



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.):
"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ"**

**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΤΗΣ
ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΚΛΑΣΜΑΤΩΝ
ΘΡΑΥΣΜΕΝΟΥ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ Α. ΑΝΔΡΙΑΝΑΚΗ

Μηχανικός Μεταλλειολόγος - Μεταλλουργός

ΕΠΙΒΛΕΨΗ:

Κ. ΤΣΑΚΑΛΑΚΗΣ

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.):

"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ"

**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΤΗΣ
ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΚΛΑΣΜΑΤΩΝ
ΘΡΑΥΣΜΕΝΟΥ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ Α. ΑΝΔΡΙΑΝΑΚΗ

Μηχανικός Μεταλλειολόγος - Μεταλλουργός

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Κ. ΤΣΑΚΑΛΑΚΗΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Σ. ΤΣΙΜΑΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ε.ΜΠΑΔΟΓΙΑΝΝΗΣ, Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2012

Περίληψη

Το θέμα της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι ο προσδιορισμός της κατάλληλης σύνθεσης κοκκομετρικών κλασμάτων θραυσμένου ασβεστολιθικού υλικού για την παραγωγή σκυροδέματος. Επειδή τα κύρια συστατικά του σκυροδέματος είναι τα αδρανή υλικά και το τσιμέντο, οι πρώτες ύλες πρέπει να βρίσκονται στην απαιτούμενη αναλογία για το καλύτερο αποτέλεσμα με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Στα αδρανή υλικά, δεν θα πρέπει να αγνοηθεί η επίδραση συμμετοχής των διάφορων κοκκομετρικών κλασμάτων ως πρώτη ύλη, τα οποία παίζουν καθοριστικό ρόλο για το όγκο του σκυροδέματος που θα χρησιμοποιηθεί. Τα χονδρομερή υλικά εξασφαλίζουν την μέγιστη αντοχή στο παραγόμενο σκυρόδεμα αλλά τα λεπτομερή αδρανή χρησιμοποιούνται για την πλήρωση των κενών μεταξύ των αδρανών υλικών. Τα λεπτομερή υλικά έχουν στόχο να αυξήσουν την εργασιμότητα του μίγματος του σκυροδέματος και να ελαττώσουν τον όγκο των κενών που καλύπτεται από τη τσιμεντόπαστα.

Πρέπει όμως πρώτα να γίνει ένας έλεγχος καταλληλότητας των αδρανών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία σύμφωνα με ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα. Η μάζα της απαιτούμενης ποσότητας από κάθε κοκκομετρικό κλάσμα μελετήθηκε στον προσδιορισμό του ειδικού βάρους και της απορροφητικότητας των αδρανών (λεπτομερών και χονδρομερών αντιστοίχως) καθώς και στον υπολογισμό του δείκτη επιμηκών τεμαχίων και στον δείκτη πεπλατυσμένων τεμαχίων.

Τέλος έγιναν δέκα συνδυασμοί, με διαφορετική συμμετοχή ποσοστού αδρανών υλικών από τα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα και πραγματοποιήθηκε σύγκριση με το πρότυπο μίγμα ταξινόμησης αδρανών.

Abstract

Much of the dialogue that has followed aggregate optimization in recent years has been based on durability benefits of reducing mix paste (cement and water) contents through the use of uniformly graded aggregates to fill voids in the matrix. The use of more uniformly graded aggregates has been found to be a major solution to the problems of segregation in normal mixes, as compared to our ordinary gap graded mixes composed of large stone and sand.

The amount of a given aggregate and that of a given coarse aggregate are well balanced in a good grading. However this balance is depend on numerous factors, such as the maximum particle size, particle shape, cement content, method of compaction and fineness of the sand. The aggregate grading which used, was various and close enough to the optimum.

The internal structure of a concrete depends not only on the coarseness of the grading and on the particle shape of the aggregate but also on the details of the particle - size. So, it was held a larger investigation about it, which was the classification of aggregate particles as flaky and as elongated. For the test was used a metal thickness gauge and a metal length gauge to separate particles and then calculate the flakiness index and elongation index. The procedure was to combine aggregates from different grading to fit approximately to the straight line and then determine the best solution. The range of blending provides a certain flexibility to select the most suitable set of blending proportions based on economic or other considerations.

Περιεχόμενα

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	1
1.1 ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ	1
1.1.1 Πρώτες ύλες	1
1.1.1.1 Ασβεστόλιθος	2
1.1.2 Τρόπος λήψης αδρανών υλικών	3
1.1.3 Τρόπος παραγωγής αδρανών υλικών	3
1.1.4 Κατηγορίες αδρανών υλικών	5
1.1.5 Εφαρμογές – Χρήσεις αδρανών υλικών	6
1.1.6 Ρόλος των αδρανών υλικών στο σκυρόδεμα	6
1.2 ΤΣΙΜΕΝΤΟ	7
1.2.1 Η παραγωγή του τσιμέντου	9
1.2.1.1 Προσδιορισμός της σύνθεσης των πρώτων υλών	10
1.2.2 Η άλεση του κλίνκερ	11
1.2.3 Οι συνθήκες αποθήκευσης του τσιμέντου	13
1.3 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	13
1.3.1 Τα υλικά του σκυροδέματος	15
1.3.1.1 Αδρανή υλικά	15
1.3.1.1.1 Επίδραση των λεπτομερών αδρανών στη σύνθεση αδρανών σκυροδέματος	17
1.3.1.1.2 Μέθοδοι προσδιορισμού των κατάλληλων κοκκομετρικών συνθέσεων αδρανών	18
1.3.1.1.3 Βέλτιστη σύνθεση αδρανών σκυροδέματος	20
1.3.1.2 Νερό ανάμιξης	21
1.3.1.3 Πρόσθετα και Πρόσμικτα	22
1.3.1.3.1 Βελτιωτικά ή χημικά πρόσθετα	22
1.3.1.3.2 Πρόσθετα συστατικά	22
1.3.2 Ταξινόμηση σκυροδεμάτων	23
1.3.3 Βασικές ιδιότητες σκυροδέματος	24
1.3.3.1 Η εργασιμότητα	24
1.3.3.2 Οι αντοχές	25
1.3.3.3 Το πορώδες	25
1.3.3.3 Η διαπερατότητα	26
1.3.4 Ανθεκτικότητα σκυροδέματος	27
2. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΘΕΜΑΤΟΣ	28
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	29
3.1 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ ΜΕ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ – Χ	29
3.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	31
3.2.1 Θραύση	31
3.2.2 Κοκκομετρική ανάλυση	32
3.2.3 Ταξινόμηση	33
3.2.4 Δειγματοληψία	34
3.3 ΠΟΡΩΔΕΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	36
3.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΜΗΚΩΝ ΚΑΙ ΠΛΑΚΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ	37
3.5 ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	38

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΥΖΗΤΗΣΗ	40
4.1 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ ΜΕ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΤΩΝ ΑΚΤΙΝΩΝ – Χ	40
4.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	41
<i>Κοκκομετρικό κλάσμα</i>	41
4.3 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ	42
<i>Κοκκομετρικό κλάσμα</i>	42
4.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	43
4.5 ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΕΠΙΜΗΚΩΝ ΚΑΙ ΠΛΑΚΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ	44
4.5.1 Προσδιορισμός δείκτη πλακωδών τεμαχίων	45
4.5.2 Προσδιορισμός δείκτη «επιμήκους» τεμαχίων	46
4.6 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	46
4.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΓΚΟΥ ΤΩΝ ΚΕΝΩΝ	56
4.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ	57
4.8.1 Πρότυπη σύνθεση	57
4.8.2 Πρώτη δοκιμή	57
4.8.3 Δεύτερη δοκιμή	58
4.8.4 Τρίτη δοκιμή	58
4.8.5 Τέταρτη δοκιμή	58
4.8.6 Πέμπτη δοκιμή	59
4.8.7 Έκτη δοκιμή	59
4.8.8 Έβδομη δοκιμή	59
4.8.9 Όγδοη δοκιμή	60
4.8.10 Ένατη δοκιμή	60
4.8.11 Δέκατη δοκιμή	60
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΥΖΗΤΗΣΗ	62
6. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΈΡΕΥΝΑ	63
7. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	64
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	65
9. ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

1. Θεωρητικό Μέρος

1.1 Αδρανή Υλικά

Αδρανή υλικά (άμμος, χαλίκι, γαρμπίλι, σκόρα) καλούνται τα υλικά που αποτελούνται από λίθινους κόκκους, είτε φυσικούς οπότε ονομάζονται «φυσικά ή συλλεκτά» αδρανή, είτε από κόκκους που προκύπτουν από τη θραύση όγκων πετρώματος ή τη θραύση φυσικών αδρανών οπότε ονομάζονται «θραυστά» αδρανή.

Όταν λέμε αδρανή υλικά εννοούμε εκείνα που προέρχονται από τη φύση, τα λατομεία ή τα ορυχεία. Τα αδρανή υλικά οφείλουν την ονομασία τους στο γεγονός ότι παραμένουν χημικά αδρανή σε αντίθεση με το τσιμέντο και το νερό στη χημική δράση των οποίων οφείλεται η πήξη και σκλήρυνση του σκυροδέματος. Τα αδρανή υλικά συνδέονται και συγκολλούνται μεταξύ τους και συμβάλλουν, μηχανικά μόνο, στην αντοχή του τελικού προϊόντος. [2]

1.1.1 Πρώτες ύλες

Κύριες κατηγορίες πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται για αδρανή :

- *Μαγματικά πετρώματα* : Γρανίτες, Διορίτες, Γάββροι, Ρυόλιθοι, Ανδεσίτες, Δακίτες, Βασάλτες
- *Ιζηματογενή πετρώματα* : Αμμοχαλικώδεις αποθέσεις, Ασβεστόλιθοι
- *Μεταμορφωμένα πετρώματα* : Γνεύσιοι (ορθογνεύσιοι), χαλαζίτης

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

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

1.1.1.1 Ασβεστόλιθος

Το ανθρακικό ασβέστιο είναι ευρύτατα διαδεδομένο στην φύση κάτω από διάφορες γεωλογικές μορφές, οι περισσότερες των οποίων είναι κατάλληλες για την παραγωγή του τσιμέντου Πόρτλαντ. Οι περισσότερο καθαρές μορφές του ανθρακικού ασβεστίου είναι ο ασβεστόλιθος και η κιμωλία. Περίπου 4.5 δισεκατομμύρια τόνοι ασβεστόλιθου χρησιμοποιούνται παγκοσμίως σε ετήσια βάση. Από αυτά εκτιμάται ότι το 1/3, δηλαδή περίπου 1.5 δισεκατομμύρια τόνοι χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για παραγωγή τσιμέντου. Οι καθαρότερες μορφές ασβεστόλιθου είναι ο ασβεστίτης και ο αραγωνίτης, ενώ μικρότερης σημασίας είναι ο δολομίτης, ο ανκερίτης κ.λπ.



Εικόνα 1. 1: Διάφορες μορφές ασβεστόλιθου

Στον ασβεστόλιθο επικρατεί μια λεπτόκοκκη κρυσταλλική δομή, η δε σκληρότητα του αυξάνεται όσο ο γεωλογικός σχηματισμός είναι παλαιότερος. Η σκληρότητα αυτή κυμαίνεται μεταξύ 1.8 και 3.0 της κλίμακας Mohs, γεγονός που τον καθιστά σχετικά εύαλεστο.

Ο ασβεστόλιθος περιέχει διάφορες προσμίξεις που επηρεάζουν το χρωματισμό του, ενώ όταν βρίσκεται σε πολύ καθαρή μορφή είναι λευκός. Ο τύπος του ορυκτού σε συνάρτηση με την κρυσταλλική του δομή, με τυχόν ανωμαλίες στη μικροδομή του και με την ύπαρξη προσμειξεων καθορίζουν το είδος του πετρώματος που θα χρησιμοποιηθεί.

1.1.2 Τρόπος λήψης αδρανών υλικών

Τα αδρανή υλικά προέρχονται από τη φύση (φυσικά ή φερτά ή συλλεκτά), τα λατομεία και τα ορυχεία (θραυστά). Συνηθέστερα όμως, δημιουργούνται από τη θραύση πετρωμάτων ή χονδρών φυσικών αδρανών (θραυστά αδρανή).

Τα αδρανή υλικά προέρχονται συνήθως από την εξόρυξη κατάλληλων πετρωμάτων ή την ανάληψη τους από φυσικές εναποθέσεις των θραυσμάτων τους. Πρόσφατα χρησιμοποιούνται τεχνητά αδρανή που προέρχονται από επεξεργασία βιομηχανικών προϊόντων(συνθετικά).

