



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)

"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ"

**Επίπτωση των αργλικών προσμίξεων
άμμου σκυροδέματος στις μηχανικές
ιδιότητες του**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΑΝΙΗΛ Χ. ΚΑΖΑΝΤΖΙΔΗ

Διπλωματούχου Μηχανικού Υλικών Π.Ι.

ΕΠΙΒΛΕΨΗ:

Σ. Τσίμας

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Φεβρουάριος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)

“ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ”

**ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΠΡΟΣΜΙΞΕΩΝ
ΑΜΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΤΙΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΑΝΙΗΛ Χ.ΚΑΖΑΝΤΖΙΔΗ

Διπλωματούχου Μηχανικού Υλικών Π.Ι

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

- | | |
|---|----------|
| 1. Τσίμας Σταμάτης, Καθηγητής Ε.Μ.Π., | Υπογραφή |
| 2. Τσακαλάκης Κωνσταντίνος, Καθηγητής Ε.Μ.Π., | Υπογραφή |
| 3. Μπαδογιάννης Ευστράτιος, Λέκτορας Ε.Μ.Π., | Υπογραφή |

Αθήνα, Φεβρουάριος 2016

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία διεκπεραιώθηκε στο χώρο των εργαστηρίων του Τμήματος Τεχνολογίας Σκυροδέματος στις εγκαταστάσεις του εργοστασίου του Ομίλου ΤΙΤΑΝ, το οποίο εδρεύει στο Καμάρι Βοιωτίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά για την ανάθεση, την απαιτούμενη καθοδήγηση, καθώς και για την διάθεση που υπέδειξε καθ' όλη την διάρκεια έως το τέλος της παρούσας εργασίας ο επιβλέπων καθηγητής μου κ. Σταμάτης Τσίμας, Καθηγητής του Τομέα Χημικών Επιστημών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π.).

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στον κ. Πιστοφίδη Νικόλαο, χωρίς την βοήθεια και τις πολύτιμες υποδείξεις του οποίου η υλοποίηση της εργασίας θα ήταν αδύνατη. Επιπροσθέτως, στους αξιόλογους και αξιότιμους κυρίους του Εργαστηρίου Τεχνολογίας Σκυροδέματος, κ. Κουρή Δημήτριο και κ. Μπολοβίνο Δημήτριο για την άψογη φιλοξενία τους και για το άριστο κλίμα συνεργασίας, που δημιουργήθηκε όλο αυτό το διάστημα παραμονής μου, στο χώρο εργασίας τους.

Άψογη συνεργασία αναπτύχθηκε και με τους αγαπητούς κ. Αγαθή Αθανάσιο και κ. Παπαδάκη Νικόλαο κατά το διάστημα εκπόνησης των μετρήσεων αντοχής των κονιαμάτων στο Εργαστήριο Φυσικών Δοκιμών τους οποίους ευχαριστώ θερμά.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Κυπριώτη-Περιφάνα Γεώργιο, του οποίου η καθοδήγηση και η βοήθεια καθόλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας ήταν κάτι παραπάνω από καθοριστική.

Περίληψη

Η προέλευση και το ποσοστό της παιπάλης των αδρανών συστατικών επηρεάζουν σημαντικά τις ιδιότητες του σκυροδέματος που παρασκευάζεται με αυτά. Καίτοι είναι γνωστή η γενικότερη επίπτωση των αργιλικών προσμίξεων, η παρούσα μελέτη εστιάζεται και συγκρίνει δύο διαφορετικής προέλευσης filler (ασβεστολιθικό και αργιλοπυριτικό) που προστίθενται σε διαφορετικά ποσοστά σε πλυμένη άμμο. Τα δείγματα αξιολογήθηκαν με μετρήσεις ισοδυνάμων άμμου (SE) και tests μπλε του μεθυλενίου (MB). Επίσης, παρασκευάστηκαν δοκίμια κονιαμάτων σε μορφή πρισμάτων από τα ίδια δείγματα άμμου και κατόπιν υποβλήθηκαν σε tests προσδιορισμού της αντοχής σε θλίψη. Κατά το στάδιο παρασκευής των δοκιμίων πραγματοποιήθηκαν επί των πολτών των τσιμεντοκονιαμάτων μετρήσεις εξάπλωσης (σε τράπεζα εξάπλωσης). Τέλος, πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός και κατηγοριοποίηση της επίδρασης του ποσοστού παιπάλης στα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος.

Abstract

The provenance and the percentage of the “fine proportion” that included in the inactive ingredients affect significantly the abilities of concrete, out of which is made. Although it is widely known the general effect of the clay impurities, this particular study focus and compares two different origin fillers (limestone and aluminosilicate) which are added at different proportions in washed sand. The prepared samples evaluated by “sand equivalent” (SE) tests and “methylene blue” (MB) tests. Additionally, they also prepared moulded mortars specimens by the same sand that samples did and in the sequel they subjected to compressive strength tests. During the construction stage of the specimens, determination of consistence of fresh mortar (by flow table) carried out. Finally, it pursued the determination and categorization about the influence of the “fine proportion’s” percentage at the physical and mechanical characteristics of the concrete.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	I
Περίληψη.....	II
Abstract.....	III
Ευρετήριο Εικόνων.....	VI
Ευρετήριο Πινάκων.....	VII
Ευρετήριο Σχημάτων.....	VII
Ευρετήριο Διαγραμμάτων.....	VIII
Κεφάλαιο 1 Θεωρητικό μέρος.....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Ορολογία σκυροδέματος.....	3
1.3 Ο ρόλος των αδρανών στο σκυρόδεμα.....	4
1.4 Ποιοτικά χαρακτηριστικά.....	6
1.4.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών.....	7
1.4.2 Πρόσφυση.....	9
1.4.3 Ανθεκτικότητα.....	10
1.4.4 Καθαρότητα.....	12
1.4.5 Αντοχή μητρικού πετρώματος.....	13
1.4.6 Χημική συμπεριφορά.....	14
1.5 Ασβεστολιθικά αδρανή.....	15
1.6 Αργίλοπυριτικά αδρανή.....	17
1.7 Περιγραφή πειραματικών μεθόδων.....	18
1.7.1 Χημική ανάλυση – XRF.....	18
1.7.2 Ισοδύναμο Άμμου - SE.....	18
1.7.3 Μπλε του μεθυλενίου - MB.....	19
1.7.4 Μηχανικές Αντοχές – Μέτρηση θλιπτικών αντοχών.....	19
1.7.5 Μέτρηση Εξάπλωσης.....	21
1.8 Τοποθέτηση προβλήματος.....	22
Κεφάλαιο 2 Πειραματικό Μέρος.....	23
2.1 Περιγραφή πειραματικών διατάξεων.....	23
2.1.1 Χημική ανάλυση - XRF.....	23
2.1.2 Προσδιορισμός ισοδυνάμων άμμου – Sand Equivalent (SE).....	23
2.1.3 Tests μπλε του μεθυλενίου – Methylene Blue (MB).....	25

2.1.4	Παρασκευή δοκιμών κονιαμάτων – Μέτρηση Εξάπλωσης	27
2.2	Περιγραφή πειραματικών διαδικασιών.....	35
2.2.1	Χημική ανάλυση - XRF.....	35
2.2.2	Μέθοδος ισοδυνάμου άμμου – SE	35
2.2.3	Μέθοδος μπλε του μεθυλενίου - MB	37
2.2.4	Μέτρηση θλιπτικών αντοχών – Μέτρο Εξάπλώσεως	38
2.3	Δειγματοληψία.....	43
2.3.1	Μέθοδος μείωσης δείγματος μέσω μηχανικού διαχωριστή-Διαχωριστής	44
2.3.2	Προετοιμασία δείγματος προσδιορισμού ισοδυνάμου άμμου.....	46
2.3.3	Προετοιμασία δείγματος μέτρησης test μπλε του μεθυλενίου	46
Κεφάλαιο 3	Εκτέλεση πειραματικών μετρήσεων	48
3.1	Δομή πειραματικού μέρους.....	48
3.2	Υπολογισμός και προετοιμασία απαιτούμενων ποσοτήτων άμμου-filler	48
3.3	Διαδικασία παρασκευής δειγμάτων άμμου-filler	49
Κεφάλαιο 4	Αποτελέσματα	52
4.1	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων.....	52
4.1.1	Χημική ανάλυση - XRF.....	52
4.1.2	Προσδιορισμός ισοδυνάμων άμμου (SE) – Tests μπλε μεθυλενίου (MB)....	52
4.1.3	Μηχανικές αντοχές – Εξάπλωση.....	56
4.2	Συζήτηση Αποτελεσμάτων	59
4.2.1	Χημική ανάλυση-XRF.....	59
4.2.2	Προσδιορισμός ισοδυνάμων άμμου (SE) – Tests μπλε μεθυλενίου (MB)....	59
4.2.3	Εξάπλωση – Θλιπτικές αντοχές.....	60
	Εξάπλωση.....	60
	Θλιπτικές αντοχές	61
4.3	Συμπεράσματα	62
Βιβλιογραφία		65

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1.1 "Μανιταρόσπιτα" κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα, Powder Mills Park της Νέας Υόρκης [Πηγή: [3]]-----	1
Εικόνα 1.2 Υδροηλεκτρικό Φράγμα Χούβερ, Δυτικές Η.Π.Α, Πολιτεία Νεβάδα. 2.3 εκατομμύρια m ³ σκυροδέματος εγχύθηκαν κατά τη διάρκεια της κατασκευής του. [Πηγή: [5]]-----	2
Εικόνα 1.3 (a) Αριστερά: Φρέσκο σκυρόδεμα χυτεύεται σε καλούπια [Πηγή: [7]] (b) Κυψελωτό σκληρυμένο σε κλίβανο σκυρόδεμα μπλοκ [Πηγή: [8]]-----	3
Εικόνα 1.4 Συγκρότημα παραγωγής και διαχωρισμού κλασμάτων αδρανών. [Πηγή: [10]]	5
Εικόνα 1.5 Χαρακτηριστικές εικόνες κοκκομετρικών κλασμάτων (διαβαθμίσεων) αδρανών υλικών [Πηγή: [12]]-----	7
Εικόνα 1.6 Στοιβάξη σωματιδίων αδρανών [Πηγή: [2]]-----	8
Εικόνα 1.7 Σχηματική παράσταση σχηματισμού θυλάκων νερού κάτω από τους κόκκους των αδρανών [Πηγή: [18]]-----	10
Εικόνα 1.8 Αριστερά: Συσκευή Los Angeles, Δεξιά: Συσκευή Böhme [Πηγή: [21]]-----	11
Εικόνα 1.9 Πλακώδεις εξαγωνικοί κρύσταλλοι μαγνητοπυρίτη με χαλαζία [Πηγή: [12]]-	12
Εικόνα 1.10 Μονάδα παραγωγής αδρανών υλικών (σταθερό συγκρότημα) [Πηγή: [12]]-	13
Εικόνα 1.11 Λατομείο παραγωγής ασβεστολιθικών αδρανών στη Συκιά Μετάλλων, νομού Σερρών [Πηγή: [12]]-----	15
Εικόνα 1.12 Ασβεστολιθικά αδρανή: 1) Κρητίς (κιμωλία)- αριστερά, 2) Δολομίτης-δεξιά [Πηγή: [26]]-----	16
Εικόνα 2.16"2d lattice compression" από τον Manos Hacker, [Πηγή:8]-----	19
Εικόνα 2.17 Σχηματική απεικόνιση κυλίνδρου υπό εντατική αξονική θλίψη. [Πηγή: [28]]-----	20
Εικόνα 2.18 Μηχανοκίνητη τράπεζα εξαπλώσεως.-----	21
Εικόνα 2.1 Διάταξη μηχανήματος χημικής ανάλυσης XRF, Χημείο – TITAN.-----	23
Εικόνα 2.2 Φιάλη 5lt τοποθετημένη 1m πάνω από τον πάγκο εργασίας με κατάλληλο σύστημα τροφοδοσίας που φέρει ακίδα μήκους περίπου 500mm.-----	24
Εικόνα 2.3 α) Ηλεκτροκίνητη συσκευή ανατάραξης ογκομετρικών κυλίνδρων. β) Ηλεκτρονικό χρονόμετρο.-----	25
Εικόνα 2.4 Ηλεκτρονικός ζυγός Mettler PE 6000 ακρίβειας ενός δεκαδικού ψηφίου.-----	25
Εικόνα 2.5 Φιάλη διαλύματος μπλε του μεθυλενίου (MB).-----	26
Εικόνα 2.6 Από αριστερά προς τα δεξιά: Διάταξη μίξερ 3 πτερυγίων δυνατότητας διαφορετικής ταχύτητας περιστροφής (Stirrer type BS) με γυάλινο ποτήρι ζέσεως χωρητικότητας 2 lt. Διάταξη στήριξης σιφωνίου με δυνατότητα περιστροφής κατά τον κάθετο άξονα. Διάταξη βάρους με κολάρο.-----	26
Εικόνα 2.7 Μηχανική υδραυλική πρέσα της Toni Technik (Baustoffprufsysteme), συνδεδεμένη με το απαραίτητο λογισμικό.-----	32
Εικόνα 2.8 Υγρός θάλαμος.-----	33
Εικόνα 2.9 Λουτρό αποθήκευσης δοκιμίων κονιάματος.-----	34
Εικόνα 2.10 Ογκομετρικοί κύλινδροι σε κατάσταση ηρεμίας στο πάγκο εργασίας. Αριστερά: δείγμα αργιλοπυριτικού αναμίγματος. Δεξιά: ασβεστολιθικού αναμίγματος. --	36
Εικόνα 2.11 Εφαρμογή διάταξης βάρους με κολάρο σε ογκομετρικό κύλινδρο.-----	37

Εικόνα 2.12 Διηθητικό φίλτρο επάνω σε επιφάνεια υάλου ωρολογίου. Οι φερόμενες μπλε κηλίδες επί του διηθητικού φίλτρου έχουν σχηματιστεί από απόθεση σταγόνων με τη βοήθεια γυάλινης ράβδου. -----	38
Εικόνα 2.13 Από αριστερά προς τα δεξιά: Μίξερ παρασκευής κονιάματος – Ηλεκτρονικό χρονόμετρο - Πλαστικό ξέστρο - Τράπεζα εξάπλωσης.-----	39
Εικόνα 2.14 Μήτρες παρασκευής πρισματικών δοκιμίων διαστάσεων (40mm x 40mm x 160mm). -----	40
Εικόνα 2.15 Διάταξη συσκευής συμπύκνωσης με κρούση.-----	41
Εικόνα 2.16 Μηχανικός διαχωριστής - Large Divider, Ε.Τ.Σ. – TITAN. -----	44
Εικόνα 3.1 Σακουλάκια δειγμάτων ασβεστολιθικού (απόχρωσης λευκού) και αργιλοπυριτικού (απόχρωσης καφέ) filler. -----	50
Εικόνα 3.2 Μικρός μηχανικός διαχωριστής – Small Divider, Ε.Τ.Σ. – TITAN. -----	51

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1.1 Συμβατικά και ειδικά αδρανή [Πηγή: [11]]	5
Πίνακας 1.2 Παράμετροι που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος	11
Πίνακας 1.3 Μηχανήματα θραύσης κατά στάδιο θραύσης και μέγεθος τεμαχίων τροφοδοσίας και προϊόντος. [Πηγή: www.goodquarry.com, 2007 & Σταμπολτζής, 1994]	16
Πίνακας 1.4 Χημική σύσταση των κυριοτέρων αργιλικών ορυκτών. [Πηγή: [15]]	17
Πίνακας 2.1 Ταχύτητες μίκτρου	28
Πίνακας 2.2 Προσδιορισμός ελάχιστης ποσότητας δείγματος σε σχέση με το μέγιστο κόκκο αδρανούς	43
Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα χημικής ανάλυσης-XRF	52
Πίνακας 4.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων ισοδυνάμου άμμου (SE) και μπλε του μεθυλενίου (MB) σε δείγματα αργιλοπυριτικών και ασβεστολιθικών αναμιγμάτων άμμου-filler.	52
Πίνακας 4.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων ισοδυνάμων άμμου.....	54
Πίνακας 4.4 Ποσότητες προσθήκης MB και γραμμάρια κλάσματος τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις ανά περίπτωση.	55
Πίνακας 4.5 Αποτελέσματα μετρήσεων μπλε του μεθυλενίου – MB index	55
Πίνακας 4.6 Παρουσίαση αποτελεσμάτων μετρήσεως εξάπλωσης και θλιπτικών αντοχών ασβεστολιθικών και αργιλοπυριτικών δειγμάτων άμμου – filler.....	57
Πίνακας 4.7 Παρουσίαση αποτελεσμάτων μετρήσεως εξάπλωσης και θλιπτικών αντοχών καθαρού δείγματος άμμου (Ξηρορέματος, πρότυπης γαλλικής) μηδενικής πρόσμιξης.	58

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1.1 Σχήμα κατανομής αδρανών ανάλογα με το μέγεθος [Πηγή: [16]]	9
Σχήμα 2.1 Τυπικό δοχείο ανάμειξης (1) και μίκτρο (2). [Πηγή: EN 196.01 3 ^η Έκδοση, 2005 [33]]	28
Σχήμα 2.2 Τυπικό καλούπι (διαστάσεις σε χιλιοστάμετρα). Διεύθυνση απόξεσης με πριονωτή κίνηση. [Πηγή: EN 196.01 3 ^η Έκδοση, 2005 [33]].....	29

Σχήμα 2.3 Τυπικά ελάσματα διάστρωσης (διαστάσεις σε χιλιοστόμετρα). (α) Μεγάλο έλασμα διάστρωσης, (β) Μικρό έλασμα διάστρωσης. (γ) Ευθεία μεταλλική ράβδος. D = ύψος μεταλλικού πλαισίου πλήρωσης καλουπιού. [Πηγή: EN 196.01 3 ^η Έκδοση, 2005 [33]]	30
Σχήμα 2.4 Τυπική συσκευή συμπίκνωσης με κρούση. (1) Διάταξη πρόσκρουσης, (2) Ολισθητήρας εκκεντρού, (3) Έκκεντρο, (4) Stop. [Πηγή: EN 196.01 3 ^η Έκδοση, 2005 [33]]	31
Σχήμα 2.5 Διάταξη Τράπεζας εξάπλωσης (Flow table). [Πηγή: EN 1015-3, February 1999 [34]]	35
Σχήμα 2.6 Διάταξη μηχανικού διαχωριστή. [Πηγή: Εγχειρίδιο κοκκομετρικής ανάλυσης αδρανών, Εργαστήριο έρευνας και ποιότητας, TITAN]	45
Σχήμα 2.7 Σχηματική απεικόνιση βημάτων της μεθόδου του τεταρτομερισμού. [Πηγή: Εγχειρίδιο κοκκομετρικής ανάλυσης αδρανών, Εργαστήριο έρευνας και ποιότητας, TITAN].....	47

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1.1 Αλληλοσυμβαλλόμενες συνιστώσες που αυξάνουν την πιθανότητα φθοράς [Πηγή: [2]].....	11
Διάγραμμα 3.1 Διάγραμμα πειραματικής διαδικασίας.....	48
Διάγραμμα 4.1 Γραφική αναπαράσταση της εξάρτησης των ποσοστών ισοδυνάμου άμμου συναρτήσει των αυξανόμενων ποσοστών πρόσμιξης filler.....	54
Διάγραμμα 4.2 Διάγραμμα συσχέτισης των ποσοστών πρόσμιξης των filler συναρτήσει του δείκτη μετρήσεως μπλε του μεθυλενίου.	56
Διάγραμμα 4.3 Γράφημα αντοχών δοκιμών κονιάματος σε μετρήσεις των 28 ημερών. ...	59

Κεφάλαιο 1 Θεωρητικό μέρος

1.1 Εισαγωγή

Η ιστορία του σκυροδέματος είναι στενά συνδεδεμένη με την ιστορία του τσιμέντου, το οποίο αποτελεί ένα από τα βασικά συστατικά του. Πρόκειται για μια ιστορία που συνεχίζεται μέχρι σήμερα, καθώς το σκυρόδεμα εξελίσσεται διαρκώς, ώστε να παραμείνει ένα υλικό που προσφέρει χιλιάδες δυνατότητες και αποτελεί μια διαρκή πηγή έμπνευσης για τους αρχιτέκτονες.

Το τσιμέντο πρωτο-χρησιμοποιήθηκε στην αρχαία Ρώμη. Αφετηρία της μετάβασης από το τσιμέντο στο σκυρόδεμα αποτέλεσε η εξέλιξη της σύνθεσής του μόλις το 19^ο αιώνα. Μόλις προσδιορίστηκε, εξαπλώθηκε γρήγορα η πρακτική έγχυσης του «σκυροδέματος από τσιμέντο» σε καλούπια. Στο τσιμέντο προστέθηκαν άμμος και χαλίκια και άρχισε να καλουπώνεται, ώστε να μιμείται τη φυσική πέτρα και το λαξευτό λίθο. [1]

Το σκυρόδεμα είναι δομικό υλικό που σχηματίζεται από την ανάμειξη λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων αδρανών, τσιμέντου και νερού, με ή χωρίς την ενσωμάτωση των υλικών που χαρακτηρίζονται βελτιωτικά και πρόσθετα, το οποίο αναπτύσσει τις ιδιότητές του με την σκλήρυνση της πάστας του τσιμέντου. [2]

Με τη σημερινή του μορφή χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά στις αρχές του 20ου αιώνα, ενώ μετά το 1950 η χρήση του γενικεύτηκε, καθιστώντας το σήμερα το κυριότερο παγκοσμίως, υλικό κατασκευών, το οποίο όταν και όποτε συνδυάζεται μαζί με χάλυβα, χαρακτηρίζεται ως οπλισμένο σκυρόδεμα. Το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι ένα σκυρόδεμα που συνήθως περιέχει ράβδους χάλυβα, που υπολογίζονται με την υπόθεση ότι τα δυο υλικά συνεργάζονται στην παραλαβή εφελκυστικών φορτίων.



Εικόνα 1.1 "Μανιταρόσπιτα" κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα, Powder Mills Park της Νέας Υόρκης [Πηγή: [3]]

Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 παρουσιάστηκαν σκυροδέματα υψηλής αντοχής, όπως τα ινοπλισμένα σκυροδέματα υπερυψηλής αντοχής και τα αυτοσυμπυκνούμενα, αυτοεπιπεδούμενα σκυροδέματα. Σήμερα, ο ρυθμός κατανάλωσης του σκυροδέματος είναι πολύ μεγαλύτερος από ότι πριν από σαράντα χρόνια. Σύμφωνα με εκτιμήσεις του έτους 2009, η παγκόσμια κατανάλωση σκυροδέματος είναι της τάξης των 11 δισεκατομμυρίων μετρικών τόνων ετησίως. [4]

Παρόλο, ότι το σκυρόδεμα δεν είναι ούτε πιο σκληρό αλλά ούτε πιο δυνατό υλικό από το χάλυβα, χρησιμοποιείται περισσότερο ως δομικό υλικό. Υπάρχουν τουλάχιστον τρεις πρωταρχικοί λόγοι που συμβαίνει αυτό. Πρώτον, είναι υλικό που παρέχει εξαιρετική αντίσταση στο νερό. Σε αντίθεση με το χάλυβα και το ξύλο, έχει την ικανότητα ως υλικό να αντέχει στη δράση του νερού χωρίς σημαντικές βλάβες, το οποίο το καθιστά άμεσα ιδανικό υλικό για δομικές κατασκευές που ελέγχουν, αποθηκεύουν και μεταφέρουν νερό. Η χρήση άοπλου σκυροδέματος για φράγματα, γραμμές καναλιών και δάπεδα είναι ένα κοινό θέαμα στις μέρες μας ανά τον κόσμο (βλ. Εικόνα 1.2).



Εικόνα 1.2 Υδροηλεκτρικό Φράγμα Χούβερ, Δυτικές Η.Π.Α, Πολιτεία Νεβάδας. 2.3 εκατομμύρια m^3 σκυροδέματος εγχύθηκαν κατά τη διάρκεια της κατασκευής του. [Πηγή: [5]]

Ο δεύτερος λόγος για την ευρεία χρήση του σκυροδέματος είναι η ευκολία με την οποία δομικά στοιχεία από σκυρόδεμα μπορούν να πάρουν διάφορα σχήματα και μεγέθη. Είναι εξαιρετικά εύπλαστο υλικό, αφού μπορεί, όταν είναι νωπό, να λάβει οποιαδήποτε μορφή. Αυτό συμβαίνει γιατί το νωπό σκυρόδεμα είναι ένα πλαστικό μίγμα και μπορεί να χυτευθεί σε προκατασκευασμένους ξυλότυπους.

Ο τρίτος λόγος για τη δημοτικότητα που βρίσκει το σκυρόδεμα στους μηχανικούς είναι ότι αποτελεί συνήθως το φθηνότερο και το πιο ετοιμοπαράδοτο διαθέσιμο υλικό. Τα βασικά συστατικά για την παραγωγή σκυροδέματος, δηλαδή τα αδρανή, το τσιμέντο και το νερό είναι σχετικά φθηνά και άμεσα διαθέσιμα στα περισσότερα μέρη του κόσμου. [4]

Σήμερα, σύμφωνα με τις προσαγές για έναν πιο «πράσινο» πλανήτη αλλά και την συνεχή αναζήτηση των βιομηχανιών για μείωση του κόστους πραγματοποιείται ενσωμάτωση, μετά από έλεγχο βέβαια, βιομηχανικών παραπροϊόντων ως πρώτη ύλη για την παραγωγή σκυροδέματος.

Επομένως, το σκυρόδεμα θεωρείται το οικονομικότερο και ασφαλέστερο οικοδομικό υλικό, με εξαιρετική σχέση κόστους - παρεχόμενων ιδιοτήτων και για το λόγο αυτό είναι αναντικατάστατο. Χαρακτηρίζεται δε από ιδιαίτερες ιδιότητες που προσφέρουν ανθεκτικότητα και προστασία από διάφορα επιθετικά περιβάλλοντα έκθεσης. Χάρη στη μεγάλη ευελιξία του είναι το πιο εύχρηστο δομικό υλικό, αλλά ταυτόχρονα με τη μικρότερη διάρκεια ζωής καθώς πρέπει να χρησιμοποιηθεί το αργότερο εντός μίας ώρας και τριάντα λεπτών από τη παραγωγή του. [6]

Οι διαφορετικές ιδιότητες των πρώτων υλών που αναμιγνύονται στη παραγωγή του σκυροδέματος (μάζα, όγκος, φυσικοχημικά χαρακτηριστικά) ανάγουν την παραγωγή σκυροδέματος σε μια εξαιρετικά πολύπλοκη και σύνθετη διαδικασία. Οι αυστηρές διατάξεις του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος του 1997 (ΚΤΣ-97) προβλέπουν τις ελάχιστες δοσολογίες των πρώτων υλών ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της

προβλεπόμενης εφαρμογής του σκυροδέματος, όπως η εργασιμότητα, η αντοχή, η πλαστικότητα, το περιβάλλον στο οποίο εκτίθεται, η απόδοση και διάρκεια ζωής της κατασκευής.

1.2 Ορολογία σκυροδέματος

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, το σκυρόδεμα είναι το υλικό που σχηματίζεται από την ανάμειξη τσιμέντου, λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων αδρανών και νερού, το οποίο αναπτύσσει τις ιδιότητές του με την σκλήρυνση της πάστας του τσιμέντου. Αυτό το υλικό απαντάται σε δυο μορφές:

- 1 Σε **φρέσκο** (νωπό) (fresh) **σκυρόδεμα**, όπου μόλις έχει παρασκευασθεί περιέχοντας όλα τα συστατικά του και το οποίο είναι σε πλαστική κατάσταση δυνάμενο να συμπυκνωθεί και να μορφοποιηθεί σε καλούπια.
- 2 Σε **σκληρυμένο** (hardened) **σκυρόδεμα**, όπου βρίσκεται σε στερεά κατάσταση και έχει ήδη αναπτύξει αντοχές.



Εικόνα 1.3 (α) Αριστερά: Φρέσκο σκυρόδεμα χυτεύεται σε καλούπια [Πηγή: [7]] (β) Κυψελωτό σκληρυμένο σε κλίβανο σκυρόδεμα μπλοκ [Πηγή: [8]]

Το δομικό αυτό υλικό είτε δημιουργείτε στον τόπο της εφαρμογής του και χαρακτηρίζεται ως **επιτόπου παρασκευασμένο (site mixed)**, είτε έχει παρασκευασθεί σε ένα σταθερό ή κινούμενο αναμικτήρα και προσάγεται φρέσκο στον τόπο της εφαρμογής του, το οποίο χαρακτηρίζεται ως **έτοιμο (ready mixed)**. Κύρια χαρακτηριστικά του είναι η εξαιρετική αντίσταση σε διαφορετικές πηγές έκθεσης, είναι αποδέκτης πολλών βιομηχανικών παραπροϊόντων, λαμβάνει εύκολα το επιθυμητό σχήμα και μέγεθος, καθώς επίσης ότι είναι φθηνό και άμεσα ευρέσιμο υλικό.

