

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΣΤ. ΚΟΛΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ
ΤΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ
ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ
ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ***

ΚΑΚΡΙΔΩΝΗ ΕΥΣΤΑΘΙΑ

ΑΘΗΝΑ ΑΠΡΙΛΙΟΣ 1999

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ	1
2.	ΚΟΝΙΕΣ	12
2.1	ΓΕΝΙΚΑ	12
2.2	ΑΣΒΕΣΤΟΣ	14
2.3	ΓΥΨΟΣ	18
2.4	ΤΣΙΜΕΝΤΟ	21
2.4.1	Γενικά	21
2.4.2	Σύσταση του τσιμέντου Portland	22
2.4.3	Ιδιότητες του τσιμέντου	23
2.4.4	Ενυδάτωση του τσιμέντου	25
2.4.5	Δοκιμές του τσιμέντου	26
2.4.6	Άλλα είδη τσιμέντων Portland	27
2.5	ΠΟΖΟΛΑΝΕΣ	29
2.5.1	Θηραϊκή Γη	30
2.5.2	Ιπτάμενη τέφρα	30
2.5.3	Φύλλερ	31
3.	ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ	32
3.1	ΓΕΝΙΚΑ	32
3.2	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ	35
3.3	ΥΛΙΚΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ	39
3.3.1	Νερό	39
3.3.2	Τσιμέντο	39
3.3.3	Άμμος	39
3.3.4	Πολτός Ασβέστου	40
3.3.5	Κόνις Υδρασβέστου	40
3.3.6	Πρόσθετα Υλικά	41
3.4	ΤΥΠΟΙ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	42
3.4.1	Ασβεστοκονιάματα	42
3.4.2	Ποζολανικά ασβεστοκονιάματα	43
3.4.3	Τσιμεντοκονιάματα	44
4.	ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ	46
4.1	ΓΕΝΙΚΑ	46
4.2	ΕΠΙΤΟΠΙΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ CUCCI – MORETTI	48
4.3	ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΛΑΤΟΥΣ ΧΑΡΑΓΗΣ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΤΑ ΤΑΣΣΙΟ , ΒΑΧΛΙΩΤΗ ΚΑΙ ΣΠΑΝΟ	50
4.3.1	Μέτρηση του πλάτους χαραγής	50
4.3.2	Μέτρηση της εφελκυστικής αντοχής	51
4.4	ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ ΚΑΤΑ ΣΤ. ΚΟΛΙΑ	52
4.4.1	Μέτρηση του πορώδους	52

4.4.2 Μέτρηση του χρόνου διάτρησης	54
5. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ	56
5.1 ΓΕΝΙΚΑ	56
5.2 ΠΡΟΤΥΠΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΑ ΚΟΣΚΙΝΑ	59
5.3 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	61
5.4 ΔΟΚΙΜΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	62
5.4.1 Κοκκομετρική Ανάλυση Αδρανών	62
5.4.2 Προσδιορισμός της παιτάλης	64
5.4.3 Προσδιορισμός φαινομένου βάρους των αδρανών	64
5.4.4 Χρωματομετρική μέθοδος επιβλαβών οργανικών προσμίξεων στην άμμο	65
5.4.5 Δοκιμή Ισοδύναμου Άμμου	65
5.5 ΜΕΤΡΟ ΛΕΠΤΟΤΗΤΑΣ	67
5.6 ΕΙΔΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ	68
5.6.1 Σμυρίδα	68
6. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	69
6.1 ΓΕΝΙΚΑ	69
6.1.1 Δοκιμή Deval	70
6.1.2 Δοκιμή Micro – Deval	73
6.1.3 Δοκιμή Dorry	74
6.1.4 Δοκιμή Los Angeles	74
6.1.5 Δοκιμή Amedee Mannheim	75
6.2 ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ	77
7. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	78
7.1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ	78
7.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΠΟΤΡΙΨΗΣ	80
7.2.1 Υλικά	80
7.2.2 Αιτιολόγηση επιλογής συσκευής Deval	80
7.2.3 Συσκευή Deval	81
7.2.4 Καθορισμός αριθμού περιστροφών και βάρους σφαιρών	82
7.2.5 Προσπάθεια εκτίμησης της επαναληψιμότητας της δοκιμής της απότριψης	85
7.2.6 Δοκιμές απότριψης	87
7.2.7 Δοκιμές απότριψης άμμων με την ίδια κοκκομετρική διαβάθμιση	89
7.2.8 Δοκιμές Deval με ίδια άμμο και διαφορετική κοκκομετρική διαβάθμιση	90
7.2.9 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων με εβδομετρηση	94
7.2.10 Δείκτες διαβάθμισης	109
7.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ	114
7.3.1 Γενικά	114
7.3.2 Παρασκευή Δοκιμίων	115
7.3.3 Συντήρηση Δοκιμίων	116
7.3.4 Συσκευή Διάτρησης	116
7.3.5 Διαδικασία Δοκιμής	118
7.3.6 Συσχέτιση χρόνου διάτρησης των κονιαμάτων με την αντοχή τους	118

7.3.7 Μέτρηση θλιπτικής αντοχής	119
7.3.8 Σύνθεση Μιγμάτων	120
8. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	125
9. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	161
9.1 ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	161
9.2 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ – ΧΡΟΝΟΥ	162
9.2.1 Μετρήσεις του χρόνου διάτρησης με επιβαλλόμενη δύναμη $P=185\text{N}$, διάμετρο τρυπανιού $D=4\text{mm}$, και ταχύτητα περιστροφής $V=1,4\text{στρ./λεπτό}$.	162
9.2.2 Μετρήσεις του χρόνου διάτρησης με επιβαλλόμενη δύναμη $P=185\text{N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=4\text{mm}$, και ταχύτητα περιστροφής $V=4,2\text{στρ./λεπτό}$.	167
9.2.3 Μετρήσεις του χρόνου διάτρησης με επιβαλλόμενη δύναμη $P=64\text{N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=5\text{mm}$, και ταχύτητα περιστροφής $V=1,4\text{στρ./λεπτό}$.	172
9.2.4 Δευτερεύουσα έρευνα	180
10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	183
10.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΥΡΙΑΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	183
10.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	185
10.3 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	186

στην ζωή μου

Ευχαριστώ θερμά τον Αναπληρωτή Καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. ΣΤΕΛΙΟ ΚΟΛΙΑ για την συνεχή καθοδήγησή του, καθώς και την αμέριστη συμπαράστασή του, σ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσης εργασίας.

Ευχαριστώ την Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος για την παραχώρηση του εργαστηρίου τους, στο οποίο έλαβε χώρα μεγάλο μέρος της πειραματικής εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ τις Πολιτικούς Μηχανικούς Πέπη Κυρκίλη και Μάρθα Κατσάκου για τη βοήθεια που μου προσέφεραν σ' όλες τις φάσεις εκπόνησης της εργασίας μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους μου προσέφεραν τη βοήθειά τους και μου συμπαραστάθηκαν ηθικά σ' όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

1. ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

Η τοιχοποιία είναι από τα «αρχαιότερα» δομικά στοιχεία, εντούτοις οι γνώσεις μας για την συμπεριφορά κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία είναι περιορισμένες.[1]

Στο πρώτο μισό αυτού του αιώνα, οι κατασκευές από τοιχοποιία, είχαν αντικατασταθεί από μεταλλικές κατασκευές ή κατασκευές ωπλισμένου σκυροδέματος. Ένας από τους κυριότερους λόγους ήταν το ότι μέχρι το 1950, ο κανονισμός για την φέρουσα τοιχοποιία, περιείχε μόνο μερικούς εμπειρικούς κανόνες, με αποτέλεσμα να κατασκευάζονται τοίχοι μεγάλου πάχους που προκαλούσαν σπατάλη χώρου και υλικού, καθώς και αρκετό χρόνο για κατασκευή.

Η κατάσταση άλλαξε σε πολλές χώρες μετά το 1950, με έναν κατασκευαστικό κανονισμό που επέτρεπε την κατασκευή τοίχων μικρότερου πάχους και μεγαλύτερης αντοχής. Ο κανονισμός είχε προκύψει μέσα από μια σειρά ερευνητικών προγραμμάτων και κατασκευαστικής εμπειρίας.[2] Εξάλλου, πολλά από τα παλιά κτίρια από τοιχοποιία, υπέστησαν σοβαρές βλάβες ή και κατέρρευσαν κατά τη διάρκεια σεισμών, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί η εσφαλμένη εντύπωση της ακαταλληλότητας της τοιχοποιίας ως δομικής μεθόδου.[1]

Μία προσεκτικότερη όμως εξέταση του ζητήματος τα τελευταία χρόνια, έδειξε ότι η ακαταλληλότητα αυτή προήλθε και από άλλους λόγους, όπως:

- Η κακή ποιότητα των υλικών.
- Η κακή ποιότητα του κτισίματος.
- Η κακή σύλληψη του συνόλου και η έλλειψη σχεδιασμού.
- Η απουσία συντηρήσεως των κτιρίων από τοιχοποιία.

- Η προσθήκη καθ' ύψος ή κατ' επέκταση (από φέρουσα τοιχοποιία ή από ωπλισμένο σκυρόδεμα), χωρίς στοιχειώδη μελέτη, με αποτέλεσμα τη μεταβολή του στατικού σχήματος της κατασκευής.[1]

Η τοιχοποιία προσφέρεται για κατασκευές τόσο λόγω καλής εμφάνισης, όσο και μεγάλης διάρκειας, ενώ παράλληλα το κόστος είναι χαμηλότερο σε σύγκριση με άλλες κατασκευές. Οπωσδήποτε όμως η ποιότητα της τοιχοποιίας εξαρτάται από τα υλικά, τα οποία πρέπει να ακολουθούν κάποιες προδιαγραφές.[2]

Το βασικό πλεονέκτημα των κατασκευών από τοιχοποιία είναι ότι επιτρέπουν τη χρήση του ίδιου στοιχείου, για να παράγουν μία ποικιλία λειτουργιών.[2] Στα πλεονεκτήματα της τοιχοποιίας μπορούν επίσης ν' αναφερθούν:

- Χαμηλότερο κόστος, συγκριτικά με τις κατασκευές από ωπλισμένο σκυρόδεμα.
- Ευκολότερη προστασία έναντι πυρκαγιάς, θερμοκρασίας και ήχου, με την χρησιμοποίηση καταλλήλων λιθοσωμάτων.
- Ταχύτητα και ευκολία στην κατασκευή. Αυτό έχει μεγάλη σημασία για την κατασκευή στην ύπαιθρο, όπου δεν υπάρχουν οι κατάλληλοι τεχνίτες και ο ανάλογος εξοπλισμός.
- Βασικό πλεονέκτημα των κτιρίων από τοιχοποιία πρέπει να θεωρηθεί και η αισθητική τους.
- Δεν πρέπει να παραληφθεί και η μεγάλη ανθεκτικότητα της τοιχοποιίας μες στο χρόνο.[1]

Η συμπεριφορά της τοιχοποιίας είναι γενικά ψαθυρού χαρακτήρα, με πολύ χαμηλή αντοχή σε εφελκυσμό και διάτμηση καθώς και σε ανακυκλιζόμενες φορτίσεις, όπως ο σεισμός.[3]

Ανάμεσα στα μειονεκτήματα της τοιχοποιίας θα μπορούσαν ν' αναφερθούν:

- Η ψαθυρή φύση της.

- Η σημαντική μείωση της αντοχής με την ανακύκληση και η μικρή πλαστιμότητα.
- Οι μικρότερες τιμές της θλιπτικής αντοχής, συγκριτικά με τις θλιπτικές αντοχές του ωπλισμένου σκυροδέματος.[1]

Αυτά επιδεινώνονται από το γεγονός ότι υπάρχει η διαφορικότητα της μορφής της κατασκευής λιθόσωμα-κονίαμα, με τον αρμό κονιάματος να έχει γενικά κατώτερα μηχανικά χαρακτηριστικά, καθώς και τη σημαντική διασπορά των χαρακτηριστικών ποιότητας της κατασκευής (πλάτος αρμών τοιχοποιίας, ανομοιομορφία λιθοσωμάτων, σύνθεση κονιάματος κ.λ.π.) που προκαλεί ο τρόπος κατασκευής.[3]

Η άοπλη τοιχοποιία κατασκευάζεται με φυσικούς ή τεχνητούς λίθους ή πλίνθους (λιθοσώματα) που συνδέονται μεταξύ τους με πλήρης αρμούς κονιάματος. Όταν η τοιχοποιία έχει πάχος μεγαλύτερο από το πλάτος ενός λιθοσώματος, είναι αναγκαίο να τοποθετούνται σύνδεσμοι μεταξύ των λιθοσωμάτων. Αν πρόκειται για άοπλη λιθοδομή, η σύνδεση γίνεται με συνδετήριους λίθους, σε ποσοστό τουλάχιστον ίσο με το 10% της κατακόρυφης επιφάνειας της λιθοδομής.[1]

Ανάλογα με τον τρόπο δόμησης, διακρίνουμε:

1. Τοιχοποιίες από φυσικούς λίθους.
2. Τοιχοποιίες από τεχνητούς λίθους.
3. Τοιχοποιίες από συνδυασμό ξύλου και κονιάματος.[3]

Τα μειονεκτήματα της άοπλης τοιχοποιίας που αναφέρθηκαν παραπάνω αίρονται και με τη χρήση οπλισμού. Η εισαγωγή της ωπλισμένης τοιχοποιίας στην κατασκευή, αποτελεί μία νέα τεχνολογία, για την οποία οι ήδη υπάρχουσες γνώσεις είναι πολύ λίγες. Πάντως, από τα μέχρι τώρα πειραματικά δεδομένα είναι γνωστό ότι η ωπλισμένη τοιχοποιία εξασφαλίζει τις απαιτήσεις:

- Καλής αντοχής σε ανακυκλιζόμενη ένταση, για δράσεις μέσα και έξω από το επίπεδο της, και

- Μειωμένης μάζας, συγκριτικά με την άοπλη και την διαζωματική τοιχοποιία.[1]

Η διαζωματική τοιχοποιία είναι εκείνο το σύστημα δομήσεως, στο οποίο κατακόρυφα στοιχεία από Ω.Σ. (κατακόρυφα διαζώματα), κατ' αποστάσεις, και συνδεδεμένα μεταξύ τους με οριζόντια στοιχεία από Ω.Σ. (οριζόντια διαζώματα), περικλείουν την τοιχοποιία, έτσι ώστε να σχηματίζουν μία «γεμισμένη» πλαίσιακή κατασκευή. Τα οριζόντια διαζώματα προστίθενται πάντοτε, τουλάχιστον στις στάθμες των ορόφων του κτιρίου. Τα κατακόρυφα διαζώματα προστίθενται σε οικοδομές που βρίσκονται σε περιοχές μεγάλης σεισμικότητας, ή που είναι θεμελιωμένες σε κακό έδαφος. Τοποθετούνται στις γωνίες του κτιρίου, στις ενώσεις φερόντων τοίχων, στα ελεύθερα άκρα τοίχων ή και στις κατακόρυφες παρειές των ανοιγμάτων.[1]

Στους τοίχους από τοιχοποιία συναντώνται κατά κανόνα ανοίγματα (πόρτες, παράθυρα κ.λ.π.), που επηρεάζουν την όλη συμπεριφορά της τοιχοποιίας, ανάλογα με τη θέση και το μέγεθός τους. Η έρευνα της συμπεριφοράς των τοιχοποιιών με ανοίγματα είναι περιορισμένη και τα αποτελέσματά της μη συγκρίσιμα, επειδή αφορούν διαφορετικά υλικά και διαφορετικά μεγέθη.[1]

Η τοιχοποιία είναι ένα δομικό στοιχείο που παρουσιάζει μεγάλη ετερογένεια. Αποτελείται από τους λίθους και το κονίαμα της τοιχοποιίας. Στις τοιχοποιίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι εξής λίθοι:

- Φυσικοί λίθοι, ασβεστολιθικοί, κ.λ.π.
- Οπτόπλινθοι (τούβλα).
- Τσιμεντόλιθοι και λίθοι από αεροσκυρόδεμα, (αφρομπετόν) καθώς και άλλοι τεχνητοί λίθοι.[5]

Το τούβλο αποτελεί δομικό στοιχείο της τοιχοποιίας με διαστάσεις (mm): 337,5 x 225 x 112,5 (L x W x T). Διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες τούβλων:

- Συνήθης τούβλα, κατάλληλα για γενικές κατασκευές.

- Διακοσμητικά τούβλα, για εξωτερικούς και εσωτερικούς τοίχους, με μεγάλη ποικιλία σχεδίων και χρωμάτων.
- Κατασκευαστικά τούβλα, σκληρά με μεγάλες αντοχές για ειδικές χρήσεις.[2]

Το δεύτερο στοιχείο της τοιχοποιίας είναι η κονία, όπου για φέρουσα τοιχοποιία πρέπει να είναι: **τσιμέντο : ασβέστης : άμμος**. Η επιλογή της κονίας γίνεται με βάση τις εξής απαιτήσεις:

- Γρήγορη ανάπτυξη αντοχής.
- Εργασιμότητα.
- Συγκράτηση νερού (η ικανότητα της κονίας να συγκρατεί νερό).
- Σωστή ανάπτυξη σύνδεσης με το τούβλο.
- Αντίσταση σε ρηγμάτωση και σε διείδυση νερού.
- Αντίσταση σε παγετό και σε χημικές ουσίες.
- Διατήρηση καλής εμφάνισης.[2]

Τα χαμηλής κλάσεως κονιάματα δεν εξασφαλίζουν την συνοχή για την αντιμετώπιση της πλευρικής κάμψης και της εντός του επιπέδου διάτμησης. Προς το παρόν ο Ευρωκώδικας (6) δεν περιέχει ακόμη διατάξεις για τσιμεντοκονία και για σκυρόδεμα πληρώσεως. Τέτοιες διατάξεις θα περιληφθούν στα μελλοντικά κεφάλαια που αφορούν την οπλισμένη τοιχοποιία. Μόνο κονιάματα του τύπου M20-M15-M10-M5 (Ευρωκώδικας 6), επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται σε άοπλη και διαζωματική τοιχοποιία. Μερικές φορές μπορεί να επιτραπεί και η χρήση κονιάματος τύπου M2. Για οπλισμένη τοιχοποιία, επιτρέπονται μόνο κονιάματα τύπου M20-M15-M10.[3]

Για την κατασκευή φερόντων τοίχων, χρησιμοποιούνται τσιμεντοκονιάματα ή ασβεστοτσιμεντοκονιάματα. Η μέση θλιπτική αντοχή των κονιαμάτων στις 28 ημέρες, κυμαίνεται από 5 MPa η μικρότερη, έως 20 MPa η μεγαλύτερη. Οι θλιπτικές αντοχές αναφέρονται σε κυβικά δοκίμια, πλευράς 70mm δοκιμαζόμενα στο εργαστήριο. Οι

εργαστηριακές δοκιμές πρέπει να δίνουν αντοχές κατά 20% τουλάχιστον μεγαλύτερες από τις θεωρητικές τιμές.[2]

Όσον αφορά το τσιμέντο, διακρίνουμε τα εξής είδη, που χρησιμοποιούνται για κονιάματα.

1. Τσιμέντο Portland. Το συνηθισμένο τσιμέντο Portland και το τσιμέντο ταχείας σκληρύνσεως ακολουθούν κάποιους κανονισμούς. Χρησιμοποιούμε το τσιμέντο ταχείας σκληρύνσεως στις περιπτώσεις όπου απαιτούνται αρχικές μεγάλες αντοχές.

2. Τσιμέντο για τοιχοποιία. Αυτό το είδος είναι ένα μίγμα από 75% περίπου κανονικού τσιμέντου Portland, με λεπτόκοκκο αδρανές, φύλλερ (παιπάλη) και αερακτικό πρόσθετο. Το φύλλερ χρησιμοποιείται για να μειώσει την περιεκτικότητα σε τσιμέντο και το αερακτικό πρόσθετο προστίθεται για να βελτιώσει την εργασιμότητα του τσιμέντου. Η κονία που φτιάχνεται από αυτό το τσιμέντο θα έχει χαμηλότερη αντοχή σε σύγκριση με το κανονικό τσιμέντο.[2]

Ο ασβέστης προστίθεται για να βελτιώσει τόσο την εργασιμότητα όσο και την συγκράτηση του νερού. Δύο είδη ασβέστη χρησιμοποιούνται:

- Μη υδραυλική ασβέστος.
- Ημιυδραυλική ασβέστος.[2]

Η άμμος που χρησιμοποιείται για κονιάματα, πρέπει να είναι καθαρή και απαλλαγμένη από βλαβερές ουσίες. Οι περισσότερες φυσικές άμμοι, περιέχουν μια μικρή ποσότητα λάσπης ή ασβέστη. Μικρή ποσότητα ασβέστη βελτιώνει την εργασιμότητα. Η ύπαρξη αργίλου σε μεγάλες ποσότητες προκαλεί συστολή του κονιάματος.[2]

Όλες οι τοιχοποιίες υπόκεινται συνήθως σε θλίψη, και όπως ήταν φυσικό, δόθηκε ιδιαίτερο ενδιαφέρον στον καθορισμό της θλιπτικής τους αντοχής. Βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας είναι:

- Η αντοχή και η γεωμετρία των λιθοσωμάτων.

- Η αντοχή του κονιάματος.
- Οι παραμορφώσεις των λιθοσωμάτων και του κονιάματος.
- Το πάχος του αρμού.
- Η υδρο-απορροφητικότητα των λιθοσωμάτων.
- Το σύστημα δομήσεως.[1]

Από την άλλη πλευρά, η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας συνδέεται με την θλιπτική αντοχή της κονιάς που χρησιμοποιείται σε αυτό. Τελικά, έχει αποδειχθεί ότι η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας είναι ανάλογη, είτε προς την τετραγωνική ρίζα της ονομαστικής θλιπτικής αντοχής του λιθοσώματος, είτε προς την τρίτη ή τέταρτη ρίζα της θλιπτικής αντοχής του κονιάματος.[2]

Από τυποποιημένες δοκιμές της τοιχοποιίας σε θλίψη, παρατηρήθηκε ότι: η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας f_{wc} συνδέεται με την θλιπτική αντοχή του λιθοσώματος f_{bc} και την θλιπτική αντοχή του κονιάματος f_{mc} με τις παρακάτω εμπειρικές σχέσεις:[1]

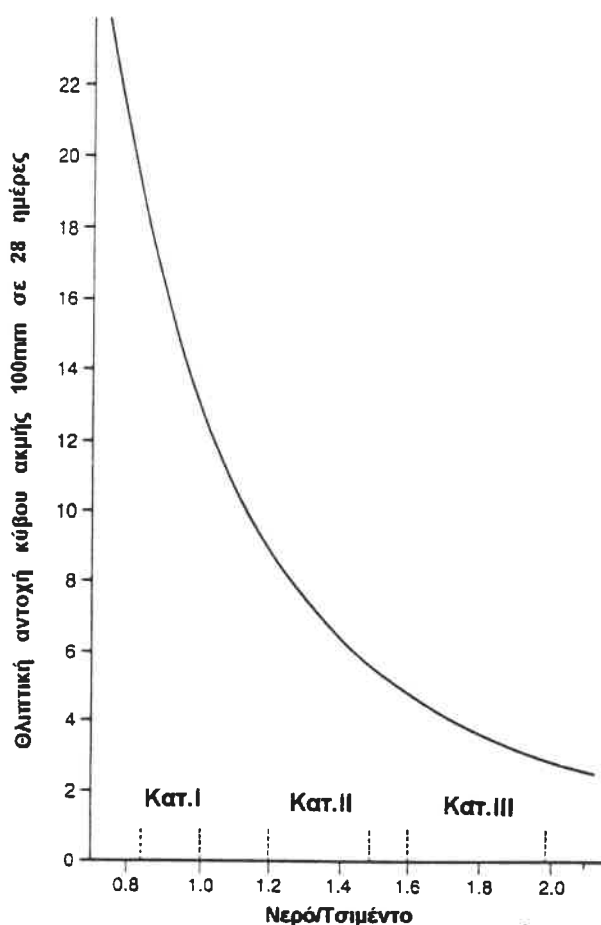
$$\square f_{wc} = (f_{bc})^{1/2}$$

$$\square f_{wc} = (f_{mc})^{1/3} \quad \text{ή} \quad f_{wc} = (f_{mc})^{1/4} \quad (\text{Hendry, 1981})$$

$$\square f_{wc} = f_{bc}/6 + [(f_{bc} \cdot f_{mc})^{1/2}] / 4 - f_{mc}/20 + 1,4 \quad (\text{Τάσιος 1983})$$

Η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας επηρεάζεται σημαντικά από το είδος του συνδετικού υλικού μεταξύ των λιθοσωμάτων. Συστηματική πειραματική έρευνα (Structural Clay Research Foundation, ΗΠΑ, Hendry, 1981), έδειξε ότι η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας, μπορεί να υπερβεί την θλιπτική αντοχή του τούβλου, για ορισμένα λεπτά «συνδετικά» υλικά, όπως χάλυβας, κόντρα-πλακέ, κ.λ.π. Αυτό συμβαίνει επειδή το συνδετικό υλικό παρεμποδίζει την πλευρική παραμόρφωση των τούβλων, δημιουργώντας έτσι μια ευνοϊκή τριαξονική εντατική κατάσταση στα τούβλα.[1]

Πρόσφατη έρευνα απέδειξε ότι η αναλογία νερού προς τσιμέντο είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την αντοχή των κατηγοριών I, II, III, του κονιάματος.[2]

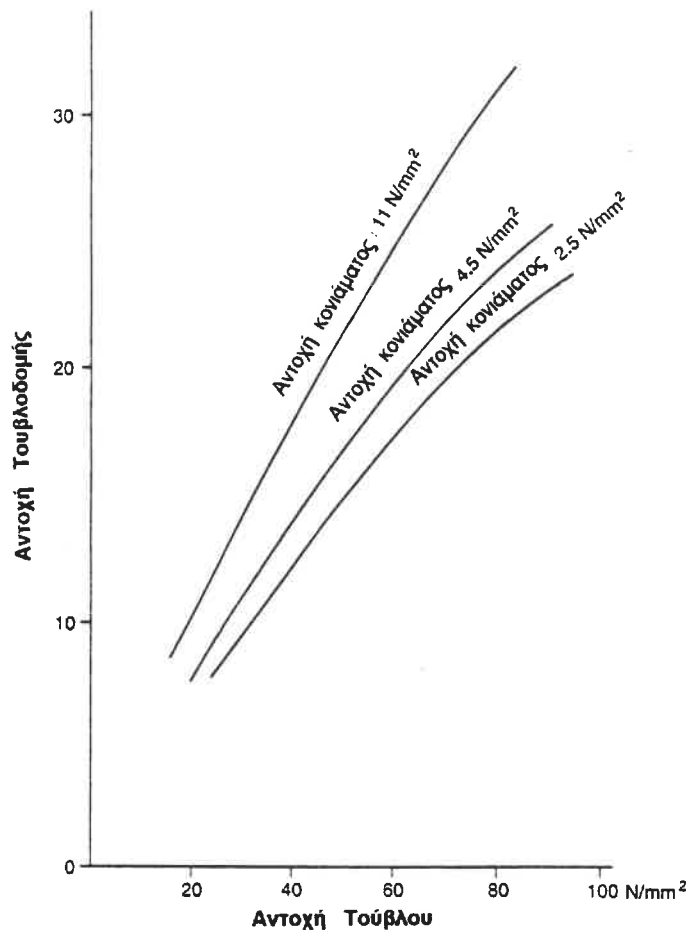


Εικ.1 Επίδραση της αναλογίας νερού προς τσιμέντο, στην θλιπτική αντοχή του κονιάματος των κατηγοριών I, II, III. [2]

Η διάκριση των κονιαμάτων στις τρεις αυτές κατηγορίες γίνεται με βάση την αναλογία νερού προς τσιμέντο. Έτσι, για την κατηγορία I, ο λόγος N/T βρίσκεται μεταξύ 0.80 και 1.00, για την κατηγορία II, κυμαίνεται από 1.20 έως 1.50 και τέλος για την κατηγορία III, είναι μεταξύ 1.60 και 2.00.[2]

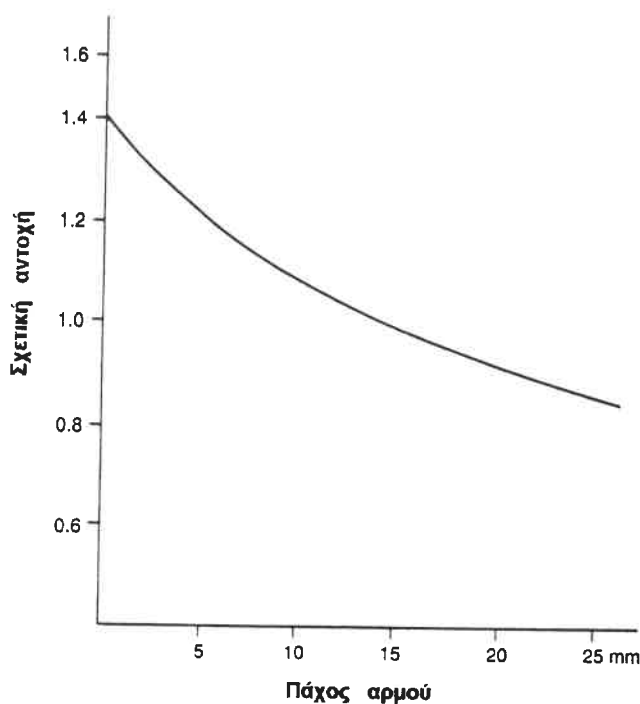
Πολλές θεωρίες για την αντοχή της τοιχοποιίας έχουν προταθεί κατά καιρούς, βασισμένες στην εξίσωση της πλυστικής έντασης και του κονιάματος. Άλλες πάλι θεωρίες έχουν βασιστεί στη μέτρηση της διαξονικής και τριαξονικής αντοχής των υλικών. Όμως και στις δύο

περιπτώσεις οι δυσκολίες στον προσδιορισμό των κατάλληλων υλικών, εμπόδιζαν την πρακτική τους χρήση, ενώ για σχεδιαστικούς λόγους συνέχιζαν να αντικαθίστανται από εμπειρικές σχέσεις, για τον προσδιορισμό της αντοχής μεταξύ κονίας και τοιχοποιίας. Τέτοιες σχέσεις περιγράφονται στο διάγραμμα της Εικ.2. [2]



Εικ.2 Σχέση μεταξύ αντοχής τούβλου και αντοχής τουβλοδομής, για διάφορες αντοχές κονιάματος. Αποτελέσματα δοκιμών. [2]

Επίσης, έχει διαπιστωθεί ότι για δεδομένα υλικά και πάχος αρμού, όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος του λιθοσώματος τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση στις εφελκυστικές δυνάμεις, και μεγαλύτερη η αντοχή της τοιχοποιίας. Ειδικότερα, για δεδομένο ύψος λιθοσώματος, αυξάνοντας το πάχος του κονιάματος των αρμών, μειώνεται η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας.[2]



Εικ.3 Επίδραση του πάχους των αρμών στην αντοχή της οπτοπλινθοδομής.[2]

Για την χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας, υπάρχει η εξής σχέση:

$$f_k = k \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25} \quad (\text{N/mm}^2)$$

όπου: f_k είναι η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας, f_b είναι η κανονικοποιημένη θλιπτική αντοχή και f_m είναι η θλιπτική αντοχή του κονιάματος. Το k είναι σταθερά που εξαρτάται από την κατασκευή και η τιμή της κυμαίνεται από 0.6 έως 0.4. [2]

Η εφελκυστική αντοχή δεν συνιστά ένα σαφές μηχανικό χαρακτηριστικό της τοιχοποιίας. Στην πραγματικότητα, ανάλογα με τη γωνία εμφάνισης μιας εφελκυστικής ρωγμής, διαφορετική θα είναι και η αντίσταση της τοιχοποιίας σε εφελκυσμό. Ο κατακόρυφος εφελκυσμός, οδηγεί σε αποσύνδεση του κονιάματος. Από την άλλη πλευρά, η οριζόντια εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας προέρχεται είτε από την αντίσταση σε ολίσθηση μεταξύ κονιάματος και λιθοσώματος, είτε από την εφελκυστική αντοχή του λιθοσώματος.[1]

Οι κατασκευές από τοιχοποιία βελτιώνουν το οικοδομικό περιβάλλον στο οποίο ζούμε. Στην συνεχιζόμενη ενεργειακή κρίση, θα πρέπει να κάνουμε συχνότερη χρήση εκείνων των υλικών που απαιτούν σχετικά χαμηλή ενέργεια. Ένας από τους λόγους της ύπαρξης του μηχανικού είναι να παρέχει οικονομικές, απλές, αλλά και ανθεκτικές μέσα στο χρόνο, κατασκευές. Οι κατασκευές που μπορούμε να δούμε σήμερα, έχουν εκτός από καλή εμφάνιση, χαμηλό κόστος ενώ είναι συγχρόνως πρωτοποριακές.[4]

2. KONIEΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Κονίες ονομάζονται τα κονιοποιημένα υλικά, τα οποία αναμειγνύόμενα με το νερό σχηματίζουν πολτό, ο οποίος παρουσιάζει συγκολλητικές ιδιότητες, πηγνύεται και σκληρύνεται. Οι κονίες παράγονται ως επί το πλείστον κατόπιν βιομηχανικής επεξεργασίας.[6]

Η σχηματιζόμενη πλαστική μάζα, μετά από ορισμένο χρόνο από την παρασκευή της, που εξαρτάται από το είδος της κονίας και του μέσου κατεργασίας, της θερμοκρασίας κ.λ.π., μεταπίπτει λόγω αύξησεως του ιξώδους από την αρχική ημίρρευστη κατάσταση, σε κατάσταση αναλλοίωτου σχήματος, αποκτώντας στερεότητα. Το φαινόμενο αυτό καλείται πήξη της κονίας ή του κονιάματος. Η περαιτέρω με το χρόνο αύξηση της μηχανικής αντοχής αυτής καλείται σκλήρυνση.[8]

Με βάση τη σύνθεση των πρώτων υλών διακρίνουμε τις κονίες στις εξής κατηγορίες:[8]

1. Φυσικές κονίες: Ο όρος αυτός δηλώνει απλώς το γεγονός ότι αυτή προκύπτει με όπτηση ενός μόνο πετρώματος. Σ' αυτές ανήκουν η υδραυλική άσβεστος, η ρωμαϊκή κονία, και το φυσικό τσιμέντο.

2. Τεχνητές κονίες: Αυτές, σε αντίθεση με τις φυσικές, είναι προϊόντα όπτησης μίγματος πρώτων υλών, κατάλληλης σύστασης. Στις τεχνητές κονίες ανήκουν οι ποικίλοι τύποι τεχνητών τσιμέντων, η ρύθμιση της χημικής σύστασης τους εξασφαλίζει την υψηλή μηχανική ή χημική αντοχή τους, κ.λ.π.

Οι κονίες υποδιαιρούνται σε αερικές και σε υδραυλικές, ανάλογα με τον τρόπο πήξεως και σκληρύνσεως.[6] Ονομάζονται αερικές κονίες, εκείνες που πήζουν, σκληρύνονται και διατηρούνται μόνο στον

ατμοσφαιρικό αέρα. Χρησιμοποιούνται σε επιφανειακές κατασκευές. Μέσα σε υγρό περιβάλλον δεν αντέχουν ακόμη και οι σκληρυνθείσες αερικές κονίες.[6]

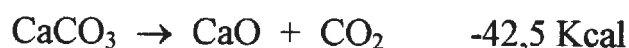
Ονομάζονται υδραυλικές κονίες εκείνες που πήζουν και σκληρύνονται μέσα στο νερό ή σε υγρό, ή τουλάχιστον σε περιοδικά υγραινόμενο περιβάλλον, με την επίδραση του νερού. Χρησιμοποιούνται σε κατασκευές που βρίσκονται σε συνεχή ή περιοδική επαφή με το νερό.[6] Συχνά όμως χρησιμοποιούνται και στη θέση των αερικών, αφού απολιθωθούν μετά από συνεχή καταβρέγματα με νερό.[9]

Τα κυριότερα είδη των κονιών είναι: άσβεστος, υδράσβεστος, γύψος, μαγνησιακή κονία, υδραυλική άσβεστος, ρωμαϊκή κονία, φυσικό τσιμέντο, τεχνητό τσιμέντο, πόρτλαντ, ποζολανικά τσιμέντα, κ.λ.π.[6]

2.2 ΑΣΒΕΣΤΟΣ

Άσβεστος λέγεται το οξείδιο του ασβεστίου CaO που παράγεται με πύρωση ασβεστόλιθου στους 1000°C . Με πύρωση άνω των 1000°C έχουμε εκτός από την ασβεστοποίηση, αντίδραση με τα πυριτικά και αργιλικά άλατα και παραγωγή υπερπυρωμένου ασβέστη (overburned lime), που με νερό αντιδρά αργά και δίνει ισχνό ασβέστη. Αντίθετα η διάσπαση γίνεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία αν δημιουργήσουμε κενό, δεσμεύοντας το διοξείδιο του άνθρακα για γέμισμα πυροσβεστήρων.[9]

Η καυστική άσβεστος (CaO) ή οξείδιο του ασβεστίου παράγεται σύμφωνα με την παρακάτω ενδοθερμική αντίδραση:[8]



Θεωρείται κανονική άσβεστος εκείνη που παρασκευάζεται από ασβεστόλιθους που περιέχουν 98-99% ανθρακικό ασβέστιο. Οι αργιλούχοι ασβεστόλιθοι με περιεκτικότητα σε άργιλο πάνω από 5% δεν είναι κατάλληλοι για την παρασκευή αερικής άσβεστου, είναι όμως κατάλληλοι για την παρασκευή υδραυλικής άσβεστου. Η άσβεστος που παρασκευάζεται από τους καθαρότερους ασβεστόλιθους και κατόπιν κανονικής όπτησης, ονομάζεται παχειά. Όταν όμως παρασκευάζεται από ασβεστόλιθους με πολλές ξένες προσμίξεις, από μαγνησιούχους ασβεστόλιθους με περιεκτικότητα σε ανθρακικό μαγνήσιο (MgCO_3) μεγαλύτερη του 15% ή από καθαρούς ασβεστόλιθους, αλλά μετά από ανεπαρκή όπτηση, ονομάζεται ισχνή.[6]

Η όπτηση του ασβεστόλιθου εκτελείται μέσα σε ασβεστοκάμινο διακεκομμένης ή συνεχούς λειτουργίας. Στο εξωτερικό χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό και περιστροφικά καμίνια, ανάλογα με εκείνα του τσιμέντου.[8]

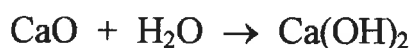
Οι μέθοδοι όπτησης είναι οι εξής:[7]

- ♦ Ασβεστουργικοί σωροί (χρόνος 1 εβδομάδας περίπου).
- ♦ Φρεατοειδή καμίνια.
- ♦ Καμίνια συνεχούς λειτουργίας μεγάλης φλόγας.
- ♦ Καμίνια συνεχούς λειτουργίας βραχείας φλόγας.
- ♦ Δακτυλοειδή καμίνια Hoffmann.

Η άσβεστος είναι πορώδης υλικό, διότι ο ασβεστόλιθος που γίνεται ασβέστης χάνει 44% του βάρους του ενώ ο όγκος του ελαττώνεται μόνο κατά 10-20%. Τήκεται στους 2700° C όταν είναι καθαρός. Οι ξένες προσμίξεις (αλκάλια και σίδηρος) ελαττώνουν το σημείο τήξης. Ο ασβέστης διαλύεται στο νερό ελάχιστα, ενώ όσο αυξάνει η θερμοκρασία τόσο ελαττώνεται η διαλυτότητα.[9]

Η καυστική άσβεστος βρίσκεται σε τεμάχια μεγέθους 10-20εκ. ή και μεγαλύτερα, εφ' όσον η όπτηση της πραγματοποιείται μέσα σε καμίνι τύπου Hoffmann. Το χρώμα της είναι λευκό. Η καυστική άσβεστος εμφανίζει μικρό φαινόμενο ειδικό βάρος. Λόγω της απώλειας βάρους, έως ένα ποσοστό, του αργού υλικού, η καυστική άσβεστος εμφανίζει εκτεταμένο δίκτυο τριχοειδών πόρων, με αποτέλεσμα να καθίστανται ικανή προς ταχεία απορρόφηση νερού.[8]

Η άσβεστος σε επαφή με το νερό μετατρέπεται, με έκλυση έντονης θερμότητας, στο ογκώδες υδροξείδιο του ασβεστίου που ονομάζεται υδράσβεστος, σύμφωνα με την εξίσωση:



Εάν χρησιμοποιηθεί περίσσεια νερού, τότε λαμβάνεται ο πολτός υδρασβέστου.[6]

Η ποιότητα της καυστικής άσβεστου εξαρτάται από το υπόλειμμα της μέσα στο νερό, (μικρότερο του 5% κ.β.) και από την μη έκλυση CO₂ (κακή όπτηση) κατά την επίδραση HCl.[7]

Στην Αμερική χρησιμοποιούν την πιο κάτω μέθοδο: Ποσότητα 2 κιλών ασβέστη σβήνει σε κιβώτιο με νερό μέχρι να δώσει όγκο 5 λίτρων. Ο ασβέστης πριν ζυγιστεί πρέπει να περάσει από κόσκινο 7 χιλιοστών. Την επόμενη ημέρα ο ασβεστοπολτός πλένεται με 30 κιλά νερό επάνω από κόσκινο του ενός χιλιοστού. Όσο δεν πέρασε ξηραίνεται και ζυγίζεται. Ο ασβέστης με αδιάλυτα άνω του 10% θεωρείται ακατάλληλος. Άλλη δοκιμή είναι η ταχύτητα που σβήνει. Ο καλής ποιότητας ασβέστης αρχίζει να σβήνει σε 3 μόνο λεπτά. Η ποιότητα του ασβέστη μας ενδιαφέρει επειδή ο ισχνός ασβέστης έχει μικρότερη απόδοση, δηλαδή σχηματίζει κονίαμα με λίγη άμμο.[9]

Υδράσβεστος ονομάζεται το υδροξείδιο του ασβεστίου Ca(OH)_2 το οποίο παράγεται από το σβήσιμο της κεκαυμένης ασβέστου. Ανάλογα με την ποσότητα του χρησιμοποιούμενου νερού και τον τρόπο σβήσεως, η υδράσβεστος λαμβάνεται σε μορφή πολτού ή κονίας.[6]

Το προϊόν αραιώσεως με νερό, του πολτού της ασβέστου, καλείται γαλάκτωμα. Το γαλάκτωμα της υδρασβέστου, με προσθήκη υδροχρώματος ή με προσθήκη διαφόρων χρωμάτων, χρησιμοποιείται για την εκτέλεση κοινών υδροχρωματισμών.[8]

Η κυριότερη εφαρμογή της υδράσβεστου, είτε σε μορφή πολτού, είτε σε μορφή κονίας, συνίσταται στην προσθήκη άμμου και νερού για την παρασκευή ασβεστοκονιαμάτων δομήσεως και επιχρισμάτων.[8]

Στην κατηγορία των υδραυλικών κονιών ανήκει η υδραυλική άσβεστος που παράγεται από την όπτηση αργιλούχων ασβεστόλιθων που περιέχουν 10-15% άργιλο. Η υδραυλική άσβεστος έχει παραχθεί από το 1755 από τον Άγγλο μηχανικό J. Smeaton. Χρησιμοποιείται για την παρασκευή κονιαμάτων για υδραυλικές κατασκευές. Είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί και για την παρασκευή αερικών κονιαμάτων, τα οποία πλεονεκτούν σε μηχανικές ιδιότητες από τα αντίστοιχα με υδράσβεστο.[6]

Σήμερα η υδραυλική άσβεστος έχει αντικατασταθεί από το τσιμέντο, με το οποίο επιτυγχάνεται, τόσο η τόνωση των κοινών ασβεστοκονιαμάτων, όσο και η σύνθεση υδραυλικών κονιαμάτων που μπορούν να πήζουν, να σκληρύνονται και να διατηρούνται μέσα στο νερό, με πολλαπλάσια αντοχή.[8]

Από την υδραυλική άσβεστο, με μεγάλο ποσοστό από οξείδια του ασβεστίου και του πυριτίου και μικρό ποσοστό από οξείδια του αργίλου, σιδήρου και μαγνησίου προκύπτει η κονία Lafarge. Παρασκευάστηκε για πρώτη φορά στο Teil της Γαλλίας, έχει λευκό χρώμα, και προσφέρεται σαν μέσο συνδέσεως λευκών ή ανοιχτόχρωμων μαρμάρων και τεχνητών λίθων. Σήμερα ο τύπος αυτής της κονίας έχει παραμερισθεί από το λευκό τσιμέντο και το τσιμέντο διακοσμήσεως.[8]

2.3 ΓΥΨΟΣ

Η γύψος, ή οπτή γύψος, είναι κονία η οποία παρασκευάζεται μετά από κατάλληλη όπτηση της φυσικής γύψου. Στο εμπόριο βρίσκεται σε μορφή λεπτότατης λευκής κονίας. Η γύψος χρησιμοποιείται μόνο σαν αερική κονία, γιατί δεν παρουσιάζει αντοχή σε νερό.[6]

Το ορυκτό γύψος είναι ένυδρο θεικό ασβέστιο $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Όταν με πύρωση χάνει μέρος του κρυσταλλικού νερού, εύκολα πήζει μετά από διαβροχή. Ποτέ δεν βρίσκεται καθαρό. Η περιεκτικότητα σε προσμίξεις 20% κάνει το γύψο ακατάλληλο για κάθε χρήση, ενώ είναι ανεκτό το ποσοστό του 5%.[9]

Η αφυδάτωση της φυσικής γύψου πραγματοποιείται με όπτηση της, σε διάφορες θερμοκρασίες, ενώ τα κυριότερα προϊόντα της είναι:[7]

- Η ημιυδρική ή πλαστική γύψος.
- Η άνυδρος ή ταχεία γύψος.

Στη βιομηχανία, με κατάλληλη ρύθμιση της θερμοκρασίας όπτησης της φυσικής γύψου, λαμβάνονται δυο διαφορετικές δομικές κονίες, η πλαστική γύψος και η τραχεία γύψος.[6]

Ονομάζεται πλαστική γύψος, το προϊόν που προκύπτει από την όπτηση της φυσικής γύψου στην περιοχή των $120-180^\circ\text{C}$ και το οποίο φέρεται στο εμπόριο με τη μορφή λεπτής λευκής κονίας.[6]

Η όπτηση της φυσικής γύψου προς παραγωγή της πλαστικής γύψου μπορεί να γίνει μέσα σε:[7]

- Σωροκαμίνους.
- Όρθιους κάμινους διακεκομμένης λειτουργίας.
- Σιδερένιους λέβητες.
- Ανοιχτά αβαθή δοχεία.
- Περιστροφικούς κλίβανους συνεχούς λειτουργίας.