1.1.3 Τρόπος παραγωγής αδρανών υλικών

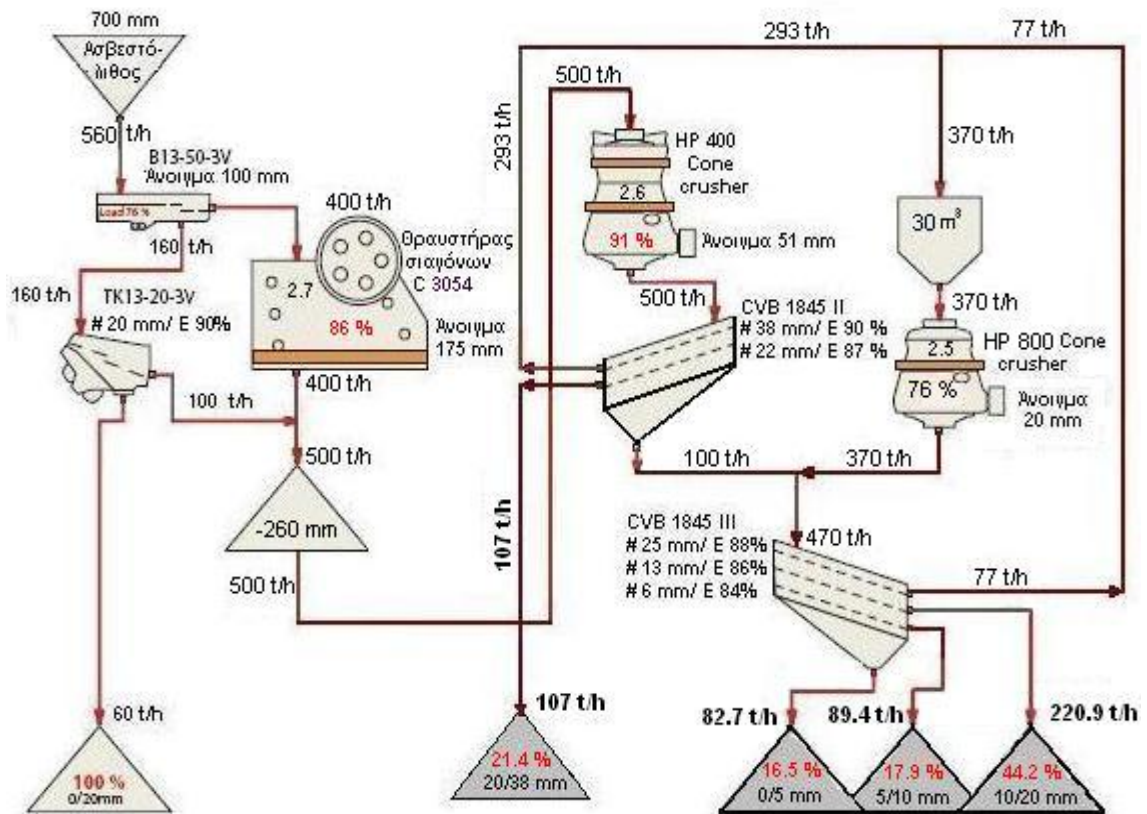
Οι πρώτες ύλες για πρώτη φορά εισάγονται σε στοιχειώδη σύνθλιψη μηχανής για συντριβή. Στη συνέχεια, η μεταφορική ταινία μεταφέρει τα στοιχειώδη προϊόντα στη δευτερογενή θραύση-μηχανή για τη δευτερογενή διαδικασία.

Μετά την επεξεργασία, τα μεγέθη διακινούνται και αποθηκεύονται με τρόπο που να ελαχιστοποιεί το διαχωρισμό και την αποτροπή της μόλυνσης. Επειδή τα αδρανή υλικά επηρεάζουν έντονα το σκυρόδεμα, η επιλογή τους είναι μια σημαντική διαδικασία. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά που λαμβάνονται υπόψη είναι η ταξινόμηση του μεγέθους και το σχήμα των σωματιδίων.

Τα αδρανή υλικά αναμιγνύονται με συγκολλητικές κονίες, όπως τσιμεντοκονίες, ασβεστοκονίες, ασφαλτο και βελτιωτικά πρόσμικτα προκειμένου να παραχθούν τα κονιάματα. Όταν η συνδετική ύλη είναι τσιμεντοκονία, σχηματίζουν σκυρόδεμα ενώ, όταν συνδετική ύλη είναι η ασφαλτος, σχηματίζουν το ασφαλτοσκυρόδεμα. Σε πειραματικό στάδιο βρίσκεται η κατασκευή πλαστικών σκυροδεμάτων, όπου γίνεται ανάμειξη των αδρανών με εποξικές ή πολυεστερικές ρητίνες. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις τα αδρανή αποτελούν το «σκελετό» του σύνθετου υλικού, η δε συνδετική ύλη γεμίζει, ολικά ή μερικά, τα κενά και συγκολλά τους κόκκους μεταξύ τους.

Για την κατασκευή σκυροδεμάτων, ασφαλτομιγμάτων, βάσεων οδικών αξόνων κ.λ.π. αναμιγνύονται δύο ή περισσότερα κλάσματα αδρανών,

δηλαδή άμμος και γαρμπίλι ή άμμος, γαρμπίλι και σκόρα ή ακόμη και υποδιαιρέσεις αυτών των κλασμάτων έτσι, ώστε το αμμοχάλικο που θα προκύψει να έχει μια ορισμένη κοκκομετρική καμπύλη, αυτή που προδιαγράφεται για το σύνθετο υλικό. Για το σκυρόδεμα π.χ. όχι μόνο το αμμοχάλικο που θα προκύψει από την ανάμιξη, αλλά και η άμμος και τα σκόρα που θα χρησιμοποιηθούν σ' αυτή, πρέπει να έχουν κοκκομετρικές καμπύλες (διαβαθμίσεις) που να βρίσκονται μέσα σε ορισμένες περιοχές ποσοστών - μεγέθους κόκκων.



Εικόνα 1. 2: Ενδεικτικό διάγραμμα ροής παραγωγής αδρανών υλικών

1.1.4 Κατηγορίες αδρανών υλικών

Τα αδρανή υλικά χωρίζονται με βάση :

A. Την προέλευση

Ανάλογα με την προέλευσή τους χωρίζονται σε φυσικά, συλλεκτά, τεχνητά ή βιομηχανικά και ανακυκλωμένα.

B. Την πηγή λήψης

Φυσικά ή συλλεκτά αδρανή και αδρανή λατομείων

Συλλεκτά: ονομάζονται αυτά που μαζεύονται στη φύση χωρίς να χρειαστεί η θραύση πετρωμάτων.

Αδρανή Λατομείων: το πέτρωμα αποσπάται (συνήθως με εκρηκτικές ύλες) από τη βραχομάζα και υπόκειται σε επεξεργασία ελάττωσης μεγέθους και ταξινόμησης.

Γ. Το μέγεθος των κόκκων

Τα αδρανή υλικά διαχωρίζονται με τη χρήση κόσκινου ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους, και κατανέμονται στις παρακάτω βασικές κατηγορίες:

Πίνακας 1: Χαρακτηρισμός αδρανών σύμφωνα με το μέγεθος των κόκκων

Χονδρομερή	>9.5 mm
Ενδιάμεσου μεγέθους	2.36 – 9.5 mm
Λεπτομερή	<2.36 mm

Δ. Η πυκνότητα

Κανονικής πυκνότητας (2-3 g/cm³)

Ελαφροβαρή (<2 g/cm³). Φυσικά ελαφρά αδρανή, επεξεργασμένα δομικά ελαφρά αδρανή, παραπροϊόντα ως ελαφρά αδρανή

Βαρέα (> 3 g/cm³). Προέρχονται από ορυκτά όπως ο βαρύτης, ο μαγνητίτης, ο αιματίτης και ο ιλμενίτης.

1.1.5 Εφαρμογές - Χρήσεις αδρανών υλικών

Πολλές φορές χρησιμοποιούνται αδρανή χωρίς συνδετική ύλη, όπως συμβαίνει στις βάσεις και τις υποβάσεις των οδοστρωμάτων, στις κατασκευές στραγγιστηρίων, στις θερμομονωτικές στρώσεις κ.α.

Εκτός από την χρήση τους στην παρασκευή σκυροδέματος, τα αδρανή χρησιμοποιούνται στα επιχρίσματα, στην οδοποιία, στους σιδηροδρόμους και σε πολλές βιομηχανίες σαν πρώτη ύλη (τσιμέντο, ασβέστης) ή σαν προσθετικά (χαρτοποιία- ελαστικά).

Στον Ελλαδικό χώρο τα αποθέματα των πετρωμάτων που είναι κατάλληλα για την παραγωγή αδρανών υλικών είναι απεριόριστα και ο αριθμός των λειτουργούντων λατομείων υπερβαίνει τα 230. Στα σκυροδέματα όπου η συμμετοχή των αδρανών καταλαμβάνει το 75-80% της μάζας τους, 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 καθοριστικός.

1.1.6 Ρόλος των αδρανών υλικών στο σκυρόδεμα

Σύμφωνα με την κλασική αντίληψη, τα αδρανή υλικά αποτελούν τον σκελετό του σκυροδέματος. Καλύπτοντας στο σύνολο τους (χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα) το 60-75 % του όγκου του σκυροδέματος (70-85% του βάρους του) επηρεάζουν καθοριστικά τις ιδιότητες του, τόσο στην νωπή όσο και στην σκληρυμένη μορφή

Εφόσον είναι γενικά λιγότερο παραμορφώσιμα σε σχέση με την τσιμεντόπαστα, αντιστέκονται στην διάδοση και ανάπτυξη των μικρορωγματώσεων που προκαλούνται από τη συστολή ξήρανσης. Με τον τρόπο αυτό συμβάλλουν και βελτιώνουν την αντοχή του τσιμεντοπολτού.

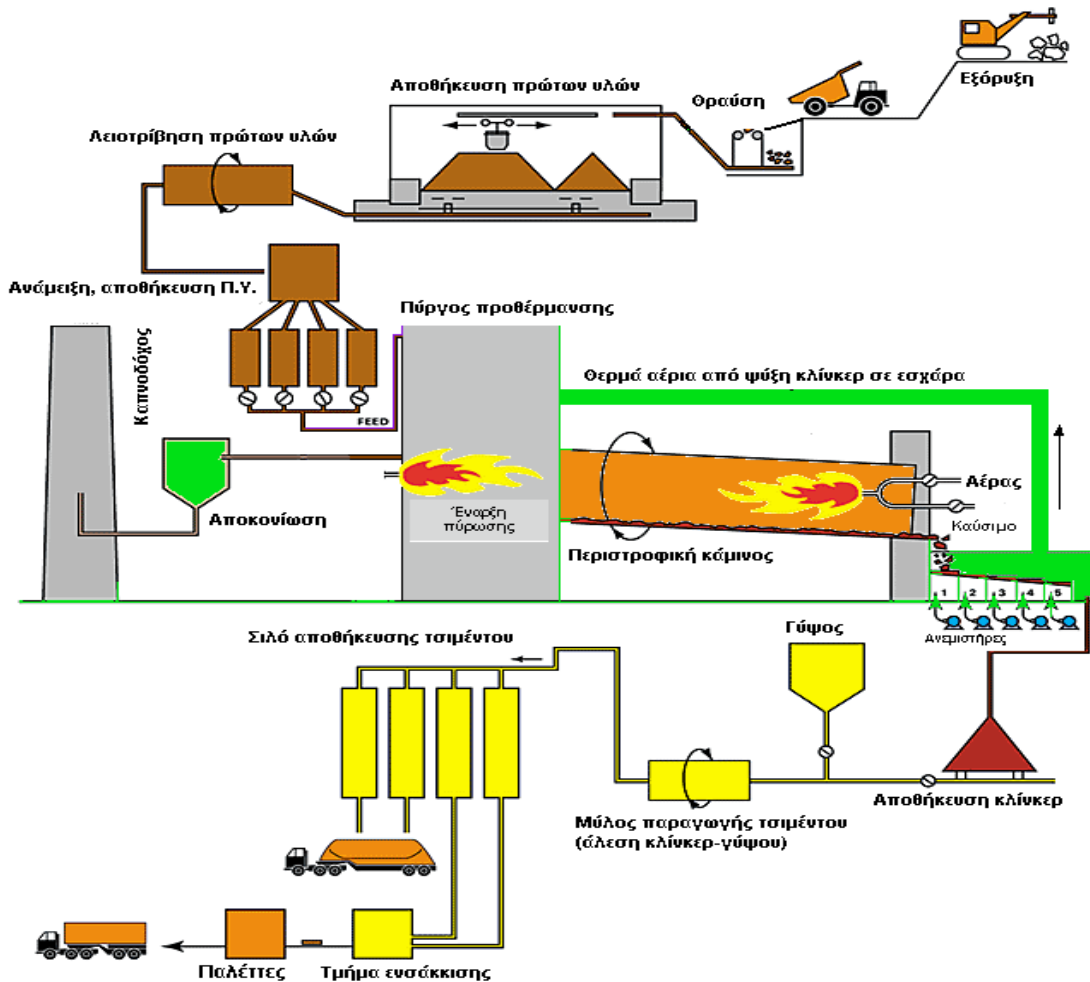
Τα αδρανή υλικά θα πρέπει να ικανοποιούν ορισμένες απαιτήσεις για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν στο σκυρόδεμα. Θα πρέπει να αποτελούνται από κόκκους υγείς, σκληρούς ανθεκτικούς, απαλλαγμένους από βλαπτικές αργλικές προσμίξεις, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν τόσο την ενυδάτωση του σκυροδέματος όσο και την πρόσφυση των κόκκων των αδρανών με την τσιμεντόπαστα.

Συνεπώς η εκλογή του αδρανούς είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την σύνθεση και την ποιότητα του σκυροδέματος ο οποίος πρέπει να εξετάζεται σε συνάρτηση με τις επιδιωκόμενες απαιτήσεις, και ιδιαίτερα λαμβάνοντας υπόψη την ανθεκτικότητα.

1.2 Τσιμέντο

Το σκυρόδεμα είναι σήμερα το συνηθέστερο δομικό υλικό για τις κατασκευές κτιρίων και έργων κοινής ωφέλειας. Το τσιμέντο σε ανάμειξη με το νερό (τσιμεντόπαστα) είναι το συνδετικό υλικό, που χρησιμοποιείται στην παραγωγή του σκυροδέματος. Υπάρχουν πολλών ειδών (τύποι) τσιμέντα, με συνηθέστερο αυτό που καλείται κοινό τσιμέντο Portland (OPC, Ordinary Portland Cement). Το κοινό τσιμέντο είναι ένα γκριζο λευτομερές υλικό, που προκύπτει από τη λειοτρίβηση του κλίνκερ τσιμέντου.