Οι κύριες ιδιότητες του σκυροδέματος προκύπτουν από τέσσερις καθοριστικούς παράγοντες:

- I. Ο χρόνος ενυδάτωσης του τσιμέντου
- II. Λόγος νερού προς τσιμέντο (N/T)
- III. Πορώδες
- IV. Εργασιμότητα

Αναλόγως με τις ιδιότητες που επιθυμούνται να έχει το σκυρόδεμα, υπάρχει η επιλογή χρησιμοποίησης διαφόρων βελτιωτικών ή πρόσθετων υλικών. **Βελτιωτικά ή χημικά πρόσμικτα (admixtures)** είναι τα υλικά που προστίθενται σε μικρές ποσότητες, σε σχέση με τη μάζα του τσιμέντου, κατά την ανάμειξη του σκυροδέματος με στόχο να τροποποιήσουν τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Από την άλλη, ως **πρόσθετα**

συστατικά (admixtures), χαρακτηρίζονται τα λεπτομερώς διαμερισμένα υλικά που χρησιμοποιούνται στοχεύοντας είτε να βελτιώσουν κάποιες ιδιότητες είτε να πετύχουν συγκεκριμένες ιδιότητες στο σκυρόδεμα.

Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε τους κυριότερους παράγοντες που επιδρούν στην ανάπτυξη των αντοχών του τσιμέντου:

- Η σύνθεση του συγκεκριμένου τσιμέντου που καθορίζει το βαθμό ενυδάτωσης.
- Η λεπτότητα του τσιμέντου η οποία επιδρά στην κινητική της ενυδάτωσης και επομένως στον ρυθμό ανάπτυξης των αντοχών. Ειδικότερα, μεγάλη σημασία έχει το κλάσμα κόκκων με διάμετρο από 3 έως 30 μm .
- Ο λόγος N/T, ο οποίος καθορίζει το πορώδες της πάστας. Για συγκεκριμένο βαθμό ενυδάτωσης, η ελάττωση του λόγου N/T προκαλεί αύξηση αντοχών.
- Ο χρόνος ενυδάτωσης.
- Η θερμοκρασία, η οποία επιδρά τόσο στο ρυθμό ενυδάτωσης όσο και στη δομή των ενυδατωμένων προϊόντων. [2]

1.3 Ο ρόλος των αδρανών στο σκυρόδεμα

Ως αδρανή υλικά (aggregates) καλούνται το σύνολο των διαβαθμισμένων κατά μέγεθος τεμαχίων υλικών ορυκτής (σκύρα, χαλίκια, άμμοι) ή βιομηχανικής προέλευσης (σκωρίες, ανακυκλωμένο σκυρόδεμα κ.α.) και άλλων υλικών ανόργανης σύστασης, που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με κάποιο συγκολλητικό μέσο (τσιμέντο, ασφαλτος, κ.λπ.) για παραγωγή συνθέσεων όπως σκυροδέματα, ασφαλτικά μίγματα και σκυρωτά οδοστρώματα ή και αυτούσια (π.χ. ως έρμα σιδηροδρομικών γραμμών). Χαρακτηρίζονται αδρανή γιατί η πλειονότητα τους δεν αντιδρά χημικά με τα διάφορα συγκολλητικά μέσα. Στην πραγματικότητα όμως είναι χημικώς ενεργά υλικά τα οποία ελέγχουν τις ιδιότητες και την συμπεριφορά της μάζας στην οποία συμμετέχουν. [9]

Η κύρια χρήση των αδρανών αφορά την παραγωγή σκυροδέματος (οπλισμένου ή άοπλου). Τα αδρανή του σκυροδέματος αποτελούν κατά προσέγγιση το 80% του συνολικού βάρους του σκυροδέματος και καταλαμβάνουν το 70-75% του όγκου του. Επομένως, γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι (1) **το μέγεθος των τεμαχίων** και (2) **η κοκκομετρική σύνθεση** των αδρανών επηρεάζουν καθοριστικά. Ο ρόλος τους στην δημιουργία ενός ανθεκτικού και συνεκτικού ιστού που θα παραλάβει τα φορτία της κατασκευής αλλά και θα αντέξει στις φυσικοχημικές επιδράσεις του περιβάλλοντος είναι κομβικός. Πρέπει να είναι καθαρά, χωρίς επιφανειακή σκόνη, άργιλο και οργανικές ύλες (συνήθως πλυμένα), σκληρά, μεγάλης αντοχής και κατάλληλης επιφανειακής υφής και πορώδους.

Τα αδρανή υλικά με βάση την προέλευσή τους διακρίνονται σε τρεις ευρύτερες κατηγορίες:

- I. Φυσικής προέλευσης (θραυστά πετρώματα, ποταμίσιες λιμναίες ή θαλάσσιες αποθέσεις, λάβα, ηφαιστειακοί τόφοι, λατομικά προϊόντα κλπ).
- II. Τεχνητά ή βιομηχανικά είναι τα αδρανή που έχουν προκύψει ως προϊόντα ή παραπροϊόντα βιομηχανικής δραστηριότητας από χημική ή θερμική επεξεργασία πρώτων υλών ορυκτής ή άλλης προέλευσης (π.χ. τέφρες, σκωρίες, περλίτης, βερμικουλίτης κλπ).

III. Ανακυκλωμένα είναι τα αδρανή που προκύπτουν από την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση δομικών υλικών από υφιστάμενες κατασκευές (υλικά κατεδαφίσεων σκυροδέματος, τοιχοποιίας, ασφαλτικών έργων κλπ).



Εικόνα 1.4 Συγκρότημα παραγωγής και διαχωρισμού κλασμάτων αδρανών. [Πηγή: [10]]

Τα αδρανή, εκτός των άλλων, προσφέρουν αξιόλογα πλεονεκτήματα και από τεχνικής άποψης στο σκυρόδεμα. Επηρεάζουν θετικά τη στατική συμπεριφορά των κατασκευών από σκυρόδεμα, εξασφαλίζουν μεγάλη “σταθερότητα όγκου” και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των κατασκευών σε σχέση με την περίπτωση χρήσης μόνο τσιμεντοκονιάματος.

Στην Ευρώπη τα αδρανή καθορίζονται βάσει του Προτύπου EN 12620, το οποίο είναι ιδιαίτερα διεξοδικό. Βάσει του συγκεκριμένου Προτύπου, τα αδρανή χωρίζονται σε κατηγορίες σύμφωνα με:

- Αντοχή σε διάτμηση
- Αντοχή σε φθορά
- Αντοχή σε λείανση και τριβή
- Πυκνότητα αδρανών και υδατοαπορροφητικότητα
- Φαινόμενη πυκνότητα
- Ανθεκτικότητα

Ο Πίνακας 1.1 που ακολουθεί δίνει μόνο τα κυριότερα στοιχεία που αφορούν τα αδρανή.

Πίνακας 1.1 Συμβατικά και ειδικά αδρανή [Πηγή: [11]]

Συμβατικά αδρανή	Πυκνότητα 2.2 - 3.0 kg/dm ³	Από φυσικές παροχές, ποτάμια, λίμνες. Μπορεί να είναι συλλεκτά ή θραυστά (από εκσκαφές σε μέτωπα)
Βαριά αδρανή	Πυκνότητα > 3.0 kg/dm ³	Όπως βαρίτης, σιδηρούχα μεταλλεύματα, χαλύβδινα αδρανή. Για την παραγωγή βαρέων σκυροδεμάτων (π.χ. σκυρόδεμα θωρακίσεων σε εργοστάσια πυρηνικών δοκιμών)

Ελαφρά αδρανή	Πυκνότητα < 2.0 kg/dm ³	Όπως διογκωμένη άργιλος, ηφαιστειακά πετρώματα και πολυστυρένιο. Για ελαφρο-σκυρόδεμα, σκυρόδεμα μόνωσης
Σκληρά αδρανή	Πυκνότητα > 2.0 kg/dm ³	Όπως χαλαζίας, κορούνδιο. Για γρανολιθική τελική επιφάνεια σκυροδέματος
Ανακυκλούμενα αδρανή	Πυκνότητα περίπου 2.4 kg/dm ³	Από θραύση παλαιού σκυροδέματος

Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο δίνονται κάποιιοι χρήσιμοι ορισμοί εννοιών οι οποίες θα μας απασχολήσουν στη συνέχεια, όπως:

- **Filler (πούδρα αδρανών)**
Αδρανή τα οποία στην πλειοψηφία της μάζας τους διέρχονται από το κόσκινο των 0,063 mm και προστίθενται στο μίγμα για να του προσδώσουν συγκεκριμένες ιδιότητες.
- **Ομάδα κοκκομετρικού μεγέθους**
Χαρακτηρισμός ενός αδρανούς βάσει του μικρότερου (d) και μεγαλύτερου (D) ανοίγματος κοσκίνου, η οποία εκφράζεται ως d/D.
- **Λεπτόκοκκα αδρανή (άμμος)**
Αδρανή μικρότερου μεγέθους με μέγιστο κόκκο αδρανούς που δεν ξεπερνά τα 4mm (μεγαλύτερο άνοιγμα κοσκίνου (D) = 4 mm).
Λεπτόκοκκα αδρανή μπορούν να παραχθούν είτε με φυσικές αποσαθρώσεις πετρωμάτων, είτε με σύνθλιψη πετρωμάτων, είτε από επεξεργασία βιομηχανικά παραγόμενων μετάλλων.
- **Χονδρόκοκκα αδρανή**
Αδρανή μεγαλύτερου μεγέθους, με D όχι μικρότερο από 4mm και d όχι μικρότερο από 2mm. [11]

1.4 Ποιοτικά χαρακτηριστικά

Η καταλληλότητα των αδρανών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή σκυροδέματος προδιαγράφεται από τις απαιτήσεις του **ΕΛΟΤ 408** και του **ΚΤΣ-97**, ενώ αντίστοιχα η καταλληλότητα των αδρανών σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές Προδιαγραφές καθορίζεται στο Πρότυπο **ΕΛΟΤ EN12620**. Βασική διαφορά των Ευρωπαϊκών από τις Ελληνικές Προδιαγραφές είναι ότι οι πρώτες καθορίζουν περιοχές απαιτήσεων που πρέπει να πληρούν τα αδρανή και όχι μονοσήμαντα όρια όπως οι δεύτερες (π.χ. Los Angeles από 15-50).

Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ο διαφορετικός ορισμός βάση των δυο προτύπων αναφορικά με την «φυσική άμμο», η οποία είναι το βασικό υλικό της εργασίας:

Σύμφωνα με τον ΚΤΣ-97: Άμμος φυσική-συλλεκτή ονομάζεται το κλάσμα φυσικής απόθεσης το οποίο διέρχεται από το κόσκινο 8 ή το 3/8'' σε ποσοστό 100% και από το κόσκινο Νο 4 σε ποσοστό τουλάχιστον του 95%.

Σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN12620: Άμμος (fine aggregates) ονομάζεται το κλάσμα με μέγιστο κόκκο (D) ≤ 4 mm.

Επίσης, οφείλουμε να καταδείξουμε τα κύρια χαρακτηριστικά των αδρανών, τα οποία είναι:

- η κοκκομετρική τους διαβάθμιση (σχήμα και μέγεθος των κόκκων)
- η πρόσφυση με την κονία
- ανθεκτικότητα
- η καθαρότητα (η ύπαρξη δηλαδή ή όχι πρόσμικτων ουσιών)
- η αντοχή τους (αντοχή του μητρικού πετρώματος)
- η χημική συμπεριφορά τους με άλλα συστατικά του σκυροδέματος [2]

1.4.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών

Η μεγαλύτερη ποσότητα αδρανών υλικών προέρχεται από τη θραύση κατάλληλων εξορυγμένων πετρωμάτων (κυρίως ασβεστολιθικών) ή από περαιτέρω θραύση υλικών φυσικών αποθέσεων (μίγμα κυρίως ασβεστολιθικών, χαλαζιακών και γρανιτικών πετρωμάτων) όπως ποταμών, χειμάρρων, θαλάσσης (βλ. Εικόνα 1.3).

Με βάση το μέγεθος των τεμαχίων τους κατατάσσονται σε τρεις βασικές ομάδες:

1. Χονδρομερή αδρανή με τεμάχια μεγαλύτερα των 9.5mm (3/8in)
2. Ενδιάμεσου μεγέθους αδρανή με τεμάχια από 2.36-9.5mm (8mesh-3/8in.)
3. Λεπτομερή αδρανή με τεμάχια μικρότερα από 2.36mm (8mesh)

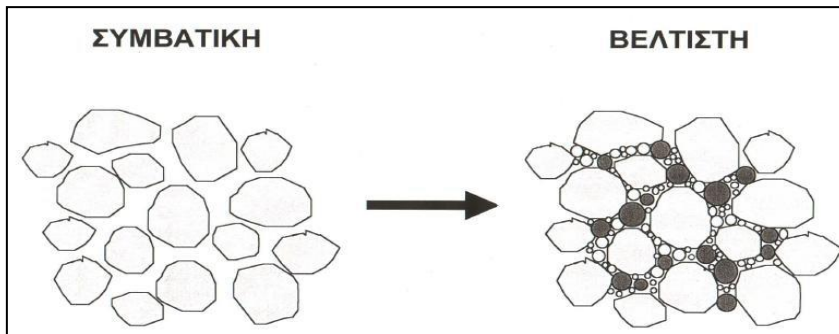


Εικόνα 1.5 Χαρακτηριστικές εικόνες κοκκομετρικών κλασμάτων (διαβαθμίσεων) αδρανών υλικών [Πηγή: [12]]

Τα κλάσματα των αδρανών, λόγω γωνιώδους ή και ακανόνιστου σχήματος συγκολλούνται και συγκρατούνται εντός της δομής του σκυροδέματος μέσω της τσιμεντόπαστας (μίγμα νερού + τσιμέντου). Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή σκυροδέματος χωρίζονται βάση του μεγέθους τους σε τέσσερις βασικές κατηγορίες:

- Άμμος (0-4mm)
- Ρυζάκι (4-8mm)
- Γαρμπίλι (8-16mm)
- Χαλίκι (16-31,5mm) [12]

όπου συνιστούν την πετρώδη μορφή του σκυροδέματος, της οποίας τα κενά πρέπει να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο πληρωμένα με τη συνδετική κονία (βλ. Εικόνα 1.4).



Εικόνα 1.6 Στοίβαξη σωματιδίων αδρανών [Πηγή: [2]]

Το κοκκομετρικό κλάσμα με μεγέθη τεμαχίων $(-5+0,075)\text{mm}$ χαρακτηρίζεται και ως «άμμος» (sand), ενώ τα τεμάχια τα οποία είναι μικρότερα ή ίσα με $(0.075)\text{mm}$ χαρακτηρίζονται ως «παιπάλη» (fines). [10] [13]

Το Πρότυπο **ΕΛΟΤ EN12620** καθιερώνει εκτός των βασικών κόσκινων της σειράς DIN, την οποία υιοθετεί και ενδιάμεσα κόσκινα, σειρές 2, ενώ καταργεί τα Αμερικάνικα κόσκινα και ορίζει την παιπάλη ως το διερχόμενο ποσοστό στο κόσκινο $0,063$ αντί $0,075\text{mm}$. Στο Πρότυπο αυτό, η ονομασία των αδρανών εξαρτάται από την περιοχή των διερχομένων από τα κόσκινα. Τα κατατάσσει σε βασικές κατηγορίες (λεπτόκοκκα, χονδρόκοκκα), με την παρατήρηση ότι το 99% των κοκκομετριών θα είναι μέσα στα όρια για το D , d , $d/2$, όπου D είναι το μεγαλύτερο και d το μικρότερο χρησιμοποιούμενο κόσκινο για την περιγραφή του μεγέθους ενός αδρανούς, με τον λόγο D/d όχι μικρότερο του 1.4. Επίσης καθορίζει και όρια ανοχών σαν ποσοστά στα ενδιάμεσα κοσκινά ή την παιπάλη. Η άμμος καθορίζεται σαν διερχόμενη 100% από το κόσκινο ανοίγματος οπής $2D$ και 85-99% από το $D=4\text{mm}$, ενώ στην κοκκομετρία του προστίθεται ένα επιπλέον κόσκινο των $0,125\text{mm}$. [14]

Αναλυτικά, το μέγεθος των τεμαχίων επηρεάζει:

- την αντοχή του σκυροδέματος,
- την απαίτηση σε νερό λόγω συσχέτισης μεγέθους-εξωτερικής επιφάνειας,
- την περιεκτικότητα του σκυροδέματος σε τσιμέντο.

Ενώ η κοκκομετρική σύνθεση:

- την απαίτηση σε τσιμεντόπαστα για την πλήρη κάλυψη των κενών που αφήνουν μεταξύ τους τα αδρανή,
- έχει σημαντική επίπτωση στην ρευστότητα και την εργασιμότητα του σκυροδέματος.

Σε αυτό το σημείο κρίνεται δόκιμο να δοθεί ο ορισμός της εργασιμότητας, διότι είναι ένα μέγεθος το οποίο θα μας απασχολήσει καθόλη τη διάρκεια της εργασίας.

Η **εργασιμότητα** ορίζεται με την ποσότητα του απαιτούμενου εσωτερικού έργου για πλήρη συμπίκνωση και μπορεί να διαφέρει για 2 σκυροδέματα της ίδιας συνεκτικότητας. Υψηλή εργασιμότητα έχει ένα σκυρόδεμα που απαιτεί μικρό εσωτερικό έργο για πλήρη συμπίκνωση. [15]

Η συνεκτικότητα του σκυροδέματος καθορίζει τη συμπεριφορά του νωπού σκυροδέματος κατά την ανάμιξη, μεταφορά, παράδοση και τοποθέτησή του επί τόπου στο έργο και

επίσης κατά τη συμπίκνωση και εξομάλυνση της επιφάνειάς του. Η εργασιμότητα είναι συνεπώς μία σχετική παράμετρος και καθορίζεται βασικά από τη συνεκτικότητα. [11]



Σχήμα 1.1 Σχήμα κατανομής αδρανών ανάλογα με το μέγεθος [Πηγή: [16]]

Η συνολική διαβάθμιση σε συνάρτηση με το γωνιώδες, την **τραχύτητα**, τους **δείκτες πλακοειδούς και επιμήκυνσης**, το ειδικό **βάρος** των κόκκων και την **φαινόμενη πυκνότητα** καθορίζει την ρεολογία του μίγματος, τη συνεκτικότητά του, την τάση απόμιξης και την ικανότητα να μεταφέρει τα κάθετα φορτία στα υποκείμενα στρώματα χωρίς οριζόντιες τάσεις. [17]

Τέλος, **το σχήμα** (στρογγυλεμένα, γωνιώδη, πεπλατυσμένα, επιμήκη) καθώς επίσης **η επιφανειακή μορφή και δομή** (αδρή επιφάνεια, πορώδης δομή) των αδρανών αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για τις τελικές ιδιότητες του σκυροδέματος.

Ο τρόπος γένεσης του πετρώματος (ιζηματογενές, ηφαιστειακό ή μεταμορφωμένο) και η ορυκτολογική σύστασή του επηρεάζουν την σκληρότητα του πετρώματος, τον τρόπο θραύσης (σχήμα, μέγεθος τεμαχίων, επιφανειακή μορφή) και το πορώδες του (δομή).

Για παράδειγμα, έχει παρατηρηθεί ότι το κυβικό ή σφαιροειδές σχήμα των αδρανών είναι προτιμητέο από το επίμηκες, το οποίο μπορεί να επηρεάσει τη συνεκτικότητα του μίγματος. Επίσης, άξιο παρατηρήσεως είναι το γεγονός ότι ενώ τα θραυστά αδρανή εμφανίζουν ελαφρώς μεγαλύτερη απαίτηση σε νερό για την ίδια συνεκτικότητα μίγματος, λόγω της μεγαλύτερης ειδικής επιφάνειάς τους, συγχρόνως αυξάνουν την θλιπτική και ιδιαιτέρως την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος εξαιτίας του σχηματισμού πυκνότερης δομής. [11]

Με τον όρο **συνεκτικότητα** εννοούμε ένα συγκριτικό αριθμό όπως το μέτρο συμπυκνώσεως, το μέτρο εξαπλώσεως, την κάθιση, την διείσδυση, το χρόνο Vebe κλπ., με τον οποίο χαρακτηρίζεται ένα σκυρόδεμα ως προς το εύπλαστο της μάζας του. Δηλαδή, εάν μπορεί να συμπυκνωθεί εύκολα ή όχι. Περαιτέρω, ο όρος δηλώνει την ευκολία με την οποία ρέει το σκυρόδεμα. [15]

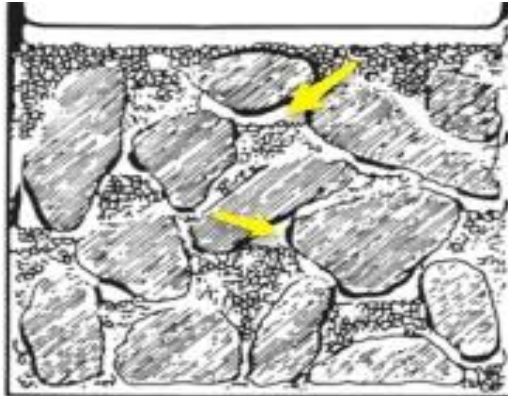
1.4.2 Πρόσφυση

Κατάλληλα για χρήση ως αδρανή είναι υλικά τα οποία δεν επηρεάζουν την σκλήρυνση του τσιμεντού, έχουν ισχυρή πρόσφυση με τον τσιμεντοπολτό (όπως ονομάζεται το αναμιγμένο με νερό τσιμέντο) και δεν αποτελούν κίνδυνο για την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

Οι επιφάνειες σκυροδέματος είναι εκτεθειμένες σε φόρτιση λόγω κίνησης οχημάτων (τροχοί/ κίνηση), σε καταπονήσεις λόγω τριβής (ολίσθηση/ λάστιχα) και / ή τάσεις λόγω κρούσης (βαριά υλικά/ πτώσεις). Η τσιμεντοδομή, τα αδρανή και η μεταξύ τους πρόσφυση υποβάλλονται όλα μαζί σε αυτή τη φυσική πίεση. Η επίθεση είναι επομένως βασικά μηχανική. [11]

Όσο ο λόγος N/T μειώνεται, το πορώδες του ενυδατωμένου τσιμεντοπολλτού επίσης μειώνεται και η πρόσφυση με τα αδρανή βελτιώνεται, γεγονός το οποίο αποτελεί συνθήκη για καλύτερη αντοχή σε τριβή.

Η βελτίωση της πρόσφυσης μεταξύ των αδρανών και του ενυδατωμένου τσιμέντου βελτιώνει τη στεγανότητα του ενυδατωμένου τσιμεντοπολλτού.



Εικόνα 1.7 Σχηματική παράσταση σχηματισμού θυλάκων νερού κάτω από τους κόκκους των αδρανών [Πηγή: [18]]

1.4.3 Ανθεκτικότητα

Η ανθεκτικότητα εκφράζει τη δυνατότητα του σκυροδέματος να διατηρεί την αντοχή του και τη λειτουργικότητά του στην κατασκευή, στη μέγιστη δυνατή διάρκεια. Συγκεκριμένα αναφέρεται στην ικανότητα του υλικού να ανθίσταται στη φθορά από το περιβάλλον (φυσικό ή μη) στο οποίο εκτίθεται σε βάθος χρόνου. Η φθορά είναι το αποτέλεσμα των φυσικών και χημικών δράσεων που συμβαίνουν μεταξύ των συστατικών του σκυροδέματος και των συστατικών (διαβρωτικών μέσων) που συνιστούν το περιβάλλον όπου εκτίθεται. Εκδηλώνεται με ρωγμές και διογκώσεις στην επιφάνεια του σκυροδέματος αλλά και με μείωση της μηχανικής αντοχής του και απώλεια μάζας. [19] [20]

Η αντοχή στο χρόνο και στο περιβάλλον, καθώς και οι προκύπτουσες φθορές μιας κατασκευής εξαρτώνται άμεσα από το πορώδες και τη διαπερατότητα του σκυροδέματος, από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και από τις μηχανικές, τις φυσικές και τις χημικές επιδράσεις (Πίνακας 1.2).

Πίνακας 1.2 Παράμετροι που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος

Διαπερατότητα	Περιβαλλοντικές συνθήκες	Μηχανικές	Φυσικές	Χημικές ή βιολογικές
Σύσταση τσιμέντου	Διαθέσιμη υγρασία	Επιβαλλόμενα φορτία	Μηχανική φθορά (απότριψη, υδροφθορά)	Οξέα
Λόγος N/T	Παρουσία διαβρωτικών ουσιών στο νερό	Επιβαλλόμενες παραμορφώσεις (διαφορική καθίζηση, συστολή ξήρανσης, ερπυσμός, σεισμός, θερμοκρασιακές μικροαλλαγές)		Βάσεις
Πορώδες				Άλατα
Συμπύκνωση	Θερμοκρασία		Ακραίες θερμοκρασίες (παγετός, πυρκαγιά)	Βακτηρίδια
Ύπαρξη ρωγμών				

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την φθορά ποικίλουν, κατατάσσοντάς την σε ένα πολυσύνθετο πρόβλημα το οποίο χρήζει ενδεδειγμένης εξέτασης (Διάγραμμα 1.1). Η κατανόηση των φαινομένων που προκαλούν τη φθορά του σκυροδέματος επιτρέπει την αναγωγή τους σε παράγοντες ανθεκτικότητας.



Διάγραμμα 1.1 Αλληλοσυμβαλλόμενες συνιστώσες που αυξάνουν την πιθανότητα φθοράς [Πηγή: [2]]

Η ανθεκτικότητα συνδέεται κυρίως με την αντίσταση των χονδρόκοκκων υλικών σε παγετό και κύκλους πήξης/τήξης, η οποία πρέπει να είναι επαρκής για τη συγκεκριμένη εφαρμογή και πρέπει να καθορίζεται εάν αυτό κρίνεται απαραίτητο. [11]

Τα αδρανή υλικά πρέπει να παρουσιάζουν ικανοποιητική αντοχή στην καταπόνηση σε τριβή και κρούση, για τις φθορές των οποίων υπάρχουν οι αντίστοιχες συσκευές προσδιορισμού Böhme και Los Angeles.



Εικόνα 1.8 Αριστερά: Συσκευή Los Angeles, Δεξιά: Συσκευή Böhme [Πηγή: [21]]

Επίσης, οφείλουν να παρουσιάζουν σταθερότητα ως προς την αποσάθρωση από το νερό, τον αέρα και τον παγετό. Ο έλεγχος των αδρανών ως προς την αποσάθρωση γίνεται κατά

τη δοκιμή «υγείας πετρώματος». Κατά τη δοκιμή αυτή η άμμος πρέπει να παρουσιάζει απώλεια μικρότερη από 10% και τα αδρανή με μεγαλύτερους κόκκους απώλεια μικρότερη από 12%.

1.4.4 Καθαρότητα

Ο έλεγχος των χημικών και φυσικών χαρακτηριστικών των αδρανών είναι απαραίτητος. Δεν πρέπει να επηρεάζουν δυσμενώς α) την πήξη β) την σκλήρυνση γ) την αντοχή δ) την σταθερότητα του όγκου και ε) την προστασία του οπλισμού από διάβρωση. Με βάση την Προδιαγραφή α) EN12620, β) τον ΚΤΣ-97 και γ) το Πρότυπο του ΕΛΟΤ 408, από τα ορυκτά που περιέχονται στα πετρώματα και θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως βλαπτικά συστατικά, είναι κυρίως:

- i. **Ενώσεις Θείου** (ανυδρίτης γύψος) προκαλεί διόγκωση. Βάση του EN12620, η περιεκτικότητα σε SO_3 πρέπει να είναι $< 1\%$. Σε περίπτωση δε όπου υπάρχει υποψία ότι εμπεριέχεται μεταξύ των θειούχων ορυκτών μαγνητοπυρίτης (pyrrhotite= FeS , ασταθής μορφή θειούχου σιδήρου, βλ. Εικόνα 1.5), τότε το συνολικό ποσοστό θείου δεν πρέπει να ξεπερνά το $0,1\%$.
- ii. Οι ασταθείς μορφές του **διοξειδίου του πυριτίου** (SiO_2), υπάρχουν οδηγίες ότι τα αδρανή δεν θα πρέπει να περιέχουν περισσότερο από 2% ή λιγότερο από 60% δραστικές μορφές SiO_2 , προκειμένου να αποφευχθεί η αργιλοπυριτική αντίδραση.
- iii. **Ενώσεις Σιδήρου** προκαλούν διόγκωση και κηλίδες.
- iv. **Νιτρικά άλατα και αλογόνα** προκαλούν διάβρωση. Η περιεκτικότητα σε Cl πρέπει να είναι $< 0,2\%$.
- v. **Ενώσεις του μολύβδου ή του ψευδαργύρου**. Προκαλούν επιτάχυνση ή επιβράδυνση με μείωση της αντοχής.
- vi. **Χλωριούχες ή φωσφορικές ενώσεις**. Επιδρούν στο χρόνο πήξης
- vii. **Αποσαθρώσιμα συστατικά** (αργιλικόι σχιστόλιθοι). Προκαλούν μείωση αντοχής.
- viii. **Οργανικά**. Προκαλούν μείωση αντοχής και καθυστέρηση στην πήξη
- ix. **Γαϊάνθρακες ή λιγνίτες**. Προκαλούν μείωση αντοχής. Η περιεκτικότητα τους πρέπει να είναι $< 1\%$
- x. **Μαγνησιούχα ορυκτά**.



