό με τον συνήθη τρόπο κοσκίνισματος είναι αρκετά δύσκολος και όχι πλήρης. Γι' αυτό και ο προσδιορισμός της γίνεται με πλύσιμο.

5.3.1. Προσδιορισμός παιπάλης

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη μέθοδο αυτή είναι ζυγός ακριβείας 0,1g του βάρους του δείγματος, κόσκινα μεγέθους ανάλογου των προδιαγραφών του εξεταζόμενου υλικού (το κατώτερο Νο 200 και το ανώτερο Νο 16), μηχανική κοσκινίστρα για τη δόνηση των κόσκινων, φούρνος ικανός

να διατηρήσει τη θερμοκρασία στους 110 ± 5 °C και λεκάνη για το πλύσιμο του δείγματος.

Αρχικά παίρνουμε από το υλικό το μέγεθος του δείγματος που θέλουμε με τεταρτομερισμό. Το προς έλεγχο δείγμα, ανάλογα με το μέγιστο κόκκο του υλικού, πρέπει να έχεις βάρος μεγαλύτερο από αυτό που αναγράφεται στον πίνακα που δίνεται στη συνέχεια :

Ονομαστικό Μέγιστο Μέγεθος Κόσκινου	Ελάχιστο Βάρος Δείγματος (gr)
(4,75mm) No 4 ή μικρότερο	300
(9,5mm) 3/8"	1000
(19,0mm) 3/4"	2500
(37,5mm) 1 1/2"	5000

Πίνακας 5.4. Μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα παιπάλης στα αδρανή ανάλογα με την κοκκομετρική διαβάθμιση.

Το δείγμα ξηραίνεται στους 110 ± 5 °C μέχρι σταθερού βάρους, ζυγίζεται και καταγράφεται το βάρος του. Στη συνέχεια τοποθετείται σε μια λεκάνη και καλύπτεται από αρκετό νερό. Αναταράσσουμε τη λεκάνη ώστε να πετύχουμε το διαχωρισμό των σωματιδίων που είναι μικρότερα των 75μm (No 200) από τα χονδρότερα που πραγματοποιείται με αιώρηση. Αδειάζουμε το νερό που περιέχει τα αιωρούμενα σωματίδια, ξαναπροσθέτουμε νερό στη λεκάνη και επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία έως ότου το νερό που φεύγει να είναι διαυγές. Ακολουθεί η συλλογή του υλικού από τη λεκάνη, η ξήρανσή του μέχρι σταθερού βάρους και η καταγραφή της τιμής αυτής. Η εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της παιπάλης είναι :

Ποσοστό λεπτότερου του κόσκινου Νο 200 $\Rightarrow$

$$\frac{(\text{Βάρος Ξηρό Αρχικό} - \text{Βάρος Ξηρό Πλυμένου}) * 100}{\text{Βάρος Ξηρό Αρχικό}}$$

Ακολουθώντας τις προηγούμενες ενέργειες, εκτελέσαμε τη ίδια ακριβώς διαδικασία για το υλικό μας. Ζυγίσαμε, αρχικά, 500gr δείγματος, οπότε έχουμε αρχικό βάρος δείγματος 500gr (με την υγρασία). Το δείγμα ξηραίνεται σε φούρνο, στους 110 ± 5 °C. Εφόσον το βγάλουμε από το φούρνο, το ξαναζυγίζουμε, οπότε έχουμε αρχικό βάρος ξηρό 496gr. Επομένως, η υγρασία του δείγματός μας είναι : $[(500-496)/500]*100 = 0,8\%$.

Έπειτα, ξεπλύνουμε το ξηρό δείγμα σε κόσκινο 75μm (No200). Αφού το ξεπλύνουμε καλά, έτσι ώστε το νερό που χρησιμοποιούμε για την πλύση του να είναι πλέον καθαρό, το ξηραίναμε σε φούρνο στους 110 ± 5 °C. Βγάλαμε το δείγμα μας από το φούρνο και το ζυγίσαμε, οπότε είχαμε βάρος δείγματος ξηρού πλυμένου 430gr.

Χρησιμοποιώντας τον τύπο προσδιορισμού της παιπάλης και γνωρίζοντας τα βάρη, προσδιορίζουμε την παιπάλη του δείγματός μας, οπότε κι έχουμε με αντικατάσταση :

Παιπάλη : $[(496-430)/496]*100 = 13,3\%$

5.3.2. Η παιπάλη

Η παιπάλη μπορεί να είναι κολλημένη πάνω στην επιφάνεια των κόκκων, να σχηματίζει μικρούς σβώλους ή να είναι διασκορπισμένη ανάμεσα στους κόκκους των αδρανών. Πρόκειται τις περισσότερες φορές για αργιλικές ουσίες ή είναι σκόνη από το ίδιο μητρικό πέτρωμα των αδρανών. Η παιπάλη είναι επιβλαβής όταν περιέχεται σε μεγάλη ποσότητα, όταν είναι κολλημένη πάνω στην επιφάνεια των χονδρότερων κόκκων και όταν σχηματίζει μικρούς σβώλους που δεν διαλύονται κατά την παρασκευή του σκυροδέματος. Με τη δοκιμή διαχωρισμού, είναι δυνατός ο υπολογισμός της περιεκτικότητας των αδρανών σε παιπάλη. Η περιεκτικότητα αυτή δε πρέπει να υπερβαίνει τις τιμές που καθορίζονται στον Πίνακα 5.5. (Δομικά υλικά, Wendehorst, Τμήμα ΜΗΧ.Ο.Π.)

Μικρότερος/μέγιστος κόκκος αδρανών (mm)	Μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα παιπάλης σε % κ.β.
0/1, 0/2, 0/4	4
1/2, 1/4, 2/4	3
2/8, 4/8	2
4/16, 4/32, 8/16, 8/32	0,5
16/32, 16/63, 32/63	

Πίνακας 5.5. Μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα παιπάλης στα αδρανή ανάλογα με την κοκκομετρική διαβάθμιση.

5.4. Νερό

Το νερό αναμείξεως τσιμέντου και αδρανών για την παρασκευή σκυροδέματος, πρέπει να είναι καθαρό και απαλλαγμένο από επιβλαβείς ουσίες, που μπορούν να προκαλέσουν μείωση της αντοχής του σκυροδέματος ή διάβρωση του οπλισμού.

Ως κατάλληλο, θεωρείται το πόσιμο νερό των δικτύων υδρεύσεως καθώς και κάθε πηγή φυσικού νερού, χωρίς βλαπτικές ουσίες, όπως είναι οργανικά ή ανόργανα στερεά ή θειικά άλατα. Το θαλασσινό νερό λόγω των αλάτων που περιέχει πρέπει να αποφεύγεται στην παρασκευή οπλισμένου σκυροδέματος, εκτός αν αυτό προβλέπεται στη σύμβαση του έργου, ενώ απαγορεύεται η χρησιμοποίηση του στην παρασκευή προεντεταμένου σκυροδέματος. Επίσης, ακατάλληλο είναι το νερό των βάλτων ή νερό βιομηχανικών αποβλήτων ακόμη και αν φαίνεται διαυγές.

5.5. Πρόσθετα

Τα πρόσθετα επηρεάζουν τις ιδιότητες του σκυροδέματος, επιδρώντας σε αυτό χημικά ή φυσικά. Η κατ' όγκο αναλογία τους στο μίγμα του σκυροδέματος είναι πολύ μικρή, απαιτείται όμως αυστηρή τήρηση των οδηγιών χρήσεως τους για την αποφυγή βλαβερών δράσεων σε περίπτωση εφαρμογής μεγαλύτερης δόσης.

Τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται σήμερα για το σκυρόδεμα είναι :

- ρευστοποιητικά για τη μείωση της ποσότητας του νερού με συνέπεια την αύξηση της αντοχής,
- επιβραδυντικά ή επιταχυντικά της πήξεως,
- στεγανωτικά της μάζας για τη μείωση της διαπερατότητας,
- μέσα σχηματισμού πόρων αέρος για την αύξηση της αντοχής σε παγετό, με συνέπεια μείωσης της αντοχής σε θλίψη κ.λ.π.
-

Σε περίπτωση χρησιμοποίησεως περισσότερων του ενός πρόσθετων, πρέπει να δοθεί προσοχή στην αλληλεπίδρασή τους, που μπορεί να οδηγήσει σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα.

Τα πρόσθετα, είναι είτε σε υγρή είτε σε στερεά κατάσταση (σκόνη) και απαιτείται πλήρης ανάμειξή τους με τα υλικά παρασκευής του σκυροδέματος ώστε να επιτευχθεί ομοιογενές μίγμα.

Θα πρέπει να σημειωθεί, πως στη δική μας παρασκευή του σκυροδέματος δε χρησιμοποιήθηκε κανένα πρόσθετο υλικό.

5.6. Ανάμειξη σκυροδέματος

Τα αδρανή υλικά και το τσιμέντο, πρέπει να μετρώνται σε βάρος, κατά την ανάμειξή τους για την παρασκευή του σκυροδέματος και το νερό σε βάρος ή όγκο.

Τα στερεά πρόσθετα σε σκόνη πρέπει να μετρώνται σε μέρη βάρους και τα υγρά πρόσθετα σε μέρη βάρους ή όγκου.

Τα υλικά του σκυροδέματος μπαίνουν στον αναμικτήρα με τις αναλογίες που προβλέπονται στη μελέτη συνθέσεως, αφού οι αναλογίες άμμου και νερού διορθωθούν ανάλογα με τη φυσική υγρασία των αδρανών, κρίνεται σκόπιμο εδώ να τονιστεί ότι η συνολική περιεκτικότητα του μίγματος σε νερό W αποτελείται από το νερό που περιέχεται στα αδρανή και το νερό που προστίθεται για την ανάμειξη.

Τα αδρανή θα μετρώνται στο εργοτάξιο με ακρίβεια $\pm 3\%$ του βάρους τους, το τσιμέντο με ακρίβεια $\pm 2\%$ του βάρους του, το νερό με ακρίβεια $\pm 2\%$ του βάρους ή του όγκου του και τα πρόσθετα με ακρίβεια $\pm 3\%$ του βάρους τους αν είναι σε σκόνη ή $\pm 3\%$ του όγκου τους αν είναι με μορφή πολτού ή υγρού.

Ο χρόνος ανάμειξης στον αναμικτήρα δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 1min και μετράτε μετά την εισαγωγή όλων των υλικών στον αναμικτήρα.

Το σκυρόδεμα μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από τον τσιμεντοπολτό και τα αδρανή. Το μίγμα νερού και τσιμέντου σχηματίζει τον τσιμεντοπολτό που περιβάλλει τους κόκκους του αδρανούς και δημιουργεί μετά την πήξη του ένα συνεκτικό στερεό. Η ποιότητα του τσιμεντοπολτού καθορίζει αποφασιστικά και την ποιότητα και τις ιδιότητες του σκυροδέματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΚΑΘΕ ΥΛΙΚΟ

6.1. Προσδιορισμός του δείκτη ΔΑΚΦ.

Ο δείκτης αντοχής σε κρουστικό φορτίο (ΔΑΚΦ) ενός υλικού, αποτελεί μέτρο αντοχής του σε κρουστικό φορτίο και διαφέρει από την αντοχή σε σταδιακά εφαρμοζόμενη δύναμη. Για υλικό με ΔΑΚΦ μεγαλύτερο από 30, η δοκιμή δε δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα. Επίσης, μεγέθη υλικών μεγαλύτερα από 14 mm δεν ενδείκνυνται για τη δοκιμή αυτή.

Οι προδιαγραφές της δοκιμής είναι για υλικά που περνούν από κόσκινο 14 mm κατά BS και παραμένουν σε ένα 10 mm. Αν απαιτείται, ή αν δεν μπορούμε να έχουμε το παραπάνω μέγεθος, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μικρότερα μεγέθη από το υλικό, όμως τα αποτελέσματα που θα πάρουμε δεν θα είναι τα ίδια με αυτά του πρότυπου μεγέθους, πράγμα που οφείλεται στην διαφορετική κοκκομετρία των υλικών. Γενικά, τα μικρότερα μεγέθη του υλικού, θα δώσουν ένα μικρότερο ΔΑΚΦ, αλλά η σχέση μεταξύ των τιμών που προκύπτουν από διαφορετικά μεγέθη μπορεί να διαφέρουν από υλικό σε υλικό (BS812, Part3, 1975).

6.1.1. Απαιτούμενες συσκευές.

Κατά τη διεξαγωγή της δοκιμής απαιτούνται οι ακόλουθες συσκευές :

1. Μηχανή αντοχής σε κρουστικό φορτίο, που αποτελείται από :

- Μεταλλική κυκλική βάση, βάρους 22 N 30 kg, με μια χαμηλότερη επίπεδη επιφάνεια διαμέτρου όχι μικρότερης των 300 mm, που εδράζεται πάνω σε πάτωμα επίπεδο, ή βάση από σκυρόδεμα, πάχους τουλάχιστον 450 mm. Η μηχανή προστατεύεται από δονήσεις, είτε με βίδωμα στο πάτωμα, είτε στηρίζοντας την σε μια χυτή επίπεδη μεταλλική βάση στην επιφάνεια του πατώματος.
- Κυλινδρικό ατσάλινο δοχείο με εσωτερική διάμετρο 102 mm κι εσωτερικό βάθος 50 mm. Τα τοιχώματα έχουν πάχος μεγαλύτερο από 6 mm και οι εσωτερικές επιφάνειες έχουν σκληρυνθεί. Το δοχείο είναι σταθερά πακτωμένο στο κέντρο της βάσης με ειδικό μηχανισμό και μπορεί να μετακινηθεί, όταν χαλαρώσει ο μηχανισμός, για να αδειάσει.
- Μεταλλικό σφυρί βάρους 13,5 kg έως 14 kg που έχει επίσης σκληρυνθεί, και το κάτω άκρο του είναι κυλινδρικό, με διάμετρο 100 mm και μήκος 50 mm, με μια εγκοπή 1,5 mm στο κάτω μέρος. Το σφυρί γλιστρά ελεύθερα μεταξύ κάθετων οδηγών, τοποθετημένων έτσι ώστε το κάτω μέρος του σφυριού (κυλινδρικό μέρος) να είναι στην ίδια κατακόρυφη με το δοχείο.
- Μηχανισμό ανύψωσης του σφυριού που του επιτρέπει να πέφτει ελεύθερα μεταξύ των κατακόρυφων οδηγών, από ένα ύψος 380 ± 5 mm, πάνω στο δείγμα που περιέχεται στο μεταλλικό δοχείο και μηχανισμό για ρύθμιση του ύψους πτώσης έως και ± 5 mm.

- Μηχανισμό για στήριξη του σφυριού, καθώς πακτώνεται ή μετακινείται το δοχείο.
 - Μηχανισμό για αυτόματη καταγραφή του αριθμού των χτυπημάτων.
2. Σειρά κόσκινων κατά BS με μεγέθη οπών 14 mm, 10 mm και 2,36 mm για την πρότυπη δοκιμή.
 3. Κυλινδρικό ή μεταλλικό δοχείο, φτιαγμένο έτσι, ώστε να διατηρείται σε καλή κατάσταση, κάτω από συνεχή χρήση, με εσωτερική διάμετρο 75 ± 1 mm και εσωτερικό βάθος 50 ± 1 mm.
 4. Μεταλλική ράβδος συμπίκνωσης του δείγματος, διαμέτρου 10 mm, μήκους 230 mm, στρογγυλεμένη στο ένα άκρο.
 5. Ζυγαριά με περιοχή ζύγισης από 0 έως 5 kg και ακρίβειας 0,1 gr.

6.1.2. Προετοιμασία του δείγματος.

Το υλικό για την πρότυπη δοκιμή αποτελείται από το κλάσμα που περνά από το κόσκινο των 14 mm και παραμένει στο κόσκινο των 10 mm (BS812, Part 3, 1975).

Για μικρότερα μεγέθη του υλικού, το κλάσμα προετοιμάζεται κατά όμοιο τρόπο, χρησιμοποιώντας τα απαιτούμενα κόσκινα. Στα υλικά, που η διερχόμενη από το κόσκινο των 13,20 mm ποσότητα, δεν είναι αρκετή (λόγω

της κοκκομετρίας του υλικού) για να καλύψει τις ανάγκες της δοκιμής, γίνεται δευτερογενής θραύση στο εργαστήριο.

Το υλικό που χρησιμοποιείται στις δοκιμές θα πρέπει να έχει ξηρανθεί. Όταν η ξήρανση γίνεται με θέρμανση, ο χρόνος ξήρανσης δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 4 ώρες, η θερμοκρασία ξήρανσης τους 110 ° C και τα δείγματα πρέπει να ψύχονται σε θερμοκρασία δωματίου πριν από τη δοκιμή. Για τη συγκεκριμένη δοκιμή τα δείγματα ξηράθηκαν στους 100 ° C για τρεις ώρες.

Το δοχείο μέτρησης πληρούται περί το ένα τρίτο με το υλικό και το περιεχόμενο τους αδειάζεται από το ένα ύψος που δεν ξεπερνά τα 50 mm. Το υλικό συμπυκνώνεται με τη στρογγυλεμένη άκρη της μεταλλικής ράβδου, χτυπώντας το 25 φορές. Το κάθε χτύπημα δίνεται, αφήνοντας τη ράβδο να πέφτει ελεύθερα από ένα ύψος 50 mm περίπου, πάνω από την επιφάνεια του υλικού και τα χτυπήματα πρέπει να κατανέμονται πάνω σε αυτή. Στη συνέχεια προσθέτουμε άλλη μία ίδια ποσότητα από το υλικό με τον ίδιο τρόπο και το συμπυκνώνουμε, χτυπώντας το πάλι 25 φορές. Το δοχείο μέτρησης τελικά γεμίζεται μέχρι πάνω, συμπυκνώνεται με 25 χτυπήματα και το επιπλέον υλικό απομακρύνεται, κυλώντας τη ράβδο, κατά πλάτος και σε επαφή με την κορυφή του δοχείου. Τεμάχια υλικού που εμποδίζουν, αφαιρούνται με το χέρι και προσθέτονται άλλα για να καλύψουν τυχόν κενά. Η καθαρή μάζα του υλικού στο δοχείο μέτρησης, ζυγίζεται και καταχωρείται στο δελτίο μέτρησης του δείγματος ως μάζα Α.

6.1.3. Διεξαγωγή της δοκιμής.

Τοποθετούμε τη μηχανή κρούσης, χωρίς σφήνες ή στηρίγματα, πάνω στο επίπεδο πλαίσιο ή στο πάτωμα, έτσι ώστε να είναι σταθερή, και οι οδηγοί του σφυριού να είναι κάθετοι και τοποθετούμε το δοχείο με το δείγμα, που σφίγγεται στη θέση του, στη βάση της μηχανής, με τη βοήθεια του αντίστοιχου μηχανισμού.

Το ύψος του σφυριού ρυθμίζεται, έτσι ώστε η κάτω επιφάνεια του να είναι 380 ± 5 mm, πάνω από την επιφάνεια του υλικού μέσα στο δοχείο και μετά αφήνεται να πέσει ελεύθερα πάνω στο υλικό. Το δείγμα δέχεται 15 τέτοια χτυπήματα, με διαφορά το ένα από το άλλο, τουλάχιστον 1 sec. Σημειώνουμε, ότι δεν ενδείκνυται ρύθμιση του ύψους του σφυριού μετά από το πρώτο χτύπημα.

Κατόπιν, αδειάζεται το θραυσμένο υλικό, κρατώντας το δοχείο πάνω από ένα καθαρό δίσκο, χτυπώντας το στο εσωτερικό του με ένα κατάλληλο λαστιχένιο σφυρί, ωσότου τα τεμάχια του δείγματος ξεκολλήσουν κι επιτρέψουν στο δείγμα να αδειάσει ελεύθερα μέσα στο δίσκο. Για να παρθεί το λεπτόκοκκο υλικό που βρίσκεται μέσα στο δοχείο και στο κάτω μέρος του σφυριού, χρησιμοποιείται μια σκληρή βούρτσα. Κοσκινίζεται η ποσότητα του υλικού που βρίσκεται μέσα στο δίσκο με κόσκινο των 2,36 mm, μέχρις ότου να γίνεται αντιληπτή η διέλευση ποσότητας υλικού για 1 min.

Τόσο τα τεμάχια που περνούν από το κόσκινο, όσο και αυτά που παραμένουν σε αυτό ζυγίζονται με ακρίβεια 0,1 gr και καταγράφονται ως μάζα B και μάζα C αντίστοιχα. Αν η συνολική μάζα B + C είναι μικρότερη από την αρχική μάζα A περισσότερο του 1 gr, απορρίπτεται το αποτέλεσμα και το πείραμα επαναλαμβάνεται επειδή οι απώλειες υλικού, κατά την εκτέλεση της δοκιμής είναι σημαντικές.

6.1.4. Υπολογισμοί και παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Η σχέση της μάζας του λεπτομερούς υλικού που προκύπτει προς τη συνολική μάζα του δείγματος, για κάθε δοκιμή, εκφράζεται σαν ποσοστό (%) και το αποτέλεσμα καταγράφεται μέχρι το πρώτο δεκαδικό ψηφίο. Το ποσοστό (%) των λεπτομερών δίνεται από τη σχέση :

$$\text{Ποσοστό λεπτομερών} = (B/A) \times 100 \quad (\text{σχέση 6.1.})$$

Όπου **A** : η μάζα του αρχικού ξηρού δείγματος (gr)

B : η μάζα του λεπτομερούς υλικού που περνά από το κόσκινο μετά τη δοκιμή (gr).

Το παραπάνω αποτέλεσμα στρογγυλοποιείται στον πλησιέστερο ακέραιο και αποτελεί το δείκτη αντοχής σε κρουστικό φορτίο (ΔΑΚΦ).

Αν εξετάζεται υλικό που το μέγεθος των τεμαχίων του δεν είναι το πρότυπο μέγεθος, τότε πρέπει μαζί με το δείκτη αντοχής σε κρουστικό φορτίο (ΔΑΚΦ), να αναγράφεται και το κοκκομετρικό κλάσμα στο οποίο αναφέρεται.

☒ Υπολογισμοί για χαλίκι κοκκομετρίας 10 - 20 mm.

Μάζα αρχικού ξηρού δείγματος (A) gr =

(βάρος δειγματοχωρέα με το υλικό) gr – (βάρος του δειγματοφορέα) gr =>

$$A = 2868,6 \text{ gr} - 2190,4 \text{ gr} \Rightarrow$$

$$A = 678,2 \text{ gr}$$

Μάζα λεπτομερούς υλικού που περνά από το κόσκινο μετά τη δοκιμή **B = 590,9 gr**

Επομένως, το ποσοστό λεπτομερών, σύμφωνα με τη σχέση 6.1. θα είναι :

$$\text{Ποσοστό λεπτομερών} = (590,9 \text{ gr} / 678,2 \text{ gr}) \times 100 \Rightarrow$$

Ποσοστό λεπτομερών = 87,1 % (μεγάλο ποσοστό, ίσως λόγω πειραματικού ή υπολογιστικού λάθους, το λογικό είναι <30%).

☒ Υπολογισμοί για χαλίκι κοκκομετρίας 20 - 30 mm.

Επειδή η κοκκομετρία των συγκεκριμένων χαλικιών είναι μεγάλη, πρώτα θα οδηγήσω σε θραύση μία ποσότητα αυτών, κατάλληλη για το πείραμά μας, σε σιαγωγανωτό σπαστήρα δύο ίππων (FRITSCH, Type : 0170, No : 1637, Volt : 380, 4^η σκάλα).

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ ΘΡΑΥΣΜΕΝΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΔΕΙΚΤΗ (ΔΑΚΦ)	
Αρχικό βάρος θραυσμένου υλικού : 2469 gr	
Μέγεθος κοσκίνου (mm)	Παραμένον ποσότητα (gr)
19	61
9,5	1677,3
5,6	353,2
-5,6	373,4
ΣΥΝΟΛΟ :	2464,9

Πίνακας 6.1.

Το θραυσμένο υλικό το κοσκινίζουμε, για να δούμε την κοκκομετρία του μετά την θραύση από την οποία και παίρνουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα, που παρουσιάζονται στον ΠΙΝΑΚΑ 6.1. :

Το υλικό που χρησιμοποιήσαμε για να κάνουμε το πείραμά μας, ήταν πλέον από το θραυσμένο υλικό, δηλαδή από τα 2464,9 gr του υλικού που πήραμε από τον σπαστήρα.

Μάζα αρχικού ξηρού δείγματος (A) gr =

(βάρος δειγματοχωρέα με το υλικό) gr – (βάρος του δειγματοχωρέα) gr =>

A = 2846,4 gr – 2190,4 gr =>

A = 656 gr

Μάζα λεπτομερούς υλικού που περνά από το κόσκινο μετά τη δοκιμή

B = 563,8 gr

Επομένως, το ποσοστό λεπτομερών, σύμφωνα με τη σχέση 6.1. θα είναι :

$$\text{Ποσοστό λεπτομερών} = (563,8 \text{ gr}/656 \text{ gr}) \times 100 \Rightarrow$$

Ποσοστό λεπτομερών = 85,9 % (μεγάλο ποσοστό, ίσως λόγω πειραματικού ή υπολογιστικού λάθους, το λογικό είναι <30%).

6.2. Προσδιορισμός του δείκτη ΔΑΘ.

Ο δείκτης αντοχής σε θραύση (ΔΑΘ), αποτελεί ένα μέτρο αντοχής του υλικού σε θραύση, με σταδιακό και ομοιόμορφα εφαρμοζόμενο θλιπτικό φορτίο. Για υλικό με δείκτη αντοχής σε θραύση μεγαλύτερο του 30, η παρακάτω πρότυπη δοκιμή δεν ενδείκνυται. Σε αυτές τις περιπτώσεις ενδείκνυται ο προσδιορισμός του δείκτη 10 % λεπτομερών τεμαχιδίων (BS812, Part 3, 1975).

Η πρότυπη δοκιμή θραύσης γίνεται για ένα υλικό που περνά από το κόσκινο των 14 mm και παραμένει στο κόσκινο των 10 mm. Αν χρειάζεται ή αν δε μπορούμε να έχουμε το μέγεθος που απαιτείται, οι δοκιμές μπορούν να γίνουν σε υλικά μεγαλύτερων ή και μικρότερων μεγεθών με τα πρότυπα. Συγκεκριμένα μέχρι και για μεγέθη που περνούν από ένα κόσκινο των 28 mm, καθώς και για αυτά που περνούν από ένα κόσκινο των 2,36 mm, χρησιμοποιώντας τον πρότυπο εξοπλισμό.

Τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών δεν είναι όμοια με τα αντίστοιχα που προέρχονται από τις πρότυπες δοκιμές, πράγμα που οφείλεται στην ανομοιογένεια των υλικών. Γενικά, τα μικρότερα μεγέθη υλικών δίνουν

μικρότερο δείκτη αντοχής σε θραύση, ενώ τα μεγαλύτερα, μεγαλύτερο, αλλά η σχέση ανάμεσα στις τιμές των δεικτών, διαφέρει από υλικό σε υλικό.

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα που προκύπτουν με εξοπλισμό μικρότερων διαστάσεων, έχουν βρεθεί να είναι ελαφρώς μεγαλύτερα από εκείνα που προκύπτουν με τον πρότυπο εξοπλισμό. Το σφάλμα όμως αυτό αντισταθμίζεται από το ότι τα μεγέθη των υλικών που δοκιμάζονται είναι μικρότερα από το πρότυπο μέγεθος.

6.2.1. Απαιτούμενες συσκευές.

Για αυτή τη δοκιμή απαιτούνται οι παρακάτω συσκευές :

1. Ένας, ανοιχτός και από τις δύο μεριές, ατσάλινος κύλινδρος, με εσωτερική διάμετρο 150 mm, με έμβολο και μια πλάκα για βάση. Οι επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με το υλικό έχουν ειδικά σκληρυνθεί ή επεξεργασθεί, ώστε να έχουν σκληρότητα μεγαλύτερη των 640 HV, σύμφωνα με τα πρότυπα BS427 και πρέπει να διατηρούνται λείες. Για υλικά με μεγέθη διαφορετικά του προτύπου, ο παραπάνω κύλινδρος έχει εσωτερική διάμετρο 75 mm.
2. Μια μεταλλική ράβδο για να συμπυκνώνουμε το υλικό, διάμετρο 16 mm και μήκους από 450 έως 600 mm. Το ένα άκρο της ράβδου είναι στρογγυλεμένο. Για υλικά με μεγέθη διαφορετικά του προτύπου, η ράβδος έχει διάμετρο 8 mm και μήκος 300 mm.

3. Μια ζυγαριά με ικανότητα ζύγισης τουλάχιστον 3 kg και ακρίβειας 1 gr ή με ικανότητα ζύγισης από 0 έως 3 kg και ακρίβειας 0,1 gr, για υλικά με μεγέθη διαφορετικά του προτύπου.
4. Κόσκινα των 14 mm των 10 mm και 2,36 mm κατά BS. Όπως έχει αναφερθεί, τα κόσκινα που τελικά χρησιμοποιήθηκαν ήταν αντίστοιχα αυτά των 13,20 mm, 9,50 mm και 2,36 mm, για τα μεγαλύτερου μεγέθους δείγματα και 9,50 mm, 6,30 mm και 1,70 mm για τα μικρότερου μεγέθους δείγματα.
5. Μηχανή φόρτισης, ικανή να εφαρμόζει δύναμη έως 400 kN, για πρότυπα μεγέθη του υλικού, ή ως 100 kN για μεγέθη διαφορετικά του προτύπου και να επιβάλλει σταθερό ρυθμό φόρτισης, έτσι ώστε η δύναμη να επιτυγχάνεται σε 10 min. Η μηχανή έχει συγχρόνως τη δυνατότητα να μετρά και να καταγράφει το επιβαλλόμενο φορτίο. Η μηχανή συμπίεσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν η υπάρχουσα μηχανή του εργαστηρίου Μηχανικής Πετρωμάτων. Πρόκειται για μηχανή που χρησιμοποιείται για μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων και συγκεκριμένα για μονοαξονική θλίψη, εφελκυσμό, τριαξονική δοκιμή κλπ. Είναι μοντέλο MTS 815 (Material Testing System) και είναι ικανή να εφαρμόζει δύναμη έως 1600 kN (160 ton) και δίνει παράλληλη και ταυτόχρονη μέτρηση της μετατόπισης μέχρι και 50 mm.
6. Ένα κυλινδρικό δοχείο μέτρησης, υψηλής αντοχής, για να αντεπεξέρχεται στις σκληρές συνθήκες χρήσης του, με εσωτερική διάμετρο 115 mm και εσωτερικό βάθος 180 mm για τα πρότυπα μεγέθη και με εσωτερική διάμετρο 57 mm και εσωτερικό βάθος 90 mm για μεγέθη διαφορετικά του προτύπου.

6.2.2. Προετοιμασία του δείγματος.

Το υλικό για την πρότυπη δοκιμή αποτελείται από τεμάχια που περνούν από το κόσκινο των 14 mm και παραμένουν σε αυτό των 10 mm.

Το υλικό πρέπει να έχει ξηρανθεί. Αν η ξήρανση γίνεται με θέρμανση, ο χρόνος ξήρανσης, δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 4 ώρες, η θερμοκρασία τους 110°C και το υλικό ψύχεται σε θερμοκρασία δωματίου πριν τη δοκιμή.

Η ποσότητα του υλικού για μια δοκιμή πρέπει να είναι τόση, ώστε το βάθος του υλικού μέσα στον κύλινδρο να είναι 100 mm, μετά τη συμπύκνωση.

Η απαιτούμενη ποσότητα βρίσκεται εύκολα, αν γεμίσουμε το δοχείο μέτρησης με τρία στρώματα από το υλικό, με περίπου ίσο πάχος. Κάθε στρώμα συμπυκνώνεται με 25 χτυπήματα, από ύψος περίπου 50 mm πάνω από την επιφάνεια του υλικού, με το στρογγυλεμένο άκρο της ράβδου και τέλος εξάγεται πάλι με τη βοήθεια της ράβδου. Η αρχική μάζα του υλικού καταγράφεται στο δελτίο του δείγματος ως μάζα Α.

Το υλικό για τις δοκιμές των μη προτύπων μεγεθών είναι το κλάσμα N 9,50 mm + 2,36 mm, για τα μεγαλύτερα μεγέθη και το κλάσμα N 6,30 mm + 1,70 mm, αντίστοιχα για τα μικρότερα μεγέθη.

Η διαδικασία σε γενικές γραμμές ακολουθεί αυτή της πρότυπης δοκιμής, εκτός από το ότι στις δοκιμές με το μικρότερο εξοπλισμό η ποσότητα είναι τόση, ώστε το πάχος του υλικού στον κύλινδρο με ονομαστική διάμετρο 75 mm, είναι 50 mm, μετά τα χτυπήματα με τη ράβδο. Η απαιτούμενη ποσότητα βρίσκεται εύκολα, χρησιμοποιώντας τη μικρότερη ράβδο και το μικρότερο δοχείο μέτρησης, αντίστοιχα.

6.2.3. Διεξαγωγή της δοκιμής.

Ο κύλινδρος τοποθετείται στη βάση του και προστίθεται το δείγμα που απαιτείται για τη δοκιμή σε τρία διαφορετικά στρώματα. Κάθε στρώμα

υποβάλλεται σε 25 χτυπήματα με τη μεταλλική ράβδο, κατανεμημένα πάνω στην επιφάνεια του στρώματος, που δίνονται από ένα ύψος περίπου 50 mm αφήνοντας τη ράβδο να πέφτει ελεύθερα πάνω στην επιφάνεια του υλικού. Προσοχή δίνεται ώστε η επιφάνεια του υλικού να είναι όσο το δυνατό πιο επίπεδη και κατόπιν τοποθετείται από πάνω το έμβολο, έτσι ώστε αυτό να παραμένει σε οριζόντια θέση πάνω στην επιφάνεια του υλικού, προσέχοντας επίσης μην κολλήσει μέσα στον κύλινδρο. Ο λόγος που πληρώνεται το δοχείο με τον τρόπο αυτό είναι για να αποφύγουμε τη δημιουργία κενών χώρων που θα έδιναν λανθασμένα αποτελέσματα κατά την εκτέλεση της δοκιμής.

Η συσκευή με το δείγμα και το έμβολο, τοποθετείται στη θέση της πάνω στη μηχανή και τίθεται σε λειτουργία με σταθερό ρυθμό επιβολής φορτίου, έτσι ώστε η απαιτούμενη δύναμη να επιτυγχάνεται σε 10 min. Η απαιτούμενη δύναμη είναι ως γνωστόν 400 kN.

Μετά τη δοκιμή η λειτουργία της μηχανής διακόπτεται και το σπασμένο υλικό αδειάζεται, κρατώντας τον κύλινδρο πάνω από ένα καθαρό δίσκο και χτυπώντας το εξωτερικό του μέρος με ένα κατάλληλο λαστιχένιο σφυρί, ωστόσο τα τεμάχια του υλικού αποσυγκολληθούν και το δείγμα πέσει ελεύθερα μέσα σε δίσκο. Για τη συλλογή των λεπτομερών υλικών από το εσωτερικό του κυλίνδρου, από τη βάση του και από το κάτω μέρος του εμβόλου χρησιμοποιείται σκληρή βούρτσα.

Το δείγμα που περιέχεται στο δίσκο κοσκινίζεται με ένα κόσκινο των 2,36 mm, μέχρις ότου να μη διέρχεται από το κόσκινο σημαντική ποσότητα από το υλικό, για 1 min κοσκίνισμα. Η ποσότητα που πέρασε από το κόσκινο ζυγίζεται και καταγράφεται ως μάζα Β. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται ώστε σε όλες τις φάσεις της εργασίας να μη χάνετε λεπτομερές υλικό.

Οι δοκιμές για τα μη πρότυπα μεγέθη ακολουθούν την παραπάνω διαδικασία, με τη διαφορά ότι χρησιμοποιώντας το μικρότερο εξοπλισμό, χρησιμοποιείται η μικρότερη ράβδος και η συνολική δύναμη που εφαρμόζεται είναι 100 kN. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στα μεγαλύτερα τεμάχια του υλικού, ώστε αυτά να μην κολλούν μέσα στον κύλινδρο.

Μετά τη δοκιμή, το υλικό που εξάγεται από τον κύλινδρο, κοσκινίζεται με το κόσκινο των 2,36 mm, ή των 1,70 mm.

6.2.4. Υπολογισμοί και παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

Η σχέση της μάζας του λεπτομερούς υλικού που προκύπτει προς τη συνολική μάζα του δείγματος, για κάθε δοκιμή, εκφράζεται σαν ποσοστό (%) και το αποτέλεσμα καταγράφεται μέχρι και το πρώτο δεκαδικό ψηφίο. Το ποσοστό (%) των λεπτομερών δίνεται από τη σχέση :

$$\text{Ποσοστό λεπτομερών} = (B/A) \times 100 \quad (\text{σχέση 6.2.})$$

Όπου **A** : η μάζα του αρχικού ξηρού δείγματος (gr)

B : η μάζα του λεπτομερούς υλικού που περνά από το κόσκινο των 2,36 mm μετά τη δοκιμή (gr).

Το παραπάνω αποτέλεσμα στρογγυλοποιείται στον πλησιέστερο ακέραιο και αποτελεί το δείκτη αντοχής σε θραύση (ΔΑΘ).

Ο υπολογισμός του (ΔΑΘ) για τα μη πρότυπα μεγέθη, ακολουθεί την παραπάνω μέθοδο, με τη διαφορά ότι η μάζα Β, είναι ανάλογα η μάζα του θραυσμένου υλικού που περνά από το κόσκινο των 2,36 mm, ή των 1,70 mm, σε gr.

☒ **Υπολογισμοί για χαλίκι κοκκομετρίας 10 - 20 mm.**

Μάζα αρχικού ξηρού δείγματος (A) **gr = 3086, 5 gr**

Μάζα λεπτομερούς υλικού που περνά από το κόσκινο μετά τη δοκιμή

B = 912,9 gr

Επομένως, το ποσοστό λεπτομερών, σύμφωνα με τη σχέση 6.2. θα είναι :

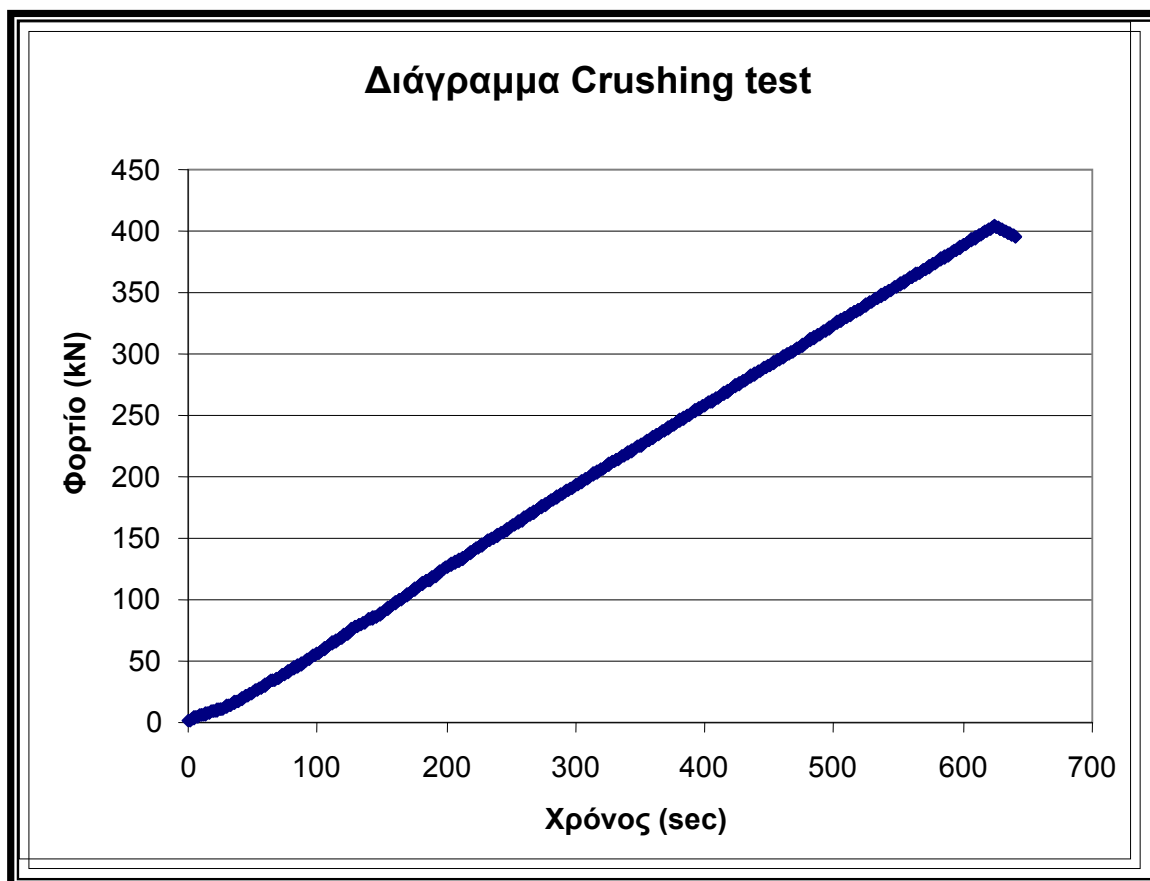
Ποσοστό λεπτομερών = $(912,9 \text{ gr} / 3086,5 \text{ gr}) \times 100 \Rightarrow$

Ποσοστό λεπτομερών = 29,577 % $\Rightarrow$

Ποσοστό λεπτομερών = 29,6 % ~ 30 % .

Επειδή, το ποσοστό λεπτομερών $\leq 30 \%$, η παραπάνω πρότυπη δοκιμή ενδείκνυται για το υλικό μας.

Στη γραφική παράσταση που ακολουθεί, παρουσιάζεται το γράφημα του Crashing Test που πραγματοποιήσαμε για το υλικό μας, το οποίο ήταν χαλίκι κοκκομετρίας 10 - 20 mm.



Διάγραμμα 6.1. Διάγραμμα Crushing Test για χαλίκι κοκκομετρίας 10-20mm.

Από το γράφημα, παρατηρούμε ότι το υλικό μας δέχεται μέγιστο φορτίο 403,9551 kN, το οποίο και παρουσιάζει σε χρόνο 624 sec, όπου και γίνεται η θραύση του υλικού.

6.3. Δοκιμή Los Angeles.

Στην εργασία μας, δεν πραγματοποιήσαμε τη δοκιμή Los Angeles, διότι χρειαζόταν η συσκευή την οποία δε διαθέταμε. Απλώς, σε αυτό το κεφάλαιο, γίνεται μία αναφορά στη δοκιμή, διότι είναι η καταλληλότερη για τον προσδιορισμό της σκληρότητας των αδρανών.

6.3.1. Σκοπός της δοκιμής.

Η δοκιμή αυτή, που επινοήθηκε και σχεδιάστηκε στο Εργαστήριο Δοκιμών της πόλης Los Angeles, έχει ως σκοπό της, τον προσδιορισμό της αντοχής των αδρανών υλικών σε τριβή και κρούση με τη μηχανή Los Angeles. Η δοκιμή αυτή, θεωρείται η πιο κατάλληλη για τον προσδιορισμό της σκληρότητας, δυσθραυστότητας και ποσοστού μαλακών τεμαχίων των αδρανών υλικών από οποιαδήποτε άλλη δοκιμή για τους παρακάτω λόγους :

⇒ Η δράση επί των αδρανών είναι πολύ ισχυρή, ώστε να αποκαλύπτεται οποιαδήποτε αδυναμία του υλικού.

⇒ Είναι κατάλληλη τόσο για τα θραυστά όσο και για τα φυσικά αδρανή.

⇒ Η δοκιμή είναι αρκετά σύντομη.

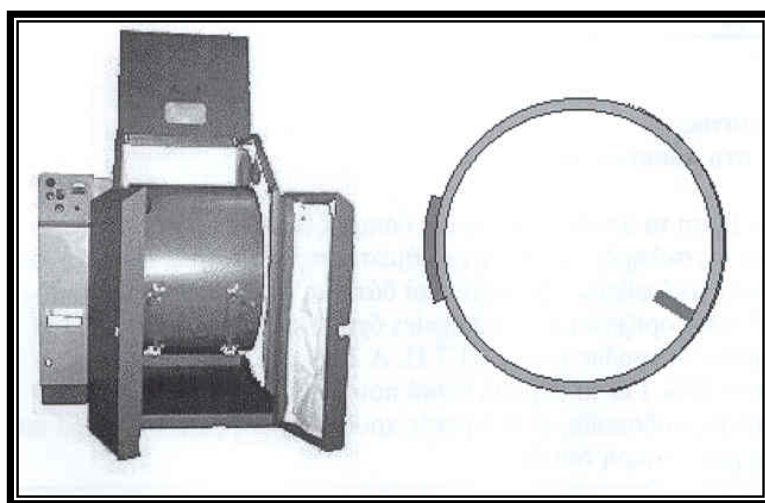
⇒ Δεν επηρεάζεται από τη μεταβολή του ειδικού βάρους των αδρανών, εξ αιτίας της μεγάλης χωρητικότητας του κυλίνδρου της μηχανής.

⇒ Περιορίζεται σημαντικά η επίδραση αυτού που εκτελεί τη δοκιμή. Η δοκιμή που περιγράφεται παρακάτω είναι σύμφωνη με το πρότυπο A.S.T.M. C 131, πρότυπο στο οποίο παραπέμπουν οι ισχύοντες ελληνικοί κανονισμοί.

6.3.2. Μηχανή Los Angeles.

Η μηχανή Los Angeles αποτελείται από ένα χαλύβδινο κύλινδρο, κλειστό στις βάσεις του, εσωτερικής διαμέτρου 710 mm και μήκους 510 mm. Η μηχανή

στηρίζεται κατάλληλα ώστε να μπορεί να περιστρέφεται οριζόντια. Στην πλευρική επιφάνεια του κυλίνδρου υπάρχει θυρίδα από την οποία εισάγεται το δείγμα και η οποία κλείνει αεροστεγώς. Η θυρίδα είναι σχεδιασμένη έτσι που να διατηρεί την ίδια καμπυλότητα του κυλίνδρου. Στην εσωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου υπάρχει χαλύβδινη προεξοχή μήκους όσο και αυτό του κυλίνδρου, πλάτους 89 mm η οποία έχει την διεύθυνση της ακτίνας του κυλίνδρου.



Εικόνα 6.1 Συσκευή Los Angeles.

6.3.3. Φορτίο σφαιρών.

Εντός της μηχανής εισάγονται χαλύβδινες σφαίρες διαμέτρου περίπου 47,5 mm και βάρους 390 – 445 gr η κάθε μία. Ο αριθμός καθώς και το συνολικό βάρος των σφαιρών που χρησιμοποιούνται εξαρτάται από τη διαβάθμιση του προς δοκιμή υλικού και δίνονται από τον παρακάτω πίνακα 6.2.

Διαβάθμιση	Αριθμός σφαιρών	Βάρος φορτίου σφαιρών (gr)
A	12	5.000
B	11	4.584
Γ	8	3.330
Δ	6	2.500
E	12	5.000
Z	12	5.000
H	12	5.000

Πίνακας 6.2.

6.3.4. Δείγμα.

Το προς δοκιμή δείγμα επιλέγεται από καθαρό υλικό, αφού ξηρανθεί αυτό στους 105 – 110 °C μέχρι σταθερού βάρους. Η ποσότητα του δείγματος όπως και η κατάλληλη διαβάθμιση επιλέγεται από πίνακα. Πρέπει δε η διαβάθμιση αυτή να είναι η πλησιέστερη του προς εξέταση αδρανούς.

6.3.5. Τρόπος εργασίας.