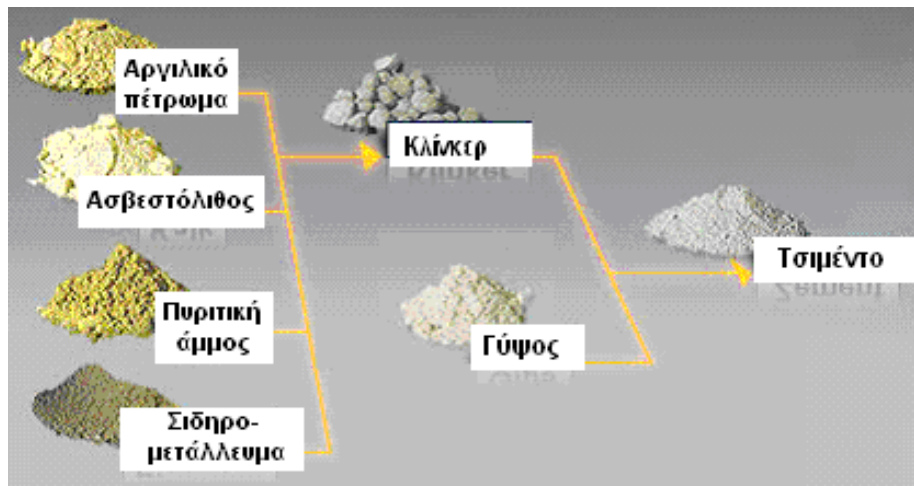
Ο λόγος τιμή (αξία) προς βάρος είναι πολύ μικρός για το τσιμέντο γεγονός που το κάνει να είναι πολύ ακριβό για μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις. Επίσης, επειδή οι πρώτες ύλες (θραυσμένος ασβεστόλιθος, αργιλικά πετρώματα, χαλαζιακά πετρώματα, σιδηρομετάλλευμα, βωξίτης) για την παραγωγή του τσιμέντου είναι ακόμη χαμηλότερης αξίας, για την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς των πρώτων υλών οι μονάδες παραγωγής τσιμέντου χωροθετούνται πολύ κοντά στις πηγές πρώτων υλών (ιδιαίτερα κοντά στο λατομείο ασβεστολιθικού πετρώματος). Η μεγαλύτερη ποσότητα του παραγόμενου τσιμέντου, για τους παραπάνω λόγους, πρέπει να διατίθεται σε περιοχές και μονάδες παραγωγής σκυροδέματος σχετικώς κοντά στα εργοστάσια παραγωγής του.



Εικόνα 1. 3: Αναλυτικό διάγραμμα ροής διεργασιών παραγωγής τσιμέντου

Τι είναι?

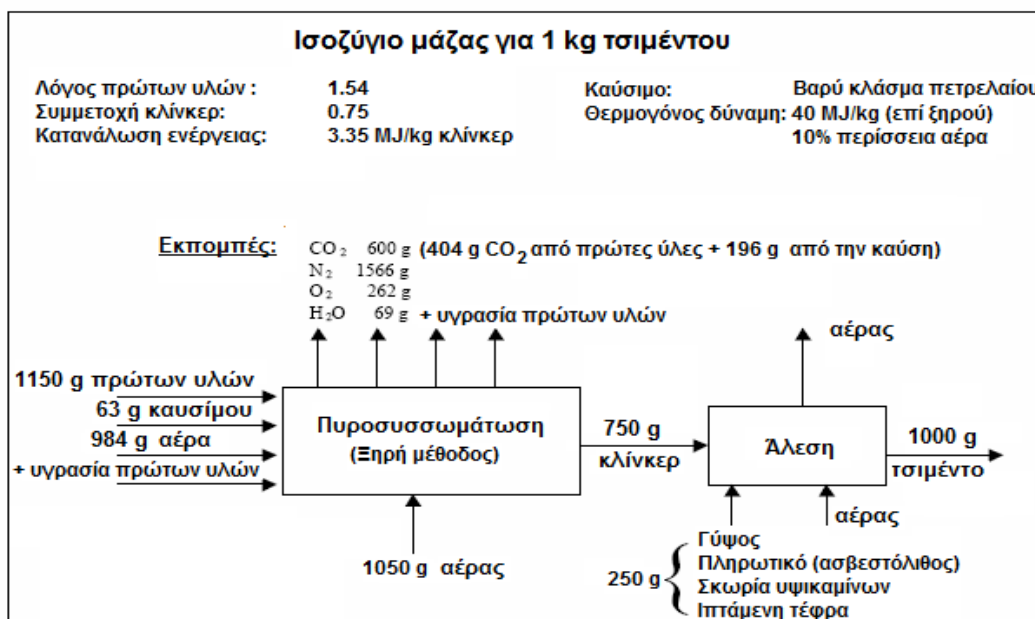
Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 197-1 τσιμέντο (CEM) είναι μια υδραυλική κονία, δηλαδή ένα λεπτοαλεσμένο ανόργανο υλικό, το οποίο όταν αναμειχθεί με νερό σχηματίζει μια πάστα που λόγω των αντιδράσεων ενυδάτωσης πήζει και σκληρύνεται έχοντας έκτοτε τη ικανότητα να διατηρεί τις αντοχές της και τη σταθερότητα της κάτω από το νερό. Το σκυρόδεμα είναι ένα μίγμα τσιμέντου, νερού/αέρα, λεπτομερών και χονδρομερών αδρανών. Σύμφωνα με την PCA (Portland Cement Association), η συμμετοχή των πρώτων υλών στο σκυρόδεμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 1. 4 :Πρώτες ύλες, ενδιάμεσα προϊόντα και τελικό προϊόν στη διεργασία παραγωγής τσιμέντου.

1.2.1 Η παραγωγή του τσιμέντου

Η σημαντικότερη πρώτη ύλη για την παραγωγή του τσιμέντου (κλίνκερ) είναι τα ασβεστολιθικά πετρώματα, που εξορύσσονται επιφανειακά κοντά στη μονάδα παραγωγής του τσιμέντου. Επειδή, ποσοστό περίπου 80% από τους 1.50-1.65 τόννους πρώτων υλών, που απαιτούνται για την παραγωγή 1 τόννου κλίνκερ, είναι ασβεστολιθικό υλικό, είναι προφανής η αναγκαιότητα γειτνίασης της θέσης εξόρυξης ασβεστολιθικών πετρωμάτων και της μονάδας παραγωγής κλίνκερ τσιμέντου. Ενδεικτικό ισοζύγιο πρώτων υλών και οι πρώτες ύλες, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή τσιμέντου δίνονται στην εικόνα 1.5.



Εικόνα 1. 5: Ισοζύγιο πρώτων υλών και προϊόντων στην παραγωγή 1 kg τσιμέντου

1.2.1.1 Προσδιορισμός της σύνθεσης των πρώτων υλών

Οι ποσότητες των πρώτων υλών που θα χρησιμοποιηθούν εξαρτώνται από τις χημικές και ορυκτολογικές τους ιδιότητες και από τις ιδιότητες (απαιτήσεις) του κλίνκερ που θα παραχθεί. Μετά τον προσδιορισμό της κατάλληλης σύνθεσης του φορτίου, οι πρώτες ύλες (για ξηρή μέθοδο παραγωγής τσιμέντου) αναμειγνύονται κατάλληλα και ομογενοποιούνται για την παραγωγή ενός ομοιόμορφου μείγματος (φαρίνα) που θα υποστεί ελάττωση μεγέθους (λειοτριβήση).

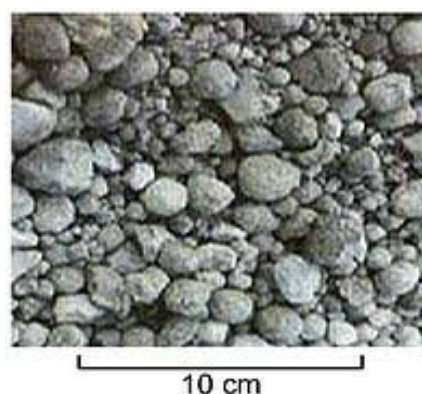
Το λειοτριβημένο μείγμα («φαρίνα») υφίσταται πυρομεταλλουργική κατεργασία μέσα σε περιστροφική κάμινο (rotary kiln). Στην περιστροφική κάμινο, οι λειοτριβημένες πρώτες ύλες, με χρήση καυσίμων (φυσικό αέριο, πετρέλαιο, γαιάνθρακες ή και εναλλακτικά καύσιμα), θερμαίνονται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Έτσι, με φυσικοχημικές διεργασίες, μετατρέπονται σε ένα υλικό γκριζοπράσινου χρώματος μορφής σφαιριδίων διαμέτρου 10-25 mm, το οποίο ονομάζεται κλίνκερ τσιμέντου.

Συνεπώς, η καλή ανάμειξη εξασφαλίζει ομοιόμορφη κατανομή των πρώτων υλών στην τροφοδοσία του κυκλώματος θραύσης και λειοτριβήσης και οδηγεί στην παραγωγή κλίνκερ ομοιόμορφης ποιότητας.

Οι αναλογίες των πρώτων υλών καθορίζονται με τη βοήθεια τριών δεικτών ποιότητας κλίνκερ και συγκεκριμένα μέσω: του δείκτη κορεσμού σε άσβεστο LSF (Lime saturation factor), του πυριτικού δείκτη SR (Silica ratio) και του αργλικού δείκτη AR (Alumina ratio).

$$\text{Όπου: } LSF = \frac{1.0(\%CaO) - 0.7(\%SO_3)}{2.8(\%SiO_2) + 1.2(\%Al_2O_3) + 0.65(\%Fe_2O_3)}, \quad SR = \frac{\%SiO_2}{\%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3}$$

$$\text{και } AR = \frac{\%Al_2O_3}{\%Fe_2O_3}$$



Εικόνα 1. 6: Σφαιρίδια (pellets) μεγέθους 15-25 mm του κλίνκερ τοιμέντου (προϊόν της διεργασίας πυροσυσσωμάτωσης στην περιστροφική κάμινο)

1.2.2 Η άλεση του κλίνκερ

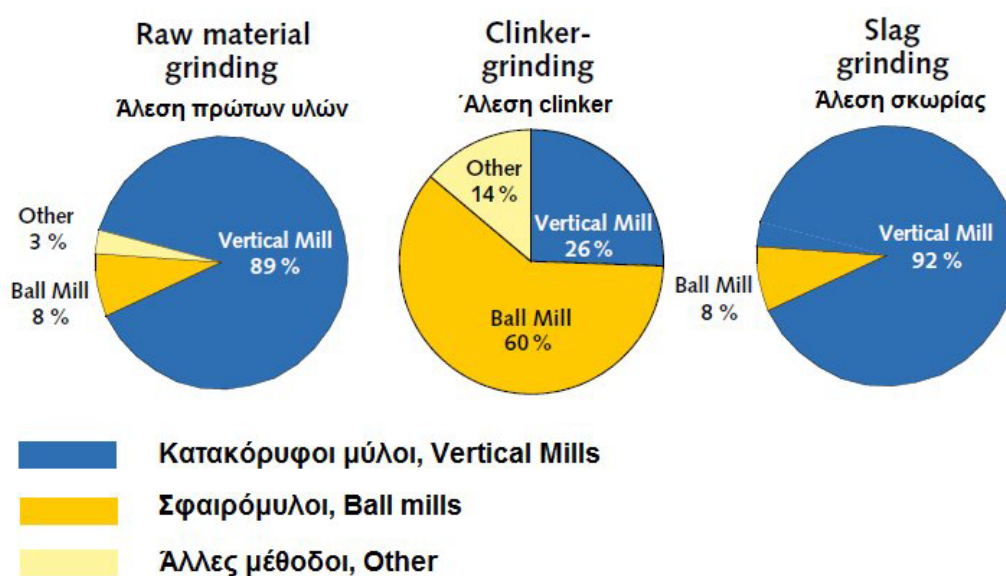
Οι ιδιότητες του τοιμέντου, όσο και η συμπεριφορά κατά τη χρήση του στην παραγωγή σκυροδέματος, εξαρτώνται, εκτός των άλλων σημαντικά και από τη λεπτότητά του δηλαδή από την κοκκομετρική του ανάλυση. Η λεπτότητα του τοιμέντου εκφράζεται από την τιμή του δείκτη Blaine, που δίνεται σε μονάδες g/cm^2 ή kg/m^2 και κυμαίνεται από 2800-6000 g/cm^2 , ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται.

Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται στην παραγωγή τοιμέντου κυμαίνεται από 100-110 kWh/tonne τοιμέντου. Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, το 63.7% της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται στην παραγωγή τοιμέντου αφορά στις διεργασίες θραύσης, λειοτριβήσης και ξήρανσης των πρώτων υλών και επίσης στην άλεση του κλίνκερ και της γύψου.

Επίσης είναι γνωστό ότι η καταναλισκόμενη ενέργεια κατά τη λειοτριβήση και την άλεση έχει σχέση με το μέγεθος της τροφοδοσίας (διαστάσεις των τεμαχίων κλίνκερ), με το μέγεθος του προϊόντος, με τα φυσικά χαρακτηριστικά του υλικού (σκληρότητα, δείκτης έργου, πυκνότητα), τα χαρακτηριστικά του μύλου (διαστάσεις, σχέση μήκους προς διάμετρο) και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του (συντελεστής πλήρωσης, σύνθεση του φορτίου). Είναι επίσης γνωστό ότι η ειδική επιφάνεια του τσιμέντου (λεπτότητα) εξαρτάται από το μέγεθος των τεμαχίων του προϊόντος.

Για την άλεση των πρώτων υλών, του κλίνκερ και των πρόσθετων (γύψου, σκωρίας υψικαμίνων, ποζολάνης, ιπτάμενης τέφρας κλπ.), χρησιμοποιούνται σφαιρόμυλοι λειοτριβήσης (άλεσης), κατακόρυφοι μύλοι κυλίνδρων μεγάλης απόδοσης ή συνδυασμοί κυλινδρόπρεσσας και σφαιρόμυλων για τη μείωση του κόστους, την αύξηση της δυναμικότητας της διάταξης και την αύξηση της λεπτότητας του προϊόντος.

Στην εικόνα 1.7 δίνεται η σημερινή κατάσταση όσον αφορά στις διεργασίες άλεσης στη βιομηχανία παραγωγής τσιμέντου. Από την εικόνα λοιπόν, διαπιστώνεται η ευρύτατη εφαρμογή που έχουν βρει οι κατακόρυφοι μύλοι στην αρχική άλεση των πρώτων υλών (παραγωγή φαρίνας) και των σκωριών, ενώ οι συμβατικοί σφαιρόμυλοι διατηρούν ακόμη κυρίαρχη θέση στην άλεση του κλίνκερ για παραγωγή τσιμέντου. [1]



Εικόνα 1. 7: Μέθοδοι λειοτριβήσης και άλεσης πρώτων υλών στην τσιμεντοβιομηχανία

1.2.3 Οι συνθήκες αποθήκευσης του τσιμέντου

Μετά την άλεση του τσιμέντου αυτό είναι έτοιμο για χρήση. Απαιτείται ένας χώρος αποθήκευσης του, που συνήθως είναι μεγάλα σιλό, αντίστοιχα με αυτά της προομογενοποίησης της φαρίνας.