Εικόνα 1.9 Πλακώδεις εξαγωνικοί κρύσταλλοι μαγνητοπυρίτη με χαλαζία [Πηγή: [12]]

Επίσης, οι προδιαγραφές συνιστούν να αποφεύγονται πετρώματα με συστατικά που περιέχουν: Οπάλιο, ανδεσίτη, ρυόλιθο και δολομίτες γιατί προκαλούν διόγκωση και ζεόλιθους λόγω αντίδρασης με τα αλκάλια του τσιμέντου. [14]

Βλαβερές προσμίξεις όπως λάσπη, οργανικά υλικά, μάρμαρο, άργιλος, γύψος και αδρανή που περιέχουν θειικά άλατα και χλωριούχες ενώσεις πρέπει να αποφεύγονται διότι

εγκυμονούν κινδύνους και η παρουσία τους μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στο μίγμα. [11]

Με βάση τα παραπάνω, φαίνεται καθαρά, πόσο προσεκτικός πρέπει να είναι ο έλεγχος των αδρανών για βλαπτικά συστατικά, ακόμα και σε πολύ μικρές ποσότητες, όταν αυτά προορίζονται για την παρασκευή σκυροδέματος. [22]

Για τον προσδιορισμό των παραπάνω απαιτούνται εργαστηριακοί έλεγχοι (χημική ανάλυση, ορυκτολογική και πετρογραφική εξέταση). Επίσης απαιτείται το ποσοστό των εύθρυπτων και μαλακών κόκκων να μην υπερβαίνει το 3% και οι σβώλοι αργίλου σε ποσοστό 0,25%.

Η δειγματοληψία των αδρανών ανάλογα με την χρήση τους και για διάφορους ελέγχους απαιτεί ανάλογες ποσότητες δείγματος για κάθε τύπο δοκιμής και σε ανάλογη με τις προδιαγραφές συχνότητα. Το δείγμα μπορεί να λαμβάνεται είτε στον τόπο παραγωγής του υλικού (από μεταφορική ταινία σταματημένη) είτε από σωρούς από το μέσο του ύψους τους και από τουλάχιστον 10 σημεία γύρωθε.

Συμπερασματικά καταλήγουμε στο ότι η χρήση κατάλληλου μεγέθους και κατάλληλης ποιότητας αδρανών βελτιώνει το τελικό προϊόν, το σκυρόδεμα. Για αυτό το λόγο, τα αδρανή καθαρίζονται και κοκκομετρούνται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις με μηχανικές διεργασίες, όπως πλήρη ανάμιξή τους, σύνθλιψη, διαχωρισμό με κόσκινα και πλύσιμο (μηχανική προετοιμασία, βλ. Εικόνα 1.6). Ο στόχος είναι να επιτυγχάνεται παραγωγή υψηλής ποιότητας σκυροδέματος.



Εικόνα 1.10 Μονάδα παραγωγής αδρανών υλικών (σταθερό συγκρότημα) [Πηγή: [12]]

Πρέπει να επισημανθεί, ότι οι παραπάνω παράγοντες εκτός από τη σημαντική συνεισφορά που έχουν στις τελικές ιδιότητες του σκυροδέματος, συντελούν και στον καθορισμό του τρόπου και του κόστους παραγωγής του.

1.4.5 Αντοχή μητρικού πετρώματος

Το μητρικό πέτρωμα βάσει του ΕΛΟΤ 408 πρέπει να έχει θλιπτική αντοχή τουλάχιστον 65MPa, αλλά ο ΚΤΣ προβλέπει δυνατότητα χρήσης και χαμηλότερης αντοχής εφόσον από την μελέτη σύνθεσης αποδειχθεί ότι επιτυγχάνεται η απαιτούμενη αντοχή και ανθεκτικότητα του σκυροδέματος για το έργο που προορίζονται. Στο EN12620 δεν υπάρχει απαίτηση για έλεγχο αντοχής μητρικού πετρώματος. [14]

Η αντοχή του σκυροδέματος επηρεάζεται άμεσα από την αντοχή των αδρανών που συμμετέχουν στη σύστασή του. Για την μακροπρόθεσμη απόδοση του σκυροδέματος απαιτούνται ανθεκτικά αδρανή. Όταν τα αδρανή κορεστούν με νερό και το νερό παγώσει, αυξάνεται η υδραυλική πίεση. Εάν οι πόροι των αδρανών δεν επιτρέπουν στο νερό να κινηθεί γρήγορα σε ακόρεστες περιοχές των αδρανών, η υδραυλική πίεση υπερβαίνει την αντοχή των αδρανών προκαλώντας θραύση και φθορά. Σε γενικές γραμμές, τα μικρότερα αδρανή παρουσιάζουν μεγαλύτερες αντοχές σε ψύξη/απόψυξη από τα μεγαλύτερα μεγέθη από το ίδιο υλικό μειώνοντας το μήκος που πρέπει να διανύσει το νερό για να βγει από τα αδρανή και να ανακουφίσει την πίεση. [4]

1.4.6 Χημική συμπεριφορά

Η παρουσία επιβλαβών συστατικών στο υλικό, έχει αρνητικό συντελεστή στη χρήση του, ως αδρανές υλικό. Αυτό υφίσταται κυρίως για την δημιουργία σκυροδέματος, όπου προκαλεί προβλήματα στην ομαλή πήξη του σκυροδέματος, καθώς και στην μείωση της πυκνότητάς του. Τα συστατικά αυτά που η παρουσία τους στα αδρανή δρα αρνητικά είναι όπως προαναφέρθηκε η παρουσία παιπάλης-filler (κυρίως αργιλικής, ασβεστιτικής) ή η περιεκτικότητα στο υλικό ποσοστών οργανικής προέλευσης, μερικές θειούχες ενώσεις και γενικά κλάσματα υλικών που είναι μαλακά και δεν ανταποκρίνονται στα επίπεδα αντοχής που απαιτούνται για την χρήση του υλικού ως αδρανές υλικό. Επίσης και η παρουσία χλωριδίων που έχει ως αποτέλεσμα στο να είναι πιο επιρρεπή στη διάβρωση. Γενικώς, δεν πρέπει να περιέχονται ουσίες που επηρεάζουν το χρόνο πήξης και σκλήρυνσης καθώς και την τελική αντοχή ώστε α) να αυξάνεται ο χρόνος πήξης περισσότερο από 20λεπτά και β) να μειώνονται οι αντοχές περισσότερο από 20% στις 28ημέρες. Η χημική μέθοδος προσδιορισμού του είδους και της περιεκτικότητας των επιβλαβών αυτών ουσιών, είναι η χημική ανάλυση του υλικού. [23] [24]

Σε ορισμένους τύπους αδρανών τα άλατα αποπάγωσης βλάπτουν τη χημική δομή τους προκαλώντας φθορές. Οι διάφοροι μηχανισμοί της φθοράς λόγω της ψύξης/απόψυξης εκδηλώνονται με ρωγμές, οι οποίες είναι η πιο κοινή φθορά που προκαλείται σε αδρανή που δεν είναι ανθεκτικά σε κύκλους ψύξης/απόψυξης. [14]

1.5 Ασβεστολιθικά αδρανή

Από την ετήσια παραγωγή της ελληνικής τσιμεντοβιομηχανίας, η οποία προορίζεται για την εγχώρια αγορά, χρησιμοποιείται για την παρασκευή σκυροδέματος ένα ποσοστό της τάξεως του 90-95%. Δεδομένου ότι για κάθε m^3 σκυροδέματος απαιτούνται 2 τόνοι (t) αδρανών υλικών, έχει υπολογιστεί ότι οι ετήσιες ανάγκες αδρανών για παρασκευή σκυροδέματος ανέρχονται στους 62.14 εκατομμύρια τόνους (t).



Εικόνα 1.11 Λατομείο παραγωγής ασβεστολιθικών αδρανών στη Συκιά Μετάλλων, νομού Σερρών [Πηγή: [12]]

Αυτή η ποσότητα συλλέγεται από την κατεργασία (θραύση, ταξινόμηση, κοσκίνιση) ασβεστολιθικού πετρώματος, το οποίο εξορύσσεται σε λατομεία (νταμάρια) με επιφανειακή εξόρυξη. Η επιλογή των λατομικών ζωνών, από τις οποίες πραγματοποιείται η εξόρυξη των ασβεστολιθικών πετρωμάτων, γίνεται αφενός με βάση την ποσότητα του υγιούς πετρώματος και αφετέρου με την καθαρότητα του εξορυσσόμενου πετρώματος.

Το ποσοστό του αξιοποιήσιμου υλικού (κατάλληλα κοκκομετρικά κλάσματα μετά τη θραύση και κοσκίνιση) ανέρχεται κατά μέγιστο ποσοστό περίπου στο 60-70% του εξορυσσόμενου.

Μέχρι πριν από την έναρξη της οικονομικής κρίσης, τα ασβεστολιθικά αδρανή για τσιμέντο και σκυρόδεμα σύμφωνα με μέτριους υπολογισμούς ήταν περίπου 120-135 εκατομμύρια τόνους. [25]

Σύμφωνα με στοιχεία του 2013, λόγω της καταγραφόμενης παρατεταμένης οικονομικής κρίσης η οποία επηρέασε αρνητικότερα τον κατασκευαστικό και οικοδομικό κλάδο στη χώρα μας, η εθνική παραγωγή οδηγήθηκε σε δραματική μείωση και δεν υπερέβη τους 30 εκατομμύρια τόνους. [12]

Τα αδρανή παράγονται με τις γνωστές μεθόδους Μηχανικής Προπαρασκευής Πετρωμάτων, δηλαδή πρωτογενή, δευτερογενή, τριτογενή θραύση και ταξινόμηση των προϊόντων κάθε φάσης θραύσης σε δονούμενα κόσκινα για την παραγωγή των διαφόρων κοκκομετρικών κλασμάτων. [25]

Κατά τη διαδικασία παραγωγής αδρανών υλικών (εξόρυξη, θραύση-κοσκίνιση), μαζί με τα εμπορεύσιμα κοκκομετρικά κλάσματα, συμπαράγεται και ένα λεπτόκοκκο κλάσμα (-5 mm), το οποίο δημιουργεί σημαντικά προβλήματα διαχείρισης (εμπορευσιμότητα, απόθεση κλπ.). Το υλικό αυτό επιβαρύνει τη διαδικασία παραγωγής τόσο από οικονομική όσο και από περιβαλλοντική σκοπιά. Στον Πίνακα 1 δίνονται τα κατάλληλα μηχανήματα

(θραυστήρες) για την παραγωγή αδρανών υλικών και τα όρια εφαρμογής τους κατά στάδιο θραύσης.

Πίνακας 1.3 Μηχανήματα θραύσης κατά στάδιο θραύσης και μέγεθος τεμαχίων τροφοδοσίας και προϊόντος. [Πηγή: www.goodquarry.com, 2007 & Σταμπολτζής, 1994]

ΣΤΑΔΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ	Μηχάνημα θραύσης	Μέγιστο μέγεθος τεμαχίου τροφοδοσίας, mm	Μέγιστο μέγεθος τεμαχίου προϊόντος, mm
Πρωτογενής, Primary	Jaw crusher (Σιαγονωτός) Gyrotory crusher (Γυροσκοπικός)	700-1000	100-300
Δευτερογενής, Secondary	Cone crusher (Κωνικός) HSI crusher (οριζόντιος κρουστικός) Jaw crusher (σπανίως)	100-250	20-100
Τριτογενής, Tertiary	Cone crusher (Κωνικός) VSI crusher (κατακόρυφος κρουστικός τύπου Barmac)	14-100	10-50
Τεταρτογενής κ.ο.κ., Quaternary	VSI crusher (κατακόρυφος κρουστικός τύπου Barmac) Cone crusher (Κωνικός)	10-40	10-20

Σαν αδρανή υλικά χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι πετρωμάτων, αρκεί να πληρούν τις εθνικές και/ή τις διεθνείς Προδιαγραφές. Στην Ελλάδα, τα πιο διαδεδομένα αδρανή είναι τα ασβεστολιθικά δεδομένου του ότι το μεγαλύτερο μέρος της ελληνικής επικράτειας δομείται από ανθρακικά πετρώματα (βλ. Εικόνα 1.12).



Εικόνα 1.12 Ασβεστολιθικά αδρανή: 1) Κρητίς (κιμωλία)- αριστερά, 2) Δολομίτης-δεξιά [Πηγή: [26]]

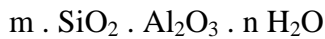
Τα ανθρακικά πετρώματα συγκαταλέγονται μεταξύ των πλέον κατάλληλων πετρωμάτων για παρασκευή σκυροδέματος, αρκεί να μην περιέχουν βλαπτικά συστατικά (προσμίξεις). Τέτοια χαρακτηρίζονται, όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη ενότητα, ορυκτά ή

ουσίες, οι οποίες ανάλογα με την ποσότητά τους και την σύστασή τους, μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την παραγωγή ενός καλού σκυροδέματος. Συγκεκριμένα εμποδίζουν την ομαλή εξέλιξη της πήξης και της σκλήρυνσης, προκαλούν ρηγματώσεις, διογκώσεις, αποκολλήσεις, μειώνουν την πυκνότητα ή ευνοούν τη διάβρωση του οπλισμού.

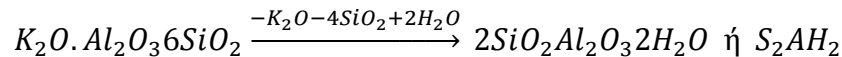
1.6 Αργιλοπυριτικά αδρανή

Η άργιλος είναι ένα μίγμα διαφόρων ορυκτών σε μορφή λεπτότατων πλακοειδών κόκκων, διαμέτρου μικρότερης των 2μm (κατά Attenberg και DIN 4016).

Τα κυριότερα συστατικά της άργιλου είναι οι ένυδρες πυριτικές ενώσεις του αργιλίου, της μορφής



και οι οποίες είναι αναμειγμένες με χαλαζίες, άστριους, μαρμαρυγίες, ασβεστίτη και δολομίτη σε διάφορες αναλογίες, ανάλογα με την προέλευση της άργιλου. Τα ορυκτά, τα οποία συνθέτουν την άργιλο, είναι προϊόντα αποσάθρωσης πυριτικών πετρωμάτων, όπως π.χ. ο καολίνης, ο οποίος προέρχεται από τους άστριους κατά την εξίσωση:



Τα κυριότερα ορυκτά των αργίλων είναι τα κατωτέρω, η δε χημική σύστασή τους δίνεται στον Πίνακα 1.4.

Πίνακας 1.4 Χημική σύσταση των κυριοτέρων αργιλικών ορυκτών. [Πηγή: [15]]

	Καολίνης %	Μοντμοριλονίτης %	Ιλλίτης %
SiO ₂	46,61	65,48	54,59
Al ₂ O ₃	38,83	19,4	23,32
Fe ₂ O ₃	0,59	3,30	6,94
CaO	0,11	0,66	0,87
MgO	0,29	2,47	1,88
Na ₂ O	0,16	1,94	0,16
K ₂ O	0,57	0,55	3,4
TiO ₂	0,10	0,19	0,68
SO ₃	0,17	0,41	-
Απώλεια πύρωσης	12,93	5,31	7,2

1. Καολίνης (2SiO₂ · Al₂O₃ · 2H₂O).
2. Μοντμοριλονίτης (4SiO₂ · Al₂O₃ · nH₂O).
3. Ιλλίτης (προϊόν αποσαθρώσεως του μοσχοβίτη, με μεγάλες διακυμάνσεις στη σύνθεσή του).
4. Αλλοϋσίτης (2SiO₂ · Al₂O₃ · nH₂O).

Οι διάφορες προσμίξεις και κυρίως του οξειδίου του σιδήρου (Fe₂O₃), καθορίζουν το χρώμα της άργιλου. Για παράδειγμα, μείγμα άργιλου και λεπτής άμμου (30-80%) έχει κίτρινο έως φαιό χρώμα και ονομάζεται πηλός. Ο πηλός αποτέλεσε παλαιότερα τη βάση της πηλοκονίας.

Σήμερα ο πηλός και οι άργιλοι, χρησιμοποιούνται κυρίως ως πρώτη ύλη στη βιομηχανία τσιμέντων, κεραμικών και κεραμευτικών προϊόντων. [15]

Σύμφωνα με πειραματικές μελέτες που έχουν γίνει, αποδεικνύεται ότι κάθε 1% αργίλου επί των αδρανών για αδρανή/τσιμέντο =3:1 προκαλεί μια πτώση της αντοχής κατά 2.7%.

Η άργιλος δεν δρα μόνο ως επιβραδυντής της ανάπτυξης των αντοχών αλλά μετά από συντήρηση 6 μηνών οι αντοχές των δοκιμίων με αδρανή που περιέχουν άργιλο υστερούν σημαντικά από τις αντίστοιχες των ασβεστολιθικών αδρανών. Επίσης, για υψηλό ποσοστό αργίλου, το κονίαμα χάνει την εργασιμότητά του, οπότε φυσικά και η απόκλιση που προκύπτει είναι πολύ υψηλή.

Συμπερασματικά, η παρουσία αργίλου στα αδρανή όχι μόνο επιβραδύνει την ανάπτυξη και τελικά μειώνει δραστικά την αντοχή του σκυροδέματος αλλά και αυξάνει σημαντικά την αβεβαιότητα στο μετρούμενο αποτέλεσμα. [27]

1.7 Περιγραφή πειραματικών μεθόδων

Στην Ενότητα αυτή θα προσπαθήσουμε να διαμορφώσουμε το θεωρητικό υπόβαθρο που πρέπει να γνωρίζουμε για τις πειραματικές μεθόδους τις οποίες χρησιμοποιήσαμε στην παρούσα εργασία.

1.7.1 Χημική ανάλυση – XRF

Η διαδικασία ανίχνευσης και ανάλυσης XRF σχετίζεται με το «φωτοηλεκτρικό φαινόμενο». Κατά το οποίο, μια ακτινοβολία τύπου- X απορροφάται από ένα άτομο μεταφέροντας όλη την ενέργειά της σε ένα εσωτερικό ηλεκτρόνιο του ατόμου. Κατά τη διαδικασία αυτή, αν η απορροφημένη ενέργεια είναι επαρκής, τότε τα ηλεκτρόνια μεταπηδούν από τις εσωτερικές στοιβάδες αφήνοντας πίσω τους κενά/οπές. Αυτά τα κενά, δημιουργούν μια ασταθή κατάσταση για το άτομο. Το άτομο τείνει να επιστρέψει στην σταθερή του κατάσταση. Ηλεκτρόνια από τις εξωτερικές στοιβάδες μετακινούνται προς στις ενδότερες εκπέμποντας μια χαρακτηριστική ακτινοβολία τύπου- X , ενέργειας ίσης με τη διαφορά των δύο αντίστοιχων ενεργειακών επιπέδων. Οι εκπεμπόμενες ακτινοβολίες τύπου- X , οι οποίες παράγονται κατά αυτήν τη διαδικασία ονομάζονται “X-ray Fluorescence” ή XRF. Τα μηχανήματα/συσκευές, όπως αυτό που χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα εργασία είναι ικανά να ανιχνεύουν τέτοιου είδους εκπομπές.

Σύμφωνα με τη διαδικασία της χημικής ανάλυσης, καθορίζεται η σύσταση και τα βλαπτικά συστατικά. Προσδιορίζονται οι οργανικές προσμίξεις και επιβλαβή συστατικά των αδρανών υλικών, ανάλογα με την χρήση τους εφαρμόζεται το κατάλληλο άρθρο της μεθόδου.

1.7.2 Ισοδύναμο Άμμου - SE

Έμμεσος και συγκριτικός προσδιορισμός ποσοστού κόκκων λεπτόκοκκου κλάσματος, όχι κατά ανάγκη αργιλικών, που παραμένουν σε αιώρηση σε υδατικό διάλυμα μετά από συγκεκριμένη ώρα, σε σχέση με το σύνολο των κόκκων.

Δίνει ένδειξη για την ύπαρξη βλαπτικών αργιλικών συστατικών στην άμμο (κλάσμα 0/4) και στα υλικά βάσεων, υποβάσεων οδοστρωμάτων. Σε συνδυασμό με την ποσότητα της παιπάλης δίνει μια ολοκληρωμένη εικόνα. Η παρουσία αργίλου στα αδρανή είναι ανεπιθύμητη διότι προκαλεί διόγκωση μετά από κορεσμό του αδρανούς με νερό, περιβάλλει τους κόκκους του αδρανούς με αποτέλεσμα να λειτουργεί ως λιπαντικό. [24]

Στην Ευρωπαϊκή μέθοδο (EN 933-8) εξετάζεται το κλάσμα (0/2 mm). Σε περίπτωση που πρέπει να εξεταστεί το κλάσμα 0/4 τότε η άμμος υπόκειται σε ειδική επεξεργασία που περιγράφεται στο Παράρτημα Α της μεθόδου. [17]

1.7.3 Μπλε του μεθυλενίου - MB

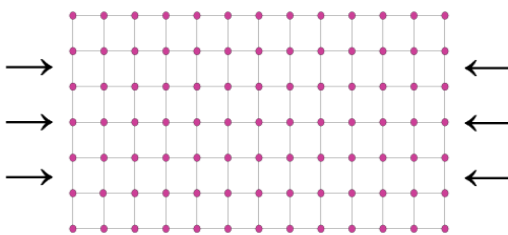
Η δοκιμή χρησιμοποιείται ως έμμεσος προσδιορισμός των κόκκων, ποιοτική αξιολόγηση λεπτόκοκκου κλάσματος, όχι κατά ανάγκη αργιλικών, που έχουν την ικανότητα απορρόφησης διαλύματος MB.

Δίνει αντίστοιχη ένδειξη με την δοκιμή Ισοδυναμού Άμμου. Ο συνδυασμός των δύο μεθόδων, όπου αυτό είναι εφικτό, δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα για τον χαρακτηρισμό του εξεταζόμενου δείγματος. Εκτελείται στα κλάσματα 0/2 και 0/0,125 mm.

Η δοκιμή βασίζεται στην αρχή της προσρόφησης επί της ενεργής επιφάνειας των αργιλικών ορυκτών των μορίων του μπλε του μεθυλενίου. Τα αργιλικά ορυκτά είναι υδρόφιλα και διογκώνονται ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε νερό. Η διογκωση αυτή έχει καταστρεπτικές συνέπειες στα ασφαλτομίγματα καθώς και στο σκυρόδεμα. Κατά τη δοκιμή μετρείται η ποσότητα του MB που χρειάζεται για τη μοριακή επικάλυψη όλων των αργιλικών συστατικών των αδρανών. [24]

1.7.4 Μηχανικές Αντοχές – Μέτρηση θλιπτικών αντοχών

Οι τρόποι θραύσης του σκυροδέματος υπό τάση είναι σύνθετοι και εξαρτώνται από το τύπο της επιβαλλόμενης τάσης (εφελκυστική, θλιπτική). Αυτό συμβαίνει διότι το σκυρόδεμα είναι ένα υλικό που μπορεί να περιέχει κενά διαφόρων μεγεθών και σχήματος στη τσιμεντόπαστα και μικρορωγμές στη διεπιφανειακή ζώνη (αδρανών-τσιμεντόπαστας). Στη παρούσα εργασία ασχολούμαστε μόνο με την θλιπτική τάση. Ως θλίψη ορίζεται η εντατική κατάσταση κατά την οποία σε ένα σώμα ασκούνται δυνάμεις αντίθετης φοράς που τείνουν να το συμπιέσουν (Εικόνα 2.16).



Εικόνα 1.13 "2d lattice compression" από τον Manos Hacker, [Πηγή:8]

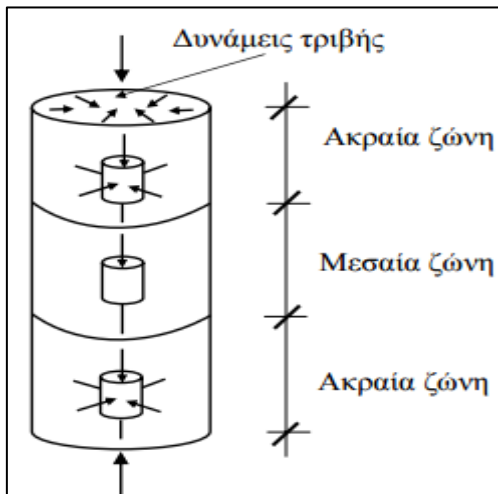
Υπό την μονοαξονική θλιπτική τάση, απαιτείται σχετικά ένα ποσό ενέργειας για την δημιουργία και ανάπτυξη ρωγμών στη τσιμεντόπαστα του σκυροδέματος. Έπειτα, ακολουθεί η διάδοση και η εξέλιξη αυτών των ρωγμών στο σύστημα, σε συνδυασμό με την συνένωσή τους με τις προϋπάρχουσες ρωγμές της διεπιφανειακής ζώνης (shear-bond cracks). Ο αριθμός και το μέγεθος των ρωγμών αυτών αυξάνει προοδευτικά με την αύξηση του επιπέδου της επιβαλλόμενης τάσης μέχρις ότου επέλθει οριστική αστοχία του υλικού. [4]

Η **θλιπτική αντοχή** χαρακτηρίζει την ικανότητα των αδρανών να ανθίστανται στον θρυμματισμό από την επιβολή φορτίων κατά την κατασκευή και τη λειτουργία του έργου

(π.χ. ασφαλοτάτητας, βάση, υπόβαση κτλ. κατά τη διάστρωση με οδοστρωτήρα και στη διάρκεια του χρόνου λόγω της κυκλοφορίας).

Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, f_c , αποτελεί το πιο χαρακτηριστικό μέγεθος του υλικού και μπορεί εύκολα να προσδιοριστεί πειραματικά. Για το λόγο αυτό βασικές μηχανικές ιδιότητες του υλικού (όπως το μέτρο ελαστικότητας και η αντοχή σε εφελκυσμό) που απαιτούνται για το σχεδιασμό των κατασκευών και των οποίων ο προσδιορισμός είναι λιγότερο ευχερής, εκφράζονται, συνήθως, συναρτήσει του μεγέθους αυτού. Επιπλέον, η θλιπτική αντοχή αποτελεί γενικό δείκτη της ποιότητας του σκυροδέματος, γιατί όλες σχεδόν, οι ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος (υδατοστεγανότητα, αντοχή σε επιφανειακή φθορά, ανθεκτικότητα, κλπ), βελτιώνονται με τη μείωση της διαπερατότητας του σκυροδέματος η οποία σχετίζεται με το πορώδες του υλικού το οποίο είναι καθοριστικός παράγοντας της θλιπτικής αντοχής του.

Η αντοχή του σκυροδέματος σε μονοαξονική θλίψη προσδιορίζεται με υποβολή σε κεντρική θλίψη δοκιμίων από σκυρόδεμα, οριζόμενη ως η μέγιστη τάση θραύσεως των δοκιμίων (βλ. Εικόνα 2.17).



Εικόνα 1.14 Σχηματική απεικόνιση κυλίνδρου υπό εντατική αξονική θλίψη. [Πηγή: [28]]

Η αντοχή του τσιμέντου αυξάνεται με το χρόνο, λόγω του ότι το στάδιο της ενυδάτωσης συνεχίζεται για πάρα πολλά χρόνια μετά την σκυροδέτηση. Ενδεικτικά, η αντοχή του σκυροδέματος με τσιμέντο Portland τύπου ΙΙ είναι μικρότερη περίπου κατά 30% στις 7 ημέρες από αυτή των 28 ημερών. [29]

Με τη δοκιμή προσδιορισμού της θλιπτικής αντοχής ελέγχονται οι αντοχές (τάσεις) θραύσης κυλινδρικών ή κυβικών δοκιμίων σκυροδέματος με την πρόοδο της πήξης και σκλήρυνσής τους (δηλ. σε προκαθορισμένους χρόνους). Εάν η τάση θραύσεως μιας δοκιμής δεν είναι μικρότερη κατά $3.5 \text{ MPa} \approx 500 \text{ psi}$ ή περισσότερο από τη δοκιμή σχεδιασμού ή εάν η μέση τιμή τάσης θραύσεως τριών διαδοχικών δοκιμών υπερβαίνει την αντοχή θραύσεως κατά το σχεδιασμό, τότε το σκυρόδεμα θεωρείται αποδεκτό από πλευράς αντοχής. [25]

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη θλιπτική αντοχή είναι ο τύπος του τσιμέντου, ο λόγος νερού/τσιμέντο και ο βαθμός ενυδάτωσης, ο οποίος επηρεάζεται κυρίως από το χρόνο και τη μέθοδο ωρίμανσης.

Η αντοχή του σκυροδέματος επομένως προκύπτει από την αντοχή του ενυδατωμένου τσιμέντου, την αντοχή των αδρανών, την πρόσφυση μεταξύ των δύο αυτών συστατικών και την ωρίμανση.

1.7.5 Μέτρηση Εξάπλωσης

Εξάπλωση είναι ένα μέτρο εργασιμότητας με τη μέση διάμετρο σε cm που αποκτά μια κωνική στήλη νωπού σκυροδέματος, η οποία μορφώθηκε επάνω στη τράπεζα εξαπλώσεως (βλ. Εικόνα 2.18), έπειτα από ορισμένο αριθμό αναπηδήσεων της τράπεζας. [30]

Το μέτρο εξαπλώσεως α προσδιορίζεται μόνο σε σκυροδεματικά πλαστικά και υγρά, προβλέπεται δε από τους ελληνικούς κανονισμούς. Η δοκιμή εκτελείται στην τράπεζα εξαπλώσεως.



Εικόνα 1.15 Μηχανοκίνητη τράπεζα εξαπλώσεως.