Το δείγμα μαζί με τον αντίστοιχο αριθμό σφαιρών εισάγονται στη μηχανή Los Angeles. Η μηχανή μπαίνει σε κίνηση με ταχύτητα 30 – 33 στροφών ανά λεπτό. Για τις διαβαθμίσεις Α, Β, Γ και Δ απαιτούνται 500 στροφές συνολικά, ενώ για τις Ε, Ζ και Η 1000 στροφές. Όταν συμπληρωθεί ο απαιτούμενος αριθμός στροφών παραλαμβάνεται το υλικό, το οποίο στη συνέχεια κοσκινίζεται στο κόσκινο Νο 12 (1,7μm). Το συγκρατούμενο στο Νο 12 υλικό πλένεται, ξηραίνεται και ζυγίζεται με ακρίβεια 1 gr.

6.3.6. Υπολογισμοί.

Η διαφορά μεταξύ του αρχικού και του τελικού βάρους του δείγματος εκφρασμένη σε ποσοστό % του αρχικού βάρους δίνει το ποσοστό φθοράς του υπό εξέταση αδρανούς υλικού.

Η % φθορά υπολογίζεται από τον τύπο :

$$W = [(A-B)/A] \times 100$$

όπου :

W = η ζητούμενη φθορά

A = αρχικό βάρος του δείγματος

B = συγκρατούμενο βάρος στο κόσκινο Νο 12.

6.3.7. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.

Με βάση τα αποτελέσματα της δοκιμής μπορούμε να χαρακτηρίσουμε ένα αδρανές υλικό ως σκληρό, μαλακό ή ενδιάμεσης σκληρότητας. Για παρασκευή σκυροδέματος ανθεκτικού σε επιφανειακή φθορά (βιομηχανικά δάπεδα, σκυρόδεμα οδοποιΐας) ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος ορίζει τιμή Los Angeles όχι μεγαλύτερη από 40 %. Για παρασκευή ασφαλικού σκυροδέματος οι προδιαγραφές (Π.Τ.Π. Α 265) ορίζουν την χρήση αδρανών με % φθορά μικρότερη του 40 %. Για τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή βάσεων και υποβάσεων στην οδοποιΐα, οι ελληνικές προδιαγραφές (Π.Τ.Π. Α 155 και 150) ορίζουν τιμή Los Angeles όχι μεγαλύτερη του 50.

Κεφάλαιο 7

ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

7.1. Προέλευση του υλικού

7.1.1. Γενικές πληροφορίες για το λατομείο Χορδακίου

Το υλικό που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία είναι ασβεστολιθικά αδρανή τα οποία προέρχεται από το λατομείο αδρανών υλικών που βρίσκεται στο Χορδάκι Χανίων. Το Λατομείο Χορδακίου είναι μια μικτή επιχείρηση που μετέχουν η **ΦΙΝΟΜΠΕΤΟΝ Α.Ε.**, **ΤΟΜΕΣ Α.Τ.Ε.** και η πρώην Κοινότητα Χορδακίου, τώρα **Δήμος Ακρωτηρίου**.

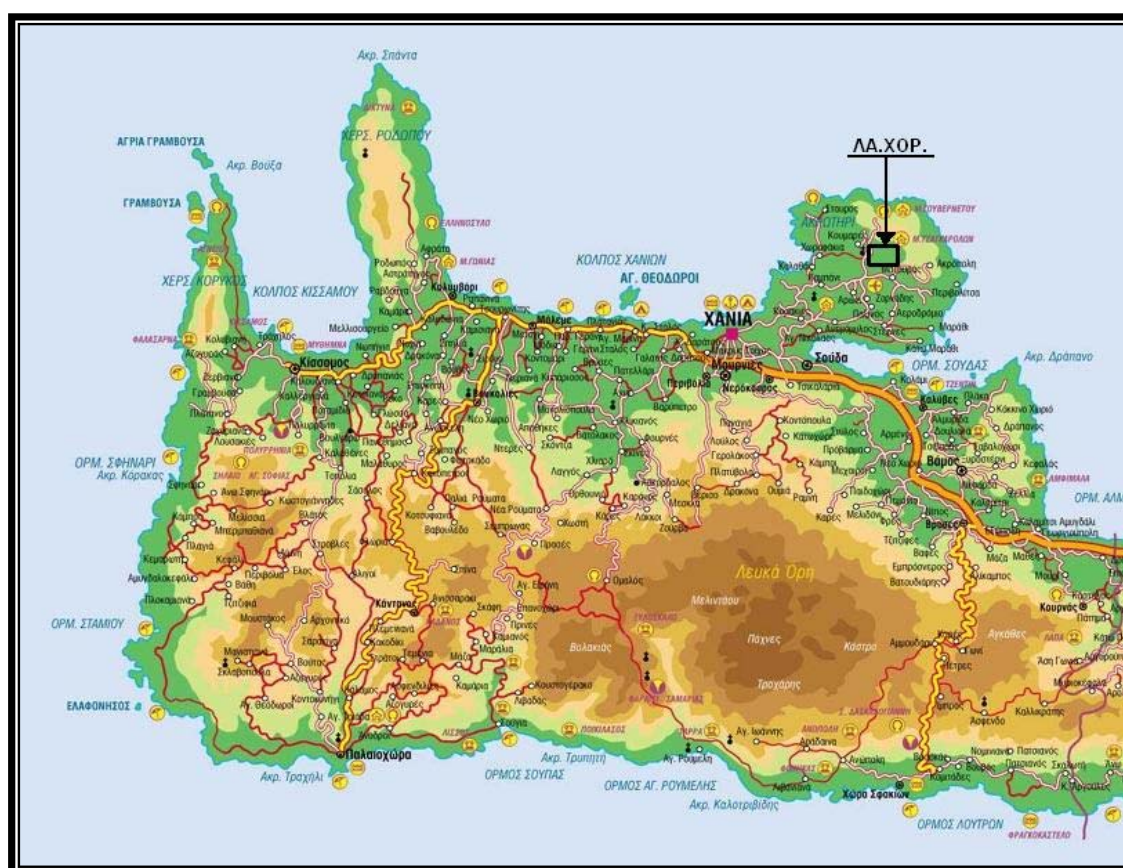
Βρίσκεται στη θέση στα Καψαλάκια Ακρωτηρίου και πιο συγκεκριμένα στη βόρεια και ανατολική περιοχή του νομού Χανίων, στην κοινότητα Χορδακίου, της επαρχίας Κυδωνίας, εντός της ομώνυμης Λατομικής περιοχής και 2km Β.Α. του παλαιού λατομείου και καταλαμβάνει έκταση 400 περίπου στρεμμάτων. Απέχει περίπου 20km από την πόλη των Χανίων. Η ευρύτερη περιοχή περιλαμβάνει διάφορους οικισμούς με πιο κοντινό το χωριό Χορδάκι.

Μορφολογικά ο χώρος του λατομείου χαρακτηρίζεται σαν ημιπεδινή περιοχή και βρίσκεται σε υψόμετρο +278m από την επιφάνεια της θάλασσας. Το οδικό δίκτυο αποτελείται από έναν δημόσιο δρόμο που εξυπηρετεί την πρόσβαση στην περιοχή Καψαλάκια.

Οι ασβεστόλιθοι οι οποίοι παράγονται σήμερα στο Λατομείο Χορδακίου χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία αδρανών και δομικών υλικών. Γενικότερα τα προϊόντα του λατομείου αποστέλλονται κυρίως σε σταθμούς σκυροδέματος της εταιρείας Φινομπετόν ενώ ταυτόχρονα μέρος τους χρησιμοποιείται σε έργα οδοποιίας κ.α.

7.1.2. Τοπογραφικά και Γεωλογικά στοιχεία της περιοχής

Στην Εικόνα 7.1 δίνεται ο χάρτης του νομού Χανίων, όπου φαίνεται μέσα σε ορθογώνιο πλαίσιο η περιοχή που βρίσκεται το λατομείο των αδρανών.



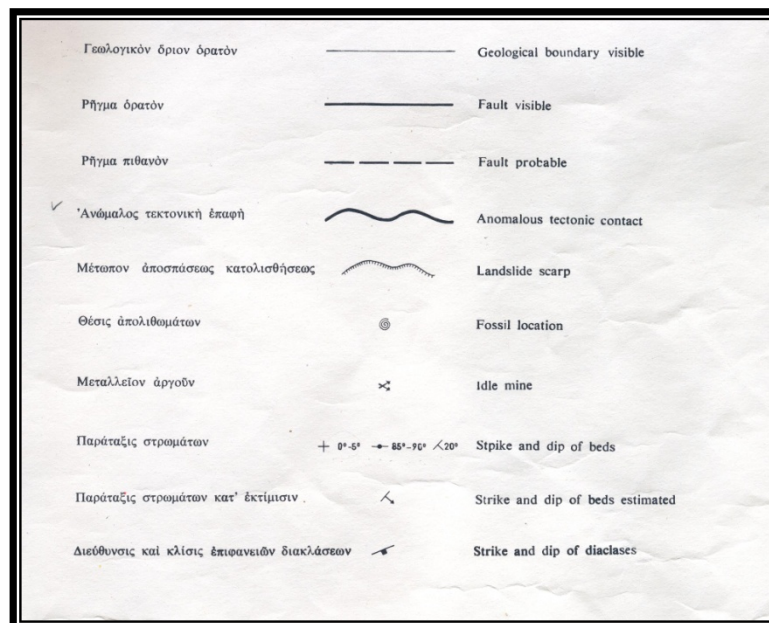
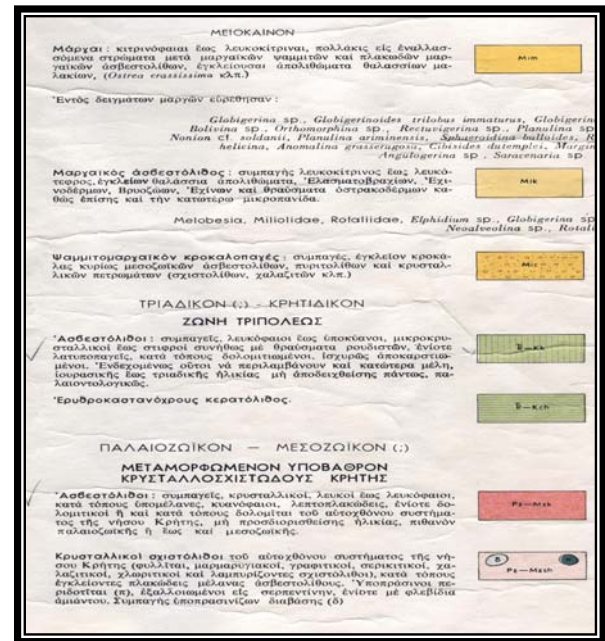
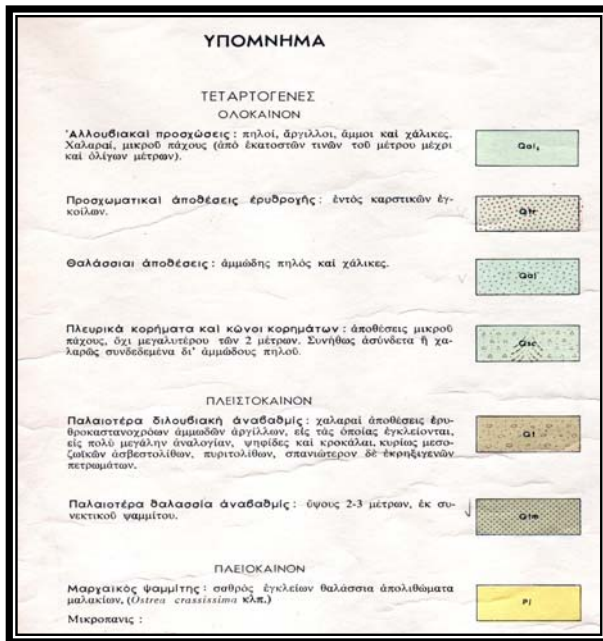
Εικόνα 7.1 Γεωγραφικός χάρτης του νομού Χανίων.

Η ευρύτερη περιοχή Χορδακίου από γεωλογική άποψη χαρακτηρίζεται από τους γεωλογικούς σχηματισμούς της Ζώνης Τριπόλεως και πιο συγκεκριμένα από συμπαγείς λευκοφόρους έως υποκύανους, μικροκρυσταλλικούς ή λατυποπαγείς ασβεστόλιθους συνήθως με θραύσματα ρουδιστών και κερατολίθους ερυθροκάστανους. Κατά τόπους οι ασβεστόλιθοι της περιοχής περιλαμβάνουν και κατώτερα μέλη, ιουρασικής έως τριαδικής ηλικίας μη αποδεδειγμένα παλαιοντολογικά από απολιθώματα. Στην τοποθεσία δεν παρατηρείται ρηγματογενής ζώνη.

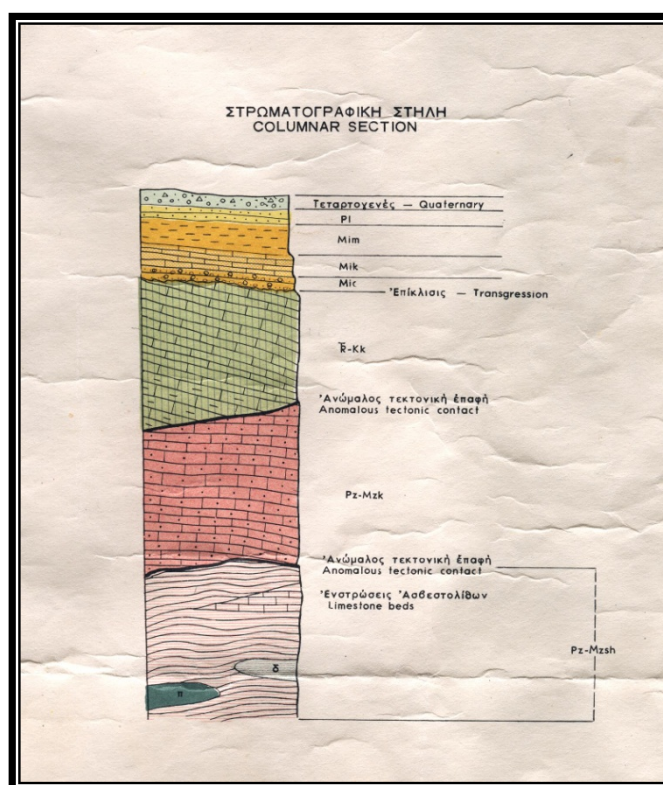
Στο γεωλογικό χάρτη (Εικόνα 7.2) φαίνονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί της ίδιας περιοχής και στις εικόνες 7.3 και 7.4 είναι το υπόμνημα του χάρτη και η στρωματογραφική στήλη του Ν. Χανίων.



Εικόνα 7.2. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής του Λατομείου.



Εικόνα 7.3. Υπόμνημα γεωλογικού χάρτη της περιοχής του λατομείου.



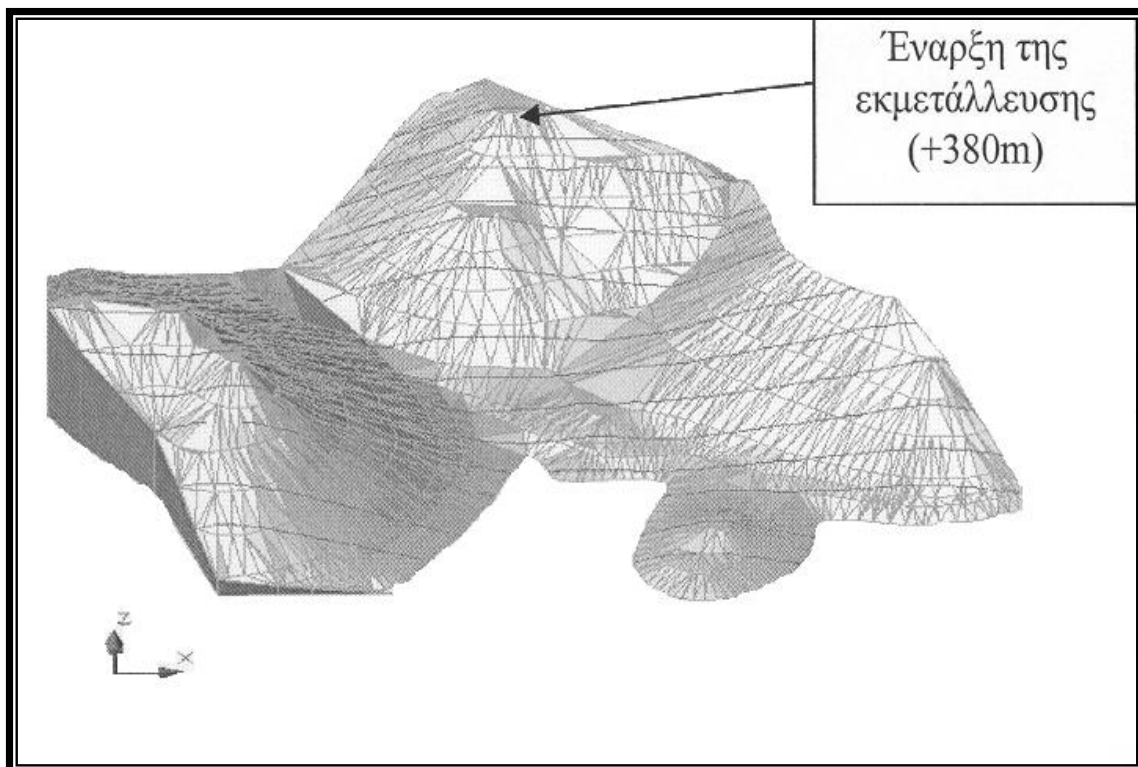
Εικόνα 7.4. Στρωματογραφική στήλη του Ν. Χανίων.

Στην εγγύς περιοχή δεν υπάρχουν σημεία υδροληψίας (φρέατα, γεωτρήσεις). Ο υδρολιθολογικός σχηματισμός της ευρύτερης περιοχής αποτελείται από ανθρακικούς σχηματισμούς του τεκτονικού καλύμματος της Ζώνης Τριπόλεως.

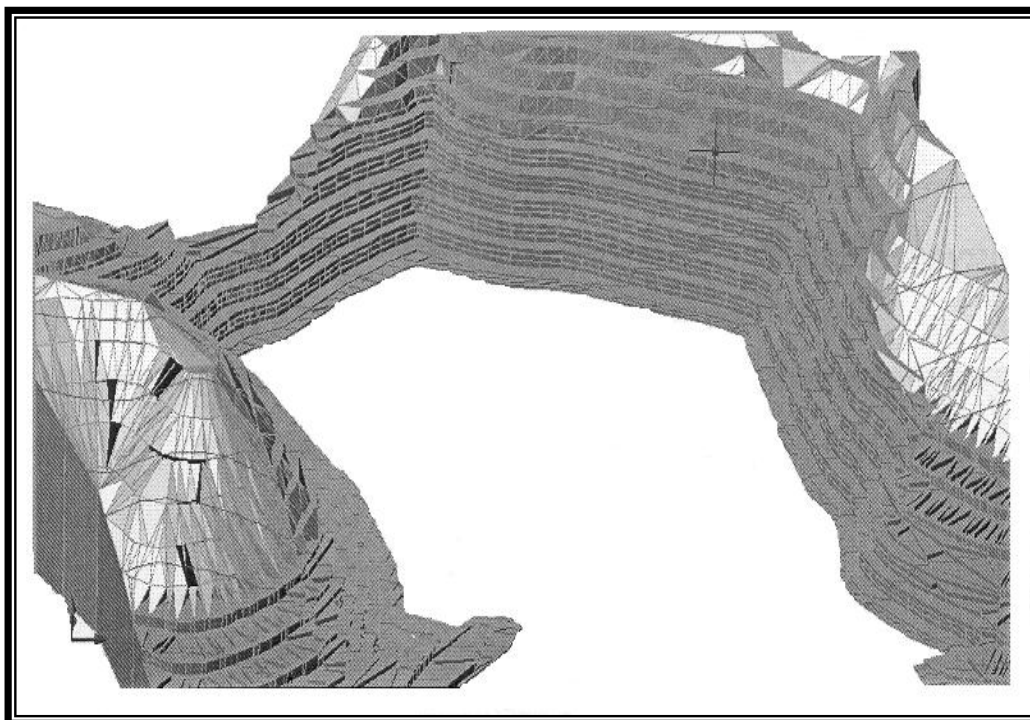
Η ορυκτολογία της περιοχής χαρακτηρίζεται από ασβεσίτη και σε περιορισμένη έκταση από δολομίτη (Ενημερωτικό – διαφημιστικό φυλλάδιο της εταιρείας).

Το κυρίως λατομείο εγκαταστάθηκε περίπου στο κέντρο της λατομικής περιοχής, σε 4 επίπεδα, με υψόμετρο 260-265-274-285m αφού πρώτα εξορύχθηκαν περίπου **1.500.000** τόνοι βράχου για τη δημιουργία οδού προσπέλασης, εσωτερικής οδοποιίας και διαμόρφωσης χώρων για

εγκατάσταση μηχανημάτων. Η σημερινή εγκατεστημένη ισχύς είναι **3.100HP** που κατανέμεται σε 70 ηλεκτροκινητήρες.



Εικόνα 7.5. Τρισδιάστατη απεικόνιση του λατομικού χώρου πριν την εκμετάλλευση (Χορδάκι).



Εικόνα 7.6. Τρισδιάστατη απεικόνιση του λατομικού χώρου μετά το πέρας της εκμετάλλευσης.

7.1.3 Τεχνικές πληροφορίες κι εξοπλισμός του λατομείου Χορδακίου

Το λατομείο πέραν του ότι με τις δυνατότητές του λύνει για τις επόμενες δεκαετίες το πρόβλημα των αδρανών υλικών του Νομού Χανίων (χρονίζον πρόβλημα για τις περισσότερες περιοχές της Ελλάδας και μέχρι σήμερα και για τα Χανιά) βρίσκεται σε μια περιοχή αθέατη, χωρίς να δημιουργεί όχληση ή περιβαλλοντικό πρόβλημα.

Επιπλέον, απέδειξε και κάτι πολύ σημαντικό για τις τεχνικές δυνατότητες του τόπου.

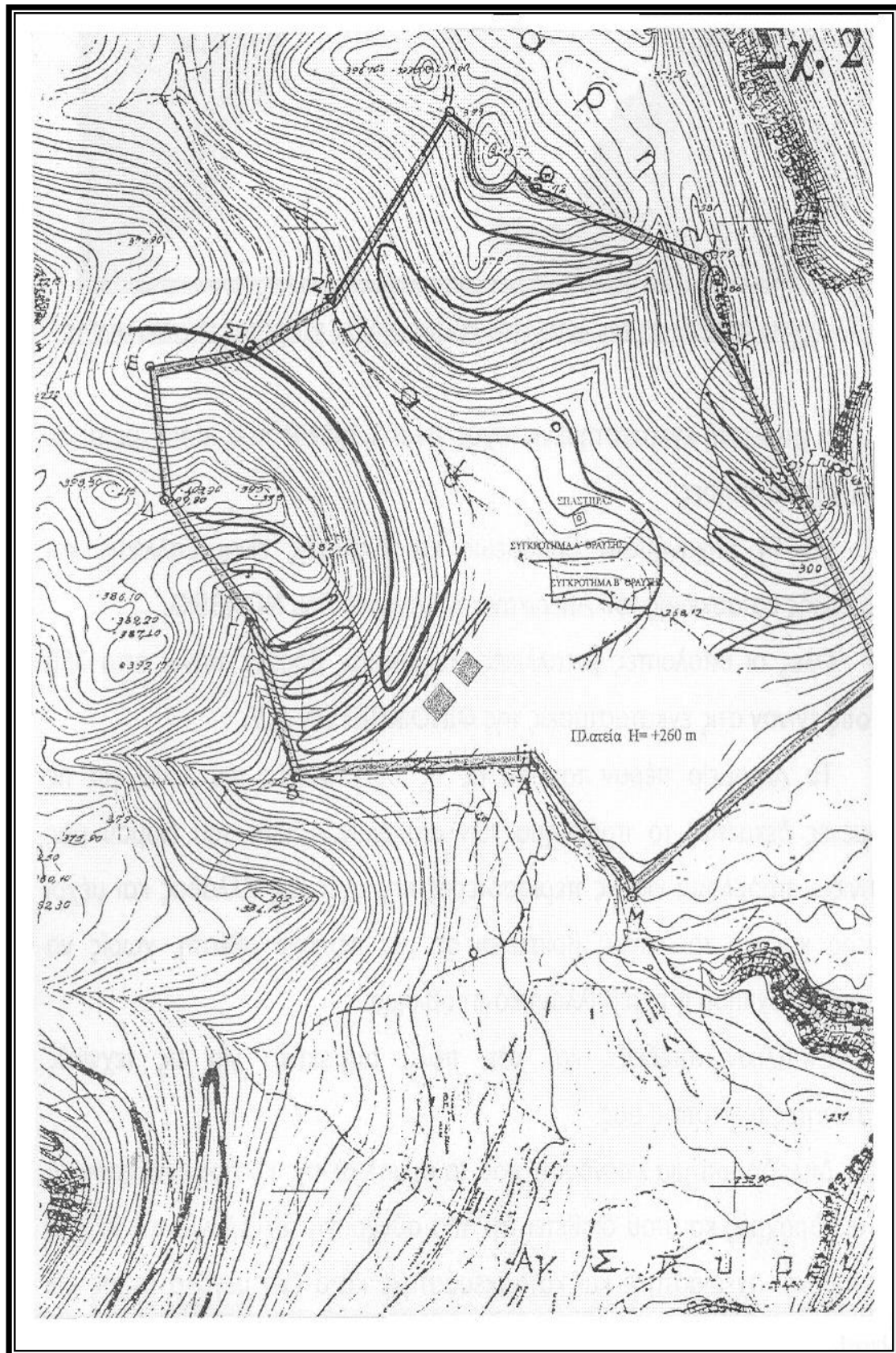
Δηλαδή, ότι μια επένδυση που το συνολικό της κόστος ξεπέρασε το 4,5 εκ. ευρώ και που διαθέτει την πιο σύγχρονη τεχνολογία του είδους μελετήθηκε, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε κατά ένα μεγάλο μέρος και

συναρμολογήθηκε εξ ολοκλήρου από το τεχνικό και επιστημονικό προσωπικό των ντόπιων εταιριών **ΦΙΝΟΜΠΕΤΟΝ Α.Ε.** και **ΤΟΜΕΣ Α.Τ.Ε.**

Το λατομείο τροφοδοτείται με ασβεστόλιθο της ζώνης Τριπόλεως (σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε.) ο οποίος έχει αντοχή **μητρικού πετρώματος : >89MPa** και **Los Angeles < 31-34%**.

Οι προδιαγραφές του λατομείου είναι για παραγωγή **700 τόνων ανά ώρα** και οι **39 μεταφορικές ταινίες** μαζί με την **ηλεκτρονική διαχείριση** του επιτρέπουν παραγωγή ενός πλήθους λατομικών προϊόντων **απόλυτα ελεγχόμενης** διαβάθμισης και ποιότητας.

Τα 13 μηχανήματα θραύσεως και διαλογής (5 DUMPER των 35κυβικών, 1 DUMPER των 50 κυβικών, 3 φορτωτές, 1 σφύρα, 1 διατρητικό, 1 ANNFONIERA και 1 σφύρα στο σπαστήρα) είναι Γαλλικής και Φιλανδικής κατασκευής του Αμερικανικού εργοστασίου **NORBERG**. Όλες οι υπόλοιπες μεταλλικές κατασκευές βάρους πάνω από **350 τόνους** έγιναν στις εγκαταστάσεις της **ΦΙΝΟΜΠΕΤΟΝ Α.Ε.**



Εικόνα 7.7. Τοπογραφικός χάρτης εκμετάλλευσης.

7.1.4 Οργάνωση λατομείου και διάταξη μετώπων

Μία συνήθης λατομική εκμετάλλευση περιλαμβάνει την ταυτόχρονη λειτουργία περισσότερων του ενός μετώπων εκμεταλλεύσεων για λόγους διατήρησης της συνέχειας της παραγωγής, ρύθμισης της ποιότητας του παραγόμενου υλικού καθώς και της βέλτιστης αξιοποίησης του υπάρχοντος εξοπλισμού. Στο λατομείο Χορδακίου εφαρμόζεται η πολιτική αυτή.

Η λατομική ζώνη περιλαμβάνει τα αποθέματα του ασβεστόλιθου που βρίσκεται στις πλαγιές περισσοτέρων του ενός λόφων. Κατά τα κρατούντα, η εκμετάλλευση γίνεται από πάνω προς τα κάτω με τη μέθοδο των ορθών βαθμίδων.

Επίσης, στο λατομείο Χορδακίου, το κύκλωμα εξόρυξης αδρανών λειτουργεί ανεξάρτητα από το κύκλωμα θραύσης των αδρανών αυτών στις επιθυμητές κοκκομετρίες με την παρεμβολή κατάλληλου μεγέθους αποθηκευτικού σωρού μεταλλεύματος ο οποίος μπορεί να τροφοδοτήσει το εργοστάσιο θραύσης για πολλές ημέρες χωρίς να υπάρξει η αντίστοιχη παραγωγή από το εργοτάξιο εξόρυξης.

Η δυνατότητα για ημερήσια παραγωγή του λατομείου φτάνει στους 6.000 τόνους, ανεξάρτητα από το αν η εξόρυξη γίνεται ταυτόχρονα σε όλα τα λειτουργούντα μέτωπα ή γίνεται επιλεκτικά σε ορισμένα από αυτά. Το λατομείο δουλεύει σε μία πρωινή βάρδια και σε πέντε εργάσιμες ημέρες την εβδομάδα εκτός από το τμήμα του προσωπικού το οποίο ασχολείται με την διαμόρφωση του χώρου του λατομείου και δουλεύει έξι ημέρες την εβδομάδα.

Επειδή η εξόρυξη στο λατομείο είναι μία δυναμική διαδικασία, υπάρχει μεταβολή των μετώπων εξόρυξης, όπως και της πορείας εκμετάλλευσης.

7.1.5 Προϊόντα λατομείου Χορδακίου

Το λατομείο Χορδακίου με τις τεχνικές δυνατότητες που του παρέχει η σύγχρονη τεχνολογία του, παράγει ένα πλήθος υλικών από πλευράς κοκκομετρικής διαβάθμισης, που ανταποκρίνονται πλήρως στις ζητούμενες τεχνικές προδιαγραφές των οικοδομικών έργων, (σκυρόδεμα – σοβάδες κλπ.) και των Δημοσίων τεχνικών έργων, (σκυροδέματα – οδοστρώσεις – ασφαλτικά).

Η μέχρι σήμερα δυνατότητα παραγωγής τριών υλικών (άμμος – χαλίκι – ψηφίδα) ανήκει στο παρελθόν.

Το λατομείο έχει τη δυνατότητα παραγωγής προϊόντων υψηλής ποιότητας τα οποία ανταποκρίνονται στις αυξημένες απαιτήσεις των σύγχρονων κατασκευών και ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις του Νέου Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος 1997 και των Π.Τ.Π. 0-150, 0-155 (υποβάσεις, βάσεις) και Π.Τ.Π. Α-265 (ασφαλτικό σκυρόδεμα).

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα προϊόντα του λατομείου. Είναι κατανεμημένα σύμφωνα με το μέγεθος της κοκκομετρίας τους. Στον Πίνακα 7.1 παρουσιάζονται τα λεπτόκοκκα προϊόντα που παράγει το λατομείο, στον Πίνακα 7.2. τα χονδρόκοκκα και στον Πίνακα 7.3. παρουσιάζονται τα χονδρόκοκκα σκύρα προϊόντα.

Πίνακας 7.1. Λεπτόκοκκα προϊόντα

ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ	
Είδος	Μέγεθος (mm)
ΑΜΜΟΣ	0-4
ΑΜΜΟΣ	0-3
ΑΜΜΟΣ Β	0-4

Πίνακας 7.2. Χονδρόκοκκα προϊόντα

ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ	
Είδος	Μέγεθος (mm)
ΨΗΦΙΔΑ	4-8
ΧΑΛΙΚΙ	8-16
ΧΑΛΙΚΙ	16-28
ΧΑΛΙΚΙ	8-28

Πίνακας 7.3. Χονδρόκοκκα σκύρα

ΣΚΥΡΑ (ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ)	
Είδος	Μέγεθος (mm)
ΣΚΥΡΑ	40-60
ΣΚΥΡΑ	60-100
ΣΚΥΡΑ	100-180
ΣΚΥΡΑ	40-300

7.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

7.2.1. Συνταγή του σκυροδέματος

Στα πειράματά μας, παρασκευάστηκε σκυρόδεμα (B225) C20/25. Σε κάθε πείραμα που πραγματοποιούσαμε, χρησιμοποιούσαμε μονίμως 6 μήτρες, για το καλούπωμα του υλικού μας. Οπότε, είχαμε σταθερή ποσότητα υλικών συνεχώς, με μέγιστη απόκλιση $\pm 3\%$, η οποία ήταν η εξής :

- ☐ 20,05kg άμμος (σε κάποια πειράματα πλυμένη, σε κάποια άλλη άπλυτη),
- ☐ 7,80kg χαλίκι (κοκκομετρίας 10-20),
- ☐ 7,80 kg χαλίκι (κοκκομετρίας 20-30),
- ☐ 6,70 kg ψηφίδα,
- ☐ 7,80 kg τσιμέντο και
- ☐ 4,45 kg νερό.

Οι ποσότητες των παραπάνω υλικών, ήταν αρκετές για την κάλυψη των έξι καλουπιών (μήτρες) που χρησιμοποιούσαμε σε κάθε μας πείραμα. Επίσης, οι παραπάνω ποσότητες υλικών, να σημειωθεί ότι είναι μετρημένες σε βάρος, σύμφωνα με τον Κανονισμό για το τσιμέντο.

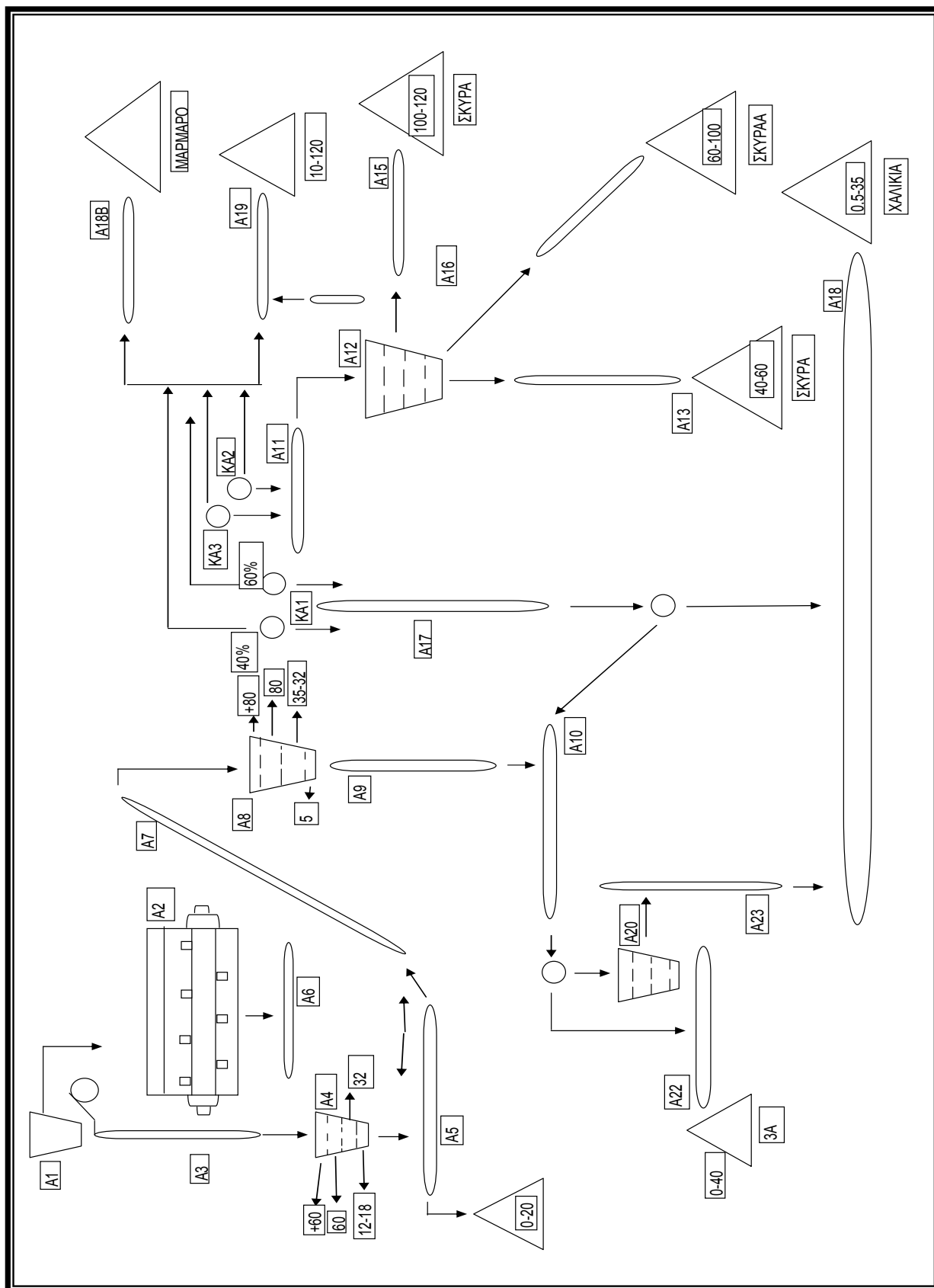
7.2.2. Αναφορά στην πειραματική διαδικασία

Ακολουθώντας την παραπάνω συνταγή παρασκευής δοκιμίων σκυροδέματος, πραγματοποιήθηκαν τρεις σειρές πειραμάτων.

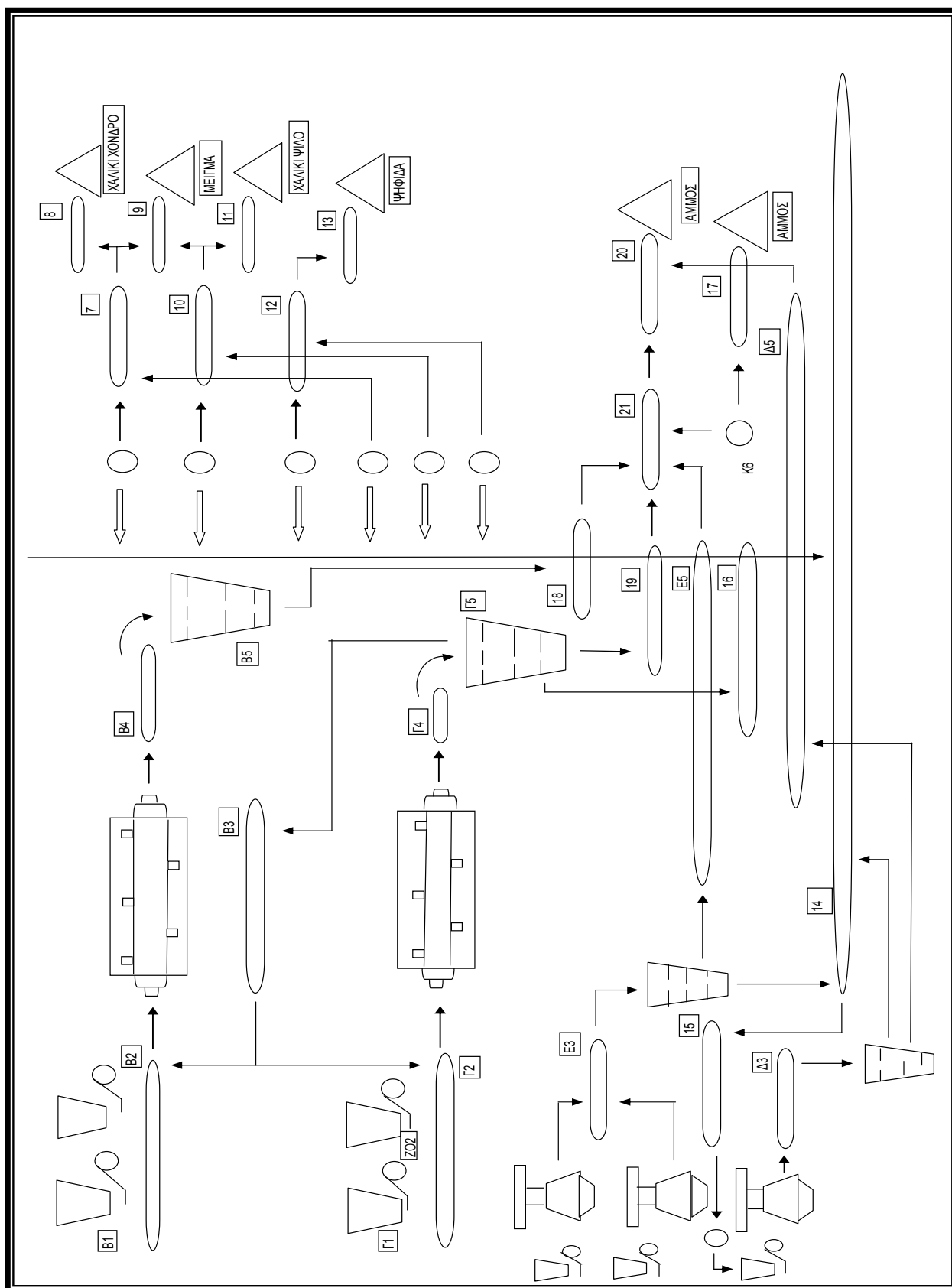
Στην πρώτη σειρά, χρησιμοποιήθηκε η άμμος, για την παρασκευή δοκιμίων σκυροδέματος, όπως την πήραμε από το λατομείο Χορδακίου ΛΑ.ΧΟΡ. (με την παιπάλη, άπλυτη). Στη φάση αυτή, παρασκευάστηκαν εξάδες δοκιμίων σκυροδέματος, τα οποία στη συνέχεια οδηγήθηκαν σε πειράματα θλίψης μετά από το πέρας 3 ημερών, 7 ημερών, 28 ημερών και 56 ημερών.

Στη δεύτερη σειρά πειραμάτων, χρησιμοποιήθηκε η άμμος μετά από την πλύση της με νερό (αφαίρεση παιπάλης, πλυμένη). Ομοίως, με την προηγούμενη φάση, παρασκευάστηκαν κι εδώ εξάδες δοκιμίων σκυροδέματος, τα οποία και πάλι οδηγήθηκαν σε πειράματα θλίψης μετά από το πέρας 3 ημερών, 7 ημερών, 28 ημερών και 56 ημερών.

Τέλος, στην τρίτη φάση των πειραμάτων μας, παρασκευάστηκαν 6 κυλινδρικά δοκίμια από άπλυτη άμμο, τσιμέντο και νερό σε αναλογία των πρώτων, 3:1 και 6 κυλινδρικά δοκίμια από πλυμένη άμμο, τσιμέντο και νερό με την ίδια αναλογία, τα οποία και οδηγήθηκαν σε θλίψη μετά από το πέρας 28 ημερών.



Σχήμα 7.1. Διάγραμμα πρωτογενούς θραύσης



Σχήμα 7.2. Διάγραμμα περαιτέρω θραύσης του υλικού και τελικά προϊόντα.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Κεφάλαιο 8

ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

8.1. Κοκκομετρική ανάλυση αδρανών

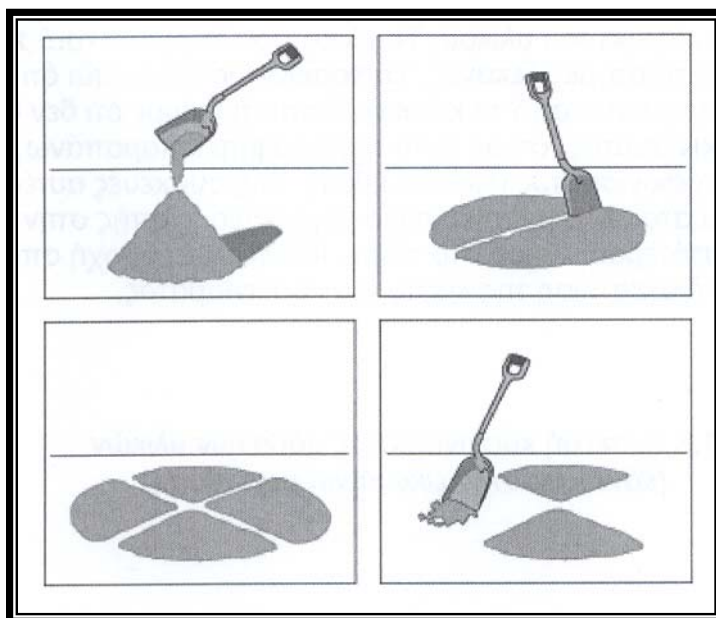
Η κοκκομετρική ανάλυση είναι η ανάλυση που γίνεται στα αδρανή υλικά και η οποία μας παρέχει το ποσοστό επί τοις εκατό της σύνθεσης του αδρανούς σε κόκκους διαφόρων μεγεθών.

Επειδή στο εργαστήριο η εξέταση μιας μεγάλης ποσότητας δείγματος ήταν πρακτικά δύσκολη, από το δείγμα των αδρανών που προσκομίστηκε στο εργαστήριο, επιλέξαμε μια μικρότερη ποσότητα αντιπροσωπευτική όμως του όλου δείγματος. Η επιλογή του αντιπροσωπευτικού δείγματος γίνεται με δύο τρόπους :

- συσκευές διαχωρισμού δειγμάτων (sample splitter) και
- τετραμερισμό.

Εμείς επιλέξαμε την διαδικασία του τετραμερισμού, η οποία πραγματοποιείται ως ακολούθως : το προς εξέταση δείγμα αδειάζετε προσεκτικά σε μια επίπεδη επιφάνεια ώστε να σχηματιστεί ένας κώνος. Στη συνέχεια με ένα φτυάρι ή μια σπάτουλα ανακατεύουμε το δείγμα παίρνοντας υλικό από τη βάση του κώνου και ρίχνοντάς το στην κορυφή του. Με το φτυάρι ή τη σπάτουλα επιπεδώνουμε την κορυφή του κώνου και χωρίζουμε το υλικό σε τέσσερα τεταρτημόρια. Αποκρίνουμε τα δύο κατά κορυφή τεταρτημόρια και κρατούμε

το υλικό των δύο άλλων. Στη συνέχεια επαναλαμβάνουμε την παραπάνω διαδικασία άλλη μια φορά έτσι που το τελικό προς εξέταση δείγμα να είναι το ένα τέταρτο περίπου του αρχικού δείγματος.



Εικόνα 8.1. Διαδικασία τετραμερισμού.

Πρακτικά η ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα δείγματος για την κοκκομετρική ανάλυση είναι 500 gr για την άμμο και 5 kg για τα σκύρα μέγιστου κόκκου 30 mm. Στη συνέχεια ακολουθεί ξήρανση του δείγματος. Η ξήρανση μπορεί να γίνει είτε σε φούρνο είτε σε ρεύμα θερμού αέρα. Πρακτικά η έκθεση του δείγματος στον ήλιο είναι αρκετή για την ξήρανση.

Για λεπτόκοκκα θραυστά αδρανή το βάρος του προς εξέταση δείγματος θα πρέπει μετά την ξήρανση να είναι τουλάχιστον 300 gr. Για τα χονδρόκοκκα, ισχύει ότι το βάρος πρέπει να είναι συνάρτηση του μέγιστου κόκκου του υλικού όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Μέγιστο μέγεθος κόκκου mm (in)	Ελάχιστο βάρος δείγματος για έλεγχο (kg)
9,5 (3/8)	1
12,5 (1/2)	2
19,0 (3/4)	5
25,0 (1)	10
37,5 (1 1/2)	15
50 (2)	20
63 (2 1/2)	35
75 (3)	60
90 (3 1/2)	100
100 (4)	150
125 (5)	300

Πίνακας 8.1. Σχέση βάρους-μεγέθους κόκκου για τη δειγματοληψία.