Όταν το τσιμέντο εκτίθεται σε περιβάλλον υγρασίας η πήξη του καθυστερεί ή επιταχύνεται αλλά σε κάθε περίπτωση μειώνονται οι αντοχές του. Ως αποτέλεσμα παρατεταμένης έκθεσης του αυτό στερεοποιείται και αρχίζουν να σχηματίζονται τεμάχια διαφόρων αξιωσημειώτων διαστάσεων.

Κύρια πηγή της υγρασίας που θα προκαλέσει αυτές τις ανεπιθύμητες αντιδράσεις μέσα στα σιλό είναι το νερό που υπάρχει στη γύψο, ενώ δεν γίνεται να μη ληφθεί υπόψη και το νερό που προέρχεται από τον ψεκάσμο μέσα στο μύλο όπως επίσης και η υγρασία που προστίθεται κατά τη συνάλεση με κάποιο από τα άλλα κύρια συστατικά του τσιμέντου, όταν παράγονται ειδικοί τύποι.

1.3 Σκυρόδεμα

Γενικά..

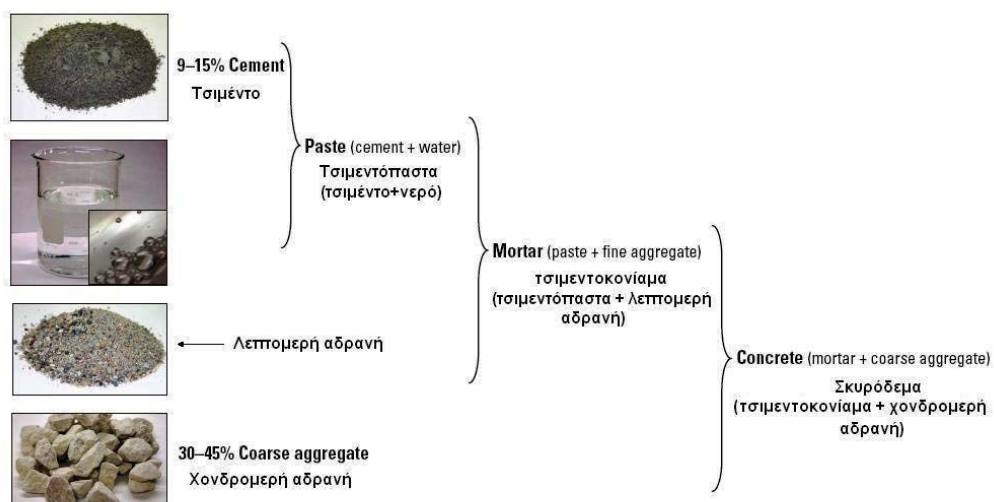
Το σκυρόδεμα είναι ένα τεχνητό δομικό υλικό το οποίο παρασκευάζεται με την ανάμιξη τσιμέντου, αδρανών και νερού το οποίο στερεοποιείται με τη χημική ένωση του νερού με το τσιμέντο (ενυδάτωση), εγκλωβίζοντας μέσα στη μάζα του τα αδρανή υλικά. Ο όρος αδρανή περιλαμβάνει γενικά την άμμο το γαρμπίλι και τα σκόρα (χαλίκια). Εκτός από τα υλικά αυτά, με το νέο Ευρωπαϊκό πρότυπο (EN 206-1), προβλέπεται η προσθήκη και άλλων συστατικών (βελτιωτικά πρόσθετα και πρόσθετα συστατικά), τα οποία τροποποιούν συγκεκριμένες ιδιότητες του σκυροδέματος.

Για να παρασκευασθεί ένας καλής ποιότητας σκυρόδεμα δεν αρκεί μόνο η καλή διαλογή και σύνθεση των συστατικών του. Εξίσου σημαντική είναι η διάστρωση του και η συντήρηση του σύμφωνα με τις ισχύουσες αρχές. Στην Ελλάδα σχετικές λεπτομερείς οδηγίες υπάρχουν στον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ.-97), όπου επίσης δίνονται πολλές πληροφορίες για τον έλεγχο της ποιότητας του σκυροδέματος.

Η γνώση των ιδιοτήτων των υλικών που συνθέτουν το σκυρόδεμα δεν είναι για κανένα άλλο υλικό τόσο απαραίτητη όσο για αυτό. Θεωρείται το σημαντικότερο δομικό υλικό και έχει κυρίαρχη θέση στον τομέα των κατασκευών τόσο ως άοπλο όσο και ως οπλισμένο σκυρόδεμα. Το σκυρόδεμα είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται σε ένα αρκετά εκτεταμένο εύρος διαφορετικών ποιοτήτων για το σύνολο σχεδόν των κατασκευαστικών έργων.

Η σπουδαιότητα των ιδιοτήτων του σκυροδέματος στην ασφάλεια ενός δομικού έργου είναι διαφορετική και εξαρτάται από το είδος της κατασκευής, το περιβάλλον όπου αυτή θα εκτεθεί και την ειδική χρήση που αυτή θα έχει. Οι ιδιότητες του σκυροδέματος επηρεάζονται από τη μεθοδολογία της παρασκευής του και την ποιότητα των πρώτων υλών και μεταβάλλονται σημαντικά σε συνάρτηση με τη βασική ιδιότητα του που είναι οι αντοχές σε μηχανική καταπόνηση. Κεφαλαιώδους όμως σημασίας για την πρόβλεψη όλης της μετέπειτα συμπεριφοράς και των ιδιοτήτων του σκυροδέματος είναι η εμφάνιση στη βασική πρώτη ύλη που είναι το τσιμέντο και το οποίο σε πού μεγάλο βαθμό είναι υπεύθυνο για την ανθεκτικότητα της κατασκευής στο σκυρόδεμα. Για το λόγο αυτό, για τα ειδικών απαιτήσεων σκυρόδεμα δημιουργούνται νέοι τύποι ειδικών τσιμεντών.[2]

Η κατ' όγκο συμμετοχή των πρώτων υλών στο σκυρόδεμα



είναι:

Εικόνα 1. 8: Κατά προσέγγιση συμμετοχή των πρώτων υλών στο σκυρόδεμα

1.3.1 Τα υλικά του σκυροδέματος

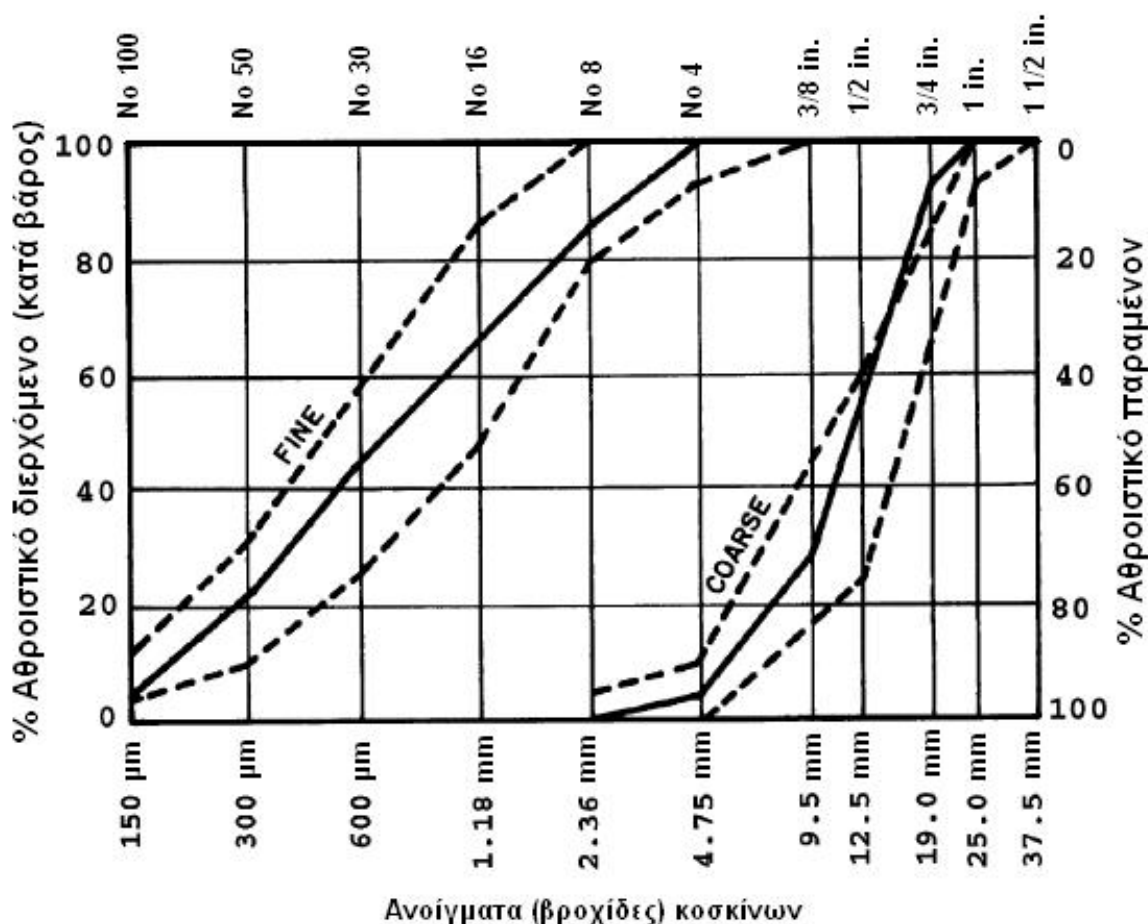
Εκτός από το τσιμέντο στις πρώτες ύλες περιλαμβάνονται τα αδρανή, το νερό ανάμιξης, τα βελτιωτικά (χημικά) πρόσθετα και τα πρόσθετα συστατικά.

1.3.1.1 Αδρανή υλικά

Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή σκυροδεμάτων κατατάσσονται σε τρεις κύριες ομάδες μεγθών τεμαχίων:

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

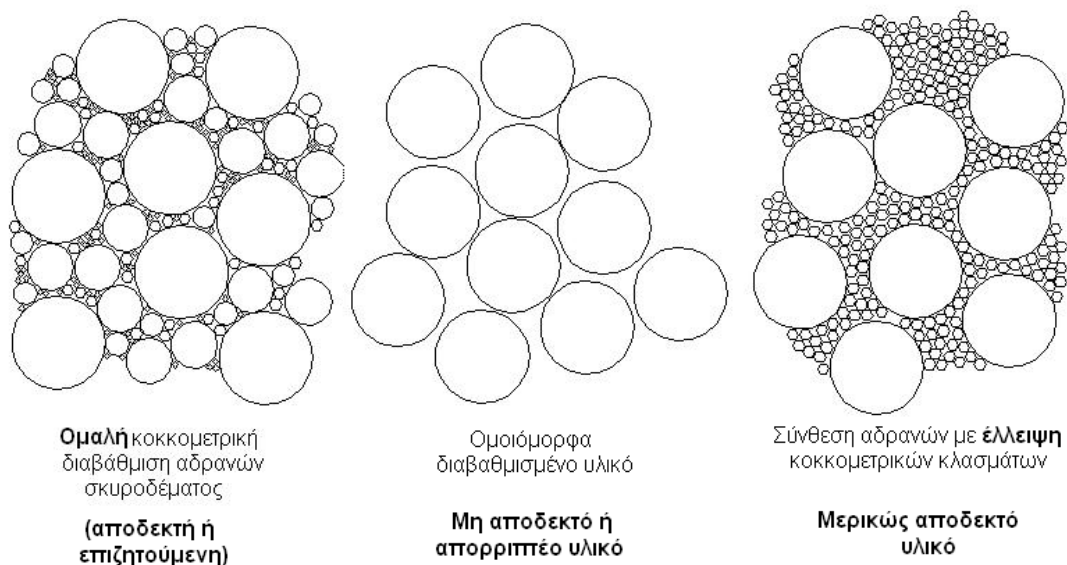
Το κοκκομετρικό κλάσμα με μεγέθη τεμαχίων (-5+0.075) mm χαρακτηρίζεται και ως άμμος, ενώ τα τεμάχια μεγέθους ≤ 0.075 mm ονομάζονται «παπάλη».



Διάγραμμα 1. 1: Διάγραμμα ταξινόμησης αδρανών σκυροδέματος κατά μέγεθος

Οι ομάδες μεγεθών (2) και (3), που αφορούν στα ενδιάμεσα μεγέθη και λεπτομερή αδρανή, περιγράφονται στο Σχήμα με τον όρο «FINE», ενώ η ομάδα (1), η οποία συμμετέχει με το μεγαλύτερο ποσοστό σκυρόδεμα, περιγράφεται ως «COARSE». Κάθε κατηγορία έχει το περιθώριο να κινηθεί στην περιοχή μεταξύ των διακεκομμένων γραμμών διατηρώντας το χαρακτηρισμό της.

Σε κάθε περίπτωση, για την παραγωγή σκυροδέματος υψηλών προδιαγραφών, απαιτούνται τουλάχιστον δύο στενές κοκκομετρικές ομάδες τεμαχίων (π.χ. λεπτομερή < 5 mm ή άμμος και χονδρομερή > 5 mm), Εικόνα 1.9.



Εικόνα 1. 9: Περιπτώσεις κοκκομετρικών διαβαθμίσεων αδρανών σκυροδέματος

➤ Χονδρομερή

Στην παραγωγή σκυροδέματος πρέπει να χρησιμοποιείται η χονδρομερέστερη κατά το δυνατόν σύνθεση (κοκκομετρικά κλάσματα) αδρανών, που εξασφαλίζει τη μέγιστη αντοχή στο παραγόμενο σκυρόδεμα και την ανάγκη χρήσης της μικρότερης ποσότητας τσιμεντόπαστας με προφανή μείωση του κόστους του σκυροδέματος. Όμως, το μέγιστο μέγεθος αδρανών εξαρτάται από την «πηγή» (πέτρωμα) των αδρανών, που επηρεάζει, μέσω και της μεθόδου παραγωγής του, τόσο το σχήμα όσο και τη διαβάθμισή του.