Ο πλαστικός γύψος είναι σκόνη λευκή ειδικού βάρους 2.6-2.65 και φαινόμενο βάρος 0.8-1.4 ανάλογα με τη συμπίεση κατά την αποθήκευση.[9] Όταν αναμιχθεί με νερό, προσλαμβάνει εύκολα όλο το νερό που έχασε κατά την όπτηση και πήζει μετατρεπόμενο στο αρχικό ένυδρο θειικό ασβέστιο.[6]

Τον πλαστικό γύψο τον διακρίνουμε σε δυο κατηγορίες: της δομικής και της καλλιτεχνίας. Ο δομικός γύψος είναι λιγότερο καθαρής μορφής, χονδρόκοκκος, ενώ η πύρωση κατά την παρασκευή του είναι ανομοιόμορφη και διαρκεί 3-4 φορές λιγότερο της καλλιτεχνίας. Με το δομικό γύψο κατασκευάζονται και γυψοσανίδες για επενδύσεις. Ακόμα προστίθεται όπου το ασβεστοκονίαμα πρέπει να πήξει γρήγορα.[9]

Ο γύψος καλλιτεχνίας λέγεται και οινοποιίας, οδοντοτεχνικής, ορθοπεδικής, ή κεραμικής επειδή χρησιμοποιείται στα πιο πάνω επαγγέλματα και πήζει αργά.[9] Η διακοσμητική γύψος χρησιμοποιείται πάντοτε με πρόσμιξη 1.5% φυτικών ινών για την κατασκευή αγαλμάτων, κ.λ.π. Οι γύψινες διακοσμήσεις στερεώνονται στο υπόστρωμά τους με επιψευδαργυρωμένα σιδερένια καρφιά, γιατί ο σίδηρος προσβάλλεται από τη γύψο και προκαλεί επιφανειακές κηλίδες και τελικά έχουμε αποκόλληση των διακοσμήσεων.[6]

Στην κεραμική ο γύψος χρησιμοποιείται στην κατασκευή καλουπιών (π.χ. γαλλικά κεραμίδια). Τα είδη υγιεινής, πορσελάνινα πιάτα, στακτοδοχεία, κούφια αγάλματα πορσελάνης κατασκευάζονται με αραιό πολτό πορσελάνης σε γύψινα καλούπια. Ο γύψος συγκρατεί την υγρασία του πολτού που εφάπτεται, ενώ αποχύνεται το υπόλοιπο του πολτού που δεν έχασε νερό.[9]

Κονιάματα της γύψου είναι:[7]

1. Γυψοασβεστοκονίαμα = γύψος + ασβεστοκονίαμα.
2. Γυψοκονίαμα = γύψος + χαλαζιακή άμμος.
3. Διακοσμητικοί λίθοι = γύψος + τρίχες, πριονίδια, ίνες ξύλου.

4. Γυψοσανίδες = γύψος + ίνες αμιάντου.

Το προϊόν που λαμβάνεται όταν η όπτηση της φυσικής γύψου γίνει σε θερμοκρασία γύρω στους 1000°C, ονομάζεται τραχεία γύψος. Από χημικής άποψης αποτελείται από ανυδρίτη γύψο CaSO_4 με μικρή περιεκτικότητα βασικού θεικού ασβεστίου $\text{CaO} \cdot \text{CaSO}_4$. [6]

Το χρώμα του είναι κιτρινωπό, έχει πυκνότητα 2.8-2.9 και φαινόμενη πυκνότητα 1.1-1.6. Άρα είναι βαρύτερος του πλαστικού γύψου. Έχει μεγάλη σκληρότητα και η αντοχή του τον καθιστά κατάλληλο για επίστρωση πατωμάτων, για το λόγο αυτό λέγεται γύψος πατωμάτων (flooring gypsum). [9]

Τα αντικείμενα που παρασκευάζονται με τραχεία γύψο είναι περισσότερο σκληρά, συμπαγή και ανθεκτικά στην επίδραση των καιρικών συνθηκών από τα αντίστοιχα με πλαστική γύψο. Παρά το γεγονός ότι η διαλυτότητα στο νερό, είναι μικρότερη από εκείνη της πλαστικής, η τραχεία γύψος χρησιμοποιείται με επιτυχία σε εξωτερικές επιφάνειες. Τα κονιάματα που παρασκευάζονται με τραχεία γύψο, υπερέχουν από τα ασβεστοκονιάματα σε μηχανική αντοχή, σκληρότητα, αντοχή σε χρόνο και ταχύτητα πήξεως, εκτός από την ανθεκτικότητα σε εξωτερικές επιφάνειες. [6]

2.4 ΤΣΙΜΕΝΤΟ

2.4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ονομάζεται τσιμέντο πόρτλαντ (Portland) η πολύ λεπτή κονία που προκύπτει από την άλεση του κλίνκερ (clinker), το οποίο παράγεται με την όπτηση μέχρι να αρχίσει η πήξη ενός μίγματος που αποτελείται κυρίως από ασβεστολιθικά και αργιλοπυριτικά πετρώματα σε ορισμένη αναλογία.[6]

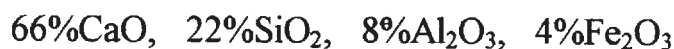
Πατέρας αυτής της κονίας φέρεται ο Άγγλος τεχνικός J. Aspdin, ο οποίος την παρασκεύασε το 1824. Παρόλα αυτά, ο καθηγητής του Πανεπιστημίου του Illinois Jasper O Draffin, σε άρθρο του που δημοσιεύτηκε το έτος 1943, στο περιοδικό Journal of the Western Society of Engineers, γράφει ότι ασφαλώς ο θεωρούμενος ως εφευρέτης Άγγλος τεχνίτης J. Aspdin, είναι ο πρώτος που έδωσε στην κονία αυτή την ονομασία Portland, λόγω της ομοιότητας του χρώματος της κονίας, με το χρώμα των δομικών λίθων που παράγονται από τα νησιά Portland της Αγγλίας, εντούτοις παραμένει αναπάντητο το ερώτημα σχετικά με το όνομα του πρώτου εφευρέτη.[8]

Το 1845 ο Johson μελέτησε καλύτερα τις αναλογίες των πρώτων υλών και τις συνθήκες καμίνευσης. Το 1850 ιδρύεται το πρώτο Γαλλικό εργοστάσιο τσιμέντου, το 1855 στη Γερμανία και το 1875 στην Αμερική. Το 1902 ιδρύεται στην Ελλάδα το εργοστάσιο TITAN με όρθιο καμίνι. Το 1912 δημιουργείται το πρώτο περιστροφικό καμίνι από το εργοστάσιο ΗΡΑΚΛΗΣ. Έπειτα ιδρύθηκαν ο ΟΛΥΜΠΙΟΣ 1925, ΧΑΛΚΙΣ 1925 και ΑΤΛΑΣ 1939.[9]

Πρώτες ύλες για την παρασκευή του τσιμέντου είναι:

- Ασβεστόλιθοι κατά 76%
- Αργιλούχα πετρώματα κατά 24%

Αυτά υφίστανται χωριστά ξήρανση, άλεση και στη συνέχεια αναμιγνύονται και υφίστανται όπτηση στους 1400°C όπου και λαμβάνεται το κλίνκερ το οποίο έπειτα από κατάλληλη κατεργασία δίνει το τσιμέντο με σύνθεση:[7]



Οι διαδοχικές φάσεις παρασκευής του τσιμέντου είναι:

1. Θραύση των πρώτων υλών μέχρι μικρό χαλίκι με θραυστήρες σιαγόνων ή σφυρόμυλους.
2. Αποθήκευση πρώτων υλών σε silos.
3. Σύνθεση μείγματος ασβεστόλιθου, αργίλου, Fe_2O_3 . Με τη σύνθεση αυτή θα αντιδράσει όλος ο ασβέστης με την άργιλο.
4. Συνάλεση και ξήρανση μείγματος πρώτων υλών.
5. Ανάμειξη των πρώτων υλών.
6. Καμίνια τσιμέντου.

Το συγκρότημα των καμινιών είναι το πιο ογκώδες και δαπανηρό μέρος ενός εργοστασίου τσιμέντου.[9]

2.4.2 ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΠΟΡΤΛΑΝΤ

Οι κύριες χημικές ενώσεις του ασβεστίου, απ' τις οποίες αποτελείται το τσιμέντο πόρτλαντ είναι οι ακόλουθες:[8]

- | | |
|--|------------------------|
| * Πυριτικό τριασβέστιο (ή αλίτ) | $3CaO.SiO_2$ |
| * Πυριτικό διασβέστιο (ή μπελίτ ή φελίτ) | $2CaO.SiO_2$ |
| * Αργιλικό τριασβέστιο | $3CaO.Al_2O_3$ |
| * Αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο (ή σελίτ) | $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ |

Η αναλογία των παραπάνω συστατικών έχει επίδραση στην ταχύτητα ανάπτυξης της αντοχής, δηλαδή στην ταχύτητα της χημικής αντίδρασης του τσιμέντου με το νερό. Οι δύο πυριτικές ενώσεις συμβάλλουν σημαντικά στη γρήγορη ανάπτυξη της αντοχής, αντίθετα με

τις αργιλικές. Αντίθετα όμως η αναλογία των τεσσάρων συστατικών δεν έχει τόσο αποφασιστική σημασία στην τελική τιμή της αντοχής. Έχει παρατηρηθεί ότι μεγαλύτερη αντοχή παρουσιάζουν, γενικά, τα τσιμέντα τα φτωχά σε ασβέστιο και πλούσια σε πυριτικό διασβέστιο.[10]

2.4.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Το χρώμα του τσιμέντου πόρτλαντ είναι συνήθως τεφροπράσινο και προέρχεται από τις ενώσεις του σιδήρου που περιέχει. Αν το τσιμέντο παρασκευαστεί από πρώτες ύλες που περιέχουν ελάχιστα ίχνη σιδήρου, το χρώμα του είναι λευκό. Πάντως, το χρώμα δεν αποτελεί χαρακτηριστικό της ποιότητας του, από την άποψη των αντοχών.[6]

Το ειδικό βάρος του τσιμέντου υπερβαίνει τα 3gr/cm^3 , ενώ το φαινόμενο ειδικό βάρος φτάνει και 1.5gr/cm^3 (συμπεριλαμβάνονται στον όγκο και τα διάκενα). Το μέγεθος των κόκκων είναι 50μ. δηλαδή παρουσιάζει μεγάλη ειδική επιφάνεια. Όσο πιο λεπτόκοκκο είναι, τόσο γρηγορότερα αντιδρά με το νερό και αυξάνει την αντοχή του. Δείκτης υδραυλικότητας λέγεται ο λόγος των βαρών του ασβέστη προς τα άλλα οξείδια. Ο δείκτης αυτός πρέπει να είναι 2 ± 0.2 . [9]

Ανάλογα με τη σύνθεσή τους, το βαθμό αλέσεως και τα πρόσθετα υλικά, τα τσιμέντα κατατάσσονται σε διάφορους τύπους και κατηγορίες αντοχής. Σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Τσιμέντων τα παραγόμενα τσιμέντα κατατάσσονται στους ακόλουθους τύπους:[10]

□ **Τύπος Ι: τσιμέντο πόρτλαντ.** Χαρακτηρίζονται ως τσιμέντα πόρτλαντ αυτά που προέρχονται από την άλεση του κλίνκερ με τις ελάχιστες αναγκαίες προσθήκες. Αυτές είναι γύψος (2-3%) και φίλλερ έως 3% κατά βάρος.

- **Τύπος II: τσιμέντα πόρτλαντ με ποζολάνες.** Χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που περιέχουν εκτός από τα προηγούμενα υλικά και ποζολάνη σε ποσοστό έως 20% κατά βάρος.
- **Τύπος III: ποζολανικά τσιμέντα πόρτλαντ.** Τα ποζολανικά τσιμέντα περιέχουν ποζολάνη σε ποσοστό 20-40% κατά βάρος. Παρουσιάζουν μικρότερη θερμότητα ενυδάτωσης και αυξημένη ανθεκτικότητα σε διαβρωτικά μέσα.
- **Τύπος IV: τσιμέντα πόρτλαντ ανθεκτικά στα θειικά άλατα.** Τα τσιμέντα του τύπου αυτού δεν έχουν προσθήκες (ποζολάνες κ.λ.π.), αλλά το αργίλικό τριασβέστιο (C_3A) περιορίζεται σε ένα ποσοστό κάτω από κάποιο όριο π.χ. 5%.

Από άποψη αντοχής τα τσιμέντα κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

35, 45, 55.

Οι αριθμοί παριστάνουν την αντοχή των τσιμέντων σε MPa όπως προσδιορίζεται συμβατικά, σύμφωνα με τον Κανονισμό. Έτσι, ένα τσιμέντο I/35 σημαίνει ότι είναι τύπου I και συμβατικής αντοχής 35 MPa. Ο ρυθμός αύξησης της αντοχής του τσιμέντου πετυχαίνεται συνήθως με αύξηση της λεπτότητας (Blaine). Στην Ελλάδα κυρίως χρησιμοποιούνται τώρα ο τύπος II/35 σε σακιασμένο τσιμέντο ή χύμα (το λεγόμενο "κοινό") και το τσιμέντο I/45 και I/55 (μόνο χύδην). Το τελευταίο χρησιμοποιείται όταν υπάρχει ανάγκη για ανάπτυξη θλιπτικών αντοχών νωρίς, για γρήγορο ξεκαλούπωμα, όπως π.χ. στην προκατασκευή. Το συνήθως χρησιμοποιούμενο είναι το τσιμέντο I/45 στην Αθήνα και το τσιμέντο II/35 στην επαρχία.[10]

Το τσιμέντο χρησιμοποιείται κυρίως για την παρασκευή τσιμεντοκονιαμάτων και σκυροδεμάτων (ωπλισμένων και μη). Χρησιμοποιείται επίσης για την κατασκευή δομικών στοιχείων, όπως τσιμεντόλιθων, κισσηρόλιθων, προϊόντων από αμιαντοτσιμέντο (σωλήνες,

φύλλα επιστεγάσεως, κ.λ.π.), πλακών πεζοδρομίων, καθώς επίσης στην κατασκευή προκατασκευασμένων στοιχείων για οικοδομικά ή τεχνικά έργα. Τέλος χρησιμοποιείται για την ενίσχυση θεμελιώσεων με τσιμεντενέσεις για σταθεροποίηση εδαφών, κ.α.[6]

2.4.4 ΕΝΥΔΑΤΩΣΗ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Η πήξη και η σκλήρυνση του σκυροδέματος οφείλονται αποκλειστικά στη χημική δράση μεταξύ τσιμέντου και νερού. Τα συστατικά του τσιμέντου ενώνονται με το νερό ύστερα από μια σειρά περίπλοκων χημικών αντιδράσεων που διαρκούν επί χρόνια. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ενυδάτωση του τσιμέντου.[10]

Κατά την M. Dzulynsky, ο μηχανισμός της ενυδάτωσης ακολουθεί τα εξής στάδια, τα οποία εκδηλώνονται ταυτόχρονα, λαμβάνουν όμως χώρα σε διάφορα σημεία του συνόλου:[8]

- Το στάδιο έναρξης της διαλύσεως των άνυδρων αλάτων.
- Το στάδιο της ενυδάτωσης αυτών των αλάτων.
- Το στάδιο της καταβύθισης των ένυδρων, πλέον, αλάτων του διαλύματος.
- Το στάδιο της νέας διαλύσεως άνυδρων αλάτων εντός της υγρής φάσης.

Αφ' ετέρου, κατά τον Baikhon, η διαδικασία της ενυδάτωσης ακολουθεί τα εξής στάδια:[8]

- a) Το στάδιο της διαλύσεως, κατά το οποίο ο κορεσμός του νερού γίνεται προοδευτικά.
- b) Το στάδιο του σχηματισμού της κολλοειδούς κατάστασης και το οποίο αντιστοιχεί στο φαινόμενο της πήξης.
- c) Το στάδιο της κρυστάλλωσης, κατά το οποίο τα κολλοειδή πηγματα ή η πηκτή (gel) του τσιμέντου, μετατρέπεται σε κρυσταλλικά

συσσωματώματα. Το στάδιο αυτό αντιστοιχεί στην περίοδο της σκλήρυνσης.

Κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου, το χημικά δεσμευμένο νερό πρέπει να υπάρχει σε ποσοστό 23% - 25% κατά βάρος του τσιμέντου, το επιφανειακά δεσμευμένο νερό, 15% - 19% κατά βάρος, ενώ για την πλήρη ενυδάτωση του τσιμέντου είναι αναγκαίο νερό σε ποσοστό 40% - 42% κατά βάρος. Εάν, κατά την πορεία της ενυδάτωσης, υπάρξει έλλειψη νερού, το ανυδάτωτο ακόμα τσιμέντο δεν μπορεί να τραβήξει νερό από το επιφανειακά δεσμευμένο νερό του ήδη ενυδατωμένου τσιμέντου και έτσι η ενυδάτωση σταματάει.[11]

2.4.5 ΔΟΚΙΜΕΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Από τον Ελληνικό Κανονισμό για την μελέτη και εκτέλεση έργων με ωπλισμένο σκυρόδεμα προβλέπονται οι ακόλουθες δοκιμές του τσιμέντου:[6]

- I. Δειγματοληψία. Λαμβάνονται δείγματα από πολλούς σάκους. Τα διάφορα αυτά δείγματα αναμιγνύονται και σχηματίζεται ένα μέσο δείγμα βάρους 10γρ.
- II. Έλεγχος λεπτότητας αλέσεως. Λαμβάνονται 100γρ. τσιμέντου που έχουν ξηρανθεί στους 105°C, τοποθετούνται στο κόσκινο των 4900 βροχίδων και κοσκινίζονται επί 25 λεπτά. Το τσιμέντο που συγκρατείται στο κόσκινο ζυγίζεται και εκφράζεται σε ποσοστό % κατά βάρος του αρχικού τσιμέντου.
- III. Δοκιμή πήξεως. Γίνεται με την συσκευή Vicat.
- IV. Δοκιμή σταθερότητας του όγκου.
- V. Δοκιμή αντοχής σε θλίψη. Παρασκευάζονται 6 κυβικά δοκίμια πλευράς 7.00εκ.. Τα δοκίμια συντηρούνται μέσα σε νερό. Μετά από 7

ή 28 ημέρες δοκιμάζονται στη δοκιμή θλίψεως και υπολογίζεται η αντοχή τους.

VI Δοκιμή αντοχής σε εφελκυσμό. Παρασκευάζονται δοκίμια σχήματος οκταρίου, και τοποθετούνται σε κλειστά ερμάρια κεκορεσμένα από υγρασία και μετά από 24 ώρες μέσα στο νερό, προσδιορίζεται η αντοχή τους σε εφελκυσμό, με τη θραύση τους σε ειδική συσκευή εφελκυσμού.

VII Υπόλοιποι έλεγχοι. Εκτός από αυτούς τους ελέγχους πραγματοποιούνται και άλλοι όπως ο προσδιορισμός του αδιάλυτου διαλύματος, ο χημικός προσδιορισμός των διαφόρων συστατικών του, ο προσδιορισμός απώλειας βάρους με πύρωση, ο προσδιορισμός του ειδικού βάρους, της αντοχής σε κάμψη κ.α.

2.4.6 ΑΛΛΑ ΕΙΔΗ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΠΟΡΤΛΑΝΤ

Οι σπουδαιότερες παρεμφερείς κονίες προς το τσιμέντο πόρτλαντ, είναι:[6]

♦ Τσιμέντο πόρτλαντ υψηλής αντοχής.

Το κύριο χαρακτηριστικό του τσιμέντου αυτού είναι η ταχεία ανάπτυξη των μηχανικών αντοχών σε σύγκριση με τις αντοχές του τσιμέντου πόρτλαντ.

♦ Τσιμέντα υψικαμίνων.

Οι κυριότεροι τύποι με σκωρίες υψικαμίνων είναι οι σκωριοκονίες που παρέχουν αυξημένη ανθεκτικότητα στο θαλάσσιο νερό, τα μικτά μεταλλουργικά τσιμέντα που χρησιμοποιούνται σε υγρούς χώρους, χημικώς δραστικούς και στο θαλάσσιο νερό, ενώ τέλος τα θειομεταλλουργικά τσιμέντα με υψηλή ανθεκτικότητα στις χημικές επιδράσεις. Στην Ελλάδα δεν έχουν παραχθεί τσιμέντα υψικαμίνων.

♦ Αργιλικό τσιμέντο.

Ονομάζεται και τηκτή κονία και έχει υψηλές αντοχές στην επίδραση του θαλάσσιου νερού. Χρησιμοποιείται για έμφραξη οπών, ρηγμάτων, κ.λ.π. Και αυτό το τσιμέντο δεν παράγεται στην Ελλάδα.

♦ **Λευκό τσιμέντο πόρτλαντ.**

Το λευκό τσιμέντο είναι πολύ πιο ακριβό απ' το κοινό τσιμέντο και χρησιμοποιείται για την παρασκευή επιχρισμάτων προσόψεων, έγχρωμων μωσαϊκών δαπέδων, ή πλακών και γενικά για διακοσμητικές κατασκευές.

♦ **Τσιμέντο διακοσμήσεων (ημίλευκο).**

Το τσιμέντο αυτό έχει παρεμφερείς ιδιότητες και χρήσεις με το λευκό τσιμέντο, αλλά είναι πολύ πιο φτηνό. Οι κυριότερες ιδιότητες του είναι στα μωσαϊκά, στις πλάκες δαπέδων, στις εξωτερικές επενδύσεις κτιρίων κ.λ.π.

♦ **Τσιμέντο τοιχοποιίας.**

Το τσιμέντο τοιχοποιίας χρησιμοποιείται για την παρασκευή κονιαμάτων δομήσεως και επιχρισμάτων και παράγεται στη χώρα μας.

2.5 ΠΟΖΟΛΑΝΕΣ

Η ονομασία ποζολάνη προήλθε από την περιοχή Pozzuoli της Ιταλίας, όπου οι Ρωμαίοι είχαν ανακαλύψει ότι το έδαφος παρουσίαζε υδραυλικές ιδιότητες. Γαίες της περιοχής χρησιμοποιούσαν οι Ρωμαίοι στα κονιάματά τους. Σήμερα, ποζολάνες ονομάζουμε πυριτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά, που έχουν την ιδιότητα να ενώνονται με την υδράσβεστο Ca(OH)_2 και να σχηματίζουν ένυδρες ασβεστοπυριτικές ενώσεις, που με το νερό σκληρύνονται και αποκτούν μικρές ή και μεγαλύτερες αντοχές.[10]

Οι ποζολάνες διακρίνονται σε:[7]

I. Φυσικές: θηραϊκή γη, ηφαιστιογενείς τόφφοι, γερμανική Trass, ιταλική Pozzolana κ.α.

II. Τεχνητές: πυρωμένοι άργιλοι, σκωρίες, ιπτάμενη τέφρα.

Για να χρησιμοποιηθεί μια ποζολάνη για την παρασκευή τσιμέντων του τύπου II ή III πρέπει να ικανοποιεί τη δομική δραστικότητα που προβλέπει ο Κανονισμός, δηλαδή να παρουσιάζει συμβατική αντοχή τουλάχιστον 5MPa. Στην Ελλάδα υπάρχουν ηφαιστιογενείς γαίες με ποζολανικές ιδιότητες σε πολλές περιοχές, όπως η Θήρα, ή Μήλος, τα νησιά Γιάλι και Νίσηρος των Δωδεκανήσων, στο νομό Πέλλης και αλλού.[10]

Η παραγωγή ποζολανικών τσιμέντων είναι λίαν αναπτυγμένη στην Ευρώπη, Αμερική και Ασία. Στην Ιταλία, παράγεται τσιμέντο με ποζολάνη, σε κατά βάρος αναλογία 30% με 40% σε όλες τις κατασκευές. Παράλληλα ποσοστά έχουμε επίσης στη Γερμανία και στη Γαλλία. Αδίστακτα προτείνεται η αύξηση του ποσοστού της συναλεθόμενης θηραϊκής γης σε 20% προς βελτίωση των τσιμεντοκονιαμάτων και σκυροδεμάτων. Μια τέτοια αύξηση θα συντελέσει στη μείωση της δαπάνης παραγωγής του τσιμέντου.[8]

2.5.1 ΘΗΡΑΪΚΗ ΓΗ

Η θηραϊκή γη είναι υλικό ηφαιστειογενούς προέλευσης, πλούσιο σε οξείδια Si, Al. Η ποζολανικότητα της θηραϊκής γης είναι βασικά η ικανότητα δέσμευσης της ασβέστου η οποία αποβάλλεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου.[7]

Η θηραϊκή γη χρησιμοποιείται για την ενίσχυση των κοινών ασβεστοκονιαμάτων από πλευράς ανθεκτικότητας σε υγρό περιβάλλον και μηχανικών αντοχών τους, προς τη σύνθεση αμιγών ασβεστοκονιαμάτων, από πολτό υδρασβέστου και θηραϊκής γης.[8]

2.5.2 Ι ΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ

Ονομάζουμε ιπτάμενη τέφρα τα, σε λεπτότατο καταμερισμό, κατάλοιπα που προκύπτουν από την καύση γαιανθράκων ή λιγνιτών και που συλλέγονται κατά την έξοδο των αερίων καύσεως από τις καπνοδόχους των Ατμοηλεκτρικών Σταθμών με τα ηλεκτροστατικά φίλτρα. Στην Ελλάδα ιπτάμενη τέφρα παράγεται στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς της ΔΕΗ στην Πτολεμαΐδα και στη Μεγαλόπολη.[10]

Μεταξύ των εφαρμογών της ιπτάμενης τέφρας είναι η σύνθεση κονιαμάτων δομήσεως και επιχρισμάτων, η κατασκευή τεχνητών πλακών και λίθων, η κατασκευή ελαφρών τσιμεντόλιθων και ελαφρών αδρανών υλικών, η σταθεροποίηση εδαφών, η κατασκευή κυψελοειδούς σκυροδέματος μεγάλης μονωτικής αξίας, κ.α.[8]

2.5.3 ΦΙΛΛΕΡ (FILLER)

Φίλλερ ονομάζουμε υλικά, συνήθως αδρανή, σε λεπτότατο καταμερισμό. Τα φίλλερ σε μικρές ποσότητες επιδρούν ευνοϊκά στο εργάσιμο και την υδατοπερατότητα. Η δράση τους είναι κυρίως μηχανική, δηλαδή δρουν σαν λιπαντικό για το εργάσιμο και με τη διόγκωση των κόκκων παρουσία υγρασίας αυξάνουν την υδατοστεγανότητα. Σπανίως παρουσιάζουν και ποζολανικές ή υδραυλικές ιδιότητες. Αυτό εξαρτάται από το αρχικό υλικό απ'το οποίο προέρχεται το φίλλερ.[10]

3. KONIAMATA

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Κονιάματα είναι μίγματα μιας συνδετικής ύλης, νερού και αδρανών, τα οποία έχουν αξιόλογη ρευστότητα και πλαστικότητα όταν είναι νωπά, αποκτούν δε, μετά την πήξη και σκλήρυνση της συνδετικής ύλης, μηχανική αντοχή και άλλες φυσικές και χημικές ιδιότητες.[12]

Οι ιδιότητες του νωπού και σκληρυμένου κονιάματος εξαρτώνται από το είδος και τις αναλογίες των πρώτων υλών, από τον τρόπο ανάμιξης και μορφοποίησης και από τις συνθήκες που επικρατούν ή εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια της σκληρύνσεως.[12]

Ένα κονίαμα λέγεται **ισχνό, κανονικό ή παχύ** (φτωχό, κανονικό, πλούσιο) όταν η αναλογία σε κονία είναι μικρή, κανονική, μεγάλη αντίστοιχα. Αν το κονίαμα ενισχύεται με χαλύβδινο σκελετό εσωτερικά, λέγεται **οπλισμένο ή σιδηροπαγές**. [9]

Τα κονιάματα αποτελούν ένα από τα βασικότερα στοιχεία των κατασκευών και χρησιμοποιούνται για δυο κύριους σκοπούς:[6]

1. Για να συνδέσουν τα στοιχεία των τοιχοδομών και να συμπληρώσουν τα δημιουργούμενα κενά. Για παράδειγμα, κατά το χτίσιμο μιας λιθοδομής το κονίαμα τοποθετείται μεταξύ των λίθων, τους συνδέει, γεμίζει τα κενά και εξομαλύνει τις επιφάνειες εδράσεως, κατά τρόπο που επιτρέπει στα στοιχεία της λιθοδομής να εργάζονται κυρίως σε καθαρή θλίψη. Το ίδιο πράγμα γίνεται και σε μια οπτοπλινθοδομή ή τσιμεντοδομή κ.λ.π.

2. Για να επενδύσουν τα στοιχεία των κατασκευών. Η επένδυση αυτή γίνεται για λόγους προφύλαξης, μόνωσης και αισθητικής εμφάνισης. Τα κονιάματα που χρησιμοποιούνται για επενδύσεις ονομάζονται **επιχρίσματα** και αποτελούν ουσιώδη παράγοντα ποιότητας και διάρκειας του έργου.

Υπάρχουν και άλλες δευτερεύουσες χρήσεις των κονιαμάτων, όπως π.χ. είναι η κατασκευή διακοσμητικών στοιχείων (κορνιζών, προεξοχών κ.α.). Τέλος σαν κονιάματα είναι δυνατόν να θεωρηθούν και οι πολλοί από νερό και συνδετική ύλη, χωρίς πρόσμιξη αδρανών. Οι πολλοί αυτοί χρησιμοποιούνται για στόμωση μικροδιαρροών, για στερέωση ξύλινων τάκων στις τοιχοδομές, για έμφραξη μικρορωγμών και για τσιμεντενέσεις.[6]

Μία κύρια διάκριση των κονιαμάτων, η οποία ξεκινάει βασικά από τις εφαρμογές τους, είναι σε **λεπτοκονιάματα** και **χονδροκονιάματα**. Λεπτοκονιάματα ή συνηθέστερα απλώς κονιάματα είναι μίγματα μιας κονιάς, άμμου και νερού. Χονδροκονιάματα είναι μίγματα μιας συνδετικής ύλης, νερού, άμμου και αδρανών μεγαλύτερων διαστάσεων (σκύρα, χαλίκια κ.α.).[12]

Ανάλογα με τον τρόπο σκλήρυνσης, τα κονιάματα διακρίνονται σε: **αερικά** και **υδραυλικά**. [7]

Τα αερικά, είναι εκείνα που πήζουν (στερεοποιούνται), σκληρύνονται και διατηρούνται μόνο στον αέρα. Τα υδραυλικά, είναι αυτά που πήζουν, σκληρύνονται και διατηρούνται, όχι μόνο στον αέρα, αλλά και μέσα στο νερό.

Στην κατηγορία των υδραυλικών κονιαμάτων κατατάσσονται και εκείνα τα οποία αφού πήζουν στον αέρα, μπορούν να σκληρυνθούν και να διατηρηθούν μέσα στο νερό.[6]

Ανάλογα με το είδος της κονιάς ή των αδρανών διακρίνονται σε:[12]

I. Ασβεστοκονιάματα.

II. Τσιμεντοκονιάματα.

III. Ασβεστοτσιμεντοκονιάματα ή μίκτα κονιάματα.

IV. Θηραϊκοκονιάματα, στα οποία η άμμος ή ένα μέρος απ' αυτήν έχει αντικατασταθεί με θηραϊκή γη, (δεν εξορύσσεται πλέον).

V. Μαρμαροκονιάματα, στα οποία η άμμος έχει αντικατασταθεί με μαρμαρόσκονη.

VI. Γυψοκονιάματα.

VII. Τα διάφορα ειδικά κονιάματα με ποικιλία συνθέσεων και διάφορα αδρανή ή πρόσμικτα υλικά. Τα κονιάματα αυτά εξυπηρετούν ειδικούς σκοπούς όπως η κατασκευή οροφοκονιαμάτων πάνω σε ξύλινες πήχες, η αύξηση της μονωτικής ικανότητας του τοιχώματος κ.τ.λ.[6]

Τέλος, ανάλογα με τη χρήση τους έχουμε:[7]

1. Κονιάματα τοιχοποιίας.

2. Κονιάματα υπό πίεση.

3.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Οι ιδιότητες των κονιαμάτων εξαρτώνται από τους παρακάτω παράγοντες:[7]

- ♦ Από την αναλογία αναμίξεως (κ. ο).
- ♦ Από τον τρόπο αναμίξεως.
- ♦ Από το είδος της κονίας.
- ♦ Από το είδος των αδρανών.
- ♦ Από το είδος των προσθέτων. (στεγανοποιητικά, πλαστικοποιά, προστασία έναντι παγετού).
- ♦ Από τον τρόπο κατεργασίας και συμπίκνωσης.

Οι σημαντικότερες ιδιότητες των κονιαμάτων (που καθορίζουν την ποιότητά τους) είναι το εργάσιμο για το νωπό κονίαμα και η μηχανική αντοχή, ενώ για το σκληρυμένο κονίαμα, η αντοχή στη γήρανση.[12]

Το **εργάσιμο** είναι μια σύνθετη ιδιότητα που συντίθεται από άλλες επί μέρους, όπως η πλαστικότητα (η ικανότητα δηλαδή να μορφοποιείται χωρίς να χάνει την συνοχή του), η ρευστότητα, η ικανότητα προσφύσεως στις επιφάνειες που εφαρμόζεται και το αναπόμικτο, (η ιδιότητα να διατηρεί την ομοιογένεια και να μην διαχωρίζεται σε στρώσεις διαφόρων συνθέσεων κατά την παραμονή ή την μεταφορά).[12]

Οι μερικές αυτές ιδιότητες που συνθέτουν και προσδιορίζουν την έννοια του εργασιμου, δεν είναι ανεξάρτητες η μία από την άλλη και από τους παράγοντες που τις επηρεάζουν, άλλοι ενεργούν κατά τρόπο αντιφατικό, δηλαδή ευνοϊκά για τη μία μερική ιδιότητα και δυσμενώς για την άλλη, ώστε η τελική επίδραση στο εργάσιμο να είναι αμφίβολη και αυτό αποτελεί μια πρόσθετη δυσκολία στη διερεύνηση του εργασιμου.[6]

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι π.χ. αύξηση του ποσοστού του νερού αυξάνει τη ρευστότητα αλλά ελαττώνει το αναπόμικτο. Η ρευστότητα επηρεάζεται επίσης από το μέγεθος και το είδος των κόκκων του αδρανούς. Μεγαλύτερη αναλογία μεγάλων κόκκων αυξάνει την ρευστότητα λόγω ελαττώσεως της επιφάνειας τριβής. Κόκκοι με λεία και καμπύλη επιφάνεια αυξάνουν επίσης τη ρευστότητα. Η πλαστικότητα του κονιάματος αυξάνεται κατά κανόνα με το ποσοστό της περιεχόμενης κονιάς.[12]

Η μέτρηση, ή καλύτερα η αποτίμηση του εργάσιμου γίνεται με διάφορες δοκιμασίες, απ' τις οποίες οι σπουδαιότερες είναι η δοκιμασία εξαπλώσεως και η δοκιμασία εισδύσεως κώνου. Στην πρώτη, ορισμένη ποσότητα κονιάματος κολουροκωνικού σχήματος, υποβάλλεται σε καθορισμένο αριθμό χτυπημάτων, με πτώση της αρθρωτής επιφάνειας της τράπεζας που το υποβαστάζει, από ορισμένο ύψος. Η ποσοστιαία αύξηση της διαμέτρου της επιφάνειας βάσεως του κώνου, που καλείται μέτρο εξαπλώσεως, αποτελεί και μέτρο του εργάσιμου. Στη δοκιμασία εισδύσεως, μετράται το βάθος στο οποίο βυθίζεται η κορυφή πρότυπου κώνου, ο οποίος αποτίθεται στην οριζόντια επιφάνεια του κονιάματος.[12]

Μια άλλη ειδική έννοια είναι η **απόδοση** ενός κονιάματος που εκφράζει το λόγο του φαινόμενου όγκου του κονιάματος προς τον ξηρό φαινόμενο όγκο της άμμου που περιέχει. Η απόδοση των συνήθων κονιαμάτων κυμαίνεται γύρω από τη μονάδα και συνήθως λίγο μικρότερη. Για παράδειγμα, η απόδοση ενός τσιμεντοκονιάματος 400kg τσιμέντου ανά μ^3 άμμου, είναι κατά μέσο όρο 0.95, δηλαδή η πραγματική αναλογία τσιμέντου ανά μ^3 κονιάματος είναι κατά τι μεγαλύτερη και ίση προς $400/0.95=420\text{kg}$. [6]

Μια άλλη ιδιότητα των κονιαμάτων είναι η **μηχανική αντοχή** τους, η οποία δεν είναι γενικά απαραίτητο να είναι μεγάλη, ενώ είναι πάντοτε μικρότερη από τα δομικά στοιχεία με τα οποία

χρησιμοποιείται. Σε ότι αφορά τα επιχρίσματα, η αντοχή πρέπει να είναι αρκετή ώστε να αντιστέκεται στη δημιουργία ρωγμών από τη συρρίκνωση. Στις οπτοπλινθοδομές εξ' άλλου, το στρώμα του κονιάματος που χρησιμοποιείται είναι αρκετά λεπτό, γεγονός που βελτιώνει σημαντικά την μηχανική του επίδοση.[12]

Ο έλεγχος της μηχανικής αντοχής γίνεται σε κυβικά δοκίμια ακμής 7.00cm, τα οποία εξάγονται από τους τύπους 24 ώρες μετά την παρασκευή τους και διατηρούνται σε περιβάλλον σταθερής θερμοκρασίας και υγρασίας. Η δοκιμασία γίνεται μετά από 7 και 28 ημέρες από την παρασκευή των δοκιμίων.[12]

Η μηχανική αντοχή των κονιαμάτων εξαρτάται από:[12]

- a)** Την ποιότητα και την κοκκομετρική σύνθεση της άμμου. Άμμος με κόκκους που να περιορίζουν το ποσοστό των κενών, άρα και το ποσοστό του πολτού της κονίας, δίνει κονιάματα ισχυρότερα.
- b)** Το ποσοστό της κονίας. Κονιάματα με μεγαλύτερο ποσοστό κονίας είναι ανθεκτικότερα. Αυτό βέβαια ισχύει μέχρι το ποσοστό που εξασφαλίζει τη συμπλήρωση όλων των κενών της άμμου.
- c)** Για τα τσιμεντοκονιάματα, η αντοχή τους αυξάνει αντιστρόφως ανάλογα προς το λόγο των βαρών νερό / τσιμέντο.
- d)** Η αντοχή τέλος, εξαρτάται από τον τρόπο παρασκευής και εφαρμογής του κονιάματος, καθώς και τις συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια πήξεως και σκληρύνσεως.

Η αντοχή των κονιαμάτων στη γήρανση, εξαρτάται, εκτός από την ποιότητα των αδρανών και το είδος της κονίας και από το είδος και την έκταση του πορώδους, καθώς και την ποιότητα της επιφάνειας τους. Σύμπαγή κονιάματα είναι περισσότερο ανθεκτικά, γιατί εμποδίζουν την διείσδυση του νερού και των αερίων. Το πορώδες περιορίζει με τη χρήση άμμου καλής κοκκομετρικής συνθέσεως και τον περιορισμό της ποσότητας του νερού.[12]

Μια άλλη ιδιότητα που χαρακτηρίζει ένα κονίαμα είναι η **πρόσφυση**. Η ιδιότητα αυτή σε πολλές περιπτώσεις εφαρμογών είναι η σπουδαιότερη, γιατί η συγκόλληση στοιχείων, αλλά και αυτού του ίδιου του κονιάματος επάνω στο υπόβαθρο του (τοιχοδομή, μπετόν κ.λ.π.) είναι μια από τις κύριες αποστολές των κονιαμάτων. Αφορά κατ' αρχήν τη συγκόλληση των κόκκων του αδρανούς με την κονία. Η πρόσφυση του κονιάματος στα δομικά στοιχεία εξαρτάται από την καθαρότητα και την αδρότητα των επιφανειών, καθώς και το βαθμό υγρασίας αυτών.[6]

Η επόμενη χαρακτηριστική ιδιότητα των κονιαμάτων είναι η **ογκοσταθερότητα**, δηλαδή η ικανότητα να μην μεταβάλλει αισθητά τον όγκο του, ιδίως κατά την αρχική περίοδο της σκλήρυνσής του. Σε μεταβολές του όγκου υπόκεινται κυρίως τα τσιμεντοκονιάματα, λόγω του φαινομένου της συστολής και είναι τόσο μεγαλύτερη όσο πλουσιότερο είναι το κονίαμα. Η συστολή εξαρτάται επίσης από την ποσότητα του νερού ή ακριβέστερα από το λόγο νερού / τσιμέντο και αυξάνει όσο πιο υδαρές γίνεται το κονίαμα.[6]

3.3 ΥΛΙΚΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Οι πρώτες ύλες για την παρασκευή των κονιαμάτων πρέπει να ικανοποιούν ορισμένες απαιτήσεις, οι οποίες σε γενικές γραμμές είναι οι ακόλουθες.[12]

3.3.1 ΝΕΡΟ

Το νερό των κονιαμάτων πρέπει να είναι καθαρό και να μην περιέχει επιβλαβείς προσμίξεις. Τέτοιες χαρακτηρίζονται τα ελεύθερα οργανικά ή ανόργανα οξέα, τα άλατα, τα διαλυτά ζάχαρα κ.α. Το θαλασσινό νερό δεν είναι κατάλληλο για κονιάματα, γιατί περιέχει κατά μέσο όρο 35γρ./λτρ. διαλυτά άλατα. Οποσδήποτε απαγορεύεται σε κάθε περίπτωση η χρησιμοποίηση νερού από ιαματικές πηγές.[6]

3.3.2 ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Για την παρασκευή τσιμεντοκονιαμάτων και ασβεστοκονιαμάτων είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν όλοι οι τύποι τσιμέντων, με την προϋπόθεση ότι η ποιότητά τους είναι σύμφωνη με τους κανονισμούς που ισχύουν για το έργο. Εάν χρησιμοποιηθούν τσιμέντα που αναπτύσσουν γρήγορα τις αντοχές τους, πρέπει τα κονιάματα αυτά να συντηρούνται σε υγρό περιβάλλον προς αποφυγήν ρηγματώσεων.[6]

3.3.3 ΑΜΜΟΣ

Η άμμος που θα χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή κονιαμάτων, πρέπει να προέρχεται από πετρώματα με ικανοποιητικές μηχανικές αντοχές, υγιή και ανθεκτικά.[6] Η χαλαζιακή άμμος θαλάσσης αποτελεί την καλύτερη ποιότητα, όταν έχει την κατάλληλη κοκκομετρική

σύνθεση.[12] Η παιπάλη (ή φύλλερ), δεν πρέπει να θεωρείται επιβλαβής πρόσμιξη. Αντίθετα, όταν περιέχεται σε μικρά ποσοστά και συγκεκριμένα 6% κατά τους Ελληνικούς Κανονισμούς, συντελεί σε ένα καλύτερο εργάσιμο του κονιάματος και σε ισχυρότερη συμύκνωση. Κατά το Γάλλο Feret η καλύτερη κοκκομετρική σύνθεση άμμου κονιαμάτων αποτελείται σε αναλογία κατ' όγκον, από 2/3 χονδρών κόκκων και 1/3 λεπτών, στους οποίους περιλαμβάνεται και η συνδετική ύλη.[6]

3.3.4 ΠΟΛΤΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ

Ο πολτός της ασβέστου που θα χρησιμοποιηθεί στα κονιάματα πρέπει να προέρχεται από το σβήσιμο με την υγρή μέθοδο κεκαυμένης ασβέστου, καθαρής και απαλλαγμένης από επιβλαβείς προσμίξεις. Κατά τη χρησιμοποίησή του ο πολτός της ασβέστου πρέπει να είναι πλαστικός, δηλ. να μην έχει αρχίσει να στερεοποιείται, ούτε να βρίσκεται σε υδαρή κατάσταση, οπότε είναι γαλάκτωμα ασβέστου. Επίσης δεν πρέπει να περιέχει στερεούς κόκκους όπως άμμο, ξένες ουσίες κ.τ.λ.[6]

3.3.5 ΚΟΝΙΣ ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΥ

Στα ασβεστοκονιάματα, τα πουζολανοκονιάματα και τα μικτά ασβεστοτσιμεντοκονιάματα, είναι δυνατόν αντί πολτού ασβέστου να χρησιμοποιηθεί κόνις υδρασβέστου. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι αντοχές που επιτυγχάνονται με την αντικατάσταση αυτή είναι περίπου οι ίδιες.[6]

3.3.6 ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

Τα υλικά αυτά βελτιώνουν ορισμένες ιδιότητες των κονιαμάτων, όπως η στεγανότητα, ή ρυθμίζουν την ταχύτητα, ή χαμηλώνουν τη θερμοκρασία, ή δημιουργούν φυσαλίδες μέσα στη μάζα του κονιάματος. Εφαρμόζονται αποκλειστικά στα τσιμεντοκονιάματα. Χρειάζεται μεγάλη προσοχή στα πρόσθετα υλικά που περιέχουν άλατα ή έχουν οργανική προέλευση. Για την επιτάχυνση της πήξεως, κυρίως το χειμώνα, είναι παραδεδομένο ως πρόσθετο υλικό τσιμεντοκονιαμάτων και σκυροδέματος το χλωριούχο ασβέστιο, μέχρι ένα επιτρεπτό ποσοστό.[6]

3.4 ΤΥΠΟΙ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η σύνθεση των κονιαμάτων που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα στις διάφορες εφαρμογές, δεν καθορίζεται από κανονισμούς αλλά είναι αποτέλεσμα πείρας και παραδόσεως.[12]

Συγκεκριμένα, τα κονιάματα διακρίνονται σε **χαμηλής** (ομάδα I), **μέτριας** (ομάδα II) και **υψηλής αντοχής** (ομάδα III). Τα ασβεστοκονιάματα κατατάσσονται στα κονιάματα χαμηλής αντοχής, τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα και τα πουζολανοκονιάματα στα κονιάματα μέτριας αντοχής και τα τσιμεντοκονιάματα στα κονιάματα υψηλής αντοχής.[6]

Τα κονιάματα της πρώτης ομάδας χρησιμοποιούνται κατά κανόνα σε κατασκευές με ασήμαντες ή πολύ μικρές φορτίσεις. Τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα χρησιμοποιούνται σε επιχρίσματα και σε κατασκευές με μέτριες φορτίσεις. Τα πουζολανοκονιάματα, λόγω της μέτριας υδραυλικότητας που παρουσιάζουν, χρησιμοποιούνται σε υγρό περιβάλλον, όπως οι λιθοδομές θεμελίων, λιμενικά έργα κ.α. Τέλος, τα τσιμεντοκονιάματα χρησιμοποιούνται σε επιχρίσματα και σε κατασκευές που πρόκειται να δεχτούν ισχυρές φορτίσεις.[12] Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και ισχνά τσιμεντοκονιάματα. Αυτά κατατάσσονται στα μέτριας αντοχής και εφαρμόζονται σε τοιχοδομές πληρώσεως ή ελαφρώς φορτιζόμενες.[6]

3.4.1 ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Τα απλά ασβεστοκονιάματα παρασκευάζονται από τρία συστατικά, νερό ασβέστη και άμμο. Τα ενισχυμένα περιέχουν τσιμέντο για να αυξηθεί η αντοχή τους, γύψο για να πήξουν πιο γρήγορα κ.λ.π. Ανάλογα με τη χρήση έχουμε τα επικαλυπτικά (σουβάδες) και τα συνθετικά για το χτίσιμο τούβλων, πέτρας κ.λ.π. Αμιγής ασβεστοπολτός

δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο επειδή είναι ακριβός αλλά όταν πήζει συστέλλεται πολύ.

Έχει μικρή αντοχή και όταν πήξει αρχίζει από την επιφάνεια του επειδή αυτή έχει επαφή με το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας. Η έξω επιφάνεια σκληραίνει και δεν επιτρέπει τη δίοδο του διοξειδίου του άνθρακα για να αντιδράσει πιο μέσα. Οι αερικές κονίες στερεοποιούνται (απολιθώνονται) με στέγνωμα και πρόσληψη διοξειδίου του άνθρακα, ενώ οι υδραυλικές με αντίδραση μεταξύ των συστατικών τους και πρόσληψη νερού που το συγκρατούν σαν κρυσταλλικό.

Οι αναλογίες μεταξύ άμμου και ασβεστοπολτού είναι 2.5-1. Αν είναι 4-1 το αμμοκονίαμα λέγεται ισχνό. Αντί άμμο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μαρμαρόσκηνη σε αναλογίες 1-2 μέχρι 2-1 οπότε έχουμε μαρμαροκονίαμα. Το κονίαμα πριν το σοβάτισμα παρασκευάζεται με άμμο, ασβεστοπολτό και τσιμέντο σε αναλογίες 30-10-1. Αυτό το στρώμα γίνεται πιτσιλητό για δημιουργία επιφάνειας ώστε να κολλήσει το κύριο στρώμα του σουβά, που δεν περιέχει συνήθως τσιμέντο. Το τρίτο στρώμα είναι με μαρμαροκονίαμα και άσπρο τσιμέντο. Το κάθε στρώμα εφαρμόζεται αφού ξεραθεί το προηγούμενο επειδή το εξωτερικό στρώμα δεν επιτρέπει το στέγνωμα του εσωτερικού. Ο χρόνος απολίθωσης (αντίδρασης) εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες και το πάχος του στρώματος.