Σε μίγματα λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων αδρανών το μέγεθος του εξεταζόμενου δείγματος θα είναι το ίδιο όπως και στην περίπτωση των χονδρόκοκκων αδρανών.

Στην περίπτωση που χρειάζεται ο προσδιορισμός του υλικού που διέρχεται από το κόσκινο Νο 200 με τη μέθοδο C117 τότε :

- Όταν το υλικό είναι μέγιστου κόκκου (12,5 mm) ή μικρότερο, χρησιμοποιούμε το ίδιο δείγμα για τη μέθοδο δοκιμής C117 και για την κοκκομετρική ανάλυση.
- Όταν το υλικό είναι μέγιστου κόκκου (12,5 mm) ή μεγαλύτερο, χρησιμοποιούμε είτε το ίδιο είτε διαφορετικό δείγμα για τη μέθοδο δοκιμής C117 και για την κοκκομετρική ανάλυση.

Στην εργασία μας, ζυγίσαμε 569,8 gr άμμου, με τη βοήθεια ζυγού ακριβείας 0,1gr του βάρους του δείγματός μας, στην οποία και κάναμε υγρή κοσκίνιση χρησιμοποιώντας κόσκινα μεγέθους No 20mesh (width:0.850mm) και No 200mesh (width:0.075mm), τα οποία και τοποθετήσαμε με τη σειρά που αναφέρονται. Ρίχνουμε το δείγμα μας σιγά-σιγά στο κόσκινο (75μm) και το πλένουμε με νερό, το οποίο συλλέγουμε σε κουβά. Το υλικό που απομένει πάνω στο κόσκινο (χονδρό) και το οποίο είναι πλυμένο, το συγκεντρώνω σε ταψί και το τοποθετώ στο ξηραντήριο για ένα εικοσιτετράωρο και σε θερμοκρασία 110-150 °C. Στη συνέχεια ζυγίζουμε το ξηρό δείγμα και καταγράφουμε το βάρος του, το οποίο εδώ είναι 460,6 gr. Αφού κάνουμε υπερχείλιση το ψιλό που βρίσκεται στον κουβά, το τοποθετούμε κι αυτό στο ξηραντήριο. Στη συνέχεια ζυγίζουμε το ψιλό υλικό μετά την ξήρανση το οποίο βρίσκουμε ότι είναι 108,2 gr (=106,6 +1,6 gr) άμμου και το οποίο περιλαμβάνει και τα ψιλά από την κοσκίνιση του χονδρού υλικού που κάναμε κοκκομετρική ανάλυση.

Για τη κοκκομετρική ανάλυση του χονδρού υλικού της άμμου γίνεται επιλογή των κόσκινων που θα χρησιμοποιήσουμε και αυτά τοποθετούνται με σειρά ελάττωσης των ανοιγμάτων. Στη χώρα μας τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα κόσκινα, αυτά που υιοθετούν και οι σχετικοί κανονισμοί είναι :

α) η σειρά των αμερικανικών κόσκινων ή αμερικάνικα κόσκινα, όπως αυτά περιγράφονται στο πρότυπο ASTM E11. Τα κόσκινα αυτά φέρουν οπές τετραγωνικής μορφής από πλέγμα και συμβολίζονται είτε με τον αριθμό των οπών που φέρουν ανά γραμμική ίντσα για τα πιο λεπτά (μέχρι το No 4), είτε με βάση το άνοιγμα της οπής σε ίντσες για τα μεγαλύτερου ανοίγματος. Έτσι το κόσκινο 3/4 in ή 3/4" δηλώνει αμερικάνικο κόσκινο οπής 3/4 της ίντσας (19mm περίπου). Αντίστοιχα η ονομασία No 12 δηλώνει αμερικάνικο κόσκινο που φέρει 12 οπές ανά γραμμική ίντσα. (1 in=2.54 cm).

β) η σειρά γερμανικών κόσκινων ή γερμανικά κόσκινα όπως αυτά περιγράφονται στα DIN 4187 και 4188. Φέρουν οπές τετραγωνικής μορφής

και συμβολίζονται με το σύμβολο π που ακολουθείται από έναν αριθμό, που δηλώνει το άνοιγμα της οπής σε mm. Τα γερμανικά κόσκινα που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής :

- πλέγματος : 0.25, 0.50, 1, 2 mm
- ελάσματος : 4, 8, 16, 31.5, 63 mm.

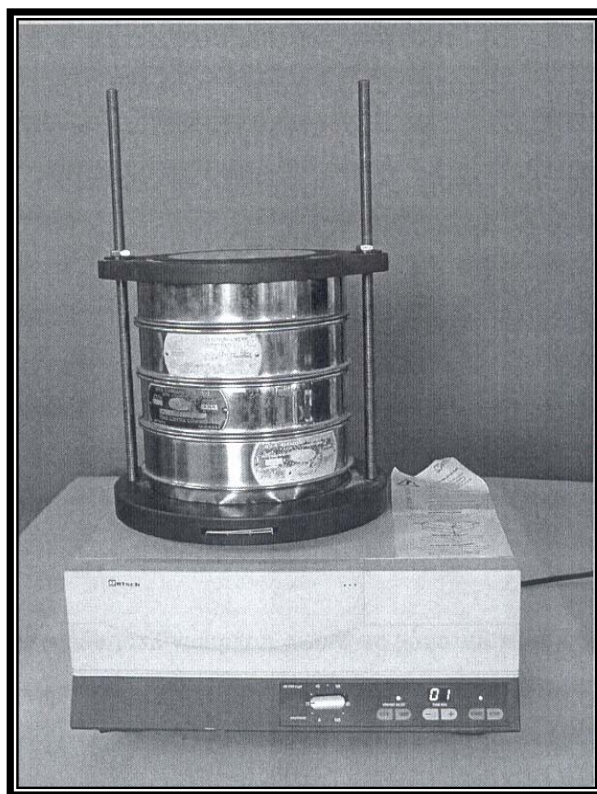
Εμείς σε όλα μας τα πειράματα χρησιμοποιήσαμε αποκλειστικά αμερικανικά κόσκινα με τετράγωνες οπές.



Εικόνα 8.2. Κόσκινα διαφόρων μεγεθών.

Ακολουθεί η τοποθέτηση των κόσκινων πάνω στο δονητή. Το προς εξέταση δείγμα μας τοποθετείται στο κόσκινο με τη μεγαλύτερη οπή, από το οποίο, ανάλογα με το είδος του δείγματος, να διέρχεται όλη η ποσότητα. Στη συνέχεια με οριζόντιες και κάθετες κινήσεις, που περιοδικά συνοδεύονται με προσεκτικές ανατινάξεις του δείγματος, γίνεται το κοσκίνισμα του υλικού, για περίπου 10 min. Από τη στιγμή που τελειώνει αυτή η διαδικασία, ζυγίζουμε το υλικό που παραμένει σε κάθε κόσκινο και καταγράφουμε τα αποτελέσματα. Το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο συλλέγεται σε λεκάνες. Το κοσκίνισμα θεωρείται ότι έληξε όταν τοποθετώντας ένα άσπρο χαρτί κάτω από το κόσκινο διαπιστώνουμε ότι δεν διέρχεται άλλο υλικό. Η διαδικασία του κοσκινίσματος, όπως αυτή περιγράφηκε παραπάνω, μπορεί να γίνει και με ειδικές μηχανές κοσκινίσματος (sieve shaker). Στις συσκευές αυτές τα κόσκινα τοποθετούνται

το ένα πάνω στο άλλο με το κόσκινο μεγαλύτερης οπής στην κορυφή και υποδοχέα συλλογής του λεπτότερου υλικού στο τέλος. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτεί η χρήση των μηχανών αυτών για την διαπίστωση της λήξης του κοσκινίσματος.



Εικόνα 8.3. Μηχανική κοσκινίστρα.

Η ποσότητα του υλικού που παρέμεινε σε κάθε κόσκινο καλείται συγκρατούμενο και αυτή που πέρασε διερχόμενο. Τα συγκρατούμενα σε κάθε κόσκινο ζυγίζονται με ακρίβεια και το βάρος του καταγράφεται στο δελτίο κοκκομετρικής ανάλυσης. Στη συνέχεια με υπολογισμούς βρίσκουμε το διερχόμενο βάρος και το % ποσοστό του διερχόμενου. Ο υπολογισμός του % διερχόμενου στο κόσκινο i δίνεται από τη σχέση :

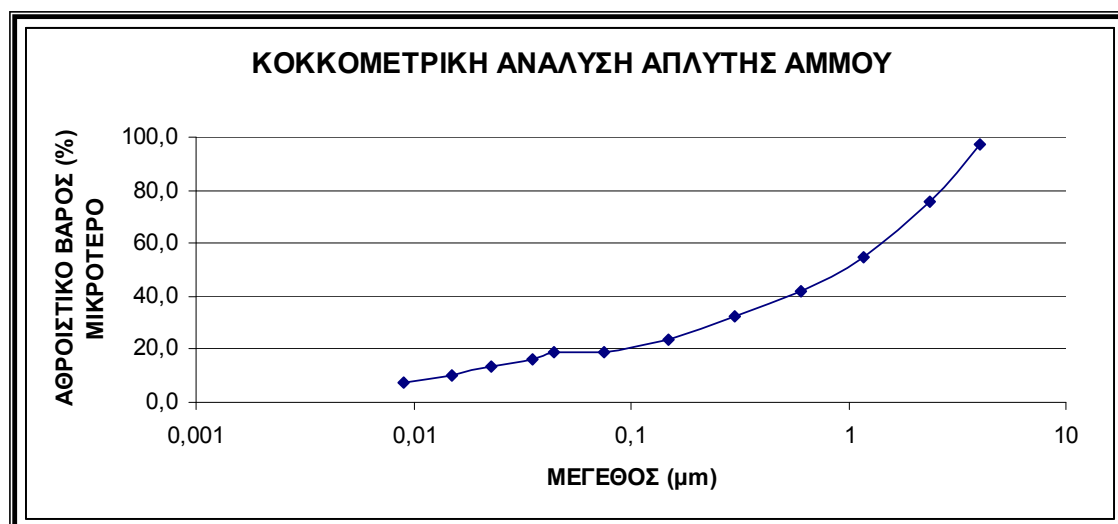
Διερχόμενο % στο κόσκινο i =

$$= [(διερχόμενο κόσκινο i) / \text{αρχικό βάρος δείγματος}] * 100$$

Μέγεθος (μm)	Βάρος (gr)	Βάρος %	Βάρος % αθρ.διερχ.	Βάρος % αθρ.παραμ.
4	14,4	2,5	97,5	2,5
2,36	122	21,5	76,0	24,0
1,18	120,7	21,3	54,7	45,3
0,6	72,6	12,8	41,9	58,1
0,3	51,9	9,2	32,7	67,3
0,15	50,3	8,9	23,9	76,1
0,075	27,1	4,8	19,1	80,9
0,044	2	0,4	18,7	81,3
0,035	12,8	2,3	16,5	83,5
0,023	17,4	3,1	13,4	86,6
0,015	19,2	3,4	10,0	90,0
0,009	13,6	2,4	7,6	92,4
-0,009	43,2	7,6		
	567,2	100		

Πίνακας 8.2. Παρουσίαση αποτελεσμάτων κοσκίνισης άπλυτης άμμου.

Με βάση τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα κάνουμε το διάγραμμα βάρος αθροιστικά διερχόμενου (%) – μέγεθος κόσκινου (μm) για να αποτυπώσουμε την καμπύλη κοκκομετρίας της άπλυτης άμμου.



Διάγραμμα 8.1. Καμπύλη κοκκομετρικής διαβαθμίσεως της άπλυτης άμμου.

Την ποσότητα του υλικού που είναι κάτω από τα 200 mesh (στην υγρή κοσκίνιση) και είναι μέσα στο νερό, την αναμιγνύουμε με την ποσότητα του υλικού που πήραμε μετά το πέρας της κοσκίνισης και είναι κάτω από 200 mesh (1,6 gr) και την επεξεργαζόμαστε στον υδροκυκλώνα cyclosizer. Ακολουθούμε αυτή τη διαδικασία, γιατί θέλουμε να ταξινομήσουμε το λεπτόκοκκο υλικό ($-75\mu\text{m}$) πυκνότητας $2,65\text{g/cm}^3$ με υδροταξινομητή της Warman. Οι συνθήκες που πραγματοποιήθηκε το πείραμά αυτό ήταν $\Theta=25^\circ\text{C}$, $P=30\text{kPa}$ και $Q=8,5\text{lt/min}$ (flowrate). Έχουν ιδιαίτερη σημασία γιατί από αυτές θα βρούμε τους συντελεστές διόρθωσης για να βρούμε την πραγματική διάμετρο σε κάθε υδροκυκλώνα.

Το σύστημα αυτό απαρτίζεται από πέντε ανεστραμμένους υδροκυκλώνες τοποθετημένους σε σειρά, μία δεξαμενή νερού, αντλία, ροόμετρο, μανόμετρο, θερμόμετρο, χρονοδιακόπτη και δοχείο τροφοδοσίας.

Ο πολφός του προς διαχωρισμό υλικού διοχετεύεται από το δοχείο τροφοδοσίας στο ρεύμα του ρέοντος νερού και μαζί με αυτό εισέρχεται στον κυκλώνα Νο1. Η είσοδος γίνεται εφάπτομενικά με αποτέλεσμα τα στερεά να

φυγοκεντρίζονται και να διαχωρίζονται τα χονδρά προς τα πάνω (arex), ενώ τα ψιλά προς τα κάτω (vortex) και να οδηγούνται στον επόμενο κυκλώνα. Η υπερχείλιση του κάθε κυκλώνα αποτελεί την τροφοδοσία του επόμενου. Τα ψιλά του τελευταίου (No5) απορρίπτονται.

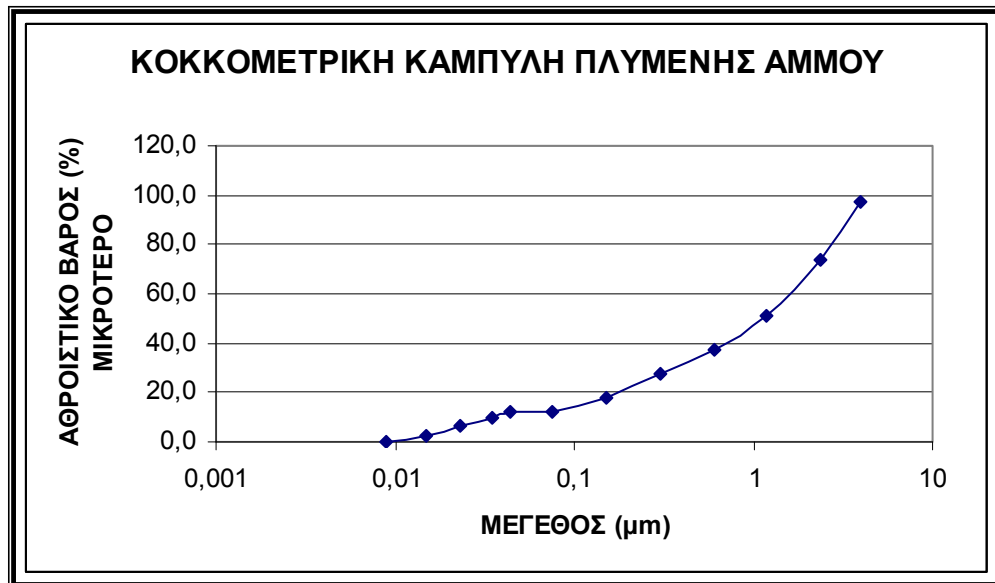
Τα δείγματα τα οποία συγκεντρώνονται από τις απορροές των κυκλώνων περιέχουν κόκκους μεγέθους μεγαλύτερου αυτού στο οποίο ταξινομεί ο συγκεκριμένος κυκλώνας (πραγματικό μέγεθος διαχωρισμού) και μικρότερου αυτού που ταξινομεί ο προηγούμενος κυκλώνας.

Εφόσον, διηθήσαμε τις ποσότητες που λάβαμε από κάθε υδροκυκλώνα, τις αποξηράναμε και τις ζυγίσαμε, οπότε παίρνουμε τον πίνακα που ακολουθεί για την πλυμένη άμμο.

Μέγεθος (μm)	Βάρος (gr)	Βάρος %	Βάρος % αθρ.διερχ.	Βάρος % αθρ.παραμ.
4	14,4	2,7	97,3	2,7
2,36	122	23,3	74,0	26,0
1,18	120,7	23,0	51,0	49,0
0,6	72,6	13,9	37,1	62,9
0,3	51,9	9,9	27,2	72,8
0,15	50,3	9,6	17,6	82,4
0,075	27,1	5,2	12,4	87,6
0,044	2	0,4	12,0	88,0
0,035	12,8	2,4	9,6	90,4
0,023	17,4	3,3	6,3	93,7
0,015	19,2	3,7	2,6	97,4
0,009	13,6	2,6	0,0	100,0
-0,009	0	0		
ΣΥΝΟΛΟ	524	100		

Πίνακας 8.3. Παρουσίαση αποτελεσμάτων κοσκίνισης πλυμένης άμμου.

Με βάση τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα κάνουμε το διάγραμμα βάρος αθροιστικά διερχόμενου (%) – μέγεθος κόσκινου (μm) για να αποτυπώσουμε την καμπύλη κοκκομετρίας της πλυμένης άμμου.



Διάγραμμα 8.2. Καμπύλη κοκκομετρικής διαβαθμίσεως της πλυμένης άμμου.

Κεφάλαιο 9

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΥΒΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

9.1. Πρώτη σειρά πειραμάτων.

Όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, για τη συγκεκριμένη σειρά πειραμάτων, χρησιμοποιήθηκε η άμμος όπως την παραλάβαμε από το λατομείο Χορδακίου (ακατέργαστη-άπλυτη).

9.1.1. Ανάμειξη των υλικών.

Για την ανάμειξη των υλικών μας, χρησιμοποιήσαμε την μπετονιέρα. Τοποθετούσαμε ένα-ένα τα υλικά μας στην μπετονιέρα, με τη σειρά που αναφέρονται στη συνταγή. Κάθε φορά που προσθέταμε ένα υλικό το αναμειγνύαμε με το προηγούμενο υλικό, μέχρι να ρίξουμε το επόμενο. Αυτή η διαδικασία λάμβανε μέρος μέχρι να τοποθετούνταν όλα τα υλικά μας μέσα στη μπετονιέρα. Όταν ρίχναμε και το τελευταίο υλικό, που ήταν το νερό, αφήναμε τη μπετονιέρα να αναμείξει το υλικό μας, πέντε λεπτά από τη μία πλευρά και πέντε λεπτά από την άλλη. Ο χρόνος ανάμειξης των υλικών, αποφασίστηκε να διαρκέσει, δέκα λεπτά. Αυτός ο χρόνος είναι ο ιδανικός, για να γίνει το μίγμα μας ομοιογενές. Εφόσον, το μίγμα μας αναμειχθεί, για το προκαθορισμένο χρονικό διάστημα των δέκα λεπτών, σταματάμε τη μπετονιέρα και αδειάζουμε, το ομοιογενές μίγμα του σκυροδέματος που

παρασκευάσαμε, πάνω σε νάilon που τοποθετήσαμε κάτω από το στόμιο της μπετονιέρας. Το μίγμα μας είναι έτοιμο να τοποθετηθεί μέσα στις μήτρες.



Εικόνα 9.1. Αναδευτήρας - μπετονιέρα.

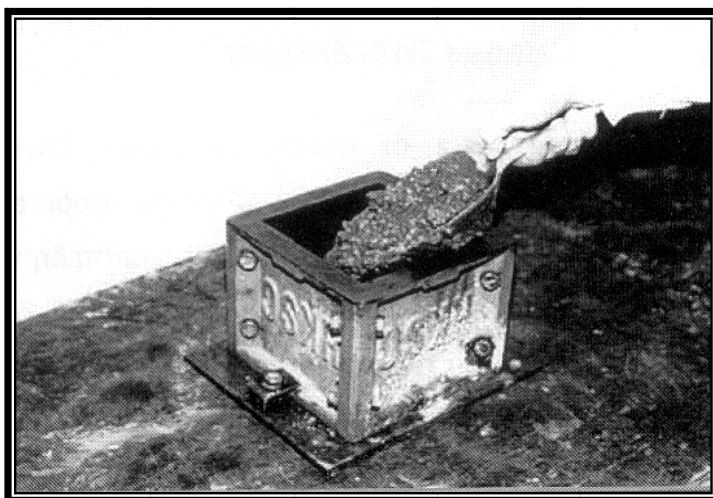
9.1.2. Προετοιμασία της μήτρας (καλούπι).

Εφόσον, αδειάσουμε το μίγμα μας από τη μπετονιέρα, είναι έτοιμο πλέον να το τοποθετήσουμε στις μήτρες - καλούπια.

Η κάθε μήτρα έχει σχήμα κύβου, με κάθε της πλευρά να είναι ίση με 15cm. Η κάθε μήτρα ζυγίζει περίπου 9,7 kg (εντελώς άδεια). Για να τοποθετήσουμε μέσα στη μήτρα το δείγμα μας, ακολουθούμε μια συγκεκριμένη διαδικασία, κάθε φορά. Αποσυναρμολογούμε τη μήτρα, την ξεπλένουμε καλά και απομακρύνουμε κάθε υπόλειμμα από προηγούμενη χρήση, με τη βοήθεια της σπάτουλας, έτσι ώστε να είναι καθαρή. Εφόσον, αφήσουμε τα κομμάτια της να στραγγίσουν, τα σκουπίζουμε με χαρτί, για να απομακρύνουμε σταγόνες

νερού που έχουν απομείνει και μετά τα λαδώνουμε με ορυκτέλαιο (εμείς χρησιμοποιήσαμε λάδι μηχανής) προσεκτικά σε όλα τα σημεία, για την εύκολη αποκόλληση του σκυροδέματος. Προσέχουμε να μην έχουμε περίσσεια λαδιού, γιατί μπορεί να αναμειχθεί με το σκυρόδεμά μας, όταν το τοποθετήσουμε μέσα και να έχουμε αλλοίωση στην αντοχή του.

Εφόσον, τελειώσουμε και με το λάδωμα της κάθε μήτρας, την συναρμολογούμε και είναι έτοιμη ώστε να τοποθετήσουμε το σκυρόδεμα μέσα.



Εικόνα 9.2. Μήτρα κατασκευής σκυροδέματος.

9.1.3. Τοποθέτηση του σκυροδέματος στις μήτρες (καλούπια).

Κάθε μήτρα γεμίζεται με το μυστρί, προσεκτικά, ώστε να μη μας διαφεύγει το λεπτόκοκκο υλικό, σε τρεις στρώσεις, για να μπορούμε να συμπυκνώνουμε ιδιαίτερα την κάθε στρώση, με τη βοήθεια της ειδικής ράβδου. Η συμπύκνωση κάθε στρώσεως απαιτεί 25 χτυπήματα με τη σχετική ράβδο, τα οποία κατανέμονται κατά το δυνατόν ομοιόμορφα στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Τα κτυπήματα ξεκινούν από την περίμετρο της μήτρας και με

σπειροειδή κίνηση φθάνουν στο κέντρο. Κατά τη συμπύκνωση της κατώτερης (πρώτης) στρώσης, η ράβδος βυθίζεται σε όλο το βάθος του σκυροδέματος, και κατά την έμπηξή της, έχει στην αρχή μία μικρή κλίση που βαθμιαία ελαττώνεται, τείνοντας προς την κατακόρυφο. Στη δεύτερη και τρίτη στρώση η ράβδος βυθίζεται σε όλη τη στρώση, εισερχόμενη λίγο (περίπου 1-2 cm) και στην αμέσως από κάτω της. Αυτό λαμβάνει χώρα για να πάνε να εμφανίζονται μεγάλες φυσαλίδες αέρα.

Η ράβδος συμπύκνωσης είναι Φ16, μήκους 60cm, με στρογγυλεμένα άκρα. Κατά τη συμπύκνωση της κατώτερης στρώσης, προσέχουμε το υλικό μας να στρωθεί ομοιόμορφα και να πιάσει όλη την επιφάνεια του πυθμένα της μήτρας και ιδιαίτερα τις γωνίες, για να μη σχηματιστούν κενά. Η συμπύκνωση γίνεται αμέσως μετά την τοποθέτηση του σκυροδέματος στη μήτρα και χωρίς καθυστέρηση. Όταν τοποθετείται και η τελευταία στρώση του σκυροδέματος και πραγματοποιηθεί και η αντίστοιχη συμπύκνωση, επιπεδώνεται η τελική επιφάνεια, με παλινδρομική κύλιση της ράβδου συμπυκνώσεως στα χείλη της μήτρας και αριθμείται το δοκίμιο. Στα δικά μας δοκίμια, γράφαμε ημερομηνία παρασκευής δοκιμίου (πάνω δεξιά), ημερομηνία θραύσης του (κάτω αριστερά), αριθμός δοκιμίου (πάνω αριστερά) και αν η άμμος που χρησιμοποιήσαμε για αυτό το δοκίμιο ήταν πλυμένη ή άπλυτη (πάνω δεξιά, με το Α για άπλυτη και το Π για πλυμένη).



Εικόνα 9.3. Τοποθέτηση σκυροδέματος στις μήτρες.

9.1.4. Ξεκαλούπωμα δοκιμίων.

Τα δοκίμια μας, εφόσον είναι έτοιμα, τα μεταφέρουμε προσεκτικά, δίχως να τα κινούμε ιδιαίτερα, για να μη προκαλούμε κρούσεις και δονήσεις, σε χώρο με σκιά και σταθερή υγρασία, όπου και θα παραμείνουν για δύο μέρες, μέχρι να τα βγάλουμε από τις μήτρες. Ένας τέτοιος χώρος, που ενδείκνυται για τη σκιά και την σταθερότητα στην υγρασία του, ήταν το υπόγειο του τμήματος ΜΗΧ.Ο.Π. το οποίο και χρησιμοποιήσαμε (απαιτείται θάλαμος ωρίμανσης τον οποίο δεν είχαμε).

Εκεί παρέμεναν τα δοκίμιά μας για την ξήρανσή τους, για τουλάχιστον 20 ώρες. Εμείς, τα αφήναμε δύο ημέρες και μετά προχωρούσαμε στη διαδικασία του ξεκαλουπώματός τους. Εφόσον, πραγματοποιούνταν η ξήρανση, μετά το πέρας και της δεύτερης ημέρας, τα βγάζαμε από τις μήτρες και τα αφήναμε εκεί μέχρι την ημέρα της θραύσης τους.



Εικόνα 9.4. Δοκίμιο μετά την αφαίρεση της μήτρας.

9.1.5. Η φύλαξη των δοκιμίων.

Όταν τα δοκίμια προορίζονται για δοκιμές ποιοτικού ελέγχου πρέπει να φυλάσσονται αμέσως μετά την παρασκευή τους σε κλειστό χώρο, προφυλαγμένο από ρεύματα και θερμοκρασίας μεταξύ +15 και +22 °C. Επίσης, πρέπει να προστατεύονται από απώλειες υγρασίας και μετά την αφαίρεση των τύπων να τοποθετούνται πάνω σε ξύλινη σχάρα, στη θερμοκρασία που αναφέρεται πιο πάνω και να διατηρούνται συνεχώς υγρά είτε μέσα σε νερό, είτε σκεπαζόμενα με υγρά υφάσματα ή υγρή άμμο ή υγρά

πριονίδια. Εμείς, στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήσαμε υγρά υφάσματα, τα οποία και ποτίζαμε με νερό σε καθημερινή βάση, διατηρώντας σταθερή την υγρασία τους. Ιδιαίτερη φροντίδα διατήρησης σε υγρό περιβάλλον πρέπει να καταβάλλεται για τα δοκίμια ελαφρών σκυροδεμάτων που περιέχουν αδρανή κατ' εξοχήν υδατοαπορροφητικά.

Η διατήρηση των δοκιμών, σε υγρό περιβάλλον, διακόπτεται την ημέρα της θραύσης των, οπότε τα δοκίμια υποβάλλονται σε έλεγχο της θλιπτικής τους αντοχής.

Τα δοκίμια που προορίζονται για δοκιμές ποιοτικού ελέγχου, τόσο όσο βρίσκονται μέσα στο καλούπι, όσο και αργότερα, έξω από αυτό, πρέπει να εκτίθενται, κατά το δυνατόν, στο ίδιο περιβάλλον και να υπόκεινται στα ίδια καταβρέγματα.



Εικόνα 9.5. Χώρος φύλαξης των δοκιμών μετά την αφαίρεση της μήτρας.

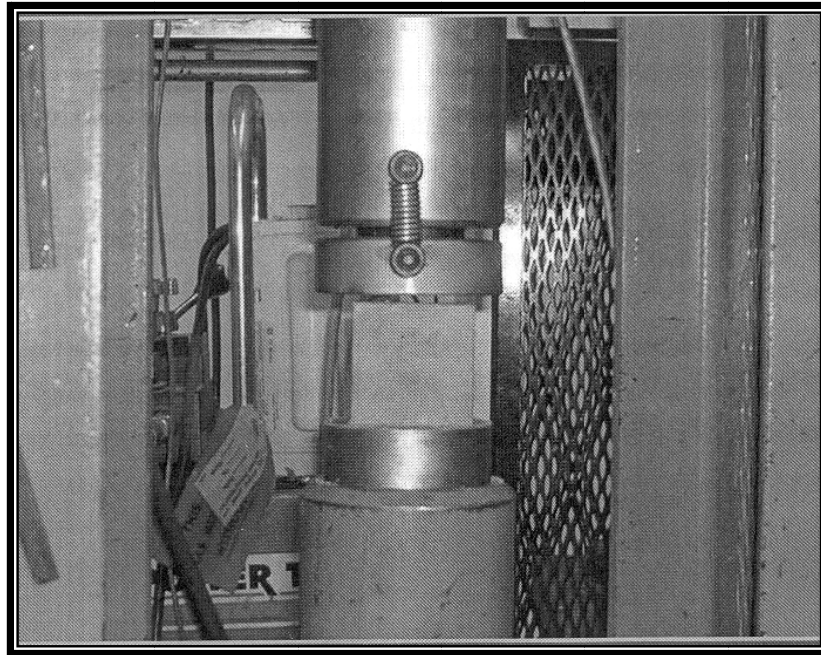
9.1.6. Προσδιορισμός Αντοχής σε Θλίψη Δοκιμών Σκυροδέματος.

Τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιούνται είναι η μηχανή θλίψεως (πρέσα), της οποίας η ακρίβεια και η αξιοπιστία πρέπει να πιστοποιείται τουλάχιστον κάθε δύο χρόνια από μια εγκεκριμένη για τον σκοπό αυτό υπηρεσία, ο ζυγός και το παχύμετρο.

Πριν από κάθε έλεγχο, πρέπει να εξετάζεται αν οι δύο επιφάνειες επί των οποίων θα ασκηθεί η θλίψη, είναι επίπεδες και ακριβώς παράλληλες, με ανοχές της τάξεως του 0,1 mm. Μη επίπεδες ή μη παράλληλες έδρες ισοπεδώνονται και εξομαλύνονται με παχύ τσιμεντοπολτό. Το δοκίμιο καθαρίζεται και απομακρύνεται κάθε ξένο σωματίδιο που είναι επικολλημένο πάνω του, όπως επίσης και οποιοδήποτε ίχνος νερού που υπάρχει στην επιφάνειά του. Στη συνέχεια, ζυγίζεται με ακρίβεια 0,25% του βάρους του. Οι πλάκες της φόρτισης καθαρίζονται με επιμέλεια.

Το δοκίμιο τοποθετείται στο κέντρο των πλακών φόρτισης έτσι ώστε το σφάλμα κεντρώσεως να μην είναι μεγαλύτερο από 1/100 της διαμέτρου ή της ακμής του δοκιμίου. Η θλίψη ασκείται συνεχώς και αυξάνει με καθορισμένη ταχύτητα μέχρι της μέγιστης τιμής.

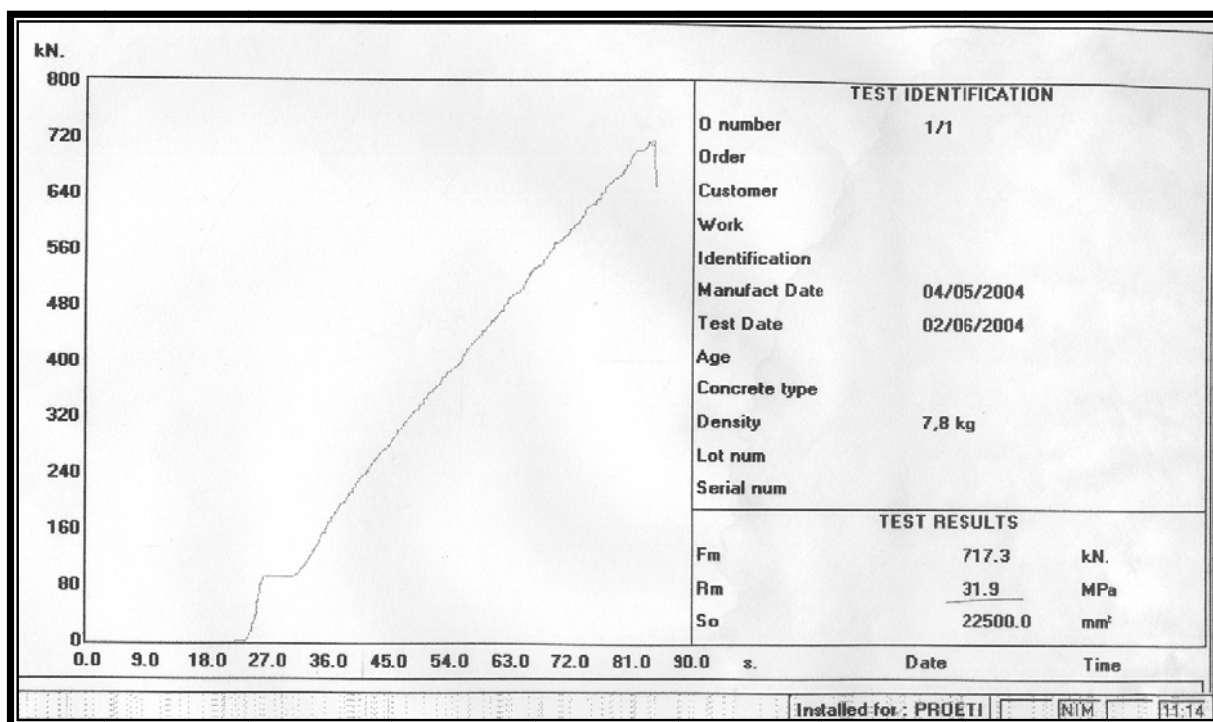
Ξεκινάμε τη μηχανή θραύσης και παρακολουθούμε την ένδειξη της μηχανής, μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή, με τον οποίο είναι συνδεδεμένη, ώσπου να επέλθει η θραύση οπότε και σταματάει η δοκιμή. Τέλος, διαβάζουμε στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή, την ένδειξη της τάσεως θραύσης, η οποία έχει παραμείνει στο ανώτερο σημείο (οι δοκιμές μας πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο μηχανικής του Πολυτεχνείου Κρήτης).



Εικόνα 9.6. Μηχανή θλίψης.

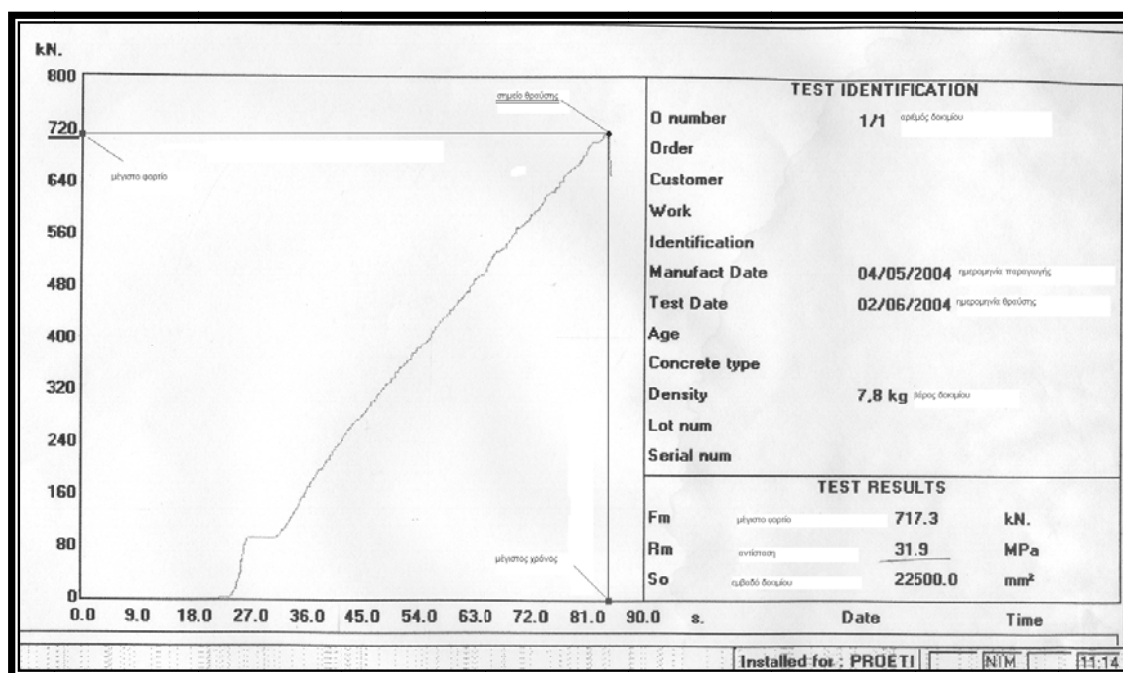
9.1.6.1. Παρουσίαση φύλλου εργασίας της θραύσης δοκιμίου.

Στο φύλλο εργασίας που ακολουθεί, παρουσιάζεται η καμπύλη θραύσης του δοκιμίου σκυροδέματος που τοποθετούμε στη πρέσα για να εκτελέσουμε το πείραμά μας καθώς και μια σειρά χαρακτηριστικών του συγκεκριμένου δοκιμίου που μας βοηθάνε για περαιτέρω συμπεράσματα και υπολογισμούς.



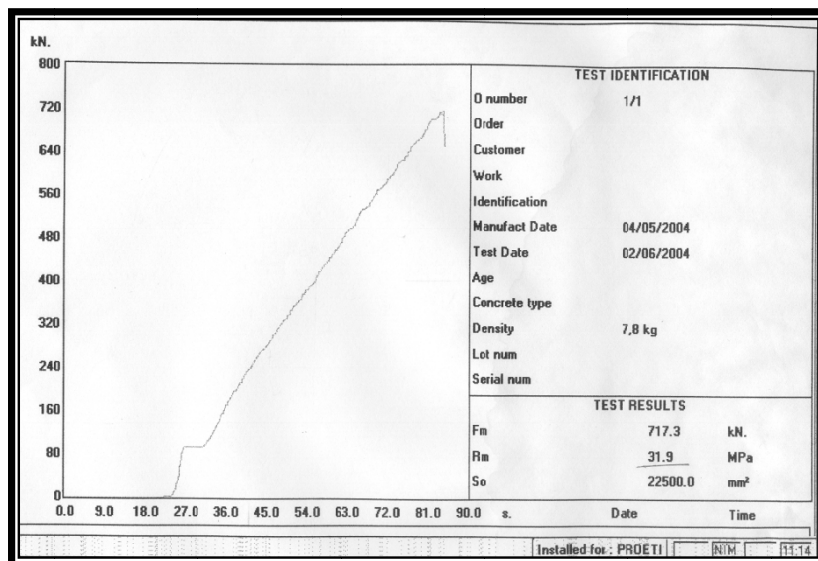
Εικόνα 9.7. Φύλλο εργασίας.

Για να παραλάβουμε ένα τέτοιο φύλλο εργασίας, όπως το παραπάνω της Εικόνας 9.7., περνάμε στα ζητούμενα του υπολογιστή τις διαστάσεις των τριών πλευρών του δοκιμίου (σε mm) που θέλουμε να θραύσουμε, όπως και το βάρος του (σε Kg). Επίσης, σημειώνουμε τον αριθμό του δοκιμίου, για να γνωρίζουμε σε ποιο δοκίμιο απευθύνεται το φύλλο εργασίας μας, όπως επίσης και τις ημερομηνίες παρασκευής και θραύσης. Εφόσον, συμπληρώσουμε όλα αυτά τα ζητούμενα το δοκίμιό μας είναι έτοιμο για την θραύση του. Πατώντας το κουμπί αποδοχής των δεδομένων που δώσαμε, ξεκινάει η θραύση του δοκιμίου μας. Σε διάγραμμα χρόνου-φορτίου, το οποίο εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή, παρακολουθούμε τη θραύση του δοκιμίου μας. Παρατηρούμε ότι όσο περνάει ο χρόνος αυξάνεται το φορτίο που ασκείται στο δοκίμιό μας. Στο μέγιστο της καμπύλης (κορυφή) είναι το σημείο στο οποίο σπάει το δοκίμιό μας. Τα στοιχεία τα οποία αναφέρουμε παρουσιάζονται στην παρακάτω Εικόνα 9.8..

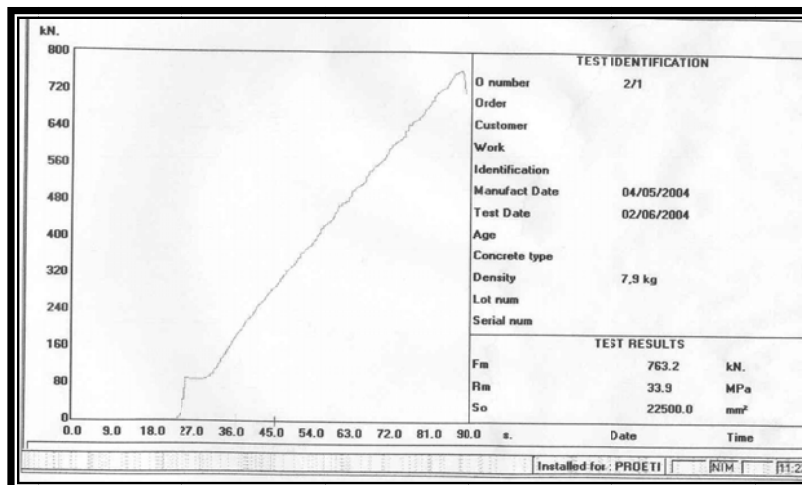


Εικόνα 9.8. Περιγραφή του φύλλου εργασίας.

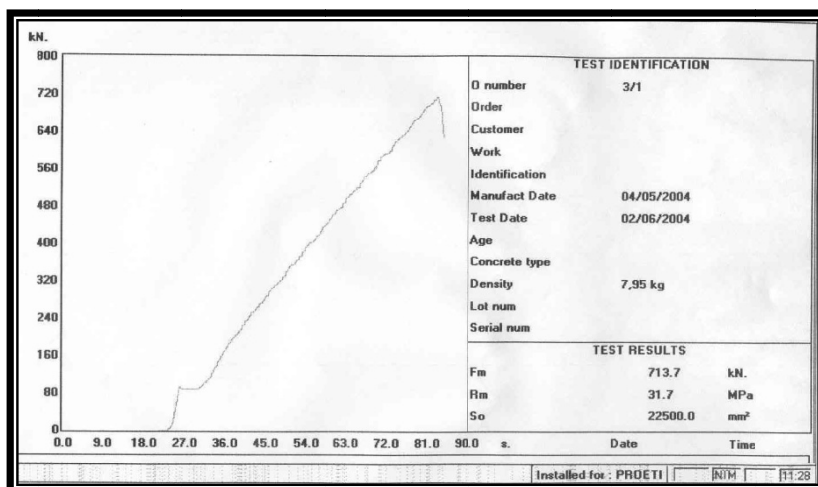
Ακολουθεί μία σειρά φύλλων εργασίας, για να παρατηρήσουμε το σημείο θραύσης του κάθε δοκιμίου ξεχωριστά, να δούμε το μέγιστο και το ελάχιστο φορτίο σε ποια δοκίμια παρουσιάστηκαν και να βρούμε το μέσο όρο του φορτίου που μπορεί να δεχτεί ένα δοκίμιο της σειράς αυτής. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα δοκίμια που υπέστησαν θραύση είναι δοκίμια μιας παρτίδας (από την ίδια μπετονιέρα), στην οποία χρησιμοποιήθηκε η άμμος όπως μας ήρθε από το λατομείο (άπλυτη) καθώς και ότι η ημερομηνία παρασκευής αυτών των δοκιμίων ήταν στις 4 Μαΐου 2004 και η ημερομηνία θραύσης τους ήταν στις 2 Ιουνίου 2006, δηλαδή μετά από 28 ημέρες.



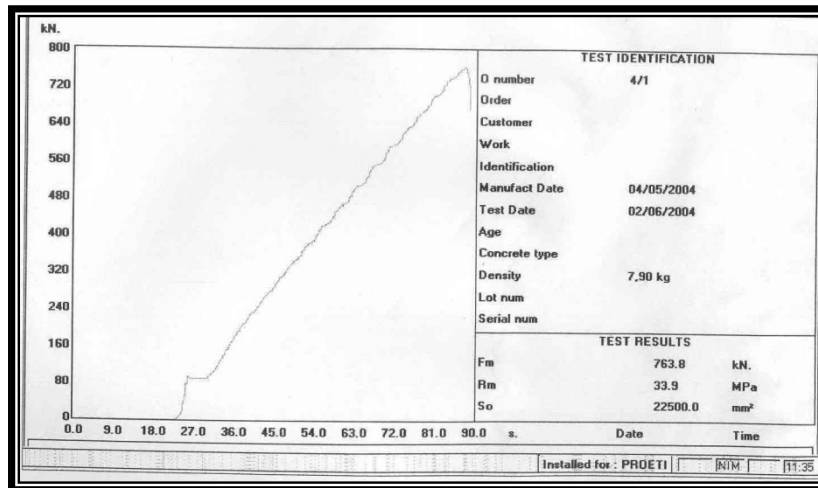
Εικόνα 9.9. Δοκίμιο 1.



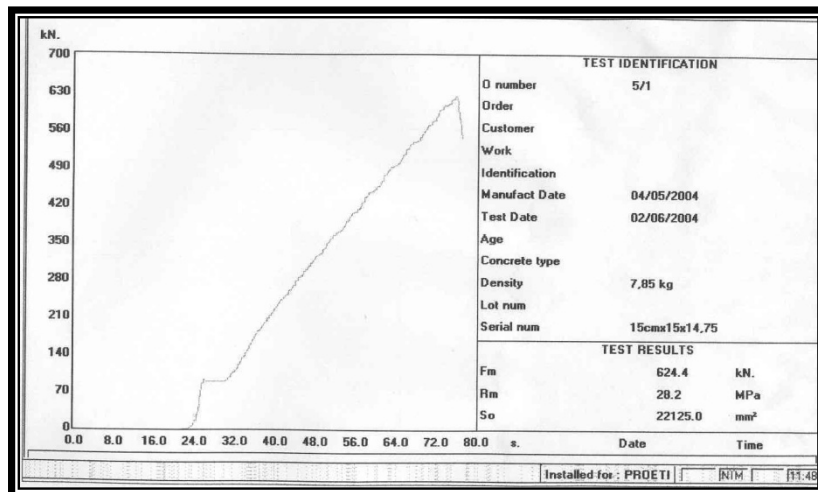
Εικόνα 9.10. Δοκίμιο 2.