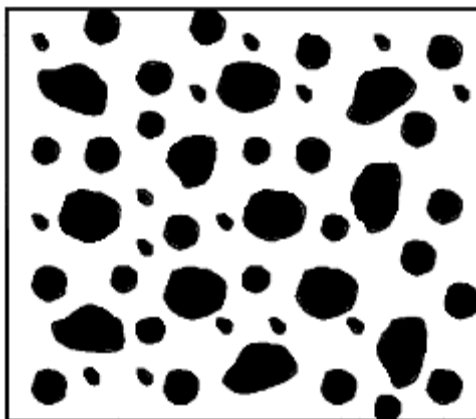
Επίσης, το μέγιστο μέγεθος τεμαχίου αδρανών δεν πρέπει να υπερβαίνει το $1/3$ της ελάχιστης διάστασης του δομικού στοιχείου που θα κατασκευαστεί και τα $3/4$ της απόστασης μεταξύ των διαδοχικών ράβδων σιδηροπλισμού του σκυροδέματος. Επίσης, για οδοστρώματα και πλάκες δαπέδου (επίπεδες επιφάνειες) από μη οπλισμένο σκυρόδεμα, το μέγιστο μέγεθος τεμαχίου αδρανούς δεν πρέπει να υπερβαίνει το $1/3$ του πάχους της κατασκευής.

▼ *Λεπτομερή*

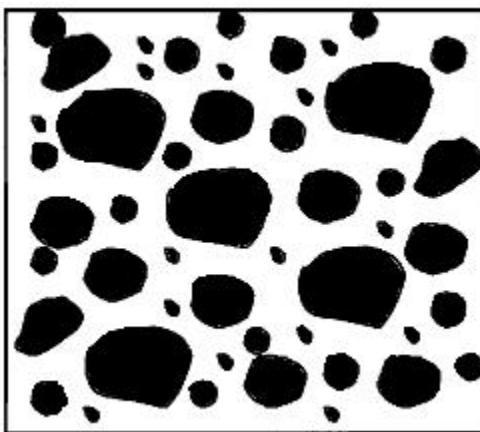
Όπως προαναφέρθηκε, τα λεπτομερή αδρανή (fine aggregates) χρησιμοποιούνται για την πλήρωση των κενών μεταξύ των χονδρομερών αδρανών (coarse aggregates), με στόχο να αυξήσουν την εργασιμότητα του μίγματος του σκυροδέματος και να ελαττώσουν τον όγκο των κενών που καλύπτεται από την τσιμεντόπαστα, γεγονός που έχει προφανώς θετικό οικονομικό αποτέλεσμα στο κόστος παραγωγής του σκυροδέματος.

1.3.1.1.1 Επίδραση των λεπτομερών αδρανών στη σύνθεση αδρανών σκυροδέματος

Αδρανή υλικά τα οποία εμφανίζουν ομαλή διαβάθμιση κοκκομετρικών κλασμάτων, χωρίς μεγάλο κενό (έλλειψη) ή αντίστοιχα περίσσεια κάποιου κοκκομετρικού κλάσματος θεωρούνται τα πιο κατάλληλα για την παραγωγή σκυροδέματος.



Εικόνα 1. 10: Ικανοποιητική διαβάθμιση από πλευράς μεγέθους (grading) σύνθεσης αδρανών υλικών μέγιστου μεγέθους 12.7 mm (1/2-inch)



Εικόνα 1. 11 Ικανοποιητική διαβάθμιση από πλευράς μεγέθους (grading) σύνθεσης αδρανών υλικών μέγιστου μεγέθους 25.4 mm (1-inch)

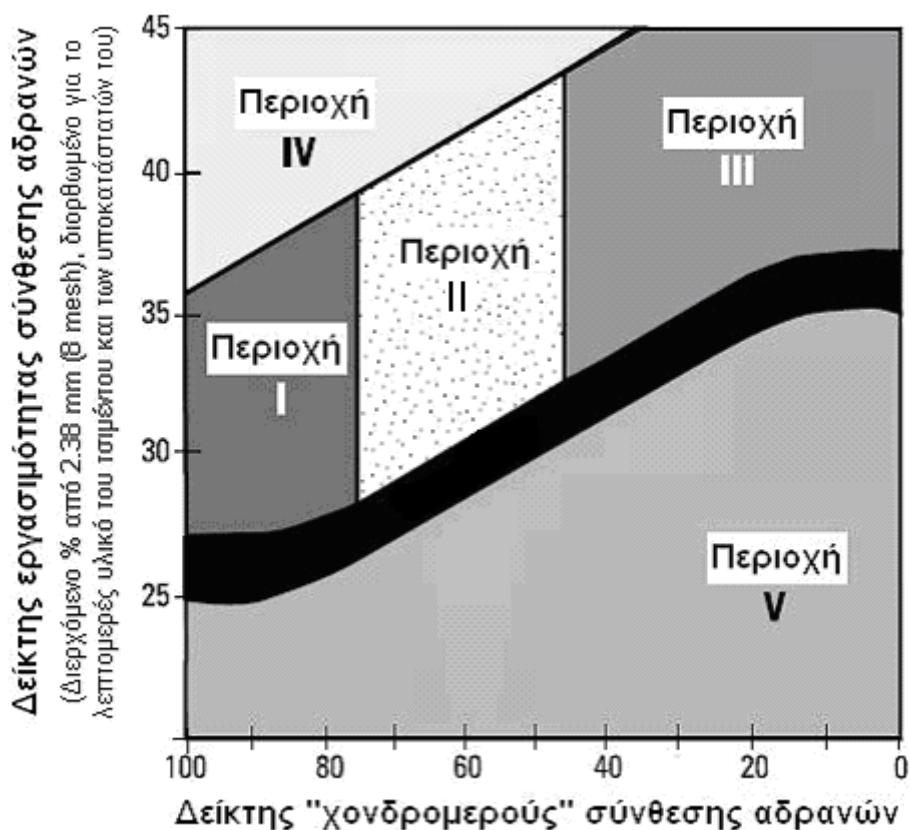
Όμως, από τη σύγκριση των δύο παραπάνω σχημάτων διαπιστώνεται ότι, με αντικατάσταση μέρους τεμαχίων, με μέσο μέγεθος 12.7 mm (Εικόνα 1.10), από τεμάχια διαμέτρου 19 έως 25.4 mm (Εικόνα 1.11), μειώνονται τόσο η ειδική επιφάνεια όσο και το πορώδες της σύνθεσης τεμαχίων, με άμεσο θετικό αντίκτυπο στην κατανάλωση τσιμεντόπαστας.

1.3.1.1.2 Μέθοδοι προσδιορισμού των κατάλληλων κοκκομετρικών συνθέσεων αδρανών

Τα σκυροδέματα, που παράγονται χρησιμοποιώντας ένα αποδεκτό συνδυασμό κοκκομετρικών κλασμάτων (ομαλής κοκκομετρικής διαβάθμισης), έχουν την τάση να χρειάζονται μικρότερη προσθήκη νερού (μικρότερος λόγος W/C, άρα παράγουν ανθεκτικότερα σκυροδέματα), εξασφαλίζουν αποδεκτή εργασιμότητα στο σκυρόδεμα, ευκολία στην επιφανειακή διαμόρφωση και “συμπυκνώνονται” χωρίς το φαινόμενο “απόμειξης” των αδρανών. Αυτά τα χαρακτηριστικά ευνοούν τις ιδιότητες απόχυσης και διάστρωσης του σκυροδέματος και συμβάλλουν θετικά στην ανάπτυξη αντοχών και στη συμπεριφορά του σε βάθος χρόνου (durability).

Αντιθέτως, όταν από την κοκκομετρική σύνθεση των αδρανών σκυροδέματος απουσιάζουν κοκκομετρικά κλάσματα (gap graded aggregate combination), τότε εμφανίζονται συχνότερα φαινόμενα απόμειξης, αυξάνει η % περιεκτικότητα σε λεπτομερή αδρανή (άρα απαιτούνται μεγαλύτερες ποσότητες νερού) και τα σκυροδέματα αυτά είναι επιδεκτικά σε φαινόμενα συρρίκνωσης (συστολή) λόγω ξήρανσης (shrinkage effect).

Η επίτευξη ομοιόμορφης (ομαλής) κοκκομετρικής διαβάθμισης επιβάλλει τη χρήση τριών ή περισσότερων κοκκομετρικών κλασμάτων. Για τη σύνθεση της τροφοδοσίας των αδρανών, στην περίπτωση που γίνεται χρήση του διαγράμματος «δείκτη χονδρομερούς»/εργασιμότητας (Εικόνα 1.12), θεωρείται ως δεδομένο ότι τα αδρανή που χρησιμοποιούνται έχουν αποστρογγυλεμένο σχήμα ή είναι κυβικής μορφής. Τα μορφολογικά αυτά χαρακτηριστικά των αδρανών εξασφαλίζουν εργασιμότητα και εύκολη επιφανειακή διαμόρφωση μετά τη διάστρωση, ενώ τα πεπλατυσμένα αδρανή, επίπεδης και επιμήκους μορφής, δρουν ανασταλτικά στις παραπάνω ιδιότητες του σκυροδέματος.



Εικόνα 1. 12: Σχέση μεταξύ «Δείκτη χονδρομερούς» αδρανών και «Δείκτη εργασιμότητας» του σκυροδέματος

Ο Shilstone συνιστά να επιδιώκεται «στόχος» 60 για το «Δείκτη χονδρομερούς» και 35 για το Δείκτη εργασιμότητας (Περιοχή II). Όμως, όταν το μέγιστο μέγεθος τεμαχίων αδρανών κυμαίνεται από 25 mm - 37.5 mm, τότε

ο Δείκτης χονδρομερούς πρέπει να είναι περίπου 52 και ο Δείκτης εργασιμότητας να κυμαίνεται από 34 έως 38, ενώ, όταν ο Δείκτης χονδρομερούς είναι 68 τότε ο Δείκτης εργασιμότητας πρέπει να παίρνει τιμές από 32 έως 36. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι αποδεκτή περιοχή για σύνθεση αδρανών σκυροδέματος είναι η II (Εικόνα 1.12). Συνθέσεις αδρανών που προσεγγίζουν το κάτω όριο της περιοχής II φαίνονται να έχουν περίσσεια χονδρομερούς υλικού, ενώ οι συνθέσεις αδρανών, που «υπερπηδούν» το κάτω όριο της II και ανήκουν στην περιοχή V, φαίνεται να έχουν υπερβολική ποσότητα χονδρομερούς υλικού και έλλειψη λεπτομερών αδρανών (άρα έλλειψη τσιμενοκονιάματος). Αυτές οι συνθέσεις είναι προφανές ότι δεν είναι αποδεκτές για την παραγωγή σκυροδέματος. Οι συνθέσεις, που προσεγγίζουν το άνω όριο της II, εμφανίζουν υπερβολική ποσότητα λεπτομερών αδρανών, ενώ όταν εισέλθουν στην περιοχή IV απαιτούν, λόγω της λεπτότητάς τους, μεγάλη ποσότητα νερού που οδηγεί πιθανώς σε «απόμειξη»* (segregation) των αδρανών και παραγωγή τελικώς ασθενούς σκυροδέματος. Συνθέσεις αδρανών, που ανήκουν στην περιοχή I (Δείκτης χονδρομερούς μεγαλύτερος του 75), παράγουν μείγματα με έλλειψη κοκκομετρικών κλασμάτων, με μειωμένη εργασιμότητα και πιθανότητα εμφάνισης του φαινομένου της απόμειξης, δηλαδή «ασθενή» σκυροδέματα. Οι συνθέσεις αδρανών που ανήκουν στην περιοχή III αντιπροσωπεύουν μίγματα αδρανών κατάλληλα για σκυρόδεμα όταν τα μεγέθη αδρανών είναι μικρότερα από 3/4" (19 mm).

2.3.1.1.3 Βέλτιστη σύνθεση αδρανών σκυροδέματος

Τα ζητήματα, που αφορούν στο κόστος, στην εργασιμότητα, στην αντοχή σε θλίψη και στην ανθεκτικότητα στη διάρκεια του χρόνου, οδηγούν στη διαμόρφωση της άποψης ότι η σύνθεση με τη μεγαλύτερη «πυκνότητα» (αυτή με το μικρότερο ποσοστό κενών) αναμένεται να είναι η πιο οικονομική λύση, επειδή απαιτεί τη μικρότερη ποσότητα συνδετικής ύλης (τσιμεντόπαστα). Αυτή όμως η πρακτική δεν προτιμάται σήμερα, επειδή η εφαρμογή της συνήθως δεν παράγει εργάσιμα σκυροδέματα, εκτός του ότι μια τέτοια πρακτική μπορεί να αποδειχθεί ταυτόχρονα και αντιοικονομική, όσον αφορά

στη διαδικασία παραγωγής (προετοιμασία) των κοκκομετρικών κλασμάτων που θα αποτελέσουν την τροφοδοσία των αδρανών.

Για το σκοπό αυτό, κατά κύριο λόγο, εφαρμόζεται η μεθοδολογία που προβλέπει το Αμερικανικό πρότυπο ASTM C33, η οποία όμως και πάλι δεν εξασφαλίζει πάντοτε σκυροδέματα με αποδεκτή εργασιμότητα, λόγω του ευρέος φάσματος μεγεθών των κλασμάτων που χρησιμοποιούνται. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, σε σκυροδέματα με σύνθεση αδρανών χονδρομερούς και λεπτομερούς κλάσματος στα οποία διαπιστώνεται ότι από το λεπτομερές κλάσμα λείπει σημαντικό ποσοστό του υλικού με μεγέθη τεμαχίων από 4.75-9.5 mm, προτείνεται από τον Shilstone η αντικατάσταση ποσοστού 15-30% του χονδρομερούς υλικού με υλικό κοκκομετρικού εύρους 4.75-9.5 mm. [1]

1.3.1.2 Νερό ανάμιξης

Το νερό είναι ένα από τα δύο ενεργά συστατικά του σκυροδέματος. Μαζί με το τσιμέντο παίρνει μέρος σε σειρά χημικών αντιδράσεων που οδηγούν, με τη δημιουργία ένυδρων κρυστάλλων, στην πήξη και τη σκλήρυνση του μίγματος. Η βασική απαίτηση για το νερό είναι να μην περιέχει συστατικά που μπορούν να βλάψουν ή να επηρεάσουν τις αντιδράσεις ενυδάτωσης.