Η τράπεζα εξάπλωσης χρησιμοποιείται στον προσδιορισμό της συνεκτικότητας των κονιαμάτων. Αποτελείται από σφαιρική μεταλλική επιφάνεια, η οποία δύναται να ανυψώνεται κατάλληλα κατά τη μέτρηση. Η τράπεζα συνοδεύεται από κουλουροκωνικό δοχείο ανοικτό και από τις δύο πλευρές, το οποίο τοποθετείται επάνω στη τράπεζα, με βάση τη πλευρά που φέρει το άνοιγμα με τη μεγαλύτερη διάμετρο. Το δοχείο πληρώνεται με το τσιμεντοκονίαμα, σε δυο στρώσεις, όπου η συμπύκνωση κάθε στρώσης γίνεται μέσω κόπανου διατομής 4x4cm (10 ελαφρά χτυπήματα). Κατόπιν, επιπεδώνεται η άνω επιφάνεια με μυστρί και μετά το πέρας 30 δευτερολέπτων ανυψώνεται το δοχείο βραδέως, οπότε το τσιμεντοκονίαμα εξαπλώνεται επί της τραπέζης αναλόγως της συνεκτικότητάς του. Τέλος, ανυψώνεται η τράπεζα, είτε μέσω χειρολαβής είτε μηχανικά και αφήνεται να πέσει ελεύθερα (15φορές). [31] [15]

Το μέτρο εξάπλωσης είναι ο μέσος όρος:

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}, \text{ για } \alpha \leq 40\text{cm} \text{ πλαστικό σκυρόδεμα, ενώ για } \alpha = 41-50\text{cm} \text{ υγρό σκυρόδεμα.}$$

Επίσης, μέσω της τράπεζας εξαπλώσεως γίνεται αξιολόγηση της ρευστότητας, οπτικός έλεγχος της επιφάνειας εξάπλωσης για ομοιόμορφη κατανομή αδρανών ή τυχόν φαινόμενα διαχωρισμού, ειδικά περιμετρικά του κύκλου εξάπλωσης. [32]

Η επιφάνεια του πλακούντος πρέπει να είναι ομοιόμορφη και κλειστή, αλλιώς, η τράπεζα εξαπλώσεως δεν είναι κατάλληλη για τον προσδιορισμό της συνεκτικότητας του υπό εξέταση σκυροδέματος/τσιμεντοκονιάματος. [15]

1.8 Τοποθέτηση προβλήματος

Η προέλευση και το ποσοστό της παιπάλης των αδρανών συστατικών επηρεάζουν σημαντικά τις ιδιότητες του σκυροδέματος-κονιάματος που παρασκευάζεται με αυτά. Καίτοι είναι γνωστή η γενικότερη επίπτωση των αργιλικών προσμίξεων, η παρούσα μελέτη εστιάζεται και συγκρίνει δύο διαφορετικής προέλευσης filler (ασβεστολιθικό και αργιλοπυριτικό) που προστίθενται σε διαφορετικά ποσοστά σε πλυμένη άμμο. Στόχος είναι ο προσδιορισμός και η κατηγοριοποίηση της επίδρασης του ποσοστού παιπάλης στα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος. Για την επίτευξη αυτού του στόχου χρησιμοποιούνται τρεις μέθοδοι πειραματικών μετρήσεων, μετρήσεις ισοδυνάμων άμμου (SE), μετρήσεις μπλε του μεθυλενίου (MB) και μετρήσεις αντοχών θλίψης σε κονιάματα επτά και εικοσιοκτώ ημερών.

Κεφάλαιο 2 Πειραματικό Μέρος

Στην Ενότητα αυτή εξετάζουμε τις πειραματικές διαδικασίες (διατάξεις, μέθοδοι, δειγματοληψία) που ακολουθήθηκαν για την χημική ανάλυση των δύο filler (ασβεστολιθικό, αργιλοπυριτικό), τον προσδιορισμό των ισοδυνάμων άμμου (Sand Equivalent, **SE**) και των μετρήσεων μπλε του μεθυλενίου (Methylene Blue, **MB**) στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Σκυροδέματος (**Ε.Τ.Σ.**) του εργοστασίου TITAN. Επίσης εξετάζουμε την μέθοδο παρασκευής κονιαμάτων, τις πειραματικές διαδικασίες για τις μετρήσεις εξάπλωσης και τέλος τις μετρήσεις μηχανικών (θλιπτικών) αντοχών στο Εργαστήριο Φυσικών Δοκιμών (**Ε.Φ.Δ.**) του εργοστασίου Καμαρίου.

2.1 Περιγραφή πειραματικών διατάξεων

Στην Ενότητα αυτή θα αναφερθούμε στον εργαστηριακό εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των πειραματικών μετρήσεων της παρούσας εργασίας.

2.1.1 Χημική ανάλυση - XRF

Η διάταξη του μηχανήματος χημικής ανάλυσης XRF που χρησιμοποιήθηκε για την ταυτοποίηση των δειγμάτων filler (ασβεστολιθικό, αργιλοπυριτικό), βρίσκεται στο τομέα του Χημείου του εργοστασίου TITAN (βλ. Εικόνα 2.1). Πρόκειται για φασματογράφο ακτίνων - X (XRF Spectrometer) της κατασκευαστικής εταιρίας Brucker τύπου WDS (Wavelength Dispersive Spectrometer). Η διάταξη είναι εφοδιασμένη με λυχνία 3kW και παράθυρο βηρυλλίου (Be). Το όργανο διαθέτει σύστημα αυτόματης τροφοδοσίας και η λειτουργία του είναι σε υψηλό κενό (<10Pa). Τα δείγματα τα οποία επεξεργάζεται εισάγονται σε μορφή πέρλας (τήγματα οξειδίων).



Εικόνα 2.1 Διάταξη μηχανήματος χημικής ανάλυσης XRF, Χημείο – TITAN.

2.1.2 Προσδιορισμός ισοδυνάμων άμμου – Sand Equivalent (SE)

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή των μετρήσεων της συγκεκριμένης μεθόδου περιλαμβάνει τα αντιδραστήρια και τα όργανα που περιγράφονται.

Αντιδραστήρια

Διάλυμα που αποτελείται από:

1. φορμαλδεΰδη,
2. κρυσταλλικό χλωριούχο ασβέστιο,

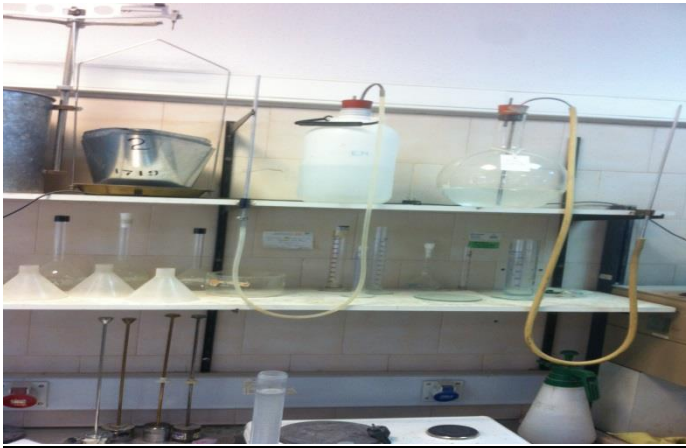
3. γλυκερίνη και

4. απεσταγμένο νερό,

σε αναλογίες σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου. Αυτό το αναμιγνύουμε (125±1mL) με απεσταγμένο νερό μέχρι όγκου 5lt (±0.01lt) και παρασκευάζουμε το διάλυμα έκπλυσης. Το διάλυμα δεν θα χρησιμοποιείται πέρα των 28 ημερών.

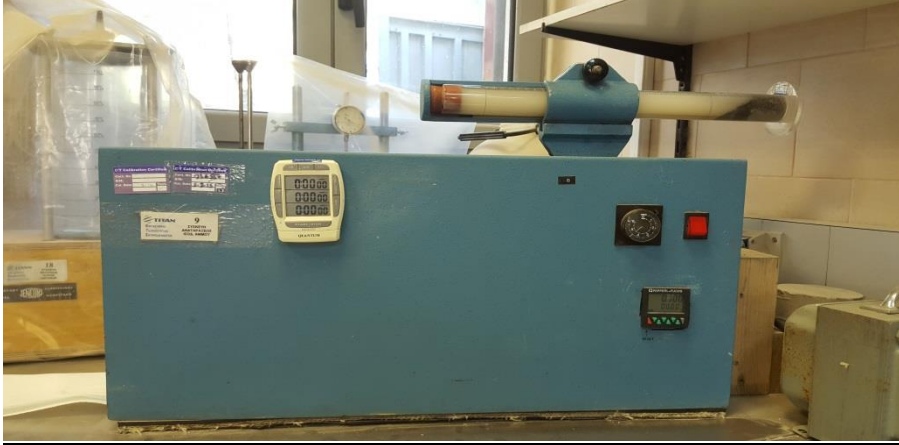
Όργανα

- Δύο διαφανείς βαθμονομημένοι ογκομετρικοί κύλινδροι (0-430mm) με ένδειξη στα 100 και 380mm από τη βάση.
- Χάρακας 500mm βαθμονομημένος σε mm.
- Διάταξη βάρους αποτελούμενη από το βάρος, τη μεταλλική ράβδο και την βάση κωνικού σχήματος συνολικού βάρους (1.00±0.01)Kgr.
- Φιάλη χωρητικότητας 5lt για το απαιτούμενο αραιό διάλυμα, με κατάλληλο σύστημα τροφοδοσίας μέσω λαστιχένιου σωλήνα έως 1.5m και ακίδας από υλικό που δεν διαβρώνεται μήκους περίπου 500mm. Η φιάλη θα βρίσκεται τοποθετημένη 1m περίπου πάνω από τον πάγκο εργασίας (βλ. Εικόνα 2.2).



Εικόνα 2.2 Φιάλη 5lt τοποθετημένη 1m πάνω από τον πάγκο εργασίας με κατάλληλο σύστημα τροφοδοσίας που φέρει ακίδα μήκους περίπου 500mm.

- Κόσκινο τετραγωνικής οπής ανοίγματος 4mm.
- Ελαστικό πόμα.
- Δοχείο μεταφοράς του δείγματος στους ογκομετρικούς σωλήνες όγκου 84mL περίπου.
Σημείωση: Δεν χρησιμοποιήθηκε δοχείο μεταφοράς λόγω του ότι η μεταφορά του δείγματος προς τους ογκομετρικούς σωλήνες έγινε απευθείας από τα σακουλάκια.
- Ηλεκτροκίνητη συσκευή ανατάραξης (βλ. Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.3 α) Ηλεκτροκίνητη συσκευή ανατάραξης ογκομετρικών κυλίνδρων. β) Ηλεκτρονικό χρονόμετρο.

- Θερμόμετρο ακριβείας 1°C.
- Ζυγαριά με ακρίβεια 0.1% της μάζας που ζυγίζεται (βλ. Εικόνα 2.4).
- Χωνί, σπάτουλα, διαχωριστής.
- Ογκομετρικός κύλινδρος των 0.15lt και 1lt.
- Χρονόμετρο ακριβείας 1sec (βλ. Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.4 Ηλεκτρονικός ζυγός Mettler PE 6000 ακρίβειας ενός δεκαδικού ψηφίου.

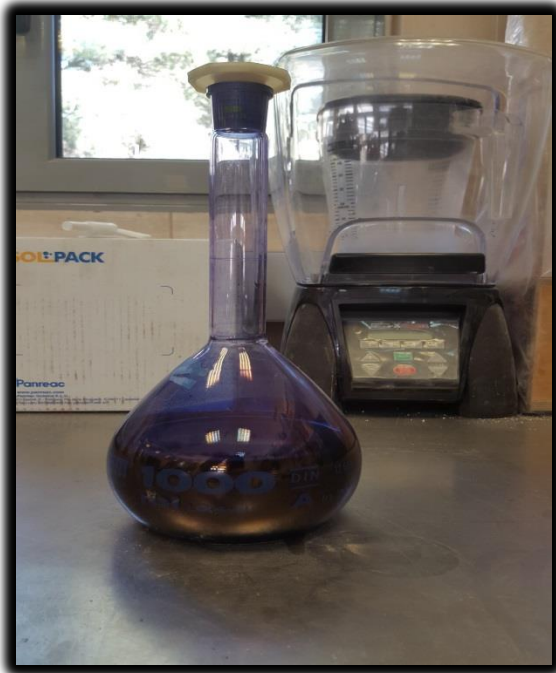
2.1.3 Tests μπλε του μεθυλενίου – Methylene Blue (MB)

Το σύνολο των μετρήσεων της συγκεκριμένης μεθόδου πραγματοποιήθηκε στο Ε.Τ.Σ. και αφορά τη διεξαγωγή των tests, περί προσδιορισμού της τιμής MB σε λεπτόκοκκα αδρανή σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 933-9:2013.

Ακολουθεί αναλυτικά ο εργαστηριακός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε.

Αντιδραστήρια

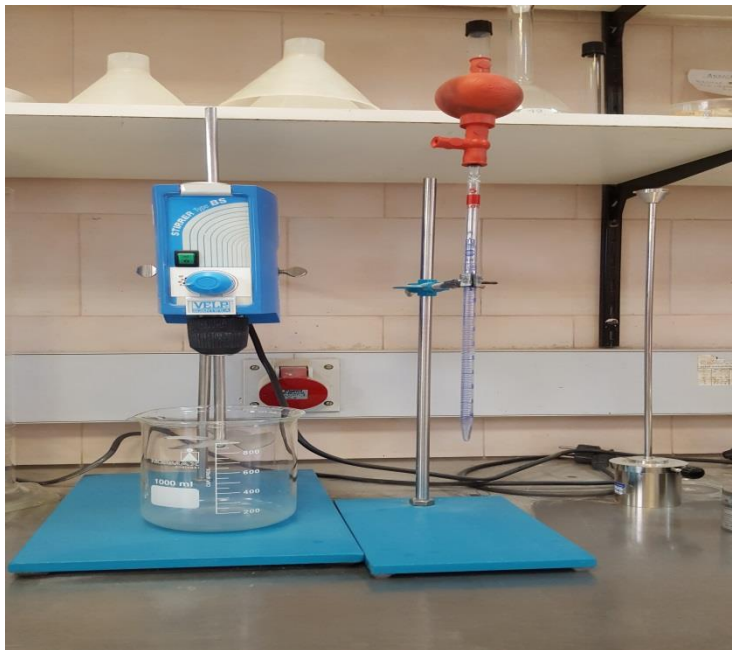
Διάλυμα MB σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN 933-9 Annex C (βλ. Εικόνα 2.5).



Εικόνα 2.5 Φιάλη διαλύματος μπλε του μεθυλενίου (MB).

Όργανα

- Διηθητικό φίλτρο, ελεύθερο τέφρας, πάχους 0.20 mm διηθητικής ταχύτητας 75 s, 95 g/m², μεγέθους πόρων 8 μm
- Σιφόνιο των 5 mL και 2 mL
- Μίξερ με 3 ή 4 περυγία διαμέτρου (75 ± 10)mm και δυνατότητα επιλογής διαφορετικών ταχυτήτων περιστροφής (έως 600 ± 60 / min) (βλ. Εικόνα 2.6)
- Ποτήρι ζέσεως πλαστικό ή γυάλινο χωρητικότητας 1 ή 2 lt



Εικόνα 2.6 Από αριστερά προς τα δεξιά: Διάταξη μίξερ 3 περυγίων δυνατότητας διαφορετικής ταχύτητας περιστροφής (Stirrer type BS) με γυάλινο ποτήρι ζέσεως χωρητικότητας 2 lt. Διάταξη στήριξης σιφονίου με δυνατότητα περιστροφής κατά τον κάθετο άξονα. Διάταξη βάρους με κολάρο.

- Ζυγός ακριβείας 0.1% της ποσότητας που ζυγίζεται
- Αεριζόμενος φούρνος με θερμοστάτη για διατήρηση στους $100 \pm 5^\circ\text{C}$
- Θερμόμετρο ακριβείας 1°C
- Χρονόμετρο ακριβείας 1 sec
- Κόσκινο ανοίγματος οπής 2 mm
- Γυάλινη ράβδος μήκους 300 mm και διαμέτρου 8 mm και φιάλη 1lt

2.1.4 Παρασκευή δοκιμίων κονιαμάτων – Μέτρηση Εξάπλωσης

Το Ευρωπαϊκό Πρότυπο το οποίο ακολουθήθηκε για την παρασκευή των δοκιμίων κονιαμάτων και για τη μέτρηση των μηχανικών αντοχών τους ήταν το **EN 196-1:2005**. Η μέθοδος περιλαμβάνει τον προσδιορισμό αντοχών σε θλίψη, πρισματικών δοκιμίων διαστάσεων $40\text{ mm} \times 40\text{ mm} \times 160\text{ mm}$.

Η παρασκευή των δοκιμίων κονιαμάτων καθώς και οι μετρήσεις μηχανικών αντοχών επί αυτών πραγματοποιήθηκαν στο χώρο του εργαστηρίου Ε.Φ.Δ.. Το εργαστήριο πρέπει να διατηρείται σε θερμοκρασία $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ και σχετική υγρασία όχι λιγότερη από 50%. Αναλυτικά, ο εργαστηριακός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο εξής:

❖ Αναμκτήρας

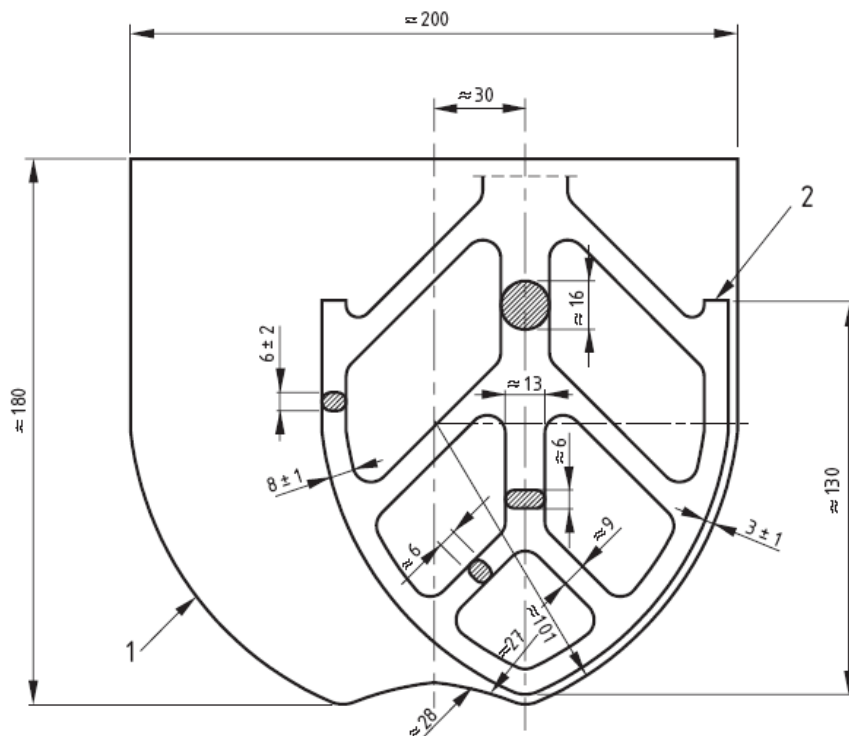
Ο αναμκτήρας πρέπει να αποτελείται ουσιαστικά από :

- α. Δοχείο ανάμιξης από ανοξείδωτο χάλυβα, χωρητικότητας περίπου 5 lt του οποίου το σχήμα και οι διαστάσεις δίδονται στο Σχήμα 2.1. Το δοχείο ανάμιξης φέρει την κατάλληλη διάταξη με την οποία προσαρμόζεται σταθερά στο πλαίσιο του αναμκτήρα κατά την διάρκεια της ανάμιξης και με την οποία το ύψος του δοχείου σε σχέση με το μίκτρο και, σε κάποιο βαθμό, το διάκενο μεταξύ μίκτρο και δοχείου ανάμιξης μπορεί να επιδέχονται μικρορυθμίσεις και να σταθεροποιούνται.
- β. Μίκτρο από ανοξείδωτο χάλυβα του οποίου το γενικό σχήμα, οι διαστάσεις και τα όρια τιμών δίδονται στο Σχήμα 2.1. Το μίκτρο περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του καθώς αυτό αναγκάζεται σε μια πλανητική κίνηση γύρω από τον άξονα του δοχείου από ένα ηλεκτροκινητήρα, σε ελεγχόμενες ταχύτητες. Οι δύο φορές περιστροφής πρέπει να είναι αντίθετες και ο λόγος μεταξύ των δύο ταχυτήτων να μην είναι ακέραιος αριθμός.

Το διάκενο μεταξύ μίκτρο και δοχείου ανάμιξης στο Σχήμα 2.1 πρέπει να ελέγχεται τακτικά. Το διάκενο $(3 \pm 1)\text{ mm}$ αναφέρεται στην θέση όπου το μίκτρο στο άδειο δοχείο ανάμιξης φέρεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στα τοιχώματα του δοχείου. Απλοί μετρητές ανοχών (μετρητές διακένων) είναι χρήσιμοι όταν η απευθείας μέτρηση είναι δύσκολη. Ο αναμκτήρας πρέπει να λειτουργεί στις ταχύτητες που δίδονται στον Πίνακα 2.1, όταν αναμιγνύει το κονίαμα.

Πίνακας 2.1 Ταχύτητες μίκτρο

	Περιστροφή min^{-1}	Πλανητική κίνηση min^{-1}
Χαμηλή ταχύτητα	140 ± 5	62 ± 5
Υψηλή ταχύτητα	285 ± 10	125 ± 10



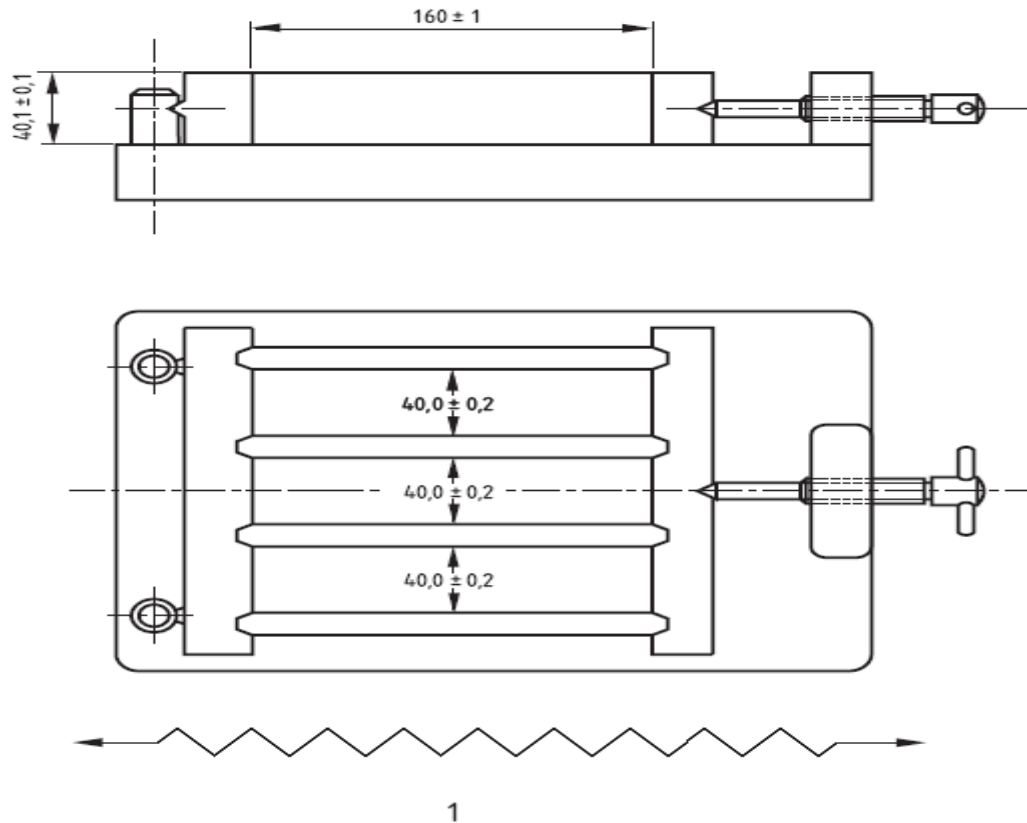
Σχήμα 2.1 Τυπικό δοχείο ανάμειξης (1) και μίκτρο (2). [Πηγή: EN 196.01 3^η Έκδοση, 2005 [33]]

❖ Καλούπια

Το καλούπι πρέπει να αποτελείται από τρία οριζόντια διαμερίσματα έτσι ώστε να μπορούν να κατασκευάζονται συγχρόνως τρία πρισματικά δοκίμια διατομής 40 mm × 40 mm και μήκους 160 mm. Ένα τυπικό σχέδιο τέτοιου καλουπιού απεικονίζεται στο Σχήμα 2.2.

Το καλούπι πρέπει να είναι κατασκευασμένο από χάλυβα, τα τοιχώματα του οποίου πρέπει να έχουν πάχος περίπου 10 mm. Η επιφάνεια της κάθε εσωτερικής πλευράς πρέπει να έχει σκληρότητα τουλάχιστον HV 200 κατά Vickers.

Το κάθε καλούπι πρέπει να είναι κατασκευασμένο κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να διευκολύνεται η απομάκρυνση των δοκιμίων χωρίς να προξενούνται βλάβες στις επιφάνειές τους. Κάθε καλούπι πρέπει να έχει λεία χαλύβδινη ή χυτοσιδηρά βάση. Το καλούπι όταν συναρμολογείται πρέπει να συγκρατείται στερεά και να σταθεροποιείται καλά πάνω στη βάση.



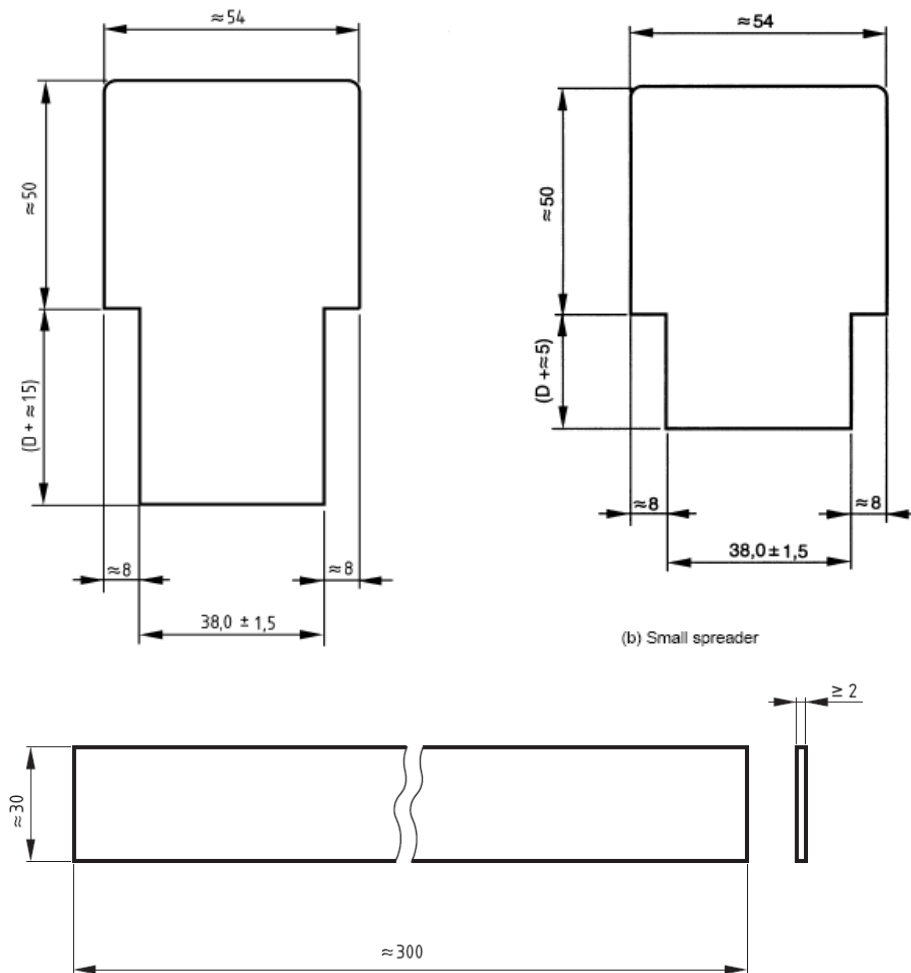
Σχήμα 2.2 Τυπικό καλούπι (διαστάσεις σε χιλιοστόμετρα). Διεύθυνση απόξεσης με πριονωτή κίνηση. [Πηγή: EN 196.01 3^η Έκδοση, 2005 [33]]

Η συναρμολόγησή του πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μην επιτρέπονται παραμορφώσεις ή ορατές διαρροές. Η βάση πρέπει να εγγυάται τέλεια επαφή με την τράπεζα της συσκευής συμπύκνωσης και να σταθεροποιείται έτσι, ώστε να μην προσθέτει δευτερεύοντες κραδασμούς στο σύστημα.

Μετά τη συναρμολόγησή του έτοιμου για χρήση, καθαρού καλουπιού, προστίθεται κατάλληλο στεγανωτικό υλικό στους εξωτερικούς αρμούς. Οι εσωτερικές επιφάνειες του καλουπιού επαλείφονται με ένα λεπτό στρώμα λαδιού. Θα πρέπει να προσεχθεί το είδος του λαδιού που θα χρησιμοποιηθεί διότι μερικά λάδια έχει βρεθεί ότι επηρεάζουν τη πήξη του τσιμέντου. Τα ορυκτέλαια έχουν αποδειχθεί κατάλληλα.

Για την διευκόλυνση της πλήρωσης του καλουπιού χρησιμοποιείται κατάλληλο μεταλλικό πλαίσιο με κάθετα τοιχώματα ύψους 20 mm έως 40 mm σταθερά προσαρμοσμένη στο καλούπι. Σε κάτοψη το πλαίσιο αυτό είναι σχεδιασμένο ώστε τα τοιχώματά του να υπερκαλύπτουν τα εσωτερικά τοιχώματα του καλουπιού κατά όχι περισσότερο από 1 mm. Τα εξωτερικά τοιχώματα του καλουπιού θα πρέπει να φέρουν διάταξη προσαρμογής για να διασφαλίζουν τη σωστή τοποθέτησή του πάνω στο καλούπι.