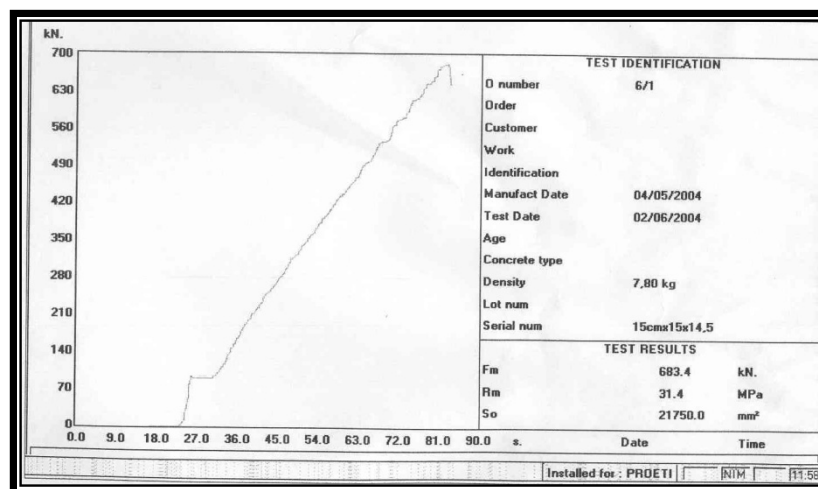
Εικόνα 9.11. Δοκίμιο 3.



Εικόνα 9.12.δοκίμιο 4.



Εικόνα 9.13. Δοκίμιο 5.



Εικόνα 9.14. Δοκίμιο 6.

Από τα παραπάνω φύλλα εργασίας, διαπιστώνουμε ότι για το πρώτο δοκίμιο της σειράς, η αντοχή θραύσης του ήταν 31,9 MPa για φορτίο 717,3 kN, για το δεύτερο δοκίμιο αντίστοιχα ήταν 33,9 MPa για φορτίο 763,2 kN, για το τρίτο δοκίμιο ήταν 31,7 MPa για φορτίο 713,7 kN, για το τέταρτο δοκίμιο ήταν 33,9 MPa για φορτίο 763,8 kN, για το πέμπτο δοκίμιο ήταν 28,2 MPa για φορτίο 624,4 kN και για το έκτο δοκίμιο ήταν 31,4 MPa για φορτίο 683,4 kN, αντίστοιχα. Η σειρά επιλογής είναι η σειρά με την οποία τοποθετήθηκαν στα καλούπια, με αυτή τη σειρά πραγματοποιήθηκε και η θραύση τους.

Διαπιστώνουμε, ότι τη μεγαλύτερη αντοχή θραύσης την παρουσιάζει το δοκίμιο τέσσερα, με 33,9 MPa για φορτίο 763,8 kN, ενώ τη μικρότερη αντοχή στη θραύση, την παρουσιάζει το δοκίμιο πέντε, με 28,2 MPa για φορτίο 624,4 kN. Αυτές οι διαφορές στην αντοχή θραύσης των δοκιμίων της ίδιας σειράς, είναι αναμενόμενες και λογικές, δε μπορεί να μας δίνουν όλα τα δοκίμια την ίδια ακριβώς αντοχή, αλλά περιμένουμε να είναι παρόμοιες.

Οι διαφορές στις τιμές, μπορεί να οφείλονται στο ότι σε κάποια δοκίμια ίσως να δώσαμε περισσότερο προσοχή κατά την παρασκευή τους, μπορεί επίσης να δέχτηκαν περισσότερες δονήσεις κατά τη μεταφορά τους, να μην συμπυκνώθηκαν καλά, να έπεσε περισσότερο λάδι στην αντίστοιχη μήτρα του δοκιμίου, κ.ά.

9.2. Παρουσίαση αποτελεσμάτων της πρώτης σειράς δοκιμών (άπλυτη άμμος).

9.2.1. Παρουσίαση των δοκιμών άπλυτης άμμου με χρόνο ανάμειξης του υλικού 10 λεπτά.

Σε αυτή τη σειρά των δοκιμών, χρησιμοποιήσαμε την άμμο όπως ακριβώς την παραλάβαμε από το λατομείο, χωρίς καμιά κατεργασία. Διατηρήσαμε τη συνταγή του σκυροδέματος ίδια για όλα τα δοκίμια που παρασκευάσαμε, καθώς και το χρόνο ανάμειξης (10'), το μόνο που μεταβάλαμε ήταν το χρόνο ωρίμανσης του σκυροδέματος. Παρασκευάσαμε τέσσερις σειρές δοκιμών, κάθε σειρά περιλάμβανε έξι δοκίμια (συνολικά έχουμε 24 δοκίμια), τις οποίες οδηγήσαμε σε θραύση διαφορετικές μέρες, ανάλογα με το χρόνο ωρίμανσης που επιλέξαμε ότι θα παραμείνει η κάθε εξάδα (3, 7, 28 και 56 ημέρες). Μία εξάδα οδηγήθηκε στο πείραμα της θραύσης την τρίτη ημέρα από την ημέρα παρασκευής της, η άλλη εξάδα την έβδομη μέρα, η άλλη την εικοστή όγδοη και η άλλη την πενηκοστή έκτη.

Στον **Πίνακα 9.1.** που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της θραύσης για κάθε ένα δοκίμιο της κάθε εξάδας, ξεχωριστά.

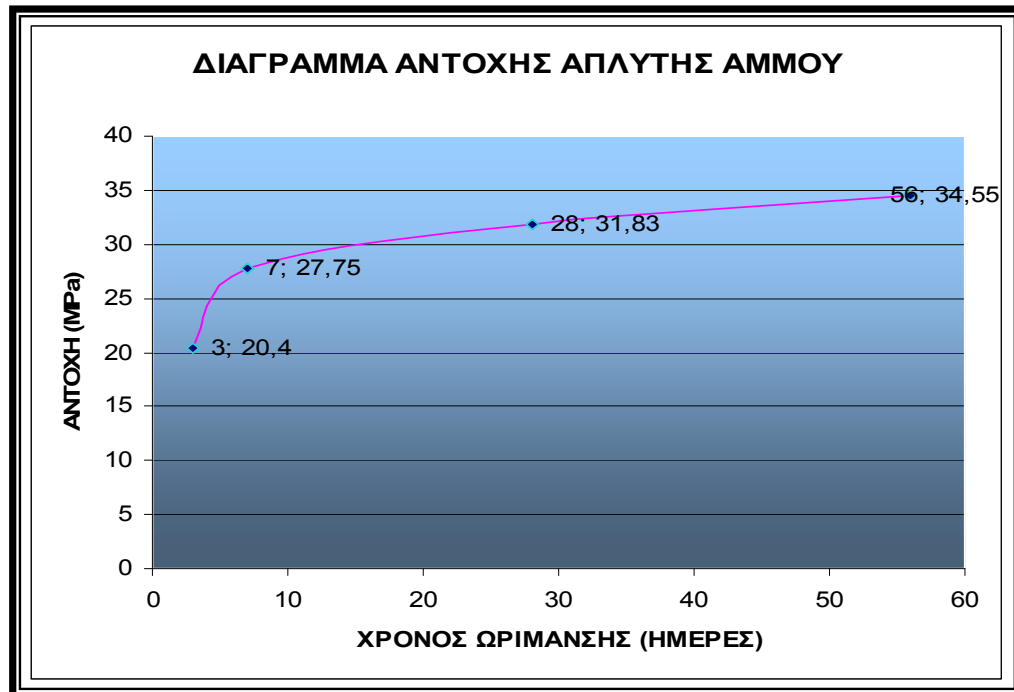
ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΘΡΑΥΣΗ - ΗΜΕΡΑ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ			
ΓΙΑ ΑΚΑΤΕΡΓΑΣΤΗ ΑΜΜΟ			
A/A	ΗΜΕΡΑ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ	ΦΟΡΤΙΟ (kN)	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΡΑΥΣΗ (Mpa)
1	3	475	21,1
2	3	452	20,1
3	3	432	19,2
4	3	457	20,3
5	3	479	21,3
6	3	459	20,4
M.O.	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	459	20,4
σ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	16,95	0,75
7	7	627	27,9
8	7	606	26,9
9	7	618	27,5
10	7	621	27,6
11	7	661	29,4
12	7	613	27,2
M.O.	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	624,33	27,75
σ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	19,33	0,88
13	28	717,3	31,9
14	28	763,2	33,9
15	28	713,7	31,7
16	28	763,8	33,9
17	28	624,4	28,2
18	28	683,4	31,4
M.O.	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	710,97	31,83
σ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	52,58	2,10
19	56	775,1	34,4
20	56	813,7	36,2
21	56	794,2	35,3
22	56	751,6	33,4
23	56	774,5	34,4
24	56	755,9	33,6
M.O.	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	777,5	34,55
σ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	23,42	1,05

Στηριζόμενοι στον παραπάνω πίνακα, μπορούμε να πάρουμε τις μέσες τιμές για κάθε εξάδα δοκιμίων και να κάνουμε ένα νέο **Πίνακα 9.2.** σύμφωνα με τον οποίο θα σχεδιάσουμε τη γραφική παράσταση του χρόνου ωρίμανσης (ημέρες) – φορτίου (kN), για να παρατηρήσουμε πως πηγαίνει η καμπύλη θραύσης των δοκιμίων μας και τότε αυτά παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη αντοχή και για ποιο φορτίο.

ΗΜΕΡΑ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ	ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ (kN)	ΜΕΣΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΡΑΥΣΗ (Mpa)
3	459	20,4
7	624,3	27,7
28	711	31,8
56	777,5	34,5

Πίνακας 9.2. Μέσες τιμές αντοχών σε συνάρτηση με τις ημέρες ωρίμανσης για την άπλυτη άμμο.

Με βάση τον **Πίνακα 9.2**, έχουμε αποτυπώσει τη γραφική μας παράσταση, η οποία και απεικονίζεται παρακάτω.



Διάγραμμα 9.1. Διάγραμμα αντοχής άπλυτης άμμου σε σχέση με το χρόνο ωρίμανσης.

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα, διαπιστώνουμε ότι συνεχώς αυξάνεται η αντοχή του σκυροδέματος σε σχέση με τον χρόνο ωρίμανσής του.

9.2.2. Παρουσίαση των δοκιμών άπλυτης άμμου με χρόνο ανάμειξης του υλικού 60 λεπτά.

Σε αυτή τη σειρά των πειραματικών μας δοκιμών, παρασκευάσαμε μία εξάδα δοκιμών, χρησιμοποιώντας πάντα την ίδια συνταγή για το σκυρόδεμα. Επίσης, η άμμος που χρησιμοποιήσαμε κι εδώ, ήταν ακατέργαστη. Το μόνο που επηρεάσαμε ήταν ο χρόνος ανάμειξης – παραμονής των υλικών μας στην μπετονιέρα, για την παρασκευή των δοκιμών του σκυροδέματος. Από 10 λεπτά που διατηρούσαμε την ανάμειξη στα προηγούμενα δοκίμια, την αυξήσαμε σε 60 λεπτά, καταγράφοντας κάθε δέκα λεπτά τις διαπιστώσεις που κάναμε παρατηρώντας το υλικό μας. Θα πρέπει να αναφέρουμε, ότι τα συγκεκριμένα δείγματά μας οδηγήθηκαν σε θραύση μετά από 28 ημέρες.

Τα αποτελέσματα από τη θραύση αυτών των δοκιμών παρουσιάζονται στο **Πίνακα 9.3.** που ακολουθεί.

A/A	ΦΟΡΤΙΟ (kN)	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΡΑΥΣΗ (Mpa)
1	786,4	35
2	778,7	34,6
3	833,6 (max)	37,1 (max)
4	821,4	36,5
5	636,3 (min)	28,3 (min)
6	751,1	33,4

Πίνακας 9.3. Μέσες τιμές αντοχών σε συνάρτηση με τις ημέρες

ωρίμανσης για την πλυμένη άμμο.

9.2.2.1. Παρατηρήσεις για το χρόνο ανάμειξης.

Σε αυτή τη σειρά των πειραμάτων, αποφασίσαμε να μεταβάλουμε το χρόνο ανάμειξης – παραμονής των υλικών παρασκευής σκυροδέματος, για να παρατηρήσουμε τη συμπεριφορά του και να ελέγξουμε την αντίδρασή του στη θραύση, μετά από 28 ημέρες ωρίμανσής του.

Οπότε και αποφασίσαμε να αυξήσουμε τον χρόνο αυτό, από δέκα λεπτά σε εξήντα. Κάθε δέκα λεπτά, παρατηρούσαμε το υλικό της ανάμειξης και καταγράφαμε τα συμπεράσματά μας.

Στα πρώτα δέκα λεπτά, όπως είναι και το λογικό, δεν είχαμε να παρατηρήσουμε κάτι διαφορετικό στο μίγμα μας σε σύγκριση με τα προηγούμενα. Μετά το πέρας των δέκα λεπτών, αρχίσαμε να διαπιστώνουμε διαφορετικότητες στο μίγμα του σκυροδέματος.

Μετά τα δέκα λεπτά ανάμειξης, αρχίζει το μίγμα μας να δημιουργεί σταδιακά τα πρώτα συσσωματώματα μικρών σφαιριδίων σκυροδέματος, τα οποία και ξεχωρίζουν από το υπόλοιπο ομοιογενές μίγμα μας.

Στα πρώτα είκοσι λεπτά της ανάμειξης, παρατηρούμε ότι αρχίζει να χάνεται η συνοχή του σκυροδέματος, επειδή αυξάνεται η δημιουργία συσσωματωμάτων του.

Μετά το πέρας της μισής ώρας (τριάντα λεπτών), οι σβόλοι σκυροδέματος αυξάνονται και διαχωρίζονται από το υπόλοιπο μίγμα επειδή μετακινούνται προς την επιφάνεια του μίγματος.

Αφού το μίγμα μας, συνεχίζει να αναμιγνύεται και έχουμε φτάσει στα σαράντα λεπτά ανάμιξης, παρατηρούμε ότι οι σβόλοι του σκυροδέματος αρχίζουν να διαλύονται, χάνεται η συνοχή μεταξύ τους και το μίγμα αρχίζει να βαραίνει και να γίνεται δύσκολο στην κατεργασία του.

Στα πενήντα λεπτά ανάμιξης του μίγματός μας, το σκυρόδεμα αρχίζει να στεγνώνει και να κολλάει στα τοιχώματα της μπετονιέρας (αναδευτήρα).

Και φτάνοντας στα εξήντα λεπτά ανάμιξης του μίγματος, διαπιστώνουμε πως το σκυρόδεμα έχει σχεδόν στεγνώσει, είναι πολύ ανομοιογενές και διαμορφώνεται δύσκολα. Κάτι το οποίο θα μας δυσκολέψει ιδιαίτερα, στο γέμισμα των καλουπιών, για την κατασκευή των δοκιμών μας, τα οποία θα οδηγήσουμε σε δοκιμές θραύσης, μετά το πέρας των 28 ημερών.

9.2.2.2. Σύγκριση αντοχών με βάση το χρόνο ανάμιξης.

Σε αυτή την παράγραφο, θα συγκρίνουμε τις αντοχές στη θραύση, των δοκιμών που παρασκευάσαμε με δέκα λεπτά ανάμιξης των υλικών και των δοκιμών που παρασκευάσαμε με εξήντα λεπτά ανάμιξης των υλικών. Θα πρέπει να σημειωθεί, πως και στις δύο περιπτώσεις, ακολουθήθηκε η ίδια συνταγή παρασκευής δοκιμών με την άμμο που χρησιμοποιήθηκε να είναι ακατέργαστη (άπλυτη) και όλα τα δοκίμια διατηρήθηκαν 28 ημέρες για να ωριμάσουν και μετά οδηγήθηκαν στην πρέσα για τη δοκιμή θραύσης.

Στον πίνακα που ακολουθεί, **Πίνακας 9.4.** παρουσιάζονται οι αντοχές των δοκιμών μας. Εμείς από αυτό τον πίνακα, θα βγάλουμε τις μέσες τιμές

αντοχής για την κάθε εξάδα δειγμάτων μας και θα τις συγκρίνουμε μεταξύ τους, σε ένα ιστόγραμμα με βάση το χρόνο ανάμιξης.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΕ ΔΟΚΙΜΗ ΘΡΑΥΣΗΣ			
ΓΙΑ 10 ΚΑΙ 60 ΛΕΠΤΑ ΑΝΑΜΙΞΗΣ ΥΛΙΚΩΝ			
A/A	ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΑΜΙΞΗΣ (min)	ΦΟΡΤΙΟ (kN)	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΡΑΥΣΗ (Mpa)
1	10	717,3	31,9
2	10	763,2	33,9
3	10	713,7	31,7
4	10	763,8	33,9
5	10	624,4	28,2
6	10	683,4	31,4
M.O.	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	711	31,8
σ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	52,58	2,10
1	60	786,4	35
2	60	778,7	34,6
3	60	833,6	37,1
4	60	821,4	36,5
5	60	636,3	28,3
6	60	751,1	33,4
M.O.	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	767,9	34,1
σ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	71,05	3,16

Πίνακας 9.4. Πίνακας δοκιμών θραύσης για 10 και 60 λεπτά χρόνου ανάμιξης υλικών.

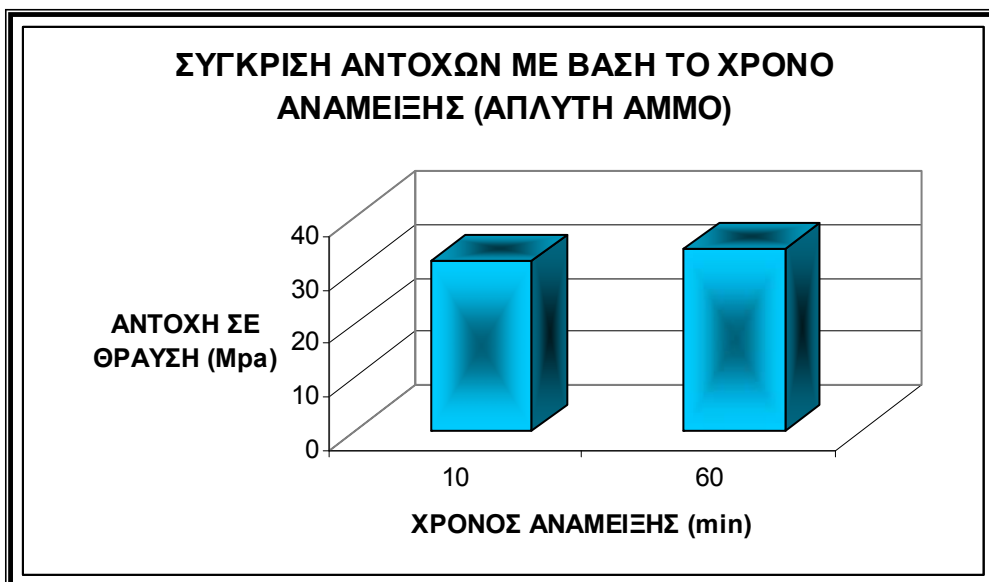
Από τον παραπάνω πίνακα, διαπιστώνουμε ότι για δέκα λεπτά ανάμιξης των υλικών μας στον αναδευτήρα, η μέση τιμή της αντοχής στη θραύση για αυτή τη σειρά των δοκιμών είναι 31,8 (Mpa) και για φορτίο 711 (kN) ενώ για εξήντα

λεπτά ανάμειξης των υλικών στον αναδευτήρα, η μέση τιμή αντοχής είναι 34,1 (Mpa) και για φορτίο 767,9 (kN). Οπότε, με βάση τις τιμές αυτές, δημιουργούμε ένα νέο **Πίνακα 9.5.**, σύμφωνα με τον οποίο θα δημιουργήσουμε το ιστόγραμμα μας.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΕ		ΔΟΚΙΜΗ ΘΡΑΥΣΗΣ	
ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΧΡΟΝΟ		ΑΝΑΜΕΙΞΗΣ	
A/A	ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΑΜΕΙΞΗΣ (min)	ΦΟΡΤΙΟ (kN)	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΡΑΥΣΗ (Mpa)
1	10	711	31.8
2	60	767,9	34,1

Πίνακας 9.5. Συγκριτικός πίνακας σε δοκιμή θραύσης με βάση το χρόνο ανάμειξης.

Το ιστόγραμμά μας, λοιπόν, θα έχει την ακόλουθη μορφή.



Διάγραμμα 9.2. Ιστόγραμμα χρόνου ανάμειξης και φορτίου για την άπλυτη άμμο.

Στο ιστόγραμμα γίνεται σύγκριση των αντοχών με βάση το χρόνο ανάμειξης. Μπορούμε να δούμε ότι για χρόνο ανάμειξης 60' το δοκίμιό μας παρουσιάζει για φορτίο 767,9 (kN) μεγαλύτερη αντοχή, 34,1 (Mpa), από ότι εκείνο που αναμειγνύουμε για 10' και παρουσιάζει για φορτίο 711 (kN) αντοχή 31,8 (Mpa). **Αυτό μπορεί να συμβαίνει διότι το υλικό μας αναμειγνύεται καλύτερα και οι δυνάμεις συνοχής μεταξύ των υλικών αναπτύσσονται πιο γρήγορα.**

9.3. Δεύτερη σειρά πειραμάτων.

Σε αυτή τη σειρά των πειραμάτων μας, ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με την προηγούμενη, την οποία και αναλύσαμε εκτενέστερα σε περασμένες παραγράφους αυτού του κεφαλαίου. Η μόνη διαφορά σε αυτή τη σειρά των πειραμάτων, συγκριτικά με την προηγούμενη, ήταν ότι σε αυτή χρησιμοποιήσαμε άμμο πλυμένη, άμμο της οποίας αφαιρέσαμε τη μικρότερη κοκκομετρία της παιπάλης.

9.3.1. Παρουσίαση των δοκιμών πλυμένης άμμου με χρόνο ανάμειξης του υλικού 10 λεπτά.

Σε αυτή τη σειρά των δοκιμών, χρησιμοποιήσαμε την άμμο εφόσον αφαιρέσαμε την παιπάλη με τη διαδικασία της πλύσης. Διατηρήσαμε τη συνταγή του σκυροδέματος ίδια για όλα τα δοκίμια που παρασκευάσαμε, καθώς και το χρόνο ανάμειξης (10'), το μόνο που μεταβάλαμε ήταν το χρόνο ωρίμανσης του σκυροδέματος. Παρασκευάσαμε τέσσερις σειρές δοκιμών,

κάθε σειρά περιλάμβανε έξι δοκίμια (συνολικά έχουμε 24 δοκίμια), τις οποίες οδηγήσαμε σε θραύση διαφορετικές μέρες, ανάλογα με το χρόνο ωρίμανσης (3, 7, 28 και 56 ημέρες) που επιλέξαμε ότι θα παραμείνει η κάθε εξάδα. Μία εξάδα οδηγήθηκε στο πείραμα της θραύσης την τρίτη ημέρα από την ημέρα παρασκευής της, η άλλη εξάδα την έβδομη μέρα, η άλλη την εικοστή όγδοη και η άλλη την πενήτηκοστή έκτη.

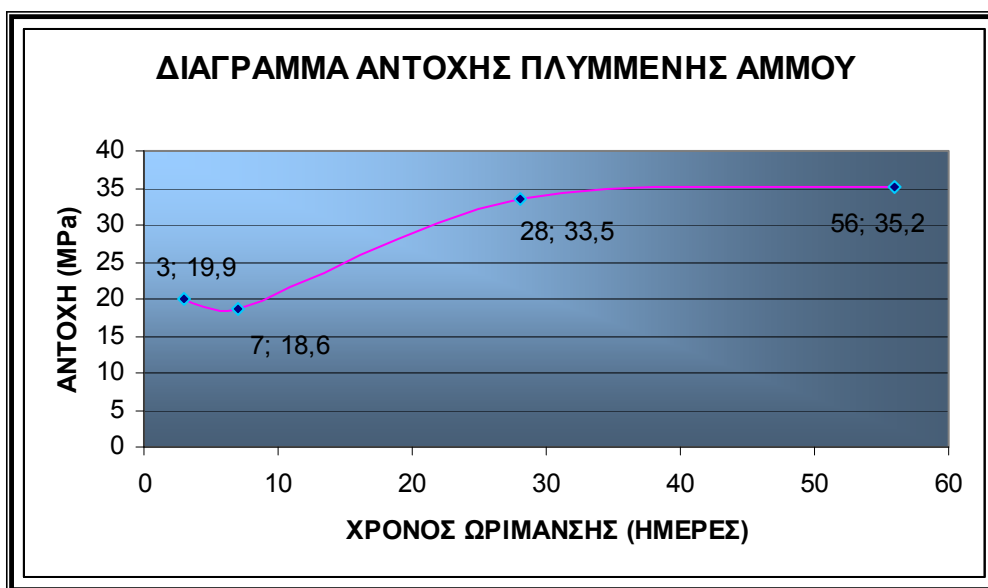
Στον **Πίνακα 9.6.** που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της θραύσης για κάθε ένα δοκίμιο της κάθε εξάδας, ξεχωριστά.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΘΡΑΥΞΗ - ΗΜΕΡΑ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ			
ΓΙΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΜΕΝΗ ΑΜΜΟ			
Α/Α	ΗΜΕΡΑ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ	ΦΟΡΤΙΟ (kN)	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΡΑΥΞΗ (Mpa)
1	3	456	20,3
2	3	430	19,1
3	3	467	20,7
4	3	465	20,7
5	3	442	19,6
6	3	435	19,3
Μ.Ο.	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	449,17	19,95
σ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	15,72	0,71
7	7	440	19,5
8	7	422	18,7
9	7	400	17,8
10	7	426	18,9
11	7	405	18
12	7	421	18,7
Μ.Ο.	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	419	18,6
σ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	14,56	0,62
13	28	791,2	35,2
14	28	775,2	34,5
15	28	706	31,4
16	28	733,2	32,6
17	28	822,3	36,5
18	28	699,4	31,1
Μ.Ο.	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	754,55	33,55
σ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	213,39	2,18
19	56	794,8	35,3
20	56	844	37,5
21	56	778,2	34,6
22	56	808,8	35,9
23	56	787,8	35
24	56	741,6	33
Μ.Ο.	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	792,53	35,22
σ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	33,88	1,49

Στηριζόμενοι στον παραπάνω πίνακα, μπορούμε να πάρουμε τις μέσες τιμές για κάθε εξάδα δοκιμών και να κάνουμε ένα νέο **Πίνακα 9.7.** σύμφωνα με τον οποίο θα σχεδιάσουμε τη γραφική παράσταση του χρόνου ωρίμανσης (ημέρες) – αντοχής (MPa), για να παρατηρήσουμε πως πηγαίνει η καμπύλη θραύσης των δοκιμών μας και τότε αυτά παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη αντοχή και για ποιο φορτίο.

ΗΜΕΡΑ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ	ΜΕΣΟ ΦΟΡΤΙΟ (kN)	ΜΕΣΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΡΑΥΣΗ (Mpa)
3	449,2	19,95
7	419	18,6
28	754,5	33,5
56	792,5	35,2
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	196,952	8,862

Με βάση τον **Πίνακα 9.7.** έχουμε αποτυπώσει τη γραφική μας παράσταση, η οποία και απεικονίζεται παρακάτω.



Διάγραμμα 9.3. Διάγραμμα αντοχής πλυμένης άμμου σε σχέση με το χρόνο ωρίμανσης.

Όπως παρατηρούμε και στο παραπάνω διάγραμμα, διαπιστώνουμε ότι συνεχώς αυξάνεται το φορτίο που μπορεί να αντέξει το σκυρόδεμα χωρίς να σπάσει άρα αυξάνεται και η αντοχή του σε σχέση με τον χρόνο ωρίμανσης, εκτός από το δοκίμιο των επτά ημερών ωρίμανσης στο οποίο μπορεί να κάναμε πειραματικό λάθος, να μη το αναμειγνύαμε καλά, να δέχτηκε επιδράσεις κατά τη μεταφορά του, γενικά να μη το προσέξαμε τόσο όσο τα άλλα μας δοκίμια.

9.3.2. Παρουσίαση των δοκιμών πλυμένης άμμου με χρόνο ανάμειξης του υλικού 60 λεπτά.

Σε αυτή τη σειρά των πειραματικών μας δοκιμών, παρασκευάσαμε μία εξάδα δοκιμών, χρησιμοποιώντας πάντα την ίδια συνταγή για το σκυρόδεμα. Επίσης, η άμμος που χρησιμοποιήσαμε κι εδώ, ήταν πλυμένη. Το μόνο που

μεταβάλαμε ήταν ο χρόνος ανάμειξης – παραμονής των υλικών μας στην μπετονιέρα, για την παρασκευή των δοκιμίων του σκυροδέματος. Από 10 λεπτά που διατηρούσαμε την ανάμειξη στα προηγούμενα δοκίμια, την αυξήσαμε σε 60 λεπτά, καταγράφοντας κάθε δέκα λεπτά τις διαπιστώσεις που κάναμε παρατηρώντας το υλικό μας. Θα πρέπει να αναφέρουμε, ότι τα συγκεκριμένα δείγματά μας οδηγήθηκαν σε θραύση μετά από 28 ημέρες.

Τα αποτελέσματα από τη θραύση αυτών των δοκιμίων παρουσιάζονται στο **Πίνακα 9.8.** που ακολουθεί.

A/A	ΦΟΡΤΙΟ (kN)	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΡΑΥΣΗ (Mpa)
1	862,9(max)	38,4 (max)
2	854,8	38
3	782,5 (min)	34,8 (min)
4	797,4	35,4
5	844,6	37,5
6	809,8	36

9.3.2.1. Παρατηρήσεις για το χρόνο ανάμειξης.

Σε αυτή τη σειρά των πειραμάτων, αποφασίσαμε να μεταβάλουμε το χρόνο ανάμειξης – παραμονής των υλικών παρασκευής σκυροδέματος, για να παρατηρήσουμε τη συμπεριφορά του και να ελέγξουμε την αντίδρασή του στη θραύση, μετά από 28 ημέρες ωρίμανσής του.

Οπότε και αποφασίσαμε να αυξήσουμε τον χρόνο αυτό, από δέκα λεπτά σε εξήντα. Κάθε δέκα λεπτά, παρατηρούσαμε το υλικό της ανάμειξης και καταγράφαμε τα συμπεράσματά μας.

Στα πρώτα δέκα λεπτά, όπως είναι και το λογικό, δεν είχαμε να παρατηρήσουμε κάτι διαφορετικό στο μίγμα μας σε σύγκριση με τα προηγούμενα. Μετά το πέρας των δέκα λεπτών, αρχίσαμε να διαπιστώνουμε διαφορετικότητες στο μίγμα του σκυροδέματος.

Μετά το πέρας των δέκα πρώτων λεπτών και καθώς προχωράμε στα επόμενα λεπτά, το δείγμα μας συνεχίζει να είναι εύπλαστο, λόγω της υγρασίας που έχει συγκρατήσει η άμμος από την πλύση της. Κι επειδή με την πλύση απομακρύνθηκε και η παιπάλη που εγκλώβιζε υγρασία. Οπότε το σκυροδέμα συνεχίζει να «δουλεύεται» χωρίς καμία δυσκολία.

Στα είκοσι λεπτά ανάμειξης, αρχίζουν να δημιουργούνται οι πρώτοι μικροί σβόλοι σκυροδέματος, χρώματος μαύρου, που ξεχωρίζουν από το υπόλοιπο.

Στο πρώτο μισάωρο, η υγρασία ελαττώθηκε αισθητά και οι σβόλοι στο μίγμα αυξάνονται όλο και περισσότερο.

Στα επόμενα δέκα λεπτά, μετά το πέρας των σαράντα λεπτών δηλαδή, εξακολουθεί να υπάρχει μια ομοιογένεια στο μίγμα του σκυροδέματος αλλά παράλληλα συνυπάρχουν και τα ξεχωριστά συσσωματώματα του, οι σβόλοι σκυροδέματος.

Αφού το μίγμα μας, συνεχίζει να αναμιγνύεται και έχουμε φτάσει στα πενήντα λεπτά ανάμειξης, παρατηρούμε ότι οι σβόλοι του σκυροδέματος αρχίζουν να

διαλύονται, χάνεται η συνοχή μεταξύ τους και το μίγμα αρχίζει να βαραίνει και να γίνεται δύσκολο στην κατεργασία του.

Και φτάνοντας στα εξήντα λεπτά ανάμιξης του μίγματος, διαπιστώνουμε πως στο σκυρόδεμα έχουν δημιουργηθεί πολλοί σβόλοι. Αυτό, βέβαια, δεν είναι πολύ καλό για την κατασκευή των δοκιμών μας, θα μας δυσκολέψουν αλλά όχι σε τόσο μεγάλο βαθμό όσο αυτά της άπλυτης άμμου, γιατί η πλυμένη άμμος έχει περισσότερη υγρασία, κάτι που κάνει πιο εύπλαστο το σκυρόδεμά μας.

9.3.2.2. Σύγκριση αντοχών με βάση το χρόνο ανάμιξης.

Σε αυτή την παράγραφο, θα συγκρίνουμε τις αντοχές στη θραύση, των δοκιμών που παρασκευάσαμε με δέκα λεπτά ανάμιξης των υλικών και των δοκιμών που παρασκευάσαμε με εξήντα λεπτά ανάμιξης των υλικών. Θα πρέπει να σημειωθεί, πως και στις δύο περιπτώσεις, ακολουθήθηκε η ίδια συνταγή παρασκευής δοκιμών με την άμμο που χρησιμοποιήθηκε να είναι κατεργασμένη (πλυμένη) και όλα τα δοκίμια διατηρήθηκαν 28 ημέρες για να ωριμάσουν και μετά οδηγήθηκαν στην πρέσα για τη δοκιμή θραύσης.

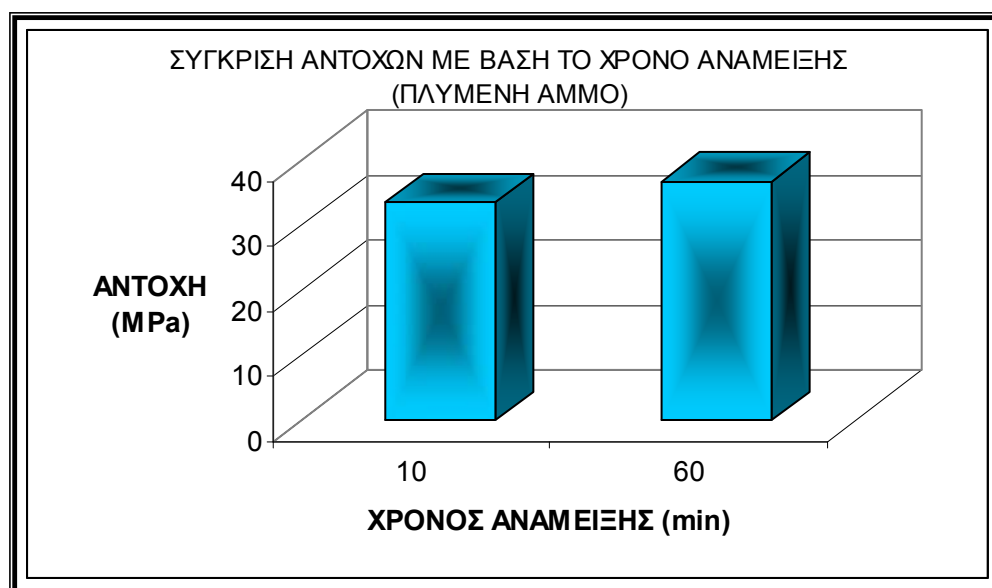
Στον πίνακα που ακολουθεί, **Πίνακας 9.9.** παρουσιάζονται οι αντοχές των δοκιμών μας. Εμείς από αυτό τον πίνακα, θα βγάλουμε τις μέσες τιμές αντοχής για την κάθε εξάδα δειγμάτων μας και θα τις συγκρίνουμε μεταξύ τους, σε ένα ιστόγραμμα με βάση το χρόνο ανάμιξης.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΕ ΔΟΚΙΜΗ ΘΡΑΥΣΗΣ			
ΓΙΑ 10 ΚΑΙ 60 ΛΕΠΤΑ ΑΝΑΜΕΙΞΗΣ ΥΛΙΚΩΝ			
A/A	ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΑΜΕΙΞΗΣ (min)	ΦΟΡΤΙΟ (kN)	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΡΑΥΣΗ (Mpa)
1	10	791,2	35,2
2	10	775,2	34,5
3	10	706	31,4
4	10	733,2	32,6
5	10	822,3	36,5
6	10	699,4	31,1
M.O.	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	754,5	33,5
σ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	49,43	2,18
1	60	862,9	38,4
2	60	854,8	38
3	60	782,5	34,8
4	60	797,4	35,4
5	60	844,6	37,5
6	60	809,8	36
M.O.	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	825,3	36,7
σ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	33,19	1,48

Από τον παραπάνω πίνακα, διαπιστώνουμε ότι για δέκα λεπτά ανάμειξης των υλικών μας στον αναδευτήρα, η μέση τιμή της αντοχής στη θραύση για αυτή τη σειρά των δοκιμών είναι 33,5 (Mpa) και για φορτίο 754,5 (kN) ενώ για εξήντα λεπτά ανάμειξης των υλικών στον αναδευτήρα, η μέση τιμή αντοχής είναι 36,7 (Mpa) και για φορτίο 825,3 (kN). Οπότε, με βάση τις τιμές αυτές, δημιουργούμε ένα νέο **Πίνακα 9.10.**, σύμφωνα με τον οποίο θα σχεδιάσουμε το ιστόγραμμα μας.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΕ ΔΟΚΙΜΗ ΘΡΑΥΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΑΝΑΜΕΙΞΗΣ			
A/A	ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΑΜΕΙΞΗΣ (min)	ΦΟΡΤΙΟ (kN)	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΡΑΥΣΗ (Mpa)
1	10	754,5	33,5
2	60	825,3	36,7
	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	50,063	2,263

Το ιστόγραμμα μας, λοιπόν, θα έχει την ακόλουθη μορφή.



Διάγραμμα 9.4. Ιστόγραμμα χρόνου ανάμειξης και αντοχής για την πλυμένη άμμο.

Στο ιστόγραμμα γίνεται σύγκριση των αντοχών με βάση το χρόνο ανάμειξης. Μπορούμε να δούμε ότι για χρόνο ανάμειξης 60' το δοκίμιό μας παρουσιάζει

για το φορτίο των 825,3 (kN) τη μεγαλύτερη αντοχή, 34,1 (Mpa), από ότι εκείνο που αναμειγνύουμε για 10' και παρουσιάζει για φορτίο 754,5 (kN) αντοχή 31,8 (Mpa). **Αυτό μπορεί να συμβαίνει διότι το υλικό μας αναμειγνύεται καλύτερα και οι δυνάμεις συνοχής μεταξύ των υλικών αναπτύσσονται πιο γρήγορα.**

9.4. Σύγκριση των δύο προηγούμενων σειρών δοκιμών σκυροδέματος μεταξύ τους (άπλυτης και πλυμένης άμμου).

Στις προηγούμενες παραγράφους αυτού του κεφαλαίου, συγκρίναμε τα δοκίμια σκυροδέματος μεταξύ τους, σε πρώτο στάδιο, με βάση τον χρόνο ωρίμανσής τους και σε δεύτερο στάδιο, με βάση τον χρόνο ανάμειξης των υλικών από τα οποία παρασκευάστηκαν. Κάναμε την σύγκριση, τόσο για τα δοκίμια στα οποία χρησιμοποιήθηκε η άμμος όπως την παραλάβαμε από το λατομείο, όσο και για τα δοκίμια στα οποία χρησιμοποιήθηκε η άμμος εφόσον αφαιρέσαμε την παιπάλη.

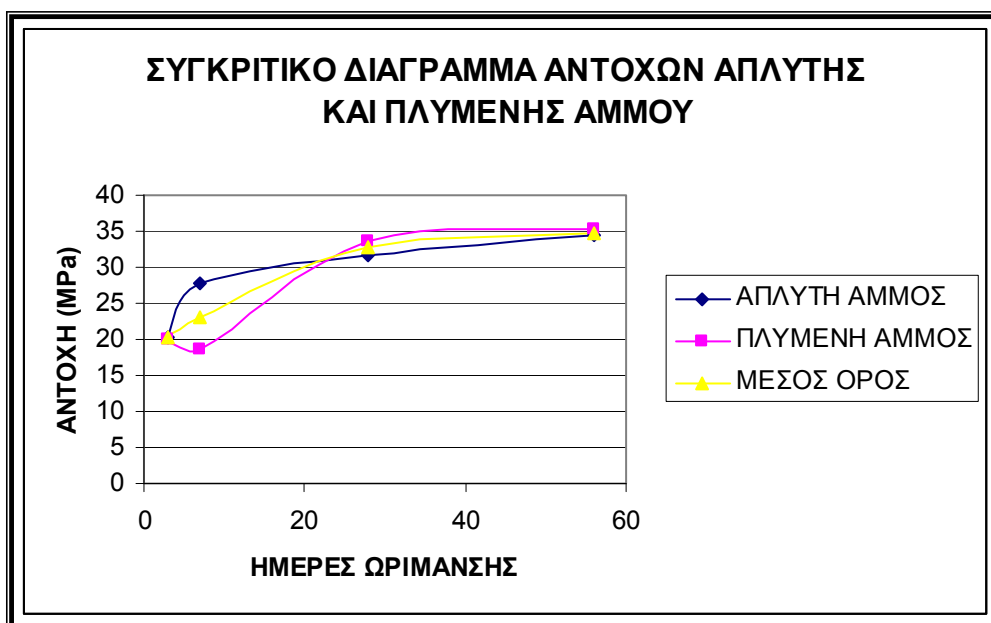
9.4.1. Σύγκριση των δύο προηγούμενων σειρών δοκιμών σκυροδέματος μεταξύ τους (άπλυτης και πλυμένης άμμου) με βάση τον χρόνο ωρίμανσης.

Σε αυτήν την παράγραφο, θα συγκρίνουμε μεταξύ τους, τις σειρές δοκιμών σκυροδέματος, για να διαπιστώσουμε συμπεριφορές που εμφανίζονται στη δοκιμή θραύσης, ανάλογα με τον χρόνο ωρίμανσης.

Στον **Πίνακα 9.11.** που ακολουθεί, έχουμε γράψει τους μέσους όρους από τις αντοχές και τα αντίστοιχα φορτία, της κάθε εξάδας που θραύσαμε προηγουμένως. Αναφερόμαστε τόσο στα δοκίμια που παρασκευάσαμε χρησιμοποιώντας άπλυτη άμμο, όσο και στα δοκίμια που παρασκευάσαμε χρησιμοποιώντας πλυμένη άμμο. Θα πρέπει να τονισθεί, ότι αναφερόμαστε στα δοκίμια των οποίων η ανάμειξη διήρκεσε 10 λεπτά.

ΗΜΕΡΕΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ	ΑΝΤΟΧΗ ΑΠΛΥΤΗΣ ΑΜΜΟΥ (Mpa)	ΦΟΡΤΙΟ ΑΠΛΥΤΗΣ ΑΜΜΟΥ (kN)	ΑΝΤΟΧΗ ΠΛΥΜΜΕΝΗΣ ΑΜΜΟΥ (Mpa)	ΦΟΡΤΙΟ ΠΛΥΜΜΕΝΗΣ ΑΜΜΟΥ (kN)
3	20,4	459	19,9	449,2
7	27,7	624,3	18,6	419
28	31,8	711	33,5	754,5
56	34,5	777,5	35,2	792,5

Για να επιτύχουμε την σύγκριση των αντοχών μεταξύ των δοκιμών, παρουσιάζουμε στην επόμενη γραφική μας παράσταση τα φορτία που δέχτηκαν τα δοκίμια μας, ώστε να σπάσουν, σε συνάρτηση με τις ημέρες ωρίμανσης.



Διάγραμμα 9.5. Συγκριτικό διάγραμμα αντοχών άπλυτης και πλυμένης άμμου.

Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι για τις τρεις πρώτες ημέρες ωρίμανσης, και οι δύο σειρές δοκιμών σκυροδέματος, παρουσιάζουν περίπου τις ίδιες αντοχές, με λίγο μεγαλύτερες αυτές των δοκιμών της άπλυτης άμμου.

Στις επόμενες ημέρες και συγκεκριμένα στην έβδομη ημέρα ωρίμανσης των δοκιμών μας, αυτά της άπλυτης άμμου εμφανίζουν μεγαλύτερες αντοχές από ότι αυτά της πλυμένης. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε πειραματικό σφάλμα και για το λόγο αυτό εσκεμμένα απορρίπτω το συγκεκριμένο σημείο για τη πλυμένη άμμο, διότι δεν είναι λογικό την έβδομη ημέρα ωρίμανσης οι αντοχές του σκυροδέματος να είναι πιο κάτω από αυτές της τρίτης. Για το λόγο αυτό προτιμήσαμε να κάνουμε γραφική με το μέσο όρο των σημείων, για να έχουμε μια πρώτη αποτύπωση της εξέλιξης της αντοχής των σκυροδεμάτων.

Προχωρώντας στην εικοστή όγδοη ημέρα, παρατηρούμε πως τα δοκίμια της πλυμένης άμμου εμφανίζουν μεγαλύτερη αντοχή από αυτά της άπλυτης. Και καθώς συνεχίζουμε παρατηρούμε ότι και μέχρι το πέρας της πεντηκοστής έκτης ημέρας, που θραύστηκαν και τα τελευταία δοκίμιά μας, αυτά στα οποία

χρησιμοποιήθηκε πλυμένη άμμος παρουσιάζουν μεγαλύτερες αντοχές από τα αντίστοιχα στα οποία χρησιμοποιήθηκε άπλυτη άμμος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην πλυμένη άμμο απομακρύνουμε την παιπάλη με την πλύση της άμμου. Οπότε, δεν απορροφήθηκε τόση υγρασία όση στα δοκίμια που παρασκευάστηκαν με άπλυτη άμμο και τα δοκίμια ανέπτυξαν μεγαλύτερες αντοχές.

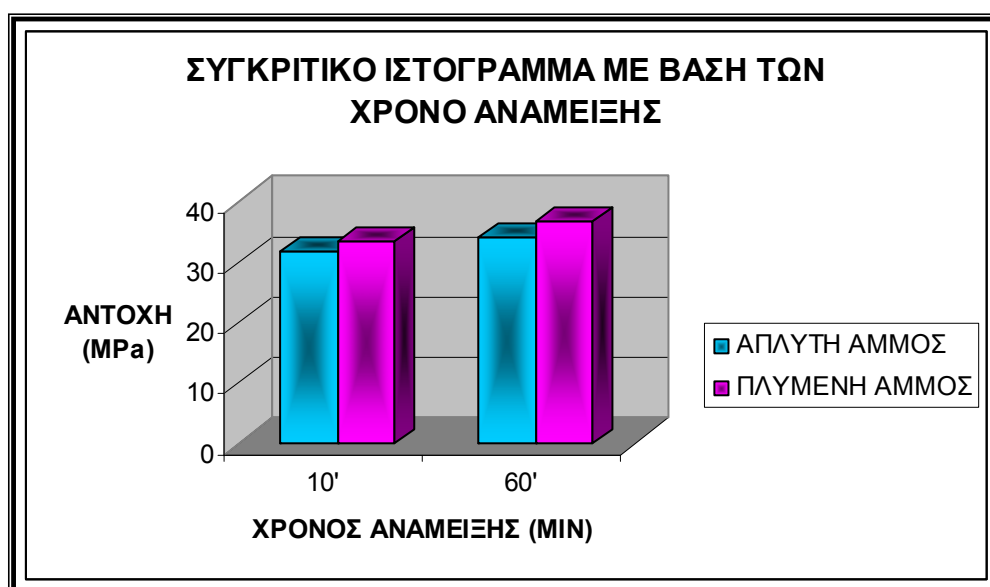
9.4.2. Σύγκριση των δύο προηγούμενων σειρών δοκιμίων σκυροδέματος μεταξύ τους (άπλυτης και πλυμένης άμμου) με βάση τον χρόνο ανάμειξης.

Σε αυτή την παράγραφο, θα κάνουμε μια σύγκριση στις αντοχές των δοκιμίων, που παρασκευάσαμε με την χρήση άπλυτης άμμου και στις αντοχές των δοκιμίων που παρασκευάσαμε με την χρήση πλυμένης άμμου, με βάση όμως τον χρόνο ανάμειξης των υλικών τους στον αναδευτήρα (μπετονιέρα).