Για το νερό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του σκυροδέματος υπάρχει μια ανοχή σχετικά με την ποιότητα του σε αντίθεση με τα νερά που δρουν εξωτερικά και μόνιμα. Και αυτό γιατί η ποσοστιαία αναλογία του νερού ανάμιξης και κάθε ξένης ουσίας μέσα σε αυτό, και εξάλλου αυτές οι ουσίες δρουν μέχρι να εξαντληθούν. Στην περίπτωση όμως εξωτερικών νερών όπως το θαλασσινό νερό ή τα νερά των αποχετεύσεων, η δράση τους είναι μόνιμη και η ποσότητα των επιβλαβών ουσιών ανεξάντλητη, αφού τα νερά αυτά ανανεώνονται συνεχώς.

1.3.1.3 Πρόσθετα και Πρόσμικτα

Τα πρόσθετα και πρόσμικτα συστατικά χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1.3.1.3.1 Βελτιωτικά ή χημικά πρόσθετα

Βελτιωτικά ή χημικά πρόσμικτα είναι τα υλικά που προστίθενται σε μικρές ποσότητες σε σχέση με τη μάζα του τσιμέντου, κατά τη διάρκεια της ανάμιξης του σκυροδέματος με σκοπό α τροποποιήσουν τις ιδιότητες κυρίως του νωπού αλλά και του σκληρυμένου σκυροδέματος.

Ανάλογα με την κύρια δράση τους τα υλικά αυτά κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες: α. ρευστοποιητικά β. αερακτικά γ. επιβραδυντικά δ. επιταχυντικά και ε. στεγανωτικά. Εκτός από τα παραπάνω υλικά, υπάρχουν και άλλα ειδικά πρόσμικτα, όπως τα αντιπαγετικά, τα διογκωτικά και τα αντιδιαβρωτικά.

1.3.1.3.2 Πρόσθετα συστατικά

Τα πρόσθετα συστατικά είναι τα λεπτομερώς διαμερισμένα ανόργανα υλικά που χρησιμοποιούνται στο σκυρόδεμα με στόχο τη βελτίωση ή τη ρύθμιση κάποιων ιδιοτήτων. Το EN 206 αναφέρεται σε δύο κατηγορίες προσθέτων: τα σχεδόν αδρανή πρόσθετα (τύπου I) και τα πρόσθετα που έχουν ποζολανικές ή λανθάνουσες υδραυλικές ιδιότητες (τύπου II). Τα τύπου II πρόσθετα συστατικά συμπεριλαμβάνουν τις Ιπτάμενες Τέφρες, σύμφωνα με το EN 450, και την πυριτική παιπάλη κατά pr EN13263, και ταξινομούνται στις εξής πέντε κατηγορίες :

- Υλικά με υδραυλικές ιδιότητες
- Υλικά με ποζολανικές και υδραυλικές ιδιότητες
- Κανονικές ποζολάνες
- Υλικά με ισχυρώς ποζολανικές ιδιότητες
- Υλικά μικρής δραστηκότητας

1.3.2 Ταξινόμηση σκυροδεμάτων

Τα σκυροδέματα ταξινομούνται με βάση διάφορα κριτήρια όπως είναι αυτό των αντοχών θλίψης 28 ημερών για τα σκληρυμένα σκυροδέματα και της κατηγορίας κάθισης για τα νωπά σκυροδέματα.

Πίνακας 2: Κατηγορίες σκυροδέματος σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ. -97

Κατηγορία Σκυροδέματος	Ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου (N/mm ²)	Ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή κυβικού δοκιμίου (N/mm ²)
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/45	40	50
C45/55	45	55

Πίνακας 3: Προβλεπόμενες κατηγορίες κάθισης

Κατηγορία Κάθισης	Κάθιση (mm)
S1	10-40
S2	50-90
S3	100-150
S4	≥160

Ακόμη τα σκυροδέματα διακρίνονται ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε έργου και τις περιβαλλοντικές συνθήκες στις κατηγορίες.

- ο Σκυρόδεμα χωρίς ειδικές απαιτήσεις
- ο Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε επιφανειακή φθορά
- ο Σκυρόδεμα μειωμένης υδατοπερατότητας
- ο Σκυρόδεμα μέσα σε νερό (όχι διαβρωτικό)
- ο Σκυρόδεμα στη θάλασσα
- ο Σκυρόδεμα εκτεθειμένο σε αέρα κορεσμένο με θαλάσσια αλάτα (παραθαλάσσιο περιβάλλον)
- ο Σκυρόδεμα ανθεκτικό σε χημικές προσβολές

1.3.3 Βασικές ιδιότητες σκυροδέματος

Οι βασικότερες ιδιότητες του σκυροδέματος και ειδικότερα η εργασιμότητα, οι αντοχές, το πορώδες και η διαπερατότητα.

1.3.3.1 Η εργασιμότητα

Με τον όρο εργασιμότητα ή εργάσιμο χαρακτηρίζεται γενικά η ευκολία με την οποία είναι δυνατόν να μεταφερθεί, διαστρωθεί και συμπκνωθεί το σκυρόδεμα. Σύμφωνα με έναν άλλο ορισμό, η εργασιμότητα ορίζεται ως το έργο που απαιτείται για να υπερνικηθούν οι εσωτερικές τριβές και να επιτευχθεί πλήρη συμπίκνωση.

Το εργασιμο είναι μια πολύ χρήσιμη έννοια στην πράξη, γιατί αποδίδει ακριβώς αυτό που ενδιαφέρει τον κατασκευαστή κατά το χρόνο της σκυροδέτησης. Είναι μια σύνθετη ιδιότητα και συνδέεται με άλλες ρεολογικές ιδιότητες όπως οι παρακάτω:

α. η ρευστότητα που σημαίνει ευκολία με την οποία ρέει ένα υλικό. Η ρευστότητα εξαρτάται κυρίως από την ποσότητα του νερού ανάμιξης.

β. η πλαστικότητα δηλαδή η ικανότητα του υλικού να παραμορφώνεται χωρίς διακοπή της συνέχειας του.

γ. η συνοχή που εκφράζει το αποτέλεσμα των δυνάμεων που έλκουν τα μόρια μεταξύ τους και επομένως είναι μια από τις ιδιότητες που συντελούν πλαστικότητα.

δ. η συμποκνωσιμότητα που εκφράζει τη δυνατότητα του υλικού να συμποκνωθεί και εξαρτάται από τον αρχικό βαθμό συμποκνωσης.

1.3.3.2 Οι αντοχές

Η αντοχή του σκυροδέματος σε μηχανική καταπόνηση θεωρείται ως η πιο σημαντική ιδιότητα του, παρόλο που σε μερικές περιπτώσεις άλλα χαρακτηριστικά του, όπως η ανθεκτικότητα και η διαπερατότητα, μπορεί να είναι σημαντικότερα. Σε κάθε περίπτωση πάντως, η αντοχή δίνει μια συνολική εικόνα της ποιότητας του σκυροδέματος επειδή συνδέεται άμεσα με τη δομή της ενυδατωμένης τσιμεντόπαστας. Επιπρόσθετα η αντοχή του σκυροδέματος είναι μια αναντικατάστατη μεταβλητή στο σχεδιασμό των κατασκευών και κατά κανόνα προδιαγράφεται και από τους κανονισμούς.

1.3.3.3 Το πορώδες

Το σκυρόδεμα όπως και οι φυσικοί λίθοι δεν είναι υλικό απόλυτα συμπαγές και πλήρες, αλλά περιέχει πλήθος από εσωτερικές κοιλότητες. Οι κοιλότητες αυτές είναι κενές από στερεό υλικό, γι αυτό και ονομάζονται πόροι ή κενά. Το σύνολο αυτών των κοιλοτήτων το ονομάζουμε πορώδες του σκυροδέματος. Οι κοιλότητες αυτές μπορεί να περιέχουν αέρα ή να είναι

γεμάτες με νερό. Ανάλογα με την προέλευση τους διακρίνονται σε κατηγορίες. Έτσι υπάρχουν:

- α. πόροι των αδρανών υλικών, δηλαδή πόροι των κόκκων της άμμου και των σκόνων,
- β. πόροι που δημιουργούνται από εγκλεισμό φυσαλίδων αέρα μέσα στο τσιμεντοκονίαμα,
- γ. πόροι ή τριχοειδή κενά που δημιουργούνται μέσα στην τσιμεντοκονία μετά την εξάτμιση του νερού που περισεύει,
- δ. κοιλότητες μεταξύ τσιμεντοκονιάματος και αδρανών, είτε από κακή πρόσφυση μεταξύ τους, είτε λόγω συστολής του τσιμεντοκονιαμάτος, είτε από το νερό που συγκεντρώνεται στην κάτω κυρίως πλευρά των κόκκων, λόγω της εξίδρωσης του μίγματος
- ε. μακροσκοπικές κοιλότητες που προέρχονται από κακή συμπύκνωση
- στ. τριχοειδή κενά δημιουργημένα μετά τις μικρορηγματώσεις που οφείλονται στις συστολές του τσιμεντοκονιαμάτος ή και στις εξωτερικές καταπονήσεις.

1.3.3.3 Η διαπερατότητα

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαπερατότητα είναι:

- Σύσταση τσιμέντου
- Λόγος N/T
- Πορώδες
- Βαθμός συμπύκνωσης
- Συντήρηση
- Ύπαρξη ρωγμών

1.3.4 Ανθεκτικότητα σκυροδέματος

Η ανθεκτικότητα αποτελεί γενική έννοια η οποία εκφράζει τη δυνατότητα του σκυροδέματος να διατηρεί την αντοχή και τη λειτουργικότητα του στην κατασκευή, στη μέγιστη δυνατή διάρκεια. Συγκεκριμένα αναφέρεται στην ικανότητα του υλικού να μη φθείρεται από το περιβάλλον (φυσικό ή μη) στο οποίο εκτίθεται. Η φθορά είναι το αποτέλεσμα των φυσικών και χημικών δράσεων που συμβαίνουν μεταξύ των συστατικών του σκυροδέματος και των συστατικών (διαβρωτικά μέσα) που συνιστούν το περιβάλλον που εκτίθεται. Εκδηλώνεται με ρωγμές και διογκώσεις στην επιφάνεια του σκυροδέματος αλλά και με μείωση της μηχανικής αντοχής του και απώλεια μάζας.

Η ανθεκτικότητα μπορεί να μην αποτελεί ιδιότητα του σκυροδέματος, ωστόσο αποτελεί ποιοτική έννοια με μεγάλη αξία. Με τη βασική ιδιότητα του σκυροδέματος, την αντοχή σε μηχανική καταπόνηση, αποτελούν δύο παραμέτρους που εξίσου χαρακτηρίζουν το σκυρόδεμα υψηλής απόδοσης.

Οι βασικότερες αιτίες φθοράς που καταγράφονται στην πράξη είναι: η διάβρωση του σιδηροπλισμού, η ψύξη - απόψυξη στα ψυχρά κλίματα, οι χημικές αντιδράσεις μεταξύ του ενσωματωμένου τσιμέντου και των διάφορων διαβρωτικών μέσων και οι φυσικοχημικές δράσεις που συμβαίνουν στο εσωτερικό του σκυροδέματος μεταξύ των συστατικών του. Η μελέτη των διάφορων φυσικοχημικών δράσεων της φθοράς είναι σύνθετη και απαιτεί τη συνολική και πολύπλευρη εξέταση τους. Η κατανόηση των φαινομένων που προκαλούν την φθορά του σκυροδέματος επιτρέπει την αναγωγή τους σε παράγοντες ανθεκτικότητας.

2. Τοποθέτηση Θέματος

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης πραγματοποιήθηκε έλεγχος για τον καλύτερο συνδυασμό αδρανών υλικών από τα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα.

Ως προς τη κοκκομετρική σύνθεση ή διαβάθμιση θα πρέπει να αναφερθεί, ότι οι κόκκοι των αδρανών υλικών στηρίζονται ο ένας πάνω στον άλλον αλλά, λόγω του ακανόνιστου πολυγωνικού σχήματος που έχουν δεν εφάπτονται απόλυτα μεταξύ τους, παρά αφήνουν ενδιάμεσα κενά. Τα κενά αυτά μεταξύ των αδρανών τα γεμίζει το κονίαμα που συνδέει με αυτό τον τρόπο τους κόκκους σε ένα συμπαγές υλικό. Η ποσότητα του κονιάματος πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τα μεταξύ των κόκκων κενά. Επειδή από την άλλη μεριά το κονίαμα είναι κατά κανόνα περισσότερο πορώδες και λιγότερο ανθεκτικό από το πέτρωμα των αδρανών, όσο λιγότερα είναι τα παραπάνω τόσο μεγαλώνει και η αντοχή και η πυκνότητα του σκυροδέματος.

Το σχήμα των σωματιδίων και η υφή της επιφάνειας επηρεάζει τις ιδιότητες του σκυροδέματος. Κατά συνέπεια, η περιεκτικότητα σε τοιμέντο πρέπει επίσης να αυξηθεί για να διατηρηθεί η αναλογία νερού-τοιμέντου. Σε γενικές γραμμές, επίπεδα και επιμήκη σωματίδια αποφεύγονται ή πρέπει να περιορίζονται σε περίπου 15 τοις εκατό κατά βάρος του συνόλου των αδρανών. Το περιεχόμενο κενό μεταξύ σωματιδίων επηρεάζει το ποσό (την ποσότητα) της πάστας τοιμέντου που απαιτείται για το μίγμα.

3. Πειραματική Διαδικασία

Γενικά

Όλα τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Εμπλουτισμού των Μεταλλευμάτων & Βιομηχανικών Ορυκτών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφονται όλες οι πειραματικές διαδικασίες, που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής αυτής εργασίας. Γίνεται εκτενής αναφορά στα στάδια προετοιμασίας του ασβεστολιθικού υλικού (ελάττωση μεγέθους και ταξινόμηση), στον προσδιορισμό τόσο του πορώδους των τεμαχίων του υλικού όσο και του «πορώδους» της σύνθεσης των διαφόρων κοκκομετρικών κλασμάτων, καθώς και στις εργαστηριακές συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό αυτό.