Για την διάστρωση και την απόξεση του κονιάματος στο καλούπι χρησιμοποιούνται δύο σπάτουλες και μια μεταλλική ράβδος του τύπου που δείχνει το Σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3 Τυπικά ελάσματα διάστρωσης (διαστάσεις σε χιλιοστά). (α) Μεγάλο έλασμα διάστρωσης, (β) Μικρό έλασμα διάστρωσης. (γ) Ευθεία μεταλλική ράβδος. D = ύψος μεταλλικού πλαισίου πλήρωσης καλουπιού. [Πηγή: EN 196.01 3^η Έκδοση, 2005 [33]]

❖ Συσκευή συμύκνωσης με κρούση

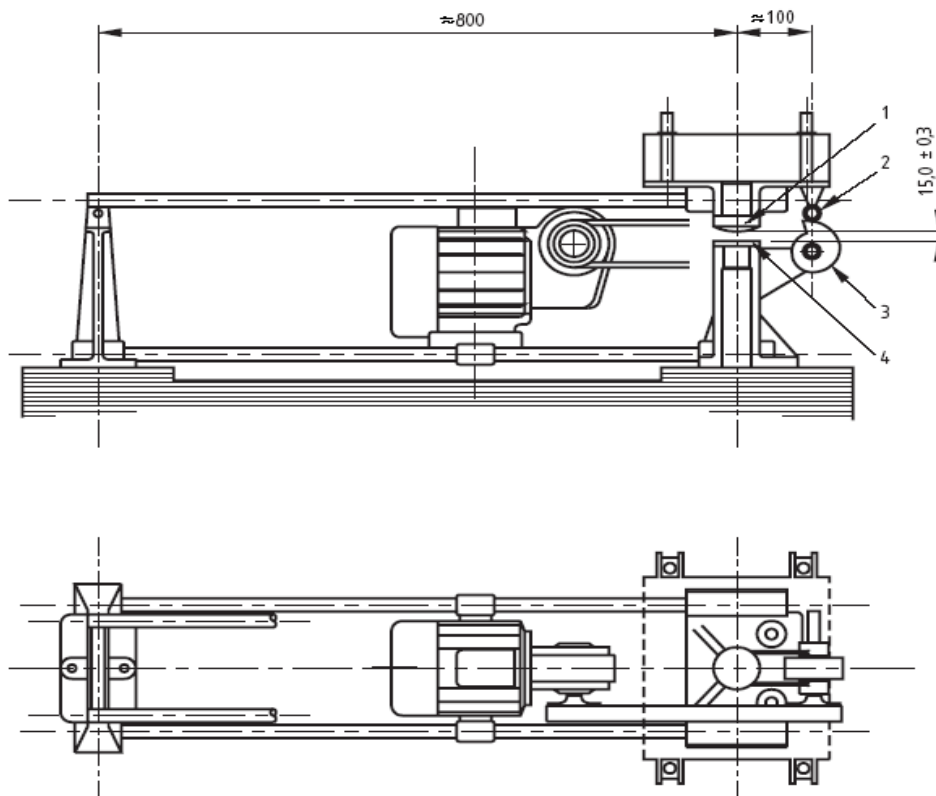
Η συσκευή αυτή (τυπικό σχεδιάγραμμα φαίνεται στο Σχήμα 2.4) πρέπει να πληροί τις παρακάτω απαιτήσεις:

Ουσιαστικά αποτελείται από μια ορθογώνια τράπεζα στερεά συνδεδεμένη με δύο ελαφρούς βραχίονες σε ένα άξονα περιστροφής, που απέχει 800 mm από το κέντρο της τράπεζας. Στην κατώτερη επιφάνεια της τράπεζας είναι ενσωματωμένη στο κέντρο της και προεξέχει μια διάταξη πρόσκρουσης με στρογγυλεμένη την κάτω επιφάνειά της. Κάτω από τη διάταξη πρόσκρουσης βρίσκεται ένα μικρό stop με επίπεδη την άνω επιφάνειά του. Σε κατάσταση επαφής η κοινή κάθετος που διέρχεται από το σημείο επαφής της διάταξης πρόσκρουσης και του stop πρέπει να είναι κατακόρυφη. Όταν η διάταξη πρόσκρουσης εφάπτεται στο stop, η άνω επιφάνεια της τράπεζας πρέπει να είναι οριζόντια, έτσι ώστε η κάθετη απόσταση οποιασδήποτε των 4 γωνιών της τράπεζας από το μέσο οριζόντιο επίπεδο να μην είναι μεγαλύτερη από 1.0 mm. Η τράπεζα πρέπει να έχει διαστάσεις ίσες ή μεγαλύτερες από εκείνες των βάσεων των καλουπιών και η άνω επιφάνειά της να έχει υποστεί μηχανική λείανση. Για την στερέωση του καλουπιού πάνω στην πλάκα πρέπει να υπάρχουν σφικκτήρες με κοχλία.

Η συνολική μάζα της τράπεζας συμπεριλαμβανομένων των βραχιόνων, του άδειου καλουπιού, του μεταλλικού πλαισίου πλήρωσης του καλουπιού και των σφιγκτήρων πρέπει να είναι (20.0 ± 0.5) kg.

Οι βραχίονες που συνδέουν τη διάταξη της τράπεζας με τον άξονα περιστροφής πρέπει να είναι άκαμπτοι και κατασκευασμένοι από στρογγυλούς σωλήνες εξωτερικής διαμέτρου 17 mm έως 22 mm προδιαγραφών ISO 4200. Η συνολική μάζα των δύο βραχιόνων συμπεριλαμβανομένων πιθανών εγκαρσίων συνδέσεων, πρέπει να είναι (2.25 ± 0.25) kg. Τα έδρανα του άξονα περιστροφής πρέπει να είναι σφαιρικού ή κυλινδρικού τύπου και να προστατεύονται από την είσοδο μικρών κόκκων και σκόνης. Η οριζόντια μετατόπιση του κέντρου της τράπεζας ως αποτέλεσμα των ανοχών του άξονα περιστροφής δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 1.0 mm.

Η διάταξη πρόσκρουσης και το stop πρέπει να είναι κατασκευασμένα από σκληρό χάλυβα, σκληρότητας τουλάχιστον HV 500 Vickers. Η καμπυλότητα της επιφάνειας της διάταξης πρόσκρουσης πρέπει να είναι περίπου 0.01 mm^{-1} .



Σχήμα 2.4 Τυπική συσκευή συμπίκνωσης με κρούση. (1) Διάταξη πρόσκρουσης, (2) Ολισθητήρας έκκεντρο, (3) Έκκεντρο, (4) Stop. [Πηγή: EN 196.01 3^η Έκδοση, 2005 [33]]

Κατά την λειτουργία της συσκευής, η τράπεζα ανυψώνεται με την βοήθεια ενός έκκεντρο και αφήνεται να πέσει ελεύθερα από ύψος (15.0 ± 0.3) mm πριν η διάταξη πρόσκρουσης προσκρούσει στο stop.

Το έκκεντρο πρέπει να είναι κατασκευασμένο από χάλυβα, σκληρότητας τουλάχιστον HV 400 Vickers και ο άξονάς του πρέπει να εδράζεται σε έδρανα σφαιρικού τύπου τέτοιας κατασκευής, ώστε να εξασφαλίζεται πάντοτε η απαίτηση της ελεύθερης πτώσης από ύψος (15.0 ± 0.3) mm. Ο ολισθητήρας έκκεντρο (cam follower) πρέπει

να είναι κατάλληλης κατασκευής, που να εγγυάται την μικρότερη φθορά στο έκκεντρο. Με την βοήθεια ενός ηλεκτρικού κινητήρα 250W περίπου και ενός μειωτή το έκκεντρο κινείται με σταθερή ταχύτητα μίας στροφής το δευτερόλεπτο. Η διάταξη πρέπει να συνοδεύεται από μηχανισμό ελέγχου και από μετρητή κρούσεων που να εγγυάται ότι μια περίοδος συμπίκνωσης των (60 ± 3) sec περιλαμβάνει ακριβώς 60 κρούσεις.

Η θέση του καλουπιού πάνω στην πλάκα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η κατά μήκος διεύθυνση των διαμερισμάτων του καλουπιού να συμπίπτει με την διεύθυνση των βραχιόνων και να είναι κάθετη στον άξονα περιστροφής του έκκεντρο. Πρέπει να υπάρχουν κατάλληλα σημεία αναφοράς για να βοηθούν στην τοποθέτηση του καλουπιού, με τέτοιο τρόπο ώστε το κέντρο του μεσαίου διαμερίσματος του καλουπιού να ευρίσκεται ακριβώς πάνω από το σημείο κρούσης.

Η συσκευή πρέπει να στερεωθεί σε ένα βάθρο από σκυρόδεμα, μάζας 600 kg περίπου και όγκου περίπου 0.25 m^3 με διαστάσεις που να προσδίδουν ένα κατάλληλο ύψος εργασίας για τον χειρισμό των καλουπιών. Ολόκληρη η βάση του βάρου του σκυροδέματος θα πρέπει να εδράζεται πάνω σε μια ελαστική πλάκα π.χ. από φυσικό ελαστικό, που να έχει κατάλληλη μονωτική ικανότητα ώστε να προφυλάσσει από εξωτερικές δονήσεις που μπορούν να επιδράσουν στην συμπίκνωση.

Η βάση της συσκευής πρέπει να στερεωθεί στο βάθρο από σκυρόδεμα με τη βοήθεια μπουλονιών αγκυρώσεως και ένα λεπτό στρώμα κονιάματος πρέπει να τοποθετηθεί μεταξύ της βάσης της συσκευής και του βάρου από σκυρόδεμα για να εξασφαλίζεται ολική και ελεύθερη από δονήσεις επαφή.

❖ Μηχανή δοκιμής αντοχής σε θλίψη

Η μηχανή δοκιμής αντοχής σε θλίψη έχει ακρίβεια $\pm 1.0 \%$ του καταγεγραμμένου φορτίου στην περιοχή των τελευταίων 4/5 της κλίμακας που χρησιμοποιείται (κατά EN ISO 7500-1) και δυνατότητα φόρτισης με ρυθμό (2400 ± 200) N/s. Επίσης είναι εφοδιασμένη με κατάλληλο λογισμικό, το οποίο έχει τη δυνατότητα να κρατά την ένδειξη του φορτίου κατά τη θραύση του δοκιμίου και μετά την αποφόρτιση της μηχανής δοκιμής αντοχής σε θλίψη. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μνήμης σε ψηφιακή ένδειξη. Επίσης το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα αυτόματης καταγραφής των αποτελεσμάτων καθώς και αυτόματης μεθόδου ελέγχου του ρυθμού φόρτισης (βλ. Εικόνα 2.7).



Εικόνα 2.7 Μηχανική υδραυλική πρέσα της Toni Technik (Baustoffprüfsysteme), συνδεδεμένη με το απαραίτητο λογισμικό.

Ο κατακόρυφος άξονας του υδραυλικού εμβόλου συμπίπτει με τον κατακόρυφο άξονα της μηχανής και κατά την φόρτιση η κίνηση του υδραυλικού εμβόλου γίνεται κατά μήκος του κατακόρυφου άξονα της μηχανής. Επιπλέον, η συνισταμένη όλων των δυνάμεων διέρχεται από το κέντρο του δοκιμίου. Η επιφάνεια της κάτω πλάκας της μηχανής είναι και παραμένει κάθετη στον άξονα της μηχανής καθ' όλη τη διάρκεια της φόρτισης.

Το κέντρο του σφαιρικού τμήματος της πάνω πλάκας ευρίσκεται στο σημείο τομής του κατακόρυφου άξονα της μηχανής με το επίπεδο της κάτω επιφάνειας της πάνω πλάκας, με ανοχή ± 1 mm. Η πάνω πλάκα κατά την επαφή της με το δοκίμιο προσαρμόζεται ελεύθερα στην επιφάνεια του δοκιμίου, ενώ κατά την διάρκεια της φόρτισης οι σχετικές θέσεις της πάνω και της κάτω πλάκας πρέπει να παραμένουν σταθερές.

Σημαντικό είναι πάντως να λαμβάνεται μέριμνα για το κεντράρισμα των βοηθητικών πλακών σε σχέση με τον άξονα του συστήματος φόρτισης με μια ακρίβεια ± 0.5 mm. Πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την ευθυγράμμιση των βοηθητικών πλακών μεταξύ τους (η μία από το κέντρο της άλλης), με μια ακρίβεια ± 0.5 mm.

❖ Ζυγός

Ηλεκτρονικός ζυγός Mettler PE 6000 ακρίβειας ενός δεκαδικού ψηφίου.

❖ Υγρός θάλαμος

Ο υγρός θάλαμος ή ο μεγάλος κλειστός χώρος (βλ. Εικόνα 2.8), που συντηρούνται τα δοκίμια μέσα στα καλούπια, πρέπει να διατηρείται συνεχώς σε θερμοκρασία (20.0 ± 1.0) °C και σχετική υγρασία όχι λιγότερη από 90%.



Εικόνα 2.8 Υγρός θάλαμος.

❖ Λουτρό αποθήκευσης δοκιμίων

Οι δεξαμενές αποθήκευσης των δοκιμίων στο νερό, όπως βλέπουμε στην Εικόνα 2.9, καθώς και οι σχάρες με τις οποίες είναι εφοδιασμένες είναι από υλικό που δεν αντιδρά με το τσιμέντο. Η θερμοκρασία του νερού πρέπει να διατηρείται στους (20.0 ± 1.0) °C.

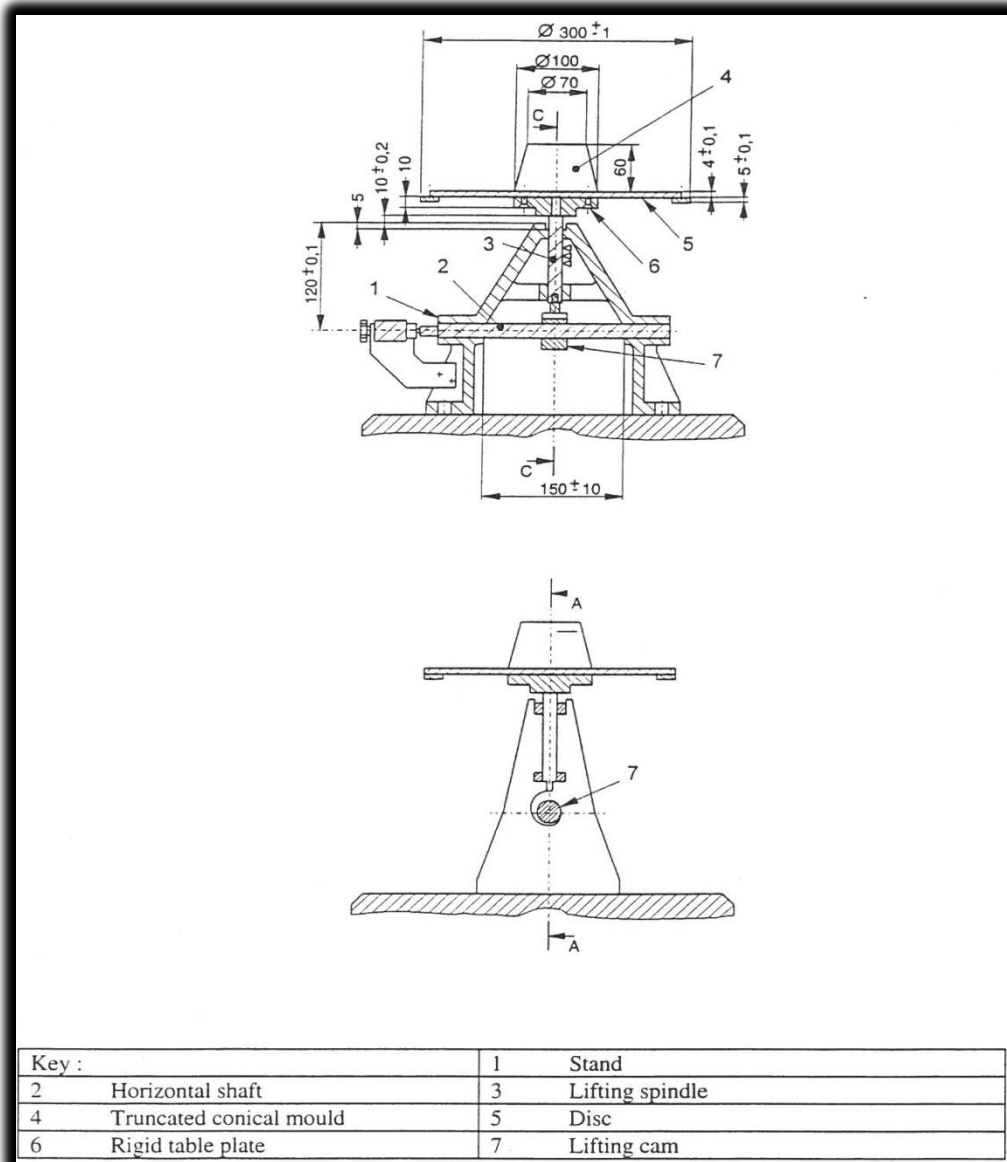


Εικόνα 2.9 Λουτρό αποθήκευσης δοκιμίων κονιάματος.

❖ Τράπεζα εξαπλώσεως

Η διάταξη αποτελείται από:

- Μια τράπεζα εξαπλώσεως, όπως περιγράφεται στο Annex A, η οποία αποτελείται από τα ακόλουθα κύρια μέρη:
 1. Βάση
 2. Άκαμπτη επίπεδη πλάκα ή δίσκο
 3. Οριζόντιο έκκεντρο άξονα ανύψωσης
 4. Λεβιέ ανύψωσης
- Ένα κουλουροκωνικό δοχείο από ανοξείδωτο χάλυβα ή ορείχαλκο, ύψους $60\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ και με εσωτερική διάμετρο $100\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ στη βάση και $70\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ στην κορυφή. Η εσωτερική επιφάνεια και τα άκρα του δοχείου είναι λεία.
- Κόπανος αποτελούμενος από άκαμπτο, μη απορροφητικό μοχλό κυκλικής διατομής, διαμέτρου περίπου 40mm και μήκους περίπου 200mm . Το βάρος του κόπανου είναι $0.250\text{kg} \pm 0.015\text{kg}$.
- Διαβήτες ικανότητας μέτρησης διαμέτρων έως και 300mm ακρίβειας 1mm .
- Μυστρί.
- Επίπεδη λεπίδα.



Σχήμα 2.5 Διάταξη Τράπεζας εξάπλωσης (Flow table). [Πηγή: EN 1015-3, February 1999 [34]]

2.2 Περιγραφή πειραματικών διαδικασιών

Στην Ενότητα αυτή παρουσιάζουμε αναλυτικά τις πειραματικές διαδικασίες (παρασκευή δειγμάτων, μετρήσεις, κτλ.) που ακολουθήσαμε για κάθε μέθοδο.

2.2.1 Χημική ανάλυση - XRF

Για να πραγματοποιηθεί η χημική ανάλυση των δειγμάτων μας, έπρεπε αρχικά να τηχθούν και να παρασκευαστούν δείγματα πέρλας (τήγματα οξειδίων). Ακολούθησε η εισαγωγή των δειγμάτων στη διάταξη του μηχανήματος XRF, όπου προσδιορίστηκε η σύσταση και τα βλαπτικά συστατικά τους, καθώς και οι οργανικές προσμίξεις οι οποίες συμμετέχουν.

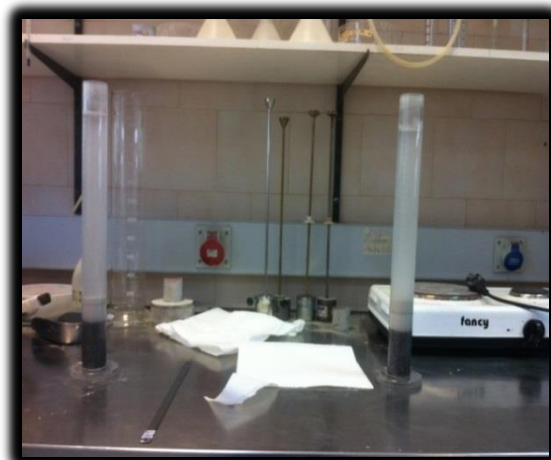
2.2.2 Μέθοδος ισοδυνάμου άμμου – SE

Η δοκιμή αφορά λεπτόκοκκα, φυσικά αδρανή και διεξήχθη στο Ε.Τ.Σ. σύμφωνα με την εναλλακτική μέθοδο σε κλάσμα 0/4 που αναφέρεται στο Annex A του Προτύπου ΕΛΟΤ

EN 933-8:2012. Υπολογίζεται η κατά όγκο σχέση της ποσότητας αργίλου ως προς την ποσότητα των κόκκων της άμμου.

Το δείγμα αναμιγνύεται με διάλυμα φορμαλδεΰδης, κρυσταλλικού χλωριούχου ασβεστίου, γλυκερίνης και απεσταγμένου νερού σε αναλογίες σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Προτύπου και στη συνέχεια μετρούνται το ύψος h_1 της ανώτερης στάθμης του εν αιωρήσει υλικού και το ύψος h_2 της άμμου.

- ✓ Γεμίζουμε τους δύο ογκομετρικούς κυλίνδρους με διάλυμα μέχρι την κάτω γραμμή (100 mm).
- ✓ Ρίχνουμε εντός των κυλίνδρων μέσω χωνιού το παρασκευασθέν δείγμα, απευθείας από το σακουλάκι.
- ✓ Χτυπάμε τον πάτο του ογκομετρικού κυλίνδρου στην παλάμη μας έτσι ώστε να φύγουν οι εγκλωβισμένες φυσαλίδες και να διαβραχεί όλο το υλικό.
- ✓ Αφήνουμε σε ηρεμία τους ογκομετρικούς σωλήνες για 10 min έτσι ώστε να διαπωτιστεί όλο το υλικό.
- ✓ Τοποθετούμε το λαστιχένιο πώμα.
- ✓ Αναταράσσουμε τον κύλινδρο για 30 ± 1 sec (90 ± 3 αναταράξεις) τοποθετώντας τον στην ηλεκτροκίνητη συσκευή ανατάραξης σε όρθια και κάθετη θέση.
- ✓ Τοποθετούμε τον κύλινδρο στον πάγκο, αφαιρούμε το λαστιχένιο πώμα και ξεπλύνουμε το υλικό με τη βοήθεια της ακίδας, αφού πρώτα έχουμε ξεπλύνει όλη την ποσότητα του υλικού που έχει κολλήσει στο πώμα και στα τοιχώματα του κυλίνδρου.
- ✓ Η ακίδα για την έκπλυση του υλικού εισάγεται μέχρι τον πάτο του κυλίνδρου, ενώ αυτός διατηρείται σε κατακόρυφη θέση.
- ✓ Περιστρέφουμε κατά τη διάρκεια της έκπλυσης σιγά-σιγά τον κύλινδρο ενώ ανεβάζουμε προς την επιφάνεια την ακίδα.
- ✓ Αποσύρουμε την ακίδα από τον κύλινδρο όταν το διάλυμα βρίσκεται στην πάνω γραμμή (380 mm).
- ✓ Αφήνουμε τον κύλινδρο σε ηρεμία για 20 min (δεν κουνάμε τον κύλινδρο και δεν δονούμε τον πάγκο εργασίας) (βλ. Εικόνα 2.13).



Εικόνα 2.10 Ογκομετρικοί κύλινδροι σε κατάσταση ηρεμίας στο πάγκο εργασίας. Αριστερά: δείγμα αργιλοπυριτικού αναμίγματος. Δεξιά: ασβεστολιθικού αναμίγματος.

- ✓ Μετράμε με το χάρακα το ύψος h_1 της ανώτερης στάθμης του εν αιωρήσει υλικού, από τη βάση του βαθμονομημένου κυλίνδρου.
- ✓ Τοποθετούμε προσεκτικά τη διάταξη βάρους μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο και την αφήνουμε να ακουμπήσει πάνω στην άμμο προσέχοντας το κολάρο να βρίσκεται σε επαφή με το άνω μέρος του κυλίνδρου. Στην τελική θέση κλείνουμε τον κοχλία (βλ. Εικόνα 2.14).
- ✓ Υπολογίζουμε το ύψος της άμμου h_2 μετρώντας την απόσταση από την κάτω επιφάνεια του βαριδίου της διάταξης βάρους έως την άνω επιφάνεια του κολάρου, βάζοντας τον χάρακα μέσα στη σχισμή του κολάρου.
- ✓ Καταγράφουμε τα ύψη h_1 και h_2 στρογγυλοποιώντας τα στο πλησιέστερο mm.
- ✓ Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία με τον δεύτερο κύλινδρο καταγράφοντας τα ύψη h_1 και h_2 .



Εικόνα 2.11 Εφαρμογή διάταξης βάρους με κολάρο σε ογκομετρικό κύλινδρο.

2.2.3 Μέθοδος μπλε του μεθυλενίου - MB

Ακολουθεί αναλυτικά η διαδικασία πραγματοποίησης των πειραματικών μετρήσεων της συγκεκριμένης μεθόδου.

- ✓ Ζυγίζουμε ποσότητα αποσταγμένου νερού (500 ± 5) mL σε δοχείο.
- ✓ Προσθέτουμε στο ποτήρι ζέσεως την ποσότητα M_0 δείγματος διερχόμενο από κόσκινο 2 mm για το κλάσμα 0/2. Η ποσότητα M_0 πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 200 gr στρογγυλοποιημένη στον πλησιέστερο ακέραιο.
- ✓ Αναδεύουμε το περιεχόμενο του ποτηριού με μίξερ στις 600 ± 60 r/min για 5 min προσέχοντας τα πτερύγια να βρίσκονται σε απόσταση περίπου 10mm από τη βάση του ποτηριού.
- ✓ Προσθέτουμε με τη βοήθεια σιφωνίου, 5 mL διαλύματος MB στο ποτήρι ζέσεως.
- ✓ Αναδεύουμε το νέο περιεχόμενο του ποτηριού για 1min στις 400 ± 40 r/min.

- ✓ Τοποθετούμε ένα διηθητικό φίλτρο πάνω σε ύαλο ωρολογίου ή άλλο κατάλληλο αντικείμενο έτσι ώστε το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας του φίλτρου να μην εφάπτεται στην επιφάνεια του αντικειμένου (βλ. Εικόνα 2.15). Λαμβάνουμε με τη βοήθεια της γυάλινης ράβδου σταγόνα διαλύματος μέσα από το δοχείο την οποία αποθέτουμε πάνω στο διηθητικό φίλτρο. Η διάμετρος της σταγόνας θα πρέπει να είναι μεταξύ 8 mm και 12 mm.



Εικόνα 2.12 Διηθητικό φίλτρο επάνω σε επιφάνεια υάλου ωρολογίου. Οι φερόμενες μπλε κηλίδες επί του διηθητικού φίλτρου έχουν σχηματιστεί από απόθεση σταγόνων με τη βοήθεια γυάλινης ράβδου.

- ✓ Παρατηρούμε αν γύρω από την μπλε κηλίδα εμφανίζεται φωτεινότερο στεφάνι πάχους περίπου 1 mm.
- ✓ Αν όχι προσθέτουμε άλλα 5 mL και αναδεύουμε το διάλυμα για ακόμη 1 min. Στο τέλος του 1 min ξαναπαίρνουμε σταγόνα. Αν πάλι δεν παρατηρηθεί φωτεινότερο στεφάνι γύρω από την κηλίδα, προσθέτουμε εκ νέου 5 mL στο περιεχόμενο του δοχείου και συνεχίζουμε να το αναδεύουμε στις 400 ± 40 r/min για άλλο 1 min.
- ✓ Αν λαμβάνοντας σταγόνα του διαλύματος MB στο διηθητικό φίλτρο παρατηρήσουμε την εμφάνιση φωτεινού στεφανιού γύρω από την κηλίδα τότε παρατηρούμε αν στα 4 min συνεχίζει να υπάρχει. Αν όχι προσθέτουμε 5 mL και αναδεύουμε το διάλυμα στο δοχείο για άλλο 1 min. Αν εξακολουθεί να υπάρχει μέχρι το τέλος των 5 min τότε:
 - Σημειώνουμε με V1 τη συνολική ποσότητα του διαλύματος του MB που προσθέσαμε στο δοχείο, με στρογγυλοποίηση στο πλησιέστερο 1 mL μέχρι να εμφανιστεί το φωτεινό στεφάνι στη κηλίδα.

2.2.4 Μέτρηση θλιπτικών αντοχών – Μέτρο Εξαπλώσεως

Σε πρώτο στάδιο έπρεπε να παρασκευασθούν τα δοκίμια των κονιαμάτων και έπειτα σε δεύτερο στάδιο να γίνουν επί αυτών οι μετρήσεις θλιπτικών αντοχών. Αυτά τα δοκίμια κατασκευάζονται από μια ποσότητα πλαστικού κονιαμάτος, που περιέχει κατά μάζα 1 μέρος τσιμέντου και 3 μέρη άμμου (Ξηρορέματος, Πρότυπης γαλλικής) και μισό μέρος νερό (λόγος νερού / τσιμέντο 0,50). Κάθε παρτίδα τριών δοκιμίων πρέπει να αποτελείται από (450 ± 2) g τσιμέντου, (1350 ± 5) g άμμου και (225 ± 1) g νερού. Το τσιμέντο το οποίο χρησιμοποιήθηκε κατά την παρασκευή των κονιαμάτων είναι ASTM Type I τύπου Portland (PC 42.5 MPa) και το νερό απεσταγμένο ή απιονισμένο.