Πάλι δημιουργούμε έναν **Πίνακα 9.12.** στον οποίο τοποθετούμε το μέσο όρων αντοχής και φορτίου, για κάθε εξάδα δειγμάτων, για τα οποία πρέπει να αναφέρουμε ότι ο χρόνος ανάμειξης των υλικών τους ήταν 60' και ότι οδηγήθηκαν στην πρέσα για τη δοκιμή της θραύσης, την 28^η ημέρα ωρίμανσής τους.

ΧΡΟΝΟΣ	ΑΝΤΟΧΗ ΑΠΛΥΤΗΣ	ΦΟΡΤΙΟ ΑΠΛΥΤΗΣ	ΑΝΤΟΧΗ ΠΛΥΜΜΕΝΗΣ	ΦΟΡΤΙΟ ΠΛΥΜΜΕΝΗΣ
ΑΝΑΜΕΙΞΗΣ	ΑΜΜΟΥ (Mpa)	ΑΜΜΟΥ (kN)	ΑΜΜΟΥ (Mpa)	ΑΜΜΟΥ (kN)
10'	31,8	711	33,5	754,5
60'	34,1	767,9	36,7	825,3

Στηριζόμενοι στον παραπάνω πίνακα 9.14., δημιουργούμε το ιστόγραμμα χρόνου ανάμειξης και φορτίου, για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε με μεγαλύτερη ευκρίνεια τις διαφορές μεταξύ των δοκιμών, ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στο κάθε ένα.



Διάγραμμα 9.6. Συγκριτικό ιστόγραμμα βάση του χρόνου ανάμειξης για πλυμένη και άπλυτη άμμο.

Από το παραπάνω ιστόγραμμα, παρατηρούμε ότι και για τον χρόνο ανάμειξης των 10 λεπτών, αλλά και για το χρόνο ανάμειξης των 60 λεπτών, το σκυρόδεμα που παρασκευάστηκε με τη χρήση πλυμένης άμμου παρουσιάζει

μεγαλύτερη αντοχή από αυτό το σκυρόδεμα που παρασκευάστηκε με τη χρήση άπλυτης άμμου. Αυτό φαίνεται από το μέγεθος του φορτίου που δέχεται το κάθε δοκίμιο σκυροδέματος ώστε να σπάσει.

Για τα δέκα λεπτά ανάμειξης, παρατηρούμε ότι το σκυρόδεμα της πλυμένης άμμου αναπτύσσει μεγαλύτερη αντοχή 32,5 (MPa) μέχρι να σπάσει σε αντίθεση με το σκυρόδεμα της άπλυτης άμμου, το οποίο αναπτύσσει αντοχή 31,8 (MPa).

Για τα εξήντα λεπτά ανάμειξης, πάλι παρατηρούμε πως το σκυρόδεμα πλυμένης άμμου (36,7 MPa) έχει μια διαφορά στην αντοχή από αυτό του σκυροδέματος της άπλυτης άμμου (34,1 MPa), γύρω στα 2,6 (MPa), μέχρι να σπάσει. Η διαφορά για αυτό τον χρόνο ανάμειξης, των 60 λεπτών, είναι μεγαλύτερη από την διαφορά των 10 λεπτών (0,7 MPa). Κάτι το οποίο μπορεί να σημαίνει, ότι το σκυρόδεμα της πλυμένης άμμου συνεχίζει να αυξάνει τις αντοχές του ανάλογα με το χρόνο ανάμειξης των υλικών του. Αυτό μπορεί να συμβαίνει, γιατί τα υλικά του, αναμιγνύονται καλύτερα και η υγρασία που έχει το μίγμα από το νερό που προσθέσαμε, με βάση τη συνταγή, ανακατεύεται ομοιόμορφα με όλα τα υλικά, ώστε απορροφάται αργά η μέγιστη ποσότητα και σε όλη τη μάζα του δοκιμίου.

Κεφάλαιο 10

ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό, θα αναλύσουμε διεξοδικά την τρίτη και τελευταία σειρά των πειραμάτων μας. Σε αυτό το πειραματικό μέρος, παρασκευάζουμε κυλινδρικά δοκίμια χρησιμοποιώντας μόνο άμμο, τσιμέντο και νερό και στη συνέχεια τα οδηγούμε στην πρέσα για να προσδιορίσουμε την αντοχή τους σε μονοαξονική θλίψη. Αναπτύσσουμε αναλυτικότερα την μέθοδο που ακολουθήθηκε σε αυτό το στάδιο, στις παραγράφους του κεφαλαίου, που ακολουθούν.

10.1. Σκοπός της δοκιμής

Το αντικείμενο της μεθοδολογίας είναι ο προσδιορισμός της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη σκυροδέματος, χρησιμοποιώντας δοκίμια κανονικής γεωμετρίας. Τα αποτελέσματα των δοκιμών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση και τον χαρακτηρισμό του σκυροδέματος από πλευράς αντοχής.

10.2. Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα όργανα και συσκευές :

- 1. Συσκευή δοκιμής :** η συσκευή πρέπει να μπορεί να επιβάλλει σταθερό ρυθμό φόρτισης στο δοκίμιο και συγχρόνως να έχει τη δυνατότητα να μετρήσει ή/και να καταγράψει το επιβαλλόμενο φορτίο.
- 2. Πλάκες φόρτισης :** οι πλάκες φόρτισης χρησιμεύουν στο να μεταφέρουν το φορτίο στο δοκίμιο και πρέπει να είναι παράλληλες μεταξύ τους. Στην περίπτωση που υπάρχει σφαιρική κεφαλή έδρασης που δεν πληρεί τις προδιαγραφές που ακολουθούν στη συνέχεια, στο εδάφιο (4), πρέπει να αφαιρεθεί ή να στερεωθεί στην οριζόντια θέση (Εικόνα 8.1.).
- 3. Χαλύβδινοι δίσκοι :** οι δίσκοι (platens) τοποθετούνται ανάμεσα στις πλάκες φόρτισης και στο δοκίμιο και αποσκοπούν στο να ελαττώσουν την υπερβολική πλευρική παραμόρφωση του δοκιμίου λόγω δυνάμεων τριβής στα σημεία επαφής. Η σκληρότητα των δίσκων (στην κλίμακα Rockwell) πρέπει να είναι μεγαλύτερη από HRC58 και η διάμετρός τους πρέπει να είναι μεταξύ D και $D+2\text{mm}$, όπου D η διάμετρος του δοκιμίου. Το πάχος των δίσκων πρέπει να είναι τουλάχιστον 15 mm ή $D/3$ και οι παράλληλες επιφάνειές τους πρέπει να έχουν ανοχή μικρότερη από 0.005 mm.
- 4. Σφαιρική κεφαλή έδρασης :** η σφαιρική κεφαλή έδρασης θα πρέπει να βρίσκεται στο πάνω μέρος του δοκιμίου και ο άξονάς της πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένος με τον άξονα του δοκιμίου και το κέντρο της πλάκας φόρτισης. Αν η μηχανή δοκιμής δεν διαθέτει σφαιρική κεφαλή έδρασης (η οποία συνήθως είναι ενσωματωμένη στην επάνω πλάκα φόρτισης), τότε ο ένας από τους δύο χαλύβδινους δίσκους πρέπει να έχει αυτή τη δυνατότητα. Η κεφαλή πρέπει να λιπανθεί με ελαφρό ορυκτέλαιο.



Εικόνα 10.1. Πλάκες φόρτισης δοκιμών.

10.3. Παρασκευή κυλινδρικών δοκιμών.

Για την παρασκευή κυλινδρικών δοκιμών, ακολουθήσαμε την συνταγή της παρασκευής των κυβικών δοκιμών σκυροδέματος, από όπου και βγάλαμε τις αναλογίες άμμου : τσιμέντου και τσιμέντου : νερού ώστε να φτιάξουμε τα δοκίμιά μας. Όσον αφορά την αναλογία της άμμου με το τσιμέντο είναι 3 : 1 και την αναλογία τσιμέντου με το νερό είναι 1,75 : 1.

Παρασκευάσαμε τα κυλινδρικά δοκίμια, χρησιμοποιώντας άμμο, νερό και τσιμέντο. Πραγματοποιήσαμε δύο σειρές κυλινδρικών δοκιμών, από έξι δοκίμια σε κάθε σειρά. Στη μία σειρά εκ των δύο, αναμείξαμε νερό, τσιμέντο και άμμο, όπως ακριβώς την παραλάβαμε από το λατομείο, ενώ στην άλλη σειρά των δοκιμών, αναμείξαμε τα υλικά χρησιμοποιώντας την άμμο, εφόσον της αφαιρέσαμε ποσοστό παιπάλης με τη μέθοδο της πλύσης, η οποία είναι η ίδια με την αντίστοιχη των κυβικών δοκιμών.

Η συνταγή, την οποία ακολουθήσαμε για να παρασκευάσουμε τα έξι κυλινδρικά δοκίμια σκυροδέματος, ακολουθώντας τις αναλογίες, που προαναφέραμε, των υλικών, είναι η ακόλουθη :

- ❖ 2,028 kg άμμος (άπλυτη ή πλυμένη),
- ❖ 676 gr τσιμέντο,
- ❖ 380 gr νερό.

Επειδή, σε αυτό το πείραμα, χρησιμοποιούμε μικρές ποσότητες υλικών, την ανάμειξή τους, την κάνουμε χωρίς την χρήση της μπετονιέρας αλλά με τη βοήθεια μικρής λεκάνης. Ρίχνουμε όλα τα υλικά μας, μέσα στη λεκάνη κι έπειτα ακολουθούμε τη διαδικασία της ζύμωσης, η οποία γίνεται με το χέρι, εφόσον βέβαια, πάρουμε τα ανάλογα μέτρα προστασίας, δηλαδή να φορέσουμε γάντια για να μην προκαλέσουμε καύση στα χέρια μας, λόγω της επαφής μας με το τσιμέντο.

Εδώ, θα πρέπει να αναφερθεί ότι καθ' όλη την διάρκεια των πειραμάτων μας, ήμασταν ιδιαίτερα προσεκτικοί, σε ότι αφορά την ασφάλειά μας. Πάντα, φορούσαμε γάντια και ποδιά με μακριά μανίκια, για να αποφύγουμε ανεπιθύμητα κρούσματα.

Αφού, το μίγμα μας ομογενοποιηθεί, το τοποθετούμε στα καλούπια που κατασκευάσαμε από πλαστικό σωλήνα, με διάμετρο 5 cm (ωφέλιμη διάμετρος :4,6 cm) και ύψος 11,3 cm και τα αφήνουμε για δύο ημέρες μέχρι να τα ξεκαλουπώσουμε.

Αφού τα ξεκαλουπώσουμε, αφήνουμε τα δοκίμιά μας να ωριμάσουν, σε περιβάλλον με σταθερή υγρασία και θερμοκρασία, για 28 ημέρες, οπότε και τα οδηγούμε στην δοκιμασία της θραύσης, για να προσδιορίσουμε τις αντοχές τους.

10.4. Προετοιμασία των δοκιμίων.

1. Τα δοκίμια πρέπει να είναι κυλινδρικά με διάμετρο κατά προτίμηση μεγαλύτερη ή ίση με NX (δηλαδή περίπου 54 mm) και ύψος 2,5 – 3 φορές τη διάμετρό τους. Η διάμετρος του δοκιμίου πρέπει να είναι τουλάχιστον δεκαπλάσια από τον μεγαλύτερο κόκκο του υλικού.
2. Οι βάσεις του κυλίνδρου (δοκιμίου) πρέπει να είναι παράλληλες μεταξύ τους με ανοχή περίπου 0,02 mm και ορθογώνιες ως προς τον άξονα συμμετρίας του δοκιμίου με ανοχή 0,001 ακτίνια (περίπου 3,5 λεπτά της μοίρας).
3. Οι πλευρές του δοκιμίου πρέπει να είναι λείες και χωρίς ανωμαλίες, με ανοχή 0,3 mm σε όλο το μήκος του δοκιμίου.
4. Δεν επιτρέπεται η χρήση πρόσθετων υλικών για ενίσχυση ή κατεργασία των άκρων του δοκιμίου.
5. Τα δοκίμια πρέπει να φυλάσσονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μην επηρεάζεται η φυσική τους υγρασία. Συνήθως, ο χρόνος αποθήκευσης δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 30 ημέρες.

10.5. Διαδικασία.

1. Η διάμετρος του δοκιμίου μετρείται συνολικά 6 φορές με ακρίβεια 0,1 mm και υπολογίζεται ο μέσος όρος. Συγκεκριμένα, μετρείται κατά δύο διευθύνσεις που σχηματίζουν γωνία 90^0 μεταξύ τους στο επάνω και κάτω άκρο και στη μέση του δοκιμίου. Η μέση διάμετρος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του

εμβαδού της επιφάνειας φόρτισης. Το ύψος του δοκιμίου μετρείται με ακρίβεια 1,0 mm.

2. Ο ελάχιστος αριθμός δοκιμών που απαιτείται για τη δοκιμή εξαρτάται από την επιθυμητή ακρίβεια των αποτελεσμάτων, τη δυνατότητα προετοιμασίας επαρκούς αριθμού δοκιμών από ένα δείγμα, κλπ. Συνιστάται η δοκιμή τουλάχιστον 5 δοκιμών.

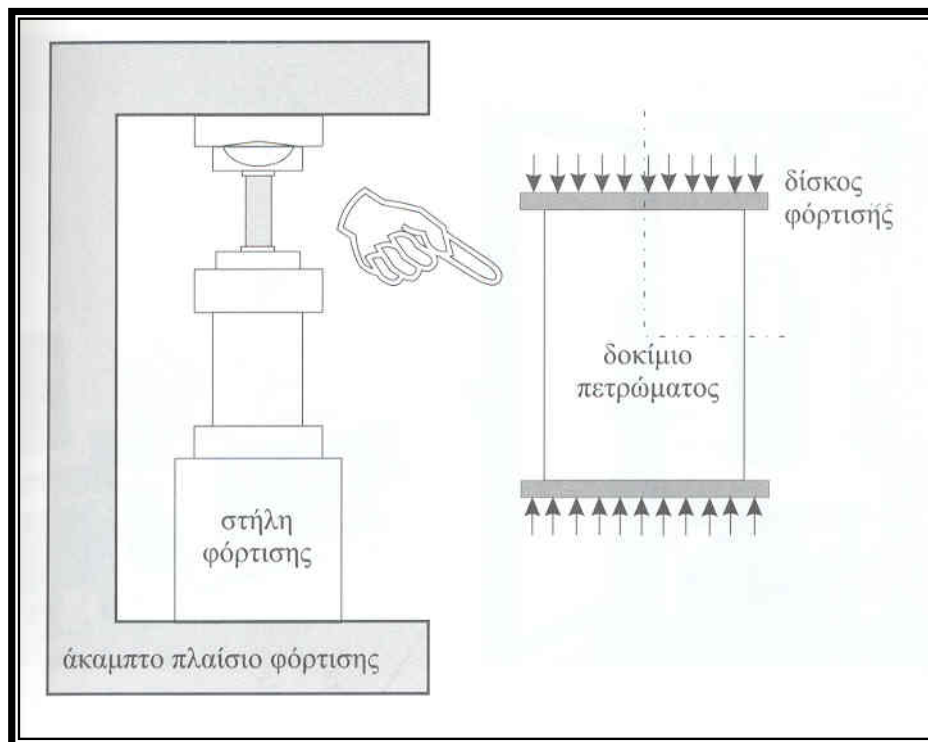
3. Οι σφαιρικές κεφαλές έδρασης πρέπει να λιπανθούν με ελαφρό ορυκτέλαιο.

4. Το φορτίο κατά τη διάρκεια της δοκιμής πρέπει να επιβάλλεται χωρίς διακοπές με σταθερό ρυθμό φόρτισης μεταξύ 0.5 – 1.0 MPa/sec.

5. Το μέγιστο φορτίο πρέπει να καταγράφεται με ακρίβεια 1%.

Στην Εικόνα 10.2. παρουσιάζεται σχηματικό διάγραμμα του συστήματος φόρτισης, ενώ στην εικόνα 10.3. παρουσιάζεται φωτογραφία του συστήματος δοκιμών του Εργαστηρίου Μηχανικής Πετρωμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Στην Εικόνα 10.4. φαίνεται ένα σχηματικό διάγραμμα ενός αυτοματοποιημένου κυκλώματος που χρησιμοποιείται για διάφορες μετρήσεις αντοχής στη Μηχανική των Πετρωμάτων.



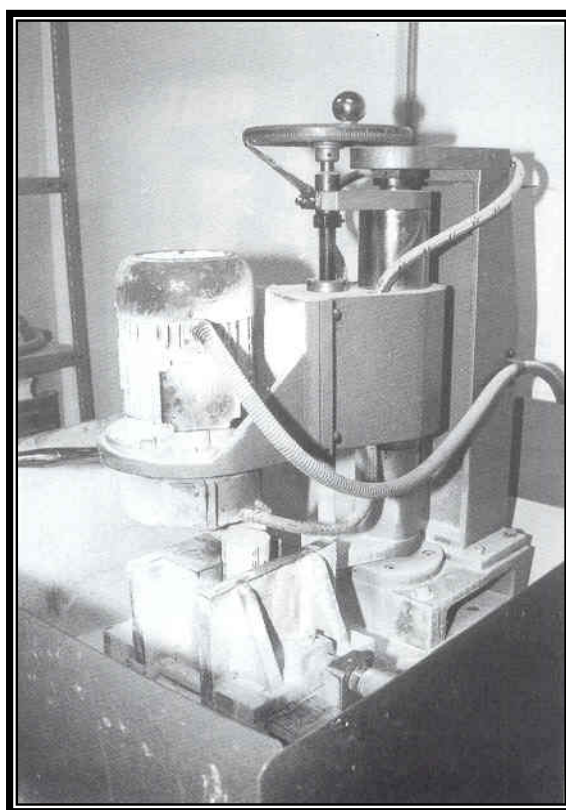
Εικόνα 10.2. Σχηματική παράσταση συσκευής θλιπτικών δοκιμών.



Εικόνα 10.3. Σύστημα θλιπτικών δοκιμών του Εργαστηρίου Μηχανικής Πετρωμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

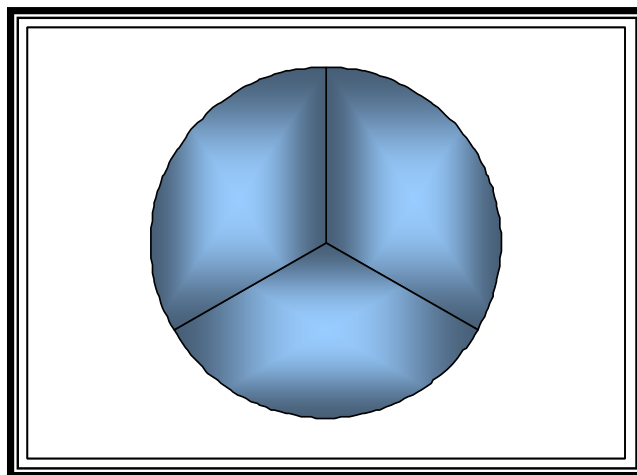
10.6. Παρουσίαση των δοκιμίων που παρασκευάσαμε.

Τα δοκίμια, μετά την ωρίμανση τους και πριν να υποστούν τη δοκιμασία της θραύσης, προετοιμάστηκαν και οδηγήθηκαν στον λειαντήρα για να λειαίνουμε τις δύο επιφάνειές τους, ώστε να είναι όσο πιο επίπεδες γίνεται για την θλιπτική μηχανή (Εικόνα 10.5.).



Εικόνα 10.4. Εργαστηριακός λειαντήρας δοκιμών.

Μετά την λείανσή τους, μετρήσαμε με τη βοήθεια παχύμετρου, τη διάμετρό του κάθε δοκιμίου τρεις φορές, μία στην κορυφή, μία στη μέση, μία στην βάση του δοκιμίου και επίσης τρεις φορές το ύψος του, χωρίζοντας την κυκλική επιφάνεια του δοκιμίου σε τρία ίσα κομμάτια όπως φαίνεται στην Εικόνα 10.6.



Εικόνα 10.5. Διαχωρισμός της επιφάνειας του κυλινδρικού δοκιμίου.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι τιμές που πήραμε για το ύψος και τη διάμετρο του κάθε δοκιμίου. Στον **Πίνακα 10.1.** έχουμε τα αποτελέσματα των τιμών καθώς και τις μέσες τιμές αυτών, για τα δοκίμια που φτιάξαμε με την άπλυτη άμμο και στον **Πίνακα 10.2.** τα αποτελέσματα των τιμών για τα δοκίμια που φτιάξαμε με την πλυμένη άμμο.

Τα γραφήματα των κυλινδρικών δοκιμίων παρουσιάζονται στο παράρτημα, στο τέλος της διπλωματικής εργασίας.

ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΑΠΛΥΤΗΣ ΑΜΜΟΥ		
Α/Α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΥΨΟΣ (cm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (cm)
ΠΡΩΤΟ	H ₁ =11,050	D ₁ =4,660
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ	H ₂ =11,050	D ₂ =4,660
ΔΟΚΙΜΙΟ	H ₂ =11,050	D ₃ =4,700
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ h=11,050	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ d=4,673
ΔΕΥΤΕΡΟ	H ₁ =11,000	D ₁ =4,620
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ	H ₂ =11,000	D ₂ =4,660
ΔΟΚΙΜΙΟ	H ₃ =11,000	D ₃ =4,660
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ h=11,000	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ d=4,647
ΤΡΙΤΟ	H ₁ =11,880	D ₁ =4,680
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ	H ₂ =11,875	D ₂ =4,675
ΔΟΚΙΜΙΟ	H ₃ =11,855	D ₃ =4,675
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ h=11,870	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ d=4,677
ΤΕΤΑΡΤΟ	H ₁ =10,940	D ₁ =4,575
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ	H ₂ =10,940	D ₂ =4,575
ΔΟΚΙΜΙΟ	H ₃ =10,940	D ₃ =4,575
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ h=10,940	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ d=4,575
ΠΕΜΠΤΟ	H ₁ =10,700	D ₁ =4,680
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ	H ₂ =10,725	D ₂ =4,675
ΔΟΚΙΜΙΟ	H ₃ =10,725	D ₃ =4,670
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ h=10,717	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ d=4,675
ΕΚΤΟ	H ₁ =11,025	D ₁ =4,680
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ	H ₂ =11,025	D ₂ =4,680
ΔΟΚΙΜΙΟ	H ₃ =11,025	D ₃ =4,680
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ h=11,025	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ d=4,680

ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΠΛΥΜΕΝΗΣ ΑΜΜΟΥ		
Α/Α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΥΨΟΣ (cm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (cm)
ΠΡΩΤΟ	H ₁ =10,325	D ₁ =4,675
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ	H ₂ =10,000	D ₂ =4,680
ΔΟΚΙΜΙΟ	H ₃ =10,350	D ₃ =4,680
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ h=10,225	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ d=4,678
ΔΕΥΤΕΡΟ	H ₁ =10,900	D ₁ =4,700
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ	H ₂ =10,825	D ₂ =4,675
ΔΟΚΙΜΙΟ	H ₃ =10,830	D ₃ =4,680
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ h=10,852	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ d=4,682
ΤΡΙΤΟ	H ₁ =10,620	D ₁ =4,680
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ	H ₂ =10,600	D ₂ =4,680
ΔΟΚΙΜΙΟ	H ₃ =10,610	D ₃ =4,680
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ h=10,610	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ d=4,680
ΤΕΤΑΡΤΟ	H ₁ =10,950	D ₁ =4,700
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ	H ₂ =10,955	D ₂ =4,700
ΔΟΚΙΜΙΟ	H ₃ =10,960	D ₃ =4,700
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ h=10,955	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ d=4,700
ΠΕΜΠΤΟ	H ₁ =10,850	D ₁ =4,660
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ	H ₂ =10,800	D ₂ =4,660
ΔΟΚΙΜΙΟ	H ₃ =10,800	D ₃ =4,660
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ h=10,817	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ d=4,660
ΕΚΤΟ	H ₁ =10,750	D ₁ =4,700
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ	H ₂ =10,750	D ₂ =4,700
ΔΟΚΙΜΙΟ	H ₃ =10,750	D ₃ =4,700
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ h=10,750	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ d=4,700

10.7. Υπολογισμός αντοχής των κυλινδρικών δοκιμίων.

Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (C_0) υπολογίζεται, σύμφωνα με τη σχέση F_{max}/A , όπου F_{max} είναι το μέγιστο φορτίο (δύναμη) που δέχθηκε το δοκίμιο μέχρι να αστοχήσει και A είναι η επιφάνεια που υπολογίζεται από τη μέση διάμετρο του δοκιμίου.

Συνήθως, τα δοκίμια δεν έχουν την ίδια διάμετρο και το ίδιο ύψος. Επομένως, είναι απαραίτητο, για τη σωστή σύγκριση των τιμών της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη μεταξύ των διαφόρων δοκιμίων, να πάρουμε τις μέσες τιμές της διαμέτρου και του ύψους για κάθε δοκίμιο.

Σύμφωνα, με την σχέση του Protodyakonov (1969), η οποία και είναι :

$$C_2 = C_0 / [(7/8) + [2/(8h/D)]]$$

υπολογίζουμε την αντοχή του κάθε κυλινδρικού δοκιμίου. Χρησιμοποιούμε αυτή τη σχέση, διότι ο λόγος $h/D > 1$. Όπου C_0 είναι η αντοχή που υπολογίζεται για δοκίμιο με λόγο $h/D > 1$ και C_2 η ανηγμένη τιμή.

Γενικά, πάντως, έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι η αντοχή ενός δοκιμίου μειώνεται καθώς αυξάνει το μέγεθός του.

Στον **Πίνακα 10.3.** που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι τιμές θραύσεις των κυλινδρικών δοκιμίων, τα οποία παρασκευάστηκαν με χρήση άπλυτης άμμου και στον **Πίνακα 10.4.** αντίστοιχα, οι τιμές θραύσης των κυλινδρικών δοκιμίων που παρασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας πλυμένη άμμο.

ΑΝΤΟΧΕΣ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΠΛΥΤΗΣ ΑΜΜΟΥ						
ΑΡ.ΔΟΚ.	D (cm)	h (cm)	Fmax (kN)	A (cm ²)	C _o (MPa)	C ₂ (MPa)
1	4,673	11,05	49,4232	179,281	27,6	28,1
2	4,647	11	47,94312	177,459	27,0	27,5
3	4,677	11,87	45,77637	191,491	23,9	24,5
4	4,575	10,94	50,6897	173,588	29,2	29,8
5	4,675	10,717	41,73279	174,477	23,9	24,3
6	4,68	11,025	51,31531	179,207	28,6	29,1
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ :						27,2
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ						2,3

Πίνακας 10.3

ΑΝΤΟΧΕΣ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΠΛΥΜΜΕΝΗΣ ΑΜΜΟΥ						
ΑΡ.ΔΟΚ.	D (cm)	h (cm)	Fmax (kN)	A (cm ²)	C _o (MPa)	C ₂ (MPa)
1	4,678	10,225	53,32947	167,373	31,5	31,8
2	4,682	10,852	53,07007	176,748	30,0	30,5
3	4,68	10,61	45,21179	173,109	26,1	26,5
4	4,7	10,955	52,23084	179,015	29,2	29,7
5	4,66	10,817	54,93164	175,326	31,3	31,8
6	4,7	10,75	51,55945	175,989	29,3	29,8
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ :						30,0
ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛΙΣΗ						2,0

Πίνακας 10.4.

Από τους δύο προηγούμενους πίνακες, συμπεραίνουμε πως τα κυλινδρικά δοκίμια που φτιάξαμε με την πλυμένη άμμο, έχουν μεγαλύτερη αντοχή από αυτά που φτιάξαμε με την άπλυτη άμμο, κάτι το οποίο περιμέναμε να συμβεί εφόσον από την πλυμένη άμμο έχει αφαιρεθεί η παιπάλη, η οποία επιδρά αρνητικά στην αντοχή του σκυροδέματος.

Κεφάλαιο 11

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της εργασίας αυτής, ήταν η μελέτη της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη δοκιμίων σκυροδέματος που παρασκευάσαμε στο εργαστήριο. Μελετήσαμε κυβικά δοκίμια, εκ των οποίων στα μισά αφαιρέσαμε από την άμμο το κλάσμα -10 μ m ενώ στα υπόλοιπα το αφήσαμε ως έχει. Την ίδια διαδικασία ακολουθήσαμε και για κυλινδρικά δοκίμια.

Παράλληλα μελετήσαμε και τις αντοχές δοκιμίων, μεταβάλλοντας τον χρόνο ανάμειξης και τον χρόνο ωρίμανσής τους. Τα αποτελέσματά μας τα παραστήσαμε σε διαγράμματα τόσο για την άπλυτη άμμο όσο και για την πλυμένη.

Από το διαγράμματα αντοχής των σκυροδεμάτων άπλυτης άμμου σε συνάρτηση με τον χρόνο ωρίμανσης των (**Διάγραμμα 9.1.**) παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται ο χρόνος ωρίμανσης τόσο αυξάνεται και η αντοχή του σκυροδέματος, σημειώνοντας τη μέγιστη για την 58^η ημέρα.

Όταν μεταβάλλουμε τον χρόνο ανάμειξης της παρασκευή δοκιμίων από 10 min σε 60 min, διαπιστώνουμε πως η αντοχή του σκυροδέματος αυξάνεται σύμφωνα με το ιστόγραμμα του **Διαγράμματος 9.2.**

Ίδια είναι τα συμπεράσματά μας και για τα δοκίμια της πλυμένης άμμου (**Διάγραμμα 9.3. και Διάγραμμα 9.4.**).

Συγκρίνοντας τα δύο διαφορετικά είδη δοκιμίων, (άπλυτης και πλυμένης άμμου) διαπιστώνουμε πως τα δοκίμια που κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας την πλυμένη άμμο, έχουν αυξημένες αντοχές σε σχέση με αυτά που παρασκευάσαμε χρησιμοποιώντας την άπλυτη άμμο, από την 24^η ημέρα ωρίμανσής τους κι έπειτα (**Διάγραμμα 9.5.**). μέχρι και την 24^η ημέρα, τις καλύτερες αντοχές έχουν τα δοκίμια της άπλυτης άμμου. Σύμφωνα, με τον Κανονισμό Σκυροδέματος, μας ενδιαφέρουν οι αντοχές του σκυροδέματος για την 28^η ημέρα ωρίμανσης, για αυτό κι εμείς συγκρίνουμε και επιμένουμε στις αντοχές των δοκιμίων μας για την συγκεκριμένη ημέρα.

Οπότε παρατηρούμε πως τα δοκίμια της πλυμένης άμμου έχουν μεγαλύτερες αντοχές από τα αντίστοιχα της άπλυτης άμμου.

Όσον αφορά τα κυλινδρικά δοκίμια, καταλήγουμε στα ίδια συμπεράσματα με αυτά των κυβικών δοκιμίων. Σύμφωνα με τους **πίνακες 10.3 και 10.4.** που αναφέρονται στα κυλινδρικά δοκίμια άπλυτης και πλυμένης άμμου, συμπεραίνουμε πως κι εδώ τα δοκίμια που έχουν παρασκευασθεί χρησιμοποιώντας πλυμένη άμμο έχουν μεγαλύτερες αντοχές από αυτά στα οποία χρησιμοποιήσαμε άπλυτη άμμο.

Επομένως, καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η παιπάλη επιδρά αρνητικά στην αντοχή του σκυροδέματος. Μειώνει την αντοχή του, λόγω της υγρασίας που κατακρατεί στους κόκκους της και θα πρέπει να απομακρύνεται από την άμμο που χρησιμοποιούμε για να κάνουμε το σκυρόδεμα. Με την απομάκρυνσή της, έχουμε αυξήσει στις αντοχές του σκυροδέματος και επομένως πιο γερές κατασκευές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

1. Σπυρόπουλος Παναγιώτης, 1970, «Ιδιότητες και συμπεριφορά του σκυροδέματος», (πολιτικός μηχανικός, καθηγητής Α.Π.Θ.)
2. Καραβεζύρογλου Κ. Μαρία, 1993, «Στοιχεία υπολογισμού και διαμόρφωσης ολόσωμων κατασκευών», (αναπληρώτρια καθηγήτρια Α.Π.Θ.)
3. Πενέλης Γ. (καθηγητής Α.Π.Θ.), Στυλιανίδης Κ. (αναπληρωτής καθηγητής Α.Π.Θ.), Κάππος Α. (επίκουρος καθηγητής Α.Π.Θ.), Ιγνατάκης Χ. (λέκτορας Α.Π.Θ.), 1995, «Κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα»
4. Σιμόπουλος Π. Αχ., 1951, «Κατασκευαί εξ απλού και οπλισμένου σκυροδέματος», (πολιτικός μηχανικός, καθηγητής Ε.Μ.Π.)
5. Λιαράκος Ε., Μπούμπα Θ. Κ., Πατέλη Α., 2004, «Θερινή πρακτική άσκηση» (Μηχανικοί Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης)
6. Ράκα Σ., 2005, «Χρήση τεχνικών βελτίωσης της ποιότητας στην αξιολόγηση και ανάπτυξη προϊόντων από την παιπάλη αδρανών υλικών», (μεταπτυχιακή διατριβή, Μηχανικός Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης)
7. Δομικά Υλικά, Wendehorst, (Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης)
8. «Κανονισμός τεχνολογίας σκυροδέματος : υλικά, παρασκευή κι έλεγχος σκυροδέματος», Εφημερίς της κυβερνήσεως
9. Βιάζης Γ. Α., 2000, «Σκυρόδεμα», (Βιβλιοθήκη Α.Π.Θ. τμήματος Πολιτικών Μηχανικών)
10. Ζαράρης Π.Δ., 1980, «Αντοχή θραύσεως πλακοδομών από οπλισμένο σκυρόδεμα επιπονούμενων σε στρέψη-κάμψη», (Κεντρική βιβλιοθήκη ΑΠ.Θ.)
11. «Διεθνείς οδηγίες δια την μελέτην και κατασκευή έργων εκ σκυροδέματος», (Τ.Ε.Ε.)
12. Παπαγιάννη Ι., 1990, «Σημειώσεις τεχνολογίας σκυροδέματος», (Βιβλιοθήκη Α.Π.Θ., τμήμα Πολιτικών Μηχανικών)
13. Χρυσοβελίδου Δ., 2004, «Το νέο Ευρωπαϊκό πρότυπο αδρανών σκυροδέματος EN 12620», (Μηχανικός Μεταλλείων Ε.Μ.Π.)
14. Αγιουτάντης Ζ., 2002, «Στοιχεία γεωμηχανικής - Μηχανική πετρωμάτων», (Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης)

15. Σταμπολιάδης Η., «Εμπλουτισμός μεταλλευμάτων», (Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης)
16. Βιδάκης Ε. & Παπατρέχας Χ. 1998. Για την καταλληλότητα των πετρωμάτων ως αδρανών υλικών ειδικών χρήσεων (αντιολισθηρά υλικά-σκύρα υλικά σιδηροδρομικών γραμμών) στην περιοχή «Ντριμάρι» κοινότητας Καλαμακίου του Ν. Φθιώτιδας. ΙΓΜΕ, Αθήνα .
17. ΕΛΟΤ 408, Σχέδιο Ελληνικού Προτύπου ΕΛΟΤ 408, Θραυστά αδρανή για συνήθη σκυροδέματα.
18. ΕΛΟΤ EN 12620, 2002, Αδρανή για παρασκευή τσιμεντοσκυροδέματος συμπεριλαμβανομένων αυτών που χρησιμοποιούνται σε οδούς και οδοστρώματα.
19. ΕΛΟΤ EN 13242, 2003, Αδρανή για βάσεις και υποβάσεις σταθεροποιημένες ή μη με υδραυλικές κονίες για χρήση σε έργα πολιτικού μηχανικού και την κατασκευή δρόμων.
20. Καζακόπουλος Α. 1992, Ολισθηρότητα οδών και αντιολισθηρών κατασκευών. Συν. ΤΕΕ Κεντρικής Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη.
21. Λοΐζος Α., Πραπίδης Μ., Σταμουλάκης Γ. & Σιαμόπουλος Γ. 1996. Συμβολή για την αξιοποίηση νέων πηγών σκληρών αδρανών στο πλαίσιο της κατασκευής αντιολισθηρών ασφαλικών οδοστρωμάτων, 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ασφαλικών Μιγμάτων και Οδοστρωμάτων.
22. Μουρατίδης Α., Πραπίδης Μ., Παπαβασιλείου & Καζακόπουλος Α., 1998, Σύνταξη οδηγιών χρήσης σκληρών αδρανών για κατασκευή ασφαλτοταπήτων. Προσδιορισμός θέσεων λατομείων σκληρών και μη αδρανών υλικών. Εγνατία Α.Ε., Θεσσαλονίκη.
23. Νικολαΐδης Α., Colwill D., Woodside A. & Lafon J. F. 1999, Αντιολισθηρές στρώσεις για την Εγνατία Οδό Α.Ε. Εγνατία Α.Ε., Θεσσαλονίκη.
24. Νταμπίτζιας Σ., Χρυσοστομίδης Π., Μάλτζαρης Φ., Νυμφόπουλος Μ., Σταϊκόπουλος Γ., Απόστολου Ν., Κουγκούλης Χ. & Ηλιάδης Α., 1999, εντοπισμός και αξιολόγηση των σκληρών αδρανών πετρωμάτων στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας ΠΜΚΜ-ΙΓΜΕ, Θεσσαλονίκη.
25. Νταμπίτζιας Σ., Βεράνης Ν., Χρυσοστομίδης Π., Νυμφόπουλος Μ., Θεοδωρούσης Α., Ηλιάδης Α., Επιτρόπου Ν., Βουγιούκας Δ., Ράσσιου Α., Παλαιόκωστας Γ. & Καραντάση Σ. 2001, Έρευνα λατομικών περιοχών σκληρών αδρανών κατά μήκος της Εγνατίας Οδού. ΠΜΚΜ-ΙΓΜΕ, Θεσσαλονίκη.
26. Νταμπίτζιας Σ., Χρυσοστομίδης Π., Μάλτζαρης Φ. & Καρατάσου Ε., 2003, Σκληρά αδρανή στον Ελληνικό χώρο. Πετρολογικοί τύποι και ορυκτολογικά-

ιστολογικά χαρακτηριστικά. Ημερίδα «Αδρανή πετρώματα και δομικοί λίθοι». Επιτροπή Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας, Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη.

27. Παλαιοκώστας Γ. & Βεράνης Ν. 1998, Πρόδρομη έκθεση για τα σκληρά αδρανή πετρώματα για τους αντισισθηρούς τάπητες και σκύρα σιδηροδρομικής γραμμής. Το κοίτασμα σκληρών αδρανών από βασάλτη-διάβαση στην περιοχή Λυκοπήγαδα Λαγκαδακίων του Ν. Γρεβενών. ΙΓΜΕ-ΠΜΔΜ, Κοζάνη.
28. Εγκυκλοπαίδεια Νέος θησαυρός γνώσεων.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

1. Hubert Rusch, «Οπλισμένον και προεντεταμένον σκυρόδεμα», εκδότης : Μόσχος Γκιούρδας. Ιδιότητες των υλικών και μέθοδοι διαστασιολογήσεως, 1^η γερμανική έκδοση 1973, Μετάφρασις : Δ. Πέντζας, Πολιτικός Μηχανικός.
2. O. Graf, «Η σύνθεσις του κονιάματος και του σκυροδέματος», Εκδόσεις : Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδος, Αθήναι 1934.

Διαδίκτυο

1. <http://papadiotis.8m.com/cgi-bin/ad/inline?page=kat2.html&Rtime=6365>
2. <http://www.teithe.gr/chemistry/matlab/vicat.htm>
3. <http://www.teithe.gr/chemistry/matlab/ask8.htm>
4. <http://www.tee.gr/online/epikaira/2003/2244/pg084a.shtml>
5. <http://papadiotis.8m.com/ekt.htm>
6. http://www.skyrodemanet.gr/Tefxos4/Subject4_8.htm
7. <http://www.teithe.gr/chemistry/matlab/ask1.htm>
8. <http://www.teithe.gr/chemistry/matlab/adran.htm>
9. <http://www.teithe.gr/chemistry/matlab/ask6.htm>
10. <http://www.teithe.gr/chemistry/matlab/ask3.htm>
11. <http://www.teithe.gr/chemistry/matlab/ask5.htm>
12. www.civil.auth.gr
13. <http://www.teithe.gr/chemistry/matlab/ask4.htm>
14. <http://www.teithe.gr/chemistry/matlab/ask2.htm>
15. www.latomiki.gr
16. www.ypodomi.gr
17. www.ekepy.gr
18. www.hcia.gr
19. www.titan.gr
20. www.spitia.gr

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παρακάτω παρατίθενται τα φύλλα εργασίας, από τα οποία κάνουμε τα διαγράμματα διάτασης-φορτίου, για τη θραύση των κυλινδρικών δοκιμίων της άπλυτης και πλυμένης άμμου.

1^ο Δοκίμιο άπλυτης άμμου :

DASYLab - V 3.00.16				
WORKSHEET : SMT1600L				
Recording Date : 27/10/2005, 12:13:40				
Block Length : 1				
Delta : 1.000003 sec.				
Number of Channels : 6				
Time	Displacement (mm)	Force (kN)	Displace	Strain
0,0000	0,3470	0,5951	0,0000	0,0000
1,0000	0,3635	0,8850	0,0165	0,0001
2,0000	0,3473	1,3886	0,0003	0,0000
3,0000	0,3723	2,0599	0,0253	0,0002
4,0000	0,3537	2,8534	0,0067	0,0001
5,0000	0,3534	3,7384	0,0064	0,0001
6,0000	0,3799	4,7607	0,0329	0,0003
7,0000	0,3723	5,7526	0,0253	0,0002
8,0000	0,3806	7,0038	0,0336	0,0003
9,0000	0,3873	8,2855	0,0403	0,0004
10,0000	0,3961	9,9030	0,0491	0,0004
11,0000	0,4019	11,4594	0,0549	0,0005
12,0000	0,4126	13,2751	0,0656	0,0006
13,0000	0,4153	14,9689	0,0683	0,0006
14,0000	0,4358	16,8304	0,0888	0,0008
15,0000	0,4355	18,6005	0,0885	0,0008

16,0000	0,4471	20,4926	0,1001	0,0009
17,0000	0,4419	22,2626	0,0949	0,0009
18,0000	0,4651	24,1852	0,1181	0,0011
19,0000	0,4712	25,8789	0,1242	0,0011
20,0000	0,4822	27,6642	0,1352	0,0012
21,0000	0,5142	29,3427	0,1672	0,0015
22,0000	0,4956	31,0516	0,1486	0,0013
23,0000	0,5078	32,6080	0,1608	0,0015
24,0000	0,5414	34,2255	0,1944	0,0018
25,0000	0,5249	35,6903	0,1779	0,0016
26,0000	0,5273	37,1857	0,1803	0,0016
27,0000	0,5417	38,4979	0,1947	0,0018
28,0000	0,5603	39,7797	0,2133	0,0019
29,0000	0,5573	41,0461	0,2103	0,0019
30,0000	0,5957	42,1448	0,2487	0,0023
31,0000	0,5542	43,2434	0,2072	0,0019
32,0000	0,5991	44,2047	0,2521	0,0023
33,0000	0,6021	45,1813	0,2551	0,0023
34,0000	0,6061	45,9290	0,2591	0,0023
35,0000	0,6155	46,7987	0,2685	0,0024
36,0000	0,6317	47,3938	0,2847	0,0026
37,0000	0,6284	48,0652	0,2814	0,0025
38,0000	0,6644	48,5077	0,3174	0,0029
39,0000	0,6503	48,9807	0,3033	0,0027
40,0000	0,6683	49,1486	0,3213	0,0029
41,0000	0,6931	49,4232	0,3461	0,0031
42,0000	0,7089	49,3164	0,3619	0,0033
43,0000	0,7178	49,2401	0,3708	0,0034
44,0000	0,7117	48,6908	0,3647	0,0033

45,0000	0,7376	47,9736	0,3906	0,0035
46,0000	0,7596	46,4325	0,4126	0,0037
47,0000	0,7416	43,6707	0,3946	0,0036
48,0000	0,7605	40,1764	0,4135	0,0037
49,0000	0,7736	37,7045	0,4266	0,0039
50,0000	0,7834	35,9955	0,4364	0,0039
51,0000	0,7874	34,6527	0,4404	0,0040
52,0000	0,8005	33,4015	0,4535	0,0041
53,0000	0,8377	32,0435	0,4907	0,0044
54,0000	0,8542	30,6549	0,5072	0,0046
55,0000	0,8383	29,1901	0,4913	0,0044
56,0000	0,8749	27,8320	0,5279	0,0048
57,0000	0,8578	26,5656	0,5108	0,0046
58,0000	0,8688	25,3906	0,5218	0,0047
59,0000	0,8951	24,1241	0,5481	0,0050
60,0000	0,9027	23,1323	0,5557	0,0050
61,0000	0,9070	21,9727	0,5600	0,0051
62,0000	0,9180	20,9961	0,5710	0,0052
63,0000	0,9360	20,0653	0,5890	0,0053
64,0000	0,9436	19,3939	0,5966	0,0054
65,0000	0,9521	18,6462	0,6051	0,0055
66,0000	0,9634	18,1122	0,6164	0,0056
67,0000	0,9760	17,4408	0,6290	0,0057
68,0000	1,0138	16,9983	0,6668	0,0060
69,0000	0,9958	16,4185	0,6488	0,0059
70,0000	0,9906	16,0522	0,6436	0,0058
71,0000	1,0162	15,5945	0,6692	0,0061
72,0000	1,0364	15,2740	0,6894	0,0062
73,0000	1,0461	14,9231	0,6991	0,0063

74,0000	1,0538	14,6179	0,7068	0,0064
75,0000	1,0446	14,2670	0,6976	0,0063
76,0000	1,0703	14,0381	0,7233	0,0065
77,0000	1,0861	13,7787	0,7391	0,0067
78,0000	1,0916	13,5345	0,7446	0,0067
79,0000	1,1099	13,2904	0,7629	0,0069
80,0000	1,1386	13,0768	0,7916	0,0072
81,0000	1,1066	12,8937	0,7596	0,0069
82,0000	1,1603	12,7716	0,8133	0,0074
83,0000	1,1438	12,6953	0,7968	0,0072
84,0000	1,1575	12,5732	0,8105	0,0073
85,0000	1,1768	12,5275	0,8298	0,0075
86,0000	1,1807	12,3901	0,8337	0,0075
87,0000	1,2058	12,3749	0,8588	0,0078

2° Δοκίμιο άπλυτης άμμου :

DASYLab - V 3.00.16

WORKSHEET : SMT1600L

Recording Date : 27/10/2005, 12:17:08

Block Length : 1

Delta : 1.000003 sec.