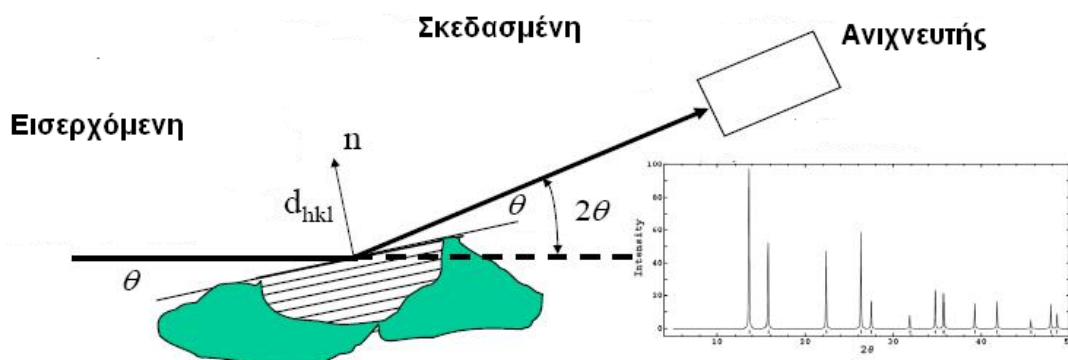
3.1 Μελέτη της κρυσταλλικής δομής με περίθλαση ακτινών - X

Όταν ακτίνες X διέρχονται από ένα κρύσταλλο, τότε μέρος από την ενέργεια τους απορροφάται από αυτόν. Η ενέργεια αυτή εκπέμπεται από τον κρύσταλλο, καθώς δομικές μονάδες του κρυστάλλου καθίστανται δευτερογενείς πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως περίθλαση ακτινών-X. Οι δευτερογενείς ακτίνες, που οφείλονται στην περίθλαση της πρωτογενούς ακτινοβολίας, είτε είναι εν φάση και συμβάλουν δημιουργικά στην ενίσχυση της ακτινοβολίας, είτε είναι σε αντίθετη φάση και συμβάλουν καταστρεπτικά στη απόσβεση της ακτινοβολίας.

Η πειραματική διάταξη των ακτινών-X αποτελείται από

- A. Πηγή ακτινών X συγκεκριμένου μήκους κύματος
- B. Ανίχνευση ακτινοβολίας

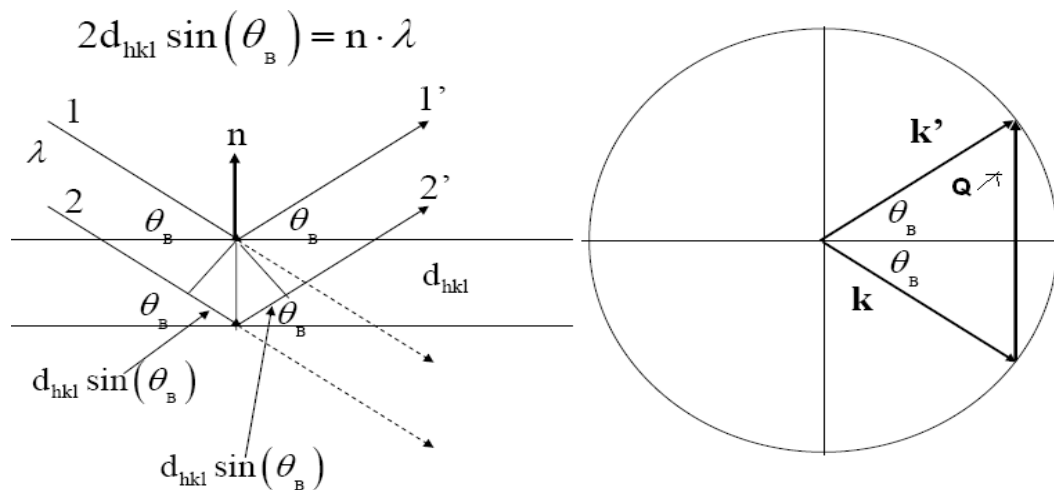
Γ. Γωνιόμετρο



Εικόνα 3. 1: Διάγραμμα λειτουργίας περίθλασης ακτινών-Χ

Καταγράφεται η ένταση της περιθλώμενης ακτινοβολίας σε συνάρτηση με την γωνία 2θ , κατά την εξίσωση Bragg ($n\lambda=2d\sin\theta$) είναι η συνθήκη για σύμφωνη σκέδαση και καθορίζει τις κατευθύνσεις στις οποίες σκεδάζεται σημαντική ποσότητα ακτινοβολίας. Λόγω της κρυσταλλικής δομής, υπάρχουν αρκετά επίπεδα σκέδασης και συνεπώς αποστάσεις d . Θέλουμε να βρούμε όσο το δυνατόν περισσότερες, έτσι ώστε να μπορέσουμε να καθορίσουμε τον τύπο πλέγματος και απόστασης. Οι παράμετροι στην διάθεση του πειραματικού είναι το μήκος κύματος λ της ακτινοβολίας, η γωνία θ και ζητούμενο είναι τα διαφορετικά d . Έτσι τυπικά μπορεί κανείς να μεταβάλλει είτε το μήκος κύματος της ακτινοβολίας με σταθερή γωνία, είτε τη γωνία με σταθερό μήκος κύματος, ώσπου να πάρει σύμφωνη σκέδαση. Έτσι είτε:

- ✦ Κρατάμε σταθερό το θ και μεταβάλλουμε το λ (Laue), οπότε κάθε επίπεδο θα δώσει περίθλαση για διαφορετικό μήκος κύματος και διεύθυνση (κάτι που χρησιμοποιείται για προσανατολισμό μονοκρυστάλλων)
- ✦ Έχουμε σταθερό λ και μεταβάλλουμε τη γωνία θ (μέθοδοι περιστροφής και σκόνης).



Εικόνα 3. 2: Ανάκλαση δέσμης ακτινών-Χ

Με την βοήθεια κατάλληλης βάσης δεδομένων προσδιορίζεται το είδος των φάσεων του υπό εξέταση υλικού.

3.2 Προετοιμασία του δείγματος

Η προετοιμασία του δείγματος περιλαμβάνει την κατάτμηση (θραύση-ταξινόμηση) σε διάφορα μεγέθη τεμαχίων και κατόπιν τη δειγματοληπτική διαίρεση του λειοτριβημένου δείγματος σε ισοβαρή περίπου μείγματα.

Η προετοιμασία των πρώτων υλών έχει ως αντικείμενο να παραχθούν διαφορετικά κοκκομετρικά κλάσματα έτσι ώστε να μελετηθεί η επίδραση των αυτών, στο «πορώδες» της σύνθεσης των διαφόρων κοκκομετρικών κλασμάτων του ασβεστολιθικού υλικού, παράμετρος που ενδιαφέρει τη βιομηχανία παραγωγής σκυροδέματος

3.2.1 Θραύση

Η ελάττωση του μεγέθους επιτυγχάνεται με τη χρήση διάφορων τύπων θραυστήρων. Για την πρωτογενή θραύση του ασβεστολιθικού υλικού τροφοδοσίας χρησιμοποιήθηκε θραυστήρας σιαγόνων. Το άνοιγμα του θραυστήρα ρυθμίζεται στο επιθυμητό μέγεθος από τα αντίστοιχα στοιχεία ρύθμισης του μηχανήματος και ακολουθεί η τροφοδοσία. Η τροφοδοσία του υλικού διενεργείται με τη χρήση «φτυαριού».



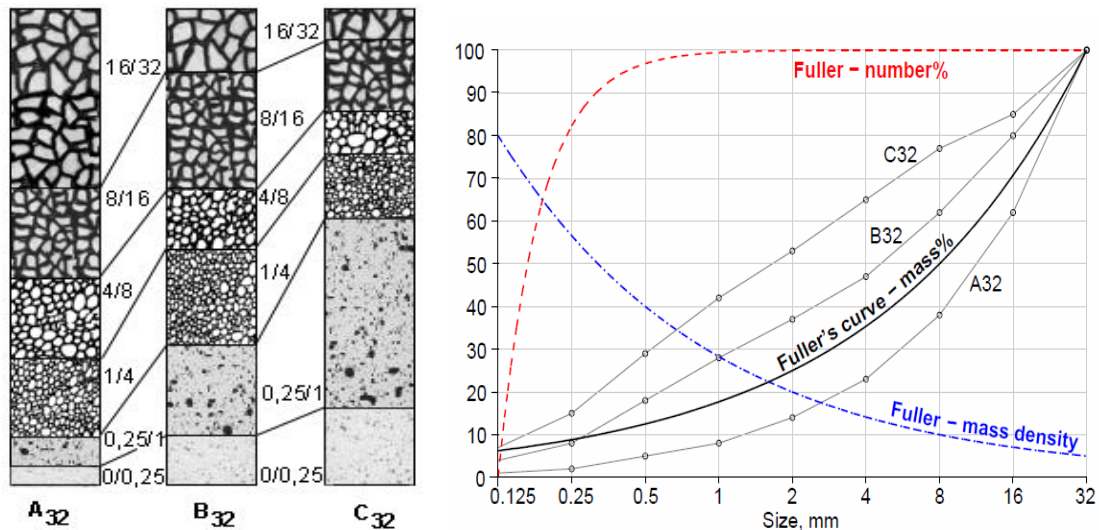
Εικόνα 3. 3: Θραυστήρας σιαγόνων

3.2.2 Κοκκομετρική ανάλυση

Κοκκομετρική ανάλυση ενός αδρανούς υλικού είναι ο προσδιορισμός της αναλογίας με την οποία περιέχονται στο υλικό τα διάφορα μεγέθη κόκκων του αδρανούς.

Τα αδρανή υλικά που προέρχονται από τα λατομεία είναι ένα μίγμα, το οποίο περιέχει κόκκους όλων των μεγεθών. Για τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής σύνθεσης του αδρανούς λαμβάνεται ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα του υλικού και κοσκινίζεται με όλη τη σειρά των αντίστοιχων πρότυπων κοσκίνων. Η απαιτούμενη ποσότητα του υλικού εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων.

Ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών υλικών γίνεται με κοσκίνισμα στο χέρι ή με ηλεκτροκίνητες συσκευές, στις οποίες τοποθετούνται διαδοχικά τα πρότυπα κόσκινα με σειρά μεγέθους οπών. Κάτω τοποθετείται το τυφλό κόσκινο, δηλαδή το κόσκινο χωρίς οπές, και τελευταίο, στο επάνω μέρος, το κόσκινο με τη μεγαλύτερη διάμετρο οπών. Το κοσκίνισμα διαρκεί μέχρις ότου περάσουν από τα αντίστοιχα κόσκινα και οι πιο λεπτοί κόκκοι του υλικού.



Εικόνα 3. 4: Ενδεικτική (αριστερά) κατανομή κοκ. κλασμάτων κατά DIN 1045 Κοκκομετρικές αναλύσεις κατά DIN 1045

3.2.3 Ταξινόμηση

Οι πιο διαδεδομένες συσκευές κατανομής κατά μέγεθος των αδρανών υλικών είναι τα κόσκινα. Το εύρος του μεγέθους των τεμαχιδίων σε μια και μόνο διαδικασία, είναι πολύ μεγάλο και περιλαμβάνει τεμάχια ή τεμαχίδια που το μέγεθός τους κυμαίνεται από 100mm έως και μικρότερη από 0,01mm.

Ο διαχωρισμός κατά μέγεθος των τεμαχίων του προϊόντος της κατάτμησης γίνεται με χρησιμοποίηση ταξινομητών.

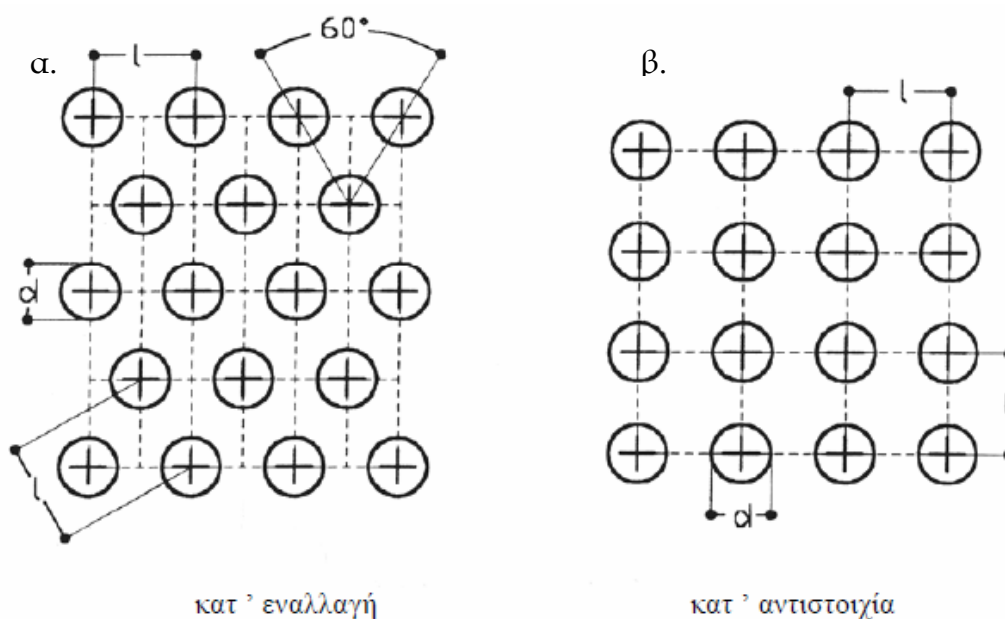
Το βιομηχανικό κόσκινο είναι ένα φίλτρο μεγεθών τεμαχίων που επιτρέπει να περάσει το υλικό λόγω μεγέθους και σχήματος από τα ανοίγματα του πλέγματος (διερχόμενο) και απομακρύνει το υλικό που δεν περνάει (παραμένον) με μία συνεχή διαδικασία. Στην πράξη τα τεμάχια έχουν ακανόνιστο σχήμα, επομένως ο προσανατολισμός μαζί με το σχήμα και το μέγεθος του τεμαχίου (σε σχέση με το άνοιγμα του πλέγματος) καθορίζουν αν τελικώς το τεμάχιο περάσει ή όχι. Μερικά τεμάχια έχουν τέτοιο μέγεθος και σχήμα που μόνο ένας περιορισμένος αριθμός προσανατολισμών μπορεί να τα κάνει να περάσουν.