3.4.2 ΠΟΖΟΛΑΝΙΚΑ ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Τα υδραυλικά ή ποζολανικά ασβεστοκονιάματα σχηματίζονται με ασβεστοπολτό και τέφρα ηφαιστειών. Στην Ελλάδα έχουμε τη θηραϊκή γη που προέρχεται από την έκρηξη του ηφαιστείου της Σαντορίνης προ 3.500 χρόνων, (αναφέρεται για ιστορικούς λόγους, αφού δεν εξορύσσεται πια). Μετά το κοσκίνισμα, καθαρισμό, ξήρανση και άλεση συσκευάζεται σαν χοντρό αλεύρι σε χαρτόσακκους ειδικού βάρους 2.4 περίπου. Η

μέση ανάλυση δείχνει: 67% SiO₂, 15% Al₂O₃, 5% Fe₂O₃, 4% CaO, 1% MgO, 2%K₂O, 2% Na₂O, 4% H₂O.

Το διοξείδιο του πυριτίου της θηραϊκής γης δεν είναι όλο κρυσταλλικό, όπως της θαλασσινής άμμου, αλλά κατά μεγάλο ποσοστό (15% περίπου) είναι σε κολλοειδή μορφή, που αντιδρά με τον ασβέστη και δίνει πυριτικό ασβέστιο, που συγκρατεί νερό και σχηματίζει ένυδρα άλατα, που σαν ζελές κάνουν το κονίαμα υδραυλικό.



Διμερή κονιάματα με ασβεστοπολτό και θηραϊκή γη σε αναλογία 2-7 και 20% θαλασσινό νερό χρησιμοποιήθηκαν για κατασκευή αποβάθρων στον Πειραιά, την Πάτρα και το Ναύπλιο. Τριμερή κονιάματα ασβεστοπολτού, άμμου, θηραϊκής γης σε αναλογία 1-1-3 δίνουν καλά αποτελέσματα, ενώ σε αναλογία 2-1-6 χρησιμοποιήθηκε στη διώρυγα της Κορίνθου, του Σουέζ, σε Ιταλικά λιμάνια και στο λιμάνι της Αλεξάνδρειας.

Ενισχυμένα πουζολανοκονιάματα κατασκευάζονται με προσθήκη δύο σάκκων τσιμέντου (100kg.) ανά κυβικό μέτρο κονιάματος. Για θεμελιώσεις σε υγρά εδάφη ανάλογα με την υγρασία μπορεί να χρησιμοποιηθούν μίγματα.

Εκτός των φυσικών ποζολάνων έχουμε και τις τεχνητές που είναι σκουριά καμίνων πλούσια σε πυριτικά άλατα. Δεν μπορούν να συγκριθούν με τις φυσικές.[9]

3.4.3 ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Καθαρό τσιμέντο με νερό δίνει τσιμεντοπολτό που σπάνια χρησιμοποιείται (π.χ. για σφράγιση λεπτών αρμών ή σχισμών) επειδή διαστέλλεται πολύ κατά την πήξη του. Χρησιμοποιείται πάντα με άμμο ή χαλίκι με άμμο σε κατάλληλη αναλογία. Η αναλογία, που θα βρούμε τον τρόπο εύρεσής της στο εργαστήριο, εξαρτάται από την

κοκκομετρική σύνθεση των δύο αδρανών. Με την κατάλληλη αναλογία των αδρανών τα διάκενα μεταξύ των αδρανών γίνονται μικρότερα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα όχι μόνο οικονομία στο τσιμέντο που θα χρησιμοποιηθεί για τη σύνθεση αυτών των αδρανών, αλλά και η αντοχή του κονιάματος θα είναι μεγαλύτερη, επειδή τα αδρανή έχουν αντοχή άνω των 100MPa.

Για δάπεδα, αν θέλουμε να στρωθούν εύκολα οι επιφάνειες, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε περισσότερη άμμο ώστε να κρυφτούν τα χαλίκια. Αν τα καλούπια έχουν μικρή διατομή προσθέτουμε νερό ώστε το τσιμέντο να καταλάβει όλα τα κενά. Αυτό είναι σε βάρος της αντοχής επειδή η αντοχή ελαττώνεται κατά 10% όταν το νερό αυξηθεί κατά 20%.

Η αναλογία του νερού μεταβάλλει το εργάσιμο του τσιμέντου, δηλαδή το πόσο εύκολα ελαττώνεται το ύψος κολουροκωνικού δοκιμίου νωπού μπετόν όταν τεθεί επάνω σε ειδική συσκευή που δονείται από επάνω προς τα κάτω.

Μεγάλη αντοχή και μικρό συντελεστή θερμικής διαστολής δίνουν: πυρόχωμα, χαλαζιακή άμμος, θαλασσινή άμμος (χτίσιμο πυρότουβλων σε τζάκια). Αυτές οι συνθέσεις είναι λίγο υδροπερατές, άρα αντέχουν στον παγετό και στην προσβολή από χημικά διαλύματα καθώς και υγρασία.

Η κύρια διαφορά του τσιμέντου από τις αερικές κονίες είναι ότι το νερό που του προσθέτουμε το συγκρατεί και σχηματίζει ένυδρα άλατα. Ένα μέρος εξατμίζεται και αφήνει πόρους. Αν χρησιμοποιήσουμε τόσο νερό όσο χρειάζεται για να κρυσταλλωθεί, θα παρατηρήσουμε ότι δεν μπορούμε να το αναμείξουμε ούτε να το στρώσουμε μέσα στο καλούπι του. Η ιδιότητα να κατεργάζεται (αναμιγνύεται) λέγεται εργάσιμο. Το εργάσιμο ελέγχεται με το άπλωμα μόλις παρασκευασμένου μπετόν όταν το αδειάσουμε επάνω σε δονούμενη πλάκα. Μετά τη δόνηση παρατηρούμε την αλλαγή του σχήματος του κώνου. Δεν πρέπει να είναι υδαρές ούτε δυσκατέργαστο.[9]

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σημαντικό ρόλο στην διερεύνηση της φέρουσας ικανότητας της τοιχοποιίας παίζει ο καθορισμός της αντοχής του κονιάματος. Αν εκτιμηθεί η θλιπτική αντοχή της κονίας, καθώς και το μέσο πλάτος των αρμών, τότε η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας μπορεί εύκολα να υπολογιστεί από εμπειρικούς τύπους.[14] Κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι, καταστρεπτικές και μη, για την εκτίμηση της αντοχής τοιχοποιιών, με παράλληλη εφαρμογή τους σε αρχαία μνημεία και άλλα κτίρια. Προς το παρόν, δεν υπάρχουν πρακτικές και ταυτόχρονα αξιόπιστες μέθοδοι προσδιορισμού της αντοχής των κονιαμάτων.

Φυσικοχημικές μέθοδοι, όπως οι πετρογραφικές τομές, σκέδαση ακτινών X και θερμοβαρυτομετρική ανάλυση, δεν προσφέρουν ικανοποιητικά αποτελέσματα στην εκτίμηση της αντοχής του κονιάματος. Μηχανικές μέθοδοι όπως the flat-jack test ή ακόμα επιβολή θλιπτικού φορτίου σε μεγάλο μέρος της τοιχοποιίας που πραγματοποιήθηκε σε εργαστήριο, είναι πιο αξιόπιστες, όμως δαπανηρές και παρουσιάζουν δυσκολίες στην πρακτική τους εφαρμογή.[13]

Πρόσφατα, ο Chagneau και ο Levasseur εισήγαγαν τη "δυναμικοστατογραφική μέθοδο" η οποία εκτιμά τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών κατασκευής, καταγράφοντας τη δύναμη που απαιτείται για τη διάτρησή τους με τρυπάνι τοιχοποιίας, σταθερής ταχύτητας. Την ίδια στιγμή, ο Cucci και ο Moretti εισάγουν την "PNT-G" τεχνική, η περιγραφή της οποίας γίνεται παρακάτω. Η μέθοδος στηρίζεται στη μέτρηση της ενέργειας που απαιτείται για τη διάτρηση με τρυπάνι μικρής κοιλότητας, ενός κονιάματος. Περαιτέρω έρευνες

πραγματοποιούνται αυτή τη στιγμή στο εργαστήριο British Cement και στο Concrete Research Establishment στη Μεγάλη Βρετανία.[13]

Οπωσδήποτε, λόγω πρακτικής δυσκολίας να αφαιρούμε μεγάλα δείγματα κονιάματος από τις τοιχοποιίες, (ιδιαίτερα σε αρχαία μνημεία), η αναγκαιότητα να βρεθούν επί τόπου μέθοδοι εκτίμησης της αντοχής, οδήγησαν στην ανάπτυξη δυο ακόμα μεθόδων που αναπτύχθηκαν στο εργαστήριο ωπλισμένου σκυροδέματος του Ε.Μ.Π. στην Αθήνα, από τους Θ. Τάσσιο, Χ. Βαχλιώτη και Χ. Σπανό. Οι μέθοδοι είναι δύο: η μέθοδος του "πλάτους-χαραγής", (scratch-width) και "εφελκυστικής αντοχής" (fragments-test).[14]

Πάνω στο ίδιο αντικείμενο, δηλαδή τη μέτρηση της αντοχής των κονιαμάτων, αναπτύχθηκαν και άλλες δύο μέθοδοι από τον Στ.Κόλια στο Εργαστήριο Οδοποιίας Τ.Μ.Σ.Υ. / Ε.Μ.Π. και αποτελούν απόρροια εργαστηριακής έρευνας. Αυτές είναι "η μέτρηση του πορώδους" και η "μέτρηση του χρόνου διάτρησης". Όλες οι παραπάνω μέθοδοι παρουσιάζονται αναλυτικότερα στις ακόλουθες παραγράφους.

4.2 ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ CUCCI-MORETTI

Η μέθοδος αυτή, βασίζεται στη μέτρηση της ενέργειας που απαιτείται για τη διάτρηση με φορητό τρυπάνι, μικρής κοιλότητας σε μια στρώση κονιάματος. Η παρουσίαση της έρευνας έγινε στο περιοδικό "Materials and Structures" το 1995, όπου αναφέρεται μεταξύ των άλλων ότι το έργο διάτρησης συσχετίζεται άμεσα με τη θλιπτική αντοχή του κονιάματος.

Η συσκευή που απαιτείται για τη μέθοδο είναι απλή και εύκολη στη χρήση της, καθώς δεν απαιτεί την παρουσία ειδικού χειριστή. Αποτελείται από ένα συνηθισμένο χειροκίνητο τρυπάνι με μπαταρία, συνδεδεμένο με κατάλληλο ηλεκτρονικό κύκλωμα όπου καταγράφεται η ενέργεια της διάτρησης. Η συσκευή σταματά αυτόματα όταν το τρυπάνι έχει εισχωρήσει σε καθορισμένο βάθος. Έπειτα από πειραματική διερεύνηση κρίθηκε ως καλύτερη διάμετρος τρυπανιού 4mm και βάθος διάτρησης 5mm. Οι διαστάσεις των τοίχων που διατρήθηκαν ήταν 100cm x 50cm x 65cm, ενώ η τιμή προέκυπτε ως ο μέσος όρος μετρήσεων από 15 κοιλότητες σε κάθε τοίχο.

Συγκεκριμένα, για τα κονιάματα μικρής αντοχής προκύπτει ότι δεν χρειάζονται πληροφορίες για τις μηχανικές ιδιότητες της περιεχόμενης άμμου. Σ' αυτά η συσχέτιση είναι ίδια όταν περιέχουν μόνο άμμο και η αντοχή τους δεν ξεπερνά τα 4MPa. Στα ασθενή κονιάματα, το τρυπάνι δεν σπάζει τους κόκκους της άμμου όταν τους συναντήσει, αλλά τους εκτοπίζει και προχωρά μέσω του τσιμέντου. Παρατηρώντας στο μικροσκόπιο το τρυπημένο κονίαμα βλέπει κανείς ότι για τα ισχυρά κονιάματα οι κόκκοι της άμμου είναι μερικώς θραυσμένοι από το τρυπάνι, κάτι που δεν συμβαίνει στα ασθενή κονιάματα.

Για τα ισχυρά κονιάματα, καθίστανται αναγκαία η γνώση των μηχανικών ιδιοτήτων των αδρανών, όπως η κοκκομετρική διαβάθμισή

τους και η πετρογραφική τους σύσταση. Στα κονιάματα αυτά η ρωγμή που δημιουργείται από το τρυπάνι, περνά μέσα από τους κόκκους της άμμου και το τσιμέντο, αφού αυτά είναι τώρα πολύ ισχυρά δεμένα. Στην περίπτωση αυτή το συνολικό έργο διάτρησης είναι άθροισμα δύο συμβολών, του τσιμέντου και της άμμου και γι' αυτό εξαρτάται από τις μηχανικές ιδιότητες της άμμου.

Η διαφορά στη μέτρηση της ενέργειας που παρουσιάζεται στα ισχυρά κονιάματα έναντι των ασθενών, οφείλεται επίσης στο διαφορετικό συνολικό περιεχόμενο ποσοστό του τσιμέντου που περιέχεται στα δύο είδη κονιαμάτων που ελέγχονται. Έτσι, το ποσοστό των κενών είναι μεγαλύτερο για κονιάματα με χονδρόκοκκη άμμο, καθώς στα υπόλοιπα κονιάματα οι λεπτοί κόκκοι γεμίζουν περισσότερα κενά. Αυτοί είναι και οι κόκκοι που δεν θραύονται από το τρυπάνι. Γι' αυτό η συνολική ενέργεια που απαιτείται για τη διάτρηση των ισχυρών κονιαμάτων είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη για ασθενή κονιάματα.[13]

Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν συγκεκριμένες πληροφορίες για τα αδρανή της άμμου, η μέθοδος εκτιμά μόνο την τάξη μεγέθους της αντοχής του κονιάματος. Η μέθοδος μέτρησης της ενέργειας είναι μια αξιόπιστη μέθοδος, τουλάχιστον όσον αφορά κονιάματα με κοινή άμμο, μεγάλης ακρίβειας. (Η τυπική απόκλιση είναι μικρότερη από 10%).[13]

4.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΛΑΤΟΥΣ ΧΑΡΑΓΗΣ ΚΑΙ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΤΑ ΤΑΣΣΙΟ, ΒΑΧΛΙΩΤΗ ΚΑΙ ΣΠΑΝΟ.

Δύο μέθοδοι εκτίμησης της θλιπτικής αντοχής παλιών κονιαμάτων αναπτύχθηκαν στο εργαστήριο ωπλισμένου σκυροδέματος του Ε.Μ.Π. από τους Θ. Τάσσιο, Χ. Βαχλιώτη, Χ. Σπανό. Αυτές είναι:

1. Η μέτρηση του πλάτους-χαραγής με επί τόπου μέτρηση, συνίσταται στη μέτρηση του πλάτους μιας χαραγής που γίνεται στην επιφάνεια των αρμών κονιάματος.
2. Η μέτρηση της εφελκυστικής αντοχής. Μικρά κομμάτια κονιάματος λαμβάνονται από παλιές τοιχοποιίες και υποβάλλονται σε εφελκυσμό στο εργαστήριο.

Η συσχέτιση των δύο μεθόδων μας επιτρέπει την περαιτέρω εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών του κονιάματος, με απώτερο στόχο την μελέτη παλιών τοιχοδομών.[14]

4.3.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΧΑΡΑΓΗΣ.

Η μέθοδος μέτρησης του πλάτους χαραγής (the scratch-width-method) επιτυχώς χρησιμοποιούμενη για την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής των λιθοσωμάτων. Στηρίζεται στη μέτρηση του πλάτους χαραγής που γίνεται στην επιφάνεια των αρμών κονιάματος, κινώντας μια ακιδωτή ράβδο κατά μήκος της επιφάνειας υπό ορισμένο σταθερό φορτίο. Η μέτρηση του πλάτους της χαραγής γίνεται με κατάλληλους φακούς σε 10 ως 20 σημεία κατά μήκος της χαραγής. Η συχνότερα παρουσιαζόμενη τιμή συσχετίζεται με την αντοχή του κονιάματος με βάση εμπειρικής καμπύλης.

4.3.2. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

Η μέθοδος μέτρησης της εφελκυστικής αντοχής (the fragments-test), στηρίζεται στην εφελκυστική αντοχή μικρών τεμαχίων κονιαμάτων, μεγέθους χαλικιού που λαμβάνονται από την επιφάνεια του κονιάματος. Τα τεμάχια χυτεύονται σε ένα ισχυρό καλούπι υποξειδικής ρητίνης ή πολύ ισχυρού κονιάματος, μέσα σε καλούπια ειδικής διαμόρφωσης. Μετά την αφαίρεση των καλουπιών τα δοκίμια υποβάλλονται σε δοκιμές άμεσου εφελκυσμού. Η εφελκυστική αντοχή συσχετίζεται με την θλιπτική αντοχή του κονιάματος με τον τύπο:

$$F_{mt,fr} = 1/4 \cdot (f_{mc})^{1/2}$$

όπου $F_{mt,fr}$ είναι η εφελκυστική αντοχή που προκύπτει με την παραπάνω διαδικασία και f_{mc} είναι η θλιπτική αντοχή του κονιάματος.

Οπωσδήποτε, είναι φανερό ότι η συσχέτιση των δύο αυτών μεθόδων, μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη άλλων, αλλά και να βελτιώσει τις γνώσεις μας για την επιτόπου μέτρηση της αντοχής παλιών κονιαμάτων.[14]

4.4 ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ ΚΑΤΑ ΣΤ.ΚΟΛΙΑ.

Δύο μέθοδοι εκτίμησης της θλιπτικής αντοχής κονιαμάτων και σκυροδεμάτων αναπτύχθηκαν στο Εργαστήριο Οδοποιίας του Τ.Μ.Σ.Υ. του Ε.Μ.Π. από τον Στ.Κόλια. Αυτές είναι οι ακόλουθες:

- a) Η μέτρηση του πορώδους, που αποτελεί μια απλή και μικρού κόστους μέθοδο και με την οποία εκτιμάται ικανοποιητικά η αντοχή σκυροδεμάτων και τσιμεντοκονιαμάτων.
- b) Η μέτρηση του χρόνου διάτρησης, με την υποβολή ή όχι θλιπτικού φορτίου, η οποία απέδειξε ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του χρόνου διάτρησης και της αντοχής. Αποτελεί μια πολύ καλή μέθοδο για επιτόπου μετρήσεις παλιών και νέων τοιχοποιιών.

4.4.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΟΡΩΔΟΥΣ

Η μέθοδος μέτρησης του πορώδους είναι απόρροια εργαστηριακής έρευνας. Στο εργαστήριο παρασκευάστηκαν δοκίμια σκυροδέματος διαφόρων συνθέσεων, καθώς και τσιμεντοκονιάματα τα οποία υποβλήθηκαν σε θλίψη, σε διάφορες ηλικίες, με παράλληλη μέτρηση του πορώδους του σκυροδέματος από ανέπαφα (χωρίς ρωγμές) τεμάχια του θραυσμένου δικιμίου. Ακολούθως, έγινε συσχέτιση της αντοχής με το ολικό πορώδες του σκυροδέματος ή με το μέσο πορώδες του τσιμεντοπολτού.

Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν είναι τα εξής:

1. Η μέτρηση του ολικού πορώδους σκυροδεμάτων και κονιαμάτων μπορεί να γίνει με κορεσμό με νερό, με πολύ απλό τρόπο. Η επαναληψιμότητα της, είναι ικανοποιητική και είναι συγκρίσιμη με παρόμοιες έρευνες.

2. Το υπολογιζόμενο μέσο ολικό πορώδες πηγματος σε κονιάματα και σκυροδέματα χωρίς υπερρευστοποιητικό ή με μικρές ποσότητες αυτού, μας δίνει μια πολύ καλή εκτίμηση της αντοχής.
3. Μεγάλες ποσότητες υπερρευστοποιητικού προκαλούν διαφοροποιήσεις στη συμπεριφορά του κονιάματος, τόσο ως προς τις ιδιότητές του σε νωπή, όσο και σε σκληρυμένη κατάσταση, αυξάνοντας το ολικό πορώδες σε σύγκριση με το πορώδες του κονιάματος.
4. Η αντοχή του τσιμέντου και συγκεκριμένα του τσιμέντου πόρτλαντ, δεν επηρεάζει σημαντικά τη σχέση αντοχή-πορώδες την περιοχή των αντοχών 20-30MPa, οι οποίες είναι οι πιο συχνές.
5. Τέλος, στα σκυροδέματα τύπου II (με ποζολάνη), η σχέση αντοχή-πορώδες παρουσιάζει μια μικρή διαφοροποίηση.

Η παραπάνω έρευνα παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον για την διερεύνηση της εκτίμησης της αντοχής σκυροδεμάτων και τσιμεντοκονιαμάτων με μέτρηση του πορώδους. Τα αποτελέσματα της έρευνας αποδεικνύουν ότι το υπολογιζόμενο μέσο πορώδες του πηγματος σε κονιάματα και σκυροδέματα με μικρές ποσότητες ή χωρίς υπερρευστοποιητικό παρέχει αξιόπιστη εκτίμηση της αντοχής. Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι η μέτρηση του πορώδους μπορεί να γίνει σε μικρά δείγματα από την κατασκευή, είναι δηλαδή μια μη καταστροφική μέθοδος.

Η μέθοδος της μέτρησης του πορώδους, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με την πυρηνοληψία ώστε να αυξήσει την ακρίβεια εκτιμήσεως της αντοχής και να μας δώσει πληροφορίες για την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

Επεκτείνοντας τη μελέτη, συνεχίζουμε τη μέτρηση του πορώδους και σε κονιάματα τοιχοποιίας, ασβεστοκονιάματα, ποζολανοασβεστοκονιάματα, στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας. Τα αποτελέσματα και εδώ έδειξαν ότι υπάρχει συσχέτιση αντοχής και

πορώδους και συμπλήρωσαν τα προηγούμενα αποτελέσματα, που αφορούσαν μόνο σκυροδέματα και τσιμεντοκονιάματα.[15]

4.4.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

Η μέθοδος μέτρησης του χρόνου διάτρησης αποτελεί μια πολύ αποτελεσματική μέθοδο εκτίμησης της αντοχής κονιαμάτων.

Για τα πειράματα που έλαβαν χώρα, χρησιμοποιήθηκε ένα μηχάνημα που ήταν αρχικά κατασκευασμένο για δοκιμές διάτμησης με κατάλληλες μετατροπές. Δημιουργούνται μικρές οπές, συγκεκριμένων διαστάσεων, στην επιφάνεια των δοκιμίων με τρυπάνι δεδομένης διαμέτρου που περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα και ασκεί σταθερή πίεση σ' αυτά. Ο απώτερος σκοπός είναι η εφαρμογή της μεθόδου επιτόπου στις κατασκευές για την εκτίμηση αντοχής των κονιαμάτων.

Τα αποτελέσματα της αρχικής έρευνας [16], όπου ο χρόνος διάτρησης εξετάζεται χωρίς θλιπτικό φορτίο, έδειξαν ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ χρόνου διάτρησης και αντοχής. Η συσχέτιση αυτή είναι ανεξάρτητη από το είδος του κονιάματος. Επειδή όμως, κατά την επιτόπου εφαρμογή της μεθόδου, έχουμε διαφορετικές συνθήκες, επεκτάθηκε η έρευνα και σε δοκιμές με θλιπτικό φορτίο.[17] Το θλιπτικό φορτίο αποδείχτηκε ότι αυξάνει το χρόνο διάτρησης με αποτέλεσμα η συσχέτιση θλιπτικής αντοχής και χρόνου διάτρησης, να διαφοροποιείται στην περίπτωση ύπαρξης ή μη θλιπτικού φορτίου.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε διάφορα είδη κονιαμάτων, όπως τσιμεντοκονιάματα, ασβεστοτσιμεντοκονιάματα, ποζολανοασβεστοκονιάματα και σε όλα παρατηρήθηκε ίδια συσχέτιση της αντοχής με το χρόνο διάτρησης, δηλαδή το είδος του συνδετικού υλικού του κονιάματος, δεν επηρέασε τις μετρήσεις. Όλα αυτά τα κονιάματα παρασκευάστηκαν όμως με την ίδια άμμο (ασβεστολιθική).

Προέκυψε έτσι η αναγκαιότητα διερεύνησης της επιρροής του είδους της άμμου στην εκτίμηση της αντοχής των τσιμεντοκονιαμάτων [18]. Στα πλαίσια αυτής της έρευνας παρασκευάστηκαν δοκίμια με διαφορετικά είδη άμμου και διαφορετική διαβάθμιση. Τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά και απέδειξαν συσχέτιση της αντοχής με το χρόνο διάτρησης, ανεξάρτητα του είδους της άμμου για διάμετρο τρυπανιού 4mm και δύναμη 185N.

Αντίθετα αυξάνοντας τη διάμετρο του τρυπανιού σε 5mm και μειώνοντας τη δύναμη σε 64N παρατηρήθηκε διαφοροποίηση στη γραμμική συσχέτιση. Συγκεκριμένα οι άμμοι με το μεγαλύτερο μέγεθος κόκκων απαιτούσαν μεγαλύτερο χρόνο διάτρησης.[18]

Ολοκληρώνοντας την μέθοδο αυτή κρίθηκε σκόπιμο να διερευνηθεί και ο ρόλος της απότριψης της άμμου στο χρόνο διάτρησης. Έτσι παρασκευάστηκαν δοκίμια με διαφορετικά είδη άμμου έχοντας τώρα γνωστή τη σκληρότητα της καθεμιάς. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής, που αποτελεί και το ερευνητικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής, παρατίθενται αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

5. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Με τον όρο «αδρανή υλικά» ή απλώς «αδρανή», χαρακτηρίζονται όλα τα κοκκώδη υλικά τα οποία προέρχονται από φυσική κατάτμηση ή τεχνητή θραύση των φυσικών πετρωμάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται ή με κάποιο συγκολλητικό μέσο (τσιμέντο, ασφαλτος, κ.λ.π.) για να κάνουν μίγματα κατάλληλα για διάφορες κατασκευές (κονιάματα, σκυροδέματα, ασφαλτικά μίγματα, σκυρωτά οδοστρωμάτων κ.λ.π.) ή αυτούσια (έρματα σιδηροδρομικών γραμμών, στραγγιστήρια, φίλτρα διηθήσεως ή καθαρισμού κ.λ.π.).

Τα υλικά αυτά είναι κατά γενικό κανόνα ανόργανα και ονομάσθηκαν αδρανή γιατί τα περισσότερα απ' αυτά δεν αντιδρούν χημικώς με τις διάφορες συγκολλητικές ύλες. Τέτοια υλικά είναι οι άμμοι, τα χαλίκια, οι θραυστοί λίθοι, η κίσηρις, οι σκουριές και πολλά άλλα παρόμοια.[6]

Η ονομασία που επικράτησε (αδρανή υλικά), θα πρέπει να θεωρηθεί ατυχής, γιατί το κριτήριο της ονομασίας τους, το ότι δηλαδή αυτά παραμένουν αδρανή κατά το στάδιο της πήξης και σκλήρυνσης των κονιαμάτων και σκυροδεμάτων, δεν είναι πάγιο. Είναι συνηθισμένο το φαινόμενο στα αδρανή να περιέχονται διάφορα οξειδία σε μικρές αναλογίες, κυρίως μετάλλων, όπως π.χ. Zn, Pb, όχι σαν προσμίξεις, αλλά σαν αυθύπαρκτες ουσίες που επηρεάζουν ή ακόμα μπορούν και να αναστείλουν τόσο το φαινόμενο της πήξης, όσο και της σκλήρυνσης των κονιαμάτων.

Ύστερα από τα παραπάνω προτείνεται η ονομασία των μέχρι σήμερα ονομαζόμενων «αδρανών υλικών» σε λίθινα συνείσακτα υλικά. Λίθινα, γιατί σήμερα στην σύνθεση των διαφόρων κονιαμάτων ή

σκυροδεμάτων χρησιμοποιούνται, (συνεισάγονται), διάφορα προσθετικά υλικά, που δεν έχουν λίθινη προέλευση, με σκοπό να εξασφαλίσουν στα κονιάματα και σκυροδέματα πρόσθετες επιθυμητές ιδιότητες.[20]

Τα αδρανή υλικά, ανεξάρτητα εάν είναι φυσικής ή τεχνητής προέλευσης, από άποψη μεγέθους κόκκων, υποδιαιρούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα **χονδρόκοκκα** και τα **λεπτόκοκκα** αδρανή. Σαν μέσο διαχωρισμού χρησιμοποιείται το κόσκινο τετραγωνικής οπής Νο4, πλευράς 4.76mm, (Αμερικάνικα Πρότυπα). Τα αδρανή υλικά περαιτέρω υποδιαιρούνται σε κροκάλες, χάλικες, σκύρα, άμμους κ.τ.λ.[19]

Από τα παραπάνω αδρανή, η **άμμος** χρησιμοποιείται για την παρασκευή κονιαμάτων. Είναι υλικό, μεγέθους κόκκου μέχρι 7mm. Χαρακτηριστικό γνώρισμα της άμμου, είναι ότι προέρχεται από την αποσάθρωση πετρωμάτων, παρόλα αυτά στη σύσταση της δεν συναντώνται όλα τα ορυκτολογικά συστατικά των μητρικών πετρωμάτων, επειδή τα λιγότερο απ' αυτά ανθεκτικά και σκληρά φθείρονται λόγω τριβής, ή και αποσάθρωσης κατά τη μεταφορά τους.

Η άμμος, από άποψη συστάσεως, διακρίνεται σε χαλαζιακή, ασβεστολιθική, αργιλική, σιδηρική κ.τ.λ., ενώ από άποψη προέλευσης, σε θαλάσσια, ποταμίσια, ορυκτή (πετρωμάτων) και της ερήμου. Το χρώμα της άμμου ποικίλλει από λευκό μέχρι κίτρινο, γκρι ή και κοκκινωπό, ενώ το σχήμα των κόκκων της είναι γωνιώδες, στρογγυλό ή φυλλοειδές.[8]

Τα αδρανή μπορούμε να τα κατατάξουμε σε κατηγορίες ανάλογα με το πού θα χρησιμοποιηθούν. Έτσι έχουμε:[20]

- Αδρανή για βαριά σκυροδέματα.
- Αδρανή για κανονικά σκυροδέματα.
- Αδρανή για ελαφριά σκυροδέματα.
- Αδρανή για κονιάματα.
- Αδρανή για άοπλα σκυροδέματα.

Επίσης μπορεί να γίνει κατάταξη των αδρανών σε κατηγορίες με κριτήριο τη δομή τους σε αδρανή με **συμπαγή δομή**, (πυκνή) και **πορώδη δομή**. Ακόμα και η προέλευση τους μας δημιουργεί δυνατότητες να τα κατατάξουμε σε φυσικής ή τεχνητής προέλευσης.[20]

Με τα γεωμετρικά τους στοιχεία, τα αδρανή ταξινομούνται σε:[20]

- Σφαιρικής
- Κυβικής
- Γωνιώδους και
- Πλακοειδούς μορφής.

Οι κανονισμοί θεσπίζουν ως προς τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά το ποσοστό από τις δυσμενείς μορφές των κόκκων που επιτρέπεται να συνυπάρχουν στα αδρανή. Σαν καλύτερη μορφή κόκκου κρίνεται η μορφή που συγκλίνει προς τη σφαιρική ή κυβική και προτείνεται η αποφυγή χρησιμοποίησης αδρανών με πλακοειδείς ή επιμήκης κόκκους.[20]

Διαχωρίζουμε τα φυσικά αδρανή, όπως προκύπτουν από την αποσάθρωση των βράχων, ανάλογα με την πυκνότητά τους, σε **ελαφριά** εάν η πυκνότητά τους (ρ_r) είναι μικρότερη από 2g/cm^3 , **κανονικά** εάν η πυκνότητά τους είναι μεταξύ 2g/cm^3 και 3g/cm^3 και **βαριά** εάν η πυκνότητά τους είναι μεγαλύτερη από 3g/cm^3 . Ανάλογα με την κοκκομετρική τους διαβάθμιση έχουμε:[21]

- **Παιπάλη** (φίλλερ), τα στοιχεία κάτω των $80\mu\text{m}$.
- **Άμμος**, τα στοιχεία κάτω των 6.3mm .
- **Γαρμπίλι**, τα στοιχεία που βρίσκονται μεταξύ 10 και 31.5mm .
- **Χάλικες**, τα στοιχεία που είναι ανάμεσα στα 31.5 και 80mm .

Τα αδρανή υλικά προέρχονται κυρίως από τις διάφορες πηγές, τα ορυχεία και τα λατομεία. Τα υλικά των ορυχείων χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή επιχωμάτων και για επιστρώσεις δευτερευουσών οδών. [6]

5.2 ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΑ ΚΟΣΚΙΝΑ

Ο κοκκομετρικός διαχωρισμός των αδρανών υλικών και η κατάταξή τους σε κατηγορίες γίνεται με κοσκίνισμα των υλικών. Για το σκοπό αυτό, όπως και για την εύρεση του ποσοστού των διαφόρων μεγεθών κόκκων ενός υλικού (κοκκομετρική ανάλυση), χρησιμοποιούνται τα πρότυπα εργαστηριακά κόσκινα. Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται συνήθως οι ακόλουθες σειρές προτύπων κοσκίνων:[6]

♦ **Εργαστηριακά κόσκινα κυκλικής οπής.** Τα κόσκινα αυτά καθορίστηκαν από τις Ελληνικές Προδιαγραφές ως "Πρότυπα Ελληνικά Κόσκινα." Κατασκευάζονται από χαλύβδινο ή ορειχάλκινο έλασμα που φέρει κυκλικές οπές διαφόρων διαμέτρων.

♦ **Εργαστηριακά κόσκινα τετραγωνικής οπής.** Από τα κόσκινα της σειράς αυτής μόνο το κόσκινο 0.2mm έχει καθορισθεί από τις Ελληνικές Προδιαγραφές ως ελληνικό πρότυπο. Τα κόσκινα αυτά κατασκευάζονται υπό μορφή πλέγματος.

♦ **Αμερικάνικα πρότυπα κόσκινα τετραγωνικής οπής.** Για τον έλεγχο των υλικών οδοποιίας, όπως και για τα αδρανή υλικά του σκυροδέματος των τεχνικών έργων, οι Ελληνικές Πρότυπες Προδιαγραφές Οδοποιίας προβλέπουν τη χρησιμοποίηση αμερικάνικων προτύπων κοσκίνων.

Κάθε κόσκινο φέρει τις παρακάτω ενδείξεις:[19]

1. Το μέγεθος του κόσκινου, το οποίο στη σειρά των χονδρών κοσκίνων αναγράφεται ως άνοιγμα οπών σε in, στην δε σειρά των λεπτών κοσκίνων αναγράφεται ως αριθμός κόσκινου, π.χ. No4 και ως άνοιγμα οπών σε μικρά.
2. Το όνομα της σειράς, π.χ. "U.S. Standard Sieve Series" ή "American Standard Series".
3. Το όνομα του κατασκευαστή.
4. Τα ανοίγματα των οπών σε in και σε mm.

Το μέγεθος των κόκκων προσδιορίζεται με πρότυπα κόσκινα που έχουν καθορισμένες διαμέτρους οπών. Οι κόκκοι που περνούν από το κόσκινο με διάμετρο οπών 7mm, και δεν περνούν από το κόσκινο με διάμετρο 3mm, λέμε ότι έχουν «διάμετρο» μεταξύ των 3 και 7mm. Η έννοια της διαμέτρου χρησιμοποιείται κατ' επέκταση της αντίστοιχης έννοιας του κύκλου, χωρίς όμως να μπορεί να προσδιοριστεί γεωμετρικά. Το μέγεθός της βρίσκεται ανάμεσα στη μεγαλύτερη και τη μικρότερη διάσταση του κόκκου. Για την μετατροπή της διαμέτρου των κόκκων από κόσκινα κυκλικής οπής σε κόσκινα τετραγωνικής οπής, εφαρμόζεται συνήθως η πειραματική σχέση:

$$\text{Διάμετρος κύκλου (d)} = 1.207 \text{ πλευράς τετραγώνου (α)}$$

Η διάμετρος δηλαδή του κύκλου μοιάζει σαν να είναι ο μέσος όρος μεταξύ πλευράς (α) και διαγωνίου (1.41α) του τετραγώνου:[10]

$$d = (\alpha + 1.41 \alpha) / 2$$

5.3 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Για να εξετασθεί η ποιότητα μιας πηγής αδρανών υλικών, είναι ανάγκη να ληφθεί ένα δείγμα. Το δείγμα αυτό πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό όλης της ποσότητας του υλικού, γιατί διαφορετικά τα αποτελέσματα της εξέτασης του δείγματος δεν θα έχουν καμία αξία. Έτσι, η δειγματοληψία είναι τόσο σπουδαία, όσο και η εξέταση των δειγμάτων. Η δειγματοληψία γίνεται συνήθως κατά την αναγνώριση των πηγών των αδρανών υλικών, κατά τον έλεγχο των χρησιμοποιούμενων πηγών, κατά τη φόρτωση των υλικών και τέλος στο εργοτάξιο κατά την διάρκεια της κατασκευής.[6]

Κάθε δείγμα πρέπει να συνοδεύεται και με ένα δείγμα δειγματοληψίας στο οποίο να γράφονται:[6]

- ❖ Η ακριβής θέση του λατομείου και γενικά της πηγής του υλικού και η ιδιοκτησία της.
- ❖ Η διαθέσιμη ποσότητα του υλικού.
- ❖ Η προσπέλαση και το είδος της.
- ❖ Το είδος του υλικού.
- ❖ Πληροφορίες σχετικά με την έκταση, το ποσόν, τη θέση του υλικού που αντιπροσωπεύει το δείγμα.

Προκειμένου να ληφθεί ποσότητα αντιπροσωπευτικού δείγματος υλικού από μία μεγαλύτερη ποσότητα δείγματος εφαρμόζεται η μέθοδος του διαμερισμού. Ο **διαμερισμός** είναι μία πολύ κλασική και αρκετά γνωστή διαδικασία. Η μέθοδος όμως του **τετραμερισμού** είναι η πιο παραδοσιακή και συνίσταται για το διαχωρισμό του υλικού σε τέσσερις ίσες ποσότητες συμμετρικά χωρισμένες.[21]

5.4 ΔΟΚΙΜΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Οι κυριότερες δοκιμές που γίνονται στα αδρανή υλικά είναι οι ακόλουθες:[6]

1. Κοκκομετρική ανάλυση.
2. Προσδιορισμός της παιπάλης.
3. Προσδιορισμός του φαινόμενου βάρους των αδρανών υλικών.
4. Χρωματομετρική μέθοδος επιβλαβών οργανικών προσμίξεων στην άμμο.
5. Δοκιμή ισοδύναμου άμμου.
6. Άλλες δοκιμές των αδρανών υλικών.
7. Εργοταξιακοί έλεγχοι άμμου.

5.4.1 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ

Η κοκκομετρική ανάλυση των αδρανών προδιαγράφει τον τρόπο με τον οποίο εκτελείται ο προσδιορισμός της ποσοστιαίας αναλογίας των μεγεθών των κόκκων των αδρανών. Από το δείγμα του αδρανούς, το οποίο προέκυψε από τη μέθοδο του τετραμερισμού, λαμβάνεται ποσότητα, το βάρος της οποίας εξαρτάται από το μέγεθος του μέγιστου κόκκου του αδρανούς.

Το δείγμα ξηραίνεται μέχρι σταθερού βάρους, σε θερμοκρασία μεταξύ 105°C έως 110°C και παραμένει εκτός του ξηραντηρίου μέχρις ότου αποκτήσει περίπου τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Το δείγμα ζυγίζεται και τοποθετείται στα κόσκινα. Το κοσκίνισμα, διαρκεί μέχρις ότου διέλθουν και οι λεπτότεροι κόκκοι από το αντίστοιχο κόσκινο. Στη συνέχεια ζυγίζεται το περιεχόμενο κάθε κόσκινου (συγκρατούμενο) και αθροίζονται τα μερικά βάρη.[20]

Η εργασία της κοκκομετρικής ανάλυσης επαναλαμβάνεται τρεις φορές και εξάγεται ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων. Υπολογίζεται το

ποσοστό των παραμενόντων επί % από κάθε κόσκινο, το οποίο καταγράφεται σε πίνακα και σε ειδικό διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης. Η καλούμενη κοκκομετρική ανάλυση, κατά την ελληνική προδιαγραφή εισάγει όρια για την κοκκομετρική σύνθεση της άμμου, των σκύρων και του αμμοχάλικου. Ο κανονισμός εισάγει και τις έννοιες του υποδιάστατου και υπερδιάστατου κόκκου. Ως **υποδιάστατοι** χαρακτηρίζονται οι κόκκοι της περιοχής που είναι μικρότεροι του κατώτερου ορίου, ενώ ως **υπερδιάστατοι** οι μεγαλύτεροι του ανώτερου ορίου, δηλαδή οι κόκκοι που διέρχονται από το κατώτερο κόσκινο και δεν διέρχονται από το ανώτερο.[20]

Υπάρχει επίσης πάντα ένας συσχετισμός ανάμεσα στην μηχανική αντίσταση, στην κατάσταση της επιφάνειας, στην μορφή και στην κοκκομετρική διαβάθμιση. Οι δύο πρώτοι παράγοντες είναι δεδομένοι για το κάθε υλικό και οι δύο ακόλουθοι είναι εύκολα τροποποιήσιμοι, δηλαδή μπορούμε να τροποποιήσουμε εύκολα την κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού. Η κοκκομετρική διαβάθμιση είναι λοιπόν η παράμετρος η πιο σημαντική που μπορεί να τροποποιηθεί.[21]

Η εξασφάλιση μιας σωστής κοκκομετρικής σύνθεσης πρέπει να γίνεται με τα παρακάτω κριτήρια:[20]

1. Το μίγμα των αδρανών να περιέχει το ελάχιστο δυνατό ποσοστό σε λεπτόκοκκο υλικό.
2. Ο μέγιστος κόκκος του μίγματος να επιλέγεται έτσι ώστε να γίνεται εύκολη ανάμιξη και να παρουσιάζονται όσο το δυνατόν λιγότερα κενά.
3. Να γίνεται εύκολη περιβολή των κόκκων του μίγματος από τον τσιμεντοπολτό.
4. Να γίνεται εύκολη μεταφορά, διάστρωση και επεξεργασία του σκυροδέματος.

5.4.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΑΙΠΑΛΗΣ

Ως παιπάλη ορίζεται το λεπτόκοκκο υλικό που περνάει από το Αμερικανικό Πρότυπο No200, δηλαδή 75μm. Για το σκυρόδεμα η παιπάλη δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16% του ξηρού βάρους της άμμου και το 1% των άλλων κλασμάτων (γαρμπίλι, σκύρα κ.λ.π.).[10]

Για τον προσδιορισμό της παιπάλης λαμβάνεται δείγμα υλικού, του οποίου το ποσό εξαρτάται από το μέγεθος του μέγιστου κόκκου του υλικού. Το δείγμα ξηραίνεται μέχρι σταθερού βάρους σε θερμοκρασία 105-110°C και ζυγίζεται. Ακολουθώς τοποθετείται σε λεκάνη με νερό μέχρι υπερκάλυψής του. Το περιεχόμενο του δοχείου ανακατεύεται ισχυρά και χύνεται σε δύο κόσκινα οπής 1mm και 0.075mm (No16 και No200). Η εργασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου το νερό της πλύσης παραμείνει διαυγές. Στο τέλος της πλύσης, συλλέγεται το υλικό που παρέμεινε στη λεκάνη και στα κόσκινα, ξηραίνεται όπως πριν και ζυγίζεται. Η περιεχόμενη επί % παιπάλη (A) υπολογίζεται με τον τύπο:

$$A = (B1 - B2) / B1 \cdot 100$$

όπου B1 είναι το αρχικό ξηρό βάρος του υλικού προ της πλύσης και B2 είναι το ξηρό βάρος του υλικού μετά την πλύση.[6]

5.4.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ

Ο προσδιορισμός του φαινόμενου βάρους άμμου 0-7 γίνεται με μια συσκευή που αποτελείται από ένα κολουροκωνικό δοχείο εκχύσεως του υλικού, από ένα ικρίωμα πάνω στο οποίο τοποθετείται το κολουροκωνικό δοχείο και από ένα ογκομετρικό δοχείο, διαστάσεων 10x10x10cm που τοποθετείται κεντρικά ως προς τον κατακόρυφο άξονα του κολουροκωνικού δοχείου. Το δείγμα ξηραίνεται και τοποθετείται στο κολουροκωνικό δοχείο. Με κατάλληλο χειρισμό απομακρύνεται απότομα

ο κινητός πυθμένας, οπότε η άμμος πέφτει ελεύθερα μέσα στο ογκομετρικό δοχείο. Με μυστρί ισοπεδώνεται η άνω επιφάνεια του δοχείου και ζυγίζεται το περιεχόμενο. Η μέτρηση γίνεται τρεις φορές και λαμβάνεται ο μέσος όρος.[6]

5.4.4 ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΒΛΑΒΩΝ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΠΡΟΣΜΙΞΕΩΝ ΣΤΗΝ ΑΜΜΟ

Η μέθοδος αυτή έχει σαν σκοπό να διαπιστωθεί η ύπαρξη οργανικών προσμίξεων στην άμμο, για να αποφασισθεί ή όχι η χρησιμοποίησή της. Για τη δοκιμή χρειάζονται 50gr άμμου και ένα πρότυπο έγχρωμο διάλυμα με ανάμειξη 2.5cm^3 διαλύματος ταννικού οξέος σε οινόπνευμα 10% και 97.5cm^3 υδατικό διάλυμα 3% καυστικού νατρίου (NaOH). Τοποθετούμε σε γυάλινη φιάλη με πώμα, χωρητικότητας 355cm^3 , το ανακινούμε ισχυρά και το αφήνουμε σε ηρεμία ένα 24ωρο. Παράλληλα το δείγμα της άμμου το τοποθετούμε σε ίδια φιάλη χωρητικότητας 355cm^3 μέχρι τη χαραγή 133cm^3 .

Στη συνέχεια προσθέτουμε υδατικό διάλυμα 3% καυστικού νατρίου, μέχρις ότου ο όγκος φτάσει στα 200cm^3 . Η φιάλη αφήνεται σε ηρεμία 24 ώρες. Μετά παρέλευση 24 ωρών, συγκρίνουμε το χρώμα του υγρού που βρίσκεται πάνω από την άμμο, με το χρώμα του πρότυπου διαλύματος που παρασκευάστηκε στον ίδιο χρόνο. Η άμμος είναι ικανοποιητική όταν το σχηματιζόμενο χρώμα είναι ανοιχτότερο από το χρώμα του πρότυπου. Όταν όμως το χρώμα είναι σκοτεινότερο, η άμμος χαρακτηρίζεται σαν μη ικανοποιητική.[20]

5.4.5 ΔΟΚΙΜΗ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΑΜΜΟΥ

Με τη δοκιμή αυτή διαπιστώνεται η παρουσία επιβλαβών ποσοτήτων αργίλου και λεπτότατων υλικών στα αδρανή υλικά.

Εκτελείται πάνω σε δείγμα ξηρού υλικού που διέρχεται από το Αμερικάνικο κόσκινο Νο4. Για τη δοκιμή απαιτούνται ένα διαφανές ογκομετρικό κυλινδρικό δοχείο, μια φιάλη με σιφώνιο, ένα μεταλλικό στέλεχος που στην άκρη του φέρει κωνική βάση και δύο σωλήνες, ένας ορειχάλκινος και ένας ελαστικός με σφικτήρα. Το ισοδύναμο άμμου SE υπολογίζεται από τον τύπο:

$$SE = h / H \cdot 100$$

Το SE έχει τιμές από 0 έως 100.