Number of Channels : 6

Time	Displacement (mm)	Force (kN)	Displace	Strain
0,0000	0,8340	0,4120	0,0000	0,0000
1,0000	0,8853	0,6409	0,0513	0,0005
2,0000	0,8655	1,0681	0,0315	0,0003
3,0000	0,8804	1,7090	0,0464	0,0004
4,0000	0,8881	2,3651	0,0541	0,0005
5,0000	0,8963	3,0518	0,0623	0,0006

6,0000	0,9116	3,8757	0,0776	0,0007
7,0000	0,9433	4,7913	0,1093	0,0010
8,0000	0,9332	5,9357	0,0992	0,0009
9,0000	0,9323	7,0953	0,0983	0,0009
10,0000	0,9506	8,4686	0,1166	0,0011
11,0000	0,9555	9,8572	0,1215	0,0011
12,0000	0,9729	11,4899	0,1389	0,0013
13,0000	0,9705	13,0768	0,1365	0,0012
14,0000	1,0071	14,8010	0,1731	0,0016
15,0000	1,0120	16,4795	0,1780	0,0016
16,0000	0,9973	18,3258	0,1633	0,0015
17,0000	1,0107	19,9890	0,1767	0,0016
18,0000	1,0168	21,8811	0,1828	0,0017
19,0000	1,0257	23,5901	0,1917	0,0017
20,0000	1,0400	25,4059	0,2060	0,0019
21,0000	1,0492	27,0386	0,2152	0,0020
22,0000	1,0513	28,7781	0,2173	0,0020
23,0000	1,0898	30,3802	0,2558	0,0023
24,0000	1,1014	31,9672	0,2674	0,0024
25,0000	1,0822	33,4778	0,2482	0,0023
26,0000	1,1017	35,0037	0,2677	0,0024
27,0000	1,1035	36,4075	0,2695	0,0025
28,0000	1,1072	37,7197	0,2732	0,0025
29,0000	1,1227	39,0015	0,2887	0,0026
30,0000	1,1414	40,2222	0,3074	0,0028
31,0000	1,1435	41,3666	0,3095	0,0028
32,0000	1,1526	42,4042	0,3186	0,0029
33,0000	1,1673	43,3960	0,3333	0,0030
34,0000	1,1780	44,1742	0,3440	0,0031

35,0000	1,1862	45,1050	0,3522	0,0032
36,0000	1,1899	45,7459	0,3559	0,0032
37,0000	1,2094	46,4630	0,3754	0,0034
38,0000	1,2115	46,8750	0,3775	0,0034
39,0000	1,2335	47,3785	0,3995	0,0036
40,0000	1,2317	47,5464	0,3977	0,0036
41,0000	1,2506	47,8973	0,4166	0,0038
42,0000	1,2561	47,8668	0,4221	0,0038
43,0000	1,2701	47,9431	0,4361	0,0040
44,0000	1,2735	47,6990	0,4395	0,0040
45,0000	1,2970	47,5616	0,4630	0,0042
46,0000	1,3052	47,0886	0,4712	0,0043
47,0000	1,3242	46,6156	0,4902	0,0045
48,0000	1,3556	45,9290	0,5216	0,0047
49,0000	1,3483	45,2423	0,5143	0,0047
50,0000	1,3596	44,3115	0,5256	0,0048
51,0000	1,3699	43,3044	0,5359	0,0049
52,0000	1,3818	42,1448	0,5478	0,0050
53,0000	1,3931	40,8325	0,5591	0,0051
54,0000	1,3998	39,5050	0,5658	0,0051
55,0000	1,4304	38,0554	0,5964	0,0054
56,0000	1,4456	36,5295	0,6116	0,0056
57,0000	1,4713	34,9731	0,6373	0,0058
58,0000	1,4679	33,5541	0,6339	0,0058
59,0000	1,4719	32,0587	0,6379	0,0058
60,0000	1,4844	30,8685	0,6504	0,0059
61,0000	1,5076	29,8157	0,6736	0,0061
62,0000	1,5244	29,0375	0,6904	0,0063
63,0000	1,5280	28,1219	0,6940	0,0063

64,0000	1,5430	27,3285	0,7090	0,0064
65,0000	1,5524	26,4587	0,7184	0,0065
66,0000	1,5726	25,7416	0,7386	0,0067
67,0000	1,5771	24,8413	0,7431	0,0068
68,0000	1,5833	24,2157	0,7493	0,0068

3^ο Δοκίμιο άπλυτης άμμου :

DASYLab - V 3.00.16				
WORKSHEET : SMT1600L				
Recording Date : 27/10/2005, 12:20:11				
Block Length : 1				
Delta : 1.000003 sec.				
Number of Channels : 6				
Time	Displacement (mm)	Force (kN)	Displace	Strain
0,0000	2,2125	0,6714	0,0000	0,0000
1,0000	2,2269	0,7782	0,0144	0,0001
2,0000	2,2549	1,0376	0,0424	0,0004
3,0000	2,2495	1,3428	0,0370	0,0003
4,0000	2,2522	1,7548	0,0397	0,0003
5,0000	2,2632	2,2278	0,0507	0,0004
6,0000	2,2617	2,7161	0,0492	0,0004
7,0000	2,2736	3,4027	0,0611	0,0005
8,0000	2,3154	4,0741	0,1029	0,0009
9,0000	2,3264	4,8370	0,1139	0,0010
10,0000	2,3038	5,7068	0,0913	0,0008
11,0000	2,3196	6,7444	0,1071	0,0009
12,0000	2,3270	7,7972	0,1145	0,0010
13,0000	2,3352	9,0332	0,1227	0,0010
14,0000	2,3471	10,3455	0,1346	0,0011

15,0000	2,3727	11,8408	0,1602	0,0013
16,0000	2,3633	13,2599	0,1508	0,0013
17,0000	2,3660	14,8621	0,1535	0,0013
18,0000	2,3788	16,3879	0,1663	0,0014
19,0000	2,4054	18,1122	0,1929	0,0016
20,0000	2,3999	19,6838	0,1874	0,0016
21,0000	2,4023	21,4386	0,1898	0,0016
22,0000	2,4161	23,1018	0,2036	0,0017
23,0000	2,4255	24,8718	0,2130	0,0018
24,0000	2,4539	26,4893	0,2414	0,0020
25,0000	2,4384	28,1830	0,2259	0,0019
26,0000	2,4558	29,7394	0,2433	0,0020
27,0000	2,4338	31,3110	0,2213	0,0019
28,0000	2,4692	32,7759	0,2567	0,0022
29,0000	2,5031	34,2560	0,2906	0,0024
30,0000	2,4677	35,6598	0,2552	0,0021
31,0000	2,5247	37,0331	0,3122	0,0026
32,0000	2,5089	38,3301	0,2964	0,0025
33,0000	2,5378	39,4897	0,3253	0,0027
34,0000	2,5497	40,6647	0,3372	0,0028
35,0000	2,5610	41,7023	0,3485	0,0029
36,0000	2,5458	42,7551	0,3333	0,0028
37,0000	2,5327	43,5486	0,3202	0,0027
38,0000	2,5748	44,4641	0,3623	0,0031
39,0000	2,5809	45,0134	0,3684	0,0031
40,0000	2,5766	45,5780	0,3641	0,0031
41,0000	2,5900	45,7306	0,3775	0,0032
42,0000	2,6300	45,7764	0,4175	0,0035
43,0000	2,5992	45,2728	0,3867	0,0033
44,0000	2,6538	44,6625	0,4413	0,0037

45,0000	2,6382	44,0063	0,4257	0,0036
46,0000	2,6303	43,6401	0,4178	0,0035
47,0000	2,6694	43,2281	0,4569	0,0038
48,0000	2,6813	42,9077	0,4688	0,0039
49,0000	2,6935	42,4042	0,4810	0,0041
50,0000	2,7139	41,8549	0,5014	0,0042
51,0000	2,7097	41,1530	0,4972	0,0042
52,0000	2,7258	40,4205	0,5133	0,0043
53,0000	2,7264	39,4745	0,5139	0,0043
54,0000	2,7432	38,2233	0,5307	0,0045
55,0000	2,7570	36,8500	0,5445	0,0046
56,0000	2,7740	35,2325	0,5615	0,0047
57,0000	2,7786	32,9742	0,5661	0,0048
58,0000	2,8073	30,7922	0,5948	0,0050
59,0000	2,8128	29,2053	0,6003	0,0051
60,0000	2,8232	27,8625	0,6107	0,0051
61,0000	2,8381	26,7639	0,6256	0,0053
62,0000	2,8522	25,5280	0,6397	0,0054
63,0000	2,8781	24,4293	0,6656	0,0056

4° Δοκίμιο άπλυτης άμμου :

DASYLab - V 3.00.16				
WORKSHEET : SMT1600L				
Recording Date : 27/10/2005, 12:22:41				
Block Length : 1				
Delta : 1.000003 sec.				
Number of Channels : 6				
Time	Displacement (mm)	Force (kN)	Displace	Strain
0,0000	1,6397	0,7324	0,0000	0,0000

1,0000	1,6504	0,9155	0,0107	0,0001
2,0000	1,6614	1,2207	0,0217	0,0002
3,0000	1,6565	1,5106	0,0168	0,0002
4,0000	1,6776	1,9531	0,0378	0,0003
5,0000	1,6858	2,3956	0,0461	0,0004
6,0000	1,6919	2,9907	0,0522	0,0005
7,0000	1,7078	3,5858	0,0681	0,0006
8,0000	1,7389	4,3793	0,0992	0,0009
9,0000	1,7236	5,1880	0,0839	0,0008
10,0000	1,7294	6,2103	0,0897	0,0008
11,0000	1,7413	7,2479	0,1016	0,0009
12,0000	1,7493	8,6060	0,1096	0,0010
13,0000	1,7639	9,9182	0,1242	0,0011
14,0000	1,7654	11,4594	0,1257	0,0011
15,0000	1,7740	12,9547	0,1343	0,0012
16,0000	1,7831	14,6637	0,1434	0,0013
17,0000	1,7770	16,3422	0,1373	0,0013
18,0000	1,7892	18,1427	0,1495	0,0014
19,0000	1,8265	19,8822	0,1868	0,0017
20,0000	1,8311	21,6522	0,1913	0,0017
21,0000	1,8454	23,3612	0,2057	0,0019
22,0000	1,8268	25,0702	0,1871	0,0017
23,0000	1,8463	26,8097	0,2066	0,0019
24,0000	1,8478	28,4882	0,2081	0,0019
25,0000	1,8604	30,1666	0,2206	0,0020
26,0000	1,8649	31,7078	0,2252	0,0021
27,0000	1,8726	33,3099	0,2329	0,0021
28,0000	1,9052	34,7137	0,2655	0,0024
29,0000	1,8909	36,2396	0,2512	0,0023

30,0000	1,8811	37,5519	0,2414	0,0022
31,0000	1,9144	38,9709	0,2747	0,0025
32,0000	1,9269	40,1306	0,2872	0,0026
33,0000	1,9360	41,3513	0,2963	0,0027
34,0000	1,9418	42,3584	0,3021	0,0028
35,0000	1,9553	43,5181	0,3156	0,0029
36,0000	1,9348	44,4489	0,2951	0,0027
37,0000	1,9708	45,4712	0,3311	0,0030
38,0000	1,9748	46,2189	0,3351	0,0031
39,0000	1,9830	47,0886	0,3433	0,0031
40,0000	1,9946	47,8058	0,3549	0,0032
41,0000	1,9797	48,4619	0,3400	0,0031
42,0000	2,0224	48,9960	0,3827	0,0035
43,0000	2,0255	49,5911	0,3857	0,0035
44,0000	2,0383	49,9878	0,3986	0,0036
45,0000	2,0502	50,3387	0,4105	0,0038
46,0000	2,0593	50,6287	0,4196	0,0038
47,0000	2,0679	50,6897	0,4282	0,0039
48,0000	2,0901	50,4913	0,4504	0,0041
49,0000	2,1100	49,4537	0,4703	0,0043
50,0000	2,1030	46,4478	0,4633	0,0042
51,0000	2,1228	42,2974	0,4831	0,0044
52,0000	2,1433	39,5050	0,5035	0,0046
53,0000	2,1191	37,3383	0,4794	0,0044
54,0000	2,1570	35,4767	0,5173	0,0047
55,0000	2,1744	33,7830	0,5347	0,0049
56,0000	2,1802	32,6538	0,5405	0,0049
57,0000	2,1951	31,6010	0,5554	0,0051
58,0000	2,2119	30,6854	0,5722	0,0052

59,0000	2,2250	29,6478	0,5853	0,0054
60,0000	2,2299	28,9307	0,5902	0,0054
61,0000	2,2418	28,2135	0,6021	0,0055
62,0000	2,2562	27,7252	0,6165	0,0056
63,0000	2,2818	27,1149	0,6421	0,0059
64,0000	2,2726	26,6876	0,6329	0,0058
65,0000	2,2870	26,1841	0,6473	0,0059
66,0000	2,3160	25,8026	0,6763	0,0062
67,0000	2,2995	25,1617	0,6598	0,0060

5° Δοκίμιο άπλυτης άμμου :

DASYLab - V 3.00.16 WORKSHEET : SMT1600L Recording Date : 27/10/2005, 12:25:01 Block Length : 1 Delta : 1.000003 sec. Number of Channels : 6				
Time	Displacement (mm)	Force (kN)	Displace	Strain
0,0000	3,8782	0,3357	0,0000	0,0000
1,0000	3,9447	0,5035	0,0665	0,0006
2,0000	3,9426	0,6561	0,0644	0,0006
3,0000	3,9853	0,7629	0,1071	0,0010
4,0000	3,9783	1,0223	0,1001	0,0009
5,0000	3,9816	1,1902	0,1035	0,0010
6,0000	3,9880	1,5411	0,1099	0,0010
7,0000	4,0118	1,9226	0,1337	0,0012
8,0000	3,9957	2,4109	0,1175	0,0011
9,0000	3,9944	2,9144	0,1163	0,0011

10,0000	4,0079	3,6621	0,1297	0,0012
11,0000	4,0091	4,2877	0,1309	0,0012
12,0000	4,0201	5,2338	0,1419	0,0013
13,0000	4,0497	6,1493	0,1715	0,0016
14,0000	4,0329	7,3547	0,1547	0,0014
15,0000	4,0466	8,5754	0,1685	0,0016
16,0000	4,0247	10,0555	0,1465	0,0014
17,0000	4,0549	11,4746	0,1767	0,0016
18,0000	4,0854	13,0463	0,2072	0,0019
19,0000	4,0820	14,6332	0,2039	0,0019
20,0000	4,0881	16,2659	0,2100	0,0020
21,0000	4,0967	17,9291	0,2185	0,0020
22,0000	4,0744	19,5770	0,1962	0,0018
23,0000	4,1058	21,1945	0,2277	0,0021
24,0000	4,1437	22,8271	0,2655	0,0025
25,0000	4,1199	24,4141	0,2417	0,0023
26,0000	4,1083	25,9247	0,2301	0,0021
27,0000	4,1437	27,5116	0,2655	0,0025
28,0000	4,1541	28,9307	0,2759	0,0026
29,0000	4,1595	30,3802	0,2814	0,0026
30,0000	4,1663	31,6620	0,2881	0,0027
31,0000	4,1745	32,9895	0,2963	0,0028
32,0000	4,1919	34,1492	0,3137	0,0029
33,0000	4,2191	35,3394	0,3409	0,0032
34,0000	4,2093	36,3007	0,3311	0,0031
35,0000	4,2160	37,3993	0,3378	0,0032
36,0000	4,2230	38,1927	0,3448	0,0032
37,0000	4,2325	39,0930	0,3543	0,0033
38,0000	4,2416	39,7644	0,3635	0,0034

39,0000	4,2514	40,3900	0,3732	0,0035
40,0000	4,2545	40,8325	0,3763	0,0035
41,0000	4,2719	41,3055	0,3937	0,0037
42,0000	4,2847	41,5497	0,4065	0,0038
43,0000	4,3027	41,7023	0,4245	0,0040
44,0000	4,3057	41,7328	0,4276	0,0040
45,0000	4,3127	41,6565	0,4346	0,0041
46,0000	4,3283	41,4429	0,4501	0,0042
47,0000	4,3591	41,0614	0,4810	0,0045
48,0000	4,3439	40,6342	0,4657	0,0043
49,0000	4,3475	40,0696	0,4694	0,0044
50,0000	4,3613	39,4287	0,4831	0,0045
51,0000	4,3787	38,6658	0,5005	0,0047
52,0000	4,4104	37,7655	0,5322	0,0050
53,0000	4,3976	36,5601	0,5194	0,0048
54,0000	4,4022	35,4462	0,5240	0,0049
55,0000	4,4141	34,1187	0,5359	0,0050
56,0000	4,4232	33,0200	0,5450	0,0051
57,0000	4,4412	31,7841	0,5630	0,0053
58,0000	4,4455	30,8380	0,5673	0,0053
59,0000	4,4504	29,6936	0,5722	0,0053
60,0000	4,4641	28,8544	0,5859	0,0055
61,0000	4,4836	27,8625	0,6055	0,0056
62,0000	4,5053	27,0844	0,6271	0,0059
63,0000	4,5023	26,1841	0,6241	0,0058
64,0000	4,5053	25,5127	0,6271	0,0059
65,0000	4,5154	24,6429	0,6372	0,0059

6° Δοκίμιο άπλυτης άμμου :

DASYLab - V 3.00.16 WORKSHEET : SMT1600L Recording Date : 27/10/2005, 12:27:24 Block Length : 1 Delta : 1.000003 sec. Number of Channels : 6				
Time	Displacement (mm)	Force (kN)	Displace	Strain
0,0000	1,2473	0,6866	0,0000	0,0000
1,0000	1,2585	0,8087	0,0113	0,0001
2,0000	1,2421	1,1444	-0,0052	0,0000
3,0000	1,2531	1,3886	0,0058	0,0001
4,0000	1,2833	1,8463	0,0360	0,0003
5,0000	1,2717	2,2736	0,0244	0,0002
6,0000	1,2775	2,8839	0,0302	0,0003
7,0000	1,2839	3,5858	0,0366	0,0003
8,0000	1,2958	4,4250	0,0485	0,0004
9,0000	1,3275	5,3864	0,0803	0,0007
10,0000	1,3095	6,5155	0,0623	0,0006
11,0000	1,3144	7,7209	0,0671	0,0006
12,0000	1,3272	9,1553	0,0800	0,0007
13,0000	1,3327	10,6201	0,0855	0,0008
14,0000	1,3171	12,1765	0,0699	0,0006
15,0000	1,3501	13,8550	0,1028	0,0009
16,0000	1,3556	15,5640	0,1083	0,0010
17,0000	1,3623	17,3187	0,1151	0,0010
18,0000	1,3721	19,0430	0,1248	0,0011
19,0000	1,3898	20,8893	0,1425	0,0013
20,0000	1,4102	22,5677	0,1630	0,0015

21,0000	1,3992	24,4141	0,1520	0,0014
22,0000	1,4154	26,0925	0,1682	0,0015
23,0000	1,4224	27,8778	0,1752	0,0016
24,0000	1,4548	29,4342	0,2075	0,0019
25,0000	1,4331	31,1279	0,1859	0,0017
26,0000	1,4212	32,6538	0,1740	0,0016
27,0000	1,4621	34,3323	0,2148	0,0019
28,0000	1,4713	35,6750	0,2240	0,0020
29,0000	1,4688	37,1704	0,2216	0,0020
30,0000	1,4825	38,4979	0,2353	0,0021
31,0000	1,4917	39,8407	0,2444	0,0022
32,0000	1,5027	41,0309	0,2554	0,0023
33,0000	1,5073	42,2211	0,2600	0,0024
34,0000	1,5192	43,2892	0,2719	0,0025
35,0000	1,5356	44,3573	0,2884	0,0026
36,0000	1,5613	45,3033	0,3140	0,0028
37,0000	1,5543	46,2036	0,3070	0,0028
38,0000	1,5619	47,0428	0,3146	0,0029
39,0000	1,5921	47,7600	0,3448	0,0031
40,0000	1,5936	48,5229	0,3464	0,0031
41,0000	1,5860	49,0723	0,3387	0,0031
42,0000	1,5823	49,6979	0,3351	0,0030
43,0000	1,6113	50,0793	0,3641	0,0033
44,0000	1,6174	50,5219	0,3702	0,0034
45,0000	1,6269	50,7813	0,3796	0,0034
46,0000	1,6379	51,1169	0,3906	0,0035
47,0000	1,6623	51,1627	0,4150	0,0038
48,0000	1,6605	51,3153	0,4132	0,0037
49,0000	1,6623	51,2695	0,4150	0,0038

50,0000	1,6757	51,2695	0,4285	0,0039
51,0000	1,6779	50,9491	0,4306	0,0039
52,0000	1,6934	50,7355	0,4462	0,0040
53,0000	1,7102	50,2014	0,4630	0,0042
54,0000	1,7090	49,6521	0,4617	0,0042
55,0000	1,7499	48,7518	0,5026	0,0046
56,0000	1,7300	47,8973	0,4828	0,0044
57,0000	1,7407	46,8292	0,4935	0,0045
58,0000	1,7822	45,8069	0,5350	0,0049
59,0000	1,7633	44,6014	0,5161	0,0047
60,0000	1,7813	43,4418	0,5341	0,0048
61,0000	1,7920	42,2058	0,5447	0,0049
62,0000	1,7963	40,6494	0,5490	0,0050
63,0000	1,8134	38,8336	0,5661	0,0051
64,0000	1,8118	36,8652	0,5646	0,0051
65,0000	1,8301	34,6527	0,5829	0,0053
66,0000	1,8463	30,9753	0,5991	0,0054
67,0000	1,8674	26,1688	0,6201	0,0056
68,0000	1,8716	23,0103	0,6244	0,0057

1^ο Δοκίμιο πλυμμένης άμμου :

DASYLab - V 3.00.16				
WORKSHEET : SMT1600L				
Recording Date : 27/10/2005, 11:56:22				
Block Length : 1				
Delta : 1.000003 sec.				
Number of Channels : 6				
Time	Displacement (mm)	Force	Displace	Strain

		(kN)		
0,0000	0,0729	0,3510	0,0000	0,0000
1,0000	0,0827	0,5493	0,0098	0,0001
2,0000	0,0983	0,7477	0,0253	0,0002
3,0000	0,1047	1,0223	0,0317	0,0003
4,0000	0,1117	1,2512	0,0388	0,0004
5,0000	0,1233	1,6022	0,0504	0,0005
6,0000	0,1117	1,8616	0,0388	0,0004
7,0000	0,1334	2,3346	0,0604	0,0006
8,0000	0,1437	2,8076	0,0708	0,0007
9,0000	0,1419	3,4943	0,0690	0,0007
10,0000	0,1312	4,2114	0,0583	0,0006
11,0000	0,1587	5,0659	0,0858	0,0008
12,0000	0,1624	6,0272	0,0894	0,0009
13,0000	0,1691	7,0801	0,0961	0,0009
14,0000	0,1807	8,3008	0,1077	0,0011
15,0000	0,1810	9,6130	0,1080	0,0011
16,0000	0,2002	11,0474	0,1273	0,0012
17,0000	0,1959	12,5580	0,1230	0,0012
18,0000	0,2054	14,2670	0,1324	0,0013
19,0000	0,2142	15,9454	0,1413	0,0014
20,0000	0,2179	17,7612	0,1450	0,0014
21,0000	0,2457	19,5313	0,1727	0,0017
22,0000	0,2408	21,4996	0,1678	0,0016
23,0000	0,2560	23,2544	0,1831	0,0018
24,0000	0,2667	25,1465	0,1938	0,0019
25,0000	0,2805	26,9165	0,2075	0,0020
26,0000	0,2478	28,8391	0,1749	0,0017
27,0000	0,2835	30,5328	0,2106	0,0021

28,0000	0,3119	32,3181	0,2390	0,0023
29,0000	0,3012	33,9813	0,2283	0,0022
30,0000	0,3043	35,6750	0,2313	0,0023
31,0000	0,3198	37,2467	0,2469	0,0024
32,0000	0,3583	38,8184	0,2853	0,0028
33,0000	0,3403	40,3290	0,2673	0,0026
34,0000	0,3561	41,7480	0,2832	0,0028
35,0000	0,3833	43,1061	0,3104	0,0030
36,0000	0,3607	44,3726	0,2878	0,0028
37,0000	0,3748	45,6238	0,3018	0,0030
38,0000	0,3720	46,7834	0,2991	0,0029
39,0000	0,4245	47,8210	0,3516	0,0034
40,0000	0,3809	48,7671	0,3079	0,0030
41,0000	0,4163	49,7437	0,3433	0,0034
42,0000	0,4419	50,4608	0,3690	0,0036
43,0000	0,4269	51,2695	0,3540	0,0035
44,0000	0,4413	51,8646	0,3683	0,0036
45,0000	0,4453	52,4750	0,3723	0,0036
46,0000	0,4489	52,7802	0,3760	0,0037
47,0000	0,4633	53,1464	0,3903	0,0038
48,0000	0,4764	53,2074	0,4034	0,0039
49,0000	0,4922	53,3295	0,4193	0,0041
50,0000	0,4974	53,1006	0,4245	0,0042
51,0000	0,5231	52,9022	0,4501	0,0044
52,0000	0,5170	52,4597	0,4440	0,0043
53,0000	0,5444	51,9409	0,4715	0,0046
54,0000	0,5374	51,1475	0,4645	0,0045
55,0000	0,5469	50,4150	0,4739	0,0046
56,0000	0,5679	49,3927	0,4950	0,0048

57,0000	0,5746	48,2025	0,5017	0,0049
58,0000	0,5811	46,7834	0,5081	0,0050
59,0000	0,6216	45,1508	0,5487	0,0054
60,0000	0,6006	43,1061	0,5276	0,0052
61,0000	0,6201	40,6799	0,5472	0,0054
62,0000	0,6253	38,1012	0,5524	0,0054
63,0000	0,6656	35,5988	0,5927	0,0058
64,0000	0,6406	33,2794	0,5676	0,0056
65,0000	0,6540	31,3416	0,5811	0,0057
66,0000	0,6641	29,9225	0,5911	0,0058
67,0000	0,6854	28,5797	0,6125	0,0060
68,0000	0,6839	27,4506	0,6110	0,0060
69,0000	0,7196	26,1078	0,6467	0,0063
70,0000	0,7138	24,9481	0,6409	0,0063
71,0000	0,7483	23,7579	0,6754	0,0066
72,0000	0,7495	22,8119	0,6766	0,0066
73,0000	0,7724	21,6675	0,6995	0,0068
74,0000	0,7544	20,5994	0,6815	0,0067
75,0000	0,7599	19,4550	0,6870	0,0067

2° Δοκίμιο πλυμμένης άμμου :

DASYLab - V 3.00.16				
WORKSHEET : SMT1600L				
Recording Date : 27/10/2005, 12:00:02				
Block Length : 1				
Delta : 1.000003 sec.				
Number of Channels : 6				
Time	Displacement (mm)	Force	Displace	Strain

		(kN)		
0,0000	1,7926	0,3204	0,0000	0,0000
1,0000	1,7996	0,5035	0,0070	0,0001
2,0000	1,8375	0,7172	0,0449	0,0004
3,0000	1,7957	1,1292	0,0031	0,0000
4,0000	1,8216	1,4801	0,0290	0,0003
5,0000	1,8448	1,9989	0,0522	0,0005
6,0000	1,8524	2,4872	0,0598	0,0006
7,0000	1,8564	3,1433	0,0638	0,0006
8,0000	1,8637	3,8147	0,0711	0,0007
9,0000	1,8634	4,6082	0,0708	0,0007
10,0000	1,8887	5,5237	0,0961	0,0009
11,0000	1,9025	6,5155	0,1099	0,0010
12,0000	1,9339	7,5836	0,1413	0,0013
13,0000	1,9321	8,8654	0,1395	0,0013
14,0000	1,9324	10,2386	0,1398	0,0013
15,0000	1,9302	11,7493	0,1376	0,0013
16,0000	1,9449	13,3209	0,1523	0,0014
17,0000	1,9562	14,9841	0,1636	0,0015
18,0000	1,9772	16,6931	0,1846	0,0017
19,0000	1,9702	18,4021	0,1776	0,0016
20,0000	1,9769	20,2637	0,1843	0,0017
21,0000	1,9812	22,0032	0,1886	0,0017
22,0000	2,0020	23,9563	0,2094	0,0019
23,0000	2,0172	25,6348	0,2246	0,0021
24,0000	2,0203	27,5726	0,2277	0,0021
25,0000	2,0251	29,1901	0,2325	0,0021
26,0000	2,0093	31,0211	0,2167	0,0020
27,0000	2,0416	32,7606	0,2490	0,0023

28,0000	2,0557	34,4849	0,2631	0,0024
29,0000	2,0657	36,0565	0,2731	0,0025
30,0000	2,0898	37,6434	0,2972	0,0027
31,0000	2,0804	39,0472	0,2878	0,0027
32,0000	2,0703	40,6952	0,2777	0,0026
33,0000	2,1359	42,0532	0,3433	0,0032
34,0000	2,1155	43,4113	0,3229	0,0030
35,0000	2,1268	44,6014	0,3342	0,0031
36,0000	2,1552	45,8527	0,3625	0,0033
37,0000	2,1686	47,0276	0,3760	0,0035
38,0000	2,1570	48,0804	0,3644	0,0034
39,0000	2,1628	49,1180	0,3702	0,0034
40,0000	2,1426	49,9268	0,3500	0,0032
41,0000	2,1860	50,8270	0,3934	0,0036
42,0000	2,2061	51,5442	0,4135	0,0038
43,0000	2,2336	52,2766	0,4410	0,0041
44,0000	2,2128	52,7496	0,4202	0,0039
45,0000	2,2314	53,0701	0,4388	0,0040
46,0000	2,2415	53,0243	0,4489	0,0041
47,0000	2,2495	52,8717	0,4568	0,0042
48,0000	2,2720	52,5208	0,4794	0,0044
49,0000	2,2739	52,1851	0,4813	0,0044
50,0000	2,2977	51,3763	0,5051	0,0047
51,0000	2,3071	50,3845	0,5145	0,0047
52,0000	2,3257	48,3856	0,5331	0,0049
53,0000	2,3364	46,0205	0,5438	0,0050
54,0000	2,3495	42,8009	0,5569	0,0051
55,0000	2,3779	38,9557	0,5853	0,0054
56,0000	2,3938	33,9355	0,6012	0,0055

57,0000	2,4039	31,1432	0,6113	0,0056
58,0000	2,4194	29,7699	0,6268	0,0058
59,0000	2,4316	29,0527	0,6390	0,0059
60,0000	2,4402	28,5492	0,6476	0,0060
61,0000	2,4597	28,0609	0,6671	0,0061
62,0000	2,4725	27,5726	0,6799	0,0063
63,0000	2,4783	26,9165	0,6857	0,0063
64,0000	2,4945	26,0468	0,7019	0,0065
65,0000	2,5122	24,9786	0,7196	0,0066
66,0000	2,5061	23,0713	0,7135	0,0066

3° Δοκίμιο πλυμμένης άμμου :

DASYLab - V 3.00.16 WORKSHEET : SMT1600L Recording Date : 27/10/2005, 12:02:42 Block Length : 1 Delta : 1.000003 sec. Number of Channels : 6				
Time	Displacement (mm)	Force (kN)	Displace	Strain
0,0000	4,8056	0,4272	0,0000	0,0000
1,0000	4,8068	0,4883	0,0012	0,0000
2,0000	4,8251	0,7629	0,0195	0,0002
3,0000	4,8349	1,0986	0,0293	0,0003
4,0000	4,8471	1,4954	0,0415	0,0004
5,0000	4,8459	1,9531	0,0403	0,0004
6,0000	4,8764	2,4109	0,0708	0,0007
7,0000	4,8615	2,9449	0,0558	0,0005
8,0000	4,9036	3,4485	0,0980	0,0009

9,0000	4,9155	4,0588	0,1099	0,0010
10,0000	4,8947	4,7302	0,0891	0,0008
11,0000	4,9005	5,5084	0,0949	0,0009
12,0000	4,9136	6,2714	0,1080	0,0010
13,0000	4,9222	7,2327	0,1166	0,0011
14,0000	4,9353	8,1940	0,1297	0,0012
15,0000	4,9716	9,5062	0,1660	0,0016
16,0000	4,9808	10,7117	0,1752	0,0017
17,0000	4,9594	12,2681	0,1538	0,0014
18,0000	4,9774	13,6108	0,1718	0,0016
19,0000	4,9774	15,3351	0,1718	0,0016
20,0000	5,0168	16,8457	0,2112	0,0020
21,0000	5,0290	18,6005	0,2234	0,0021
22,0000	5,0119	20,3400	0,2063	0,0019
23,0000	5,0159	22,1100	0,2103	0,0020
24,0000	5,0317	23,8647	0,2261	0,0021
25,0000	5,0397	25,5737	0,2341	0,0022
26,0000	5,0558	27,2675	0,2502	0,0024
27,0000	5,0519	29,0833	0,2463	0,0023
28,0000	5,0626	30,6702	0,2570	0,0024
29,0000	5,0766	32,1960	0,2710	0,0026
30,0000	5,0861	33,4320	0,2805	0,0026
31,0000	5,1038	34,7290	0,2982	0,0028
32,0000	5,1019	36,0260	0,2963	0,0028
33,0000	5,1132	37,1552	0,3076	0,0029
34,0000	5,1297	38,4369	0,3241	0,0031
35,0000	5,1294	39,3372	0,3238	0,0031
36,0000	5,1508	40,4511	0,3452	0,0033
37,0000	5,1639	41,2598	0,3583	0,0034

38,0000	5,1721	42,3126	0,3665	0,0035
39,0000	5,1886	42,9688	0,3830	0,0036
40,0000	5,1965	43,5791	0,3909	0,0037
41,0000	5,1999	44,0979	0,3943	0,0037
42,0000	5,2167	44,5709	0,4111	0,0039
43,0000	5,2304	44,8456	0,4248	0,0040
44,0000	5,2643	45,2118	0,4587	0,0043
45,0000	5,2820	45,1202	0,4764	0,0045
46,0000	5,2689	45,1355	0,4633	0,0044
47,0000	5,2841	44,7235	0,4785	0,0045
48,0000	5,2927	44,4489	0,4871	0,0046
49,0000	5,3156	43,9148	0,5099	0,0048
50,0000	5,3305	43,1976	0,5249	0,0049
51,0000	5,3342	42,3126	0,5286	0,0050
52,0000	5,3467	41,0004	0,5411	0,0051
53,0000	5,3665	39,8865	0,5609	0,0053
54,0000	5,3802	38,8641	0,5746	0,0054
55,0000	5,4004	38,2843	0,5948	0,0056
56,0000	5,4019	37,9028	0,5963	0,0056
57,0000	5,4144	37,5061	0,6088	0,0057
58,0000	5,4251	36,9263	0,6195	0,0058
59,0000	5,4480	35,9955	0,6424	0,0061
60,0000	5,4727	35,2020	0,6671	0,0063
61,0000	5,4416	34,6222	0,6360	0,0060
62,0000	5,5118	33,8135	0,7062	0,0067
63,0000	5,4935	33,1268	0,6879	0,0065
64,0000	5,5112	32,2418	0,7056	0,0067
65,0000	5,5078	31,7993	0,7022	0,0066
66,0000	5,5261	31,1890	0,7205	0,0068

67,0000	5,5389	30,7617	0,7333	0,0069
68,0000	5,5359	30,1971	0,7303	0,0069
69,0000	5,5600	29,7394	0,7544	0,0071
70,0000	5,5695	29,1595	0,7639	0,0072
71,0000	5,5756	28,6407	0,7700	0,0073
72,0000	5,5902	28,1372	0,7846	0,0074
73,0000	5,5927	27,7100	0,7870	0,0074
74,0000	5,6216	27,0538	0,8160	0,0077
75,0000	5,6134	26,5503	0,8078	0,0076
76,0000	5,6525	25,8942	0,8469	0,0080
77,0000	5,6415	25,4211	0,8359	0,0079
78,0000	5,6525	24,8261	0,8469	0,0080
79,0000	5,6857	24,3835	0,8801	0,0083
80,0000	5,6967	23,9563	0,8911	0,0084
81,0000	5,6760	23,4528	0,8704	0,0082
82,0000	5,7144	23,1476	0,9088	0,0086
83,0000	5,7007	22,7356	0,8951	0,0084
84,0000	5,7236	22,4457	0,9180	0,0087
85,0000	5,7214	22,0490	0,9158	0,0086

4^ο Δοκίμιο πλυμμένης άμμου :

DASYLab - V 3.00.16 WORKSHEET : SMT1600L Recording Date : 27/10/2005, 12:05:37 Block Length : 1 Delta : 1.000003 sec. Number of Channels : 6				
Time	Displacement (mm)	Force (kN)	Displace	Strain

0,0000	1,4078	0,4272	0,0000	0,0000
1,0000	1,4114	0,5341	0,0037	0,0000
2,0000	1,4429	0,6866	0,0351	0,0003
3,0000	1,4362	0,9003	0,0284	0,0003
4,0000	1,4444	1,1139	0,0366	0,0003
5,0000	1,4465	1,4191	0,0388	0,0004
6,0000	1,4841	1,7700	0,0763	0,0007
7,0000	1,4633	2,2278	0,0555	0,0005
8,0000	1,5060	2,6093	0,0983	0,0009
9,0000	1,5134	3,2196	0,1056	0,0010
10,0000	1,4938	3,7384	0,0861	0,0008
11,0000	1,5277	4,4861	0,1199	0,0011
12,0000	1,5311	5,1727	0,1233	0,0011
13,0000	1,5262	6,0425	0,1184	0,0011
14,0000	1,5402	6,8665	0,1324	0,0012
15,0000	1,5411	7,9346	0,1334	0,0012
16,0000	1,5567	9,0179	0,1489	0,0014
17,0000	1,5582	10,2997	0,1505	0,0014
18,0000	1,5710	11,6272	0,1633	0,0015
19,0000	1,5897	13,1378	0,1819	0,0017
20,0000	1,6064	14,6332	0,1987	0,0018
21,0000	1,6129	16,3422	0,2051	0,0019
22,0000	1,6086	18,0817	0,2008	0,0018
23,0000	1,6141	19,9127	0,2063	0,0019
24,0000	1,6159	21,6675	0,2081	0,0019
25,0000	1,6287	23,4833	0,2209	0,0020
26,0000	1,6394	25,2991	0,2316	0,0021
27,0000	1,6492	27,1149	0,2414	0,0022
28,0000	1,6577	28,9764	0,2499	0,0023

29,0000	1,6669	30,7007	0,2591	0,0024
30,0000	1,7029	32,4097	0,2951	0,0027
31,0000	1,6763	34,0424	0,2686	0,0025
32,0000	1,6818	35,8124	0,2740	0,0025
33,0000	1,6946	37,3688	0,2869	0,0026
34,0000	1,7218	38,9862	0,3140	0,0029
35,0000	1,7120	40,3137	0,3043	0,0028
36,0000	1,7303	41,8243	0,3226	0,0029
37,0000	1,7325	43,0603	0,3247	0,0030
38,0000	1,7499	44,4794	0,3421	0,0031
39,0000	1,7523	45,5322	0,3445	0,0031
40,0000	1,7676	46,6919	0,3598	0,0033
41,0000	1,7804	47,6685	0,3726	0,0034
42,0000	1,8005	48,6908	0,3928	0,0036
43,0000	1,7859	49,4537	0,3781	0,0035
44,0000	1,8353	50,3235	0,4276	0,0039
45,0000	1,8179	50,9338	0,4102	0,0037
46,0000	1,8234	51,4832	0,4156	0,0038
47,0000	1,8384	51,8036	0,4306	0,0039
48,0000	1,8610	52,0477	0,4532	0,0041
49,0000	1,8777	52,2308	0,4700	0,0043
50,0000	1,8634	52,2156	0,4556	0,0042
51,0000	1,8988	51,9714	0,4910	0,0045
52,0000	1,9077	51,3763	0,4999	0,0046
53,0000	1,8973	50,5371	0,4895	0,0045
54,0000	1,9177	48,3704	0,5099	0,0047
55,0000	1,9244	45,7153	0,5167	0,0047
56,0000	1,9385	43,8080	0,5307	0,0048
57,0000	1,9461	42,4500	0,5383	0,0049

58,0000	1,9626	41,1224	0,5548	0,0051
59,0000	1,9714	39,9933	0,5637	0,0051
60,0000	1,9720	38,9252	0,5643	0,0052
61,0000	1,9882	37,9944	0,5804	0,0053
62,0000	1,9839	37,0178	0,5762	0,0053
63,0000	2,0117	36,2854	0,6039	0,0055
64,0000	1,9937	35,3851	0,5859	0,0053
65,0000	2,0221	34,7443	0,6143	0,0056
66,0000	2,0560	34,0424	0,6482	0,0059
67,0000	2,0456	33,4778	0,6378	0,0058
68,0000	2,0630	32,8064	0,6552	0,0060
69,0000	2,0694	32,0129	0,6616	0,0060
70,0000	2,0862	30,9906	0,6784	0,0062
71,0000	2,1002	29,9988	0,6924	0,0063
72,0000	2,1280	28,8086	0,7202	0,0066
73,0000	2,1149	27,6642	0,7071	0,0065
74,0000	2,1542	26,4130	0,7465	0,0068
75,0000	2,1683	24,9176	0,7605	0,0069
76,0000	2,1545	22,8424	0,7468	0,0068

5° Δοκίμιο πλυμμένης άμμου :

DASYLab - V 3.00.16	
WORKSHEET	: SMT1600L
Recording Date	: 27/10/2005, 12:08:28
Block Length	: 1

Delta : 1.000003 sec.				
Number of Channels : 6				
Time	Displacement (mm)	Force (kN)	Displace	Strain
0,0000	2,9343	0,7477	0,0000	0,0000
1,0000	2,9449	1,0071	0,0107	0,0001
2,0000	2,9703	1,5717	0,0360	0,0003
3,0000	2,9492	2,0905	0,0150	0,0001
4,0000	2,9651	2,9297	0,0308	0,0003
5,0000	2,9803	3,7994	0,0461	0,0004
6,0000	2,9800	4,8218	0,0458	0,0004
7,0000	2,9883	5,9662	0,0540	0,0005
8,0000	3,0286	7,3395	0,0943	0,0009
9,0000	3,0139	8,7585	0,0797	0,0007
10,0000	3,0240	10,3912	0,0897	0,0008
11,0000	3,0240	12,1002	0,0897	0,0008
12,0000	3,0338	13,8855	0,0995	0,0009
13,0000	3,0487	15,6403	0,1144	0,0011
14,0000	3,0490	17,4408	0,1147	0,0011
15,0000	3,0566	19,3024	0,1224	0,0011
16,0000	3,0728	21,1334	0,1386	0,0013
17,0000	3,1070	23,1018	0,1727	0,0016
18,0000	3,0923	24,9939	0,1581	0,0015
19,0000	3,1003	26,9623	0,1660	0,0015
20,0000	3,1223	28,6102	0,1880	0,0017
21,0000	3,1119	30,5176	0,1776	0,0016
22,0000	3,1332	32,2571	0,1990	0,0018
23,0000	3,1512	34,0881	0,2170	0,0020
24,0000	3,1424	35,6750	0,2081	0,0019

25,0000	3,1451	37,3993	0,2109	0,0019
26,0000	3,1555	38,8794	0,2213	0,0020
27,0000	3,1656	40,5121	0,2313	0,0021
28,0000	3,1805	41,9312	0,2463	0,0023
29,0000	3,1833	43,4265	0,2490	0,0023
30,0000	3,1934	44,6167	0,2591	0,0024
31,0000	3,2343	45,9290	0,3000	0,0028
32,0000	3,2419	47,0734	0,3076	0,0028
33,0000	3,2239	48,3093	0,2896	0,0027
34,0000	3,2602	49,3164	0,3259	0,0030
35,0000	3,2669	50,2625	0,3326	0,0031
36,0000	3,2498	51,1322	0,3156	0,0029
37,0000	3,2907	51,9104	0,3564	0,0033
38,0000	3,2468	52,7191	0,3125	0,0029
39,0000	3,3142	53,3142	0,3799	0,0035
40,0000	3,2956	53,8330	0,3613	0,0033
41,0000	3,3017	54,3518	0,3674	0,0034
42,0000	3,3145	54,6722	0,3802	0,0035
43,0000	3,3163	54,8706	0,3821	0,0035
44,0000	3,3426	54,9316	0,4083	0,0038
45,0000	3,3514	54,8401	0,4172	0,0039
46,0000	3,3273	54,6875	0,3931	0,0036
47,0000	3,3682	54,0924	0,4340	0,0040
48,0000	3,3743	53,6499	0,4401	0,0041
49,0000	3,3939	52,8107	0,4596	0,0042
50,0000	3,4259	52,1088	0,4916	0,0045
51,0000	3,4103	50,9033	0,4761	0,0044
52,0000	3,3994	49,5758	0,4651	0,0043
53,0000	3,4323	47,6227	0,4980	0,0046

54,0000	3,4732	44,7998	0,5389	0,0050
55,0000	3,4796	41,2598	0,5453	0,0050
56,0000	3,4677	38,5437	0,5334	0,0049
57,0000	3,4799	36,4838	0,5457	0,0050
58,0000	3,4891	34,9426	0,5548	0,0051
59,0000	3,5049	33,2031	0,5707	0,0053
60,0000	3,5327	31,9366	0,5985	0,0055
61,0000	3,5547	30,9296	0,6204	0,0057
62,0000	3,5367	30,2277	0,6024	0,0056
63,0000	3,5571	29,4952	0,6229	0,0058
64,0000	3,5687	28,8239	0,6345	0,0059
65,0000	3,5757	28,3508	0,6415	0,0059
66,0000	3,5815	27,7557	0,6473	0,0060
67,0000	3,6179	27,1912	0,6836	0,0063
68,0000	3,6014	26,5198	0,6671	0,0062
69,0000	3,6218	25,9247	0,6876	0,0064
70,0000	3,6279	25,5432	0,6937	0,0064
71,0000	3,6432	25,3143	0,7089	0,0066
72,0000	3,6765	24,9786	0,7422	0,0069
73,0000	3,6642	24,8413	0,7300	0,0067
74,0000	3,6786	24,4598	0,7443	0,0069
75,0000	3,6932	24,2767	0,7590	0,0070
76,0000	3,7003	23,8190	0,7660	0,0071
77,0000	3,7125	23,5138	0,7782	0,0072

6° Δοκίμιο πλυμμένης άμμου :