Το κονίαμα παρασκευάζεται με μηχανική ανάμιξη και τοποθετείται εντός κουλουροκωνικού δοχείου επί της τράπεζας εξαπλώσεως, όπου γίνονται αρχικά οι μετρήσεις εξάπλωσης. Ακολούθως, συμπυκνώνεται μέσα σε καλούπια με την χρήση

πρότυπης συσκευής κρούσης. Τα δοκίμια διατηρούνται μέσα στα καλούπια σε υγρή ατμόσφαιρα για 24 h και μετά το ξεκαλούπωμα διατηρούνται μέσα σε νερό έως τη στιγμή ελέγχου των αντοχών τους.

Τέλος στην απαιτούμενη ηλικία, τα δοκίμια απομακρύνονται από την υγρή αποθήκευσή τους, σπάζουν με κάμψη ή σπάζουν με χρήση άλλων κατάλληλων μέσων που δεν υποβάλλουν τα μισά πρίσματα σε καταστροφικές τάσεις, και για το κάθε μισό πρίσμα ελέγχεται η αντοχή του σε θλίψη.

Αναλυτικότερα η διαδικασία που μόλις περιγράφηκε σε βήματα:

❖ Ανάμιξη του κονιάματος

Ζυγίζονται το τσιμέντο και το νερό σε ζυγό (βλ. Εικόνα 2.4). Όταν το νερό προστίθεται ογκομετρικά, αυτό θα πρέπει να γίνεται με ακρίβεια ± 1 mL. Η ανάμιξη κάθε παρτίδας γίνεται μηχανικά χρησιμοποιώντας τον αναμικτήρα (βλ. Εικόνα 2.10). Η χρονομέτρηση των διαφόρων σταδίων της ανάμιξης αναφέρεται στους χρόνους όπου ο διακόπτης του αναδευτήρα ανοίγει/κλείνει και θα πρέπει να διατηρείται κάτω από ± 2 s.



Εικόνα 2.13 Από αριστερά προς τα δεξιά: Μίξερ παρασκευής κονιάματος – Ηλεκτρονικό χρονόμετρο - Πλαστικό ξέστρο - Τράπεζα εξάπλωσης.

Η διαδικασία ανάμιξης θα έχει ως εξής:

- α. Τοποθετούνται το νερό και το τσιμέντο στο δοχείο ανάμιξης αποφεύγοντας προσεχτικά απώλεια νερού ή τσιμέντου.
- β. Αμέσως μόλις το νερό και το τσιμέντο έρθουν σε επαφή, τίθεται σε λειτουργία τον αναμικτήρα σε χαμηλή ταχύτητα (βλ. Πίνακα 2.1) ενώ ξεκινά ο χρόνος μέτρησης των σταδίων ανάμιξης. Επιπλέον καταγράφεται ο χρόνος του πλησιέστερου λεπτού, ως ο «χρόνος μηδέν» (το σημείο από το οποίο υπολογίζονται οι χρόνοι για το ξεκαλούπωμα και για τον προσδιορισμό της αντοχής). Μετά 30 s ανάμιξης, προστίθεται η άμμος με

σταθερό ρυθμό για τα επόμενα 30 s. Στη συνέχεια φέρεται ο αναμικτήρας στη μεγαλύτερη ταχύτητα (βλ. Πίνακα 2.1) και συνεχίζεται η ανάμιξη για 30 s επιπλέον.

γ. Σταματά η λειτουργία του αναμικτήρα για 90 s. Κατά τη διάρκεια των πρώτων 30 s, απομακρύνεται όλο το κονίαμα που επικολλάται πάνω στα τοιχώματα και στο κάτω μέρος του δοχείου αναμίξεως με τη βοήθεια ενός κατάλληλου ελαστικού ή πλαστικού ξέστρου (βλ. Εικόνα 2.10) και φέρεται στο μέσον του δοχείου αναμίξεως.

δ. Συνεχίζεται η ανάμιξη σε υψηλή ταχύτητα για 60 s.

❖ Προετοιμασία δοκιμίων

Τα δοκίμια όπως είπαμε θα πρέπει να είναι πρισματικά διαστάσεων 40 mm × 40 mm × 160 mm. Τα δοκίμια διαστρώνονται αμέσως μετά την παρασκευή του κονιάματος. Αφού στερεωθούν καλά το καλούπι και το πλαίσιο στην τράπεζα κρούσης, εισάγεται με τη βοήθεια κατάλληλης σέσουλας σε ένα ή περισσότερα στάδια, το πρώτο από τα δύο στρώματα κονιάματος (καθένα 300 g περίπου) απ' ευθείας από το δοχείο ανάμιξης του αναμικτήρα σε κάθε διαμέρισμα του καλουπιού (βλ. Εικόνα 2.11).



Εικόνα 2.14 Μήτρες παρασκευής πρισματικών δοκιμίων διαστάσεων (40mm x 40mm x 160mm).

Το στρώμα κονιάματος απλώνεται ομοιόμορφα χρησιμοποιώντας το μεγάλο έλασμα διάστρωσης (βλ. Σχήμα 3), το οποίο κρατιέται κατακόρυφο με τις ωτίδες του σε επαφή με το πλαίσιο και σύρεται μια φορά εμπρός και μια φορά πίσω, κατά μήκος κάθε διαμερίσματος. Κατόπιν συμπυκνώνεται το πρώτο στρώμα με 60 κρούσεις χρησιμοποιώντας την συσκευή συμπύκνωσης με κρούση (βλ. Εικόνα 2.11) και εισάγεται το δεύτερο στρώμα κονιάματος, διαστρώνεται με το μικρό έλασμα διάστρωσης (βλ. Σχήμα 3) και κατόπιν συμπυκνώνεται με 60 επιπλέον κρούσεις.

Το καλούπι σηκώνεται μαλακά από την τράπεζα κρούσης και αφαιρείται το πλαίσιο. Αμέσως μετά αφαιρείται η περίσσεια κονιάματος με τη μεταλλική ράβδο (βλ. Σχήμα 3), κρατώντας την σχεδόν κατακόρυφη αλλά με κλίση προς την κατεύθυνση αφαίρεσης. Κινείται αργά με εγκάρσια πριονωτή κίνηση μία φορά σε κάθε κατεύθυνση. Επαναλαμβάνεται η διαδικασία αφαίρεσης με τη μεταλλική ράβδο, με πιο οξεία γωνία, ώστε να εξομαλυνθούν οι επιφάνειες των δοκιμίων.

Τα υπολείμματα κονιάματος που υπάρχουν πάνω στο καλούπι, σκουπίζονται μετά την εξομάλυνση της επιφάνειας των δοκιμίων με την μεταλλική ράβδο. Κατόπιν σημαδεύονται τα καλούπια για καλύτερη αναγνώριση των δοκιμίων και για τη θέση τους σχετικά με την τράπεζα κρούσης.



Εικόνα 2.15 Διάταξη συσκευής συμύκνωσης με κρούση.

❖ Συντήρηση των δοκιμίων

Τοποθετείται πλάκα από διαφανές πλαστικό διαστάσεων περίπου 210 mm × 185 mm × 6 mm πάνω στο καλούπι. Τοποθετείται χωρίς καθυστέρηση κάθε σκεπασμένο καλούπι, πάνω σε μια οριζόντια βάση στον υγρό θάλαμο ή χώρο (βλ. Εικόνα 2.8). Ο αέρας του υγρού θαλάμου θα πρέπει να έρχεται σε επαφή με όλες τις πλευρές του καλουπιού. Τα καλούπια δεν πρέπει να στοιβάζονται το ένα πάνω στο άλλο. Κάθε καλούπι θα αποσύρεται από τον τόπο αποθήκευσης του στον κατάλληλο χρόνο για το ξεκαλούπωμά του. Τα δοκίμια ξεκαλουπώνονται με ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να μην καταστραφούν τα δοκίμια.

Τα δοκίμια οδηγούνται στις δεξαμενές συντήρησης. Σημαδεύονται κατάλληλα με κιμωλία, ώστε να αναγνωρίζονται εύκολα αργότερα. Τα σημαδευμένα δοκίμια βυθίζονται χωρίς καθυστέρηση οριζοντίως ή καθέτως, όπως βολεύει, σε νερό θερμοκρασίας (20 ± 1) °C μέσα σε κατάλληλες δεξαμενές (βλ. Εικόνα 2.9).

Τα δοκίμια τοποθετούνται πάνω σε σχάρες ανθεκτικές σε διάβρωση και διατηρούνται σε απόσταση μεταξύ τους, ώστε το νερό να έρχεται σε επαφή και με τις (6) πλευρές των δοκιμίων. Σε καμιά περίπτωση κατά την διάρκεια της συντήρησης η απόσταση μεταξύ των δοκιμίων ή το βάθος του νερού επάνω από την πάνω πλευρά των δοκιμίων, δεν πρέπει να είναι λιγότερο από 5mm. Κατά την διάρκεια συντήρησης δοκιμίων, δεν επιτρέπεται η αντικατάσταση άνω του 50% του νερού των δεξαμενών.

Τα δοκίμια που απαιτούνται για τις δοκιμές σε καθορισμένη ηλικία, δεν πρέπει να απομακρύνονται από τις δεξαμενές συντήρησης παρά μόνο 15 min το πολύ πριν από την επικείμενη δοκιμή. Σκουπίζεται κάθε πιθανή επικάλυψη πάνω στις επιφάνειες δοκιμής.

❖ Αντοχή σε θλίψη

Τα δοκίμια κονιαμάτων σπάζονται στη μέση με κατάλληλη διάταξη που δεν υποβάλει τα δοκίμια σε καταστροφικές τάσεις. Τα μέρη των πρισμάτων υποβάλλονται σε δοκιμή αντοχής σε θλίψη.

Τα δύο μισά μέρη του πρίσματος υποβάλλονται με τις πλάγιες επιφάνειές τους σε δοκιμή αντοχής σε θλίψη με τη βοήθεια της συσκευής που περιγράφεται στη Ενότητα 2.1.4. Τα μισά πρίσματα κεντράρονται επί των πλακών της μηχανής ως προς την πλάγια διεύθυνση. Κατόπιν αυξάνεται ομαλά το φορτίο με ρυθμό (2400 ± 200) N/s καθ' όλη τη διάρκεια της φόρτισης, έως ότου γίνει η θραύση του δοκιμίου.

Η αντοχή σε θλίψη R_c σε mega Pascal υπολογίζεται ως εξής :

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

όπου : R_c αντοχή σε θλίψη σε megapascal

F_c το μέγιστο φορτίο στο σημείο θραύσης, σε Newton

$1600 = 40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$, η επιφάνεια των πλακών ή των βοηθητικών πλακών σε τετραγωνικά χιλιοστά.

❖ Μέτρο εξαπλώσεως

Η τράπεζα εξαπλώσεως καθώς και το κουλουροκωνικό δοχείο πριν από κάθε μέτρηση, καθαρίζονται προσεχτικά με ελαφρώς βρεγμένο σφουγγάρι και εν συνεχεία σκουπίζονται με στεγνή πετσέτα. Επίσης, λιπαίνονται ελαφρώς με χαμηλού ιξώδους ορυκτέλαιο που δεν περιέχει ρητίνη.

Αρχικά, τοποθετείται το κουλουροκωνικό δοχείο στο κέντρο της τράπεζας και εν συνεχεία εισάγεται το νωπό κονιάμα στο εσωτερικό του σε δύο στρώσεις. Κάθε στρώση συμπυκνώνεται μέσω 10 ελαφρών χτυπημάτων κόπανου, ώστε να εξασφαλιστεί ομοιομορφία πλήρωσης στο εσωτερικό του δοχείου. Καθόλη τη διαδικασία πλήρωσης διασφαλίζεται η σταθερή επαφή δοχείου – τραπεζής χωρίς κενά.

Αφού ολοκληρωθεί η πλήρωση του δοχείου, αφαιρείται με επίπεδη λεπίδα το περίσσειμα του κονιάματος από την κορυφή του δοχείου και επιπεδώνεται η άνω επιφάνεια με μυστρί.

Σκουπίζετε εκ νέου η ελεύθερη επιφάνεια της τράπεζας από τυχόν επί μέρους κομμάτια του νωπού κονιάματος. Μετά το πέρας περίπου 30 s, ανυψώνεται το δοχείο βραδέως με προσεχτικές κινήσεις με φορά κατά τον κάθετο άξονα της τράπεζας, ελευθερώνοντας τον πολτό του νωπού κονιάματος να εξαπλωθεί επί αυτής. Ακολούθως, η τράπεζα ανυψώνεται μηχανικά και αφήνεται να πέσει ελεύθερα 15 φορές, με σταθερή συχνότητα (περίπου 1 χτύπημα / s).

Τέλος, μετράται και καταγράφεται η διάμετρος του πολτού του νωπού κονιάματος.

2.3 Δειγματοληψία

Το δείγμα άμμου που θα χρησιμοποιηθεί για τις μετρήσεις οφείλει να είναι ομοιογενές κατά το βέλτιστο δυνατό. Η ποσότητα του δείγματος της άμμου πλύθηκε μέσω νερού και κοσκινίστηκε διερχόμενη από κόσκινο Νο200 (αμερικανικό κόσκινο 0.075 mm), με στόχο την απομάκρυνση της συγκολλημένης αργίλου και άλλων τυχόν επιβλαβών προσμίξεων που περιβάλλουν τους κόκκους.

Η αρχική ποσότητα του δείγματος ήταν μεγαλύτερη από την ποσότητα των 22 kg που χρειάζομασταν. Για να ληφθεί η απαιτούμενη ποσότητα, έπρεπε να γίνει σταδιακή μείωση ομογενοποιημένου δείγματος. Αυτή η διαδικασία γίνεται είτε:

1. Μέσω μηχανικού διαχωριστή (Divider) είτε,
2. Με τη μέθοδο του τεταρτομερισμού.

Η απαιτούμενη από τη δοκιμή μάζα (δείγμα δοκιμής) για αδρανή κανονικού ειδικού βάρους (2.00 mg/m^3 έως 3.00 mg/m^3) ανάλογα με το μέγιστο μέγεθος κόκκου D σε mm, δίδεται από τον Πίνακα 2.1 της προδιαγραφής 933.01:2012. Για την παρασκευή του δείγματος δοκιμής από την αρχική ποσότητα άμμου που εισήχθηκε στο εργαστήριο ακολουθούμε το EN 932-2:1999.

Για αδρανή με ειδικό βάρος μικρότερου του 2.00 mg/m^3 ή μεγαλύτερου του 3.00 mg/m^3 θα πρέπει να γίνεται κατάλληλη διόρθωση στην ποσότητα του ελάχιστου δείγματος δοκιμής του Πίνακα 2.1 σύμφωνα με λόγο ειδικού βάρους έτσι ώστε να λαμβάνεται δείγμα ίσου όγκου όσο με τα αδρανή κανονικού ειδικού βάρους.

Πίνακας 2.2 Προσδιορισμός ελάχιστης ποσότητας δείγματος σε σχέση με το μέγιστο κόκκο αδρανούς.

Μέγιστος κόκκος αδρανούς D (σε mm)	Ελάχιστο δείγμα δοκιμής (σε kg)
90	80
63	40
32	10
16	2.6
8	0.6
≤ 4	0.2

Ο παραπάνω πίνακας προσδιορίζει την ελάχιστη ποσότητα του δείγματος προς δοκιμή. Η ανοχή για το δείγμα προσδιορίζεται στο 100% με 150% της ελάχιστης ποσότητας.

Έστω ότι θέλουμε ελάχιστο δείγμα δοκιμής m_t . Ζυγίζουμε το συνολικό δείγμα m_i και υπολογίζουμε την υποποσότητα m_s με διαφορετικές τιμές $m_s = m_i/2, m_i/4, m_i/8, m_i/16$ κ.λ.π. Βρίσκουμε τιμή m_s για την οποία ισχύει $0.75 m_t < m_s < 1.5 m_t$. Εξετάζουμε δυο διαφορετικές περιπτώσεις:

1η: Εάν $0.75 m_t < m_s < 1 m_t$ τότε η μείωση γίνεται με διαχωρισμό κατά $\frac{3}{4}$ και μετά με αλληπάλληλους διαχωρισμούς κατά $\frac{1}{2}$ έως να επιτευχθεί ποσότητα μεταξύ του 100 με 150% της ελάχιστης ποσότητας.

2η: Εάν $1 m_t < m_s < 1.5 m_t$ τότε η μείωση γίνεται με αλληπάλληλους διαχωρισμούς κατά $\frac{1}{2}$ έως να επιτευχθεί ποσότητα μεταξύ του 100 με 150% της ελάχιστης ποσότητας.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά η μέθοδος μέσω μηχανικού διαχωριστή.

2.3.1 Μέθοδος μείωσης δείγματος μέσω μηχανικού διαχωριστή-Διαχωριστής

Ο διαχωριστής πρέπει να έχει δύο δοχεία συλλογής του υλικού και διάταξη χοάνης όπου τοποθετείται το προς διαχωρισμό δείγμα (βλ. Εικόνα 2.19), αφού αυτό έχει έρθει σε κατάσταση ελεύθερης ροής η οποία να έχει άνοιγμα ίσο ή ελάχιστα μικρότερο από το συνολικό μέγεθος της διάταξης. Ο αριθμός των ανοιγμάτων του διαχωριστή είναι ζυγός αριθμός και όχι λιγότερα από οκτώ. Το πλάτος των ανοιγμάτων θα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσιο του μέγιστου κόκκου του αδρανούς ώστε να αποφευχθεί η συσσώρευσή του στη διάταξη χοάνης.



Εικόνα 2.16 Μηχανικός διαχωριστής - Large Divider, Ε.Τ.Σ. – TITAN.

Βήμα 1: Τοποθετούμε τα δυο δοχεία στη θέση τους κάτω από τη διάταξη της χοάνης.

Βήμα 2: Εισάγουμε το δείγμα σε τρίτο δοχείο ομοιόμορφα απλωμένο σε όλο το μήκος του.

Βήμα3: Ρίχνουμε το δείγμα από τη μεριά της μεγάλης πλευράς του δοχείου μέσα στη διάταξη της χοάνης κατά μήκος του κεντρικού άξονά της ομοιόμορφα.

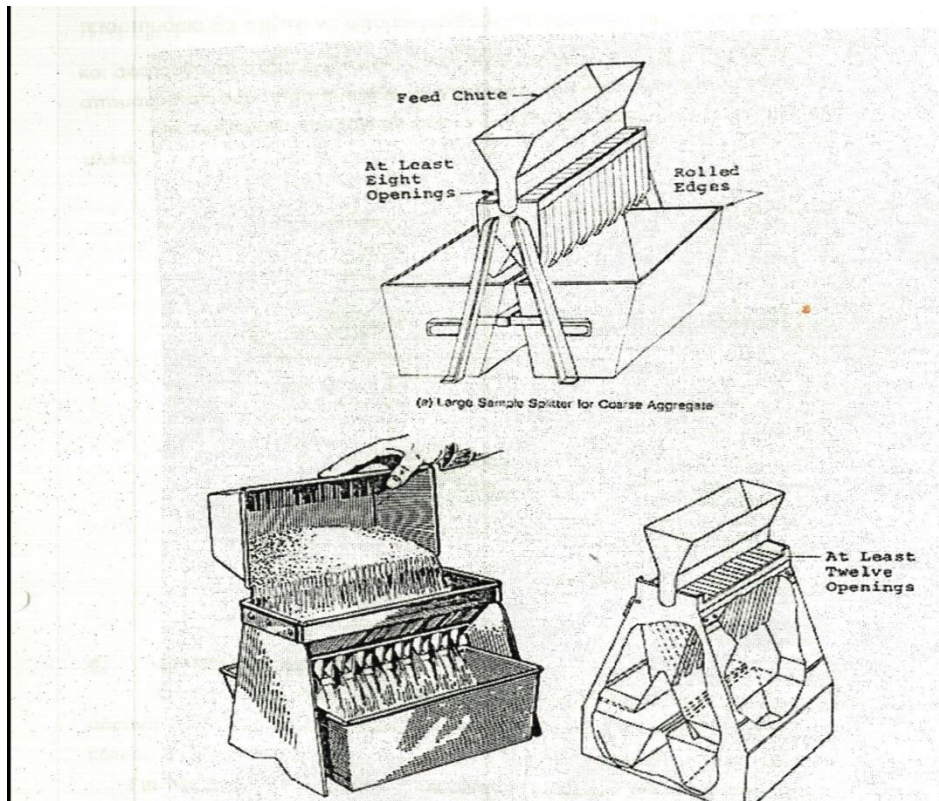
Βήμα 4: Απομακρύνουμε το υλικό που συγκρατήθηκε στο ένα δοχείο του διαχωριστή (1/2 της αρχικής ποσότητας) και τοποθετούμε στη θέση του ένα άδειο δοχείο.

Βήμα 5A: Αν η ποσότητα προς δοκιμή υπάγεται στην 1^η περίπτωση της προηγούμενης ενότητας, το υλικό επανατοποθετείται στη χοάνη. Έτσι προκύπτουν ποσότητες 1/4 και 3/4 της αρχικής ποσότητας.

Βήμα 5B: Αν η ποσότητα προς δοκιμή υπάγεται στην 2^η περίπτωση της προηγούμενης ενότητας, το υλικό επανατοποθετείται στη χοάνη και διαχωρίζεται σε δυο άδεια δοχεία (διαχωρισμός 1/2) χωρίς να έχει προηγηθεί διαχωρισμός κατά 3/4. Κατόπιν προχωράμε στο Βήμα 7.

Βήμα 6: Στη συνέχεια επανατοποθετείται η ποσότητα 3/4 της αρχικής ποσότητας στη χοάνη και διαχωρίζεται σε δυο άδεια δοχεία (διαχωρισμός 1/2).

Βήμα 7: Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία διαχωρισμού $\frac{1}{2}$ μέχρι να επιτευχθεί η στοχευμένη ποσότητα του προς δοκιμή δείγματος.



Σχήμα 2.6 Διάταξη μηχανικού διαχωριστή. [Πηγή: Εγχειρίδιο κοκκομετρικής ανάλυσης αδρανών, Εργαστήριο έρευνας και ποιότητας, TITAN]

Σε περίπτωση που η αρχική ποσότητα είναι πολύ μεγάλη ώστε να χωρέσει στα δοχεία, τη χωρίζουμε σε υποδείγματα και αφού το καθένα ελαττωθεί με τον ίδιο αριθμό σταδίων ελάττωσης, ενώνονται ξανά για να μας δώσουν το δείγμα δοκιμής.

Σε περίπτωση που χρειάζεται δείγμα δοκιμής μάζας μικρής ανοχής απόκλισης από συγκεκριμένη τιμή, αυτό παράγεται με μια από τις παραπάνω μεθόδους σε πλεόνασμα σε σχέση με την ελάχιστη απαιτούμενη μάζα για την διεξαγωγή της δοκιμής, όπως αυτή προδιαγράφεται από το πρότυπό της. Ρίχνουμε το δείγμα που παράχθηκε πάνω στο πάγκο εργασίας, το ανακατεύουμε καλά και μορφώνουμε μια γραμμή αδρανών κατά μήκος του πάγκου εργασίας. Ξεκινούμε από τη μια άκρη της γραμμής και με σέσουλα κάθετα προς αυτήν αφαιρούμε αδρανή προχωρώντας προς την άλλη άκρη μέχρι να μαζέψουμε την απαιτούμενη για τη δοκιμή μάζα. Προσέχουμε ώστε να μην αφήνουμε πίσω ψιλά αδρανή.

Σε περίπτωση που χρειάζεται να παραχθεί δίδυμο δείγμα για την εκτέλεση δοκιμής με την ίδια μέθοδο (π.χ. για να ελέγξουμε την επαναληψιμότητα μιας δοκιμής) τότε: χωρίζω το αρχικό εργαστηριακό δείγμα που εισάγεται στο εργαστήριο παράγοντας δύο δείγματα. Από το κάθε δείγμα με το διαχωριστή παράγεται δείγμα δοκιμής το οποίο ελέγχεται ξεχωριστά από το άλλο.

2.3.2 Προετοιμασία δείγματος προσδιορισμού ισοδυνάμου άμμου

Η δοκιμή γίνεται σε δείγμα υλικού, διερχομένου από το κόσκινο των 4 mm (κλάσμα 0/4) Annex A EN 933-8, υγρασίας έως 2% και σε θερμοκρασία $(23 \pm 3) ^\circ\text{C}$. Μειώνουμε το δείγμα και παράγουμε τέσσερα Υποδείγματα με βάση τον παρακάτω τύπο. Τα δύο από αυτά θα χρησιμοποιηθούν για τη δοκιμή και τα άλλα δύο θα κρατηθούν σφραγισμένα (ώστε να μην χαθεί η υγρασία τους), ως “backup” σε περίπτωση που τα πρώτα έχουν περισσότερο από 4 μονάδες διαφορά, οπότε πρέπει να γίνει επανάληψη της δοκιμής.

$$\frac{120(100+\omega)}{100} gr, \text{ όπου } \omega \text{ είναι το ποσοστό της υγρασίας}$$

Ειδικότερα για την παρούσα εργασία αποφασίστηκε ότι η μέθοδος μείωσης των δειγμάτων μας θα είναι η μείωση μεγέθους δείγματος με διαχωριστή άμμου (Small divider, βλ. Εικόνα 3.2).

2.3.3 Προετοιμασία δείγματος μέτρησης test μπλε του μεθυλενίου

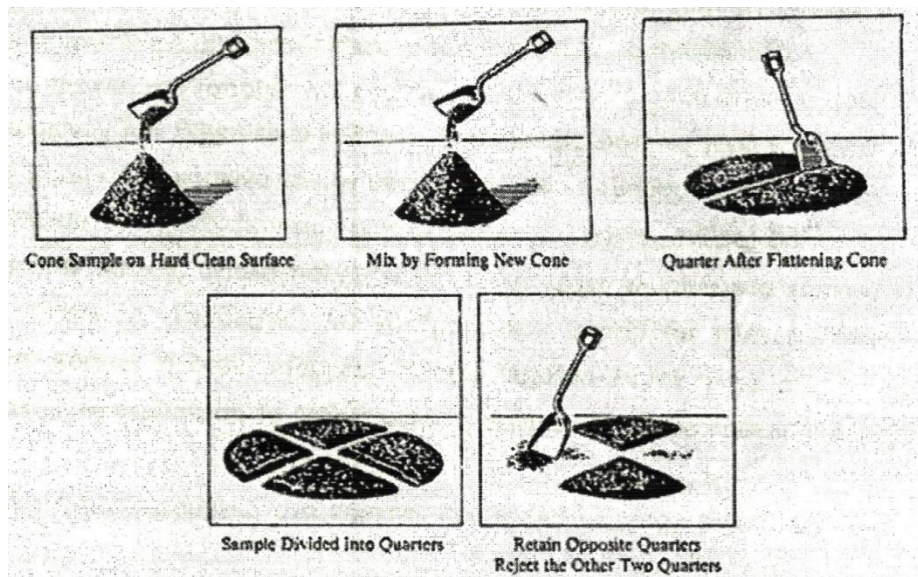
Η δοκιμή γίνεται σε δείγμα ξηρού υλικού, διερχομένου από το κόσκινο των 2 mm (κλάσμα 0/2). Η μείωση του δείγματος για την παρασκευή του εργαστηριακού δείγματος γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 933-9 έτσι ώστε να παραχθούν δύο υποδείγματα, ποσότητας μεγαλύτερης των 200 γραμμαρίων το καθένα, μεγέθους κόκκων 0-2 mm.

Ειδικότερα για το Ε.Τ.Σ. αποφασίστηκε πως η μέθοδος μείωσης που θα εφαρμόζεται για τη δοκιμή μπλε του μεθυλενίου θα είναι η μείωση μεγέθους δείγματος με τεταρτομερισμό η οποία περιγράφεται παρακάτω.

Μέθοδος Τεταρτομερισμού

Για τον τεταρτομερισμό πρέπει το δείγμα των αδρανών να τοποθετηθεί σε μια καθαρή και σταθερή επιφάνεια σχηματίζοντας ένα κώνο.

- Αναμιγνύουμε το δείγμα δημιουργώντας νέο κώνο αδειάζοντας το φτυάρι στη κορυφή του κώνου. Αυτό επαναλαμβάνεται 3 φορές.
- Προσέχουμε ώστε τα αδρανή να διατρέχουν όλες τις πλευρές του κώνου και να αναμιγνύονται καλά.
- Ισοπεδώνουμε τον κώνο και δημιουργούμε ένα σωρό ενιαίου πάχους και διαμέτρου
- Χωρίζουμε το σωρό στα τέσσερα
- Απομακρύνουμε τα αδρανή συμπεριλαμβανομένων και των ψιλών υλικών που βρίσκονται σε δυο απέναντι τεταρτημόρια
- Ανακατεύουμε την ποσότητα που μένει και ακολουθούμε την ίδια διαδικασία όπως προηγουμένως μέχρι η ποσότητα που απομένει μετά την απομάκρυνση των δυο τεταρτημορίων να είναι αυτή που καθορίζει η κάθε προδιαγραφή.
- Προσέχουμε ώστε κατά τη διαδικασία αυτή να συμπεριλάβουμε και τα ψιλά αδρανή. Σε αντίθετη περίπτωση αλλοιώνεται η σύσταση του δείγματος δοκιμής.