Ένας πολύ πρόχειρος εμπειρικός και ταχύτατος έλεγχος γίνεται ως εξής: σφίγγεται στην χούφτα του χεριού μία μικρή ποσότητα ελαφρά υγρής άμμου. Αν αυτή είναι τελείως καθαρή, δεν αφήνει κανένα ίχνος στο χέρι. Αντίθετα, αν περιέχει άργιλο ή άλλες ανεπιθύμητες προσμίξεις, λερώνει τη χούφτα και τη χρωματίζει μ' ένα ερυθρόφαιο χρώμα που είναι τόσο πιο έντονο, όσο η άμμος είναι πιο ακάθαρτη. Για τον προσδιορισμό του ισοδύναμου της άμμου έχουν αναπτυχθεί και άλλες μέθοδοι τόσο εργοταξιακές όσο και εργαστηριακές.[20]

5.5 ΜΕΤΡΟ ΛΕΠΤΟΤΗΤΑΣ

Ο όρος μέτρο λεπτότητας ο οποίος αναφέρεται στη διαβάθμιση των αδρανών υλικών, εφαρμόζεται στη μελέτη του σκυροδέματος. Υπολογίζεται με πρόσθεση των ολικώς επί % συγκρατούμενων ποσοστών του υλικού επί της παρακάτω σειράς 10 κόσκινων και με διαίρεση δια του 100 του προκύπτοντος αθροίσματος. Τα κόσκινα αυτά είναι τα εξής: 3in, 1^{1/2}in, 3/4in, 3/8in, No4, No8, No16, No30, No50, No100. Το κόσκινο No200 και τα λεπτότερα του δεν χρησιμοποιούνται.

Το μέτρο λεπτότητας αποτελεί μία έκφραση μόνο της λεπτότητας των αδρανών υλικών, όχι όμως και της διαβάθμισής τους, εφ' όσον μπορεί πολλά υλικά που διαφέρουν στα συγκρατούμενα ποσοστά επί των διαφόρων κόσκινων, να έχουν το ίδιο μέτρο λεπτότητας. Ουσιαστικά, το μέτρο λεπτότητας αποτελεί μια ένδειξη του «μέσου» κόκκου της άμμου. Για τον υπολογισμό του μέτρου λεπτότητας της άμμου χρησιμοποιούνται τα κόσκινα No4, No8, No16, No30, No50 και No100. Τυπικές τιμές του μέτρου λεπτότητας της άμμου είναι:[6]

a) Λεπτή άμμος: 2.4-2.5

b) Μέση άμμος: 2.6-2.8

c) Χονδρή άμμος: 2.9-3.1 ή 3.2

Ο δείκτης λεπτότητας K δίνεται ως ο λόγος του αθροίσματος των συγκρατούμενων ποσοτήτων των αδρανών σε κάθε κόσκινο δια της συνολικής ποσότητας των αδρανών ή ως ο λόγος του αθροίσματος των συγκρατούμενων ποσοστών R_i δια του 100. Δηλ:

$$K = \Sigma B_i / B \quad \text{ή} \quad K = \Sigma R_i / 100$$

όπου B_i τα συγκρατούμενα σε κάθε κόσκινο βάρη. Εκτός του δείκτη K , ένας άλλος δείκτης είναι ο D , ο οποίος ορίζεται ως το άθροισμα των διερχόμενων ποσοστών.[20]

5.6 ΕΙΔΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ

Στη χώρα μας κατά κανόνα όλα τα αδρανή είναι ασβεστολιθικής προέλευσης και ικανοποιούν τις περισσότερες απαιτήσεις των προδιαγραφών, αλλά σε δύο σημεία υστερούν: σε φθορά στην τριβή και στη δυνατότητα κατασκευής αντιστοιχηρών οδοστρωμάτων. Οι δύο αυτές απαιτήσεις καλύπτονται από τα καλούμενα σκληρά αδρανή που παραλαμβάνονται από σκληρά πετρώματα. Τα αδρανή αυτά ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες, αυτή των αδρανών φυσικής προέλευσης και αυτή των αδρανών τεχνητής προέλευσης. Στην κατηγορία των φυσικής προέλευσης αδρανών ανήκει και η σμύριδα.[20]

5.6.1 ΣΜΥΡΙΔΑ

Η σμύριδα είναι ορυκτό το οποίο συνίσταται από κορούνδιο (Al_2O_3) με προσμίξεις μαγνητίτη, αιματίτη και λειμωνίτη. Επιπλέον περιέχει και διάφορα άλλα επουσιώδη συστατικά, όπως χαλαζία, σιδηροπυρίτη, μαρμαρυγία κ.α. Έχει χρώμα κυανότεφρο ως τεφρόμαυρο ή και μαύρο και σκληρότητα μεγάλη, πλησιάζει το 9, λόγω του περιεχόμενου κορούνδιου. Η εμπορική αξία της σμύριδας εξαρτάται από την ομοιογένεια της μάζας της και κυρίως από την περιεκτικότητα σε κορούνδιο, η οποία κυμαίνεται από 54 ως 82%.

Από τους αρχαιότετους χρόνους χρησιμοποιείται υπό μορφή κονίας, σαν μέσο λειαντικό για τη λείανση και στίλβωση μαρμάρων, λίθων και μετάλλων. Από τα υπολείμματα της κατεργασίας της σμύριδας ή κατόπιν θραύσης ποσοτήτων σμύριδας που είναι φτωχές σε κορούνδιο και για το λόγο αυτό μη εκμεταλλεύσιμες, μπορούν να ληφθούν αδρανή υλικά τα οποία λόγω της μεγάλης σκληρότητας ενδείκνυνται για κατασκευές υποκείμενες σε έντονη φθορά λόγω τριβής, όπως είναι οι αντιστοιχηρές στρώσεις οδοστρωμάτων, οι πλάκες πεζοδρομίων κ.λ.π.[6]

6. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

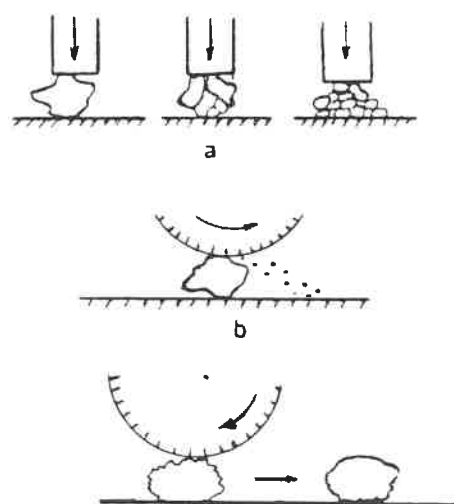
Οι σπουδαιότερες εκτελούμενες δοκιμές στα αδρανή υλικά για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων τους είναι:[19]

1. Δοκιμή Deval.
2. Δοκιμή δυσθραυστότητας.
3. Δοκιμή σκληρότητας κατά Dorry.
4. Δοκιμή Los Angeles.
5. Δοκιμή Amédée Mannheim και
6. Προσδιορισμός της αντοχής σε θλίψη.

Για κάθε αδρανές υπάρχουν τρία είδη απότριψης:

- Αποτριβεται δίνοντας στοιχεία διαφόρων διαστάσεων από το αρχικό.
- Η απότριψη του υλικού δίνει πολύ ψιλό υλικό (σκόνη).
- Η απότριψη προκαλεί λείανση της επιφάνειας του αδρανούς.

Σχηματικά, αυτά παρουσιάζονται ως εξής στην παρακάτω εικόνα.

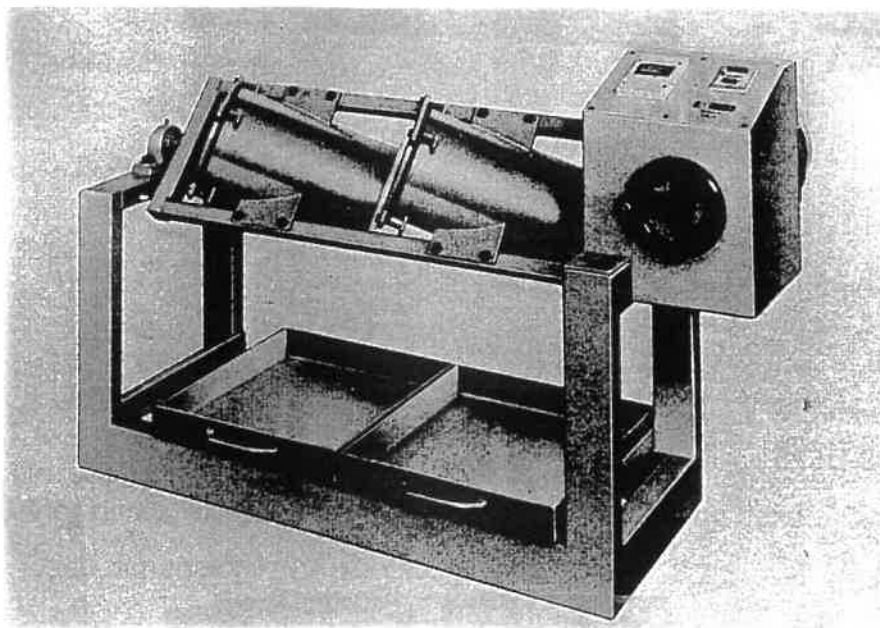


Εικ.6.1 Διαφορετικοί τρόποι απότριψης των αδρανών υλικών.

6.1.1 ΔΟΚΙΜΗ DEVAL

Η μέθοδος του προσδιορισμού της αντοχής σε τριβή και κρούση των αδρανών υλικών με τη μηχανή Deval, είναι η πρώτη δοκιμή που εφαρμόστηκε το έτος 1870. Πήρε το όνομά της από το όνομα του εφευρέτη της.[19]

Η μηχανή Deval αποτελείται από έναν ή περισσότερους κυλίνδρους από ατσάλι, με εσωτερική διάμετρο 200mm, μήκους 340mm και καπάκι πάχους 3mm. Κάθε κύλινδρος επιτρέπει την εκτέλεση διαφορετικής δοκιμής. Οι κύλινδροι κλίνουν υπό γωνία 32° και είναι συνδεδεμένοι με έναν οριζόντιο άξονα περιστροφής. Ένα μοτέρ δίνει τη δυνατότητα στους κυλίνδρους να περιστρέφονται με ταχύτητα 30 – 33στρ./λεπτό. Επιπλέον υπάρχει ένας αυτόματος μετρητής στροφών και ένας αυτόματος διακόπτης που σταματά την κίνηση της μηχανής μετά τη συμπλήρωση του απαιτούμενου αριθμού στροφών.[24]



Εικ.6.2 Συσκευή Deval.

Το αρχικό δείγμα που λαμβάνεται για να πραγματοποιηθεί η δοκιμή Deval πρέπει να ζυγίζει τουλάχιστον 10kg. Τα αδρανή πρέπει να έχουν μέγεθος 25 – 50mm. Το δείγμα πλένεται και έπειτα ξηραίνεται στους 105° C. Τελικά στη δοκιμή Deval εισάγονται 7kg αδρανών ως εξής: 4.2kg μεγέθους 25/40mm και 2.8kg μεγέθους 40/50mm.

Η δοκιμή Deval πραγματοποιείται με ή χωρίς την παρουσία νερού. Για την συμπλήρωση της δοκιμής απαιτούνται 10.000 περιστροφές με ταχύτητα 30 – 33στρ./λεπτό. Στο τέλος της δοκιμής το δείγμα εξάγεται από τη μηχανή, πλένεται προσεκτικά μεταξύ των κόσκινων διαμέτρου 1.6mm και 10mm. Το υλικό που συγκρατείται στο επάνω κόσκινο ξηραίνεται πάλι στους 105° C μέχρι σταθερού βάρους. Ο συντελεστής Deval ορίζεται ως εξής:

$$DS \text{ ή } DH = 2800 / m$$

όπου $m=7000 - m'$ και m είναι η ξηρή μάζα, σε γραμμάρια, που διέρχεται από το κόσκινο των 1.6mm. Ο συντελεστής καλείται DS όταν η δοκιμή γίνεται απουσία νερού (**coefficient Deval sec**), ενώ με παρουσία νερού ο συντελεστής γίνεται DH (**coefficient Deval humide**).[24]

Ένας δεύτερος τρόπος υπολογισμού της φθοράς κατά Deval είναι ο ακόλουθος: Στο τέλος της δοκιμής το δείγμα κοσκινίζεται από το κόσκινο No12, πλένεται το συγκρατούμενο στο κόσκινο υλικό, ξηραίνεται και ζυγίζεται. Η διαφορά από το αρχικό δείγμα εκφραζόμενη σε ποσοστό επί % του αρχικού βάρους, παρέχει το ποσοστό φθοράς του αδρανούς υλικού. Η % φθορά υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:[19]

$$W = (A - B) / A \cdot 100$$

Όπου: W είναι η ζητούμενη φθορά, A είναι το αρχικό βάρος του δείγματος, B είναι το βάρος που συγκρατείται στο κόσκινο No12 μετά τη δοκιμή.

Το σχήμα και ο αριθμός των τεμαχιδίων επιδρούν σημαντικά στα αποτελέσματα της δοκιμής. Έτσι όσο πιο κυβικό είναι το σχήμα και πιο γωνιώδη τα τεμάχια του δείγματος, τόσο μεγαλύτερη είναι η επερχόμενη φθορά. Αντίθετα, τεμάχια των οποίων τα άκρα είναι στρογγυλευμένα, παρουσιάζουν σημαντικά μικρότερη φθορά στη δοκιμή Deval. Έτσι η μέθοδος τροποποιείται ως εξής:[19]

Λαμβάνεται δείγμα ορισμένου βάρους και διαβάθμισης κόκκων το οποίο πριν τη δοκιμή πλένεται, ξηραίνεται και ζυγίζεται. Το δείγμα εισάγεται στους κυλίνδρους Deval μαζί με χαλύβδινες σφαίρες, βάρους 430gr περίπου η καθεμιά. Μετά από 10.000 περιστροφές με ταχύτητα 30στρ./λεπτό, το δείγμα εξάγεται και κοσκινίζεται. Το παραμένον υλικό πλένεται, ξηραίνεται και ζυγίζεται. Η διαφορά του βάρους του υπολείμματος από το αρχικό βάρος του δείγματος, διαιρούμενη δια του αρχικού βάρους παρέχει την επί % φθορά σε τριβή.[8]

Η πραγματοποίηση της δοκιμής Deval παρουσία νερού προσδιορίζει την αντίσταση των υλικών σε τριβή και κρούση παρουσία νερού. Κατά την εκτέλεση της δοκιμής τα καλύμματα των κυλίνδρων πρέπει να καλύπτουν τους κυλίνδρους υδατοστεγώς, ώστε να μην υπάρχει διαρροή νερού.[19] Πολυάριθμες τροποποιήσεις της μεθόδου Deval έχουν προταθεί κατά καιρούς. Μία απ' αυτές είναι η διάνοιξη οπών στον κύλινδρο της μηχανής, για τον περιορισμό της επίδρασης του στρώματος της σκόνης, η οποία παράγεται από την αρχή της δοκιμής κατά την τριβή των μαλακότερων τεμαχίων και ελαττώνει στη συνέχεια την ένταση της δράσεως της τριβής και συνεπώς και το αποτέλεσμα της φθοράς. Άλλες τροποποιήσεις που έχουν γίνει αφορούν:

1. Τη μέθοδο μέτρησης της φθοράς.
2. Τον αριθμό των στροφών.
3. Το βάρος και τη διαβάθμιση του δείγματος.
4. Το σχήμα των κόκκων του δείγματος.
5. Το ποσό του φορτίου των σφαιρών.

6.1.2 ΔΟΚΙΜΗ MICRO – DEVAL

Στη Γαλλία, για την απότριψη των αδρανών που προορίζονταν για οδοστρώματα ή για κατασκευές, η δοκιμή Deval αντικαταστάθηκε το 1972 από μία συσκευή πιο μικρή και πιο πρακτική: τη δοκιμή micro – Deval. Και αυτή η δοκιμή μπορεί να πραγματοποιηθεί με ή χωρίς την παρουσία νερού. Το δείγμα που εισάγεται στη συσκευή έχει βάρος 500gr με μέγεθος κόκκων 4 – 14mm ενώ παρουσία νερού εισάγονται μαζί με το δείγμα και 2.5lt νερού.[21]

Η συσκευή micro – Deval περιλαμβάνει 1 έως 4 κυλίνδρους χωρητικότητας 4.5lt με εσωτερική διάμετρο 200mm και μήκος 154mm. Οι κύλινδροι της δοκιμής είναι από ατσάλι και συνδέονται με έναν οριζόντιο άξονα περιστροφής. Κάθε κύλινδρος επιτρέπει την εκτέλεση διαφορετικής δοκιμής. Στο εσωτερικό του κυλίνδρου δεν υπάρχει καμία εξοχή. Το βάρος απότριψης αποτελείται από σφαιρικές μπίλιες διαμέτρου 10mm. Ένα μοτέρ δίνει στη συσκευή ταχύτητα περιστροφής 100στρ./λεπτό. Ένας χρονοδιακόπτης σταματά αυτόματα το μοτέρ μετά από δυο ώρες δοκιμής ή 12.000 περιστροφές.[22]

Το δείγμα πλένεται, ξηραίνεται και ζυγίζεται. Το βάρος απότριψης ποικίλει, ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων, από 2kg σφαίρες, 4kg σφαίρες και 5kg σφαίρες για κόκκους μεγέθους 4 – 6.3mm, 6.3 – 10mm και 10 – 14mm αντίστοιχα. Το τελικό δείγμα μετά τη δοκιμή αφού πλυθεί και ξηρανθεί κοσκινίζεται πάνω στο κόσκινο των 1.6mm.[22]

Ο συντελεστής micro – Deval ορίζεται από τη σχέση:

$$100 \cdot m / 500$$

όπου $m = 500 - m'$ είναι η ξηρή μάζα που πέρασε από το κόσκινο των 1.6mm.[22]

Για την απότριψη της άμμου χρησιμοποιήθηκε στη Γαλλία η δοκιμή Deval με ορισμένες τροποποιήσεις. Το βάρος απότριψης αποτελείται από σφαίρες (μεταλλικές) των 30, 18 και 10mm διαμέτρου.

Για τη δοκιμή χρησιμοποιούνται 500gr άμμου με μέγεθος κόκκων 0.1 – 2mm, ενώ προστίθεται και 2.5lt νερού για τη δοκιμή με παρουσία νερού. Μετά από 1500 περιστροφές σε 15min το ποσοστό % των στοιχείων μικρότερο των 50μm εκφράζει το συντελεστή απότριψης της άμμου.[21]

6.1.3 ΔΟΚΙΜΗ DORRY

Μια άλλη δοκιμή που προσδιορίζει την σκληρότητα του πετρώματος, δηλαδή την αντίστασή του σε χάραξη και την αντίσταση σε φθορά από τριβή, είναι η δοκιμή σκληρότητας κατά Dorry.[19]

Η σχετική δοκιμή εκτελείται σε ειδική μηχανή τριβής με αρπάγη, μοχλό φορτίσεως του δοκιμίου και οριζόντιο μεταλλικό περιστρεφόμενο δίσκο με χαραγές. Το δοκίμιο αφού ξηρανθεί στους 100°C μέχρι σταθερού βάρους ή υδροεμποτισμού και επιφανειακό σπόγγισμα, ζυγίζεται και τίθεται στην αρπάγη της μηχανής, οπότε και αρχίζει η περιστροφική κίνηση του δίσκου και η τριβή του δοκιμίου με μεσολάβηση σμύριδας.

Ανά 110 στροφές του δίσκου το δοκίμιο εξάγεται από την αρπάγη, ζυγίζεται οπότε προσδιορίζεται η απώλεια βάρους του και ξανατοποθετείται στην αρπάγη στραμμένο κατά 90° σε σχέση με την αρχική του θέση. Μετά την εκτέλεση $4 \times 110 = 440$ στροφές προσδιορίζεται η ολική απώλεια βάρους, η οποία τελικά ανάγεται σε απώλεια όγκου.[8]

6.1.4 ΔΟΚΙΜΗ LOS ANGELES

Μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους για τον προσδιορισμό ενός μέτρου αντοχής σε τριβή και κρούση είναι η μέθοδος Los Angeles.[6]

Η μηχανή αποτελείται από έναν κύλινδρο από ατσάλι με εσωτερική διάμετρο 711mm και μήκος 508mm. Ο κύλινδρος στηρίζεται

σε δύο άξονες ώστε να μπορεί να γυρίζει γύρω από τον άξονά του. Στο εσωτερικό του υπάρχει μία μεταλλική προεξοχή σε απόσταση 40cm από την άκρη του κατακιού, με πλάτος 90mm. Το βάρος απότριψης αποτελείται από σφαίρες διαμέτρου 47mm και βάρους 390 έως 445gr από ατσάλι. Ένα μοτέρ εξασφαλίζει στον κύλινδρο μία ταχύτητα περιστροφής 30 – 33στρ./λεπτό. Ένα αυτόματο στροφόμετρο σταματά το μοτέρ σε όσους γύρους θέλουμε.[23]

Το δείγμα αφού πλυθεί και ξηρανθεί, εισάγεται στον κύλινδρο. Το βάρος του δείγματος είναι περίπου 5kg. Το βάρος απότριψης εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων και μπορεί να είναι 2.9kg, 3.8kg και 4.9kg για μέγεθος κόκκων 4 – 6.3mm, 6.3 – 10mm και 10 – 14mm αντίστοιχα.

Η δοκιμή σταματά μετά από 500 στροφές. Το δείγμα πλένεται ξανά και ξηραίνεται. Έπειτα διέρχεται από το κόσκινο των 1.6mm.[23]
Ο συντελεστής κατά Los Angeles ορίζεται από τη σχέση:

$$100 \cdot m / 5000$$

όπου $m = 5000 - m'$ είναι το ξηρό βάρος του δείγματος που διέρχεται από το κόσκινο των 1.6mm, σε γραμμάρια. Το αποτέλεσμα στρογγυλεύεται στη μονάδα.[23]

6.1.5 ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΔΕΕ ΜΑΝΝΗΕΙΜ

Και η δοκιμή Amédeé Mannheim χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της αντοχής σε τριβή και κρούση των αδρανών υλικών. Καθιερώθηκε στη Γαλλία από το μηχανικό A. Mannheim το έτος 1939.[19]

Συνίσταται από έναν χαλύβδινο κύλινδρο, κλειστό και στα δύο άκρα του, εσωτερικής διαμέτρου 69cm και μήκους 52.5cm. Στηρίζεται σε δύο στελέχη που προεξέχουν στα άκρα του ώστε να μπορεί ο κύλινδρος να περιστρέφεται περί τον άξονά του οριζόντια. Στην

εσωτερική επιφάνεια του υπάρχει μία εξοχή που μπορεί να παραλαμβάνει τις σφαίρες του κυλίνδρου να τις ανυψώνει και να τις αφήνει έπειτα να πέφτουν πάνω στο υλικό. Η ομοιότητα με την δοκιμή Los Angeles είναι προφανής. Για τη δοκιμή χρησιμοποιούνται 5kg υλικό και 8 σφαίρες, βάρους 640gr η καθεμία. Η μηχανή περιστρέφεται για 10min με ταχύτητα 24 στροφές το λεπτό.[19]

Το υλικό πριν και μετά τη δοκιμή υποβάλλεται σε κοκκομετρική ανάλυση. Χαράσσονται στη συνέχεια οι κοκκομετρικές καμπύλες, του πριν και μετά τη δοκιμή υλικού στις ακόλουθες κλίμακες. Στον άξονα των τετμημένων 1cm θα παριστάνει διάσταση οπής κοσκίνου 1mm και στον άξονα των τεταγμένων 2cm θα παριστάνουν 1% διερχόμενο κατά βάρος υλικό. Ο συντελεστής S παριστάνει το εμβαδόν της επιφάνειας της περιλαμβανομένης μεταξύ των 2 αυτών κοκκομετρικών καμπυλών, μετρούμενη με μονάδα 20cm². Αντί του συντελεστή S μπορεί να χρησιμοποιηθεί καλύτερα ο **συντελεστής M** που δίνεται από τον τύπο:[19]

$$M = 3000 / S$$

Ο συντελεστής M δίνει τιμές οι οποίες μπορούν να συγκριθούν με τον συντελεστή Deval, αφού οι μέσες τιμές έχουν περίπου την ίδια τιμή και μεταβάλλονται ανάλογα, ενώ οι συντελεστές S και Deval μεταβάλλονται κατ' αντίθετη φορά.

6.2 ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Με βεβαιότητα μπορούμε να πούμε ότι ένα πέτρωμα το οποίο έχει υψηλή δυσθραυστότητα, έχει επίσης μεγάλη κατά Dorry σκληρότητα. Ωστόσο όμως δεν μπορεί να βγει το συμπέρασμα ότι ένα πέτρωμα το οποίο είναι σκληρό είναι επίσης και δύσθραυστο. Ορισμένοι ψαμμίτες και γρανίτες μπορεί να έχουν υψηλή κατά Dorry σκληρότητα και μικρή δυσθραυστότητα.

Επίσης αδρανή υλικά τα οποία έχουν υψηλή δυσθραυστότητα, έχουν συνήθως μικρή % φθορά σε δοκιμή Deval, χωρίς να μπορεί να ειπωθεί και το αντίθετο, αφού αδρανή τα οποία έχουν μικρή % φθορά κατά Deval, θα έχουν και υψηλή δυσθραυστότητα. Εύθραυστα αδρανή υλικά μπορεί να έχουν μικρή σχετικά % φθορά κατά την πρότυπο μέθοδο Deval.

Όσον αφορά τη δοκιμή Deval με τη δοκιμή Los Angeles δεν υπάρχει κάποια καθορισμένη σχέση μεταξύ τους. Χονδρικά, μπορεί να ειπωθεί ότι η κατά Los Angeles φθορά, είναι περίπου επταπλάσια της κατά Deval φθοράς. Έχει επίσης παρατηρηθεί ότι κατά τη δοκιμή Los Angeles, οι κόκκοι που έχουν γωνιώδες σχήμα έχουν μεγαλύτερη % φθορά λόγω της στρογγύλευσης των γωνιών και των άκρων των κόκκων αυτών κατά τη δοκιμή, απ' ότι ένα δείγμα με στρογγυλεμένους κόκκους.

Διάφοροι ερευνητές, εξετάζοντας την επίδραση στην αντοχή του σκυροδέματος, της φθοράς των αδρανών υλικών υπολογιζόμενη κατά την μέθοδο Deval, απέδειξαν ότι αυτή είναι ασήμαντη. Αντίθετα η % φθορά των αδρανών κατά τη δοκιμή Los Angeles, επιδρά ελάχιστα στην αντοχή σε θλίψη και περισσότερο στην αντοχή σε κάμψη του σκυροδέματος.[19]

7. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

7.1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ

Με την παρούσα διπλωματική εργασία, γίνεται μια προσπάθεια διερεύνησης της επίδρασης του είδους της άμμου των τσιμεντοκονιαμάτων στο χρόνο διάτρησης των δοκιμών και κατά συνέπεια, στον προσδιορισμό της αντοχής τους. Οι παράγοντες που εξετάστηκαν είναι το είδος της άμμου, η απότριψη των κόκκων της, καθώς και η κοκκομετρική της σύνθεση και το μέγεθος των κόκκων της άμμου.

Η αναγκαιότητα αυτής της διερεύνησης προέκυψε από τα ευοίωνα για τη μέθοδο της διάτρησης, συμπεράσματα των προηγούμενων διπλωματικών εργασιών [16,17,18], σύμφωνα με τα οποία η συσχέτιση αντοχής – χρόνου διάτρησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ικανοποιητική ακρίβεια για τον προσδιορισμό της αντοχής, ανεξάρτητα από το είδος του συνδετικού υλικού των κονιαμάτων.

Ο μηχανισμός της διάτρησης επηρεάζεται από τους ακόλουθους παράγοντες:

1. Απότριψη του συνδετικού υλικού.
2. Απότριψη των αδρανών.
3. Αποκόλληση των αδρανών από το συνδετικό υλικό.

Ο πρώτος παράγοντας εξαρτάται από την αντοχή των τσιμεντοκονιαμάτων. Η απότριψη των αδρανών είναι αρκετά πολύπλευρη και εξαρτάται τόσο από την σκληρότητα του υλικού, όσο και από την κοκκομετρική διαβάθμιση, καθώς και τη συνάφεια που μπορεί να αναπτύξει το υλικό με την συνδετική κονία. Απαιτείται δηλαδή μια εκτεταμένη διερεύνηση της επίδρασης του είδους της άμμου και

ειδικότερα της σκληρότητας και της κοκκομετρικής διαβάθμισης. Αυτό αποτελεί και το αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Για τη διερεύνηση της απότριψης της άμμου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Deval. Η επιλογή της έγινε ύστερα από σχετική έρευνα και αφού ήταν η πιο αντιπροσωπευτική για την απότριψη κόκκων μεγέθους κάτω των 6,3mm, όπως ορίζεται για την άμμο. Όμως και εδώ υπήρξαν τροποποιήσεις όσον αφορά τα χαρακτηριστικά της μεθόδου, λόγω έλλειψης μιας μεθόδου που να διερευνά την απότριψη της άμμου. Στη δοκιμή αυτή υποβλήθηκαν διάφορα είδη άμμου και τελικά επιλέχθηκαν για την παρασκευή δοκιμίων εκείνα που παρουσίαζαν διαφορετική τιμή απότριψης μεταξύ τους.

Για τη μελέτη της απότριψης της άμμου παρασκευάστηκαν δοκίμια με άμμο που είχε διαφορετική τιμή απότριψης, σύμφωνα με τη συσκευή Deval, ενώ για την επίδραση της κοκκομετρικής διαβάθμισης παρασκευάστηκαν δοκίμια με άμμο διαφορετικής κοκκομετρικής σύνθεσης.

Εξετάστηκαν όμως και τα χαρακτηριστικά της διάτρησης και ειδικότερα η ασκούμενη στο δοκίμιο δύναμη σε συνδυασμό με την διάμετρο του τρυπανιού, καθώς και η επίδραση της ταχύτητας περιστροφής του τρυπανιού στο χρόνο διάτρησης των τσιμεντοκονιαμάτων. Σταθερό παρέμεινε σ' όλα τα δοκίμια το βάθος διάτρησης, καθώς και ο αριθμός σπών που έγιναν σε κάθε δοκίμιο.

Από τη συνοπτική παρουσίαση γίνεται σαφές ότι η διπλωματική εργασία αποτελείται από δυο επιμέρους ενότητες, όπου η μια αποτελεί τη βάση για την ολοκλήρωση της επόμενης. Για το λόγο αυτό η αναλυτική παρουσίαση της καθεμιάς γίνεται χωριστά στις επόμενες παραγράφους.

7.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΠΟΤΡΙΨΗΣ ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ.

7.2.1 ΥΛΙΚΑ

Για να μελετηθεί η απότριψη της άμμου με τη συσκευή Deval, χρησιμοποιήθηκαν 15 διαφορετικά είδη άμμου, καθώς και μία ακραία περίπτωση πολύ σκληρής άμμου, της σμύριδας, η οποία σπάνια χρησιμοποιείται στην πράξη, θεωρείται όμως ενδιαφέρουσα η εξέταση της απότρίψης της η οποία είναι πολύ μικρή.

7.2.2 ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ DEVAL

Για να μελετηθεί η απότριψη των κόκκων της άμμου και ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείται ο μηχανισμός της διάτρησης, αναζητήθηκε μια μέθοδος που να προσδιορίζει την αντίσταση των κόκκων σε τριβή και κατ' ελάχιστο σε κρούση. Έτσι, προσομοιάζεται ο μηχανισμός με τον οποίο το τρυπάνι θραύει ή αποκολλά τους κόκκους της περιεχόμενης άμμου των τσιμεντοκονιαμάτων. Δυο είναι οι μέθοδοι που προσδιορίζουν την αντίσταση σε τριβή και κρούση αδρανών υλικών:

- I. Η μέθοδος Deval.**
- II. Η μέθοδος Los Angeles.**

Με τη δοκιμή Los Angeles προσδιορίζεται ένα μέτρο αντοχής σε τριβή και κρούση για αδρανή μεγέθους κόκκων 4 – 14mm, και λόγω της μορφής της συσκευής το φαινόμενο της κρούσης είναι πολύ πιο έντονο από εκείνο της τριβής. Αντίθετα, η συσκευή Deval προσδιορίζει την αντοχή των αδρανών σε τριβή και λιγότερο σε κρούση, επειδή ο κύλινδρος της μηχανής Deval είναι εδώ κεκλιμένος υπό γωνία 35° περίπου. Το μέγεθος ωστόσο, των αδρανών που εξετάζονται και με αυτή τη συσκευή είναι της τάξεως των 4 – 14mm. Έτσι, θεωρήθηκε

καλύτερη η συσκευή Deval. Ήταν όμως απαραίτητο να γίνουν κάποιες τροποποιήσεις για τον προσδιορισμό της αντοχής σε τριβή και κρούση αδρανών μεγέθους κάτω των 4mm, όπως ήταν οι άμμοι που εξετάστηκαν.

7.2.3 ΣΥΣΚΕΥΗ DEVAL

Η συσκευή Deval που υπάρχει στο Εργαστήριο Οδοποιίας του Τ.Μ.Σ.Υ. του Ε.Μ.Π, αποτελείται από δύο κυλίνδρους από ατσάλι, με εσωτερική διάμετρο 200mm και μήκος 340mm. Οι κύλινδροι κλίνουν υπό γωνία 35° περίπου και συνδέονται με έναν οριζόντιο άξονα περιστροφής. Ένα μοτέρ επιτρέπει στο σύστημα να περιστραφεί με ταχύτητα 37στρ/λεπτό. Ένας αυτόματος μετρητής στροφών σταματά την κίνηση της μηχανής μετά τη συμπλήρωση ορισμένου αριθμού στροφών, ο οποίος ρυθμίζεται από το χειριστή. Το βάρος απότριψης αποτελείται από μεταλλικές σφαίρες διαμέτρου 10mm, ενώ το δείγμα που υποβάλλεται στη δοκιμή ζυγίζει 1kg.

Το αρχικό δείγμα που λαμβάνεται για να πραγματοποιηθεί η δοκιμή Deval πρέπει να ζυγίζει τουλάχιστον 1,5kg. Αυτό διέρχεται μέσα από το κόσκινο Νο40 (0.43mm). Το συγκρατούμενο στο κόσκινο αυτό υλικό ζυγίζεται ξανά και απ' το σύνολό του κρατάμε ποσότητα 1kg για να πραγματοποιηθεί η δοκιμή. Το κόσκινο Νο40 (0.43mm), θεωρήθηκε ως το πιο κατάλληλο αφού η απότριψη κόκκων μεγέθους κάτω των 0,43mm δίνει μόνο σκόνη, η οποία όχι μόνο δεν μεταβάλλει το τελικό αποτέλεσμα αλλά δημιουργεί και πρόβλημα, αφού κολλάει στα εσωτερικά τοιχώματα των κυλίνδρων, στην επιφάνεια των σφαιρών, καθώς και στην επιφάνεια των κόκκων των αδρανών, δημιουργώντας έτσι μια στρώση "μαξιλάρι" που ελαττώνει τη δράση της απότριψης.

Στο τέλος της δοκιμής το δείγμα εξάγεται από τη μηχανή και διέρχεται πάνω από τα κόσκινα ¼, (0.63mm) και Νο40 (0.43mm). Το

πρώτο κόσκινο χρησιμεύει στη συγκράτηση των μεταλλικών σφαιρών και στο διαχωρισμό τους από το δείγμα. Η συγκρατούμενη ποσότητα στο κόσκινο No40 ζυγίζεται ξανά. Η διαφορά από το αρχικό δείγμα εκφραζόμενη σε ποσοστό % του αρχικού βάρους, παρέχει το ποσοστό φθοράς της άμμου. Η % φθορά υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$W = (A - B) / A \cdot 100$$

όπου W είναι η ζητούμενη φθορά σε τριβή, A είναι το αρχικό βάρος του δείγματος και B το βάρος που συγκρατείται στο κόσκινο No40 (0.43)mm μετά τη δοκιμή.

7.2.4 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΑΡΙΘΜΟΥ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΩΝ ΚΑΙ ΒΑΡΟΣ ΣΦΑΙΡΩΝ

Επειδή η πρότυπος δοκιμή Deval προσδιορίζει την αντοχή σε τριβή και κρούση αδρανών υλικών μεγέθους πάνω από 25mm, δεν θα ήταν σωστό με τα ίδια χαρακτηριστικά, δηλαδή αριθμό περιστροφών και βάρος σφαιρών να μελετηθεί η αντοχή σε τριβή και κρούση αδρανών μεγέθους κάτω των 6,3mm. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε μία δευτερεύουσα έρευνα ώστε να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά εκείνα που μου δίνουν το πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα για την απότριψη της άμμου.

Επιλέχθηκαν δύο διαφορετικά είδη άμμου και υποβλήθηκαν σε δοκιμές Deval, μεταβάλλοντας κάθε φορά τους εξής παράγοντες: **αριθμός περιστροφών, βάρος σφαιρών**. Για την πρώτη άμμο διατηρείται σταθερό το βάρος των σφαιρών και ίσο με M=2kg σφαίρες, ενώ παράλληλα αυξάνεται σταδιακά ο αριθμός των περιστροφών, αρχίζοντας από N=2000. Για τη δεύτερη άμμο, διατηρείται σταθερός ο αριθμός των περιστροφών στις N=2000 και μεταβάλλεται το βάρος των σφαιρών από M=2kg σφαίρες σε 3 και 4kg. Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα.

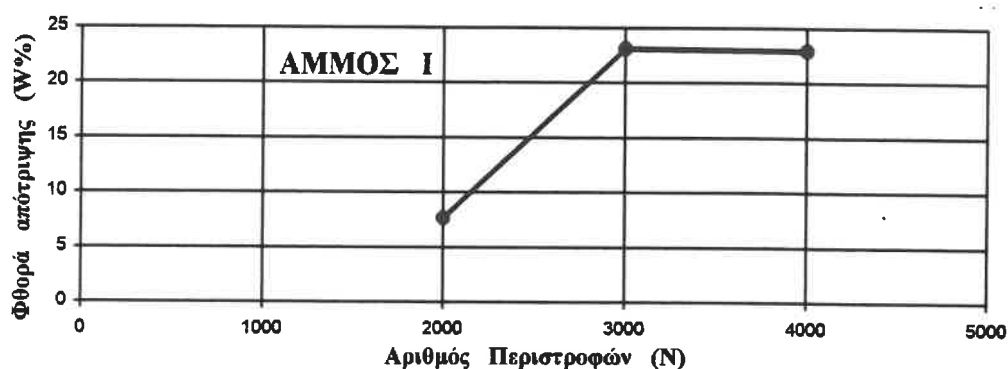
Πίνακας 7.1 Αποτελέσματα μετρήσεων απότριψης (w) της άμμου Ι.

A/A ΔΟΚΙΜΩΝ	ΒΑΡΟΣ ΣΦΑΙΡΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΩΝ	ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΤΡΙΨΗΣ
Δοκιμή 1 ^η	M=2kg	N=2000	W=7,62%
Δοκιμή 2 ^η	M=2kg	N=3000	W=23,08%
Δοκιμή 3 ^η	M=2kg	N=4000	W=22,92%

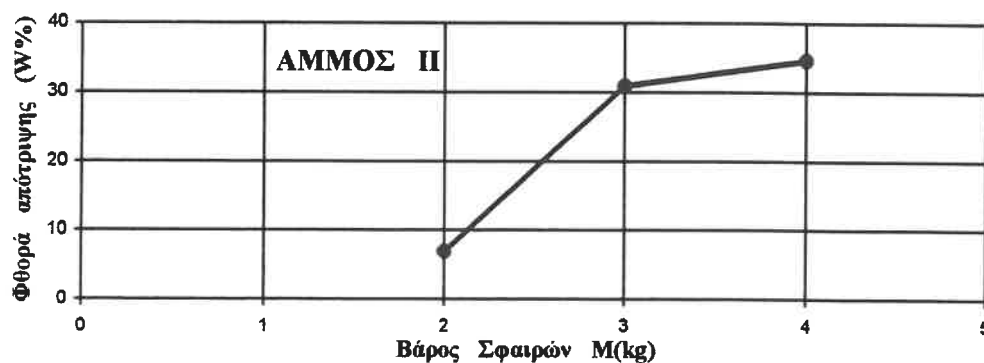
Πίνακας 7.2 Αποτελέσματα μετρήσεων απότριψης (w) της άμμου ΙΙ.

A/A ΔΟΚΙΜΩΝ	ΒΑΡΟΣ ΣΦΑΙΡΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΩΝ	ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΤΡΙΨΗΣ
Δοκιμή 1 ^η	M=2kg	N=2000	W=6,93%
Δοκιμή 2 ^η	M=3kg	N=2000	W=30,89%
Δοκιμή 3 ^η	M=4kg	N=2000	W=34,58%

Σχηματικά τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στις ακόλουθες καμπύλες.



Σχήμα 7.1 Συσχέτιση απότριψης άμμου με αριθμό περιστροφών.



Σχήμα 7.2 Συσχέτιση απότριψης άμμου με βάρος σφαιρών.

Από τα διαγράμματα αυτά παρατηρούμε ότι για την άμμο Ι παρουσιάζεται σημαντική αύξηση της φθοράς απότριψης όταν αυξηθεί ο αριθμός των περιστροφών από N=2000 σε N=3000, με σταθερό βάρος

σφαιρών 2kg. Η διαφοροποίηση με τις $N=4000$ περιστροφές είναι ασήμαντη, οπότε είναι προφανές ότι δεν χρειάζεται να πραγματοποιείται η δοκιμή σε τόσο μεγάλο αριθμό περιστροφών.

Για την άμμο Ι προκύπτει σημαντική μεταβολή στο αποτέλεσμα της φθοράς απότριψης όταν αυξηθεί το βάρος των σφαιρών από $M=2\text{kg}$ σε $M=3\text{kg}$, για σταθερό αριθμό περιστροφών $N=2000$. Για περαιτέρω αύξηση του βάρους των σφαιρών το αποτέλεσμα δεν διαφοροποιείται σημαντικά. Άρα είναι ικανοποιητικό ένα βάρος σφαιρών $M=3\text{kg}$.

Τα πρώτα συμπεράσματα που προέκυψαν ήταν να χρησιμοποιηθεί, για τη μέτρηση της απότριψης της άμμου, βάρος σφαιρών ίσο με $M=3\text{kg}$ σφαίρες και η δοκιμή να ολοκληρώνεται στις $N=3000$ περιστροφές. Επειδή όμως η συσκευή Deval λειτουργεί με 37στρ./λεπτό είναι προφανές ότι για τόσο μεγάλο αριθμό περιστροφών θα ξοδεύεται αρκετός χρόνος. Για το λόγο αυτό, εξετάστηκε η περίπτωση της μείωσης των περιστροφών σε $N=2000$ οπότε ο χρόνος που απαιτείται για τη δοκιμή είναι 55min. Τα αποτελέσματα ήταν τα εξής:

Πίνακας 7.3 Αποτελέσματα μετρήσεων απότριψης της άμμου ΙΙ.

A/A ΔΟΚΙΜΩΝ	ΒΑΡΟΣ ΣΦΑΙΡΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΩΝ	ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΤΡΙΨΗΣ
Δοκιμή 1 ^η	$M=3\text{kg}$	$N=2000$	$W=30,89\%$
Δοκιμή 2 ^η	$M=3\text{kg}$	$N=3000$	$W=30,82\%$

Από το τελικό αποτέλεσμα στη φθορά συμπεραίνουμε ότι τελικά εκείνο που διαφοροποιεί το αποτέλεσμα στη δοκιμή Deval και παίζει σημαντικό ρόλο είναι το βάρος απότριψης και λιγότερο ο αριθμός των περιστροφών. Οπότε δεν επηρεάζει τη φθορά σε τριβή και κρούση η αύξηση του αριθμού των περιστροφών από $N=2000$ σε $N=3000$. Αυτό μας επιτρέπει να παίρνουμε μία αντιπροσωπευτική τιμή για τη φθορά σε τριβή της άμμου, για αριθμό περιστροφών $N=2000$ και έτσι μειώνεται και ο χρόνος εκτέλεσης της δοκιμής.

Τελικά κάνουμε τη θεώρηση ότι η δοκιμή απότριψης με τη συσκευή Deval παρουσιάζει μία πολύ καλή τιμή για τη φθορά του υλικού και κατά συνέπεια την απότρίψή του, για βάρος σφαιρών $M=3\text{kg}$ και αριθμό περιστροφών $N=2000$ στροφές. Με αυτά τα χαρακτηριστικά θα εξεταστούν στο εξής όλες οι άμμοι που θα χρησιμοποιηθούν για την πειραματική εργασία. Έτσι θα μπορούμε να έχουμε και ένα μέτρο σύγκρισης όσον αφορά την απότριψη της άμμου.

7.2.5 ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΠΟΤΡΙΨΗΣ.

Πριν όμως προχωρήσουμε στην εξέταση της κάθε μιας άμμου, θεωρήθηκε σκόπιμο να ελεγχθεί η επαναληψιμότητα της δοκιμής Deval. Η επαναληψιμότητα (r) (repeatability) είναι ένα μέτρο εκτίμησης της ακρίβειας μιας δοκιμής που εκτελείται στο ίδιο υλικό, κάτω από τις ίδιες συνθήκες, δηλαδή στο ίδιο εργαστήριο, από το ίδιο πρόσωπο, με την ίδια συσκευή σε μικρό χρονικό διάστημα. Ορίζεται ως η τιμή εκείνη " r " την οποία δεν αναμένεται να υπερβαίνει η απόλυτη τιμή της διαφοράς δύο δεδομένων μετρήσεων για μία δεδομένη πιθανότητα (συνήθως 95%). Αν A_1 , A_2 είναι τα αποτελέσματα των δύο δοκιμών και $|A_1 - A_2| < r$, οι μετρήσεις μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστες, ενώ αντίθετα θεωρούνται αναξιόπιστες.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η άμμος I, ενώ τα χαρακτηριστικά της δοκιμής Deval ήταν αυτά που θεωρήσαμε ως τα πιο αντιπροσωπευτικά, δηλ. $M=3\text{kg}$ σφαίρες και $N=2000$ στροφές. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 7.4 Αποτελέσματα μετρήσεων απότριψης της άμμου Ι.

Α/Α ΔΟΚΙΜΩΝ	ΒΑΡΟΣ ΣΦΑΙΡΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΩΝ	ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΤΡΙΨΗΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Δοκιμή 1 ^η	M=3kg	N=2000	W=41,70%		
Δοκιμή 2 ^η	M=3kg	N=2000	W=42,50%		
Δοκιμή 3 ^η	M=3kg	N=2000	W=40,04%	W=39,42%	S=3,16
Δοκιμή 4 ^η	M=3kg	N=2000	W=38,29%		
Δοκιμή 5 ^η	M=3kg	N=2000	W=34,56%		

Αν R είναι η επαναληψιμότητα της δοκιμής τότε αυτή προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$|W_1 - W_2| < R \cdot (W_1 + W_2) / 2$$

όπου W₁, W₂ είναι η φθορά απότριψης για δύο διαδοχικές μετρήσεις στις ίδιες συνθήκες, με το ίδιο υλικό. Η επαναληψιμότητα θα προκύψει ως η μέση τιμή όλων των R_i που θα βρεθούν:

Πίνακας 7.5 Προσδιορισμός της επαναληψιμότητας.

ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΙ ΔΟΚΙΜΩΝ	W ₁ - W ₂	(W ₁ + W ₂) / 2	R _i
W ₁ =41,70% W ₂ =42,50%	0,80	42,10	R _{1,2} =1,90%
W ₁ =41,70% W ₃ =40,04%	1,66	40,87	R _{1,3} =4,06%
W ₁ =41,70% W ₄ =38,29%	3,41	40,00	R _{1,4} =8,53%
W ₁ =41,70% W ₅ =34,56%	7,14	38,13	R _{1,5} =18,73%
W ₂ =42,50% W ₃ =40,04%	2,46	41,27	R _{2,3} =5,96%
W ₂ =42,50% W ₄ =38,29%	4,21	40,40	R _{2,4} =10,42%
W ₂ =42,50% W ₅ =34,56%	7,94	38,53	R _{2,5} =20,61%
W ₃ =40,04% W ₄ =38,29%	1,75	39,17	R _{3,4} =4,47%
W ₃ =40,04% W ₅ =34,56%	5,48	37,30	R _{3,5} =14,69%
W ₄ =38,29% W ₅ =34,56%	3,73	36,43	R _{4,5} =10,24%
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ			R=9,96%
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ			Sr=6,33

Άρα η επαναληψιμότητα της δοκιμής ορίζεται ως **10%** της μέσης τιμής των δύο μετρήσεων.