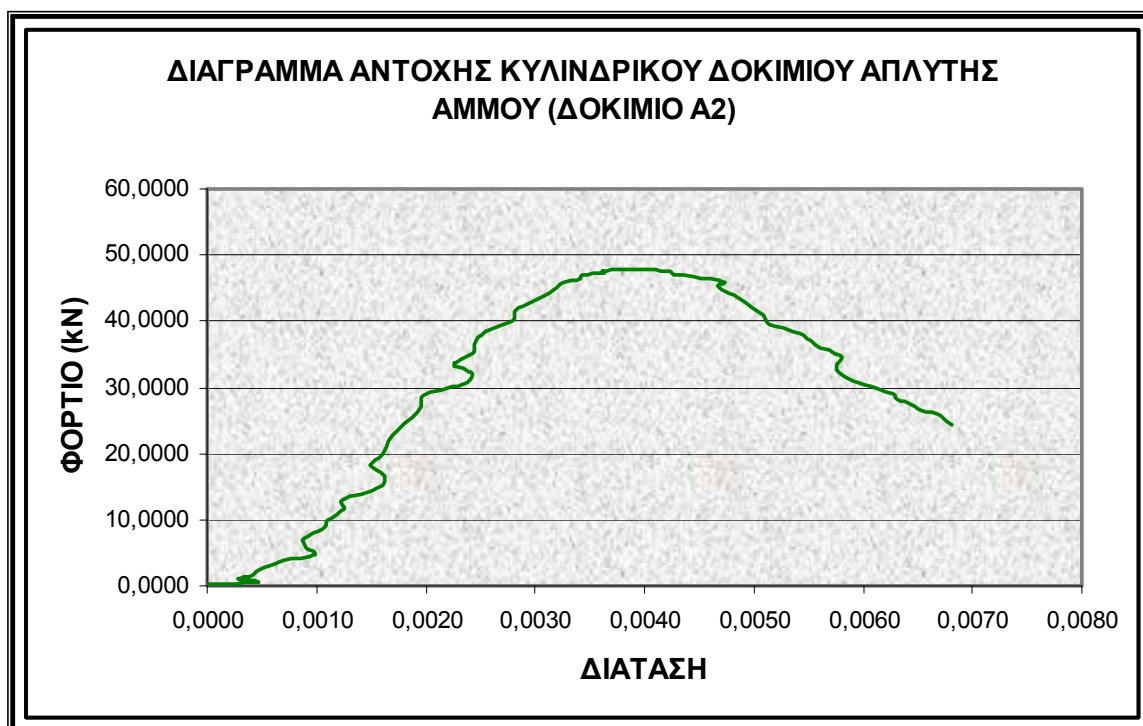
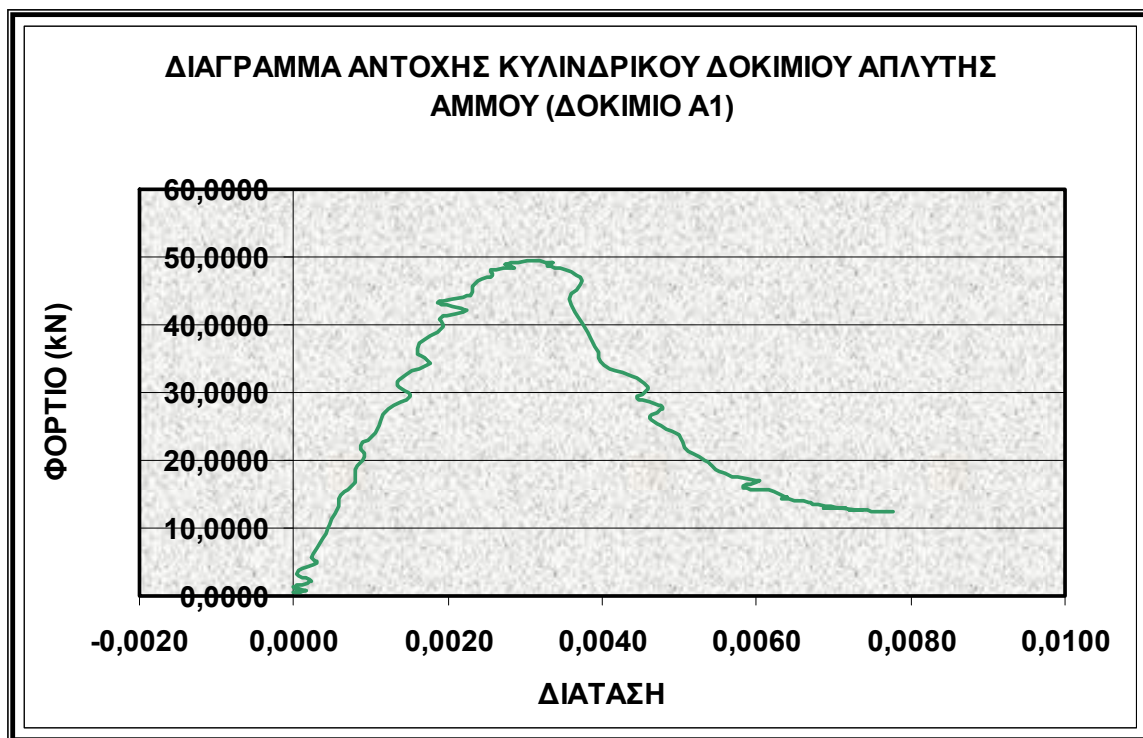
DASYLab - V 3.00.16	
WORKSHEET	: SMT1600L
Recording Date	: 27/10/2005, 12:11:16

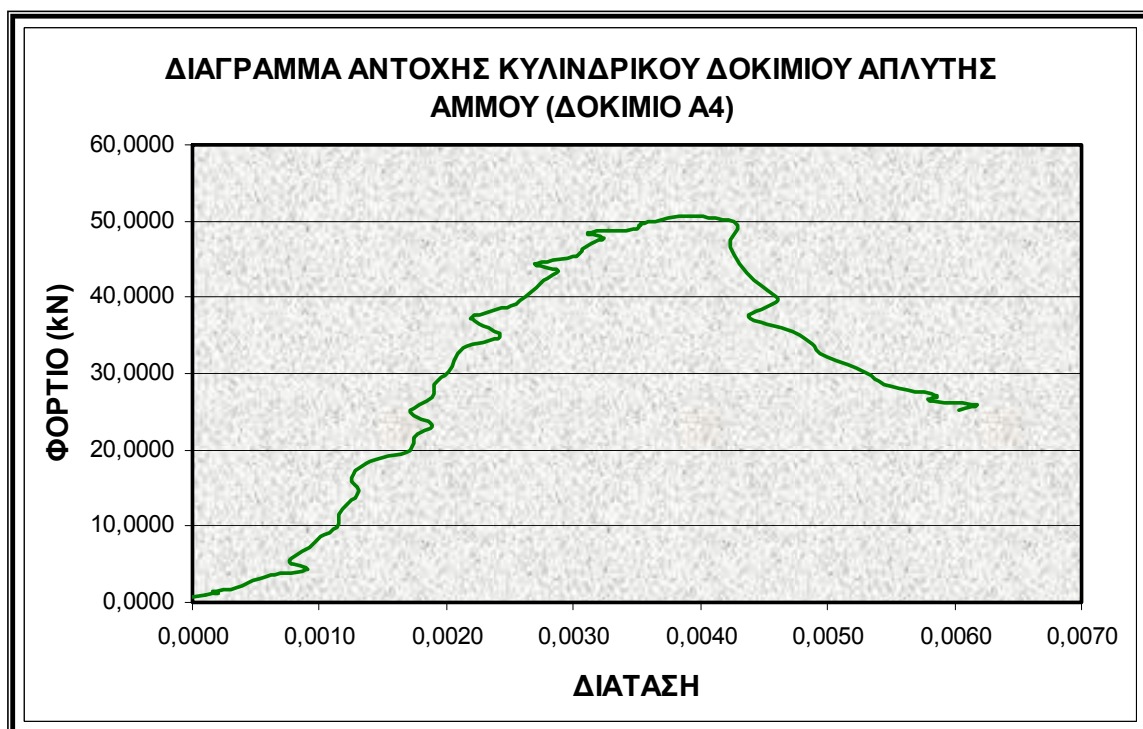
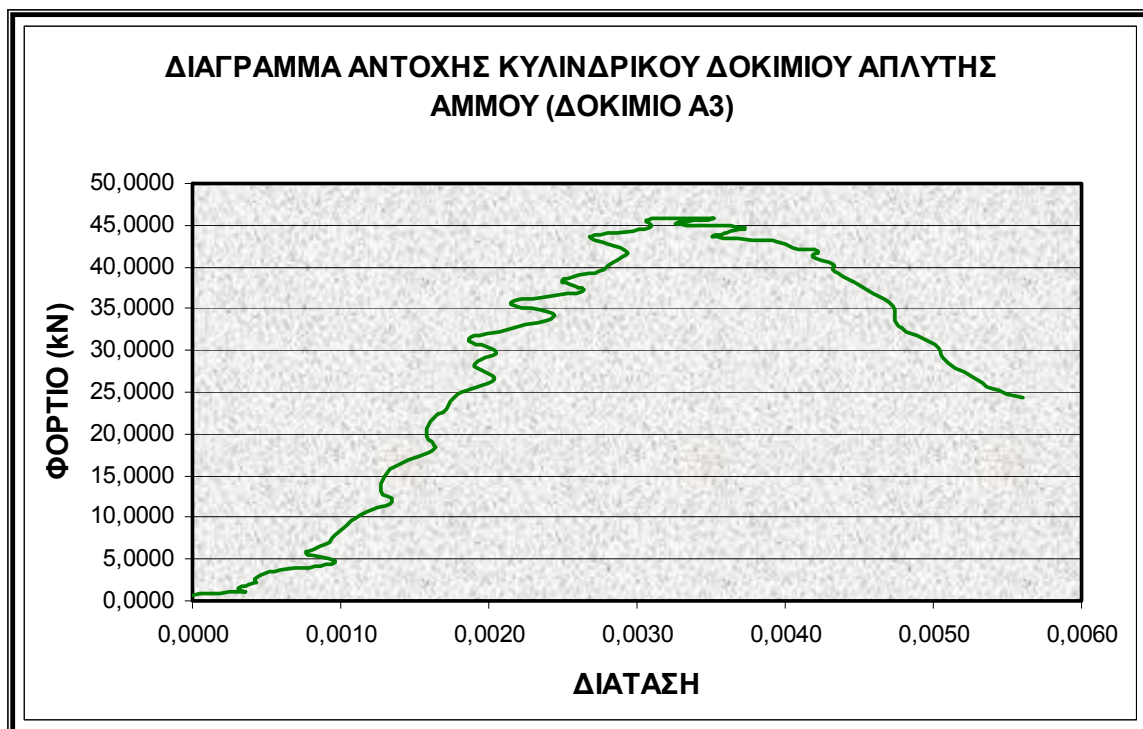
Block Length : 1				
Delta : 1.000003 sec.				
Number of Channels : 6				
Time	Displacement (mm)	Force (kN)	Displace	Strain
0,0000	3,9658	0,7477	0,0000	0,0000
1,0000	3,9655	0,9155	-0,0003	0,0000
2,0000	4,0009	1,3733	0,0351	0,0003
3,0000	3,9963	1,6937	0,0305	0,0003
4,0000	3,9905	2,2430	0,0247	0,0002
5,0000	4,0219	2,7313	0,0562	0,0005
6,0000	3,9734	3,4637	0,0076	0,0001
7,0000	4,0347	4,1809	0,0690	0,0006
8,0000	4,0207	5,1270	0,0549	0,0005
9,0000	4,0158	6,0883	0,0500	0,0005
10,0000	4,0256	7,2174	0,0598	0,0006
11,0000	4,0338	8,3466	0,0681	0,0006
12,0000	4,0323	9,7046	0,0665	0,0006
13,0000	4,0631	11,0931	0,0974	0,0009
14,0000	4,0741	12,6343	0,1083	0,0010
15,0000	4,0634	14,2212	0,0977	0,0009
16,0000	4,0491	15,9149	0,0833	0,0008
17,0000	4,0866	17,6392	0,1209	0,0011
18,0000	4,0839	19,4397	0,1181	0,0011
19,0000	4,1254	21,1792	0,1596	0,0015
20,0000	4,1113	22,9187	0,1456	0,0014
21,0000	4,1144	24,8566	0,1486	0,0014
22,0000	4,1306	26,6418	0,1648	0,0015
23,0000	4,1583	28,4576	0,1926	0,0018

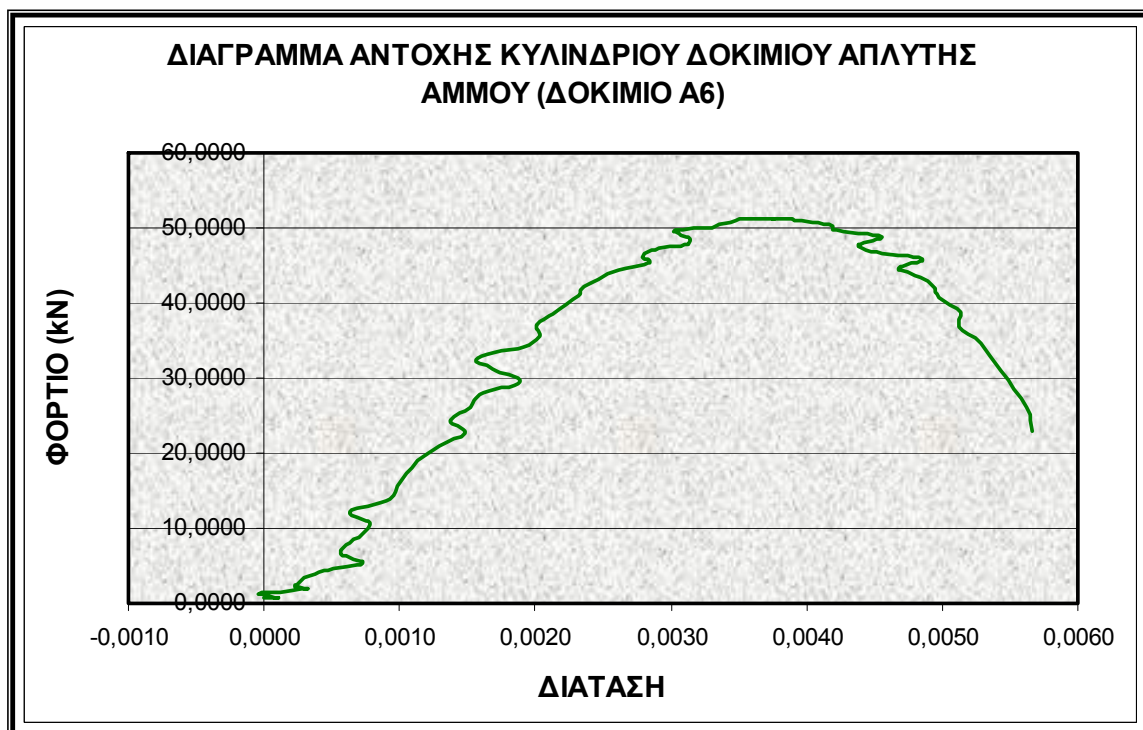
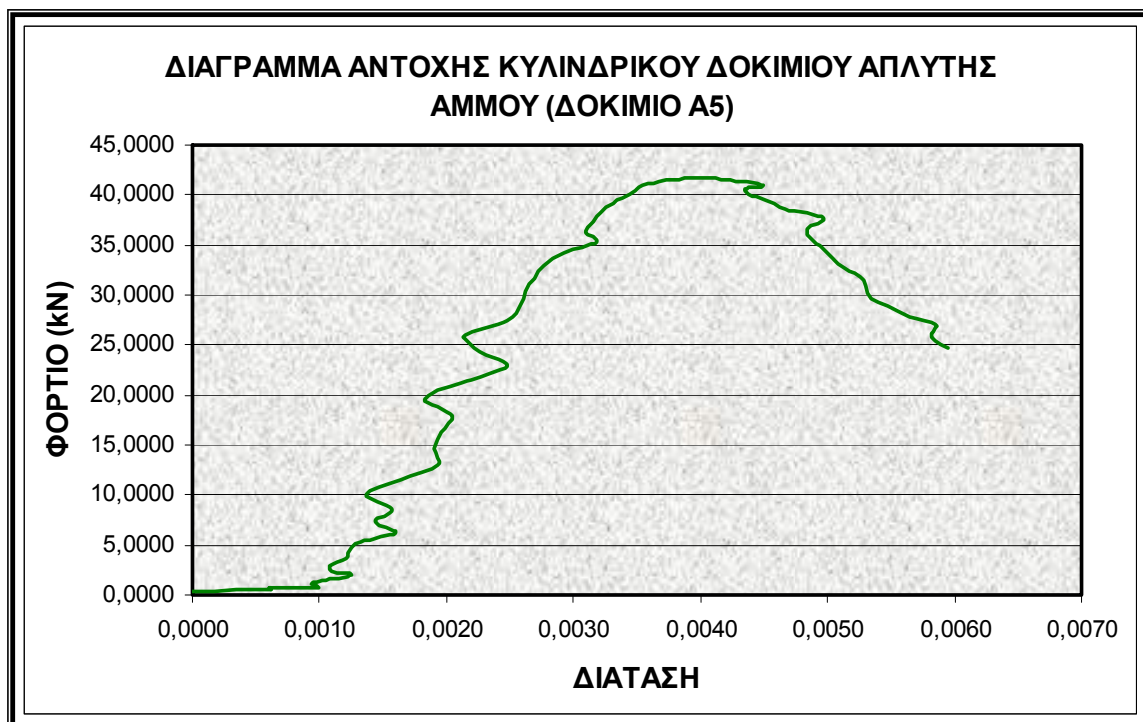
24,0000	4,1479	30,1666	0,1822	0,0017
25,0000	4,1562	31,9366	0,1904	0,0018
26,0000	4,1815	33,5693	0,2158	0,0020
27,0000	4,1644	35,2325	0,1987	0,0018
28,0000	4,1772	36,7737	0,2115	0,0020
29,0000	4,1849	38,3453	0,2191	0,0020
30,0000	4,1895	39,7491	0,2237	0,0021
31,0000	4,2111	41,2598	0,2454	0,0023
32,0000	4,2130	42,5262	0,2472	0,0023
33,0000	4,2264	43,8385	0,2606	0,0024
34,0000	4,2535	44,9982	0,2878	0,0027
35,0000	4,2416	46,2036	0,2759	0,0026
36,0000	4,2422	47,1497	0,2765	0,0026
37,0000	4,2487	48,2178	0,2829	0,0026
38,0000	4,2694	49,0265	0,3037	0,0028
39,0000	4,2731	49,8505	0,3073	0,0029
40,0000	4,2758	50,5371	0,3101	0,0029
41,0000	4,2899	51,1932	0,3241	0,0030
42,0000	4,2841	51,5594	0,3183	0,0030
43,0000	4,3011	51,5137	0,3354	0,0031
44,0000	4,3106	51,1780	0,3448	0,0032
45,0000	4,3048	50,7507	0,3391	0,0032
46,0000	4,3094	50,4456	0,3436	0,0032
47,0000	4,3423	49,9878	0,3766	0,0035
48,0000	4,3246	49,6063	0,3589	0,0033
49,0000	4,3439	49,1028	0,3781	0,0035
50,0000	4,3399	48,7213	0,3741	0,0035
51,0000	4,3600	48,2788	0,3943	0,0037
52,0000	4,3506	47,9279	0,3848	0,0036

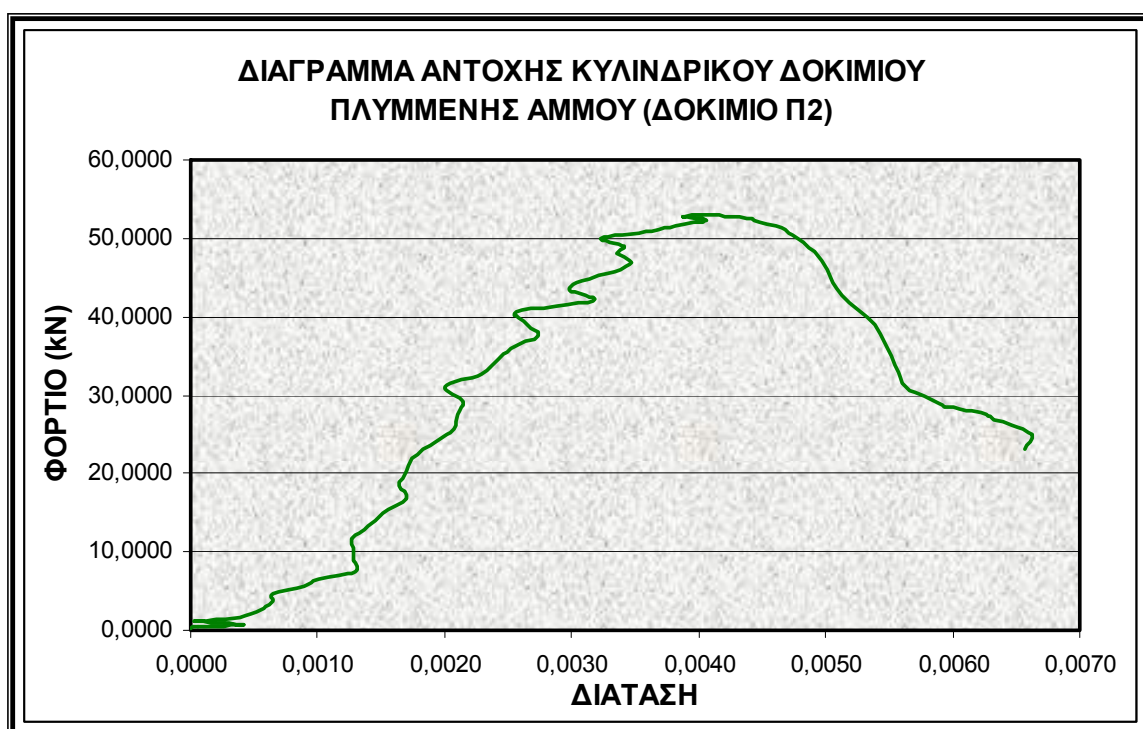
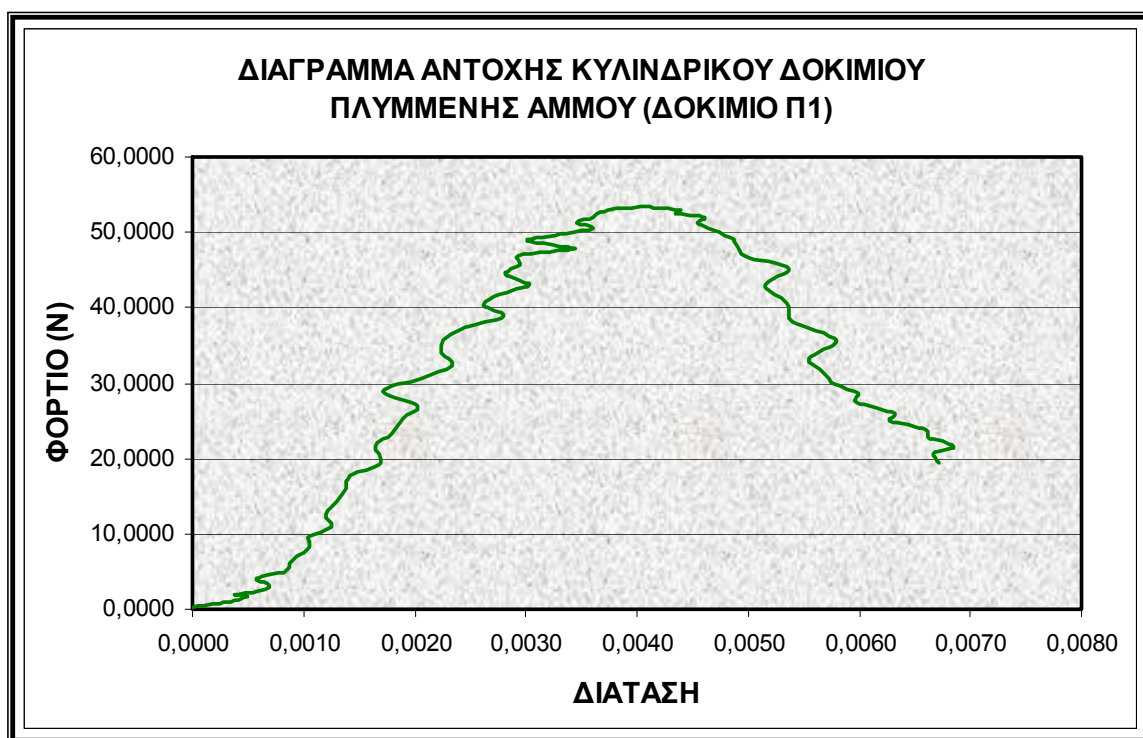
53,0000	4,3643	47,2870	0,3986	0,0037
54,0000	4,3619	46,6614	0,3961	0,0037
55,0000	4,3710	45,6543	0,4053	0,0038
56,0000	4,3808	44,6014	0,4150	0,0039
57,0000	4,4055	42,3584	0,4398	0,0041
58,0000	4,4211	40,0848	0,4553	0,0042
59,0000	4,4012	38,4064	0,4355	0,0041
60,0000	4,4159	37,3840	0,4501	0,0042
61,0000	4,4144	36,4532	0,4486	0,0042
62,0000	4,4293	35,7361	0,4636	0,0043
63,0000	4,4370	34,9884	0,4712	0,0044
64,0000	4,4714	34,3475	0,5057	0,0047
65,0000	4,4363	33,4778	0,4706	0,0044
66,0000	4,5050	32,5470	0,5392	0,0050
67,0000	4,4885	31,1279	0,5228	0,0049
68,0000	4,5337	29,2053	0,5679	0,0053
69,0000	4,5566	26,4740	0,5908	0,0055
70,0000	4,5416	23,1018	0,5759	0,0054

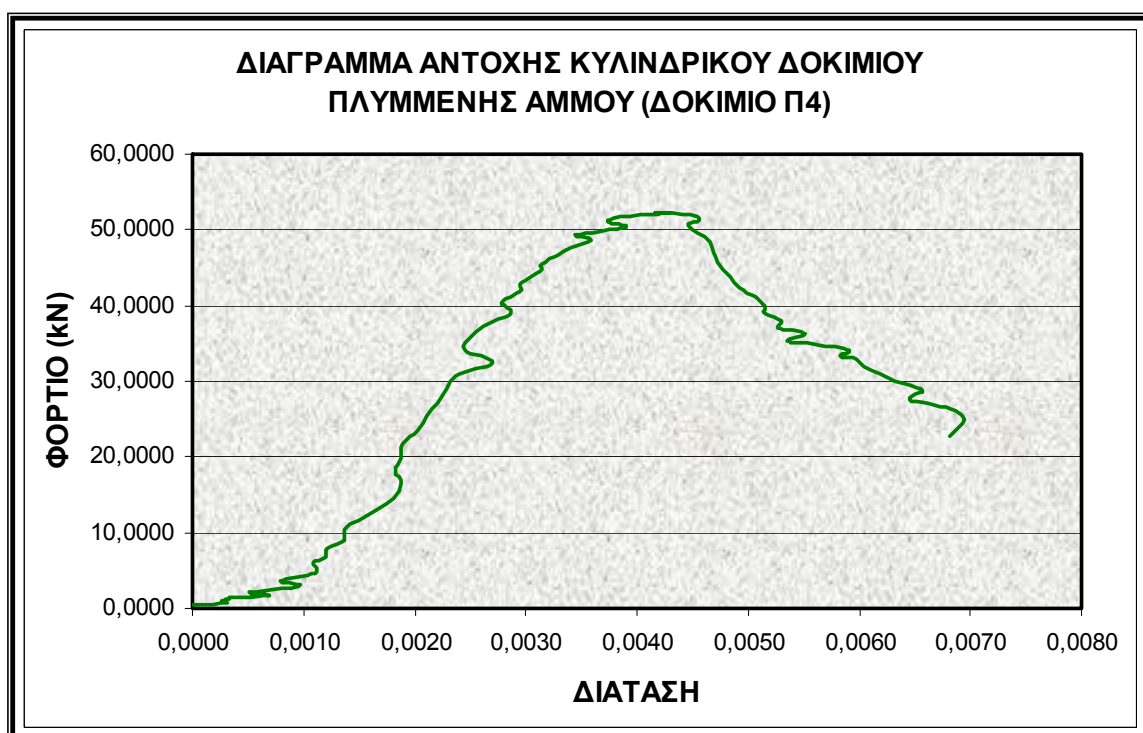
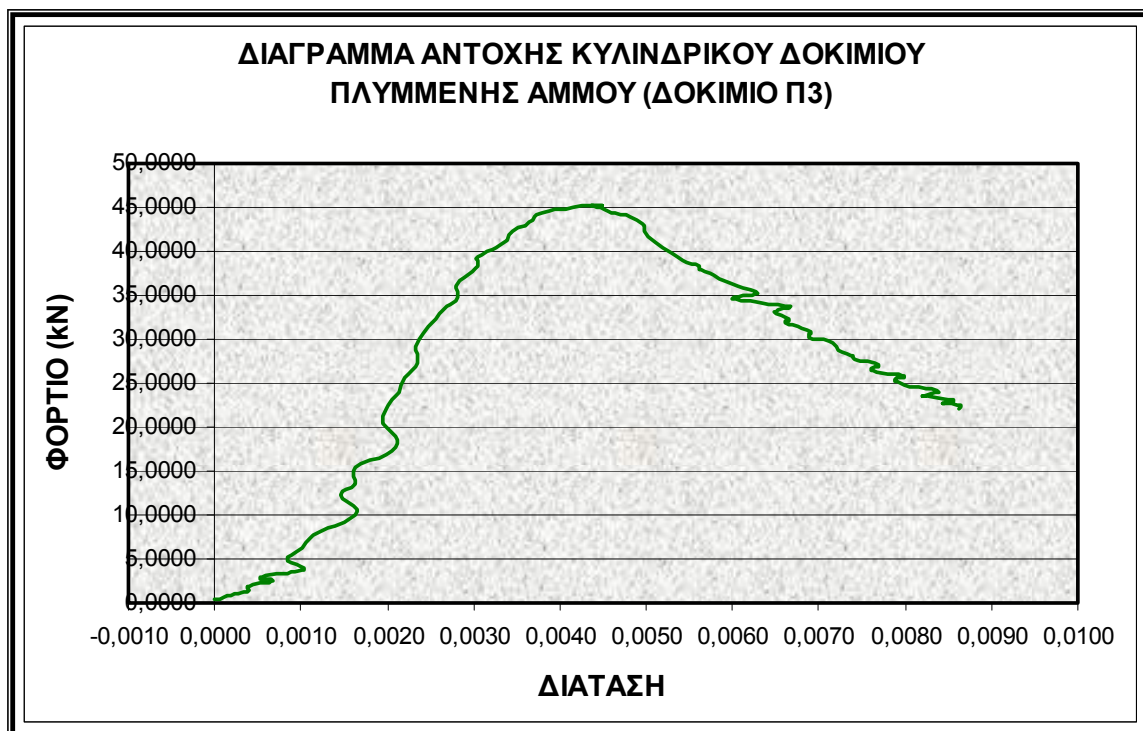
Σύμφωνα με τα παραπάνω φύλλα εργασίας παρατίθενται και τα αντίστοιχα διαγράμματα.

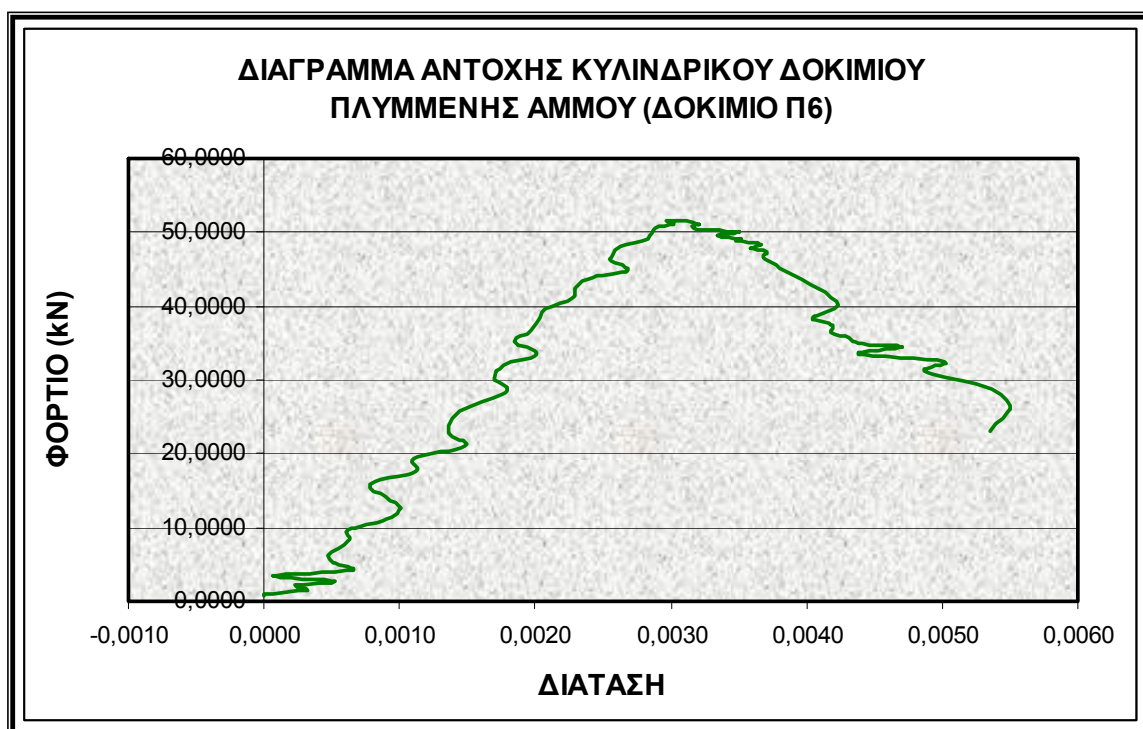
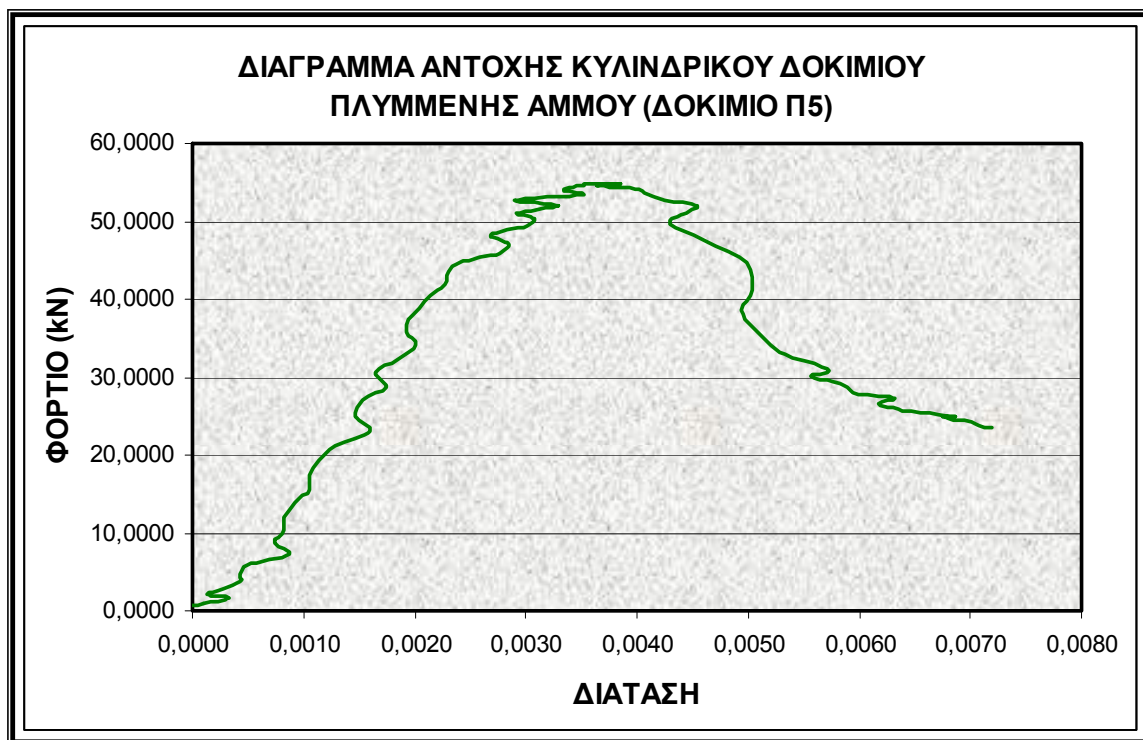




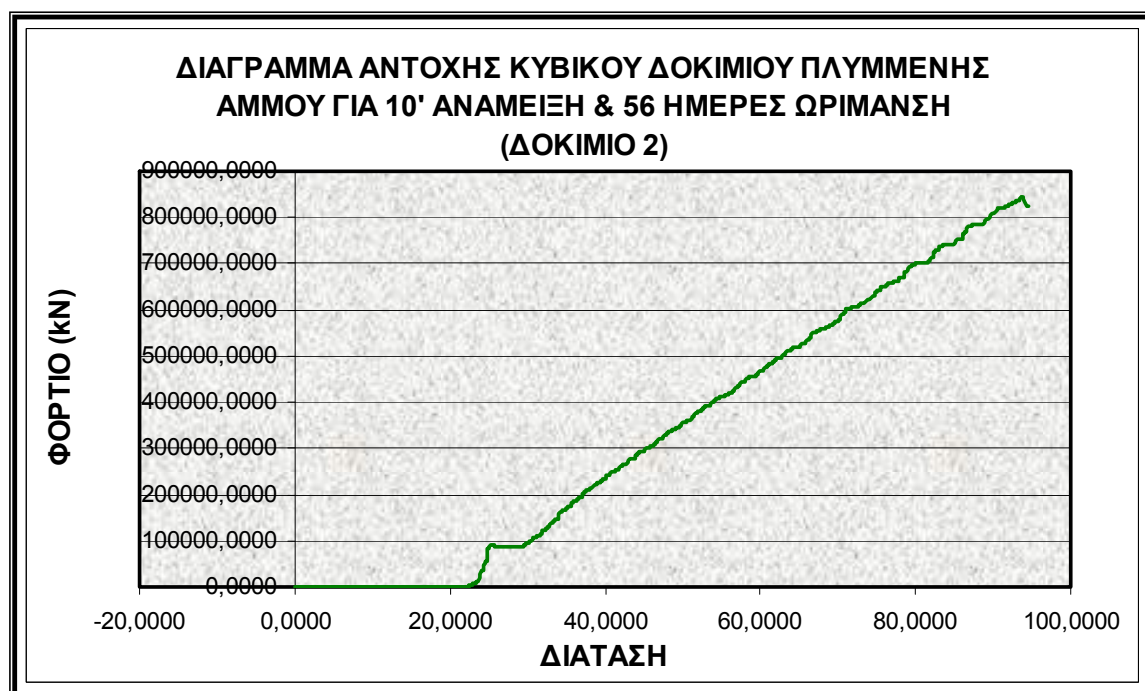
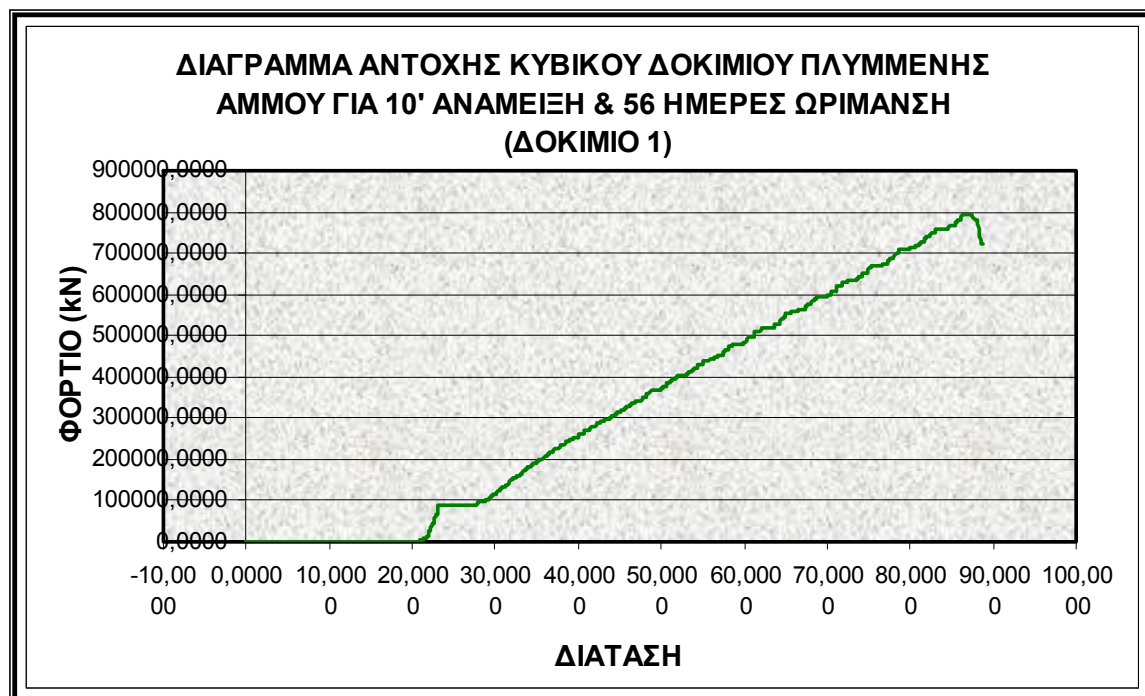


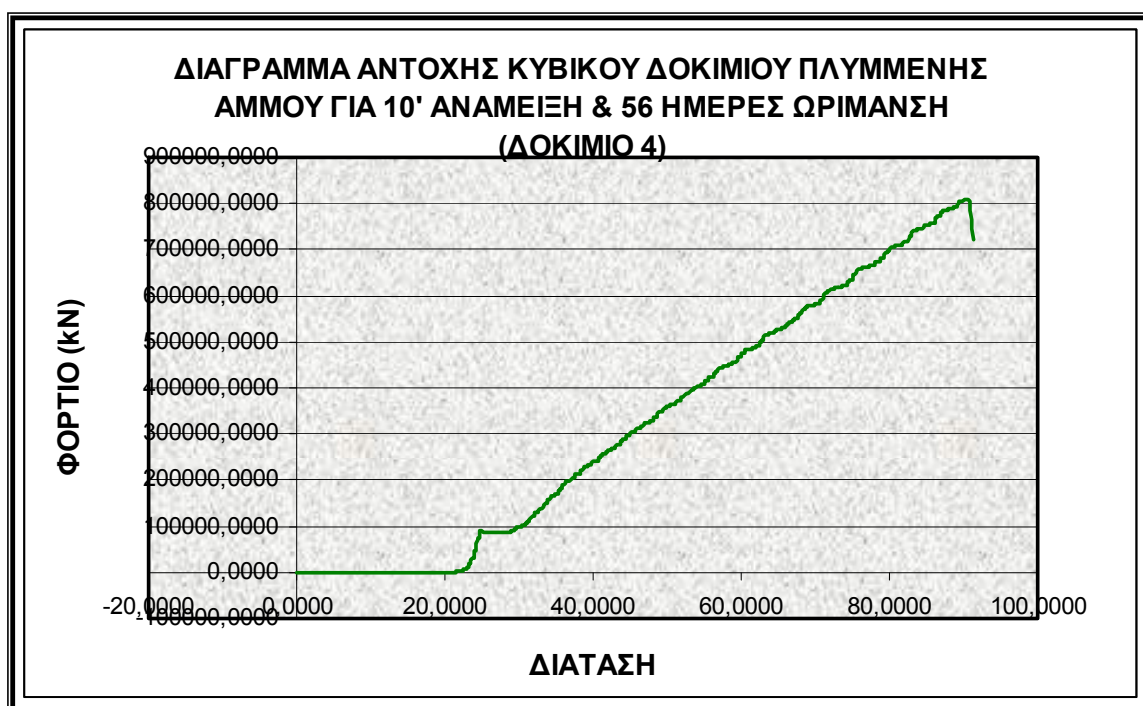
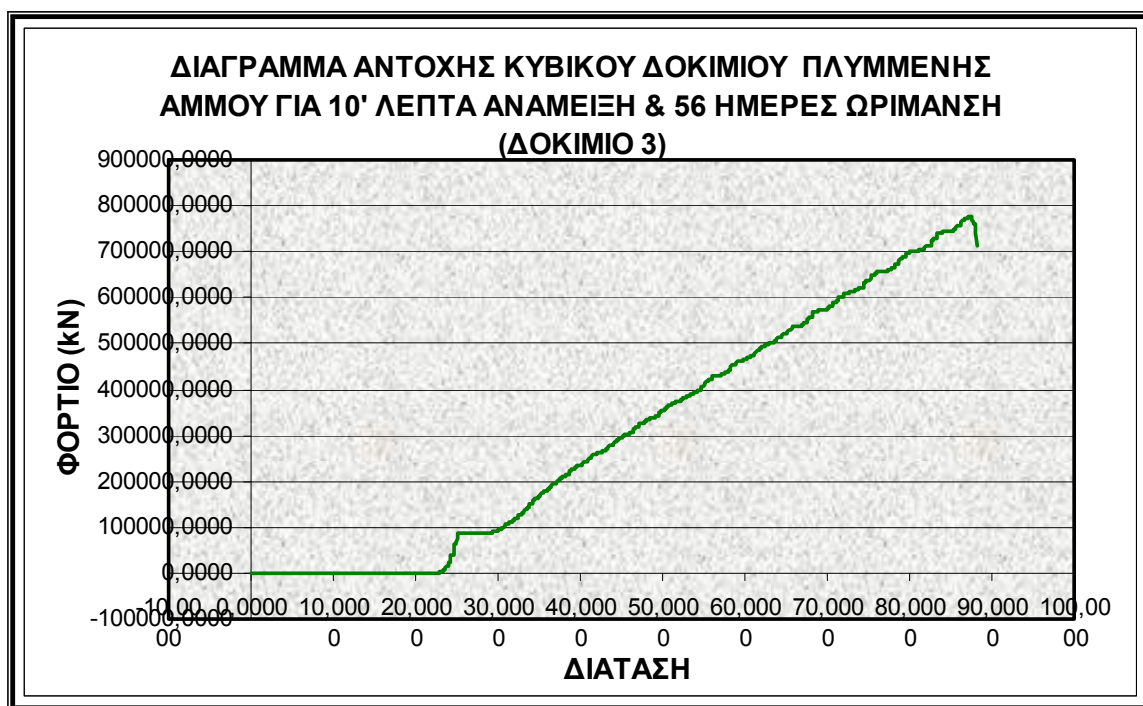


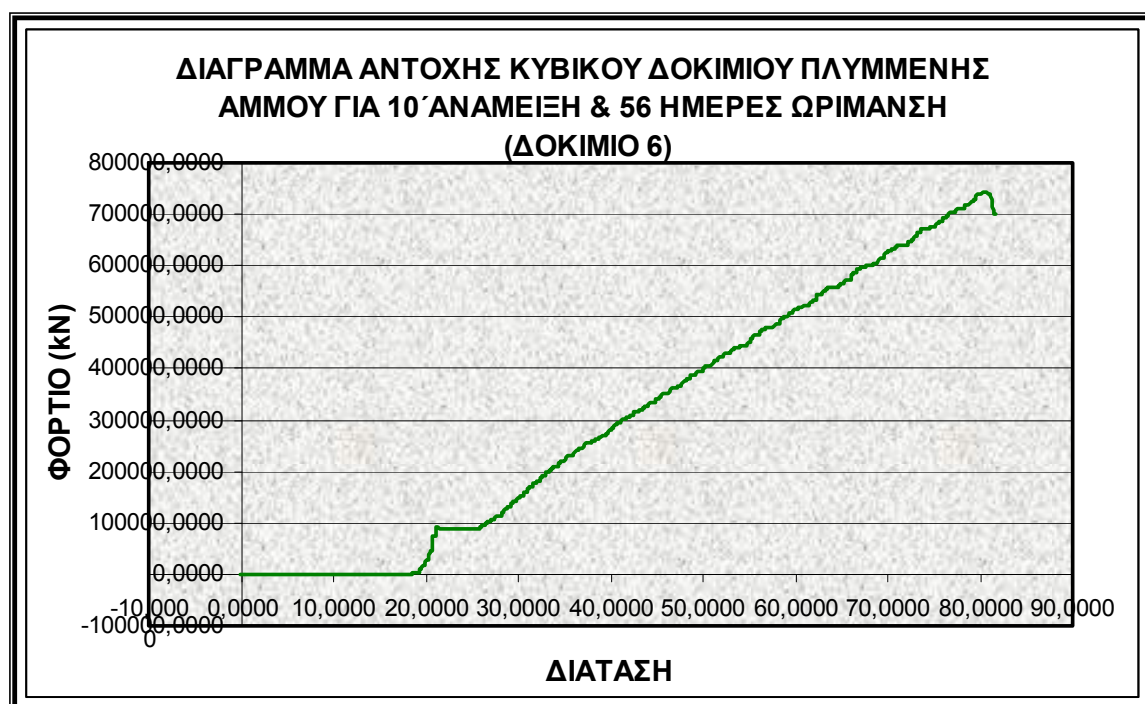
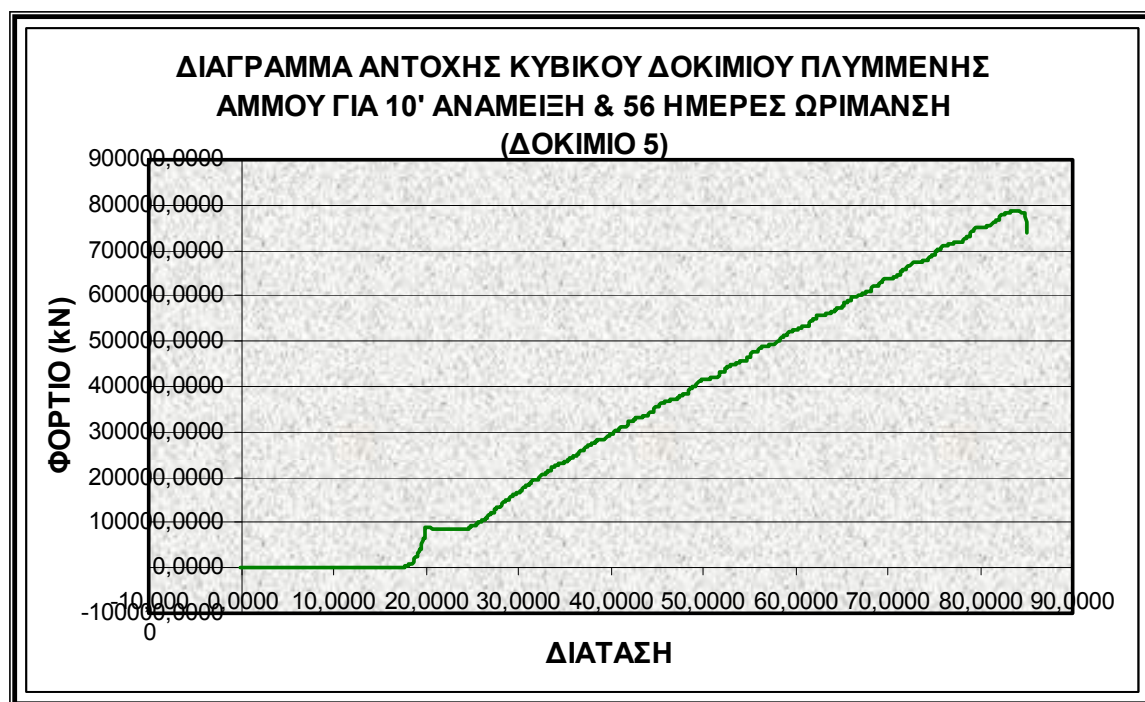




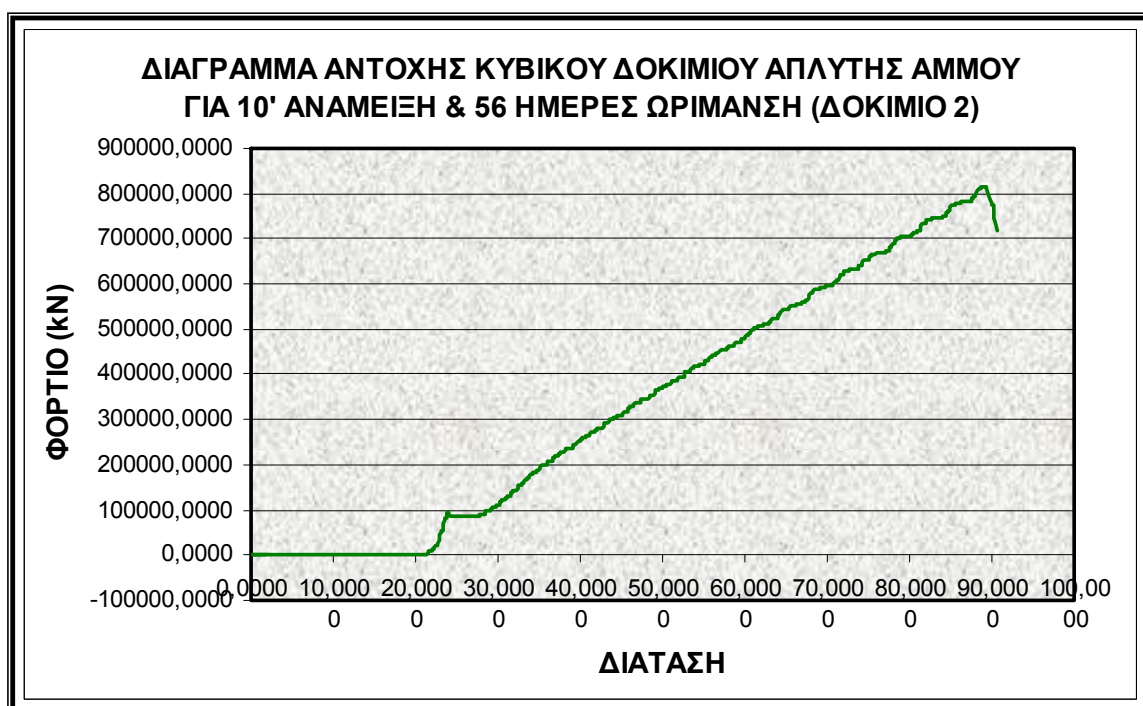
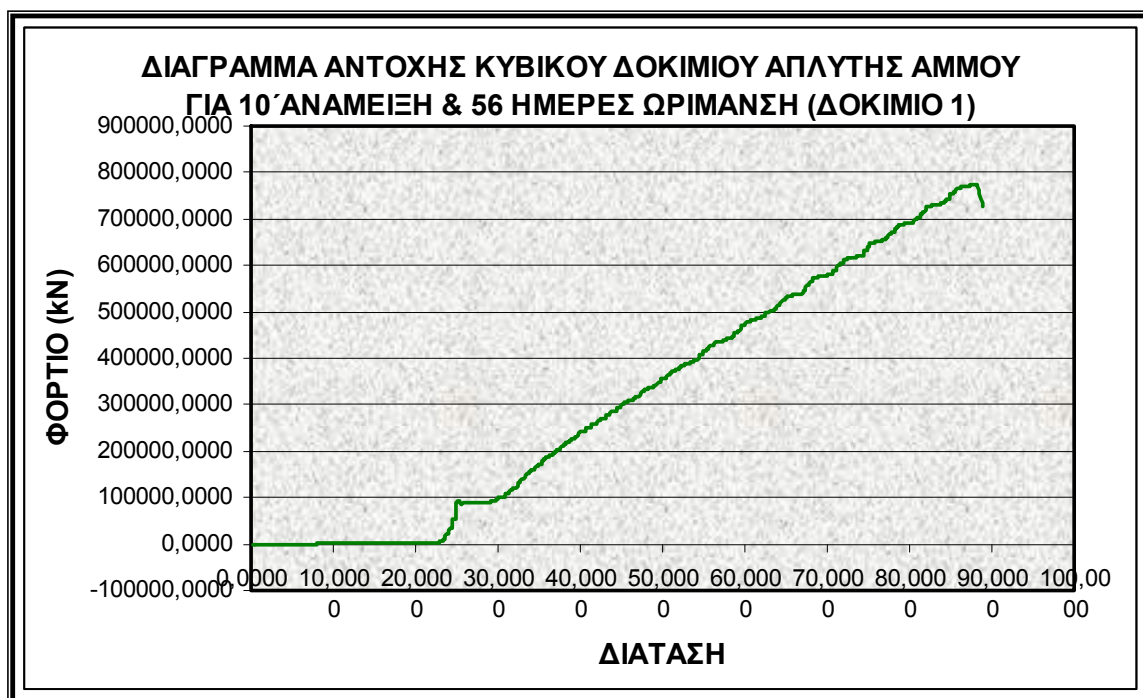
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα αντοχής των κυβικών δοκιμίων πλυμμένης άμμου για 56 ημέρες ωρίμανση και 10' ανάμειξης των υλικών τους.