Σχήμα 2.7 Σχηματική απεικόνιση βημάτων της μεθόδου του τεταρτομερισμού. [Πηγή: Εγχειρίδιο κοκκομετρικής ανάλυσης αδρανών, Εργαστήριο έρευνας και ποιότητας, TITAN]

Μετά τη μείωση του δείγματος σε δύο υπο-δείγματα αυτά κοσκινίζονται σε κόσκινο 2 mm, η ποσότητα που παραμένει στο κόσκινο απορρίπτεται και συλλέγεται ποσότητα τουλάχιστον 200 g για κάθε υπόδειγμα.

Τα υπο-δείγματα μπορεί να ξηραθούν σε θερμοκρασία μέχρι 45 °C, ώστε να βοηθηθεί η κοσκίνιση.

Ένα εκ των δύο υποδειγμάτων ζυγίζεται και το βάρος **M** καταγράφεται. Αυτό το υπο-δείγμα ξηραίνεται μέχρι σταθερού βάρους σε θερμοκρασία (110 ± 5) °C, αφήνεται να αποκτήσει θερμοκρασία περιβάλλοντος και ζυγίζεται ξανά ως **M'**. Εκ των **M** και **M'**, υπολογίζουμε την περιεκτικότητα σε νερό του υπο-δείγματος με την εξής σχέση:

$$W(\%)=100*(M-M')/M'$$

Αυτό το υπο-δείγμα απορρίπτεται.

Παίρνουμε το άλλο υπο-δείγμα και εάν χρειάζεται το μειώνουμε περαιτέρω, φροντίζοντας η τελική ποσότητα να είναι μεγαλύτερη των [200*(1+W/100)] g, χωρίς όμως να χρειάζεται να έχει κάποια προκαθορισμένη τιμή. Ζυγίζουμε αυτό το τελικό δείγμα και το καταγράφουμε ως **M₀**.

Υπολογίζουμε την ποσότητα ξηρού **M₁** στο κοντινότερο γραμμάριο από τη σχέση:

$$M_1=M_0/(1+W/100)$$

Η τιμή του **M₁** θα είναι αυτή που θα χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς.

Κεφάλαιο 3 Εκτέλεση πειραματικών μετρήσεων

3.1 Δομή πειραματικού μέρους

Το σύνολο σχεδόν των εργασιών της παρούσας εργασίας έλαβε χώρα στο Ε.Τ.Σ. του εργοστασίου της Α.Ε. Τσιμέντων ΤΙΤΑΝ, το οποίο εδρεύει στο Καμάρι Βοιωτίας. Η δομή του πειραματικού μέρους περιελάμβανε σε πρώτο στάδιο την παρασκευή δειγμάτων πλυμένης άμμου με προσμίξεις ασβεστολιθικού και αργιλοπυριτικού filler σε ποσοστά 5,10,15,20 και 25% κατά βάρος. Επίσης στο ίδιο στάδιο πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση των χρησιμοποιούμενων filler με χρήση της μεθόδου **XRF**. Σε δεύτερο στάδιο πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός ισοδυνάμων άμμου (**SE**) και ακολούθησαν tests προσδιορισμού μπλε του μεθυλενίου (**MB**). Σε τρίτο στάδιο παρασκευάστηκαν πρισματικά δοκίμια κονιαμάτων από κάθε δείγμα άμμου-filler και έγιναν **μετρήσεις εξάπλωσης**. Τέλος, σε 4^ο στάδιο έγιναν **μετρήσεις θλιπτικών αντοχών** 2,7 και 28 ημερών στα δοκίμια.



1^ο Στάδιο: Παρασκευή δειγμάτων άμμου-filler

- i) Ασβεστολιθικό filler → Χημική ανάλυση XRF
- ii) Αργιλοπυριτικό filler → Χημική ανάλυση XRF



2^ο Στάδιο: Πραγματοποίηση μετρήσεων

- Προσδιορισμός ισοδυνάμων άμμου-SE
- Tests μπλε μεθυλενίου-MB



3^ο Στάδιο: Προπαρασκευαστικό στάδιο μετρήσεων Μηχανικών Αντοχών

- i) Παρασκευή ράβδων κονιαμάτων
- ii) Μετρήσεις Εξάπλωσης



4^ο Στάδιο: Μετρήσεις θλιπτικών αντοχών

- 2, 7 και 28 ημερών

Διάγραμμα 3.1 Διάγραμμα πειραματικής διαδικασίας.

3.2 Υπολογισμός και προετοιμασία απαιτούμενων ποσοτήτων άμμου-filler

Το πρώτο στάδιο της εργασίας περιελάμβανε τη διαδικασία παρασκευής δειγμάτων πλυμένης άμμου με προσμίξεις ασβεστολιθικού και αργιλοπυριτικού filler. Λόγω του ότι θέλαμε όλες οι μετρήσεις και τα tests που θα πραγματοποιούνταν στη συνέχεια να προέρχονται από το ίδιο δείγμα άμμου, έπρεπε να υπολογιστεί η ακριβής συνολική

ποσότητα που θα χρειαζόταν για την παρασκευή όλων των δειγμάτων. Αφενός γιατί θα έπρεπε να ετοιμαστεί η ποσότητα άμμου που θα χρησιμοποιούταν, δηλαδή να πλυθεί και να κοσκινιστεί και αφετέρου να τοποθετηθεί σε σακί και να αποθηκευτεί σε ελεγχόμενων εξωτερικών συνθηκών θέση εντός του Ε.Τ.Σ.. Στην ίδια θέση αποθηκεύτηκαν και τα σακιά που περιείχαν τις πούδρες αργιλοπυριτικού και ασβεστολιθικού filler που επρόκειτο να αναμείξουμε. Ο λόγος που προβήκαμε σε αυτή την κίνηση ήταν ότι θέλαμε να περιορίσουμε κατά το βέλτιστο δυνατό τον παράγοντα της εξωτερικής υγρασίας.

Η εν λόγω άμμος που χρησιμοποιήθηκε, όπως επίσης και τα fillers, είχαν προέλευση από τη τοποθεσία Ξηρορέματος, Δήμου Ασπροπύργου, Αττική, όπου εδρεύει το λατομείο της εταιρείας «INTEPMΠΕΤΟΝ Δομικά Υλικά Α.Ε.» μέλος του ομίλου «Α.Ε. Τσιμέντων ΤΙΤΑΝ».

Ο αριθμός των δειγμάτων που απαιτούνταν προσδιορίστηκε στα έντεκα (11):

- 1 πέντε για το ασβεστολιθικό filler (5,10,15,20,25%)
- 2 πέντε για το αργιλοπυριτικό filler (5,10,15,20,25%)
- 3 και ένα δείγμα άμμου με μηδενικό ποσοστό πρόσμιξης (**τυφλό δείγμα**).

Αφού υπολογίσαμε τον συνολικό αριθμό δειγμάτων, έμενε να υπολογίσουμε την ποσότητα άμμου του κάθε δείγματος. Για κάθε δείγμα αναμίγματος άμμου-filler χρειαζόμασταν:

- 1350 g άμμου για την παρασκευή ράβδων κονιαμάτων (σύμφωνα με το πρότυπο EN 196-1)
- 240 g άμμου για τις μετρήσεις των ισοδύναμων άμμου (SE)
- κάτι παραπάνω από 200 g άμμου για τα tests του μπλε μεθυλενίου (MB).

Αθροίζοντας τις παραπάνω ποσότητες, προκύπτει ότι η απαιτούμενη ποσότητα άμμου είναι τα 1790 g. Για λόγους πρόληψης και διασφάλισης, κρίναμε φρόνιμο να προσδιορίσουμε την τιμή αυτή στα **2.0 kg**, έτσι ώστε αν τυχόν κάποια μέτρηση αποτύγχανε, να υπήρχε η δυνατότητα επανάληψής της με ποσότητα άμμου-filler του ίδιου αναμίγματος.

Επομένως, έχοντας προσδιορίσει τον αριθμό των δειγμάτων (11) και την ακριβή τιμή της ποσότητας άμμου για κάθε δείγμα (2.0 kg), υπολογίσαμε την συνολική ποσότητα πλυμένης άμμου που απαιτείτο:

$$11 * 2.0 \text{ kg} = \mathbf{22 \text{ kg}}$$

Στην πραγματικότητα, η ακριβής ποσότητα άμμου που απαιτείται είναι λιγότερη διότι η τιμή των 2.0 kg του κάθε δείγματος που υπολογίσαμε παραπάνω αντιστοιχεί σε μεικτό βάρος άμμου-filler. Επομένως, για το μόνο δείγμα από τα 11 που θα παρασκευασθούν και θα χρησιμοποιηθεί ποσότητα 2.0 kg πλυμένης άμμου, είναι το τυφλό δείγμα (0% πρόσμιξη). Παρόλα αυτά, η διαδικασία που θα ακολουθηθεί είναι η παρασκευή έντεκα δειγμάτων των 2.0 kg.

3.3 Διαδικασία παρασκευής δειγμάτων άμμου-filler

Βάσει της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στην Ενότητα 2.3.1, παρασκευάσαμε με διαδοχικά “κοψίματα” 11 δείγματα των 2.0 kg μέσω του μεγάλου μηχανικού διαχωριστή. Τα δείγματά τοποθετήθηκαν σε διαφανή σακουλάκια, σφραγίστηκαν αεροστεγώς και

τοποθετήθηκαν εντός του χώρου του Ε.Τ.Σ. όπου επικρατούν ελεγχόμενες εξωτερικές συνθήκες.

Έπειτα, μεταβήκαμε στον αναλυτικό ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας ενός δεκαδικού της εταιρίας Mettler (PE 6000). Εκεί, αφού υπολογίσαμε αρχικά την τιμή των γραμμαρίων που αντιστοιχεί στα ποσοστά 5,10,15,20 και 25% των 2.0 kg (π.χ. $5\% \cdot 2.0 \text{ kg} = 100 \text{ g}$), ζυγίσαμε τις αντίστοιχες ποσότητες των fillers. Έπειτα, οι ποσότητες αυτές προστέθηκαν στα σακουλάκια των δειγμάτων (βλ. Εικόνα 3.1), αφού πρώτα αφαιρέθηκαν ισόποσα γραμμάρια άμμου από το εσωτερικό τους, έτσι ώστε το συνολικό τελικό βάρος να είναι πάλι 2.0 kg. Χρησιμοποιώντας καθαρή και απόλυτα στεγνή σέσουλα αφαιρέθηκαν οι κατάλληλες ποσότητες άμμου από τα σακουλάκια κάθε δείγματος και προστέθηκαν οι αντίστοιχες αργιλοπυριτικές και ασβεστολιθικές ποσότητες filler. Τα σακουλάκια σφραγίστηκαν αεροστεγώς εκ νέου και ανακινήθηκαν καλά με στόχο την ομογενοποίηση του δείγματος στο εσωτερικό τους.



Εικόνα 3.1 Σακουλάκια δειγμάτων ασβεστολιθικού (απόχρωσης λευκού) και αργιλοπυριτικού (απόχρωσης καφέ) filler.

Στη συνέχεια, οδηγηθήκαμε στον μικρό μηχανικό διαχωριστή (Small Divider), ο οποίος παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.2, ώστε να διαχωρίσουμε τις κατάλληλες ποσότητες αναμίγματος από το κάθε σακουλάκι ξεχωριστά. Ο στόχος ήταν για κάθε δείγμα, να εξάγουμε 1350 g για την παρασκευή των πρισμάτων κονιαμάτων, τέσσερα τελικά ισόποσα δείγματα για τις μετρήσεις SE και ενός ακόμη τελικού δείγματος ποσότητας μεγαλύτερης των 200 g για την μέτρηση των tests MB.



Εικόνα 3.2 Μικρός μηχανικός διαχωριστής – Small Divider, Ε.Τ.Σ. – TITAN.

Η τελική ποσότητα άμμου για τις μετρήσεις (final proportion for the tests) των SE περάστηκε από κόσκινο 4 mm. Στη συνέχεια διαχωρίστηκε ομοιογενώς, με βάση τον τύπο που αναφέρεται στην Ενότητα 2.3.2, μέσω του μικρού Divider σε τέσσερα δείγματα των 120 g (+ την υγρασία ω) για τις μετρήσεις των SE (δύο προς χρησιμοποίηση και δύο σε περίπτωση επανάληψης της μέτρησης), τα οποία συσκευάστηκαν και σφραγίστηκαν αεροστεγώς σε ξεχωριστά σακουλάκια το καθένα.

Τέλος, η τελική ποσότητα για τις μετρήσεις των tests MB συγκεντρώθηκε και διήλθε μέσω κοσκίνου 2 mm, από την οποία συγκρατήθηκε ποσότητα μεγαλύτερη των 200 g (+ την υγρασία W), η οποία συσκευάστηκε σε ξεχωριστό σακουλάκι. Η διαδικασία ακολουθήθηκε και για τα 11 δείγματά μας.

Κεφάλαιο 4 Αποτελέσματα

4.1 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

4.1.1 Χημική ανάλυση - XRF

Οι χημικές αναλύσεις έγιναν με στόχο την ταυτοποίηση των δύο filler (ασβεστολιθικό, αργιλοπυριτικό). Προς χάριν βεβαιότητας, έπρεπε να διαπιστωθεί το κατά πόσο τα δείγματα, τα οποία συλλέχθηκαν από την περιοχή Ξηρορέματος, είναι αντιπροσωπευτικά δείγματα ασβεστολιθικού και αργιλοπυριτικού filler. Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης (XRF) παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα χημικής ανάλυσης-XRF

Δείγμα	Ασβεστολιθικό	Αργιλοπυριτικό
	LIMESTONE	CLAY
SiO ₂	1.642	54.072
Al ₂ O ₃	0.253	17.337
Fe ₂ O ₃	0.246	6.924
CaO	54.347	4.876
MgO	0.621	0.923
SO ₃	0.121	0.088
Na ₂ O	0.001	0.352
K ₂ O	0.01	2.138
TiO ₂	0.004	0.747
P ₂ O ₅	0.001	0.084
SrO	0.1	
Cl	0.002	0.05
LOI	42.91	12.28
TOTAL	100.26	99.87

4.1.2 Προσδιορισμός ισοδυνάμων άμμου (SE) – Tests μπλε μεθυλενίου (MB)

Στο χώρο του Ε.Τ.Σ. πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις ισοδυνάμου άμμου και μπλε του μεθυλενίου, οι οποίες παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων ισοδυνάμου άμμου (SE) και μπλε του μεθυλενίου (MB) σε δείγματα αργιλοπυριτικών και ασβεστολιθικών αναμιγμάτων άμμου-filler.

Ποσοστά % filler		0% (blind sample)	5%	10%	15%	20%	25%
Αργιλοπυριτικά	SE	SE=97% MB=0.5	73%	41%	29%	26%	23%
	MB		3.4	5.4	8.2	12.6	-
Ασβεστολιθικά	SE		86%	80%	73%	63%	55%
	MB		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Η μέτρηση MB του αργιλοπυριτικού δείγματος ποσοστού 25% δεν πραγματοποιήθηκε. Αυτό συνέβη διότι το ποτήρι ζέσεως, το οποίο χρησιμοποιήθηκε κατά την διαδικασία της ανάμειξης στο μίξερ (Stirrer type BS), ήταν μη επαρκούμενης χωρητικότητας.

Λαμβάνοντας υπόψιν ότι στην προηγούμενη μέτρηση του δείγματος, ποσοστού περιεκτικότητας 20% αργιλοπυριτικού filler, το διάλυμα κατά την ανάδευση παρέμενε οριακά εντός των τοιχωμάτων του δοχείου και δεδομένου ότι καθόλη τη διαδικασία των μετρήσεων η ποσότητα (mL) προσθήκης διαλύματος ακολουθούσε αυξητική τάση καθώς αυξανόταν το ποσοστό περιεχόμενου filler εντός των δειγμάτων, αντιληφθήκαμε ότι δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί η μέτρηση.

Επίσης, καθοριστικός παράγοντας στη μη πραγματοποίηση της μέτρησης ήταν ότι δεν υπήρχε ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον, διότι το ανώτατο όριο προσθήκης που χρησιμοποιείται στο Ε.Τ.Σ. είναι τα 50 mL διαλύματος MB. Ποσότητα η οποία είχε ήδη ξεπεραστεί από την πρώτη μέτρηση, του αργιλοπυριτικού δείγματος περιεκτικότητας 5%, όπου είχαν προστεθεί 70 mL διαλύματος. Παρόλα αυτά οι μετρήσεις συνεχίστηκαν ώστε να έχουμε μια συνολική εικόνα του κατά πόσο σημαντικά επιδρά η περιεκτικότητα του αργιλοπυριτικού filler στην μέθοδο.

Όπως αναφέρθηκε αναλυτικά στην Ενότητα 2.1.2, βάση του EN 933-9, υπολογίζονται οι δοκιμές SE.

Υπολογισμοί - αποτελέσματα των μετρήσεων προσδιορισμού SE

- Υπολογίζουμε με ακρίβεια ενός δεκαδικού το λόγο $h_2/h_1 * 100$ για κάθε κύλινδρο. Αν οι δυο λόγοι διαφέρουν περισσότερο από 4 μονάδες τότε επαναλαμβάνεται η δοκιμή.
- Η τιμή SE υπολογίζεται από τον μέσο όρο των λόγων $h_2/h_1 * 100$ στρογγυλοποιώντας την τιμή στον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό.

Ενδεικτικά παρουσιάζεται ο υπολογισμός για αργιλοπυριτικό δείγμα 10%,

$$\text{➤ } 1^\circ \text{Δείγμα: } SE_1 = \frac{h_2}{h_1} * 100 = \frac{8.5}{20.5} * 100 = 41.46 = 41\%$$

$$\text{➤ } 2^\circ \text{Δείγμα: } SE_2 = \frac{h_2}{h_1} * 100 = \frac{8.4}{20.6} * 100 = 40.77 = 41\%$$

Ισοδύναμο άμμου – Μέσος όρος των αποτελεσμάτων $100 * (h_2/h_1)$ των δυο δειγμάτων:

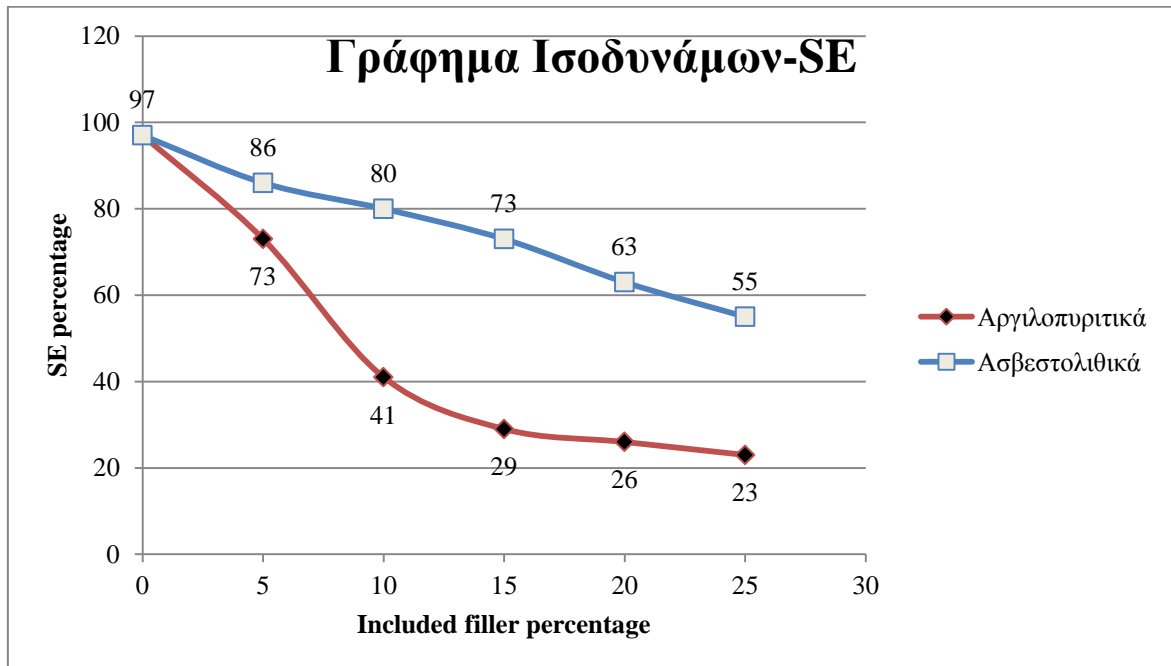
$$SE_4 = (41+41)/2=41$$

Σημείωση: Ο συμβολισμός SE_4 δηλώνει ότι πρόκειται για κλάσμα δοκιμής 0/4, σύμφωνα με το πιστοποιητικό δοκιμής του Ε.Τ.Σ. Εάν πρόκειται για κλάσμα 0/2, τότε ο συμβολισμός είναι SE_2 .

Αντίστοιχα, υπολογίζονται τα υπόλοιπα αργιλοπυριτικά και ασβεστολιθικά δείγματα των οποίων τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3. Ακολουθεί γραφική αναπαράσταση αυτών στο Διάγραμμα 4.1.

Πίνακας 4.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων ισοδυνάμων άμμου.

% Filler	Αργιλοπυριτικά		Μ.Ο	Ασβεστολιθικά		Μ.Ο
	1° Δείγμα	2° Δείγμα		1° Δείγμα	2° Δείγμα	
5%	-	73	73	87	86	86
10%	41	41	41	81	79	80
15%	31	28	29	72	74	73
20%	27	26	26	63	63	63
25%	23	24	23	53	57	55



Διάγραμμα 4.1 Γραφική αναπαράσταση της εξάρτησης των ποσοστών ισοδυνάμου άμμου συναρτήσει των αυξανόμενων ποσοστών πρόσμιξης filler.

Υπολογισμοί – αποτελέσματα των tests MB

- Υπολογίζουμε την τιμή του μπλε του μεθυλενίου εκφρασμένη σε g διαλύματος MB ανά kg κλάσματος 0/2mm από τον τύπο:

$$MB = (V_1/M_1) \times 10$$

Στρογγυλοποιούμε το MB στο πλησιέστερο 0.1 g διαλύματος ανά kg κλάσματος

Οι ποσότητες προσθήκης διαλύματος MB στις μετρήσεις των αργιλοπυριτικών και ασβεστολιθικών δειγμάτων, καθώς και οι χρησιμοποιούμενες ποσότητες κλάσματος εκφρασμένες σε γραμμάρια (gr) παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.4 Ποσότητες προσθήκης MB και γραμμάρια κλάσματος τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις ανά περίπτωση.

Ποσοστά % filler		0% (blind sample)	5%	10%	15%	20%	25%
Αργιλοπυριτικά	g κλάσματος	217g 10mL	208	205	208	210	-
	mL διαλύματος MB		70	110	170	265	-
Ασβεστολιθικά	g κλάσματος		217	210	204	213	212
	mL διαλύματος MB		5	5	5	5	5

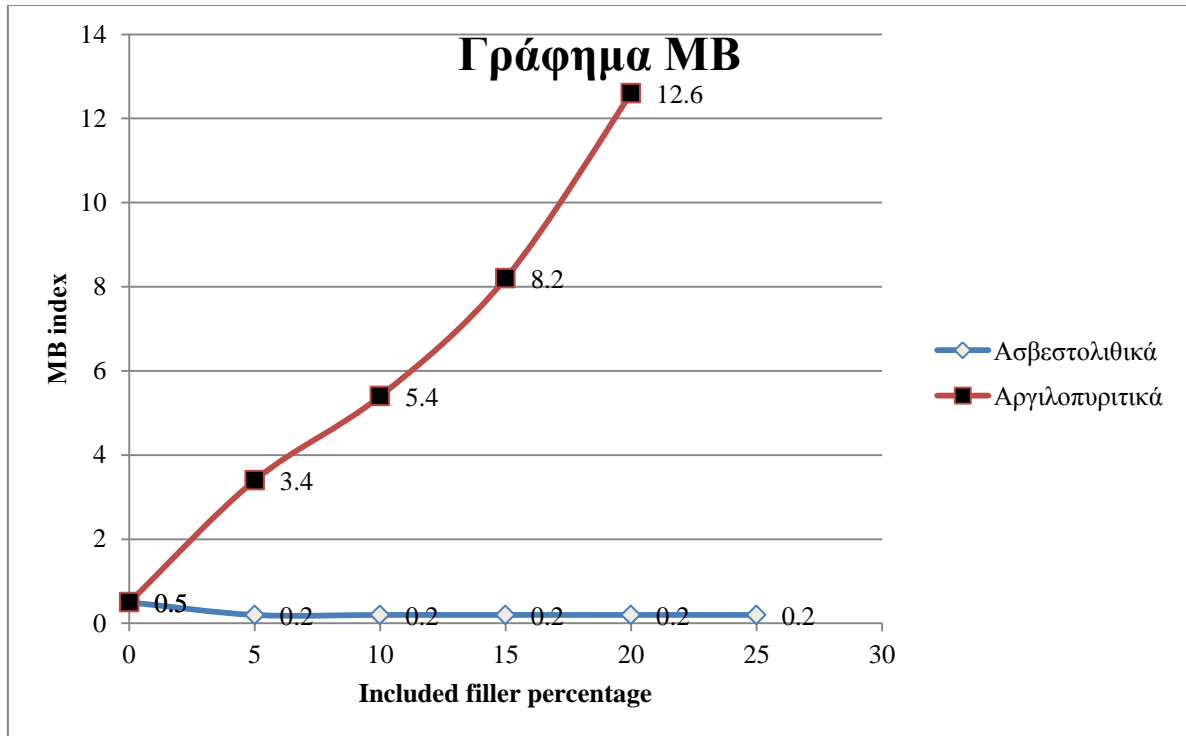
Ενδεικτικά παρουσιάζεται ο υπολογισμός για αργιλοπυριτικό δείγμα περιεκτικότητας 5% :

$$MB = (70\text{mL} / 208\text{g}) \times 10 = 3.37 = 3.4$$

Αντίστοιχα υπολογίζονται τα υπόλοιπα αργιλοπυριτικά και ασβεστολιθικά δείγματα των οποίων τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.5 και διαγραμματικά στο Διάγραμμα 4.2.

Πίνακας 4.5 Αποτελέσματα μετρήσεων μπλε του μεθυλενίου – MB index

% Filler		5%	10%	15%	20%	25%
MB index	Αργιλοπυριτικά	3.4	5.4	8.2	12.6	-
	Ασβεστολιθικά	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2



Διάγραμμα 4.2 Διάγραμμα συσχέτισης των ποσοστών πρόσμιξης των filler συναρτήσει του δείκτη μετρήσεως μπλε του μεθυλενίου.

4.1.3 Μηχανικές αντοχές – Εξάπλωση

Ο δεύτερος κύκλος πειραματικών μετρήσεων πραγματοποιήθηκε στο Ε.Φ.Δ. Σε αυτόν περιλαμβάνονταν οι μετρήσεις εξάπλωσης και θλιπτικών αντοχών. Αρχικά, έγινε παρασκευή δοκιμίων κονιαμάτων από κάθε δείγμα άμμου-filler, όπου κατά το στάδιο παρασκευής τους έγιναν **μετρήσεις εργασιμότητας-εξάπλωσης**. Έπειτα, ακολούθησε το στάδιο της διάστρωσης των δοκιμίων εντός των καλουπιών. Τέλος, αφού ξεκαλουπώθηκαν και παρέμειναν σε λουτρό 2,7 και 28 ημέρες έγιναν επί αυτών οι αντίστοιχες **μετρήσεις θλιπτικών αντοχών**. Αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.6.

Οι μετρήσεις των δειγμάτων άμμου-filler ποσοστού περιεκτικότητας 25% αργιλοπυριτικού και 15, 20, 25% ασβεστολιθικού filler δεν πραγματοποιήθηκαν για τον παρακάτω λόγο: Στο στάδιο της παρασκευής τους τα δείγματα ήταν δύσπλαστα και κακής συνοχής, γεγονός αποτρεπτικό ως προς την υλοποίηση οποιασδήποτε μέτρησης. Αφενός τα συγκεκριμένα «χαρμάνια» δεν μπορούσαν να αλεσθούν στο μίξερ του Ε.Φ.Δ. με αποτέλεσμα να μην μπορούν να γίνουν επί αυτών μετρήσεις εξαπλώσεως και αφετέρου δεν γινόταν να παρασκευασθούν δοκίμια κονιαμάτων των συγκεκριμένων δειγμάτων ώστε να πραγματοποιηθούν μετρήσεις θλιπτικών αντοχών.

Πίνακας 4.6 Παρουσίαση αποτελεσμάτων μετρήσεως εξάπλωσης και θλιπτικών αντοχών ασβεστολιθικών και αργιλοπυριτικών δειγμάτων άμμου – filler.