7.2.6 ΔΟΚΙΜΕΣ ΑΠΟΤΡΙΨΗΣ

Για να προσδιορίσουμε την απότριψη της άμμου με τη συσκευή Deval χρησιμοποιήθηκαν 16 άμμοι διαφορετικής προέλευσης. Η διαδικασία που ακολουθήσαμε ήταν η ίδια και αυτή που περιγράφηκε παραπάνω. Τα χαρακτηριστικά της δοκιμής ήταν επίσης τα ίδια, δηλαδή $M=3\text{kg}$ σφαίρες και $N=2000$ στροφές. Τα αποτελέσματα ήταν τα ακόλουθα:

Πίνακας 7.6 Αποτελέσματα δοκιμών απότριψης.

A/A ΑΜΜΩΝ	ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΤΡΙΨΗΣ
Άμμος 1	$W_1=37,87\%$
Άμμος 2	$W_2=30,75\%$
Άμμος 3	$W_3=19,57\%$
Άμμος 4	$W_4=50,01\%$
Άμμος 5	$W_5=30,25\%$
Άμμος 6	$W_6=43,52\%$
Άμμος 7	$W_7=32,99\%$
Άμμος 8	$W_8=4,44\%$
Άμμος 9	$W_9=29,30\%$
Άμμος 10	$W_{10}=39,42\%$
Άμμος 11	$W_{11}=30,89\%$
Άμμος 12	$W_{12}=15,82\%$
Άμμος 13	$W_{13}=15,17\%$
Άμμος 14	$W_{14}=19,90\%$
Άμμος 15	$W_{15}=50,00\%$
Άμμος 16(σμύριδα)	$W_{16}=38,98\%$

Από τα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι η πλειοψηφία των άμμων παρουσιάζει φθορά γύρω στο 30% και αυτές χαρακτηρίζονται ως **μέσες άμμοι**, σε αντίθεση μ' αυτές που έχουν φθορά 15% περίπου και είναι οι **χονδρές άμμοι** και εκείνες τέλος που έχουν μεγάλη απότριψη, της

τάξης των 50% και χαρακτηρίζονται ως λεπτές. Η άμμος 16, που αντιστοιχεί στη σμύριδα και αποτελεί μια ιδιόζουσα περίπτωση άμμου με πολύ μεγάλη σκληρότητα, παρουσιάζει μια μέση απότριψη. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στην μορφή των δεσμών των κόκκων της σμύριδας, (πολυκρυσταλλικοί δεσμοί), καθώς και στο ότι το συγκεκριμένο δείγμα αποτελείται μόνο από λεπτούς κόκκους.

Επειδή ο άξονας του κυλίνδρου της μηχανής Deval σχηματίζει γωνία με τον οριζόντιο άξονα περιστροφής, το υλικό που εισάγεται στον κύλινδρο κυλίνεται από το ένα άκρο στο άλλο σε κάθε στροφή. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής οι κόκκοι τρίβονται μεταξύ τους, με τα τοιχώματα του κυλίνδρου και με τις σφαίρες. Στους κόκκους ασκούνται δυνάμεις κρούσεις και τριβής, όμως η δράση της τριβής είναι πολύ εντονότερη από εκείνη της κρούσης, με αποτέλεσμα λόγω της κρούσης να θραύονται μόνο οι πολύ μαλακοί κόκκοι.

Οι δυνάμεις τριβής που είναι πολύ μεγαλύτερες στη δοκιμή Deval, έχουν άμεση επίδραση τόσο στο σχήμα των κόκκων όσο και στην ειδική τους επιφάνεια, με συνέπεια να καθορίζουν το αποτέλεσμα της δοκιμής. Έτσι, όσο πιο κυβικού σχήματος και γωνιώδης είναι οι κόκκοι που συνθέτουν μία άμμο τόσο μεγαλύτερη είναι η επερχόμενη φθορά. Κόκκοι με στρογγυλεμένα άκρα παρουσιάζουν σημαντικά μικρότερη φθορά στη δοκιμή αυτή.

Επίσης, η ειδική επιφάνεια ενός κόκκου συσχετίζεται άμεσα με τη δράση της τριβής. Όσο πιο μεγάλη είναι η ειδική επιφάνεια των κόκκων τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η φθορά σε τριβή. Έτσι για μία άμμο με μεγαλύτερο ποσοστό χονδρών κόκκων η επερχόμενη φθορά κατά Deval θα είναι μικρότερη, σε σύγκριση με μία άμμο που αποτελείται από πολλούς λεπτούς κόκκους, δηλαδή μεγαλύτερη συνολική επιφάνεια οπότε και μεγαλύτερη φθορά.

7.2.7 ΔΟΚΙΜΕΣ ΑΠΟΤΡΙΨΗΣ ΑΜΜΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΊΔΙΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ.

Σε μία προσπάθεια προσέγγισης της επίδρασης της κοκκομετρικής διαβάθμισης της άμμου στο αποτέλεσμα της φθοράς απότριψης, υποβλήθηκαν στη δοκιμή αυτή 6 άμμοι διαφορετικής προέλευσης, δηλαδή διαφορετικής κοκκομετρικής διαβάθμισης και ποιότητας του υλικού. Κρατώντας σταθερή την κοκκομετρική διαβάθμιση της πιο λεπτόκοκκης άμμου, δηλαδή αυτής που περιέχει το μεγαλύτερο ποσοστό λεπτών κόκκων, έγινε ανασύνθεση όλων των άλλων άμμων ώστε να αποκτήσουν τελικά τη διαβάθμιση της λεπτόκοκκης. Αυτό πραγματοποιείται με πολλαπλό κοσκίνισμα του υλικού ώστε σε κάθε κόσκινο να συγκεντρωθεί ποσότητα ίση με αυτή που παρουσιάζει η λεπτόκοκκη άμμος.

Οι λοιπές άμμοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι ακόλουθες: άμμος 3 (χονδρή), άμμος 5 (μέση), άμμος 6 (λεπτή), άμμος 12 (χονδρή) και η ακραία περίπτωση της σμύριδας. Η λεπτόκοκκη άμμος της οποίας η κοκκομετρική διαβάθμιση παρέμεινε σταθερή, (ως πρότυπη), ήταν η άμμος 4. Η επιλογή της δεν ήταν τυχαία. Επιλέχθηκε από όλες τις άλλες, επειδή οι λοιπές άμμοι μπορούσαν να αποκτήσουν την κοκκομετρική διαβάθμιση μιας λεπτής, αν αφαιρέσουμε ποσοστό χονδρών κόκκων, κάτι που δεν είναι εφικτό αντίστροφα. Τα αποτελέσματα που πήραμε ήταν τα ακόλουθα:

Πίνακας 7.7 Αποτελέσματα δοκιμών απότριψης με άμμους ίδιας κοκκομετρικής σύνθεσης.

A/A ΑΜΜΩΝ	ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΤΡΙΨΗΣ
Άμμος 3	W=40,03%
Άμμος 4	W=50,01%
Άμμος 5	W=48,95%
Άμμος 6	W=50,62%
Άμμος 12	W=42,48%
Άμμος 16	W=51,01%

Από τα αποτελέσματα φαίνεται πόσο σημαντικός είναι ο ρόλος της κοκκομετρικής διαβάθμισης στο αποτέλεσμα της απότριψης, αφού διαφορετικοί άμμοι έχουν ίδιο ή τουλάχιστον παραπλήσιο αποτέλεσμα. Αυτό εξάλλου επιβεβαιώνει και την προηγούμενη παρατήρηση που αφορά την επίδραση του μεγέθους των κόκκων στο τελικό αποτέλεσμα της απότριψης.

Ουσιαστικά, συμπεραίνουμε ότι η πετρογραφική σύσταση των κόκκων δεν έχει σημαντική επιρροή στη δοκιμή απότριψης με τη συσκευή Deval, αλλιώς θα έπρεπε τα παραπάνω αποτελέσματα να παρουσιάζουν κάποια διαφοροποίηση μεταξύ τους. Παρατηρούμε δηλαδή ότι δύο διαφορετικά είδη άμμου, μια λεπτόκοκκη και μια χονδρόκοκκη, μπορούν να δώσουν το ίδιο ποσοστό απότριψης εάν έχουν την ίδια κοκκομετρική διαβάθμιση. Παρακάτω υπάρχει και συγκριτικός πίνακας με αποτελέσματα φθοράς κατά Deval πριν και μετά την ανασύνθεση.

Πίνακας 7.8 Συγκριτικά αποτελέσματα μετρήσεων απότριψης πριν και μετά την ανασύνθεση της κοκκομετρικής διαβάθμισης.

Α/Α ΑΜΜΩΝ	ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΤΡΙΨΗΣ (πριν)	ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΤΡΙΨΗΣ (μετά)
Άμμος 3	W=19,57%	W'=40,03%
Άμμος 4	W=50,01%	W'=50,01%
Άμμος 5	W=30,25%	W'=48,95%
Άμμος 6	W=43,52%	W'=50,62%
Άμμος 12	W=15,82%	W'=42,48%
Άμμος 16	W=38,98%	W'=51,01%

7.2.8 ΔΟΚΙΜΕΣ ΑΠΟΤΡΙΨΗΣ ΜΕ ΊΔΙΑ ΑΜΜΟ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ.

Στα πλαίσια ολοκλήρωσης της έρευνας για την επίδραση της κοκκομετρικής διαβάθμισης του υλικού στην απότρίψή του, έγινε η

ακόλουθη πειραματική εργασία. Χρησιμοποιήθηκε μία άμμος, συγκεκριμένα η άμμος 6 και συγκεντρώθηκαν οι εξής ποσότητες:

1. Ποσότητα 1000gr η οποία να διέρχεται από το κόσκινο No4 (4.75mm) και να συγκρατείται στο κόσκινο No8 (2.36mm).
2. Ποσότητα 1000gr η οποία να διέρχεται από το κόσκινο No8 (2.36mm) και να συγκρατείται στο κόσκινο No16 (1.18mm).
3. Ποσότητα 1000gr η οποία να διέρχεται από το κόσκινο No16 (1.18mm) και να συγκρατείται στο κόσκινο No30 (0.60mm).
4. Ποσότητα 1000gr η οποία να διέρχεται από το κόσκινο No30 (0.60mm) και να συγκρατείται στο κόσκινο No40 (0.43mm).
5. Ποσότητα 1000gr αποτελούμενη από 250gr από καθεμία από τις παραπάνω διαβαθμίσεις.

Εκτελείται η δοκιμή απότριψης για όλες αυτές τις περιπτώσεις με τα ίδια χαρακτηριστικά, δηλ. $M=3\text{kg}$ σφαίρες, $N=2000$ στροφές και στις ίδιες συνθήκες. Το εξαγόμενο υλικό διέρχεται από το κόσκινο No40 (0.43mm). Η απώλεια βάρους του υλικού σε σχέση με το αρχικό δείγμα, μου δίνει την φθορά απότριψης $W\%$. Τα αποτελέσματα έχουν ως εξής:

Πίνακας 7.9 Αποτελέσματα μετρήσεων απότριψης.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΤΡΙΨΗΣ
No4 – No8	$W_1=11,41\%$
No8 – No16	$W_2=19,84\%$
No16 – No30	$W_3=55,49\%$
No30 – No40	$W_4=88,51\%$
Όλο το υλικό	$W_5=53,47\%$

Από τα παραπάνω αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι για την ίδια άμμο και για διαφορετικές διαβαθμίσεις η απότριψη του υλικού μεταβάλλεται. Συγκεκριμένα, αυξάνεται το ποσοστό απότριψης, καθώς αυξάνεται η διάμετρος του κοσκίνου, δηλ. όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το υλικό. Το τελευταίο αποτέλεσμα του Πίν.7.9 το οποίο αντιστοιχεί

στο δείγμα που περιέχει ίσο ποσοστό κόκκων από όλες τις διαβαθμίσεις, αντιστοιχεί και στη μέση φθορά περίπου κατά Deval των επιμέρους δοκιμών. Ισχύει δηλαδή η ισότητα:

$$25\%W_1 + 25\%W_2 + 25\%W_3 + 25\%W_4 = W_5$$

Αυτό αποτελεί μια σοβαρή ένδειξη ότι το υλικό αποτρίβεται με τον ίδιο τρόπο, είτε υποβάλλεται στη δοκιμή Deval μόνο του, (ως μονόκοκκο), είτε με την παρουσία και άλλων μεγεθών κόκκων μαζί, (όπως βρίσκεται στη φύση του). Υπάρχουν όμως μερικές επιφυλάξεις αφού το δείγμα στο οποίο πραγματοποιήθηκε η έρευνα ήταν μικρό.

Ορίσαμε το κόσκινο No40 (0.43mm), ως το όριο εκείνο που μου βγάζει έναν ικανοποιητικό δείκτη απότριψης για κάθε άμμο. Εντούτοις, προκειμένου να ελεγχθεί ο τρόπος με τον οποίο αποτρίβεται ο κόκκος κατά τις δοκιμές απότριψης, πραγματοποιήθηκε η εξής πειραματική έρευνα. Η ίδια άμμος, ειδικότερα η άμμος 6 υποβλήθηκε σε δοκιμές απότριψης τόσο ως μονόκοκκο υλικό, όσο και αυτούσια. Στη συνέχεια οι ποσότητες αυτές, του 1kg η καθεμιά, μετά τη δοκιμή διέρχονται πρώτα από το κόσκινο No40 (0.43mm), όπως γίνεται μέχρι τώρα σ' όλες τις δοκιμές και έπειτα από το κόσκινο στο οποίο το υλικό πριν και μετά τη δοκιμή συγκρατείται. Έτσι παίρνω δύο διαφορετικές τιμές για την απότριψη οι οποίες θεωρείται ότι παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον και έχουν ως εξής:

Πίνακας 7.10 Αποτελέσματα δοκιμών απότριψης.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ	ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΤΡΙΨΗΣ (Συγκρατούμενο στο No40)	ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΤΡΙΨΗΣ (Συγκρατούμενο στο αντίστοιχο κόσκινο)
No4 - No8	$W_1 = 5,21\%$	$W_1' = 26,04\%$
No8 - No16	$W_2 = 20,93\%$	$W_2' = 35,62\%$
No16 - No30	$W_3 = 56,18\%$	$W_3' = 62,97\%$
No30 - No40	$W_4 = 93,04\%$	$W_4' = 93,04\%$
Μέση Τιμή	$W = 43,84\%$	$W' = 54,42\%$
Όλο το υλικό	$W' = 43,52\%$	$W'' = 53,47\%$

Ουσιαστικά επιβεβαιώνεται η προηγούμενη παρατήρηση, εφ' όσον η μέση τιμή της φθοράς των επιμέρους δοκιμών, συμπίπτει με τη φθορά κατά Deval όταν έχω όλο το υλικό. Τα δυο αυτά πειράματα μας δίνουν αυξημένη εμπιστοσύνη στο ότι ο κόκκος αποτρίβεται με τον ίδιο τρόπο, είτε βρίσκεται μαζί με κόκκους ίδιου μεγέθους μ' αυτόν, είτε βρίσκεται μεταξύ κόκκων διαφόρων μεγεθών.

Επίσης μελετώντας προσεκτικά τα ποσοστά φθοράς του προηγούμενου πίνακα βλέπουμε ότι, για το ίδιο μέγεθος κόκκου, (π.χ. Νο4 – Νο8), η απότριψη διαφοροποιείται σημαντικά στις δύο περιπτώσεις, του συγκρατούμενου υλικού στο κόσκινο Νο40 και στο κόσκινο Νο8. Στην πραγματικότητα, έχω μικρή απότριψη όταν η απώλεια βάρους γίνεται με το κόσκινο Νο40 και πολύ μεγαλύτερη απότριψη όταν η απώλεια βάρους γίνεται με το κόσκινο Νο8.

Ο μηχανισμός της απότριψης περιέχει δυο φαινόμενα:

- ♦ Το φαινόμενο της αποκοπής τεμαχίων.
- ♦ Το φαινόμενο της επιφανειακής απότριψης και δημιουργίας πολύ λεπτόκοκκου υλικού (σκόνης).

Δηλ. ένας χονδρός κόκκος κατά την απότρίψή του δίνει σκόνη κατά ένα μικρό μέρος, ενώ κατά το μεγαλύτερο ποσοστό του θραύεται σε επί μέρους κόκκους, μικρότερου μεγέθους από τον αρχικό. Όσον αφορά τη θραύση, δεν είμαστε απόλυτα σίγουροι, αφού μπορεί αντί αυτής να πραγματοποιείται αποκόλληση τμήματος από τον χονδρό κόκκο. Αντίθετα, όσο πιο μικρό είναι το μέγεθος του κόκκου τόσο πιο μεγάλο είναι το ποσοστό σκόνης κατά την απότρίψή του με τη δοκιμή απότριψης.

Το φαινόμενο της απότριψης βέβαια, είναι πολύ πιο σύνθετο και εξαρτάται τόσο από την σκληρότητα των αδρανών, όσο και από τις δυνάμεις των ενδοκρυσταλλικών δεσμών. Πολύ περισσότερο για την άμμο, όπου η κοκκομετρική της σύνθεση αποτελεί συχνά μίγμα πολυκρυσταλλικών και μονοκρυσταλλικών ενώσεων. Για την άμμο, η

σκληρότητα των πετρωμάτων από τα οποία έχει προέλθει, είναι η πιο σημαντική παράμετρος. Έτσι, ένα πέτρωμα χαλαζιακό ανεξάρτητα από την αντοχή του θα δώσει πάντα μία άμμο σκληρή, σε αντίθεση με ένα ασβεστολιθικό πέτρωμα που δίνει πάντα άμμο πιο μαλακή. Το πρόβλημα αυτό είναι πιο συχνό στα αδρανή που παρουσιάζουν μεγάλη πετρογραφική και ορυκτολογική ετερογένεια μεταξύ των κόκκων τους.

Η αντίσταση σε τριβή των αδρανών εξαρτάται κυρίως από τη σκληρότητα των ορυκτών προέλευσης και λιγότερο από τις δυνάμεις των ενδοκρυσταλλικών συνδέσμων. Από την άλλη πλευρά, η αντίσταση σε θραύση των αδρανών εξαρτάται σημαντικά από τις δυνάμεις των ενδοκρυσταλλικών συνδέσμων και ελάχιστα από την σκληρότητα των ορυκτών. Για να παρακολουθήσουμε την εξέλιξη του υλικού κατά τη θραύση πρέπει να γνωρίζουμε την κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού πριν και μετά τη δοκιμή. Αυτό γίνεται με τη δοκιμή Amedee Mannheim που θα παρουσιαστεί αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

7.2.9 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΜΒΑΔΟΜΕΤΡΗΣΗ

Σαν μέτρο φθοράς λαμβάνεται κατά τη μέθοδο αυτή το εμβαδόν της επιφάνειας της περιλαμβανομένης μεταξύ των δύο κοκκομετρικών καμπυλών – της αρχικής και της μετά την εκτέλεση της δοκιμής – οι οποίες χαράσσονται στο ίδιο διάγραμμα υπό κάποια κλίμακα. Στον άξονα των τετμημένων 1cm θα παριστάνει διάσταση οπής κοσκίνου 1mm και στον άξονα των τεταγμένων 2mm θα παριστάνουν 1% διερχόμενο κατά βάρος υλικό. Ο συντελεστής S παριστάνει το εμβαδόν της επιφάνειας της περιλαμβανομένης μεταξύ των δύο αυτών κοκκομετρικών καμπυλών και είναι τόσο μεγαλύτερο όσο το υλικό είναι κατώτερο.

Για τη δοκιμή αυτή χρησιμοποιήθηκαν 4 άμμοι διαφορετικής προέλευσης. Συγκεκριμένα, ήταν οι εξής: άμμος 4 (λεπτή), άμμος 5 (μέση), άμμος 6 (μέση), και η άμμος 12 (χονδρή). Οι παραπάνω

άμμοι υποβλήθηκαν στη δοκιμή απότριψης με τα ίδια χαρακτηριστικά και έγινε η κοκκομετρική τους ανάλυση πριν και μετά τη δοκιμή. Τα δελτία κοκκομετρικής ανάλυσης της κάθε μιας παρατίθενται παρακάτω, ενώ έγιναν και τα διαγράμματα κοκκομετρικής ανάλυσης για κάθε άμμο χωριστά.

Πίνακας 7.11 Κοκκομετρική ανάλυση άμμου 4, πριν τη δοκιμή απότριψης.

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αρ. Δείγματος

Στοιχεία Δείγματος

ΑΜΜΟΣ 4

Ημερομηνία δοκιμής

13-12-98

Ονοματεπώνυμο

Βάρος ολικού δείγματος			Διασχιζόμενο βάρος	
Πρότυπο μέγεθος κόσκινου (mm)	Αρ. κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)	gr	%
75.00	5"			
63.00	2 1/2"			
50.00	2"			
37.50	1 1/2"			
31.50	1 1/4"			
25.00	1"			
19.00	3/4"			
16.00	5/8"			
12.50	1/2"			
9.50	3/8"			
6.30	1/4"			
4.75	No 4	0,0	1000,0	100,00
2,36	No 8	7,9	992,1	99,21
2,00	No 10			
1,18	No 16	93,7	898,4	89,84
0,60	No 30			
0,43	No 40	490,5	407,9	40,79
0,30	No 50			
0,18	No 80			
0,15	No 100	340,3	67,6	6,76
0,08	No 200	51,4	16,2	1,62
	Παρεάλη	16,2	0,0	0,00
	Ολικό βάρος	1000,0		

Ο εκπέμπας τη δοκιμή

Πίνακας 7.12 Κοκκομετρική ανάλυση άμμου 4, μετά τη δοκιμή απότριψης.

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αρ. Δείγματος

Στοιχεία Δείγματος

ΑΜΜΟΣ 4

Ημερομηνία δοκιμής

13-12-98

Ονοματεπώνυμο

Βάρος ολικού δείγματος			Διαρχόμενο βάρος	
Πρότυπο μέγεθος κόσπινου (mm)	Αρ. κόσπινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)	gr	%
75.00	5"			
63.00	2 1/2"			
50.00	2"			
37.50	1 1/2"			
31.50	1 1/4"			
25.00	1"			
19.00	3/4"			
16.00	5/8"			
12.50	1/2"			
9.50	3/8"			
6.30	1/4"			
4.75	No 4	0,0	1000,0	100,00
2.36	No 8	7,1	992,9	99,29
2.00	No 10			
1.18	No 16	58,3	934,6	93,46
0.60	No 30			
0.43	No 40	241,0	693,6	69,36
0.30	No 50			
0.18	No 80	440,9	252,7	25,27
0.15	No 100	65,8	186,9	18,69
0.08	No 200	186,9	0,0	0,00
	Παρεάλη	1000,0		
	Ολικό βάρος			

Ο εκπλέσας τη δοκιμή

Πίνακας 7.13 Κοκκομετρική ανάλυση άμμου 5, πριν τη δοκιμή απότριψης.

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αρ. Δείγματος

Στοιχεία Δείγματος

AMMOS 5

Ημερομηνία δοκιμής

13-12-98

Ονοματεπώνυμο

Βάρος ολικού δείγματος			Διασχόμενο βάρος	
Πρότυπο μέγεθος κόσκινου (mm)	Αρ. κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)	gr	%
75.00	3"			
63.00	2 1/2"			
50.00	2"			
37.50	1 1/2"			
31.50	1 1/4"			
25.00	1"			
19.00	3/4"			
16.00	5/8"			
12.50	1/2"			
9.50	3/8"			
6.30	1/4"			
4.75	No 4	0,0	1000,0	100,00
2,36	No 8	5,3	994,7	99,47
2,00	No 10			
1,18	No 16	534,1	460,6	46,06
0,60	No 30			
0,43	No 40	422,7	37,9	3,79
0,30	No 50			
0,18	No 80			
0,15	No 100	33,4	4,5	0,45
0,08	No 200	1,2	3,3	0,33
	Παρεσία	3,3	0,0	0,00
	Ολικό βάρος	1000,0		

Ο εκπέλεσας τη δοκιμή

Πίνακας 7.14 Κοκκομετρική ανάλυση άμμου 5, μετά τη δοκιμή απότριψης.

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αρ. Δείγματος

Στοιχεία Δείγματος

ΑΜΜΟΣ 5

Ημερομηνία δοκιμής

13-12-98

Ονοματεπώνυμο

Βάρος ολικού δείγματος			Διασχιζόμενο βάρος	
Πρότυπα μέγεθος κόσπινου (mm)	Αρ. κόσπινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)	gr	%
75.00	3"			
63.00	2 1/2"			
50.00	2"			
37.50	1 1/2"			
31.50	1 1/4"			
25.00	1"			
19.00	3/4"			
16.00	5/8"			
12.50	1/2"			
9.50	3/8"			
6.30	1/4"			
4.75	No 4	0,0	1000,0	100,00
2,36	No 8	3,4	996,6	99,66
2,00	No 10			
1,18	No 16	271,6	725,0	72,50
0,60	No 30			
0,43	No 40	405,5	319,5	31,95
0,30	No 50			
0,18	No 80			
0,15	No 100	147,7	171,8	17,18
0,08	No 200	49,8	122,0	12,20
	Παρεμμία	122,0	0,0	0,00
	Ολικό βάρος	1000,0		

Ο εκπέλεσας τη δοκιμή

Πίνακας 7.15 Κοκκομετρική ανάλυση άμμου 6, πριν τη δοκιμή απότριψης.

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αρ. Δείγματος

Στοιχεία Δείγματος

AMMOS 6

Ημερομηνία δοκιμής

14-12-98

Ονοματεπώνυμο

Βάρος ολικού δείγματος			Διασχιζόμενο βάρος	
Πρότυπο μέγεθος κόσκινου (mm)	Αρ. κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)	gr	%
75.00	3"			
63.00	2 1/2"			
50.00	2"			
37.50	1 1/2"			
31.50	1 1/4"			
25.00	1"			
19.00	3/4"			
16.00	5/8"			
12.50	1/2"			
9.50	3/8"			
6.30	1/4"			
4.75	No 4	7.1	992.9	99.29
2.36	No 8	198.7	794.2	79.42
2.00	No 10			
1.18	No 16	294.2	500.0	50.00
0.60	No 30			
0.43	No 40	241.1	258.9	25.89
0.30	No 50			
0.18	No 80			
0.15	No 100	132.0	126.9	12.69
0.08	No 200	42.3	84.6	8.46
	Πειραχία	84.6	0.0	0.00
	Ολικό βάρος	1000.0		

Ο εκτελέσας τη δοκιμή

Πίνακας 7.16 Κοκκομετρική ανάλυση άμμου 6, μετά τη δοκιμή απότριψης.

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αρ. Δείγματος

Στοιχεία Δείγματος

ΑΜΜΟΣ 6

Ημερομηνία δοκιμής

14-12-98

Ονοματεπώνυμο

Βέρος ολικού δείγματος			Διορθωμένο βάρος	
Πρότυπα μέγεθος κόσκινου (mm)	Αρ. κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)		
			gr	%
75.00	3"			
63.00	2 1/2"			
50.00	2"			
37.50	1 1/2"			
31.50	1 1/4"			
25.00	1"			
19.00	3/4"			
16.00	5/8"			
12.50	1/2"			
9.50	3/8"			
6.30	1/4"			
4.75	No 4	6,7	993,3	99,33
2,36	No 8	153,5	839,8	83,98
2,00	No 10			
1,18	No 16	210,2	629,6	62,96
0,60	No 20			
0,43	No 40	91,1	538,5	53,85
0,30	No 50			
0,18	No 80			
0,15	No 100	40,5	498,0	49,80
0,08	No 200	106,1	391,9	39,19
	Πομπή	391,9	0,0	0,00
	Ολικό βάρος	1000,0		

Ο εκπαιδευτής τη δοκιμή

Πίνακας 7.17 Κοκκομετρική ανάλυση άμμου 12, πριν τη δοκιμή απότριψης.

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αρ. Δείγματος

Στοιχεία Δείγματος

ΑΜΜΟΣ 12

Ημερομηνία δοκιμής

16-12-98

Ονοματεπώνυμο

Βάρος ολικού δείγματος			Διασχόμενο βάρος	
Πρότυπα μέγεθος κόσκινου (mm)	Αρ. κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)	gr	%
75.00	5"			
63.00	2 1/2"			
50.00	2"			
37.50	1 1/2"			
31.50	1 1/4"			
25.00	1"			
19.00	3/4"			
16.00	5/8"			
12.50	1/2"			
9.50	3/8"			
6.30	1/4"			
4.75	No 4	0.0	1000.0	100.00
2.36	No 8	464.60	535.4	53.54
2.00	No 10			
1.18	No 16	286.60	248.8	24.88
0.60	No 30			
0.43	No 40	114.70	134.1	13.41
0.30	No 50			
0.18	No 80			
0.15	No 100	48.10	86.0	8.60
0.08	No 200	21.60	64.40	6.44
	Παρεσβλη	64.40	0.0	0.00
	Ολικό βάρος	1000.00		

Ο εκπαιδευτής τη δοκιμή

Πίνακας 7.18 Κοκκομετρική ανάλυση άμμου 12, μετά τη δοκιμή απότριψης.

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Αρ. Δείγματος

Στοιχεία Δείγματος

ΑΜΜΟΣ 12

Ημερομηνία δοκιμής

16-12-98

Ονοματεπώνυμο

Βάρος ολικού δείγματος			Διορθωμένο βάρος	
Πρότυπα μέγεθος κόσκινου (mm)	Αρ. κόσκινου	Συγκρατούμενο βάρος σε (gr)	gr	%
75.00	3"			
63.00	2 1/2"			
50.00	2"			
37.50	1 1/2"			
31.50	1 1/4"			
25.00	1"			
19.00	3/4"			
16.00	5/8"			
12.50	1/2"			
9.50	3/8"			
6.30	1/4"			
4.75	No 4	0,0	1000,0	100,00
2.36	No 8	381,4	618,6	61,86
2.00	No 10			
1.18	No 16	250,5	368,1	36,81
0.60	No 30			
0.43	No 40	82,8	285,3	28,53
0.30	No 50			
0.18	No 80			
0.15	No 100	24,1	261,2	26,12
0.08	No 200	111,6	149,6	14,96
	Πειραλίη	149,6	0,0	0,00
	Ολικό βάρος	1000,0		

Ο υπεύθυνος τη δοκιμή

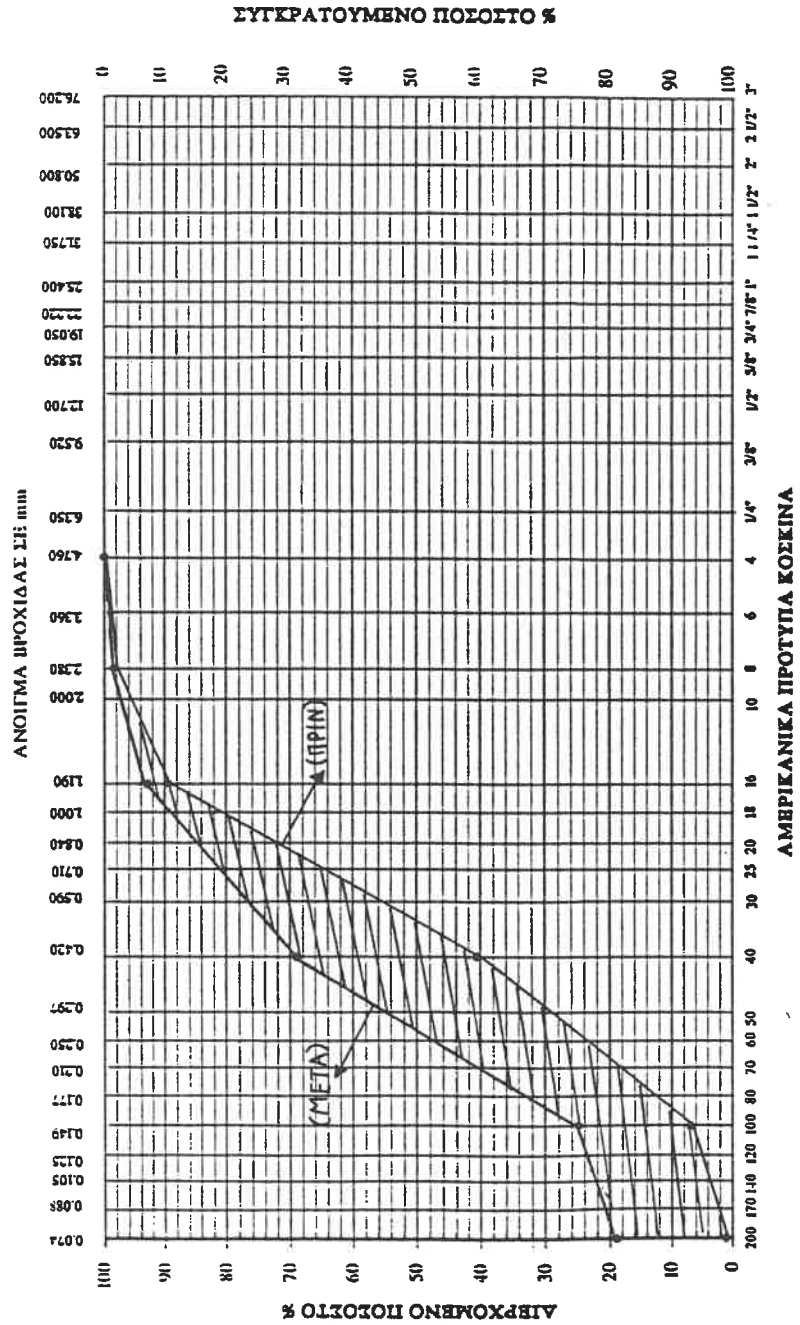
Σχήμα 7.3 Διάγραμμα Κοκκομετρικής Ανάλυσης άμμου 4, πριν και μετά τη δοκιμή απότρυψης.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΠΙΑΣ ΕΜΠ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

ΕΙΔΟΣ & ΠΡΟΒΛΕΥΣΗ ΥΛΙΚΟΥ ΑΜΜΟΣ 4 Π.Π.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ



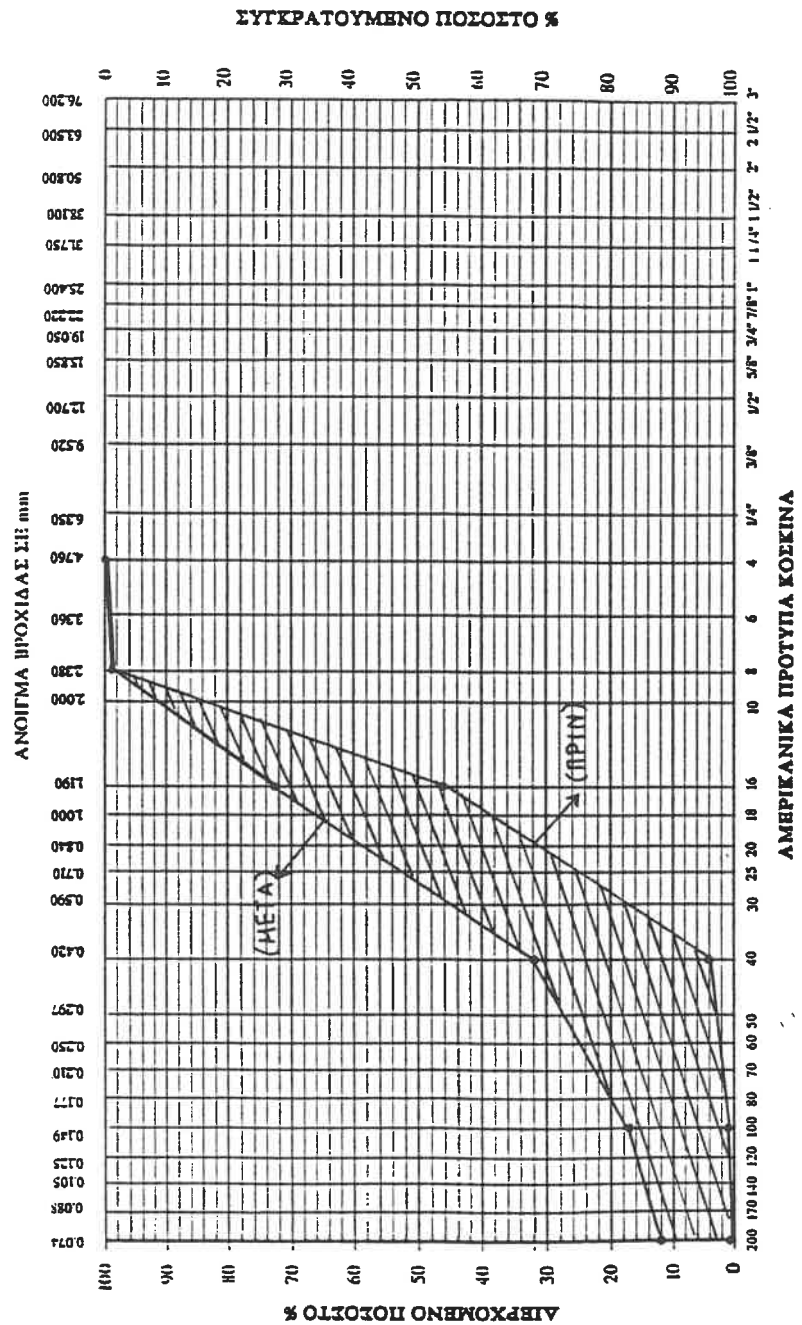
Σχήμα 7.4 Διάγραμμα Κοκκομετρικής Ανάλυσης άμμου 5, πριν και μετά τη δοκιμή απότρυψης.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΠΟΙΑΣ ΕΜΠ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

ΕΙΔΟΣ & ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΥΛΙΚΟΥ ΑΜΜΟΣ 5 Π.Τ.Π.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ



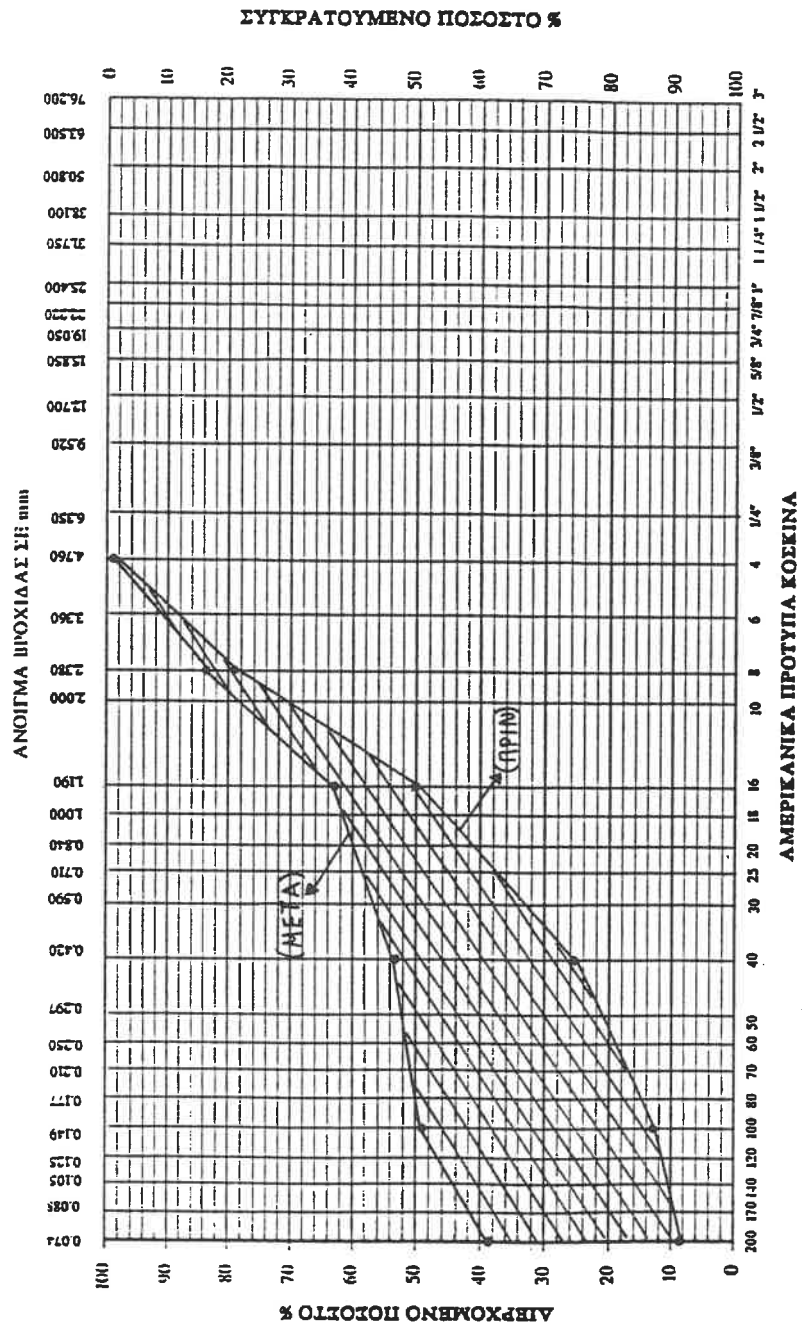
Σχήμα 7.5 Διάγραμμα Κοκκομετρικής Ανάλυσης άμμου 6, πριν και μετά τη δοκιμή απότριψης.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΠΙΑΣ ΕΜΠ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

ΕΙΔΟΣ & ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΥΛΙΚΟΥ ΑΜΜΟΣ 6 Π.Π.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ



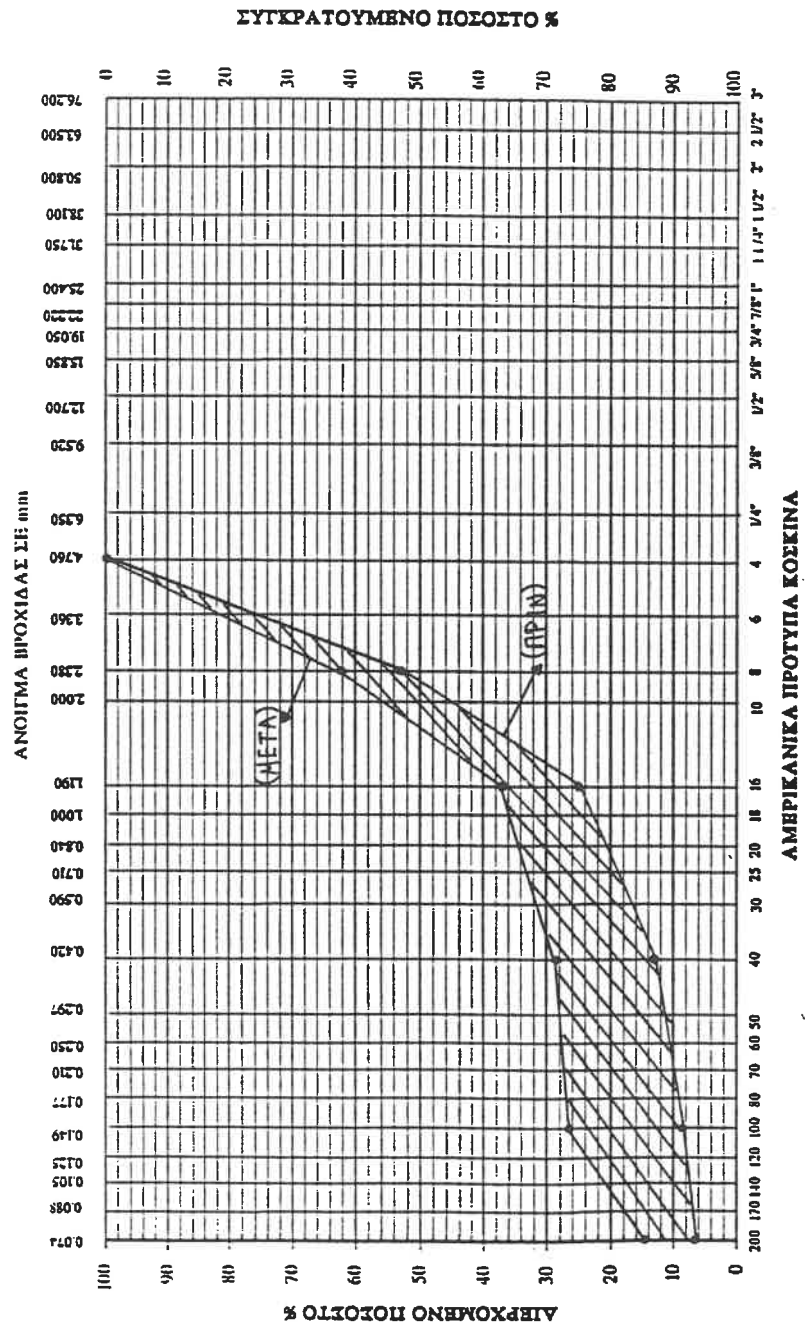
Σχήμα 7.6 Διάγραμμα Κοκκομετρικής Ανάλυσης άμμου 12, πριν και μετά τη δοκιμή απότριψης.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΔΟΠΟΙΑΣ ΕΜΠ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

ΕΙΔΟΣ & ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΥΛΙΚΟΥ ΑΜΜΟΣ 12 Π.Π.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ



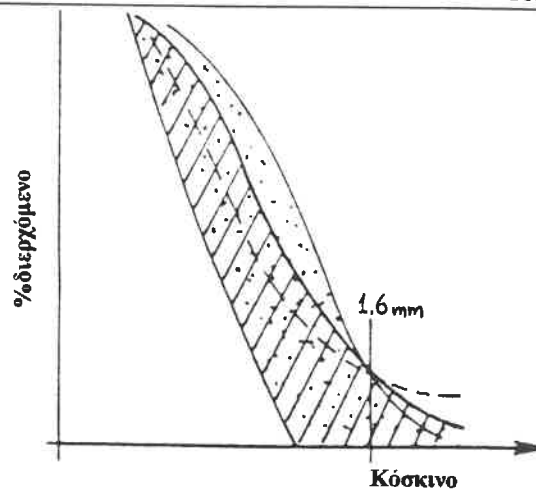
Για κάθε μία άμμο υπολογίστηκε το εμβαδόν της επιφάνειας που περιλαμβάνεται μεταξύ των δύο κοκκομετρικών καμπυλών. Τα αποτελέσματα ήταν τα ακόλουθα:

Πίνακας 7.19 Τιμές απότριψης με υπολογισμό των εμβαδών.

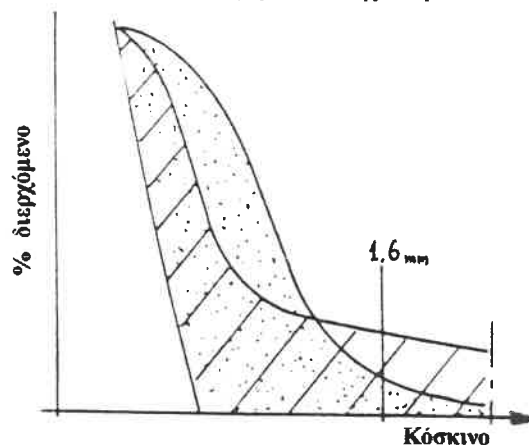
A/A ΑΜΜΩΝ	ΕΜΒΑΔΟΝ (mm ²)	ΤΙΜΕΣ ΑΠΟΤΡΙΨΗΣ
Άμμος 4	E ₄ =22,19	W ₄ =50,01%
Άμμος 5	E ₅ =43,25	W ₅ =30,25%
Άμμος 6	E ₆ =42,67	W ₆ =43,52%
Άμμος 12	E ₁₂ =37,51	W ₁₂ =15,82%

Παρά το γεγονός ότι με τη μέθοδο της εμβαδομέτρησης έχουμε μία ολοκληρωμένη εικόνα για την απότριψη όλων των κόκκων της άμμου, παρατηρούμε ότι ο υπολογισμός των εμβαδών δεν μας επιτρέπει να αποφανθούμε για το είδος της άμμου, δηλαδή λεπτή, μέση ή χονδρή, όπως μας επιτρέπει η προηγούμενη δοκιμή. Επίσης, οι τιμές για τη φθορά που προκύπτουν από τις δύο μεθόδους δεν είναι καθόλου συγκρίσιμες μεταξύ τους. Ουσιαστικά η μέθοδος μέτρησης των εμβαδών δεν μας δίνει ορθά συμπεράσματα για τον τρόπο με τον οποίο αποτρίβεται η άμμος.