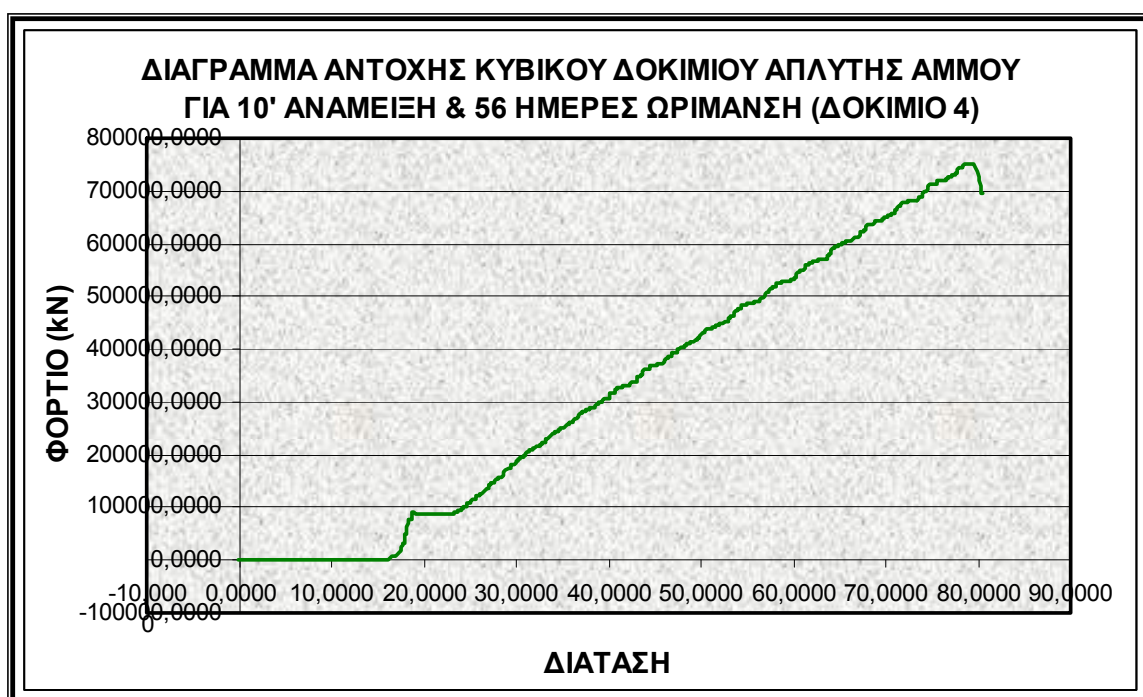
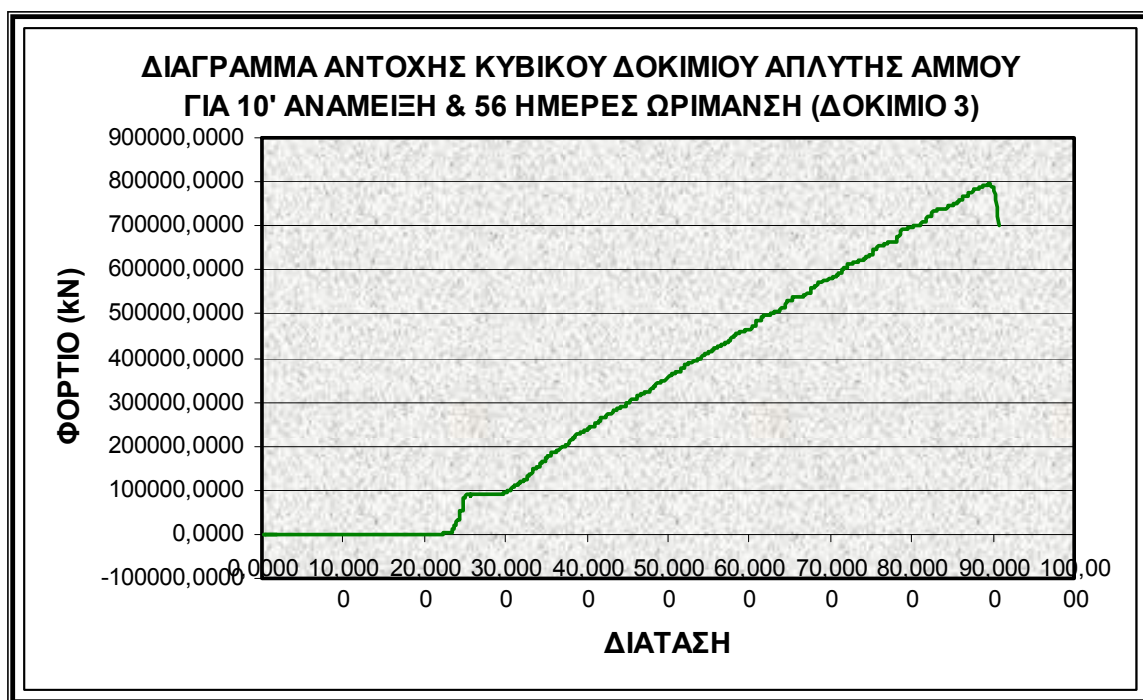


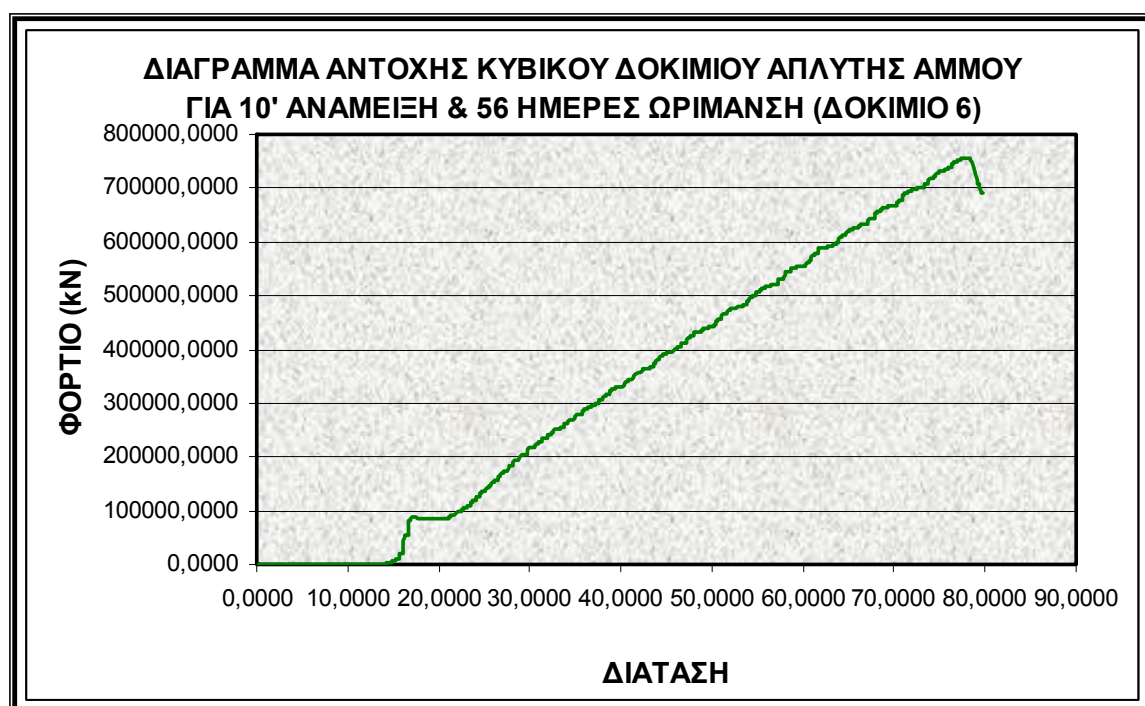
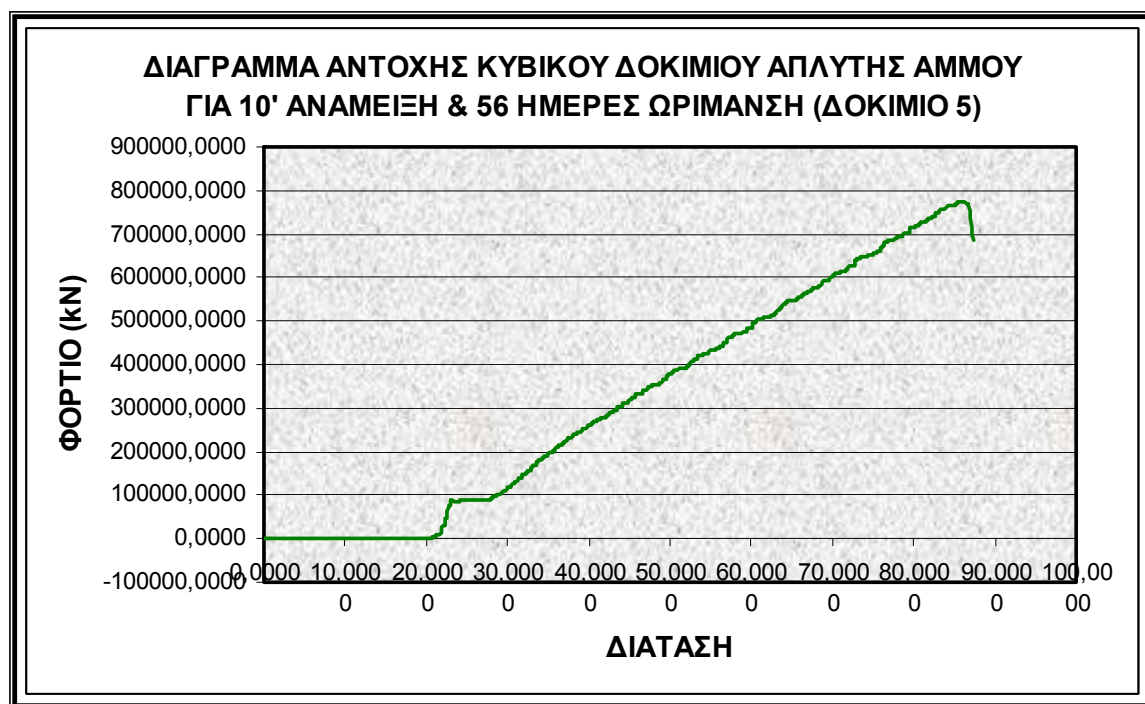




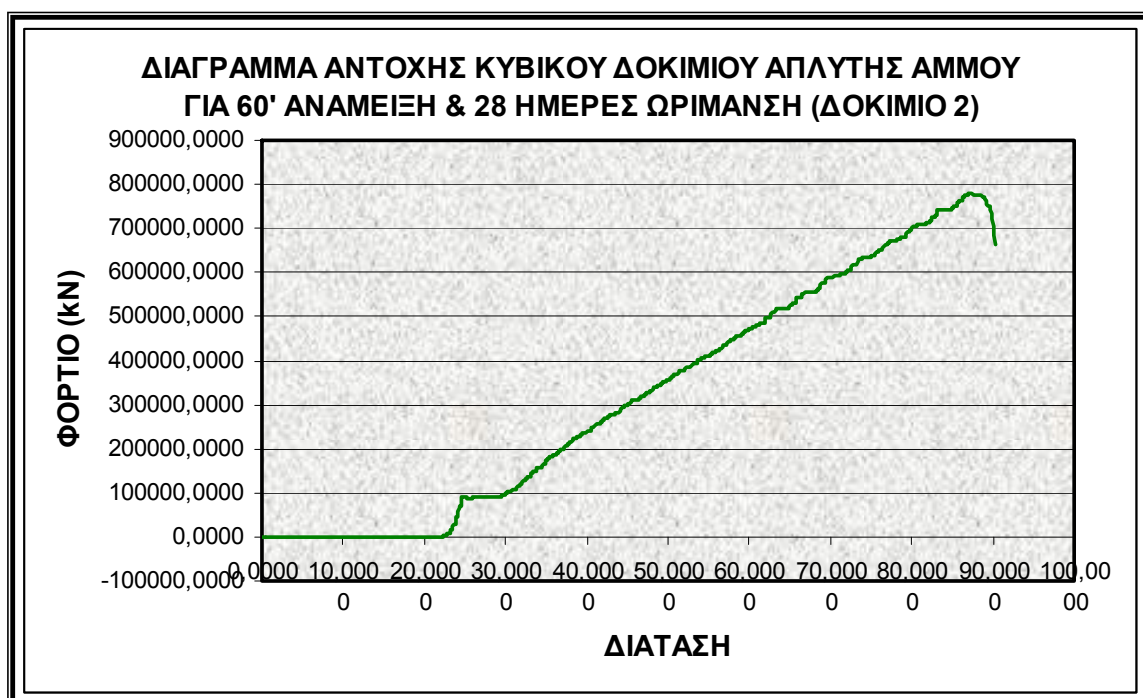
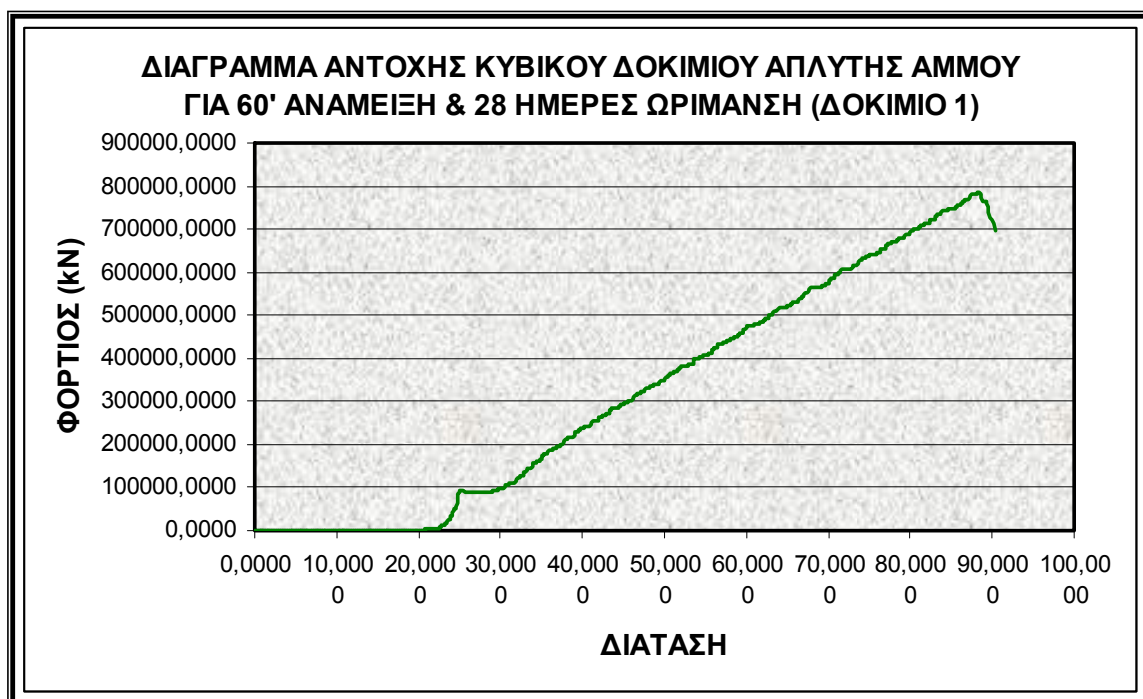
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα αντοχής των κυβικών δοκιμίων άπλυτης άμμου για 56 ημέρες ωρίμανση και 10' ανάμειξης των υλικών τους.

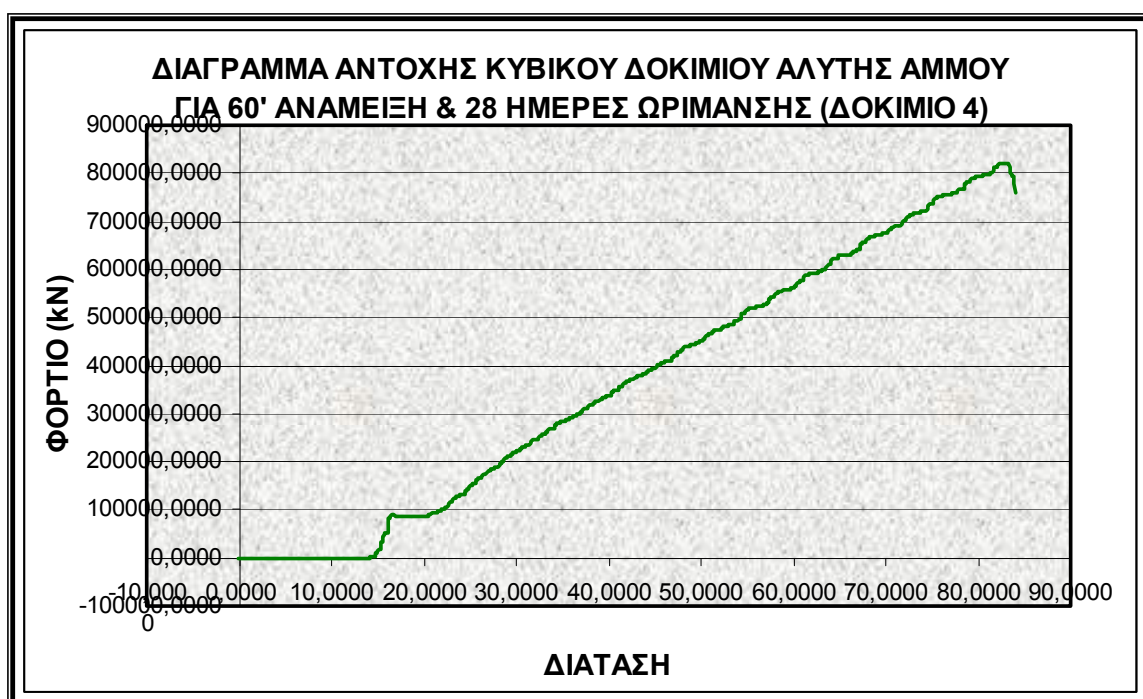
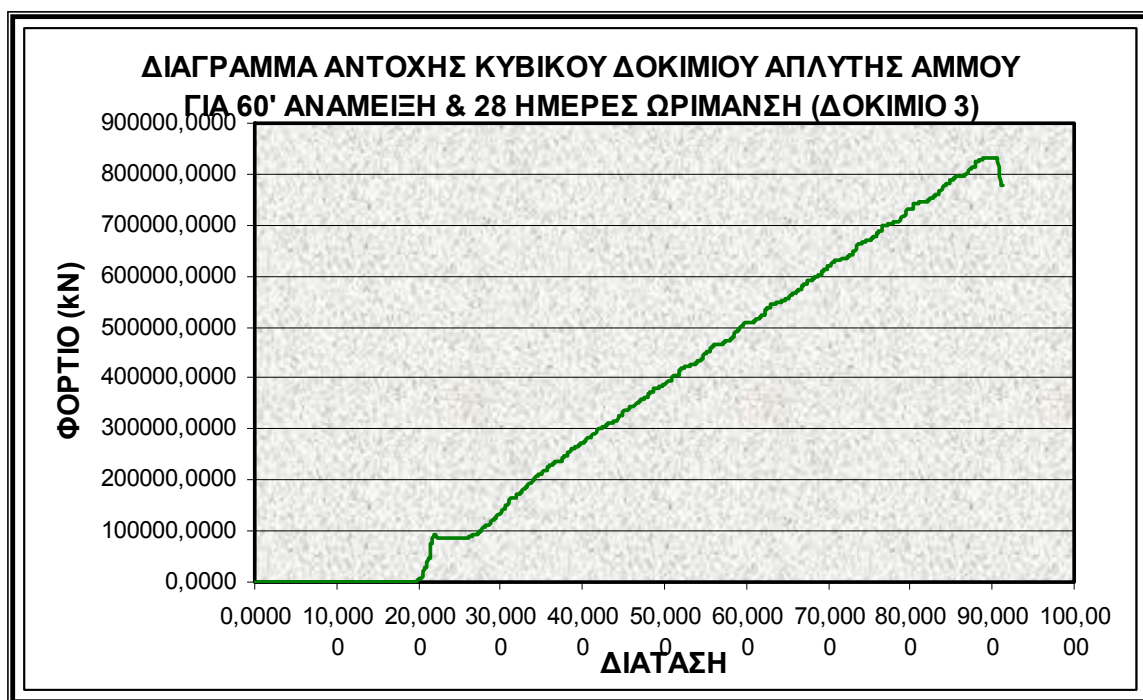


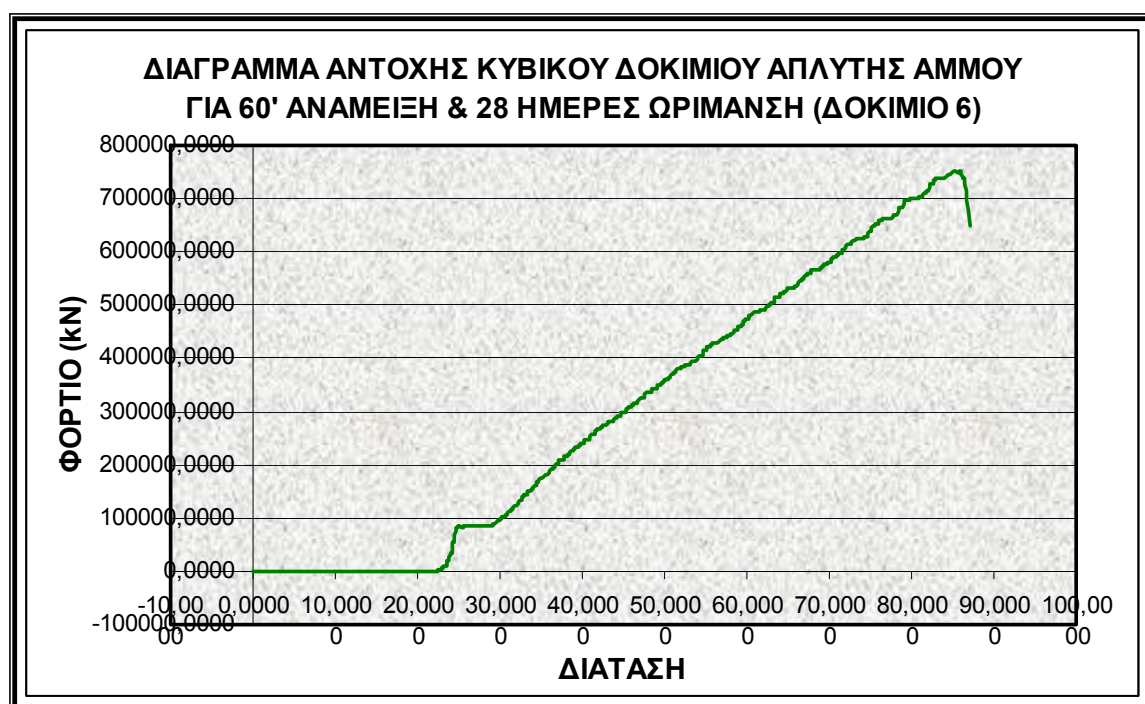
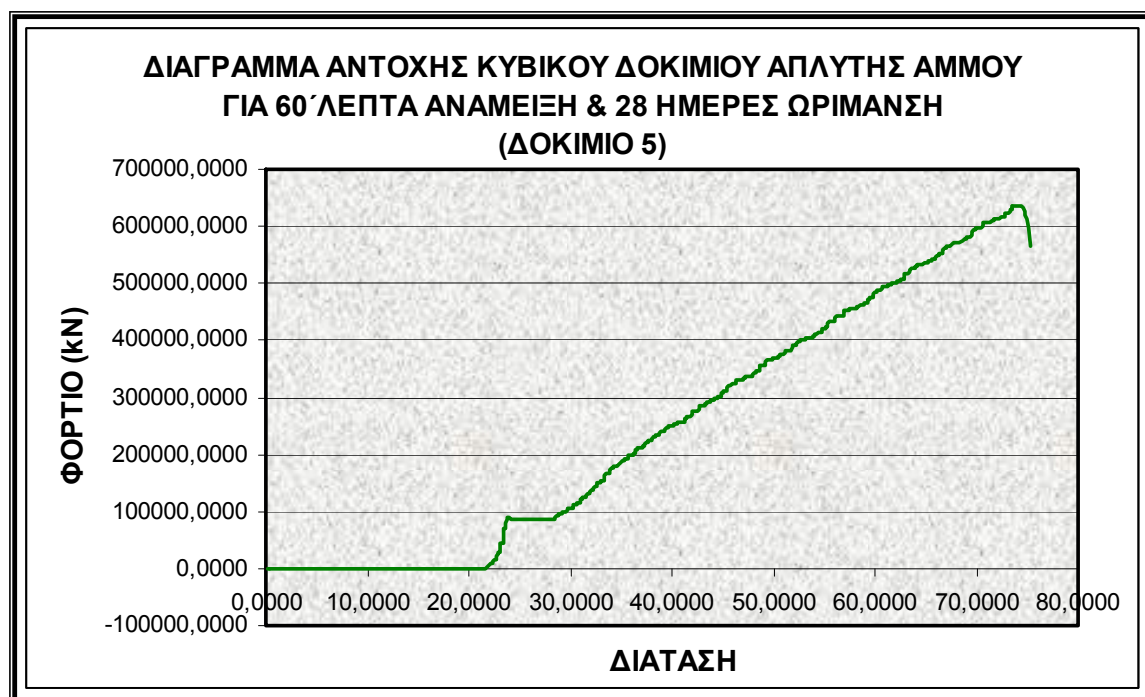




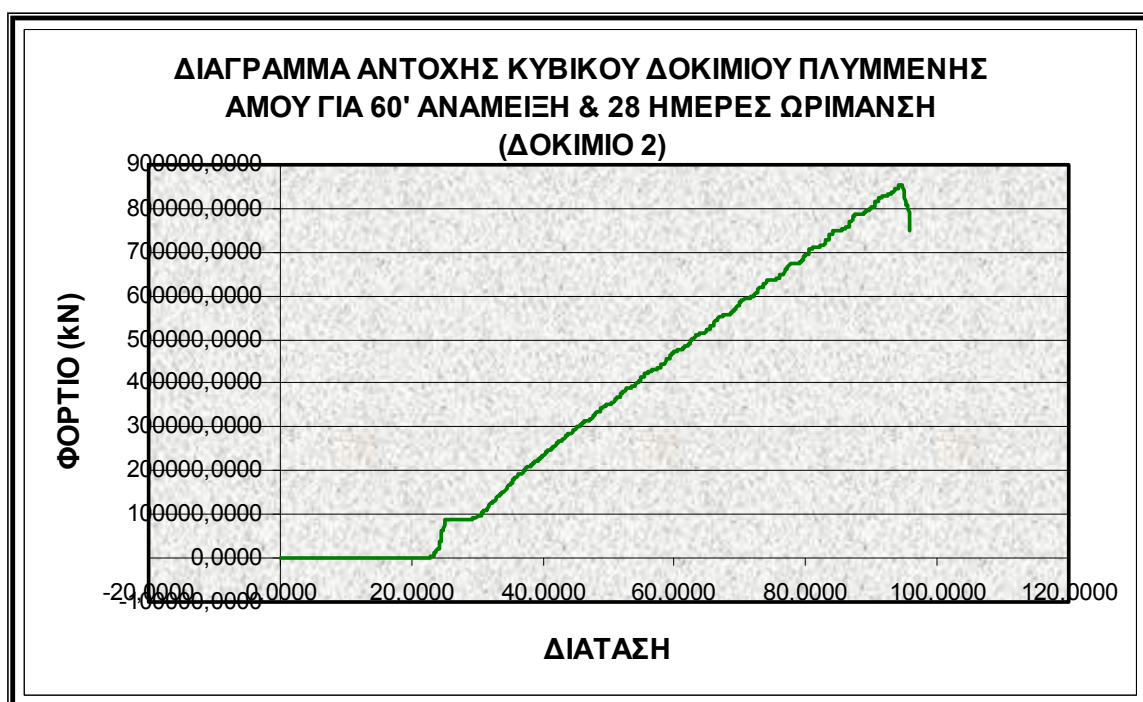
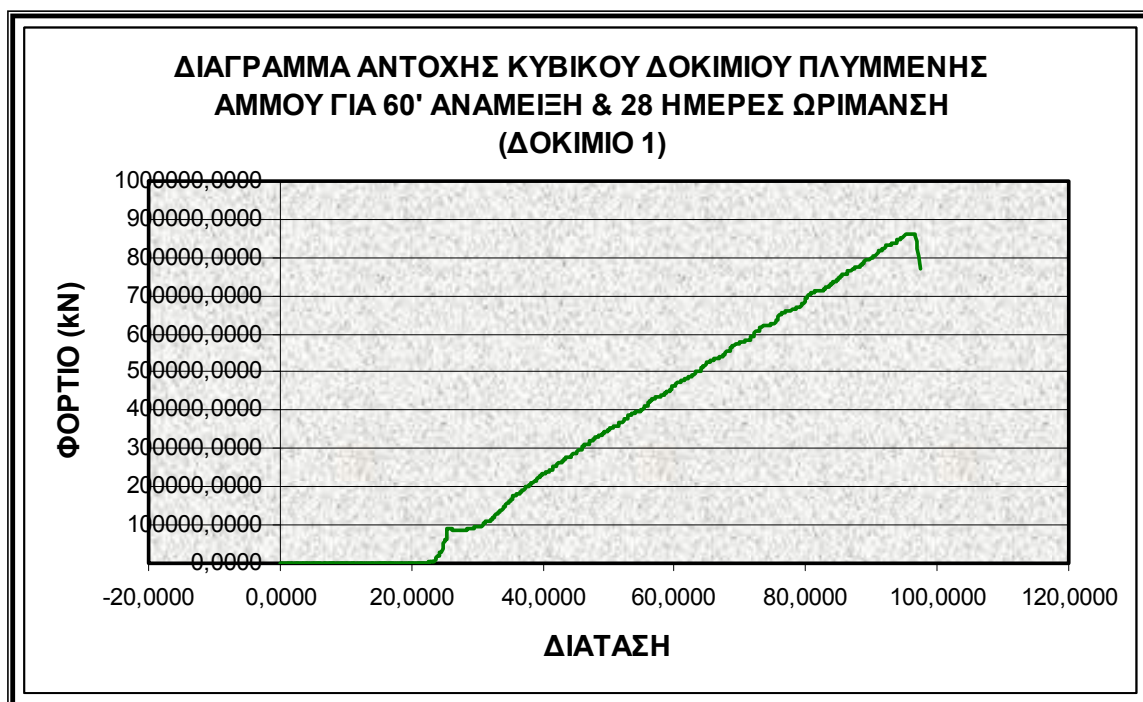
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα αντοχής των κυβικών δοκιμίων άπλυτης άμμου για 28 ημέρες ωρίμανση και 60' ανάμειξης των υλικών τους.

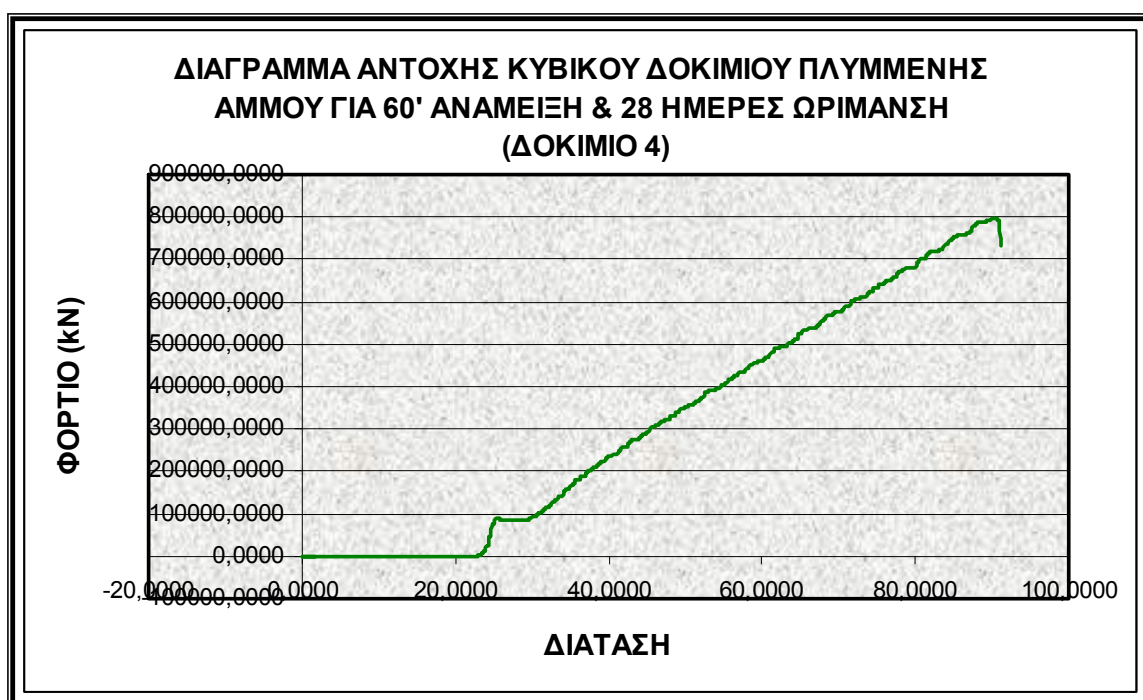
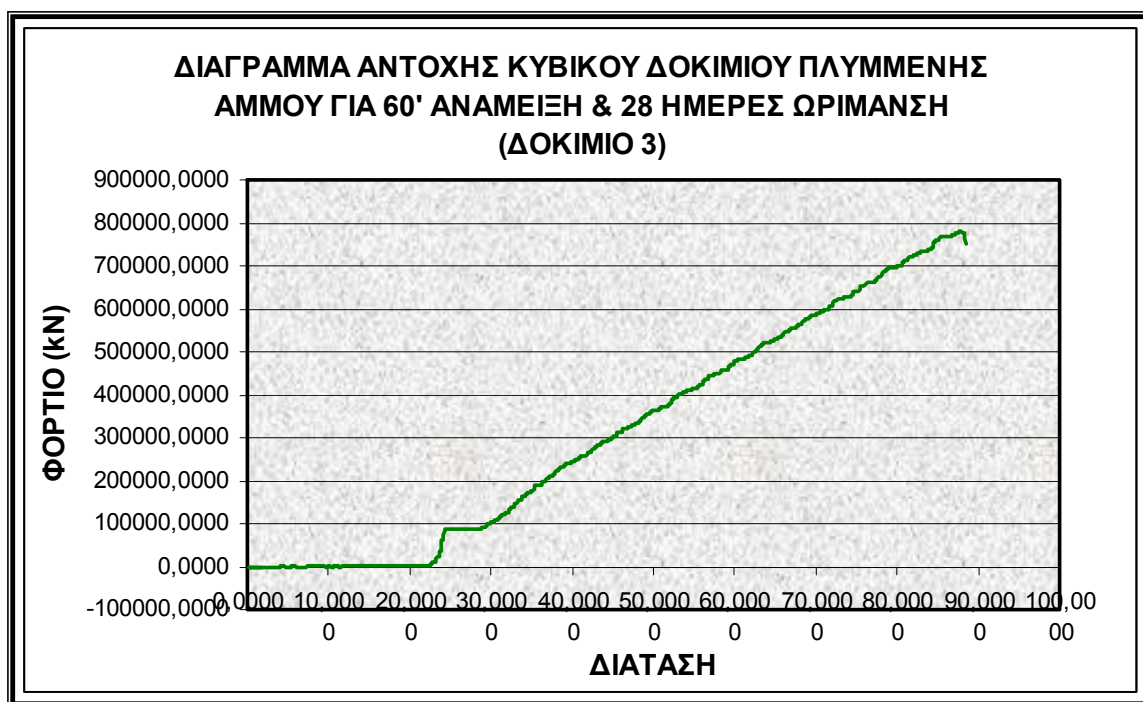


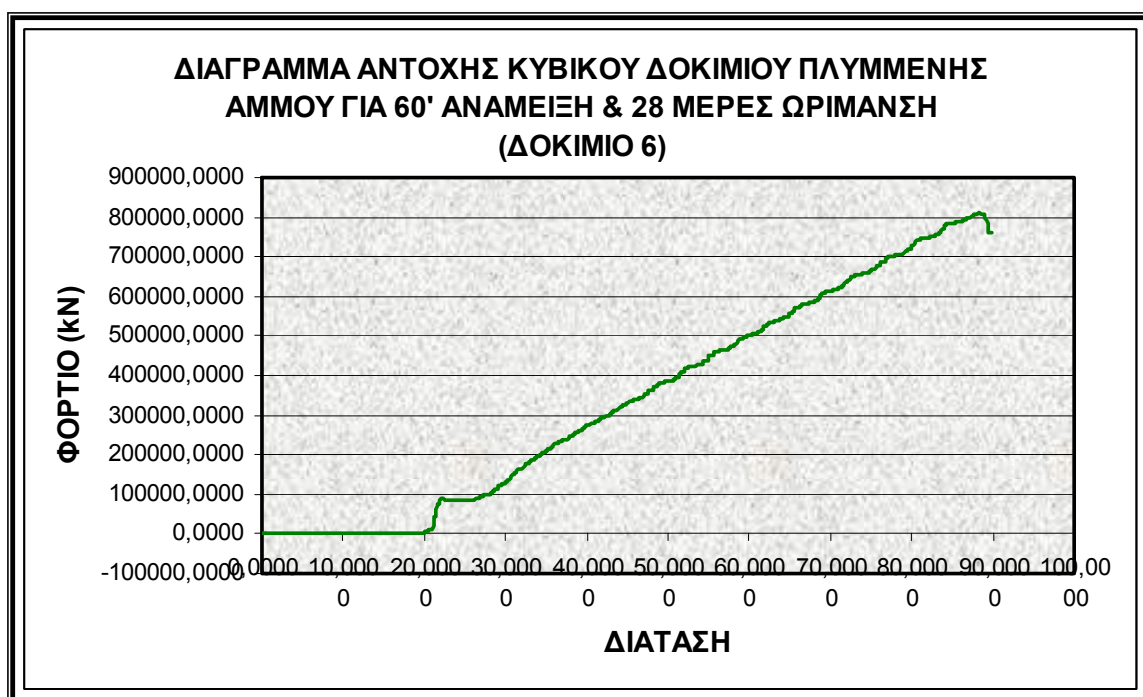
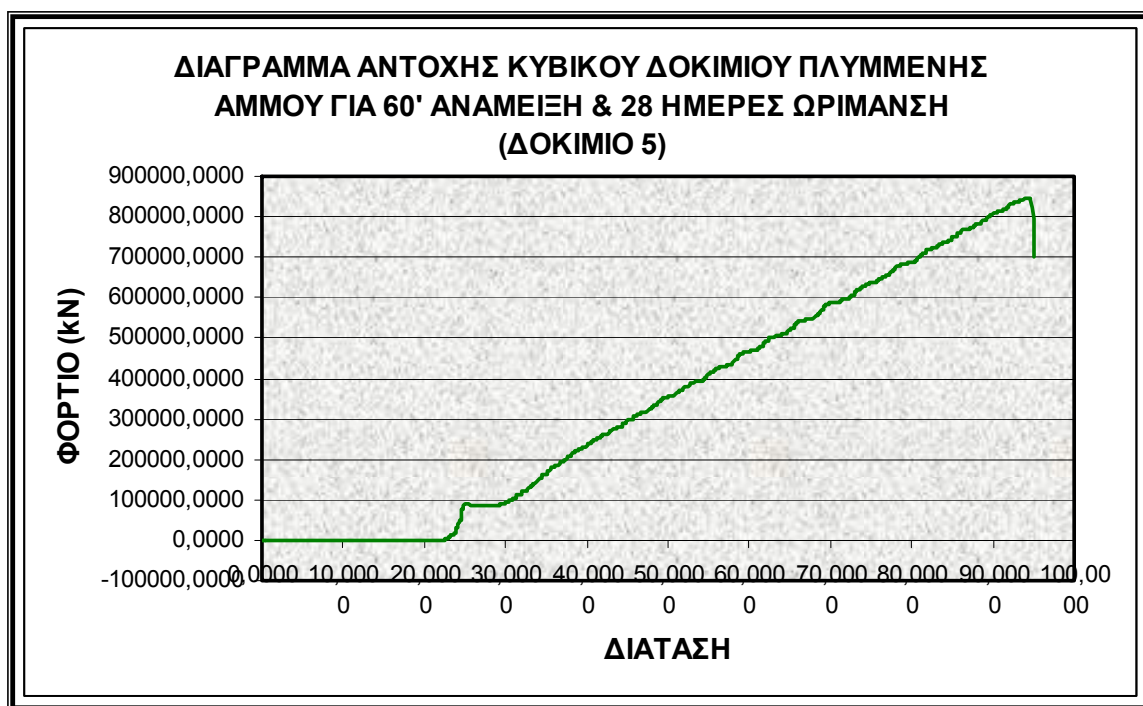




Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα αντοχής των κυβικών δοκιμίων πλυμένης άμμου για 28 ημέρες ωρίμανση και 60' ανάμειξης των υλικών τους.







Οι τιμές θραύσης των κυβικών δοκιμίων δεν παρατέθηκαν προηγουμένως, λόγω μεγάλης έκτασής τους.