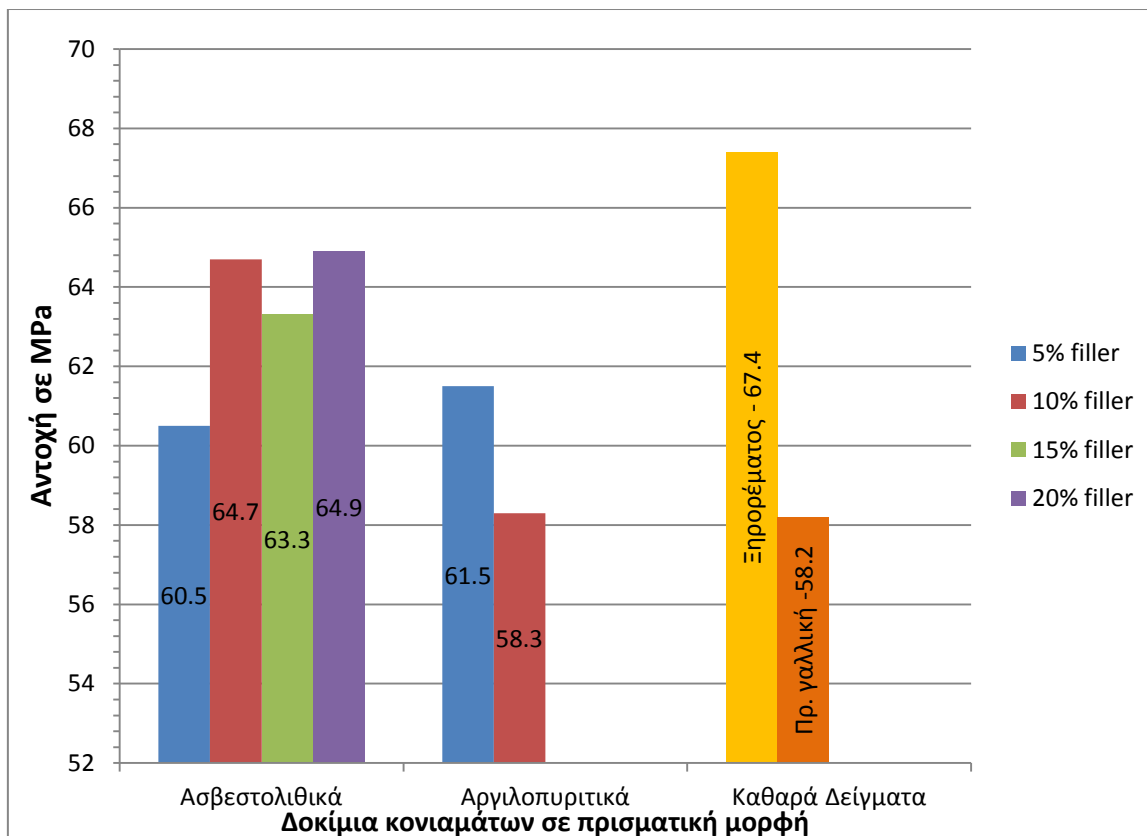
% Filler		5%		10%		15%		20%		25%	
Ασβεστολιθικά	Εξάπλωση (cm)	16		14.7		13.5		12.5		-	
	Θραύση (MPa) (F N/mm ²)	2days	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	-
			34.9	34.9	36.8	38.3	36.7	38.4	42.2	42.6	-
		M.O.	34.9		37.6		37.6		42.4		-
		7days	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	-
			50.3	51.2	53.1	52.8	52.9	51.1	55.0	24.4	-
		M.O.	50.8		53		52		55		-
		28days	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	-
	61.2		59.8	65	64.4	62.6	63.9	65	64.8	-	
	M.O.	60.5		64.7		63.3		64.9		-	
Αργιλοπυριτικά	Εξάπλωση (cm)	12.5		10.5		-		-		-	
	Θραύση (MPa) (F N/mm ²)	2days	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	-
			35.5	35.6	38.1	37.5	-	-	-	-	-
		M.O.	35.6		37.8		-		-		-
		7days	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	-
			52.7	48.7	47.6	47.7	-	-	-	-	-
		M.O.	50.7		47.7		-		-		-
		28days	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	-
61.1	61.9		58.9	57.6	-	-	-	-	-		
M.O.	61.5		58.3		-		-		-		

Στον Πίνακα 4.7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων εξάπλωσης και θλιπτικών αντοχών, όπου έγιναν σε δύο δείγματα υλικού μηδενικού ποσοστού πρόσμιξης. Ένα καθαρό δείγμα άμμου Ξηρορέματος και ένα καθαρό δείγμα πρότυπης γαλλικής άμμου.

Πίνακας 4.7 Παρουσίαση αποτελεσμάτων μετρήσεως εξάπλωσης και θλιπτικών αντοχών καθαρού δείγματος άμμου (Ξηρορέματος, πρότυπης γαλλικής) μηδενικής πρόσμιξης.

		Τυφλό		Πρότυπη γαλλική	
Εξάπλωση (cm)		14		16.5	
Θραύση (MPa) (F N/mm ²)	2days	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η
		36.0	38.5	29.6	29.9
	M.O.	37.3		29.8	
	7days	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η
		46.3	53.7	57.7	58.6
	M.O.	50.0		45.1	
	28days	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η
		65.5	69.2	57.7	58.6
	M.O.	67.4		58.2	

Στο Διάγραμμα 4.3 που ακολουθεί, παρουσιάζονται σε μορφή στηλών τα αποτελέσματα των μετρήσεων αντοχών στις 28 ημέρες, τα οποία παρατέθηκαν στους παραπάνω πίνακες (βλ. Πίνακας 4.6, 4.7).

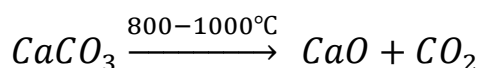


Διάγραμμα 4.3 Γράφημα αντοχών δοκιμών κονιαματος σε μετρήσεις των 28 ημερών.

4.2 Συζήτηση Αποτελεσμάτων

4.2.1 Χημική ανάλυση-XRF

Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε με την συσκευή XRF (Πίνακας 4.1) αποδεικνύουν ξεκάθαρα την ταυτότητά τους. Δηλαδή ότι πρόκειται για ένα καθαρά ασβεστολιθικό filler στη μια περίπτωση, με ποσοστό περιεκτικότητας 54% οξειδίου του ασβεστίου (CaO) και στην άλλη για ένα καθαρά αργιλοπυριτικό με ποσοστό 54% διοξειδίου του πυριτίου (SiO₂). Η εικόνα αυτή ενισχύεται από τα αναμενόμενα ποσοστά Al₂O₃ και Fe₂O₃ στο αργιλοπυριτικό καθώς και της Απώλειας Πύρωσης (LOI) για το ασβεστολιθικό, μέσω της παρακάτω αντίδρασης:



4.2.2 Προσδιορισμός ισοδύναμων άμμου (SE) – Tests μπλε μεθυλενίου (MB)

Τα αποτελέσματα των SE και MB, όπου παρουσιάστηκαν στα Διαγράμματα 4.1-2, δείχνουν εκ πρώτης όψεως ότι τα δείγματα αργιλοπυριτικού filler είναι αυτά που εμφανίζουν μεγαλύτερες μεταβολές τιμών σε σχέση με τα ασβεστολιθικά.

Αργιλοπυριτικά δείγματα

Τόσο τα αποτελέσματα των SE, όσο και των MB των αργιλοπυριτικών δειγμάτων, παρουσιάζουν έντονη μεταβολή καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε filler εντός αυτών. Αυτή η μεταβολή παρατηρείται πιο έντονη, όσον αφορά τις μετρήσεις SE, στα πρώτα δείγματα των ποσοστών περιεκτικότητας 5, 10, 15% και πιο ήπια στα επόμενα των 20 και 25%. Χαρακτηριστικό είναι ότι βάσει του Κ.Τ.Σ απαιτούνται άμμοι που έχουν ισοδύναμα πάνω από 65%, χωρίς όμως να αναφέρεται κάτι για το ελάχιστο όριο επιθυμητού MB index. Στο Ε.Τ.Σ. ως ανώτατο αποδεκτό όριο MB index λογίζεται η μονάδα.

Η μεταβολή είναι σε γενικές γραμμές το ίδιο έντονη για κάθε δείγμα στις μετρήσεις MB με ένα μέσο όρο αύξησης 3 μονάδων του MB index. Απολύτως λογικό, καθώς η δοκιμή μετρά την ποσότητα διαλύματος του MB που χρειάζεται για την επικάλυψη όλων των αργιλικών συστατικών των αδρανών. Από τη στιγμή που σε κάθε δείγμα αυξάνεται η περιεκτικότητα αργίλου απαιτείται και μεγαλύτερη ποσότητα διαλύματος.

Ασβεστολιθικά δείγματα

Αντιθέτως στην περίπτωση των ασβεστολιθικών δειγμάτων, όπου από ότι έδειξε το XRF η περιεκτικότητά τους σε άργιλο είναι πολύ φτωχή, ο MB index παραμένει σταθερός για όλα τα δείγματα. Η εικόνα του στο Διάγραμμα 4.2 φανερώνει μια γραμμική συμπεριφορά χαρακτηριστική της μη ανίχνευσης αργιλικών αδρανών καθώς αυξάνεται το ποσοστό περιεκτικότητας ασβεστολιθικού filler των δειγμάτων.

Όσο αναφορά τις μετρήσεις SE των ασβεστολιθικών δειγμάτων, λόγω του ότι η μέθοδος είναι ένας έμμεσος και συγκριτικός προσδιορισμός ποσοστού κόκκων λεπτόκοκκου κλάσματος, όχι κατά ανάγκη αργιλικών, οι διακυμάνσεις από δείγμα σε δείγμα είναι πιο ήπιες συγκριτικά με αυτές των αργιλοπυριτικών δειγμάτων. Οι μετρήσεις που λαμβάνουμε είναι αντίστοιχες της αύξησης της ποσότητας του filler εντός των δειγμάτων. Αυξάνοντας το ποσοστό περιεκτικότητας filler, αυξάνεται αντίστοιχα και το ποσοστό κόκκων λεπτόκοκκου κλάσματος, οδηγώντας σε σταδιακή πτώση τις τιμές SE.

4.2.3 Εξάπλωση – Θλιπτικές αντοχές

Εξάπλωση

Παρατηρώντας τις τιμές των μετρήσεων εξάπλωσης του Πίνακα 4.6 διαπιστώνεται ότι και στους δύο τύπους filler ακολουθείται μια σταδιακή πτώση, όσο αυξάνεται το ποσοστό περιεκτικότητάς τους εντός των δειγμάτων.

Αυτό μας οδηγεί σε κάποιες σημαντικές παρατηρήσεις. Αρχικά, ότι η ρευστότητα του τσιμεντοκονιάματος μειώνεται προοδευτικά καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητά του σε filler. Αντιθέτως, η συνεκτικότητα του αναμίγματος του τσιμεντοκονιάματος αυξάνεται παρουσιάζοντας μια πιο συμπαγής δομή. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό, εξετάζοντας τη δομή μικροσκοπικά, μπορεί να αποδοθεί στο ότι οι λεπτοί κόκκοι των filler, σε συνδυασμό με αυτούς του τσιμέντου, πληρώνουν τα κενά που δημιουργούνται μεταξύ των συνδετικών πρώτων υλών, των αδρανών, δημιουργώντας μια πιο σταθερή δομή. Εξετάζοντάς το μακροσκοπικά, η ποσότητα νερού που προστίθεται απορροφάται και συγκρατείται από την αυξανόμενη μάζα άμμου-filler.

Επίσης, μπορούμε να αντιληφθούμε ότι καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα των filler, η εργασιμότητα του τσιμεντοκονιάματος μειώνεται σταδιακά. Στα δείγματα περιεκτικότητας 25% ασβεστολιθικού και 15, 20, 25% αργιλοπυριτικού, η μείωση της εργασιμότητας είναι τέτοια ώστε το «χαρμάνι» που παρασκευάστηκε από αυτά τα δείγματα να εμφανίζει σχεδόν μηδενική ρευστότητα, ανομοιόμορφη κατανομή αδρανών καθώς και κακή πλαστικότητα. Γεγονός το οποίο δεν μας επέτρεψε να πραγματοποιήσουμε τις μετρήσεις εξάπλωσης και φυσικά να προχωρήσουμε σε παρασκευή δοκιμίων κονιαμάτων για τις μετρήσεις θλιπτικών αντοχών.

Επίσης σημαντική παρατήρηση είναι η καθοριστική επίδραση που έχει η άργιλος στην εργασιμότητα του τσιμεντοκονιάματος. Αυτό εντοπίζεται από τη διαφορά 3.5 μονάδων της μέτρησης εξάπλωσης μεταξύ των δειγμάτων περιεκτικότητας 5% των δύο filler, όπως και τη διαφορά 4.2 μονάδων στα δείγματα περιεκτικότητας 10%. Διαφορές που υποδηλώνουν το καταστροφικό χαρακτήρα της άργιλου στο παράγοντα της εργασιμότητας.

Θλιπτικές αντοχές

Όσον αφορά τα αποτελέσματα των μετρήσεων των θλιπτικών αντοχών, αρχικά παρατηρούμε το αναμενόμενο και για τα δύο είδη δοκιμίων. Η αντοχή αυτών αυξάνεται προοδευτικά με το χρόνο. Αυτό προκύπτει κυρίως λόγω του ότι το στάδιο της ενυδάτωσης της τσιμεντόπαστας των κονιαμάτων συνεχίζεται με την πάροδο του χρόνου, όπως έχουμε περιγράψει αναλυτικά στην Ενότητα 1.7.4, με αποτέλεσμα την αύξηση της αντοχής μέχρι την ολοκλήρωση της ενυδάτωσης.

Αργιλοπυριτικά δείγματα

Σαφώς αναμενόμενες μπορούμε να χαρακτηρίσουμε και τις τιμές των θλιπτικών αντοχών των αργιλοπυριτικών δοκιμίων, έστω κι αν έχουμε στη διάθεσή μας τα αποτελέσματα από μόνο δύο διαφορετικών περιεκτικότητων δοκίμια. Αυτό που παρατηρείται συγκρίνοντας την αντοχή που έχουμε καταγράψει για το δοκίμιο περιεκτικότητας 5%, με αυτό του 10% αργιλοπυριτικού filler, είναι μια πτώση των αντοχών της τάξεως των 3MPa που παρατηρείται στις μετρήσεις των 7 αλλά και των 28 ημερών. Αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί απόλυτα φυσιολογική, καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα της άργιλου εντός του δοκιμίου. Αυτό οδηγεί, όπως έχουμε αναλυτικά αναφέρει στην Ενότητα 1.6, στη καθυστέρηση της ανάπτυξης των αντοχών αλλά και στη δραστική μείωση της αντοχής του κονιάματος.

Ενδιαφέρουσα και άξια επισήμανσης είναι η σύγκριση των αντοχών που έχουμε καταγράψει για το δείγμα περιεκτικότητας 5% αργιλοπυριτικού filler, με τις αντίστοιχες του δείγματος περιεκτικότητας 5% ασβεστολιθικού filler. Συγκρίνοντάς τες διαπιστώνουμε ότι είναι ουσιαστικά ίδιες (διαφορές μικρότερες της 1 μονάδας MPa), αλλά συγχρόνως αρκετά μικρότερες της αντοχής του καθαρού δείγματος («τυφλό»). Πράγμα το οποίο μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι δεν επηρεάζονται οι αντοχές τόσο από το είδος του λεπτόκοκκου filler, όσο από την παρουσία του αυτή καθεαυτή εντός του κονιάματος, ακόμη και σε μικρή περιεκτικότητα.

Ασβεστολιθικά δείγματα

Αρχικά, διακρίνεται μια σημαντική αύξηση αντοχών 4.2 MPa από το δοκίμιο περιεκτικότητας 5% σε αυτό του 10% ασβεστολιθικού filler (filler effect). Η οποία δίνει την εντύπωση ότι το filler επιδρά ενισχυτικά στις αντοχές των κονιαμάτων. Αυτή η τάση όμως εξαλείφεται στη συνέχεια καθώς αυξάνεται ακόμη περισσότερο η περιεκτικότητα των δοκιμίων σε filler. Με συνέπεια το δοκίμιο περιεκτικότητας 15% να υποχωρεί σε αντοχές (1.4 MPa) και τέλος το δοκίμιο περιεκτικότητας 20% να εμφανίζει οριακά μεγαλύτερη τιμή αντοχής από αυτής του 10% κατά 2 δέκατα της μονάδας MPa (64.9 MPa έναντι 64.7 MPa).

Καθαρά δείγματα μηδενικής πρόσμιξης

Η μεγαλύτερη τιμή αντοχής που καταγράφηκε ανήκει στο καθαρό δείγμα, «τυφλό», άμμου Ξηρορέματος που λάβαμε στη μέτρηση των 28 ημερών (67.4 MPa). Αυτό καταδεικνύει σε πρώτη ανάγνωση την βλαπτική επίδραση των λεπτόκοκκων filler στις αντοχές των κονιαμάτων.

Παρατηρώντας όμως τις αντίστοιχες αντοχές του καθαρού δείγματος Πρότυπης γαλλικής άμμου, διαπιστώνουμε ότι η αντοχή που έχει καταγραφεί στη μέτρηση των 28 ημερών (58.2 MPa) είναι κατά 9.2 MPa μικρότερη της προαναφερθείσας. Διαφορά αρκετά μεγάλη η οποία οφείλεται κυρίως στη σφαιροειδής κοκκομετρία που παρουσιάζει η Πρότυπη γαλλική άμμος, εν αντιθέσει με τογωνιώδους ή και ακανόνιστου σχήματος των κόκκων της άμμου Ξηρορέματος. Το οποίο, όπως έχουμε περιγράψει στην Ενότητα 1.4.1, συνεισφέρει στην καλύτερη συνοχή του τσιμεντοκονιάματος, προσδίδοντας επίσης καλύτερες αντοχές.

4.3 Συμπεράσματα

Σε σχέση με το ποσοστό προσθήκης filler παρατηρείται η έντονη αρνητική επίπτωση των αργιλοπυριτικών ακόμη και από το ποσοστό προσθήκης 5%. Βέβαια, η αρνητική επίπτωση είναι εμφανής και στις δύο μετρηθείσες παραμέτρους αλλά εμφανίζεται πιο έντονα στις SE.

Η προσθήκη αργίλου στα αναμίγματα όχι μόνο επιβραδύνει την ανάπτυξη αλλά τελικά μειώνει δραστικά την αντοχή του κονιάματος.

Σε μικρό ποσοστό περιεκτικότητας (κοντά στο 5%) η άργιλος δεν είναι και τόσο ανεπιθύμητη από άποψης αντοχών. Εν αντιθέσει, η εργασιμότητα επηρεάζεται εντόνως ακόμα και σε μικρή περιεκτικότητα. Σε μικρότερο βαθμό ισχύει και για τα ασβεστολιθικά δείγματα, δηλαδή καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε filler, μειώνεται προοδευτικά η εργασιμότητα.

Συμπερασματικά, βάση των τιμών αντοχής των ασβεστολιθικών κονιαμάτων, μπορούμε να πούμε ότι σε χαμηλό ποσοστό περιεκτικότητας μέχρι 10% η προσθήκη filler μπορεί να δράσει θετικά ως προς την ενίσχυση της αντοχής. Η προσθήκη σε μεγαλύτερο ποσοστό περιεκτικότητας δε μπορεί να αξιολογηθεί θετικά.

Συγκρίνοντας τις αντοχές των δοκιμίων που έχουν προκύψει από τα αναμίγματα άμμου-filler με αυτή του καθαρού δείγματος άμμου, αντιλαμβανόμαστε ότι η προσθήκη τόσο του ασβεστολιθικού, όσο και του αργιλοπυριτικού filler δρουν ανασταλτικά ως προς την αντοχή του κονιάματος-σκυροδέματος. Και αυτό διότι σε καμία περίπτωση ανάμειξης δεν καταγράφηκε μεγαλύτερη τιμή από αυτή του καθαρού δείγματος άμμου (67.4 MPa).

Βιβλιογραφία

- [1] LAFARGE, “LafargeHolcim,Cement,aggregates,Concrete,” 2015. [Online]. Available: <http://www.lafarge.gr/>. [Accessed 4 Αύγουστος 2015].
- [2] Σ. Τσίμας, “Σημειώσεις μαθήματος "Δομικά Υλικά",” Αθήνα, 2015.
- [3] “Perierga gr,” 2015. [Online]. Available: <http://www.perierga.gr>.
- [4] K. P. Mehta and P. J. Monteiro, ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ μικροδομή, ιδιότητες και υλικά, 3η Έκδοση ed., Ι. Παπαγιάννη, Ed., Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2009.
- [5] “National geographic education,” 2015. [Online]. Available: <http://on.natgeo.com/1Rz1Xgk>.
- [6] INTERMPIETON ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ Α.Ε., 3 Αύγουστος 2015. [Online]. Available: <http://www.interbeton.gr>. [Accessed 3 Αύγουστος 2015].
- [7] “domikanews,” 2015. [Online]. Available: <http://domikanews.blogspot.gr>.
- [8] “depositphotos,” 2015. [Online]. Available: <http://gr.depositphotos.com/33035775/stock-photo-mason-at-work.html>.
- [9] Ε. Κ. Ε. Λουπουσάκης Κωνσταντίνος, “Σημειώσεις μαθήματος "Τεχνική Γεωλογία 2",” Αθήνα, 2013-14.
- [10] Κ. Τσακαλάκης, “Adrani_ΔΠΜΣ,” Αθήνα, 2012.
- [11] T.Hirschi, H.Knauber, M.Lanz, J.Schlumpf, J.Schrabbach, C.Spirig and U.Waeber, “SIKA Concrete Handbook,” 2007.
- [12] “orycta.gr,” Σεπτέμβριος 2015. [Online]. Available: <http://www.orycta.gr>.
- [13] Ε. Τσιάβου and Μ. Μεταλ, “Το νέο Ευρωπαϊκό Πρότυπο Αδρανών Σκυροδέματος EN 12620,” 2015.
- [14] Ν. Λιτίνας, “Αδρανή Υλικά στο Σκυρόδεμα,” 2010. [Online]. Available: http://skyrodemanet.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=47.
- [15] Κ. Κ. ΣΙΔΕΡΗΣ, “Αερικές κόνιες,” in *ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ*, ΞΑΝΘΗ, ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ, 1984, p. 11.
- [16] Θ. Κουρέπης, “Σύστημα Ελέγχου και Βελτίωσης Περιβαλλοντικής Απόδοσης Λατομείου Αδρανών Υλικών,” 2015. [Online]. Available:

- http://eurydice.lib.aegean.gr/_upload_/id6342/file1.pdf.
- [17] ΤΕΕ, “ΔΟΚΙΜΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ/ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΙΔΙΟΤΗΤΑ,” [Online]. Available:
http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_AGGREGATES/ad1_5.htm.
- [18] Α. Γ. Κορωναίος and Γ. Ι. Πουλάκος, “Τεχνικά Υλικά, Τόμος 1,” 2005. [Online]. Available: <http://www.ntua.gr/vitruvius/2005/ty1.pdf>.
- [19] Σ. Τσίμας and Σ. Τσιβιλής, *Επιστήμη & Τεχνολογία Τσιμέντου*, Αθήνα: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Ε.Μ.Π., 2011.
- [20] Χ. Α. Μπαϊράμης, 21 Σεπτέμβριος 2012. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/123456789/6621>.
- [21] “LEEDER Enterprises L.T.D.,” 2015. [Online]. Available: http://www.leeder.gr/products/building/deep_stone_abrasimeter_gr.html.
- [22] Μ. Δημήτρουλα, “Τα ασβεστολιθικά αδρανή για το σκυρόδεμα,” *Σκυρόδεμα & Χάλυβας*, Ορυκτολόγος-Πετρολόγος Τεύχος 1 του 2011.
- [23] Μ. Κωνσταντινίδης, 2013. [Online]. Available: [http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/7233/3/Nimertis_Konstantinidis\(geo\).pdf](http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/7233/3/Nimertis_Konstantinidis(geo).pdf).
- [24] Α. Αντωνόπουλος, “DSpace NTUA,” Μάρτιος 2011. [Online]. Available: http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/handle/123456789/4117/antonopoulousa_aggregate_s.pdf?sequence=3.
- [25] Κ. Τσακαλάκης, “Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών,” Μάιος 2010. [Online]. Available: http://www.metal.ntua.gr/uploads/1432/Cement_Concrete_Notes_May_2010_v2.pdf.
- [26] Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 2015. [Online]. Available: http://www.geo.auth.gr/106/theory/pet_sedimentary.htm.
- [27] Δ. Χ. Τσαμτσουλής, Ν. Γ. Παπαγιαννάκος and Α. Παππά, “Επίδραση της Περιεχόμενης Αργίλου στα Αδρανή στην Θλιπτική Αντοχή του Σκυροδέματος και Τσιμεντοκονιάματος,” 25-27 Οκτώβριος 2006. [Online]. Available: http://library.tee.gr/digital/m2173/m2173_tsamatsoulis3.pdf.
- [28] Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, “Σχολή Μηχ. Μεταλλείων-Μεταλλουργών,”

- [Online]. Available: <http://www.metal.ntua.gr>. [Accessed Ιανουάριος 2016].
- [29] Μ. Κωτσοβός, “Υλικά Οπλισμένου Σκυροδέματος-Κεφ. 2,” [Online]. Available: http://www.metal.ntua.gr/uploads/4239/Kotsovovs_KEF_2.pdf.
- [30] Π. Α. Μιγάλης and Σ. Χ. Δημητρίου, Δεκέμβριος 2007. [Online]. Available: file:///C:/Users/public.public-VAIO/Favorites/Downloads/Michalis_Dimitriou.pdf.
- [31] “Pavetest,” 16 Νοέμβριος 2015. [Online]. Available: <http://www.pavetest.gr/proionta/tsimento-koniamata/trapeza-eksaplwshts.html>.
- [32] “Sika ViscoCrete,” 2015. [Online]. Available: http://www.domochemica.com.cy/assets/mainmenu/46/docs/viscocrete_scc_gr.pdf.
- [33] CEN, “Ευρωπαϊκό Πρότυπο, EN 196.01 3η Έκδοση,” Βρυξέλλες, 2005.
- [34] CEN, “European Standard EN 1015-3,” 1999.
- [35] ΙΝΤΕΡΜΠΙΕΤΟΝ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ Α.Ε., [Online].
- [36] ManosHacker. [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2d_lattice_compression.svg#/media/File:2d_lattice_compression.svg.

ΚΑΖΑΝΤΖΙΔΗΣ ΔΑΝΙΗΛ

dani-86@windowslive.com
Στρ.Ν.Ρόκκα 53, Μάνδρα Αττικής, 19600
Κιν.: 6936751429, Τηλ.: 2105555209
gr.linkedin.com/in/dkazantzidis

ΣΤΟΧΟΙ

- ♦ Άμεση εισαγωγή στον εργασιακό κλάδο του Μηχανικού (Engineering)
- ♦ Επαγγελματική σταδιοδρομία

ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Ενιαίο Λύκειο Μάνδρας

2004 Απολυτήριο Γενικού Λυκείου

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

2012 Πτυχιούχος του Τμήματος Μηχανικών Υλικών

Διπλωματική εργασία με τίτλο: «Οπτικές ιδιότητες νανοσύνθετων υμενίων DLC, με εγκλείσματα μετάλλων»
Βαθμός πτυχίου: 6,47

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε.Μ.Π.)

2014-σήμερα «Επιστήμη & Τεχνολογία Υλικών», Μεταπτυχιακό πρόγραμμα διατμηματικού χαρακτήρα διετούς φοίτησης (Master of Science), Τμήμα Χημικών Μηχανικών

Εκπόνηση Διπλωματικής Εργασίας στο Τμήμα «Τεχνολογία Σκυροδέματος», στις εγκαταστάσεις του εργοστασίου του Ομίλου TITAN, Καμάρι Βοιωτίας

ΕΜΠΕΙΡΙΑ

R60 | Στρ.Ν.Ρόκκα 51

2006 – σήμερα Μάνδρα Αττικής

Υπεύθυνος καταστήματος, Βιβλιοχαρτοπωλείο

Γραφείο Κινήσεως | Στρατόπεδο Συντάγματος Ε.Λ.Δ.Υ.Κ

Ιανουάριος 2013 – Ιούλιος 2013 Αγ.Νικόλαος, Περίχωρα Λευκωσίας

Υπεύθυνος γραφείου κινήσεως – Οδηγός επιβατηγού οχήματος τύπου Van

ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΣΕΜΙΝΑΡΙΩΝ

ALBA | Graduate Business School

Σεπτέμβριος 2013 – Νοέμβριος 2013 “Young achievers learning series”

16 ώρες παρακολούθησης – 4 διαλέξεις

ΞΕΝΕΣ ΓΛΩΣΣΕΣ

Αγγλικά | IESOL C2 (Mastery) City& Guilds

Γαλλικά | Delf B2 National Certificate of French Language

ΓΝΩΣΕΙΣ Η/Υ

- MS Windows
- MS Office
- Autocad

ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΕΣ ΥΠΟΧΡΕΩΣΕΙΣ

Εκπληρωμένες με το βαθμό Λοχία κατόπιν τιμητικής διακρίσεως

Νοέμβριος 2012 – Αύγουστος 2013

ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΕΣ ΔΕΞΙΟΤΗΤΕΣ

- Προγραμματισμός
- Οργάνωση
- Ανάλυση αρμοδιοτήτων/πρωτοβουλιών
- Εξυπηρέτηση πελατών
- Επικοινωνία-Ικανότητα συνεργασίας σε ομάδες
- Αναζήτηση πληροφοριών προς καλύτερη αντιμετώπιση προβλημάτων/καταστάσεων
- Αναγνώριση/παρακολούθηση νέων τάσεων
- Λήψη αποφάσεων
- Δημιουργικότητα
- Πειθώ/Επηρεασμός άλλων

ΠΡΟΣΩΠΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Αυτοέλεγχος/αντοχή στη πίεση
- Αντίληψη/ταχύτητα μάθησης
- Συνεργασιμότητα
- Αυτοπεποίθηση
- Αποφασιστικότητα
- Επιμέλεια/προσοχή στη λεπτομέρεια

ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΑ

- Εθνικός & Διεθνής Τύπος, Social Media
- Θέατρο, Κινηματογράφος, Λογοτεχνία, Ταξίδια
- Μαθήματα κλασικής κιθάρας για 4 έτη
- Ποδόσφαιρο (μέλος ερασιτεχνικού σωματείου), Κολύμβηση, Αθλητισμός

ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Κάτοχος διπλώματος αυτοκινήτου - κατηγορίας Β