Αν και η συνολική επιφάνεια απότριψης αποτελεί έναν πολύ αντιπροσωπευτικό τρόπο για να παρακολουθήσουμε την απότριψη όλων των κόκκων του υλικού, από το να εξάγουμε συμπεράσματα από το διερχόμενο σ' ένα κόσκινο υλικό, ο δεύτερος τρόπος είναι πολύ πιο απλός και πιο διαδεδομένος. Έτσι θα πρέπει να προτιμάται η δεύτερη μέθοδος μέτρησης της απότριψης. Στα δύο επόμενα σχήματα γίνεται σαφές ποια είναι τα προβλήματα που προκύπτουν από την μέτρηση της συνολικής επιφάνειας απότριψης ενός υλικού.



Σχήμα 7.7 Αν και το διερχόμενο υλικό στο κόσκινο των 1,6mm είναι το ίδιο πριν και μετά την τριβή, η μαυρισμένη επιφάνεια δηλώνει μία μεγάλη διαφοροποίηση στην απότριψη των χονδρών κόκκων.



Σχήμα 7.8 Εδώ η επιφάνεια πριν και μετά τη δοκιμή είναι περίπου ίδια, όμως η εξέλιξη της κοκκομετρικής διαβάθμισης πολύ διαφορετική.

7.2.10 ΔΕΙΚΤΕΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ

Η ανάγκη γρήγορης αξιολόγησης του μίγματος των αδρανών με παράκαμψη σχεδιασμού της καμπύλης διαβάθμισης, δημιούργησε τις προϋποθέσεις για τη θέσπιση των δεικτών διαβάθμισης. Έχουν προταθεί κατά καιρούς πολλοί δείκτες οι οποίοι προσπαθούν να εκφράσουν με μία τιμή όλες τις πληροφορίες που μας δίνει η καμπύλη διαβάθμισης. Οι δείκτες αυτοί δεν είναι πάντα αξιόπιστοι.

Ένας από τους δείκτες είναι και το **μέτρο λεπτότητας Κ**. Υπολογίζεται με πρόσθεση των ολικών % συγκρατούμενων ποσοστών του υλικού και με διαίρεση δια του 100 του προκύπτοντος

αθροίσματος. Για τον υπολογισμό του μέτρου λεπτότητας της άμμου χρησιμοποιούνται τα κόσκινα Νο4, Νο8, Νο16, Νο30, Νο50 και Νο100. Το κόσκινο Νο200 και τα λεπτότερα του δεν χρησιμοποιούνται. Αυτά επιλέχθηκαν έτσι ώστε η οπή του κάθε κόσκινου να είναι διπλάσια του αμέσως μικρότερου. Παρακάτω δίνονται η κοκκομετρικές αναλύσεις της κάθε μιας άμμου και υπολογίζεται και το μέτρο λεπτότητάς τους.

Πίνακας 7.20 Υπολογισμός μέτρου λεπτότητας της άμμου 4.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ %	ΟΛΙΚΑ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ %
No4	100,00	0,00
No8	99,21	0,79
No16	89,84	10,16
No40	40,79	59,21
No100	6,76	93,24
Άθροισμα	336,60	163,40

$$K_4 = 163,4 / 100 = 1,63$$

Πίνακας 7.21 Υπολογισμός μέτρου λεπτότητας της άμμου 5.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ %	ΟΛΙΚΑ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ %
No4	100,00	0,00
No8	99,47	0,53
No16	46,06	53,94
No40	3,79	96,21
No100	0,45	99,55
Άθροισμα	249,77	250,20

$$K_5 = 250,20 / 100 = 2,50$$

Πίνακας 7.22 Υπολογισμός μέτρου λεπτότητας της άμμου 6.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ %	ΟΛΙΚΑ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ %
No4	99,29	0,71
No8	79,42	20,58
No16	50,00	50,00
No40	25,89	74,11
No100	12,69	87,31
Άθροισμα	267,29	232,71

$$K_6 = 232,71 / 100 = 2,33$$

Πίνακας 7.23 Υπολογισμός μέτρου λεπτότητας της άμμου 12.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ %	ΟΛΙΚΑ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ %
No4	100,00	0,00
No8	53,54	46,46
No16	24,88	75,12
No40	13,41	86,59
No100	8,60	91,40
Άθροισμα	200,43	299,57

$$K_{12} = 299,57 / 100 = 3,00$$

Πίνακας 7.24 Υπολογισμός μέτρου λεπτότητας της άμμου 16 (σμούριδα).

ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΣΚΙΝΟΥ	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ %	ΟΛΙΚΑ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟ %
No4	100,00	0,00
No8	100,00	0,00
No16	30,75	69,25
No40	0,27	99,73
No100	0,23	99,77
Άθροισμα	231,25	268,75

$$K_{16} = 268,75 / 100 = 2,69$$

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα έχουμε τις εξής τιμές για το μέτρο λεπτότητας:

Πίνακας 7.25 Τιμές Μέτρου Λεπτότητας K.

Α/Α ΑΜΜΩΝ	ΜΕΤΡΟ ΛΕΠΤΟΤΗΤΑΣ K
Άμμος 4	$K_4=1,63$
Άμμος 5	$K_5=2,50$
Άμμος 6	$K_6=2,33$
Άμμος 12	$K_{12}=3,00$
Άμμος 16	$K_{16}=2,69$

Από τα παραπάνω παραδείγματα εξάγεται το συμπέρασμα ότι το μέτρο λεπτότητας είναι μία έκφραση της λεπτότητας των αδρανών υλικών, όχι όμως και της διαβάθμισής τους, καθώς μπορεί πολλά υλικά που διαφέρουν ως προς τα συγκρατούμενα στα διάφορα κόσκινα

ποσοστά, να έχουν όμως το ίδιο μέτρο λεπτότητας. Δηλαδή το μέτρο λεπτότητας είναι μία ατελής μέθοδος εκφράσεως της διαβάθμισης των αδρανών υλικών, ωστόσο όμως αποτελεί ένα πολύτιμο στοιχείο για τη λεπτότητα αυτών. Ειδικότερα, όσο πιο μικρό είναι το μέτρο λεπτότητας, τόσο πιο λεπτή χαρακτηρίζεται η άμμος και αντίστροφα.

Πράγματι, παρατηρούμε ότι η άμμος 4 που χαρακτηρίσαμε ως λεπτή λόγω της τιμής της κατά την δοκιμή απότριψης, παρουσιάζει το πιο μικρό K , σε αντίθεση με την άμμο 12 που χαρακτηρίστηκε ως χονδρή και έχει το μεγαλύτερο K . Οι υπόλοιπες άμμοι που έχουν μια ενδιάμεση τιμή K , χαρακτηρίζονται ως μέσες άμμοι.

Εκτός του δείκτη K , ένας άλλος χαρακτηριστικός δείκτης είναι ο δείκτης D που ορίζεται ως το άθροισμα των διερχόμενων ποσοστών, σε κάθε κόσκινο. Οι δείκτες D για κάθε μία άμμο είναι οι παρακάτω:

Πίνακας 7.26 Τιμές Δείκτη D .

Α/Α ΑΜΜΩΝ	ΔΕΙΚΤΗΣ D
Άμμος 4	$D_4=336,60$
Άμμος 5	$D_5=249,77$
Άμμος 6	$D_6=267,29$
Άμμος 12	$D_{12}=200,43$
Άμμος 16	$D_{16}=231,25$

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι η σχέση των δεικτών K και D είναι αντιστρόφως ανάλογη, κάτι που αναμένεται, αφού στην πρώτη περίπτωση έχουμε άθροισμα συγκρατούμενων ποσοστών σε κάθε κόσκινο, ενώ στη δεύτερη περίπτωση άθροισμα διερχόμενων ποσοστών. Έτσι, όσο πιο λεπτή είναι μία άμμος τόσο μεγαλύτερο δείκτη D έχει και τόσο μικρότερο δείκτη K έχει. Και εδώ μπορούμε να διαχωρίσουμε τις άμμους ανάλογα με το δείκτη D που έχουν: η πιο λεπτή έχει την μεγαλύτερη τιμή του δείκτη D , η πιο

χονδρή παρουσιάζει τη μικρότερη τιμή και οι λοιπές έχουν τιμές που κυμαίνονται μεταξύ των δύο ακραίων τιμών. Άρα και αυτός ο δείκτης μας δίνει μία εικόνα για την λεπτότητα της άμμου.

7.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

7.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η μέθοδος μέτρησης του χρόνου διάτρησης αποτελεί μια πολύ αποτελεσματική μέθοδο εκτίμησης της αντοχής των κονιαμάτων. Αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Οδοποιίας του Τ.Μ.Σ.Υ./Ε.Μ.Π. και πάνω σ' αυτήν έχουν γίνει μέχρι τώρα πολλές σημαντικές παρατηρήσεις.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό να διερευνήσει την επιρροή των χαρακτηριστικών της άμμου στο χρόνο διάτρησης τσιμεντοκονιαμάτων. Αναλυτικότερα εξετάστηκαν οι εξής παράγοντες:

1. **Το είδος της άμμου.** (Ο παράγοντας αυτός διερευνήθηκε με την εξέταση άμμων διαφορετικής προέλευσης).
2. **Αντοχή σε απότριψη.** (Μέσω της δοκιμής απότριψης που αναπτύχθηκε πιο πριν, εξετάστηκαν 16 διαφορετικές άμμοι και επιλέχθηκαν τελικά αυτές που παρουσιάζουν διαφοροποίηση στην τιμή απότριψης).
3. **Κοκκομετρική διαβάθμιση της άμμου.** (Στην περίπτωση αυτή εξετάστηκε τόσο η επιρροή της φυσικής διαβάθμισης της άμμου, όσο και η επίδραση διαφορετικών άμμων με την ίδια κοκκομετρική διαβάθμιση).
4. **Το μέγεθος των κόκκων της άμμου.** (Ο παράγοντας αυτός διερευνήθηκε με την παρασκευή δοκιμίων από την ίδια άμμο, αλλά με διαφορετικό μέγεθος κόκκων της περιεχόμενης άμμου).

Επίσης, μεταβλητά ήταν και τα χαρακτηριστικά με τα οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος αυτή. Συγκεκριμένα, μεταβλήθηκε τόσο η διάμετρος του τρυπανιού όσο και η ταχύτητα περιστροφής του, καθώς και η ασκούμενη στο δοκίμιο δύναμη. Τα χαρακτηριστικά διάτρησης ήταν τα ακόλουθα:

1. Επιβαλλόμενη δύναμη $P=185\text{N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=4\text{mm}$, ταχύτητα περιστροφής $V=1,4\text{στρ./λεπτό}$.
2. Επιβαλλόμενη δύναμη $P=185\text{N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=4\text{mm}$, ταχύτητα περιστροφής $V=4,2\text{στρ./λεπτό}$.
3. Επιβαλλόμενη δύναμη $P=64\text{N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=5\text{mm}$, ταχύτητα περιστροφής $V=1,4\text{στρ./λεπτό}$.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τα πειραματικά αποτελέσματα για κάθε μια περίπτωση.

7.3.2 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Παρασκευάστηκαν συνολικά 220 δοκίμια. Για την παρασκευή των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκαν τα εξής υλικά:

- ❖ Πόσιμο νερό (βρύσης).
- ❖ Συνδετικές κονίες: τσιμέντο τύπου **Π 35**.
- ❖ Αδρανή υλικά: άμμοι διαφορετικής προέλευσης.

Η παρασκευή όλων των δοκιμίων έγινε στο Εργαστήριο Οδοποιίας Τ.Μ.Σ.Υ./Ε.Μ.Π. σε αναμικτήρα τύπου οριζόντιας βίαης ανάμειξης, με χωρητικότητα 10lt. Η διαδικασία παρασκευής των δοκιμίων είναι η ακόλουθη:

Αρχικά η άμμος διαβρέχεται. Κατά τη διάρκεια της διαβροχής της, πραγματοποιείται η ανάμειξη ολόκληρης της ποσότητας της άμμου με τη μισή ποσότητα του νερού. Έπειτα προστίθενται το τσιμέντο και το υπόλοιπο νερό σε μικρές ποσότητες κάθε φορά, και η ανάμειξη συνεχίζεται μέχρις ότου όλα τα υλικά γίνουν ένας ομοιόμορφος πολτός. Η ταχύτητα περιστροφής του αναμικτήρα πρέπει να είναι μικρή ώστε κατά τη διάρκεια ανάμειξης να μην εισχωρεί μεγάλο ποσοστό αέρα.

Το κονίαμα που παρασκευάζεται εισάγεται σε κυβικές μήτρες ακμής 7cm από χυτοσίδηρο. Η διάστρωση γίνεται με μυστρί σε δυο στρώσεις. Μετά την ολοκλήρωση της διάστρωσης, τα δοκίμια

συμπυκνώθηκαν με 25 ραβδισμούς, ειδικότερα 12 στην πρώτη στρώση και 13 στην δεύτερη, με ξύλινη ράβδο διαμέτρου 6mm.

7.3.3 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

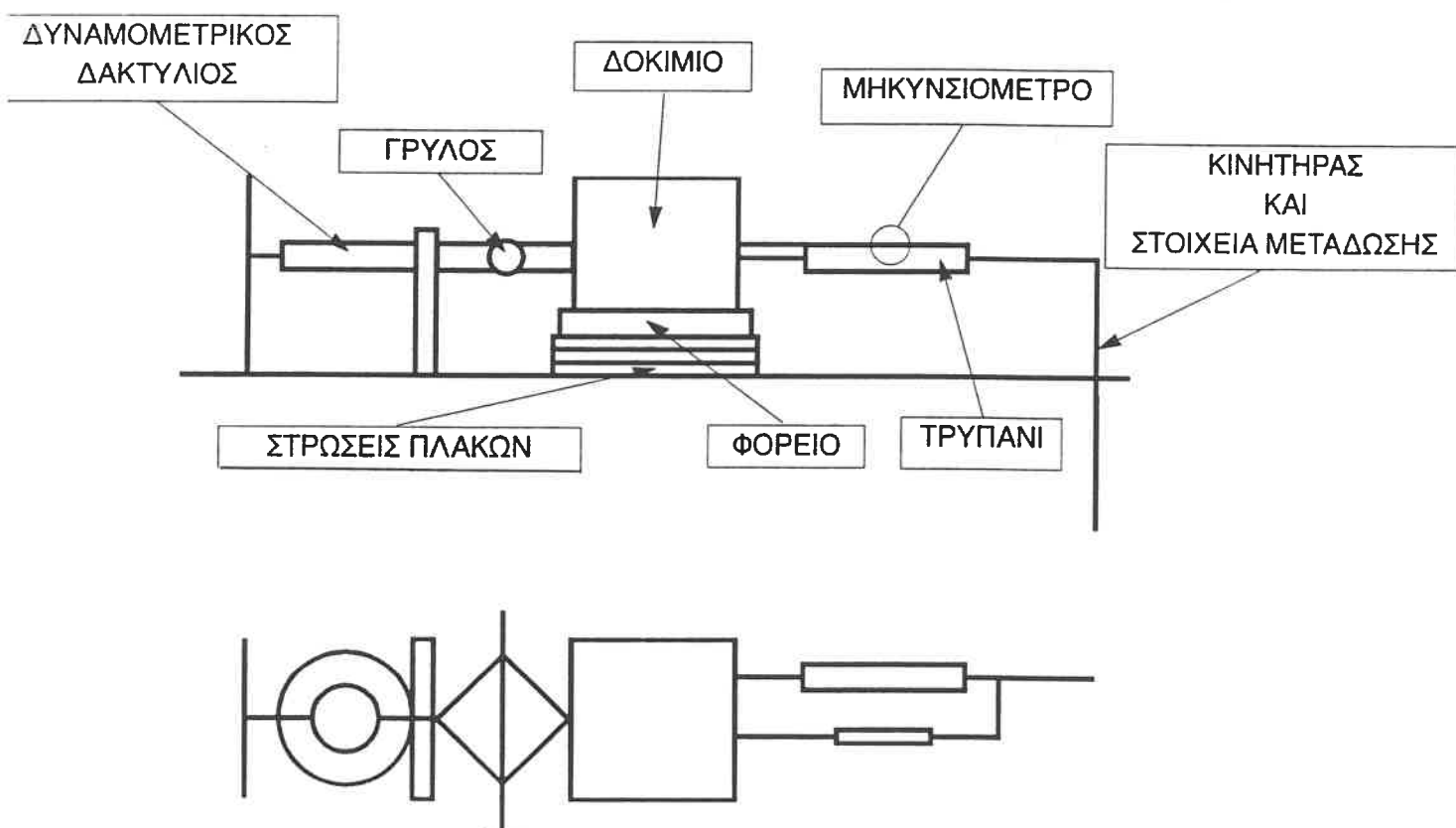
Τα πρώτα δοκίμια που παρασκευάστηκαν, συγκεκριμένα από 1 – 15 συντηρήθηκαν στον ατμοσφαιρικό αέρα και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Επειδή όμως παρατηρήθηκαν μικρορωγμές στην επιφάνειά τους οι οποίες επηρεάζουν το αποτέλεσμα του χρόνου διάτρησης, όλα τα υπόλοιπα δοκίμια συντηρήθηκαν μέσα στο νερό σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 18 – 25°C. Επίσης, εξαίρεση έγινε και για τα δοκίμια από τσιμεντοπολτό, τα οποία στο νερό αναπτύσσουν αμέσως μεγάλη αντοχή. Έτσι, τα δοκίμια 112 – 118 συντηρήθηκαν στο ψυγείο, σε θερμοκρασία 3-5°C.

7.3.4 ΣΥΣΚΕΥΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

Για τη μέθοδο μέτρησης του χρόνου διάτρησης χρησιμοποιήθηκε μηχανήμα που αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Οδοποιίας του Τ.Μ.Σ.Υ./Ε.Μ.Π. Το μηχανήμα αυτό αποτελείται από ένα τρυπάνι που περιστρέφεται μέσω ενός ηλεκτρικού κινητήρα και συστήματος τροχαλιών. Το τρυπάνι περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα η οποία καθορίζεται από έναν ροοστάτη.

Το δοκίμιο τοποθετείται με τέτοιο τρόπο, ώστε από την μία πλευρά του να έρχεται σε επαφή με το τρυπάνι, ενώ από την άλλη ασκείται σ' αυτό μια σταθερή δύναμη. Επειδή όμως είναι προφανές ότι κατά την εισχώρηση του τρυπανιού στην επιφάνεια του δοκιμίου ασκείται πίεση σ' αυτό, με συνέπεια η δύναμη να μειώνεται, χρησιμοποιούμε έναν μηχανικό γρύλο, συνδεδεμένο σε σειρά με ένα δυναμομετρικό δακτύλιο. Ο γρύλος εφαρμόζεται στην επιφάνεια του δοκιμίου και έτσι ελέγχεται ανά πάσα στιγμή η μεταβολή της δύναμης.

Για τη μέτρηση του βάθους εισχώρησης του τρυπανιού στο δοκίμιο, χρησιμοποιείται ένα μηχανικό μηκυνσιόμετρο συνδεδεμένο παράλληλα με το τρυπάνι. Το μηχανήμα μέτρησης του χρόνου διάτρησης έχει υποστεί ορισμένες τροποποιήσεις που σκοπό είχαν την βελτίωση της απόδοσής του. Έτσι, τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις με εκείνα της προηγούμενης [18]. Το ακόλουθο σχήμα παρουσιάζει τη μορφή του μηχανήματος διάτρησης.



Σχήμα 7.9 Μηχάνημα μέτρησης χρόνου διάτρησης.

7.3.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

Η δοκιμή πραγματοποιείται με τον ακόλουθο τρόπο: Τοποθετούμε το δοκίμιο στο μηχάνημα έτσι ώστε να βρίσκεται στο κατάλληλο ύψος με το τρυπάνι και το γρύλο και στην ίδια ευθεία. Η μια πλευρά του δοκιμίου εφάπτεται με το γρύλο και η άλλη με το τρυπάνι. Ρυθμίζοντας κατάλληλα το γρύλο ασκούμε την επιθυμητή δύναμη. Με έναν διακόπτη ενεργοποιείται ο ηλεκτρικός κινητήρας, ενώ ταυτόχρονα τίθεται σε εκκίνηση και ένα χρονόμετρο.

Καθώς το τρυπάνι εισχωρεί στην επιφάνεια του δοκιμίου δημιουργώντας οπή, το μηχανοστάσιο μου δείχνει το βάθος της οπής. Παράλληλα θα πρέπει με κατάλληλους χειρισμούς του γρύλου, να εξασφαλίζεται μια σταθερή δύναμη στο δοκίμιο σ' όλη τη διάρκεια της δοκιμής. Μόλις το μηχανοστάσιο δείξει ότι το τρυπάνι έφτασε στο καθορισμένο βάθος, θα πρέπει να κλείσει ο ηλεκτρικός κινητήρας και συγχρόνως και το χρονόμετρο, η ένδειξη του οποίου είναι η ζητούμενη.

Η όλη διαδικασία θα επαναληφθεί αφού ο γρύλος απομακρυνθεί από το δοκίμιο και αυτό ελεύθερο πλέον τοποθετηθεί σε νέα θέση. Σε κάθε δοκίμιο έγιναν συνολικά 12 οπές, από 6 σε κάθε μια από τις απέναντι πλευρές του.

7.3.6 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥΣ.

Η μέθοδος μέτρησης του χρόνου διάτρησης αναπτύχθηκε στην προσπάθεια δημιουργίας μιας νέας μη καταστρεπτικής μεθόδου εκτίμησης της θλιπτικής αντοχής των κονιαμάτων.

Βασίζεται στη δημιουργία μικρών οπών, ορισμένων διαστάσεων, στην επιφάνεια των δοκιμών με τρυπάνι (τοιχοποιίας), δεδομένης

διαμέτρου που περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα. Υπό αυτές τις συνθήκες μετριέται ο χρόνος που απαιτείται για την δημιουργία της κάθε οπής. Αυτοί οι χρόνοι διάτρησης συσχετίζονται με την αντοχή των κονιαμάτων.

Από προηγούμενη διπλωματική εργασία [16] διαπιστώθηκε ότι τα πλέον κατάλληλα χαρακτηριστικά διάτρησης είναι βάθος οπής 4mm, διάμετρος τρυπανιού 4mm και δύναμη 185N. Έχει επίσης παρατηρηθεί [18] ότι για διάμετρο τρυπανιού 5mm και μείωση της υπάρχουσας δύναμης σε 64N, υπάρχει μια σημαντική διαφοροποίηση των χρόνων διάτρησης ανάλογα με τη διαβάθμιση της άμμου.

7.3.7 ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

Αντοχή σε θλίψη είναι η αντίσταση που παρουσιάζει ένα δομικό υλικό όταν πιέζεται από ένα φορτίο. Μετράται με την τάση θλίψης σ_θ , η οποία ισούται με το φορτίο θραύσης P , δια της επιφάνειας που θλίβεται S :

$$\sigma_\theta = P / S$$

Φορτίο θραύσης P είναι το μεγαλύτερο φορτίο με το οποίο φορτιζόμενο το υλικό χάνει τη συνοχή του και θραύεται.

Για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε υδραυλική μηχανή 60t τύπου **TONIPACT TONINDUSTRIE**.

Το δοκίμιο τοποθετείται μεταξύ δυο χαλύβδινων πλακών και συμπιέζεται με φορτίο που αυξάνει σταθερά μέχρις ότου το υλικό χάσει τη συνοχή του. Φροντίζουμε ώστε το δοκίμιο να είναι κεντρωμένο μεταξύ των πλακών της μηχανής για να έχουμε απολύτως αξονική φόρτιση. Η επιφάνεια του δοκιμίου που έρχεται σε επαφή με τη μηχανή πρέπει να είναι λεία ώστε να εξασφαλίζεται η καλή προσαρμογή τους.

Η ταχύτητα επιβολής της φόρτισης ρυθμίζεται στα 0,98KN/sec όπως προβλέπεται από την πρότυπη μέθοδο δοκιμής σε θλίψη σκυροδέματος [BS 1881] για δοκίμιο ακμής 7cm και το δοκίμιο αφήνεται να συνθλιφτεί μεταξύ των πλακών.

Η ηλεκτρονική ένδειξη της μηχανής μας δείχνει το φορτίο θραύσης P που οδήγησε στην αστοχία (KN). Την τιμή αυτή την πολλαπλασιάζω με 1000 και τη διαιρώ με την επιφάνεια του δοκιμίου (70 x 70), οπότε προκύπτει η τάση θλίψης του δοκιμίου σε MPa. Τα δοκίμια υποβάλλονται στη δοκιμή σε θλίψη την ίδια μέρα όπου διατρήθηκαν ώστε να μην έχουμε μεταβολή της αντοχής τους.

7.3.8 ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΜΙΓΜΑΤΩΝ

Από τα αρχικά 16 διαφορετικά είδη άμμου των οποίων προσδιορίστηκε η απότριψη με τη συσκευή Deval, επιλέχθηκαν εκείνες που παρουσίαζαν διαφορετική τιμή απότριψης. Έτσι παρασκευάστηκαν τσιμεντοκονιάματα με άμμο διαφορετικής προέλευσης και αντοχές που κυμαίνονταν από 1 – 20 MPa περίπου, καλύπτοντας έτσι όλο το εύρος των απαιτούμενων αντοχών.

Όλες οι άμμοι που χρησιμοποιήθηκαν είχαν αρχικά την κοκκομετρική διαβάθμιση της προέλευσης τους. Με σκοπό όμως να διερευνηθεί η επίδραση του είδους της άμμου, ανεξάρτητα από την κοκκομετρική σύνθεση, παρασκευάστηκαν δοκίμια με διάφορα είδη άμμου που είχαν όμως την κοκκομετρική διαβάθμιση μιας λεπτόκοκκης άμμου. Με τον τρόπο αυτό απαλείφεται ο παράγων κοκκομετρική διαβάθμιση.

Επιπλέον, παρασκευάστηκαν δοκίμια της ίδιας άμμου, αλλά με διαφορετική διαβάθμιση κόκκων, όπου το κάθε μίγμα από αυτά περιείχε μόνο κόκκους άμμου ίδιου μεγέθους (μονόκοκκο μίγμα). Με αυτό τον τρόπο εξετάζεται αποκλειστικά η επίδραση του μεγέθους του κόκκου της άμμου.

Τέλος, μεταξύ των δοκιμών που παρασκευάστηκαν υπάρχει ένας μικρός αριθμός δοκιμών από σμύριδα, υλικό που χαρακτηρίζεται από την μεγάλη σκληρότητά του και από τσιμεντοπολτό. Η τελευταία περίπτωση, όπου έχουμε παντελή απουσία άμμου, παρουσιάζει ενδιαφέρον καθώς εξετάζεται η επίδραση της ταύτισης της σκληρότητας της άμμου με εκείνη του τσιμεντοπολτού.

Έτσι, τα αποτελέσματα της συσχέτισης του χρόνου διάτρησης με την αντοχή τσιμεντοκονιαμάτων περιλαμβάνουν την επίδραση του τύπου της άμμου, της διαβάθμισής της, καθώς και της απότριψης της άμμου. Εξετάζεται τέλος, και η επιρροή του μεγέθους των κόκκων.

Τα μίγματα που παρασκευάστηκαν είχαν τις ακόλουθες συνθέσεις:

Πίνακας 7.27 Συνθέσεις μιγμάτων με άμμο 3.

α/α	Ημερομηνία παρασκευής	Τσιμέντο (gr)	Άμμος (gr)	Νερό (gr)	N/T	A/T
13 – 18	26-11-98	620	3800	605	0,98	6,15
37 – 41	7-12-98	1024	3124	707	0,69	3,05

Πίνακας 7.28 Συνθέσεις μιγμάτων με άμμο 4.

α/α	Ημερομηνία παρασκευής	Τσιμέντο (gr)	Άμμος (gr)	Νερό (gr)	N/T	A/T
7 – 12	26-11-98	620	3800	605	0,98	6,15
19 – 24	29-11-98	786	3568	786	1,00	4,54
31 – 36	30-11-98	894	3595	742	0,83	4,02
61 – 63	13-12-98	639	2568	530	0,83	4,02

Πίνακας 7.29 Συνθέσεις μιγμάτων με άμμο 5.

α/α	Ημερομηνία παρασκευής	Τσιμέντο (gr)	Άμμος (gr)	Νερό (gr)	N/T	A/T
67 – 78	13-12-98	1916	7703	1590	0,83	4,02

Πίνακας 7.30 Συνθέσεις μιγμάτων με άμμο 5 (διαβάθμιση λεπτόκοκκης).

a/a	Ημερομηνία παρασκευής	Τσιμέντο (gr)	Άμμος (gr)	Νερό (gr)	N/T	A/T
100 – 106	15-12-98	894	3595	742	0,83	4,02

Πίνακας 7.31 Συνθέσεις μιγμάτων με άμμο 6.

a/a	Ημερομηνία παρασκευής	Τσιμέντο (gr)	Άμμος (gr)	Νερό (gr)	N/T	A/T
1 – 6	25-11-98	620	3800	605	0,98	6,15
52 – 60	9-12-98	1123	5100	1123	1,00	4,54

Πίνακας 7.32 Συνθέσεις μιγμάτων με άμμο 6 (διαβάθμιση λεπτόκοκκης).

a/a	Ημερομηνία παρασκευής	Τσιμέντο (gr)	Άμμος (gr)	Νερό (gr)	N/T	A/T
25 – 30	29-11-98	620	3800	605	0,98	6,15

Πίνακας 7.33 Συνθέσεις μιγμάτων με άμμο 6 και μέγεθος κόκκων (4.75 – 2.36)mm - κόσκινα Νο4-Νο8.

a/a	Ημερομηνία παρασκευής	Τσιμέντο (gr)	Άμμος (gr)	Νερό (gr)	N/T	A/T
136 – 141	19-12-98	1022	4108	848	0,83	4,02

Πίνακας 7.34 Συνθέσεις μιγμάτων με άμμο 6 και μέγεθος κόκκων (2.36 – 1.18)mm - κόσκινα Νο8-Νο16.

a/a	Ημερομηνία παρασκευής	Τσιμέντο (gr)	Άμμος (gr)	Νερό (gr)	N/T	A/T
124 – 129	18-12-98	1022	4108	848	0,83	4,02

Πίνακας 7.35 Συνθέσεις μιγμάτων με άμμο 6 και μέγεθος κόκκων (1.18 – 0.60)mm - κόσκινα Νο16-Νο30.

a/a	Ημερομηνία παρασκευής	Τσιμέντο (gr)	Άμμος (gr)	Νερό (gr)	N/T	A/T
130 – 135	18-12-98	1022	4108	848	0,83	4,02

Πίνακας 7.36 Συνθέσεις μιγμάτων με άμμο 6 και μέγεθος κόκκων (0.60 – 0.43)mm - (κόσκινα Νο30-Νο40).

α/α	Ημερομηνία παρασκευής	Τσιμέντο (gr)	Άμμος (gr)	Νερό (gr)	N/T	A/T
142 – 147	19-12-98	1022	4108	848	0,83	4,02

Πίνακας 7.37 Συνθέσεις μιγμάτων με άμμο 11.

α/α	Ημερομηνία παρασκευής	Τσιμέντο (gr)	Άμμος (gr)	Νερό (gr)	N/T	A/T
171 – 182	8-01-99	1916	7703	1590	0,83	4,02

Πίνακας 7.38 Συνθέσεις μιγμάτων με άμμο 12.

α/α	Ημερομηνία παρασκευής	Τσιμέντο (gr)	Άμμος (gr)	Νερό (gr)	N/T	A/T
42 – 46	7-12-98	620	3800	605	0,98	6,15
47 – 51	7-12-98	894	3595	742	0,83	4,02
64 – 66	13-12-98	639	2568	530	0,83	4,02
148 – 158	6-01-99	1916	7703	1590	0,83	4,02
188 – 195	11-01-99	1405	5649	1166	0,83	4,02

Πίνακας 7.39 Συνθέσεις μιγμάτων με άμμο 12 (διαβάθμιση λεπτόκοκκης).

α/α	Ημερομηνία παρασκευής	Τσιμέντο (gr)	Άμμος (gr)	Νερό (gr)	N/T	A/T
90 – 99	14-12-98	1533	6162	1272	0,83	4,02

Πίνακας 7.40 Συνθέσεις μιγμάτων με άμμο 13.

α/α	Ημερομηνία παρασκευής	Τσιμέντο (gr)	Άμμος (gr)	Νερό (gr)	N/T	A/T
159 – 170	8-01-99	1916	7703	1590	0,83	4,02
183 – 187	11-01-99	1022	4108	848	0,83	4,02

Πίνακας 7.41 Συνθέσεις μιγμάτων με άμμο 14.

α/α	Ημερομηνία παρασκευής	Τσιμέντο (gr)	Άμμος (gr)	Νερό (gr)	N/T	A/T
196 – 207	12-01-99	1916	7703	1590	0,83	4,02

Πίνακας 7.42 Συνθέσεις μιγμάτων με άμμο 15.

α/α	Ημερομηνία παρασκευής	Τσιμέντο (gr)	Άμμος (gr)	Νερό (gr)	N/T	A/T
208 – 220	20-01-99	2045	8220	1697	0,83	4,02

Πίνακας 7.43 Συνθέσεις μιγμάτων με άμμο 16.

α/α	Ημερομηνία παρασκευής	Τσιμέντο (gr)	Άμμος (gr)	Νερό (gr)	N/T	A/T
79 – 89	14-12-98	1916	7703	1590	0,83	4,02

Πίνακας 7.44 Συνθέσεις μιγμάτων με άμμο 16 (διαβάθμιση λεπτόκοκκης).

α/α	Ημερομηνία παρασκευής	Τσιμέντο (gr)	Άμμος (gr)	Νερό (gr)	N/T	A/T
107 – 111	16-12-98	894	3595	742	0,83	4,02

Πίνακας 7.45 Συνθέσεις μιγμάτων με τσιμεντοπολτό.

α/α	Ημερομηνία παρασκευής	Τσιμέντο (gr)	Άμμος (gr)	Νερό (gr)	N/T	A/T
112 – 123	16-12-98	8824	-	3177	0,36	-

8. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στους ακόλουθους Πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του χρόνου διάτρησης και αντοχής σε θλίψη που έγιναν σε όλα τα δοκίμια τσιμεντοκονιαμάτων, τα οποία παρασκευάστηκαν κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας.

Οι Πίνακες έχουν ταξινομηθεί με βάση τα χαρακτηριστικά διάτρησης, σύμφωνα με τα οποία εκτελέστηκε κάθε φορά η δοκιμή. Έτσι, διακρίνουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις:

1. Επιβαλλόμενη δύναμη $P=185N$, διάμετρος τρυπανιού $D=4mm$, ταχύτητα περιστροφής $V=1,4σπρ./λεπτό$.
2. Επιβαλλόμενη δύναμη $P=185N$, διάμετρος τρυπανιού $D=4mm$, ταχύτητα περιστροφής $V=4,2σπρ./λεπτό$.
3. Επιβαλλόμενη δύναμη $P=64N$, διάμετρος τρυπανιού $D=5mm$, ταχύτητα περιστροφής $V=1,4σπρ./λεπτό$.

Επίσης σε κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις έγινε παρουσίαση των αποτελεσμάτων με αύξουσα σειρά των άμμων, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των δοκιμίων. Ο κάθε Πίνακας περιέχει τον αύξοντα αριθμό κάθε δοκιμίου που υποβλήθηκε στη δοκιμή, την ηλικία του, καθώς και το λόγο (N/T) νερού προς τσιμέντο του μίγματος.

Παρουσιάζονται ακόμα, ο αριθμός των οπών που έγιναν σε κάθε δοκίμιο, ενώ καταγράφεται ο χρόνος διάτρησης που απαιτήθηκε για κάθε οπή. Έτσι, γίνεται μια περαιτέρω στατιστική επεξεργασία που αφορά τον υπολογισμό της μέσης τιμής του χρόνου διάτρησης, την τυπική απόκλιση (s), καθώς και το συντελεστή μεταβλητότητας (cv) των συγκεκριμένων χρόνων. Οι τελευταίες στήλες του Πίνακα αναφέρονται στην αντοχή σε θλίψη των δοκιμίων, τον συντελεστή μεταβλητότητας (cv) και την τυπική απόκλιση (s) της αντοχής.

Πίνακας 8.1 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 3. Εμβαλλόμενη δύναμη $P=185\text{ N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=4\text{ mm}$, ταχύτητα περιστροφής $V=1,4\text{ στρ./λεπτό}$.

ΑΜΜΟΣ 3													
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)						Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)
37	1	0,69	12	50	39	50	47	33	38	47,92	0,24 (11,60)	2,19	
				72	65	46	47	35	53				
38	1	0,69	12	37	40	40	63	47	31	45,83	0,20 (9,27)	2,38	0,05 (0,109)
				57	53	39	47	43	53				
39	1	0,69	12	34	47	54	31	60	37	43,83	0,21 (9,20)	2,19	
				55	50	37	41	39	41				
40	4	0,69	12	118	109	119	115	120	116	131,42	0,15 (19,97)	8,01	0,02 (0,141)
				150	162	157	152	113	146				
41	4	0,69	12	102	148	140	172	128	142	128,92	0,19 (24,29)	8,21	
				152	102	95	119	142	105				
13	7	0,98	12	117	178	158	179	101	175	155,00	0,26 (40,24)	8,89	0,04 (0,329)
				110	208	195	99	139	201				
14	7	0,98	12	174	115	109	165	201	206	162,75	0,20 (31,77)	8,48	
				165	179	121	164	182	172				
15	7	0,98	12	127	183	163	148	184	170	163,67	0,17 (27,39)	8,24	
				129	135	163	191	153	218				
16	14	0,98	12	178	133	140	190	220	147	174,42	0,17 (30,09)	9,85	0,02 (0,225)
				215	199	199	146	168	158				
17	14	0,98	12	116	149	161	219	127	154	148,58	0,30 (44,19)	9,50	
				115	134	243	120	88	157				
18	14	0,98	12	167	188	339	103	154	122	175,25	0,34 (59,82)	9,92	
				151	217	152	167	151	192				

Πίνακας 8.2 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 4. Εμβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τροπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής V=1,4στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 4																	
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)		
61	1	0,83	12	30	31	22	31	20	24			25,92	0,21 (5,45)	1,17			
				30	32	30	25	16	20								
				34	24	28	22	18	27								
62	1	0,83	12	28	23	24	32	27	23			25,83	0,17 (4,43)	1,24	0,06 (0,075)		
				29	26	24	25	31	22			26,92	0,20 (5,30)			1,32	
				31	28	19	39	27	22								
19	3	1,00	12	43	62	58	61	52	43			60,83	0,24 (14,78)	3,18			
				72	48	52	67	88	84								
				69	68	95	84	57	72			71,67	0,19 (13,51)			3,80	
20	3	1,00	12	83	81	53	82	62	54			61,17	0,26 (15,79)	3,38			
				36	57	72	84	90	44								
				47	63	69	60	58	54								
7	5	0,98	12	34	42	38	42	31	45			37,33	0,23 (8,60)	2,86			
				26	48	35	33	51	23								
				43	47	42	50	55	45			41,67	0,23 (9,39)			2,84	
8	5	0,98	12	25	53	27	35	40	38						0,005 (0,014)		
				33	54	52	65	49	41			45,75	0,26 (12,00)				3,30
				29	40	52	58	26	50								
9	7	0,98	12	32	45	54	23	21	60			37,42	0,40 (15,03)	2,56			
				32	64	36	25	35	22								
				26	69	74	25	37	69			43,42	0,45 (19,60)			3,23	
10	7	0,98	12	28	18	54	38	30	53						0,12 (0,356)		
11	7	0,98	12														

Πίνακας 8.2 (συνέχεια).

ΑΜΜΟΣ 4													
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)						Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)
12	7	0,98	12	39	39	79	63	44	50	44,08	0,37 (16,43)	3,28	
				37	42	32	35	14	55				
31	8	0,83	12	56	81	74	106	114	102	99,67	0,21 (19,99)	6,39	
				87	92	103	110	131	104				
32	8	0,83	12	144	127	118	105	161	88	117,58	0,22 (25,93)	6,76	0,04 (0,255)
				96	111	108	163	97	93				
33	8	0,83	12	118	143	133	63	106	116	118,67	0,22 (25,87)	6,88	
				144	132	149	85	132	103				
34	21	0,83	12	175	167	142	163	121	164	149,00	0,13 (19,07)	9,14	
				119	136	165	140	135	161				
35	21	0,83	12	143	181	162	149	154	137	152,75	0,09 (13,25)	8,93	0,02 (0,220)
				136	141	157	167	148	158				
36	21	0,83	12	173	143	117	140	154	116	133,08	0,16 (20,87)	8,70	
				150	110	144	115	105	130				
22	36	0,83	12	239	207	243	233	239	263	245,42	0,08 (19,82)	12,93	
				253	251	276	233	276	232				
23	36	0,83	12	246	266	225	190	235	194	223,92	0,18 (40,25)	13,13	0,02 (0,262)
				206	184	169	199	285	288				
24	36	0,83	12	229	280	288	208	225	208	234,50	0,16 (37,49)	12,61	
				207	191	202	215	262	299				

Πίνακας 8.3 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 5. Επιβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής V=1,4στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 5															
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)
				20	19	17	18	14	19	22	22				
67	1	0,83	12	22	17	24	20	21	22			19,42	0,14 (2,71)	0,77	0,08 (0,067)
68	1	0,83	12	24	16	23	24	21	24			20,67	0,15 (3,14)	0,76	
69	1	0,83	12	24	20	16	18	20	18			21,92	0,14 (3,12)	0,88	
70	5	0,83	12	63	64	54	57	54	70			63,33	0,21 (13,61)	4,16	0,02 (0,101)
71	5	0,83	12	57	96	58	47	58	82			62,75	0,17 (10,43)	4,09	
72	5	0,83	12	67	40	66	71	65	66			68,92	0,16 (11,12)	4,29	
73	9	0,83	12	77	67	59	56	48	71			107,00	0,15 (16,35)	5,87	0,08 (0,459)
74	9	0,83	12	58	65	83	73	75	43			121,33	0,19 (22,74)	6,12	
75	9	0,83	12	75	74	76	66	79	60			105,58	0,19 (19,57)	5,23	
				88	112	118	87	109	110						
				90	103	110	91	140	126						
				122	115	91	103	112	100						
				114	106	166	135	155	137						
				83	71	105	122	112	99						
				105	78	115	128	118	131						

Πίνακας 8.4 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 5 (διαβάθμιση της άμμου 4). Επβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, και ταχύτητα περιστροφής V=1,4στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 5 (διαβάθμιση άμμου 4)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
				49	56	55	57	55	54	47	54					51	59	69	60	64	68	67	46	61	49	50	195	140	133	162	147	161	106	106	126	110	132	129	173	190	145	137	155	132	138	130	150	145	149	161	152	147	128	145	133	162	128	94	142	149	134	129																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
100	4	0,83	12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													</

Πίνακας 8.5 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 6. Επιβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής V=1,4στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 6													
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)						Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)
52	1	1,00	12	31	25	29	39	28	15	28,25	0,21 (5,91)	1,48	
53	1	1,00	12	30	23	30	25	31	33	29,67	0,21 (6,12)	1,57	0,05 (0,075)
54	1	1,00	12	27	23	35	38	25	36	38,67	0,35 (13,36)	1,63	
55	4	1,00	12	32	19	34	35	28	24	86,83	0,16 (13,89)	4,76	
56	4	1,00	12	34	33	26	70	33	24	82,25	0,22 (17,96)	5,01	0,03 (0,132)
57	4	1,00	12	45	47	32	51	44	25	86,58	0,11 (9,26)	4,96	
1	7	0,98	12	66	97	100	90	78	74	137,67	0,30 (41,03)	8,10	
2	7	0,98	12	102	79	71	99	107	79	165,25	0,22 (35,94)	7,98	0,02 (0,130)
3	7	0,98	12	80	56	72	120	90	67	167,58	0,32 (54,07)	8,24	
				78	62	90	100	96	76	Συνεχίζεται.....			
				77	83	98	73	77	80				
				98	99	85	84	96	89				
				102	207	114	66	111	187				
				153	115	158	164	108	167				
				130	152	145	209	213	205				
				107	184	186	184	142	126				
				212	202	143	164	281	204				
				98	170	175	148	79	135				

Πίνακας 8.5 (συνέχεια).

ΆΜΜΟΣ 6															
α/α Δοκιμίων	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)
				241	155	96	210	202	99	136	237				
4	8	0,98	12	158	147	72	171	235	240	165,33	0,32 (52,45)	7,95	0,07 (0,512)		
				119	133	140	114	223	154						
5	8	0,98	12	127	93	158	159	166	182	158,83	0,32 (51,33)	7,68			
				109	187	281	133	146	149						
6	8	0,98	12	109	187	281	133	146	149	157,50	0,30 (47,71)	8,43			

Πίνακας 8.6 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμίων με άμμο 6 (διαβάθμιση της άμμου 4). Επιβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής V=1,4στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 6 (διαβάθμιση άμμου 4)														
α/α Δοκιμίων	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)							Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)
25	5	0,98	12	97	118	105	50	80	129	94,83	0,33 (31,57)	5,39		
				114	113	49	42	123	118					
				100	37	66	101	97	103					
26	5	0,98	12	91	122	109	127	144	121	101,50	0,28 (28,40)	5,30	0,03 (0,176)	
				42	62	90	109	100	39					
				106	117	71	55	41	99					
27	5	0,98	12	183	194	190	185	167	178	77,58	0,38 (29,16)	5,05		
				203	181	204	192	198	195					
				164	182	187	184	170	184					
28	36	0,98	12	197	175	188	181	179	187	189,17	0,06 (10,84)	10,92	0,04 (0,447)	
				197	199	200	217	190	192					
				192	197	204	212	199	205					
29	36	0,98	12	197	199	200	217	190	192	181,50	0,05 (8,75)	10,20	0,04 (0,447)	
				197	199	200	217	190	192					
				192	197	204	212	199	205					
30	36	0,98	12	197	199	200	217	190	192	200,33	0,04 (8,09)	10,10		
				197	199	200	217	190	192					
				192	197	204	212	199	205					

Πίνακας 8.7 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο δ, [μέγεθος κόκκων (4.75-2.36)mm]. Επβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής V=1,4σπρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 6 [διαβάθμιση (4.75 – 2.36)mm]																																															
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)									Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)																															
				56	58	59	69	76	67	37	51	60					39	44	64	80	68	48	35	84	46	79	32	57	49	55	44	281	144	289	159	246	173	124	172	158	204	233	145	90	209	161	86
136	3	0,83	12										56,67	0,21 (12,05)	3,12	0,04 (0,127)																															
137	3	0,83	12										56,42	0,31 (17,60)	3,30																																
138	17	0,83	12										194,00	0,29 (55,73)	10,68	0,10 (1,039)																															
139	17	0,83	12										160,92	0,29 (47,21)	9,21																																

Πίνακας 8.8 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο δ , [μέγεθος κόκκων (2.36-1.18)mm]. Επβαλλόμενη δύναμη $P=185\text{ N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=4\text{ mm}$, ταχύτητα περιστροφής $V=1,4\text{ στρ./λεπτό}$.

ΑΜΜΟΣ 6 [διαβάθμιση (2.36 – 1.18)mm]															
α/α Δοκιμών	Εξέλιξη (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)
124	3	0,83	12	44	48	53	42	43	47			44,75	0,12 (5,56)	2,25	0,01 (0,014)
				47	51	49	34	37	42						
125	3	0,83	12	38	56	50	47	32	39			41,50	0,17 (7,08)	2,27	0,01 (0,014)
				45	44	38	39	33	37						
126	17	0,83	12	98	129	85	77	86	75			86,25	0,21 (17,99)	6,13	0,01 (0,085)
				94	75	53	83	85	95						
127	17	0,83	12	107	114	100	73	67	116			90,75	0,21 (18,80)	6,25	0,01 (0,085)
				99	93	79	64	72	105						

Πίνακας 8.9 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμίων με άμμο 6 [μέγεθος κόκκων (1.18-0.60)mm]. Επβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, παχύτητα περιστροφής V=1,4στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 6 [διαβάθμιση (1.18 – 0.60)mm]																																															
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)																																
				41	64	62	71	62	59	83	40					88	102	78	86	77	55	63	68	51	58	84	61	78	73	58	64	79	85	122	101	83	67	158	113	82	103	97	97	107	98	66	87
130	3	0,83	12									69,67	0,27 (18,74)	3,86	0,01 (0,021)																																
131	3	0,83	12									65,83	0,16 (10,24)	3,83																																	
132	17	0,83	12									98,92	0,24 (24,12)	7,57	0,04 (0,290)																																
133	17	0,83	12									112,17	0,24 (26,54)	7,98																																	

Πίνακας 8.10 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμίων με άμμο 6 [μέγεθος κόκκων (0.60-0.43)mm]. Επιβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής V=1,4στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 6 [διαβάθμιση (0.60 – 0.43)mm]													
α/α Δοκιμίων	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)						Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)
142	3	0,83	12	82	85	102	123	89	95	94,83	0,16 (15,06)	4,38	0,03 (0,113)
				99	102	73	94	117	77				
				107	63	83	112	80	98				
143	3	0,83	12	115	74	109	100	102	82	93,75	0,18 (16,78)	4,54	
				126	159	186	142	130	115				
				188	92	110	143	129	105				
144	17	0,83	12	187	129	180	172	149	159	135,42	0,22 (30,17)	8,63	0,01 (0,078)
				222	140	102	152	121	185				
145	17	0,83	12							159,67	0,19 (30,76)	8,52	

Πίνακας 8.11 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 12. Επιβαλλόμενη δύναμη $P=185\text{ N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=4\text{ mm}$, ταχύτητα περιστροφής $V=1,4\text{ στρ./λεπτό}$.

ΑΜΜΟΣ 12															
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)
64	1	0,83	12	35	34	36	39	38	18			32,50	0,18 (5,76)	2,13	
				38	31	31	30	32	28						
65	1	0,83	12	38	30	32	37	37	27			34,08	0,13 (4,42)	2,17	0,02 (0,035)
				36	38	28	40	36	30						
66	1	0,83	12	31	32	36	41	44	36			37,25	0,12 (4,59)	2,20	
				44	35	32	38	36	42						
42	4	0,98	12	96	70	87	55	62	75			81,58	0,24 (19,98)	4,83	
				114	68	81	110	101	60						
43	4	0,98	12	79	104	82	59	48	100			70,92	0,35 (25,00)	4,75	0,04 (0,178)
				55	42	37	113	63	69						
44	4	0,98	12	112	95	104	96	99	105			91,00	0,23 (21,36)	5,09	
				81	116	49	95	51	89						
45	10	0,98	12	176	163	96	70	115	109			109,75	0,29 (31,44)	7,17	0,01 (0,071)
				99	107	121	87	82	92						
46	10	0,98	12	128	185	163	208	181	186			132,58	0,39 (51,25)	7,27	
				87	98	136	88	70	61						
47	15	0,83	12	206	244	274	202	193	250			231,33	0,13 (30,47)	12,09	
				190	251	262	243	201	260						
48	15	0,83	12	136	153	232	267	220	258			207,08	0,24 (49,18)	11,56	0,04 (0,403)
				207	165	127	239	230	251						
49	15	0,83	12	232	196	223	201	222	230			217,75	0,08 (17,97)	12,35	
				213	245	180	220	232	219						

Πίνακας 8.11 (συνέχεια).

ΑΜΜΟΣ 12													
α/α Δοκιμίων	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)						Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)
				247	207	187	279	287	382				
50	28	0,83	12	263	270	297	322	229	187	263,08	0,22 (57,03)	14,82	0,01 (0,106)
				276	213	186	307	245	240				
				264	241	310	191	272	265				
51	28	0,83	12							250,83	0,16 (39,97)	14,67	

Πίνακας 8.12 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 12 (διαβάθμιση της άμμου 4). Επβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής V=1,4στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 12 (διαβάθμιση άμμου 4)															
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)
				31	37	24	29	28	30	31	35				
90	1	0,83	12	33	27	28	30	31	35		30,25	0,12 (3,55)	1,69		
91	1	0,83	12	31	35	36	30	27	26		30,00	0,19 (5,62)	1,54		0,05 (0,087)
				17	35	34	25	35	29						
92	1	0,83	12	32	31	31	33	32	29		30,92	0,07 (2,11)	1,69		
				31	33	34	28	30	27						
93	4	0,83	12	102	54	95	77	84	72		77,92	0,19 (15,06)	5,75		
				90	63	80	58	70	90						
94	4	0,83	12	83	98	70	95	68	83		81,08	0,17 (13,87)	5,69		0,01 (0,092)
				84	53	102	85	80	72						
95	4	0,83	12	83	102	83	99	83	96		85,42	0,16 (13,96)	5,57		
				80	88	99	91	55	66						
96	8	0,83	12	148	159	157	199	159	201		160,00	0,12 (19,87)	8,82		0,01 (0,071)
				141	145	150	157	161	143						
97	8	0,83	12	165	130	202	171	179	200		172,83	0,12 (20,55)	8,72		
				165	160	172	169	200	161						

Πίνακας 8.13 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 16. Επβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής V=1,4στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 16															
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)
79	1	0,83	12	21	28	22	24	22	25	27	21	27	0,13 (3,20)	1,20	0,02 (0,026)
				20	25	30									
80	1	0,83	12	29	32	22	22	27	30	27	20	29	0,15 (3,96)	1,15	
				22	25	30	27	20	29						
81	1	0,83	12	27	25	17	21	18	22	24	20	23	0,13 (2,94)	1,16	0,05 (0,187)
				25	22	21	24	20	23						
82	3	0,83	12	54	68	53	58	41	58	64	55	53	0,16 (9,68)	3,87	
				68	78	66									
83	3	0,83	12	50	58	54	45	51	58	65	40	50	0,14 (7,15)	3,52	0,05 (0,187)
				50	51	63	65	40	50						
84	3	0,83	12	64	51	68	58	59	59	67	62	75	0,10 (6,25)	3,81	
				60	73	74									
85	8	0,83	12	114	119	122	130	105	99	130	125	129	0,10 (12,24)	8,21	0,01 (0,090)
				108	11	120	114	135	140						
86	8	0,83	12	120	117	105	130	125	129	130	125	119	0,08 (9,92)	8,12	
				117	129	141	108	120	119	108	107	123	0,09 (10,34)	8,03	
87	8	0,83	12	104	118	121	119	107	101	111	120	101			
				137	120	129									

Συνεχίζεται.....

Πίνακας 8.13 (συνέχεια).

ΑΜΜΟΣ 16													
α/α Δοκιμίων	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)						Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)
				299	290	240	225	283	232				
88	21	0,83	12	275	235	304	285	233	228	260,75	0,12 (30,92)	14,75	0,02 (0,255)
				290	303	223	280	287	214				
89	21	0,83	12	220	275	231	291	307	293	267,83	0,13 (35,10)	15,11	

Πίνακας 8.14 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμίων με άμμο 16 (διαβάθμιση της άμμου 4). Επιβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής V=1,4στρ/λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 16 (διαβάθμιση άμμου 4)															
α/α Δοκιμίων	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)
				64	63	77	92	79	64	72	65				
107	5	0,83	12	74	62	71	94	76	83	80,08	0,15 (11,80)	4,74	0,04 (0,190)		
				81	86	79	75	95	85						
109	5	0,83	12	64	67	89	90	94	75	77,33	0,14 (10,58)	4,57			
				63	71	73	85	83	74						

Πίνακας 8.15 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με ταιμεντοπολτό. Επιβαλλόμενη δύναμη $P=185\text{ N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=4\text{ mm}$, ταχύτητα περιστροφής $V=1,4\text{ στρ./λεπτό}$.

ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΛΤΟΣ															
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός σπών	Χρόνος διάτρησης σπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)
119	1	0,36	12	83	87	74	69	62	63			71,25	0,15 (10,82)	5,57	0,03 (0,147)
				66	78	87	72	59	55						
120	1	0,36	12	75	78	74	79	74	67			74,83	0,10 (7,30)	5,83	
				83	70	86	80	59	73						
121	1	0,36	12	77	80	83	76	76	64			79,92	0,12 (9,53)	5,58	
				102	80	88	77	70	86						
115	3	0,36	12	84	58	92	89	87	90			84,83	0,11 (9,26)	6,43	0,01 (0,060)
				92	79	85	90	88	84						
116	3	0,36	12	103	108	94	104	95	100			94,67	0,13 (12,59)	6,36	
				104	86	63	95	102	82						
117	3	0,36	12	98	112	114	105	89	109			97,08	0,13 (12,22)	6,31	
				86	72	100	93	88	99						
112	7	0,36	12	381	380	351	314	379	310			346,50	0,09 (30,11)	17,88	0,003 (0,061)
				350	312	305	382	349	345						
113	7	0,36	12	304	322	351	309	350	331			327,83	0,06 (19,65)	17,92	
				307	354	312	333	310	351						
114	7	0,36	12	351	362	349	345	378	377			340,50	0,08 (26,20)	18,00	
				311	313	306	340	349	305						

Πίνακας 8.16 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 5. Επβαλλόμενη δύναμη $P=185\text{ N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=4\text{mm}$, ταχύτητα περιστροφής $V=4,2\text{στρ./λεπτό}$.

ΑΜΜΟΣ 5																																		
α/α Δοκιμίων	Ηλικία (ημέρες)	N / T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)																			
				31	58	35	34	41	52	26	45					41	35	49	29	47	37	30	31	33	40	46	39	39	41	32	39	39	30	35
76	24	0,83	12									39,67	0,25 (9,81)	8,94	0,01 (0,125)																			
77	24	0,83	12									38,33	0,15 (5,90)	9,07																				
												36,75	0,11 (4,16)	9,19																				
78	24	0,83	12																															

Πίνακας 8.17 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 5 (διαβάθμιση της άμμου 4). Επβαλλόμενη δύναμη $P=185\text{ N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=4\text{mm}$, ταχύτητα περιστροφής $V=4,2\text{στρ./λεπτό}$.

ΑΜΜΟΣ 5 (διαβάθμιση άμμου 4)																												
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)													
				38	38	35	34	39	38	33	41					37	37	28	40	41	32	34	21	41	37	32	44	36
105	22	0,83	12																							0,10 (3,55)	8,92	0,001 (0,007)
106	22	0,83	12																							0,18 (6,11)	8,93	

Πίνακας 8.18 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 6. Επιβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής V=4,2στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 6										
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)						Μέσος χρόνος (sec)
58	28	1,00	12	79	65	63	81	57	63	66,25 (9,31)
				56	74	68	50	72	67	
59	28	1,00	12	59	57	56	56	52	60	60,92 (5,68)
				64	72	68	63	59	65	
60	28	1,00	12	65	52	45	66	61	55	55,00 (8,17)
				53	44	62	55	60	42	

Πίνακας 8.19 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 6 [μέγεθος κόκκων (4.75-2.36)mm]. Επιβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, και ταχύτητα περιστροφής V=4,2στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 6 [διαβάθμιση (4.75 – 2.36)mm]										
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)						Μέσος χρόνος (sec)
140	28	0,83	12	43	107	52	37	42	55	53,25 (24,88)
				20	85	67	55	56	20	
141	28	0,83	12	35	58	46	42	38	38	46,57 (10,03)
				47	61	55	32	48	60	

Πίνακας 8.20 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 6 [μέγεθος κόκκων (2.36-1.18)mm]. Επιβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής V=4,2στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 6 [διαβάθμιση (2.36 – 1.18)mm]										
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)						Μέσος χρόνος (sec)
128	29	0,83	12	44	39	51	35	50	101	47,17
				39	32	45	59	40	31	(18,83)
129	29	0,83	12	38	31	53	35	40	25	34,33
				33	38	22	38	32	27	(8,16)
										9,12
										8,97
										0,01 (0,106)

Πίνακας 8.21 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 6 [μέγεθος κόκκων (1.18-0.60)mm]. Επιβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής V=4,2στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 6 [διαβάθμιση (1.18 – 0.60)mm]										
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)						Μέσος χρόνος (sec)
134	29	0,83	12	58	46	60	54	56	62	50,50
				37	25	50	43	60	55	(11,04)
135	29	0,83	12	55	59	51	59	53	60	52,92
				55	47	45	51	57	43	(5,66)
										9,87
										10,50
										0,04 (0,445)

Πίνακας 8.22 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 6 [μέγεθος κόκκων (0.60-0.43)mm]. Επιβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής V=4,2στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 6 διαβάθμιση (0.60 – 0.43)mm															
α/α Δοκιμών	Έλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)
				33	46	43	42	40	37	54	46				
146	28	0,83	12	33	46	43	42	40	37	43,42	0,13 (5,73)	9,98	0,01 (0,092)		
				54	46	46	39	45	50						
				54	44	60	47	57	49						
147	28	0,83	12	44	40	38	52	55	47	48,92	0,14 (6,84)	9,85			

Πίνακας 8.23 Αποτελέσματα χρόνου διάρρηξης και αντοχής δοκιμών με άμμο 12 . Επιβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τυπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής V=4,2στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 12												
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάρρηξης οπής (sec)								CV αντοχής (s)
188	2	0,83	12	11	10	10	6	9	7	9,67	0,27 (2,61)	1,29
189	2	0,83	12	14	14	10	9	10	6	11,17	0,38 (4,30)	1,23
190	2	0,83	12	14	15	11	8	7	6	13,17	0,24 (3,16)	1,38
191	5	0,83	12	22	9	10	10	12	10	25,17	0,23 (5,73)	4,54
192	5	0,83	12	11	15	15	12	21	16	21,50	0,18 (3,94)	0,06 (0,262)
193	5	0,83	12	12	13	10	10	12	11	21,42	0,24 (5,07)	4,12
194	21	0,83	12	27	18	28	26	21	23	30,42	0,18 (5,58)	6,52
195	21	0,83	12	31	30	36	25	21	16	30,83	0,16 (4,86)	0,05 (0,295)
154	9	0,83	12	22	14	27	21	18	17	25,42	0,23 (5,95)	5,97
155	9	0,83	12	28	25	28	19	19	18	58,00	0,16 (9,54)	8,17
156	9	0,83	12	31	19	17	17	18	18	53,25	0,26 (14,10)	9,19
154	9	0,83	12	31	31	25	34	28	39			
155	9	0,83	12	33	40	29	29	21	25			
156	9	0,83	12	26	31	24	34	36	28			
194	21	0,83	12	27	38	33	27	38	28			
195	21	0,83	12	24	21	20	27	19	24			
194	21	0,83	12	32	26	19	32	38	23			
195	21	0,83	12	53	63	71	62	50	66			
194	21	0,83	12	67	50	58	45	43	68			
195	21	0,83	12	33	55	51	85	62	45			
195	21	0,83	12	39	50	69	54	41	55			

Πίνακας 8.24 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 12 (διαβάθμιση της άμμου 4). Επιβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής V=4,2στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 12 (διαβάθμιση άμμου 4)																												
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)													
				52	52	56	54	53	50	57	42					46	56	58	49	56	49	56	50	55	47	53	55	46
98	23	0,83	12												52,08	0,09 (4,74)	10,80											0,03 (0,332)
99	23	0,83	12												52,08	0,09 (4,54)	11,27											

Πίνακας 8.25 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 13 . Επβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής V=4,2στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
α/α Δοκιμίων	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
				38	40	36	43	26	49	35	32					28	31	37	32	39	38	29	36	30	42	41	34	31	36	36	43																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
183	4	0,83	12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												</

Πίνακας 8.26 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 14. Επιδραστήριση δύναμη $P=185\text{ N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=4\text{ mm}$, ταχύτητα περιστροφής $V=4,2\text{ στρ./λεπτό}$.

ΑΜΜΟΣ 14															
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)
202	4	0,83	12	56	52	59	48	40	42	50,42	0,11 (5,71)	8,34	0,03 (0,252)		
				48	53	55	47	55	50						
				50	50	45	54	54	54						
203	4	0,83	12	56	48	48	53	61	57	52,50	0,09 (4,48)	8,79	0,03 (0,252)		
				50	47	54	50	50	44						
				53	46	50	49	40	50						
204	4	0,83	12	62	80	79	74	71	70	74,17	0,10 (7,23)	14,90	0,02 (0,343)		
				70	74	76	75	68	91						
				84	76	77	71	69	76						
205	20	0,83	12	95	73	65	70	83	70	75,75	0,11 (8,26)	14,98	0,02 (0,343)		
				79	79	68	77	81	84						
				85	64	70	71	64	76						
206	20	0,83	12	79	79	68	77	81	84	74,83	0,10 (7,30)	14,35	0,02 (0,343)		
				85	64	70	71	64	76						
				85	64	70	71	64	76						

Πίνακας 8.27 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 16 (διαβάθμιση της άμμου 4). Επιβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής V=4,2στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 16 (διαβάθμιση άμμου 4)										
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)						Μέσος χρόνος (sec)
110	21	0,83	12	30	54	41	38	47	50	42,58
				53	27	41	48	47	35	
111	21	0,83	12	36	33	30	45	35	36	35,50
				42	34	38	30	28	39	
										CV χρόνων (s)
										0,21 (8,77)
										CV αντοχής (s)
										8,86
										0,01 (0,106)
										9,06

Πίνακας 8.28 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με τσιμεντοπολτό. Επιβαλλόμενη δύναμη P=185N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής V=4,2στρ./λεπτό.

ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΟΛΤΟΣ										
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)						Μέσος χρόνος (sec)
118	21	0,36	12	89	85	97	94	101	85	87,92
				89	70	82	86	90	87	
122	21	0,36	12	92	106	106	95	102	89	96,33
				93	75	95	89	109	105	
123	21	0,36	12	102	90	104	84	89	76	93,83
				92	103	97	101	103	85	
										CV χρόνων (s)
										0,09 (7,83)
										CV αντοχής (s)
										18,86
										0,15 (3,467)
										24,49
										25,18

Πίνακας 8.29 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 11. Επιδιδόμενη δύναμη $P=64\text{ N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=5\text{ mm}$, ταχύτητα περιστροφής $V=1,4\text{ στρ./λεπτό}$.

ΑΜΜΟΣ 11																			
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)				
				236	259	226	220	231	245	201	179					155	175	162	212
171	3	0,83	12	192	171	183	201	169	195	132	186	182	157	178	135	208,42	0,16 (33,94)	3,32	0,02 (0,080)
172	3	0,83	12	184	168	177	202	185	171	138	216	183	170	149	211	173,42	0,13 (22,16)	3,41	
173	3	0,83	12	316	285	347	226	280	304	312	253	305	200	231	352	179,50	0,13 (23,06)	3,48	
174	7	0,83	12	294	429	317	344	325	234	367	234	277	254	332	310	284,25	0,17 (48,10)	6,27	0,05 (0,323)
175	7	0,83	12	311	309	300	336	274	338	272	266	322	309	305	265	309,75	0,18 (56,69)	6,84	
176	7	0,83	12	435	375	406	320	371	369	442	400	395	315	343	394	300,58	0,09 (25,88)	6,82	
177	12	0,83	12	270	372	332	368	339	435	398	452	384	299	326	362	380,42	0,11 (40,21)	8,49	0,004 (0,032)
178	12	0,83	12	364	429	332	430	491	401	399	431	355	478	360	395	361,42	0,15 (52,66)	8,44	
179	12	0,83	12													405,42	0,12 (48,88)	8,43	

Συνεχίζεται.....

Πίνακας 8.29 (συνέχεια).

ΆΜΜΟΣ 11																			
α/α Δοκιμίων	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)				
				429	467	422	489	395	458	379	402					432	343	501	338
180	17	0,83	12	402	426	351	472	363	400	425	452	444	413	399	495	453,17	0,13 (52,69)	9,42	0,02 (0,201)
181	17	0,83	12	414	454	402	489	548	396	555	494	354	437	507	388	420,17	0,10 (41,79)	9,53	
182	17	0,83	12													453,17	0,14 (65,35)	9,81	

Πίνακας 8.30 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 12. Επβαλλόμενη δύναμη P=64 N, διάμετρος τρυπανιού D=5mm, ταχύτητα περιστροφής V=1,4στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 12													
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οστών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)						Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)
149	2	0,83	12	136	100	79	83	92	56	96,33	0,20 (19,33)	1,43	0,02 (0,028)
				102	106	107	106	100	89				
150	2	0,83	12	69	116	85	80	72	86				
				81	82	72	83	88	73	82,25	0,15 (12,33)	1,47	
151	5	0,83	12	182	164	130	168	153	120	158,50	0,16 (24,95)	3,83	
				168	156	209	129	174	149				
152	5	0,83	12	197	239	246	147	159	146				
				149	141	142	195	128	150	169,92	0,23 (39,71)	3,97	0,02 (0,084)
153	5	0,83	12	173	264	129	161	145	153	183,83	0,24 (44,14)	3,98	
				252	154	150	201	225	199				
157	10	0,83	12	501	449	387	366	442	469				
				492	536	471	402	371	440	443,83	0,12 (53,80)	6,76	0,05 (0,332)
158	10	0,83	12	472	507	486	475	401	447	427,67	0,13 (57,20)	6,29	
				349	321	409	418	385	462				

Πίνακας 8.31 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκίων με άμμο 13. Επιβαλλόμενη δύναμη P=64 N, διάμετρος τρυπανιού D=5mm, ταχύτητα περιστροφής V=1,4στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 13															
α/α Δοκμίων	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός σπών	Χρόνος διάτρησης σπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)
				226	167	163	226	208	215	192	169				
159	3	0,83	12	213	225	210	181	192	235	209,58	0,10 (20,17)	4,30	0,03 (0,134)		
160	3	0,83	12	241	220	198	185	225	190	197,08	0,10 (18,42)	4,09			
161	3	0,83	12	208	198	180	190	232	209	433,42	0,11 (45,65)	7,34			
162	7	0,83	12	189	210	195	187	208	159	470,92	0,12 (54,36)	7,94	0,07 (0,565)		
163	7	0,83	12	510	415	429	501	397	429	441,42	0,09 (39,76)	8,47			
164	7	0,83	12	395	481	352	442	415	435	551,00	0,08 (46,04)	8,99		0,04 (0,387)	
165	10	0,83	12	425	451	382	375	489	499	578,67	0,09 (50,09)	8,99			
166	10	0,83	12	550	495	532	478	470	505	494,92	0,12 (61,24)	8,32			
167	10	0,83	12	431	429	408	371	416	495						
				505	472	425	444	483	418						
				572	479	545	601	597	581						
				499	558	531	477	563	609						
				551	587	599	502	632	522						
				659	529	557	632	619	555						
				452	490	527	466	529	535						
				401	499	598	579	441	422						

Συνεχίζεται.....

Πίνακας 8.31 (συνέχεια).

ΑΜΜΟΣ 13																			
α/α Δοκιμίων	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)				
				551	607	662	596	567	729	715	701					685	632	621	594
168	17	0,83	12	781	817	805	689	763	690	747	722	671	755	721	798	638,33	0,09 (59,21)	11,24	0,04 (0,470)
169	17	0,83	12	601	725	798	702	660	722	672	719	675	705	729	745	746,58	0,07 (48,64)	12,18	
170	17	0,83	12													704,42	0,07 (49,12)	11,71	

Πίνακας 8.32 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 14. Επιβαλλόμενη δύναμη $P=64\text{ N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=5\text{ mm}$, ταχύτητα περιστροφής $V=1,4\text{ στρ./λεπτό}$.

ΑΜΜΟΣ 14																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
α/α Δοκιμών	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)								Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
				136	152	148	109	205	133	133	98					155	137	110	122	148	149	139	141	143	142	152	130	123	150	108	166	164	156	190	166	159	175	177	136	136	149	103	186	618	672	627	659	723	592	759	655	665	616	645	692	667	676	523	649	690	551	703	536	592	654	635	787	657	709	640	723	690	663	552	523	538	582	517	530	552																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
196	1	0,83	12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

Πίνακας 8.33 Αποτελέσματα χρόνου διάτρησης και αντοχής δοκιμών με άμμο 15 . Επιβαλλόμενη δύναμη P=64N, διάμετρος τρυπανιού D=5mm, και ταχύτητα περιστροφής V=1,4στρ./λεπτό.

ΑΜΜΟΣ 15													
α/α Δοκιμών	Ψακία (ημέρες)	N/T	Αριθμός οπών	Χρόνος διάτρησης οπής (sec)						Μέσος χρόνος (sec)	CV χρόνων (s)	Αντοχή (MPa)	CV αντοχής (s)
208	2	0,83	12	177	144	155	96	135	159	144,67	0,15 (21,58)	2,43	
				138	134	142	150	131	175				
209	2	0,83	12	156	139	145	113	125	141	128,17	0,15 (19,02)	2,38	0,05 (0,115)
				137	111	95	119	108	149				
210	2	0,83	12	158	167	161	141	122	137	132,33	0,20 (25,91)	2,60	
				87	94	150	129	107	135				
211	5	0,83	12	255	209	185	249	236	202	227,75	0,12 (27,44)	5,44	
				199	214	278	252	232	222				
212	5	0,83	12	155	232	202	218	199	167	206,17	0,22 (45,34)	4,84	0,06 (0,300)
				142	190	298	247	251	173				
213	5	0,83	12	200	175	171	239	202	188	196,42	0,13 (25,32)	5,14	
				222	197	165	223	215	160				
214	8	0,83	12	304	241	198	305	309	255	244,92	0,18 (45,01)	6,60	
				240	225	272	202	211	177				
215	8	0,83	12	223	191	245	251	202	208	219,58	0,09 (20,17)	6,22	0,06 (0,350)
				235	220	200	195	230	235				
216	8	0,83	12	202	194	211	173	181	150	192,75	0,21 (40,79)	5,90	
				105	197	203	266	241	191				

Συνεχίζεται.....

Πίνακας 8.33 (συνέχεια).

ΑΜΜΟΣ 15												
α/α Δοκιμίων	Ηλικία (ημέρες)	N/T	Αριθμός σπών	Χρόνος διάτρησης σπής (sec)								CV αντοχής (s)
217	12	0,83	12	268	262	243	308	360	321	289,42	0,18 (51,05)	8,20
				323	231	192	314	296	355			
218	12	0,83	12	342	356	333	251	322	319	291,25	0,18 (52,96)	8,98
				300	203	201	316	245	307			
219	12	0,83	12	356	404	310	341	294	260	304,75	0,17 (52,21)	7,53
				231	321	311	336	263	230			
220	12	0,83	12	278	230	254	313	337	315	271,75	0,18 (49,50)	7,93
				202	263	184	299	330	256			

9. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

9.1 ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων παρατηρούμε ότι, οι συντελεστές μεταβλητότητας των χρόνων είναι σημαντικά μεγαλύτεροι σε σχέση με εκείνων της αντοχής. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, για τους χρόνους έχουμε τιμές συντελεστών που κυμαίνονται από 0,05 – 0,45, ενώ για τις αντοχές οι τιμές αυτές γίνονται 0,001 – 0,15.

Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο, εφ' όσον η μέτρηση του χρόνου αφορά ένα σημειακό προσδιορισμό και μάλιστα στην επιφάνεια του δοκιμίου, ενώ ο προσδιορισμός της αντοχής αφορά όλη τη μάζα του. Επομένως, φαίνεται ότι απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός μετρήσεων χρόνων διάτρησης, όμως τα αποτελέσματα μας δείχνουν ότι είναι επαρκής για να πραγματοποιηθεί η έρευνα.

Η στατιστική ανάλυση με τη μέθοδο της ευθύγραμμης παλινδρόμησης δίνει πληροφορίες σχετικά με την ακρίβεια προσδιορισμού της αντοχής από το χρόνο διάτρησης. Και εδώ όμως ισχύει η παρατήρηση ότι η αντοχή είναι κατά κάποιο τρόπο ο "μέσος όρος" των αντοχών των διαφόρων εσωτερικών ή εξωτερικών σημείων του δοκιμίου. Η εκτίμηση της αντοχής γίνεται για ορισμένα μόνο σημεία και μάλιστα επιφανειακά, του δοκιμίου και απ' αυτά γίνεται προσπάθεια προσδιορισμού της αντοχής ολόκληρης της μάζας του. Οι μετρήσεις του χρόνου διάτρησης σε μεγαλύτερα βάθη μπορεί να διαφοροποιούν αυτά τα αποτελέσματα.

9.2 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ - ΧΡΟΝΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

Με σκοπό να διερευνηθεί η επίδραση όλων εκείνων των παραγόντων που επηρεάζουν το χρόνο διάτρησης των κονιαμάτων, πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω πειραματικές εργασίες, με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά διάτρησης.

9.2.1 Μετρήσεις του χρόνου διάτρησης με επιβαλλόμενη δύναμη $P=185\text{N}$, διάμετρο τρυπανιού $D=4\text{mm}$, και ταχύτητα περιστροφής $V=1,4\text{στρ./λεπτό}$.

Με τα παραπάνω χαρακτηριστικά διάτρησης εξετάστηκαν οι ακόλουθοι παράγοντες:

- Είδος άμμου.
- Απότριψη άμμου.
- Κοκκομετρική διαβάθμιση άμμου.
- Μέγεθος κόκκων άμμου.

Με τα παραπάνω χαρακτηριστικά υποβλήθηκαν στη μέθοδο της διάτρησης 124 δοκίμια. Τα δοκίμια αυτά παρασκευάστηκαν με 6 διαφορετικά είδη άμμου των οποίων είχε προσδιοριστεί η απότριψη με τη συσκευή Deval. Συγκεκριμένα, έχουμε τις εξής άμμους:

- Άμμος 3, (W=19,57%)
- Άμμος 4, (W=50,01%)
- Άμμος 5, (W=30,25%)
- Άμμος 6, (W=43,52%)
- Άμμος 12, (W=15,82%)
- Άμμος 16, (W=38,98%)

Η επιλογή τους έγινε με βάση την αιμή της φθοράς τους. Έτσι, παρασκευάστηκαν δοκίμια από λεπτή, μέση αλλά και χονδρή άμμο.

Μεταξύ αυτών είχαμε και δοκίμια από σμύριδα και τσιμεντοπολτό, (παντελής έλλειψη άμμου από το μίγμα).

Για να μελετηθεί η επίδραση του είδους της άμμου, ανεξάρτητα της κοκκομετρικής διαβάθμισης, παρασκευάστηκαν δοκίμια από τις παραπάνω άμμους και με ίδια κοκκομετρική σύνθεση, αυτή της λεπτόκοκκης άμμου 4. Αναλυτικότερα έχουμε:

- Άμμος 3, (διαβάθμιση της άμμου 4), (W=40,03%)
- Άμμος 5, (διαβάθμιση της άμμου 4), (W=48,95%)
- Άμμος 6, (διαβάθμιση της άμμου 4), (W=50,62%)
- Άμμος 12, (διαβάθμιση της άμμου 4), (W=42,48%)
- Άμμος 16, (διαβάθμιση της άμμου 4), (W=51,01%)

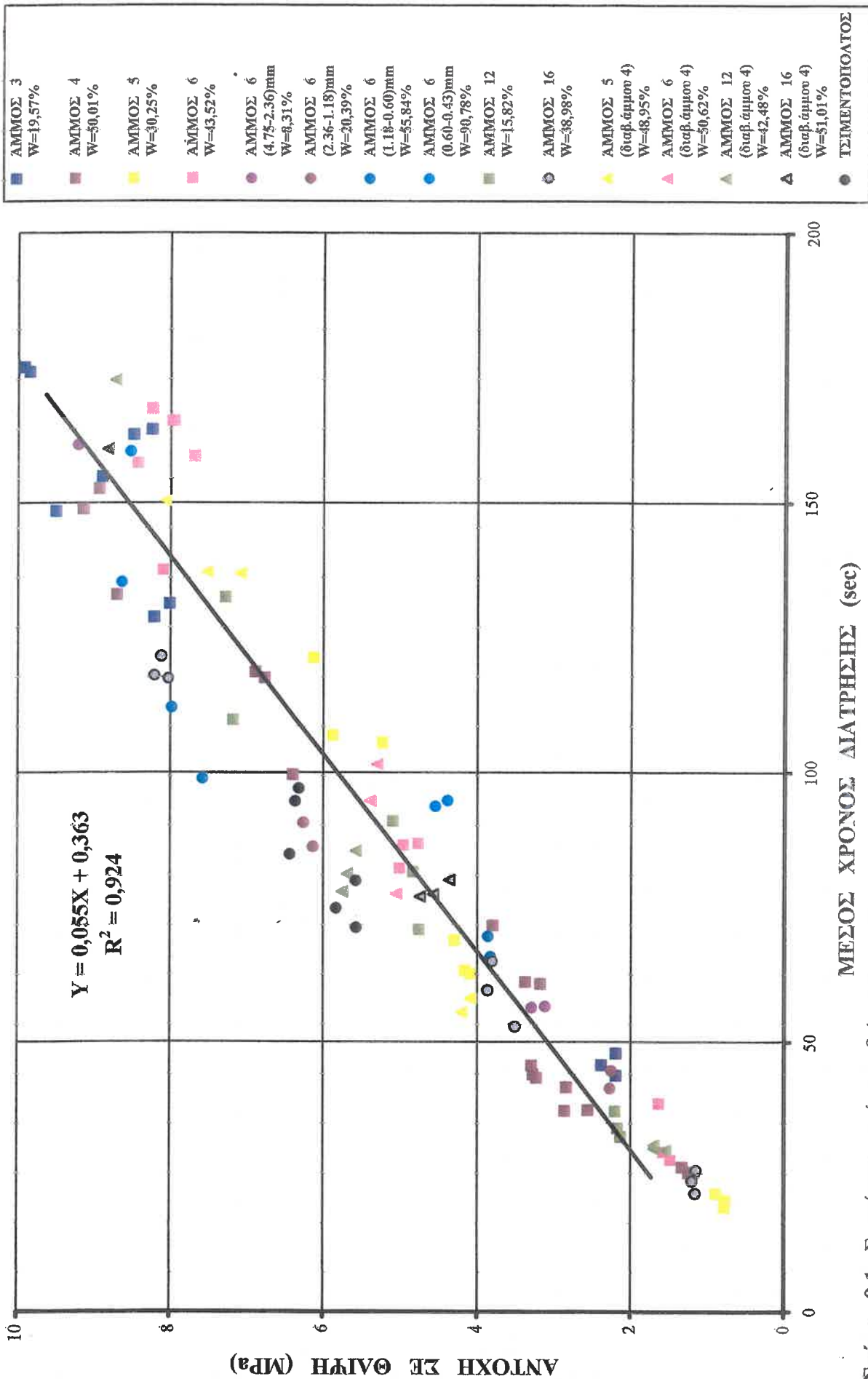
Τέλος, παρασκευάστηκαν δοκίμια με την ίδια άμμο, (άμμος 6) και με διαφορετική κοκκομετρική διαβάθμιση. Κάθε μίγμα δηλαδή περιέχει μόνο κόκκους του ίδιου μεγέθους, (μονόκοκκο υλικό). Εξετάζεται έτσι μόνο ο παράγων κοκκομετρική σύνθεση, ενώ απαλείφεται η επιρροή του είδους της άμμου. Ειδικότερα έχουμε τις εξής διαβαθμίσεις:

- Άμμος 6, (4.75 – 2.36)mm, (W=8,31%)
- Άμμος 6, (2.36 – 1.18)mm, (W=20,39%)
- Άμμος 6, (1.18 – 0.60)mm, (W=55,84%)
- Άμμος 6, (0.60 – 0.43)mm, (W=90,78%)

Για όλα τα τσιμεντοκονιάματα που παρασκευάστηκαν με τις παραπάνω άμμους προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

a) Για αντοχή κονιαμάτων 1 – 10MPa, (σχήμα 9.1), προέκυψε συσχέτιση θλιπτικής αντοχής και χρόνου διάτρησης $Y=0,055X+0,363$, με συντελεστή γραμμικής συσχέτισης $r=96,1\%$. Πρακτικά η ακρίβεια προσδιορισμού της αντοχής είναι περίπου 2MPa.

b) Για αντοχή κονιαμάτων 1 – 20MPa, (σχήμα 9.2) προέκυψε συσχέτιση αντοχής και χρόνου διάτρησης $Y=0,053X+0,471$, με συντελεστή γραμμικής συσχέτισης $r=98,4\%$. Πρακτικά, η ακρίβεια προσδιορισμού της αντοχής είναι περίπου 2MPa.



Σχήμα 9.1 Συσχέτιση χρόνου διάτρησης – αντοχής τσιμεντοκονιαμάτων με διαφορετικές άμμους. Επιβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής V=1,4στρ./λεπτό.

Παρατηρώντας τα διαγράμματα που προέκυψαν, συμπεραίνουμε ότι υπάρχει πολύ καλή γραμμική συσχέτιση του χρόνου διάτρησης με την αντοχή των κονιαμάτων, η οποία μάλιστα είναι ανεξάρτητη τόσο από το είδος της άμμου, (αφού χρησιμοποιήθηκαν 6 διαφορετικά είδη άμμου), όσο και από την κοκκομετρική διαβάθμιση της άμμου.

Συγκεκριμένα, για τα κονιάματα μικρής αντοχής, της τάξεως των 1 – 4MPa παρατηρείται πλήρης ταύτιση των σημείων στο διάγραμμα, ακόμα και για δοκίμια από σμύριδα που έχει πολύ μεγάλη σκληρότητα. Ωστόσο, καθώς ανεβαίνουμε στη βαθμίδα των αντοχών, διακρίνουμε μια πολύ ικανοποιητική γραμμική συσχέτιση μεταξύ του χρόνου συσχέτισης και της αντοχής των κονιαμάτων.

Στην περίπτωση κονιαμάτων μικρής αντοχής, δηλαδή, αντοχή μέχρι 4MPa, το τρυπάνι δεν σπάζει τους κόκκους της άμμου όταν τους συναντήσει, αλλά τους εκτοπίζει και προχωρά μέσω του τσιμέντου. Έτσι, ανεξάρτητα της κοκκομετρικής διαβάθμισης, καθώς και της πετρογραφικής σύστασης της περιεχόμενης άμμου, όλα τα δοκίμια απαιτούν τον ίδιο χρόνο για να διατρηθούν, όταν έχουν την ίδια αντοχή.

Ωστόσο, καθώς αυξάνεται η αντοχή, οι κόκκοι της άμμου είναι πολύ πιο ισχυρά δεμένοι με το τσιμέντο, οπότε και είναι πιο δύσκολη η αποκόλλησή τους από το τρυπάνι. Τα αποτελέσματα του σχήματος όμως μας δείχνουν ότι για αυτά τα χαρακτηριστικά διάτρησης, η πίεση που ασκεί το τρυπάνι εισχωρώντας στο δοκίμιο είναι μεγάλη, με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιείται ο χρόνος που κάνει το τρυπάνι να αποκολλήσει τον κόκκο από το τσιμέντο ή να τον θραύσει και να προχωρήσει.

Θα μπορούσαμε να σκεφτούμε ότι ο μηχανισμός αυτός της αποκόλλησης ή της θραύσης του κόκκου, εξαρτάται αποκλειστικά από την σκληρότητα της άμμου. Δηλαδή, όταν το τρυπάνι συναντά έναν κόκκο άμμου, αν είναι μαλακός τον σπάζει και προχωρά, αλλιώς αν η

σκληρότητα του είναι μεγάλη ώστε να μην είναι εύκολη η θραύση του, τον αποκολλά από το τσιμέντο.

Τέλος, υπάρχει μια μικρή απόκλιση από την ευθεία γραμμικής συσχέτισης, των δοκιμών από τσιμεντοπολτό. Εδώ παρατηρείται μια μικρή διαφοροποίηση που οφείλεται στην ομοιομορφία του υλικού. Λόγω της παντελούς έλλειψης άμμου, το τρυπάνι κατά την περιστροφή του αποτρίβει συνεχώς ομοιόμορφο υλικό, σε αντίθεση με τα κονιάματα που περιέχουν άμμο, οπότε απαιτείται χρόνος για να αποκολληθεί ο κόκκος από το συνδετικό υλικό που τον περιβάλλει, με αποτέλεσμα η απότριψη να συντελείται ταχύτερα.

**9.2.2 Μετρήσεις του χρόνου διάτρησης με επιβαλλόμενη δύναμη
P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής
V=4,2στρ./λεπτό.**

Η περίπτωση αυτή διαφοροποιείται από την πρώτη μόνο ως προς τον παράγοντα της ταχύτητας περιστροφής. Σε μια προσπάθεια να εξεταστεί η επίδραση της ταχύτητας στον χρόνο διάτρησης των κονιαμάτων, αυξήσαμε την ταχύτητα από 1,4στρ./λεπτό, σε 4,2στρ./λεπτό, (μέγιστη απόδοση μηχανήματος).

Εκτός βέβαια από την μελέτη αυτού του παράγοντα, η αλλαγή έγινε και για πρακτικούς λόγους. Επειδή με την αρχική ταχύτητα περιστροφής παίρνουμε πολύ μεγάλους χρόνους, για αντοχές κονιαμάτων μεγαλύτερες των 10MPa, κρίθηκε σκόπιμο να αυξήσουμε την ταχύτητα στο μέγιστο. Εξάλλου, η μέθοδος διάτρησης για να εφαρμοστεί στην πράξη θα πρέπει να παρουσιάζει μικρούς χρόνους διάτρησης.

Με τα παραπάνω χαρακτηριστικά διάτρησης εξετάστηκε η επιρροή των εξής χαρακτηριστικών της άμμου:

- Είδος άμμου.
- Απότριψη άμμου.
- Κοκκομετρική διαβάθμιση άμμου.

■ **Μέγεθος κόκκων άμμου.**

Για την περίπτωση II, χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 45 δοκίμια που παρασκευάστηκαν με 6 άμμους διαφορετικής προέλευσης, των οποίων είχε προσδιοριστεί η τιμή της απότριψης με τη συσκευή Deval. Συγκεκριμένα, έχουμε τις εξής άμμους:

- Άμμος 5, (W=30,25%)
- Άμμος 6, (W=43,52%)
- Άμμος 12, (W=15,82%)
- Άμμος 13, (W=15,17%)
- Άμμος 14, (W=19,90%)

Επίσης, παρασκευάστηκαν δοκίμια με την ίδια κοκκομετρική διαβάθμιση, το οποίο έγινε με ανασύνθεση της αρχικής τους κοκκοδιαβάθμισης, ώστε να έχουν όλες την σύνθεση της πιο λεπτόκοκκης (άμμος 4). Αναλυτικότερα έχουμε:

- Άμμος 5, (διαβάθμιση της άμμου 4), (W=48,95%)
- Άμμος 12, (διαβάθμιση της άμμου 4), (W=42,48%)
- Άμμος 16, (διαβάθμιση της άμμου 4), (W=51,01%)

Παρασκευάστηκαν επιπλέον δοκίμια από την ίδια άμμο άλλα με διαφορετική διαβάθμιση κόκκων, (μονόκοκκο υλικό). Εξετάζεται έτσι η επίδραση της κοκκομετρίας του υλικού στο χρόνο διάτρησης. Συγκεκριμένα έχουμε:

- Άμμος 6, (4.75 – 2.36)mm, (W=8,31%)
- Άμμος 6, (2.36 – 1.18)mm, (W=20,39%)
- Άμμος 6, (1.18 – 0.60)mm, (W=55,84%)
- Άμμος 6, (0.60 – 0.43)mm, (W=90,78%)

Τέλος, στη δοκιμή με αυτά τα χαρακτηριστικά υποβλήθηκαν και δοκίμια από τσιμεντοπολτό, (παντελής έλλειψη άμμου).

Από τις μετρήσεις με τα παραπάνω χαρακτηριστικά διάτρησης διαπιστώθηκε ότι η συσχέτιση της αντοχής με το χρόνο διάτρησης περιγράφεται και εδώ από την ίδια ευθεία για όλα τα είδη άμμου, (Σχήμα 9.3). Προέκυψε ευθύγραμμη συσχέτιση αντοχής – χρόνου

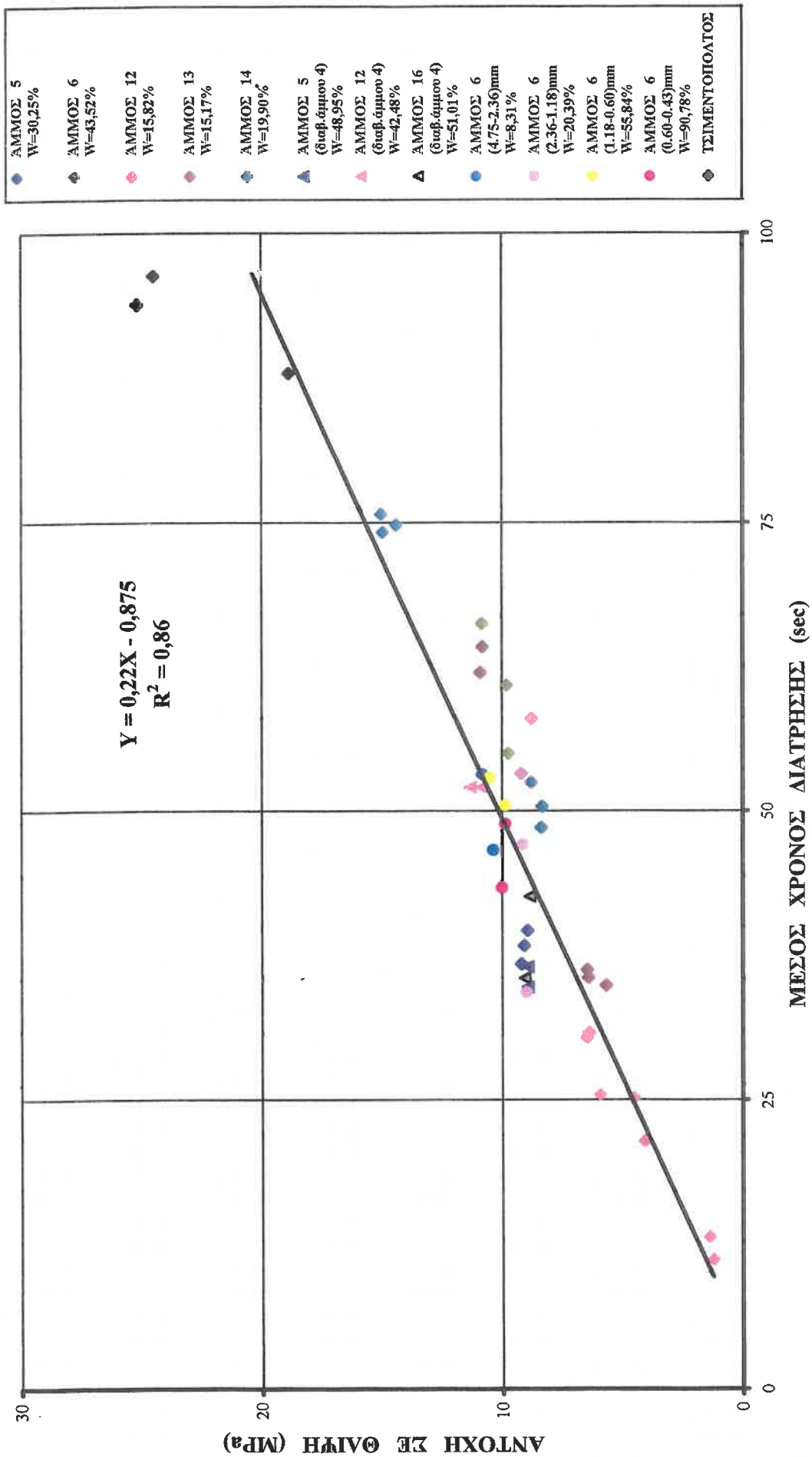
διάτρησης $Y=0,22X-0,875$ με συντελεστή γραμμικής συσχέτισης $r=92,8\%$. Πρακτικά η ακρίβεια προσδιορισμού της αντοχής είναι περίπου 3,5MPa.

Και σ' αυτήν την περίπτωση ισχύουν όλα όσα προαναφέρθηκαν στην αρχή. Στα ασθενή κονιάματα έχουμε πολύ καλή γραμμική συσχέτιση χρόνου διάτρησης με αντοχή, ενώ για αντοχές μεγαλύτερες των 10MPa υπάρχει μια μικρή απόκλιση από την ευθεία. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι δεν καθίσταται αναγκαία η γνώση των μηχανικών ιδιοτήτων της άμμου των κονιαμάτων.

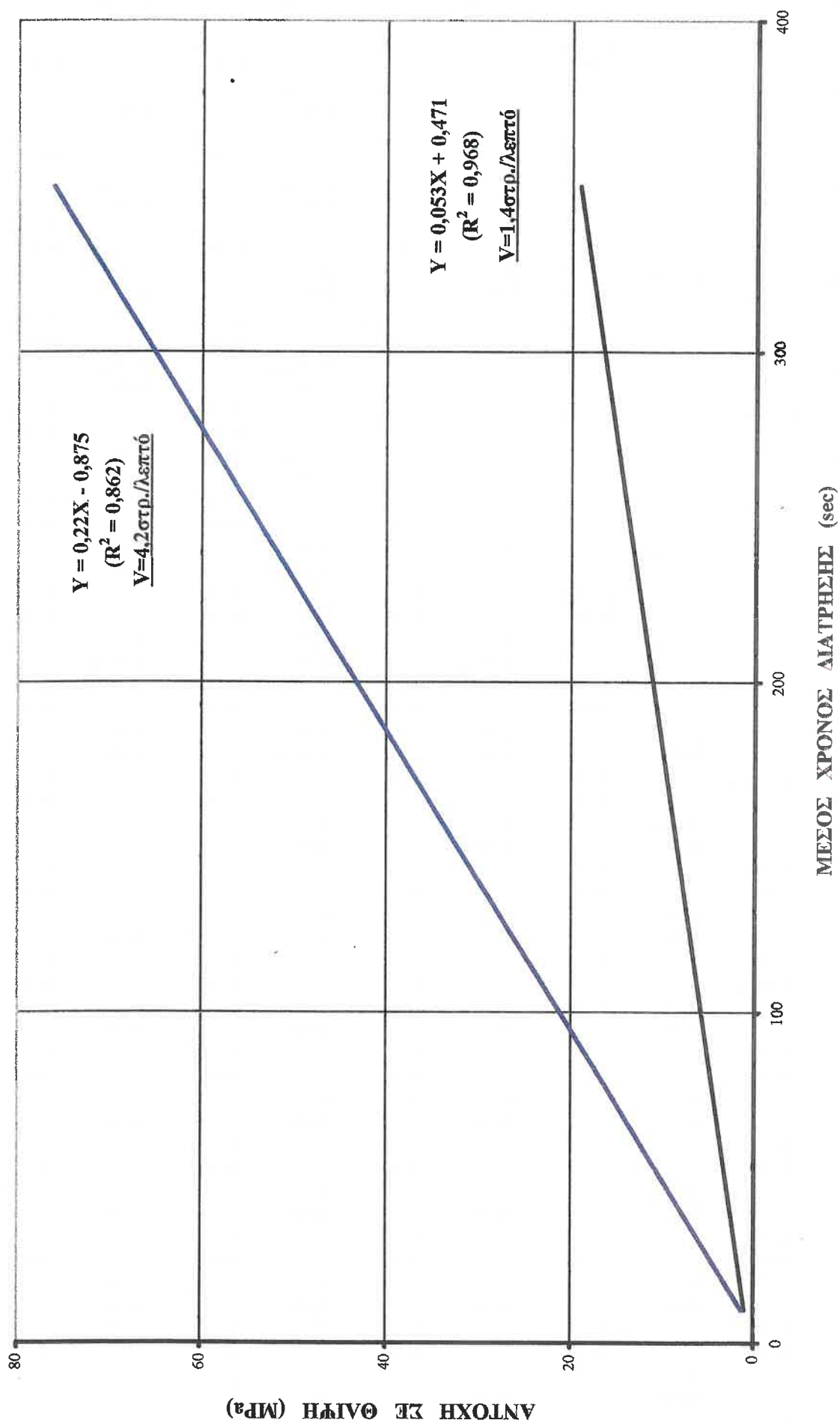
Ακόμα και για την ακραία περίπτωση των δοκιμίων από μονόκοκκο υλικό, όπου αναμενόταν διαφοροποίηση στο χρόνο διάτρησης, αποδεικνύεται ότι με αυτά τα χαρακτηριστικά διάτρησης ο χρόνος διάτρησης που απαιτείται για την θραύση ή την αποκόλληση των κόκκων της άμμου είναι παραπλήσιος.

Επίσης και εδώ, τα δοκίμια από τσιμεντοπολτό συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο, δηλαδή απαιτούν μικρότερο χρόνο διάτρησης για την ίδια αντοχή με άλλα κονιάματα.

Ωστόσο, η μεταβολή της ταχύτητας παρατηρούμε ότι μειώνει πάρα πολύ το χρόνο διάτρησης (Σχήμα 9.4). Π.χ. για αντοχή 10MPa απαιτείται τώρα χρόνος διάτρησης $t=50\text{sec}$, σε αντίθεση με τον αρχικό χρόνο που ήταν $t'=170\text{sec}$. Αυτό φαίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια στο Σχήμα 9.4 όπου συσχετίζονται οι δυο ευθείες μεταξύ τους. Ειδικότερα, αποδεικνύεται ότι τριπλασιασμός της ταχύτητας περιστροφής του τρυπανιού, μειώνει - υποτετραπλασιάζει - το χρόνο διάτρησης για την ίδια αντοχή. Αυτό έχει πολύ μεγάλη πρακτική αξία εφ' όσον μπορούμε να πετύχουμε τα ίδια αποτελέσματα σε πολύ μικρότερο χρόνο.



Σχήμα 9.3 Συσχέτιση χρόνου διάτρησης – αντοχής τσιμεντοκονιαμάτων με διαφορετικές άμμους. Επιβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm, ταχύτητα περιστροφής V=4,2στρ./λεπτό.



Σχήμα 9.4 Συσχέτιση χρόνου διάτρησης – αντοχής τιμεντοκονιωματών με διαφορετικές άμμους και διαφορετική ταχύτητα περιστροφής V. Επιβαλλόμενη δύναμη P=185 N, διάμετρος τρυπανιού D=4mm.

9.2.3 Μετρήσεις του χρόνου διάτρησης με επιβαλλόμενη δύναμη $P=64\text{ N}$, διάμετρο τρυπανιού $D=5\text{ mm}$, ταχύτητα περιστροφής $V=1,4\text{ στρ./λεπτό}$.

Εδώ μεταβάλλουμε τόσο την δύναμη που ασκείται στο δοκίμιο, όσο και την διάμετρο του τρυπανιού, ενώ παραμένει σταθερή η ταχύτητα περιστροφής σε σύγκριση με την περίπτωση Ι. Οι τροποποιήσεις αυτές στηρίχτηκαν σε συμπεράσματα προηγούμενης διπλωματικής εργασίας, σύμφωνα με την οποία με αυτά τα χαρακτηριστικά διάτρησης έχουμε διαφοροποίηση του χρόνου διάτρησης με την αντοχή, για διαφορετικά είδη άμμου.

Με τα παραπάνω χαρακτηριστικά διάτρησης εξετάστηκαν οι ακόλουθοι παράγοντες:

- **Είδος άμμου.**
- **Απότριψη άμμου.**

Για την πραγματοποίηση αυτής της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν 5 άμμοι διαφορετικής προέλευσης και με διαφορετική τιμή κατά την απότρίψή τους. Ειδικότερα έχουμε:

- Άμμος 11 (W=30,89%)
- Άμμος 12 (W=15,82%)
- Άμμος 13 (W=15,17%)
- Άμμος 14 (W=19,90%)
- Άμμος 15 (W=50,00%)

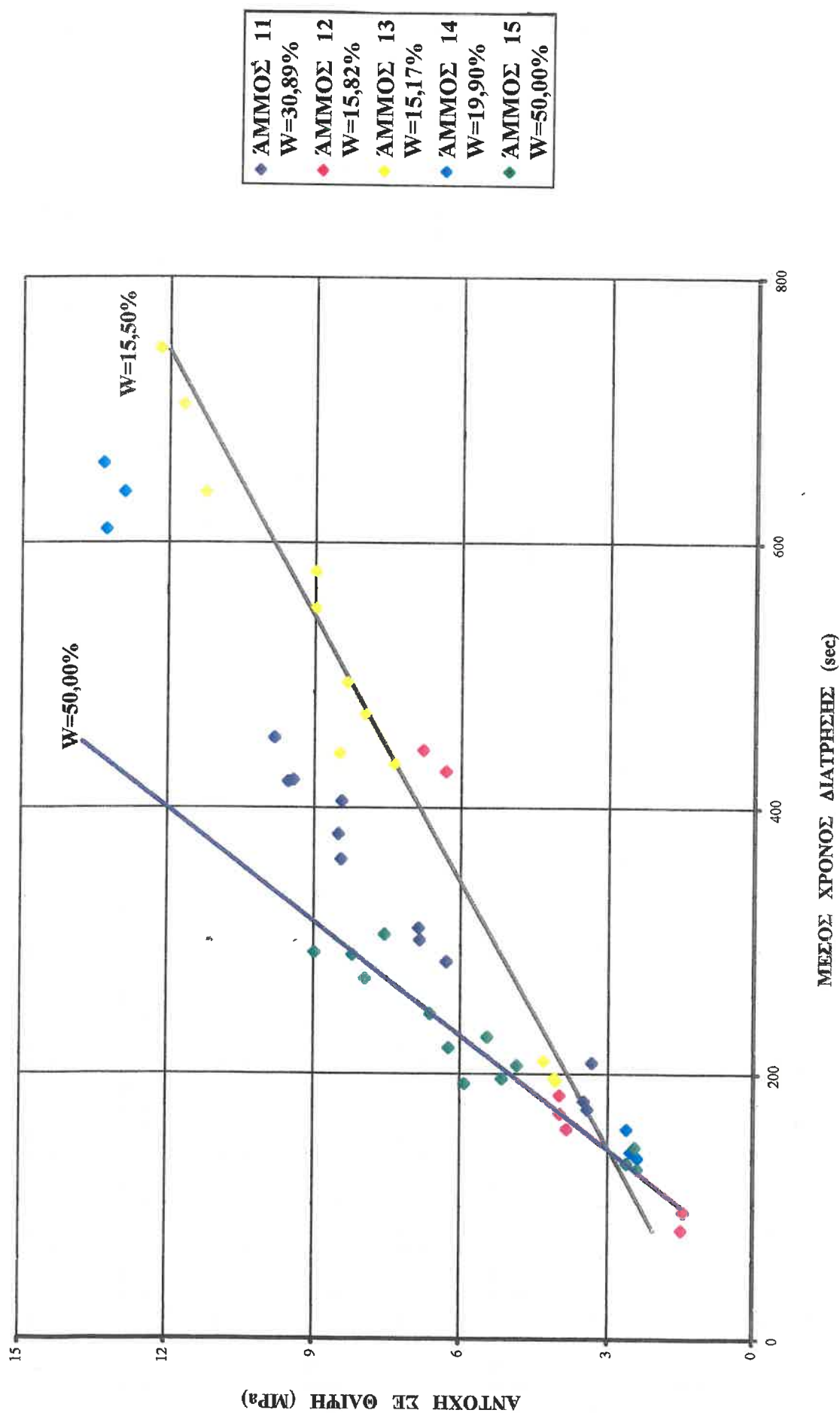
Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων διαπιστώθηκε ότι η συσχέτιση της αντοχής με το χρόνο διάτρησης περιγράφεται από διαφορετικές ευθείες για τα παραπάνω είδη της άμμου που έχουν διαφορετική απότριψη. Επιβεβαιώνονται έτσι τα συμπεράσματα της προηγούμενης διπλωματικής εργασίας[18].

Για τα τσιμεντοκονιάματα που παρασκευάστηκαν με τις χονδρές άμμους 12 και 13 (Σχήμα 9.5) και έχουν παραπλήσια τιμή απότριψης, προέκυψε ευθύγραμμη συσχέτιση αντοχής – χρόνου διάτρησης

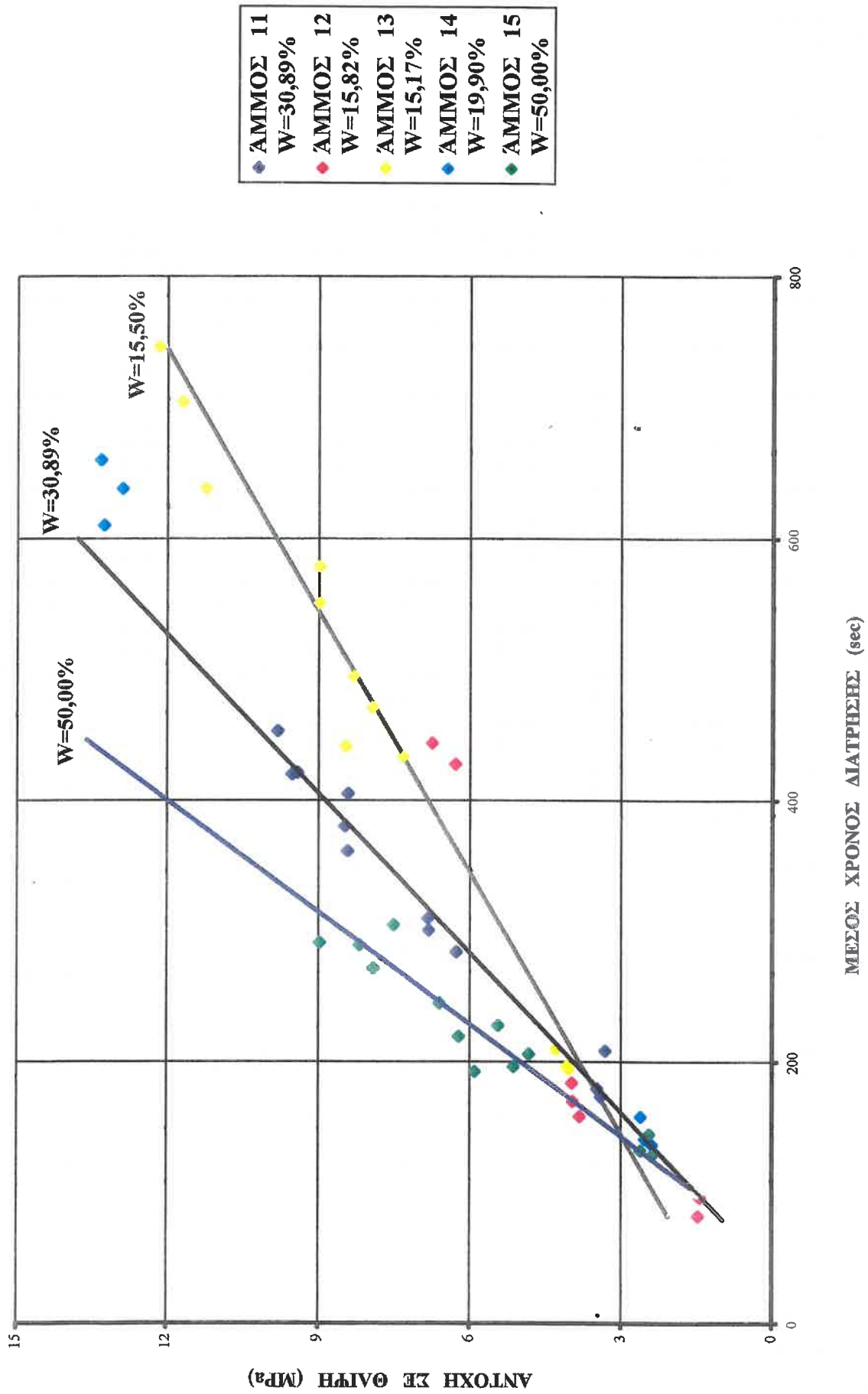
$Y=0,015X+0,827$, με συντελεστή γραμμικής συσχέτισης **$r=98,5\%$** . Πρακτικά, η ακρίβεια προσδιορισμού της αντοχής είναι περίπου 1,7MPa.

Για τα τσιμεντοκονιάματα που παρασκευάστηκαν με λεπτή άμμο 15 (Σχήμα 9.5), προέκυψε ευθύγραμμη συσχέτιση αντοχής – χρόνου διάτρησης **$Y=0,035X-2,020$** , με συντελεστή γραμμικής συσχέτισης **$r=96,0\%$** . Πρακτικά, η ακρίβεια προσδιορισμού της αντοχής είναι περίπου 1MPa.

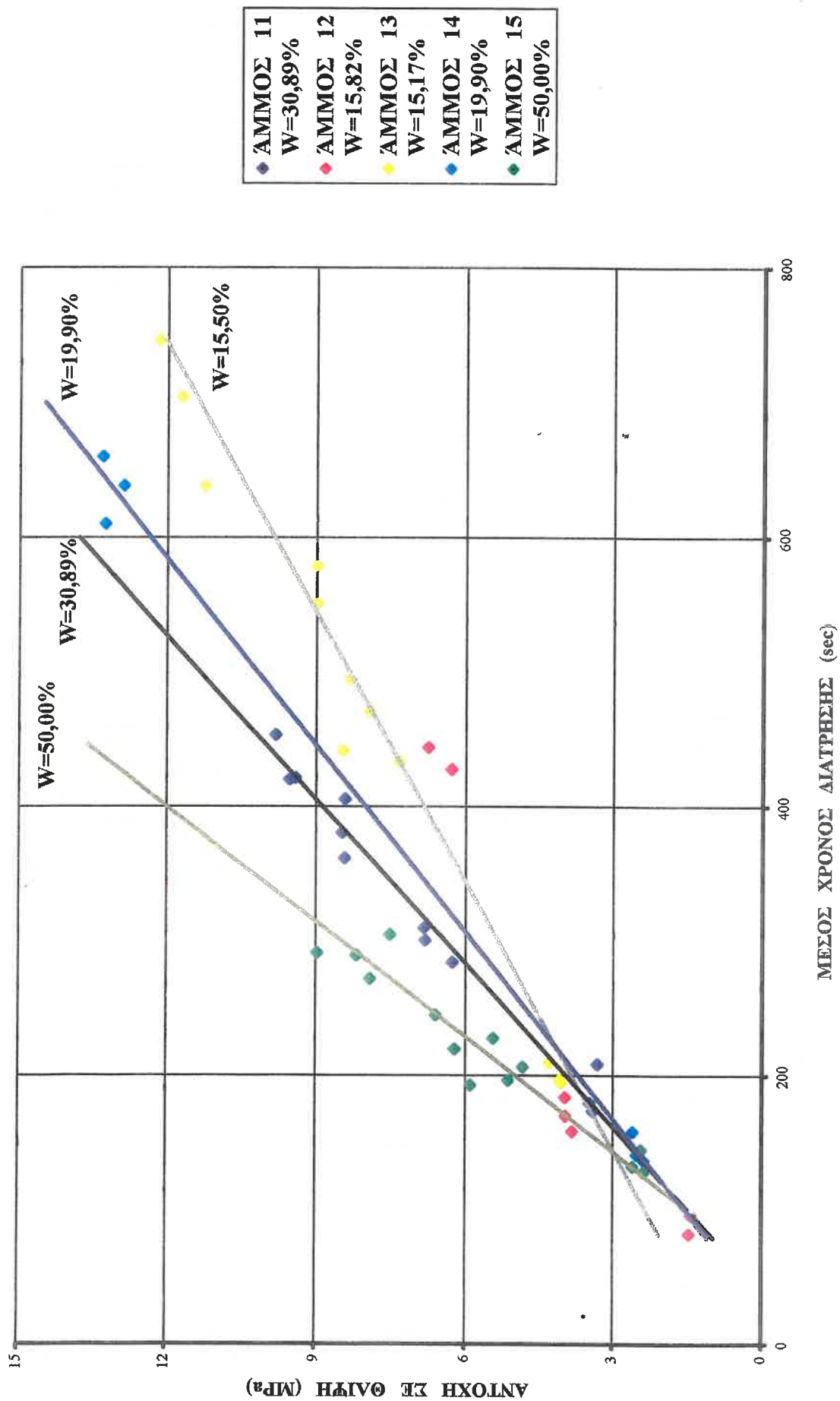
Τέλος, για τα υπόλοιπα δοκίμια που παρασκευάστηκαν με τις μέσες άμμους 11 και 14, παρατηρούμε ότι βρίσκονται μεταξύ των δυο αυτών ευθειών και θα μπορούσαν κάλλιστα να περιγραφούν από διαφορετικές ευθείες. Για τα τσιμεντοκονιάματα που παρασκευάστηκαν με άμμο 11 (Σχήμα 9.6), προέκυψε ευθύγραμμη συσχέτιση αντοχής – χρόνου διάτρησης **$Y=0,025X-0,975$** , με συντελεστή γραμμικής συσχέτισης **$r=98,7\%$** . Τέλος, για τα τσιμεντοκονιάματα με άμμο 14 (Σχήμα 9.7), προέκυψε ευθύγραμμη συσχέτιση **$Y=0,022X-0,624$** , με συντελεστή **$r=99,8\%$** .



Σχήμα 9.5 Συσχέτιση χρόνου διάτρησης – αντοχής τσιμεντοκονιαμάτων με διαφορετικές άμμους. Επιβαλλόμενη δύναμη $P=64\text{ N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=5\text{ mm}$, ταχύτητα περιστροφής $V=1,4\text{ στρ./λεπτό}$.



Σχήμα 9.6 Συσχέτιση χρόνου διάτρησης – αντοχής τσιμεντοκονιαμάτων με διαφορετικές άμμους. Επιβαλλόμενη δύναμη $P=64\text{ N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=5\text{ mm}$, ταχύτητα περιστροφής $V=1,4\text{ στρ./λεπτό}$.



Σχήμα 9.7 Συσχέτιση χρόνου διάρρηξης - αντοχής τσιμεντοκονιαμάτων με διαφορετικές άμμους. Επιβαλλόμενη δύναμη $P=64\text{ N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=5\text{ mm}$, ταχύτητα περιστροφής $V=1,4\text{ στρ./λεπτό}$.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω διαγράμματα ο χρόνος διάτρησης, γι' αυτά τα χαρακτηριστικά διάτρησης, μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος της άμμου. Οι διαφορετικής προέλευσης άμμοι που υποβλήθηκαν σ' αυτή τη δοκιμή παρουσιάζουν διαφορετική απότριψη με τη συσκευή Deval.

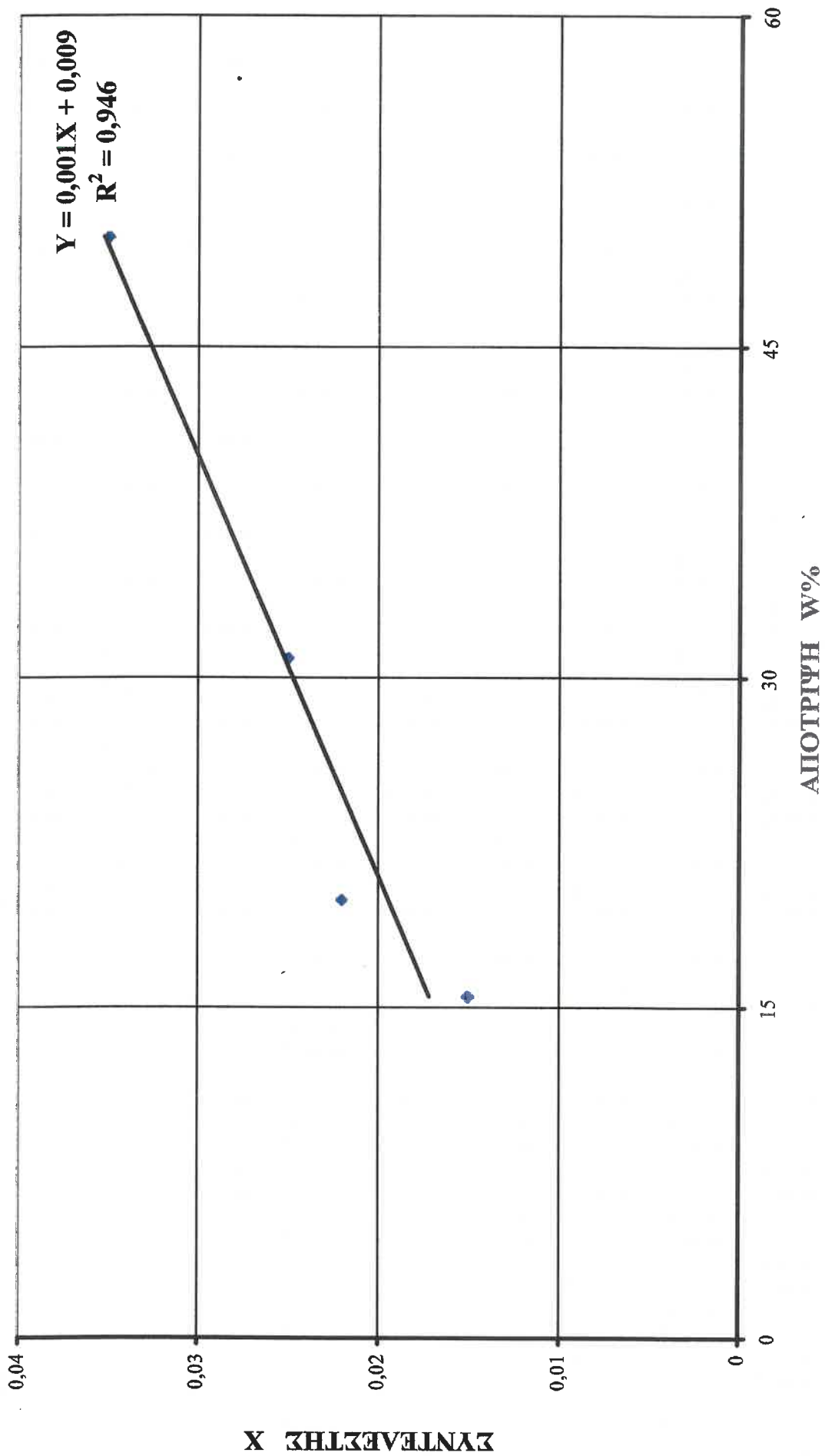
Αυτό σημαίνει αφ' ενός μεν άμμους με διαφορετική διαβάθμιση (χονδρόκοκκες, λεπτόκοκκες, μέσες), αφ' ετέρου δε άμμους διαφορετικής πετρογραφικής σύστασης. Παρατηρώντας τους χρόνους διάτρησης, προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα κονιάματα με μεγάλο ποσοστό χονδρών κόκκων και επομένως μικρή τιμή απότριψης (π.χ. $W=15\%$), δίνουν και μεγάλους χρόνους διάτρησης. Αντίθετα όσο πιο λεπτόκοκκη είναι η περιεχόμενη σε ένα κονίαμα άμμος, δηλαδή όσο πιο μεγάλη τιμή απότριψης έχει, τόσο πιο μικροί είναι οι χρόνοι διάτρησης του κονιάματος.

Ο μηχανισμός αυτός εξηγείται ως εξής: Στα κονιάματα με λεπτόκοκκο υλικό απαιτείται μικρότερος χρόνος για διάτρηση αφού η πιθανότητα να πέσει το τρυπάνι επάνω σε μεγάλο κόκκο είναι μικρή. Σε αντίθεση με τα κονιάματα που περιέχουν χονδρόκοκκο υλικό, οπότε το τρυπάνι συναντά πολλούς μεγάλους κόκκους και χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να τους αποτρίψει.

Το γεγονός ότι η συσχέτιση του χρόνου διάτρησης με την αντοχή περιγράφεται από ξεχωριστές ευθείες, δηλώνει ότι με αυτά τα χαρακτηριστικά διάτρησης, όταν το τρυπάνι συναντήσει έναν κόκκο άμμου πρέπει να τον θραύσει για να προχωρήσει. Δηλαδή για ισχυρά κονιάματα δεν παρουσιάζεται το φαινόμενο της αποκόλλησης των κόκκων από το τσιμέντο, όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις, εφ' όσον και η δύναμη είναι πολύ μικρότερη και το τρυπάνι πιο μεγάλο. Παρόλα αυτά στα ασθενή κονιάματα, ανεξάρτητα των μηχανικών ιδιοτήτων της άμμου, το τρυπάνι εκτοπίζει τους κόκκους και γι' αυτό για μικρές αντοχές όλα τα σημεία ανήκουν σε μια ευθεία. Άρα στις

μικρές αντοχές η απότριψη συντελείται κατά κύριο λόγο με αποκόλληση μεγάλου ποσοστού αδρανών και όχι με απότρίψή τους.

Η μεταβολή του χρόνου διάτρησης και κατά συνέπεια της αντοχής των τσιμεντοκονιαμάτων σε σχέση με την απότριψη των κόκκων της περιεχόμενης άμμου, παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.8. Ο συντελεστής του X είναι η εφαπτομένη της γωνίας που σχηματίζει η κάθε ευθεία με την οριζόντια και εκφράζει την ανά μονάδα χρόνου μεταβολή της αντοχής των τσιμεντοκονιαμάτων. Και εδώ διαπιστώνουμε ότι αυξανόμενης της τιμής απότρίψης της άμμου, αυξάνεται ο συντελεστής του X , δηλαδή, μειώνεται ο χρόνος διάτρησης για την ίδια τιμή αντοχής τσιμεντοκονιαμάτων.



Σχήμα 9.8 Συσχέτιση απότριψης της άμμου των τσιμεντοκονιαμάτων, με την ανά μονάδα χρόνου μεταβολή της αντοχής τους (συντελεστής Χ).

9.2.4 ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑ ΈΡΕΥΝΑ: Συσχέτιση του χρόνου διάτρησης με την φθορά κατά την απότριψη της άμμου.

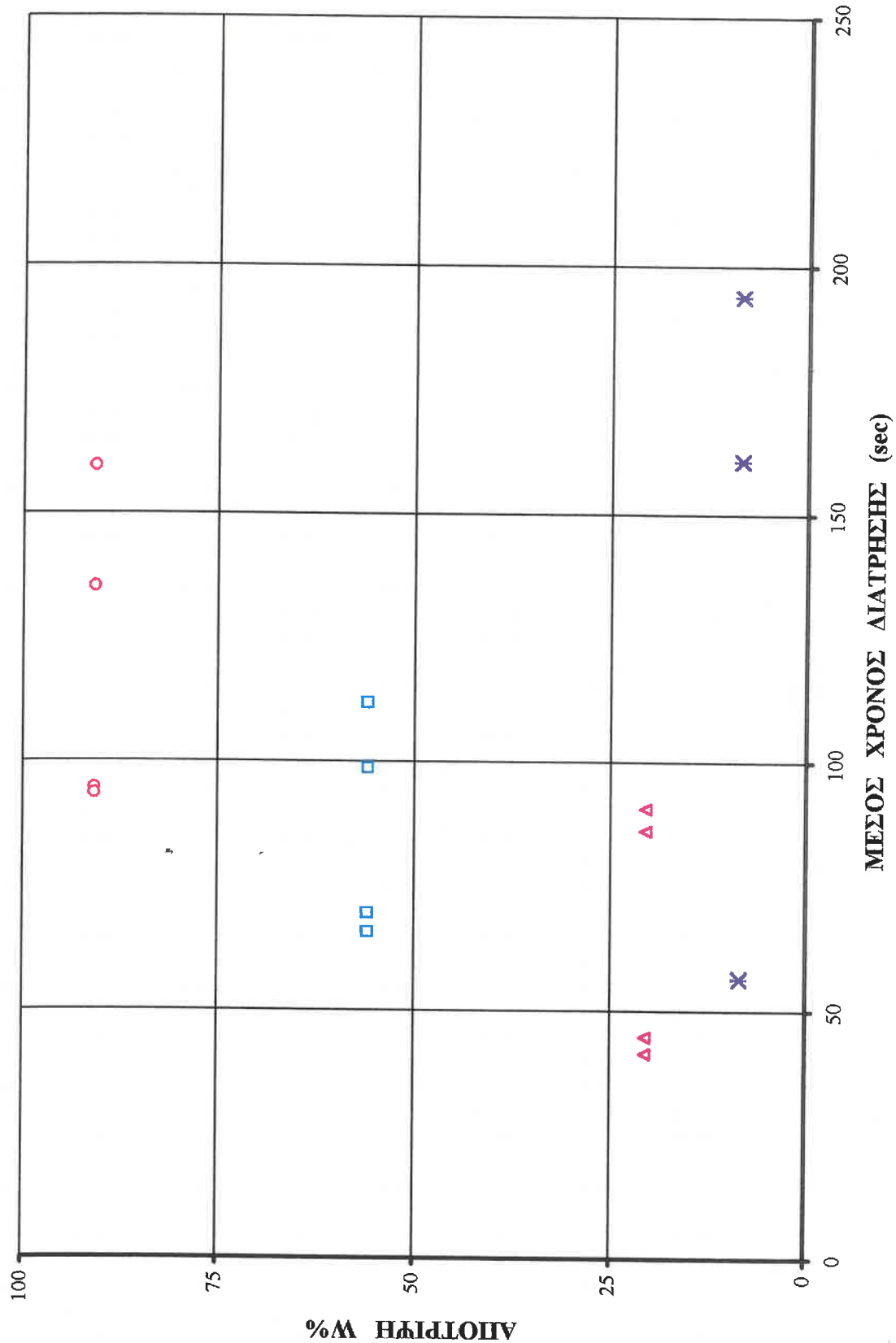
Για μια περαιτέρω διερεύνηση της επίδρασης της απότριψης της άμμου με τη συσκευή Deval, στο χρόνο διάτρησης των κονιαμάτων, πραγματοποιήθηκε η ακόλουθη έρευνα:

Παρασκευάστηκαν δοκίμια από την ίδια άμμο (άμμος 6), με διαφορετική κοκκομετρική διαβάθμιση. Κάθε μίγμα περιείχε μόνο κόκκους του ίδιου μεγέθους (μονόκοκκο υλικό). Συγκεκριμένα οι διαβαθμίσεις κόκκων ήταν οι ακόλουθες:

- Άμμος 6, (4.75 – 2.36)mm, (W=8,31%)
- Άμμος 6, (2.36 – 1.18)mm, (W=20,39%)
- Άμμος 6, (1.18 – 0.60)mm, (W=55,84%)
- Άμμος 6, (0.60 – 0.43)mm, (W=90,78%)

Για όλες τις διαβαθμίσεις των κόκκων έχει προσδιοριστεί η αντοχή σε τριβή κατά την τροποποιημένη μέθοδο Deval και οι τιμές είναι οι παραπάνω. Παρατηρούμε έτσι ότι οι χονδροί κόκκοι παρουσιάζουν μικρή φθορά απότριψης, η οποία αυξάνεται όσο μειώνεται το μέγεθος των κόκκων. Έτσι, οι πολύ λεπτοί κόκκοι της άμμου έχουν την μεγαλύτερη τιμή απότριψης.

Όλα τα δοκίμια υποβλήθηκαν στη μέθοδο της διάτρησης με επιβαλλόμενη δύναμη $P=185\text{ N}$, διάμετρος τρυπανιού $D=4\text{ mm}$, ταχύτητα περιστροφής $V=1,4\text{ στρ./λεπτό}$. Η συσχέτιση της απότριψης με το χρόνο διάτρησης φαίνεται στο Σχήμα 9.9.



Σχήμα 9.9 Συσχέτιση χρόνου διάτρησης των τσιμεντοκονιαμάτων με την απόδοση της περιεχόμενης άμμου.

Μελετώντας τη συσχέτιση για τα ασθενή κονιάματα, δηλαδή αυτά που έχουν μέση αντοχή 3,44MPa εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι χονδροί κόκκοι ενώ έχουν τη μικρότερη απότριψη, έχουν το μικρότερο χρόνο διάτρησης. Άρα, στις μικρές αντοχές το τρυπάνι αποκολλά τον χονδρό κόκκο και εισχωρεί πιο γρήγορα στο δοκίμιο. Αντίθετα, οι λεπτοί κόκκοι απαιτούν το μεγαλύτερο χρόνο διάτρησης. Το γεγονός αυτό εξηγείται με το φαινόμενο της αποκόλλησης των κόκκων από το τρυπάνι για μικρές αντοχές οπότε οι δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ κόκκων και τσιμέντου είναι πολύ μικρές. Ένας δεύτερος λόγος που εξηγεί αυτό το φαινόμενο είναι το γεγονός ότι οι λεπτοί κόκκοι παρουσιάζουν μεγαλύτερη συνάφεια με το συνδετικό υλικό που τους περιβάλλει και αναπτύσσουν πιο ισχυρές δυνάμεις.

Στα κονιάματα μεγαλύτερων αντοχών που έχουν μέση αντοχή 8,12MPa έχουμε αφ' ενός μεν μεγαλύτερους χρόνους διάτρησης για όλα τα τσιμεντοκονιάματα, όμως πολύ μεγάλη διαφοροποίηση για τους χονδρούς κόκκους. Εύλογα λοιπόν συμπεραίνουμε ότι τώρα το τρυπάνι δεν μπορεί να αποκολλήσει τον κόκκο από το τσιμέντο, λόγω ισχυρών δυνάμεων που έχουν αναπτυχθεί, αλλά τον θραύει.

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

10.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΥΡΙΑΣ ΈΡΕΥΝΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε σε 220 δοκίμια τσιμεντοκονιαμάτων που παρασκευάστηκαν με διαφορετικές άμμους και εξετάστηκε η επίδραση του είδους της άμμου, της απότριψής της, καθώς και η επιρροή της κοκκομετρικής διαβάθμισης και του μεγέθους των κόκκων. Από τα αποτελέσματα των δοκιμών των παραπάνω υλικών μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

I. Χαρακτηριστικά διάτρησης: $P=185\text{ N}$, $D=4\text{mm}$, $V=1.4\text{στρ./λεπτό.}$

Διερευνήθηκε η επιρροή των ακόλουθων χαρακτηριστικών της άμμου:

- ♦ Είδος άμμου.
- ♦ Απότριψη άμμου (W%).
- ♦ Κοκκομετρική διαβάθμιση.
- ♦ Μέγεθος κόκκου.

Ανεξάρτητα από τα χαρακτηριστικά της άμμου που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των κονιαμάτων και για τις ακραίες περιπτώσεις, προκύπτει ότι υπάρχει μοναδική ευθύγραμμη συσχέτιση χρόνου διάτρησης – αντοχής.

II. Χαρακτηριστικά διάτρησης: $P=185\text{ N}$, $D=4\text{mm}$, $V=4.2\text{στρ./λεπτό.}$

Εξετάστηκε η επιρροή των εξής χαρακτηριστικών της άμμου:

- ♦ Είδος άμμου.
- ♦ Απότριψη άμμου (W%).
- ♦ Κοκκομετρική διαβάθμιση.
- ♦ Μέγεθος κόκκου.

Και εδώ προέκυψε μοναδική ευθύγραμμη συσχέτιση αντοχής – χρόνου διάτρησης, ανεξάρτητα από τα χαρακτηριστικά της άμμου και με μια μικρή απόκλιση των δοκιμών από τσιμεντοπολτό για πολύ μεγάλες αντοχές (30MPa). Αύξηση της ταχύτητας από 1.4στρ./λεπτό, μειώνει – υποτετραπλασιάζει – το χρόνο διάτρησης.

III. Χαρακτηριστικά διάτρησης: $P=64\text{ N}$, $D=5\text{mm}$, $V=4.2\text{στρ./λεπτό}$.

Διερευνήθηκε η επιρροή των ακόλουθων χαρακτηριστικών της άμμου:

- ♦ Είδος άμμου.
- ♦ Απότριψη άμμου (W%).

Στην περίπτωση αυτή τα χαρακτηριστικά της άμμου επηρεάζουν το χρόνο διάτρησης, επιφέροντας έτσι διαφοροποίηση στη γραμμική συσχέτιση. Ειδικότερα, για τα 4 είδη άμμου που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την προέλευση, όσο και ως προς την απότριψη, προέκυψαν 4 ξεχωριστές ευθείες. Οι άμμοι με την μικρότερη τιμή απότριψης απαιτούσαν μεγαλύτερο χρόνο διάτρησης. Ωστόσο, όλες οι ευθείες φαίνεται ότι ταυτίζονται όταν τα επίπεδα των αντοχών είναι μικρότερα από 4MPa, οπότε για τις αντοχές αυτές ο χρόνος διάτρησης είναι ανεξάρτητος από τα χαρακτηριστικά της περιεχόμενης άμμου.

Όλα τα τσιμεντοκονιάματα έδωσαν πολύ καλούς συντελεστές γραμμικής συσχέτισης, μεγαλύτερους από 90%. Οι συντελεστές μεταβλητότητας των αντοχών των δοκιμών είναι πολύ καλοί, σε αντίθεση με εκείνους των χρόνων διάτρησης όπου έδειξαν ότι υπάρχει μεγάλη διασπορά αποτελεσμάτων. Επειδή όμως η μέθοδος δεν επιφέρει σημαντική φθορά στο κονίαμα, η δοκιμή μπορεί να επαναληφθεί πιο πολλές φορές με σκοπό τη μείωση της διασποράς και την αύξηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων.

10.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑΣ ΈΡΕΥΝΑΣ

Από τη δευτερεύουσα έρευνα που πραγματοποιήθηκε για την διερεύνηση της απότριψης της άμμου, προέκυψε ότι η συσκευή Deval προσδιορίζει με πολύ ικανοποιητικό τρόπο την αντοχή σε τριβή και κρούση των αδρανών, μεγέθους κάτω των 4mm. Τα χαρακτηριστικά της δοκιμής καθορίστηκαν σε αριθμό περιστροφών $N=2000$ και βάρος σφαιρών $M=3\text{kg}$, ενώ ορίσαμε το κόσκινο No40 (0.43mm), ως το όριο εκείνο που μου βγάζει έναν ικανοποιητικό δείκτη απότριψης για κάθε άμμο.

Κατά τη δοκιμή απότριψης οι κόκκοι της άμμου σπάνε σε επιμέρους κόκκους, ενώ ένα μικρό τμήμα δημιουργεί πολύ λεπτόκοκκο υλικό. Άρα ο μηχανισμός της απότριψης περιέχει 2 φαινόμενα:

1. Φαινόμενο αποκοπής τεμαχίων.
2. Φαινόμενο επιφανειακής απότριψης και δημιουργίας πολύ λεπτόκοκκου υλικού (σκόνη).

Ο προσδιορισμός της φθοράς απότριψης με τη μέθοδο μέτρησης των εμβαδών, αν και αποτελεί έναν πολύ αντιπροσωπευτικό τρόπο για να παρακολουθήσουμε την απότριψη όλων των κόκκων του υλικού, δεν παρουσίασε σωστά αποτελέσματα. Αυτό οφείλεται στο ότι η μέθοδος απαιτεί μεγάλη ακρίβεια και θα πρέπει να εφαρμοστεί σε μεγαλύτερο αριθμό άμμων.

10.3 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΗ ΈΡΕΥΝΑ

Όσον αφορά τη μέθοδο της διάτρησης, προτείνεται η εξής συμπληρωματική έρευνα:

- ✓ Επειδή η έρευνα πάνω στη μέτρηση του χρόνου διάτρησης παρουσίασε πολύ καλά αποτελέσματα σε μεγάλες ταχύτητες περιστροφής, κρίνεται σκόπιμο να τροποποιηθεί η συσκευή της μέτρησης του χρόνου διάτρησης έτσι ώστε να μπορεί να δώσει μεγαλύτερες ταχύτητες από τις υπάρχουσες. Έτσι γίνεται και πιο πρακτική η μέθοδος της διάτρησης.
- ✓ Δεδομένου ότι για το συγκεκριμένο θέμα δεν υπάρχουν αξιόπιστες μέθοδοι, θα πρέπει να ελεγχθεί η καταλληλότητα της δοκιμής στην εκτίμηση της αντοχής κονιαμάτων αρχαίων μνημείων και άλλων παλαιών κατασκευών. Απαιτείται η ανάπτυξη μιας φορητής συσκευής για επιτόπου μέτρηση της αντοχής των κονιαμάτων.
- ✓ Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η μέτρηση της ενέργειας κατά Cucci – Moretti. Προτείνεται η εφαρμογή στην πράξη αυτής της μεθόδου, καθώς και η σύγκρισή της με την μέθοδο του χρόνου διάτρησης.

Όσον αφορά τη μέθοδο της απότριψης της άμμου, προτείνονται τα ακόλουθα:

- ✓ Διερεύνηση της επιρροής του νερού στην μέθοδο της απότριψης με τη συσκευή Deval.
- ✓ Επανάληψη των πειραμάτων προσδιορισμού της απότριψης με τη μέθοδο της εμβαδομέτρησης.
- ✓ Προσδιορισμός της απότριψης της άμμου με την συσκευή micro – Deval, η οποία θεωρείται πιο κατάλληλη για αδρανή μεγέθους κάτω των 6,3mm.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. **Θ.Π. Τάσσιος**, "Η μηχανική της τοιχοποιίας", Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1996.
 - [2]. **A.W. Henry, B.R. Sinha and S.R. Davies**, "Desing of masonry structures", 1997.
 - [3]. **Σεμινάριο** "Αποκατάστασης βλαβών κτιρίων από σεισμούς", Ρόδος, 4 – 5 Μαΐου 1990.
 - [4]. **Thomas Telford**, "Reinforced and prestressed masonry", L.t.d. London 1982.
 - [5]. "Κανονισμός τσιμέντων για έργα από σκυρόδεμα".
 - [6]. **Ελευθέριος Σταθάκης – Χρίστ. Λαγγιώτης**, "Τα δομικά υλικά και οι εφαρμογές τους", Τόμος 1^{ος}, Αθήνα 1985.
 - [7]. **Αιμίλιος Κορωναίος**, "Τεχνικά υλικά", Τόμος 1^{ος}, Αθήνα 1985.
 - [8]. **Κ. Παπαδημητρίου**, "Τεχνολογία δομικών υλικών", Τόμος 1^{ος}, 1962.
 - [9]. **Γ. Καλκάνη – Ι. Χατήρη**, "Τεχνολογία υλικών", 1992.
 - [10]. **Χρήστος Οικονόμου**, "Τεχνολογία του σκυροδέματος", Αθήνα 1993.
 - [11]. **Στ. Κόλιας**, "Υπενθύμιση βασικών αρχών τεχνολογίας σκυροδέματος" Αθήνα 1996.
 - [12]. **Δημ. Πατσαβούδης**, "Τεχνολογία δομικών υλικών", Αθήνα 1977.
 - [13]. **Natale Cucci – Ricardo Barsotti**, "A non destructive technique for the determination of mortar load capacity in city", Materials and Structures vol.27 1994.
 - [14]. **T. Tassios – C. Vahliotis – C. Spanos**, "In city strength measurements of masonry mortars", Athens 1989.
 - [15]. **St. Kolias**, "Investigation of the possibility of estimating concrete strength by porosity measurements", Materials and Structures vol.27, 1994.
-

- [16]. **Κ. Παπαδόπουλος**, "Διερεύνηση της εκτίμησης της αντοχής επί τόπου ασβεστοκονιαμάτων και ποζολανο-ασβεστοκονιαμάτων με μέτρηση του πορώδους", Αθήνα 1996.
- [17]. **Χ. Δούμα**, "Διερεύνηση εκτίμησης της αντοχής επί τόπου κονιαμάτων με μέτρηση του χρόνου διάτρησης και με μέτρηση του πορώδους", Αθήνα 1996.
- [18]. **Ο. Στούκα**, "Η επιρροή του είδους της άμμου στην εκτίμηση της αντοχής τσιμεντοκονιαμάτων με τη μέθοδο της διάτρησης", Αθήνα 1998.
- [19]. **Χριστοδούλου – Λαγγιώτη**, "Τεχνολογία υλικών οδοποιίας", Τόμος 1^{ος}, Αθήνα 1960.
- [20]. **Ιωαν. Α. Δαπόντε**, "Παραδόσεις τεχνολογίας δομικών υλικών", Τόμος 2^{ος}, Θεσσαλονίκη 1989.
- [21]. **Claude Tourenq – André Denis**, "Les essais de granulats", Rapport de recherche, L.P.C. No114, Juillet 1982.
- [22]. **DUNOD**, "Essai d'usure micro – Deval", Mode opératoires du laboratoire central des ponts et chaussées, Paris 1973.
- [23]. **DUNOD**, "Essai Los Angeles", Mode opératoire du laboratoire central des ponts et chaussées, 1970.
- [24]. **N F P18 – 577**, "Essai Deval", Granulats, Avril 1979.
- [25]. **N F P18 – 573**, "Essai Los Angeles", Granulats, Octobre 1978.
- [26]. **N F P18 – 572**, "Essai d'usure Micro - Deval", Granulats, Octobre 1978.
- [27]. **CONTROLS**, "Testing equipment for the construction industry", General catalogue, 4th edition.
-