Για να έχουμε καλό διαχωρισμό (μεγάλη απόδοση) στην κοσκίνιση τα τεμάχια με τον κρίσιμο συνδυασμό μεγέθους - σχήματος θα πρέπει να παίρνουν όλους τους δυνατούς προσανατολισμούς, κατά τη διάρκεια της διαδρομής τους πάνω στο πλέγμα για να μπορέσουν τελικώς να περάσουν.[3]

Για τον κοκκομετρικό διαχωρισμό των αδρανών υλικών χρησιμοποιούνται δύο σειρές πρότυπων κοσκίνων τα γερμανικά και τα αμερικάνικα κόσκινα. Τα πρότυπα κόσκινα έχουν κυκλικές ή τετραγωνικές οπές.

α. Τα κυκλικά κόσκινα κατασκευάζονται από κατάλληλα μεταλλικά ελάσματα στα οποία διανοίγονται οπές με καθορισμένες διαμέτρους, ομοιόμορφες για το καθένα κόσκινο. Η διάτρηση γίνεται κατ' εναλλαγή ή κατ' αντιστοιχία (Εικόνα 3.5α).

β. Τα τετραγωνικά κόσκινα κατασκευάζονται από κατάλληλα μεταλλικά σύρματα διαμορφωμένα σε πλέγμα. Το ποσοστό των διόδων στην επιφάνεια των κοσκίων εξαρτάται από τη διάμετρο των οπών και σχετίζεται με το πάχος του σύρματος και με το άνοιγμα των οπών (Εικόνα 3.5β).



Εικόνα 3. 5: Πρότυπα κόσκινα

3.2.4 Δειγματοληψία

Ο δειγματολήπτης Jones (Εικόνα 3.6), αποτελεί το συνηθέστερο τύπο για δειγματοληπτική ελάττωση του βάρους και αποτελείται από διασταυρούμενους οχετούς διέλευσης του υλικού και από δύο ορθογώνιους κάδους (υποδοχείς) για τη λήψη των δειγμάτων και απαιτεί ένα πλατύ φτυάρι ή κάδο για την τροφοδότηση του υλικού.

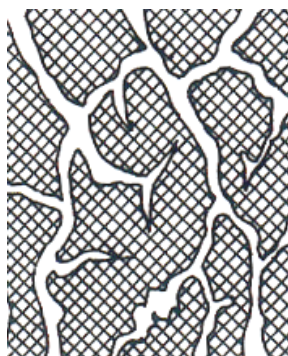
Το δείγμα το οποίο κατανέμεται με τη βοήθεια φτυαριού σε όλο το πλάτος της πυραμιδοειδούς χοάνης του δειγματολήπτη, χωρίζεται σε μικρές λωρίδες διαφορετικής κατεύθυνσης ροής που καταλήγουν στους κάδους υποδοχής. Έτσι, με πολλαπλή και γρήγορη διχοτόμηση ρέει προς τους υποδοχείς σε δύο «σχετικά όμοια» δείγματα (περίπου ίδιας μάζας, ορυκτολογικής και κοκκομετρικής σύστασης). Το πλάτος των οχετών πρέπει να είναι 2-2,5 φορές μεγαλύτερο από τη μέση διάσταση των τροφοδοτούμενων τεμαχίων για να διευκολύνεται μια ελεύθερη ροή. Για αυτό, και το πλάτος των οχετών (δηλαδή το μέγεθος του ανοίγματος του δειγματολήπτη) μειώνεται με την ελάττωση του μεγέθους των τεμαχίων ώστε να εξασφαλίζεται η ακρίβεια στη διχοτόμηση δείγματος.



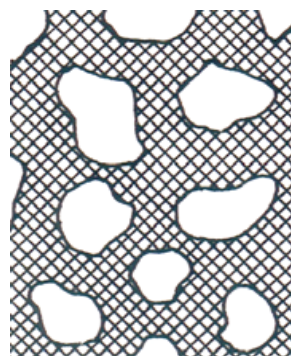
Εικόνα 3. 6: Δειγματολήπτης Jones

3.3 Πορώδες ασβεστολιθικού υλικού

Τα υλικά, ανάλογα με τη δομή τους διακρίνονται σε κρυσταλλικά, άμορφα, πορώδη. Τα πορώδη υλικά έχουν είτε ανοιχτούς, είτε κλειστούς πόρους (Εικόνα 3.7).



Ανοιχτοί πόροι



Κλειστοί πόροι

Εικόνα 3. 7: Πορώδη υλικά που διακρίνονται σύμφωνα με τους πόρους

Το πορώδες των αδρανών δίνει τη δυνατότητα απορρόφησης νερού από τα ξηρά αδρανή, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται το διαθέσιμο νερό που είναι απαραίτητο για τις αντιδράσεις ενυδάτωσης του τσιμέντου. Αντιθέτως, εάν τα αδρανή έχουν περίσσεια νερού (στο εσωτερικό τους αλλά και στην επιφάνειά τους), συνεισφέρουν νερό για τις αντιδράσεις ενυδάτωσης.

Με βάση τα παραπάνω, τα τεμαχίδια των αδρανών διακρίνονται στις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες, όσον αφορά στην κατάσταση τους από πλευράς υγρασίας.

1. Τελείως ξηρά (Oven-dry ή **OD**); χωρίς καθόλου υγρασία δηλαδή έχουν υποστεί ολοκληρωτική ξήρανση.
2. Μερικώς ξηρά (Air-dry ή **AD**); όπου οι εσωτερικοί τους πόροι είναι μερικώς γεμάτοι με νερό, ενώ η επιφάνειά τους είναι ξηρή.
3. Τεμάχια με πόρους γεμάτους με νερό (Saturated-surface-dry ή **SSD**); ενώ η επιφάνειά τους δεν έχει υγρασία.
4. Τεμάχια με πόρους γεμάτους με νερό (**Damp** ή **Wet**); ενώ η επιφάνειά τους είναι καλυμμένη με στρώμα (φίλμ) νερού.

Από τις παραπάνω τέσσερις καταστάσεις η πλέον χαρακτηριστική είναι η κατάσταση 3, η οποία είναι μια κατάσταση ισορροπίας, όπου τα αδρανή ούτε απορροφούν αλλά ούτε και αποδίδουν νερό στην τσιμεντόπαστα.

3.4 Προσδιορισμός επιμηκών και πλακωδών τεμαχίων

Ένας τρόπος περιγραφής του σχήματος των τεμαχίων είναι η “σφαιρικότητά τους”, που είναι συνάρτηση του λόγου της επιφάνειας του τεμαχίου προς τον όγκο του. Δηλαδή η μεγάλη τιμή του λόγου επιφάνεια/όγκο τεμαχίου έχει μεγάλη σημασία, γιατί μειώνει την εργασιμότητα του μείγματος τσιμεντόπαστας - αδρανών.

Τέτοια τεμάχια είναι τα «επιμήκη» και τα «πεπλατυσμένα». Τα πεπλατυσμένα τεμάχια επιδρούν αρνητικά στη διάρκεια ζωής του σκυροδέματος γιατί διατάσσονται μόνο σε μια κατεύθυνση (οριζόντια) δεσμεύοντας νερό και αέρα κάτω από αυτά.

Η παρουσία πεπλατυσμένων τεμαχίων, σε ποσοστό μεγαλύτερο από 10-15% του βάρους των χονδρομερών αδρανών, θεωρείται γενικά ανεπιθύμητη χωρίς όμως να έχουν τεθεί συγκεκριμένα όρια.

Ως δείκτης “επιμήκων” και δείκτης “πεπλατυσμένων” παίρνεται ο λόγος του βάρους των επιμήκων ή πεπλατυσμένων προς το συνολικό βάρος του δείγματος. Τα τεμάχια που είναι ταυτόχρονα επιμήκη και πεπλατυσμένα παίρνονται υπόψη και ελέγχονται και ως προς τις δύο κατηγορίες.

Ως “επιμήκη” θεωρούνται τα τεμάχια με μέγιστη διάσταση 1.8 φορές του μέσου μεγέθους του κλάσματος στο οποίο ανήκουν, ενώ “πεπλατυσμένα” θεωρούνται εκείνα που η ελάχιστη διάστασή τους είναι 0.6 φορές του μέσου μεγέθους κλάσματος στο οποίο ανήκουν.

Ο βαθμός «επιμήκους» και το σχήμα του χονδρομερούς αδρανούς έχει επίσης σημαντική επίδραση στην «εργασιμότητα» του σκυροδέματος. Η δοκιμή αυτή καλύπτει τη διαδικασία προσδιορισμού επιμήκων και πλακωδών τεμαχίων ως μέρη αδρανών υλικών. Όταν τα τεμάχια των αδρανών υλικών είναι επιμήκη και πλακώδη, έχουν την τάση να θραύονται πιο εύκολα σε σχέση με άλλου είδους (σχήματος) τεμάχια.

Όταν λοιπόν τα τεμάχια αυτά θραύονται, η κοκκομετρία της σύνθεσης των αδρανών αλλάζει και το γεγονός αυτό μπορεί να προκαλέσει αστοχία της κατασκευής. Τα στρογγυλεμένα τεμάχια προτιμώνται στο σκυροδέμα καθώς βελτιώνουν την εργασιμότητα του σκυροδέματος, αλλά έχουν γενικώς προβλήματα πρόσφυσης με την τσιμεντοκονία. Επίσης τεμάχια συμμετρικού μεγέθους είναι επιθυμητά για τα χονδρομερή αδρανή, αφού αυξάνουν τη σταθερότητα, η οποία είναι απαραίτητη για την καλύτερη συνάφεια του υλικού. Όταν το σχήμα των τεμαχίων αποκλίνει από το σφαιρικό, όπως στα γωνιώδη, επιμήκη και πλακώδη τεμάχια, τα κενά μεταξύ των τεμαχίων αυξάνουν και για αυτό το λόγο η διαβάθμιση του υλικού πρέπει να ρυθμιστεί κατάλληλα, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη συνοχή του επί ξηρού μείγματος τεμαχίων. Ο διαχωρισμός των επιμηκών και πλακωδών τεμαχίων γίνεται με τη βοήθεια διάφορων μετρητικών συσκευών (Εικόνα 3.8).



Εικόνα 3. 8: Εξοπλισμός προσδιορισμού χαρακτηριστικών σχήματος τεμαχίων αδρανών

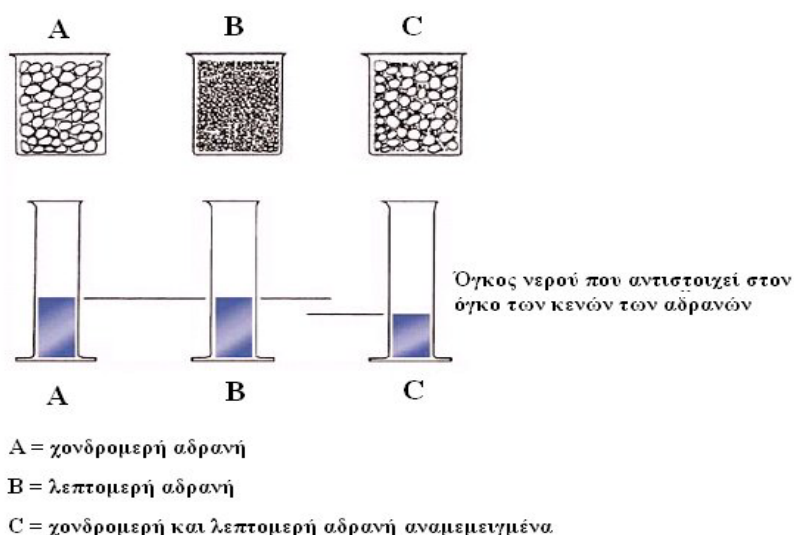
3.5 Σύνθεση αδρανών σκυροδέματος

Η αναλογία ανάμιξης των υλικών για την παρασκευή του σκυροδέματος, πρέπει να εξασφαλίζει σε κάθε περίπτωση την ομοιογένεια του μίγματος, το κατάλληλο εργάσιμο για ικανοποιητική διάστρωση και συμπύκνωση του σκυροδέματος, καθώς και πρόσθετες ιδιότητές του, όπως είναι η αντλησιμότητα, η στεγανότητα, η ανθεκτικότητα, κ.τ.λ.

Η μέση αντοχή του σκυροδέματος, f_m , πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με την απαιτούμενη αντοχή, f_a . Η αναλογία ανάμιξης των υλικών για την παρασκευή του σκυροδέματος δίνεται σε τσιμέντο : αδρανή : νερό κατά βάρος, δηλαδή, Z : K : W.

Η αναλογία ανάμιξης επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες του σκυροδέματος. Πολύ μεγάλη σημασία έχει η περιεκτικότητα σε τσιμέντο. Η απαιτούμενη ποσότητα του τσιμεντοπολτού πρέπει να γεμίσει τα κενά μεταξύ των κόκκων και να περιβάλλει τους κόκκους, ώστε να είναι δυνατόν να γίνει η επεξεργασία του σκυροδέματος.

Εάν αυτές οι ιδιότητες αυτού του αδρανούς εκφράζονται έμμεσα με τον τρόπο κατανομής τους κατά τη συμπύκνωση (packing) π.χ. ποσοστό κενών σε χαλαρή μορφή των αδρανών, τότε είναι προφανής η επίδραση στις απαιτήσεις σε νερό. Η επίδραση των κενών μεταξύ των τεμαχίων είναι λιγότερο σημαντική για τα χονδρομερή αδρανή.



Εικόνα 3. 9: Επίδραση της κοκκομετρικής σύνθεσης των αδρανών στον όγκο των κενών

Στην Εικόνα 3.9 η επιφάνεια των υγρών μέσα στους ογκομετρικούς σωλήνες A και B, η οποία αντιστοιχεί στον όγκο των κενών των αδρανών, είναι στο ίδιο ύψος από τον πυθμένα. Αυτό σημαίνει ότι ο όγκος των κενών είναι ίδιος για τις δύο διαφορετικές στενές κοκκομετρίες (A χονδρομερών και B λεπτομερών) αδρανών. Όταν όμως αναμειγνύονται διαφορετικά μεγέθη τεμαχίων (κοκκομετρίες αδρανών), τότε ο όγκος των κενών μειώνεται (περίπτωση C), επειδή τα λεπτομερή εισέρχονται και γεμίζουν τα κενά των χονδρομερών αδρανών.

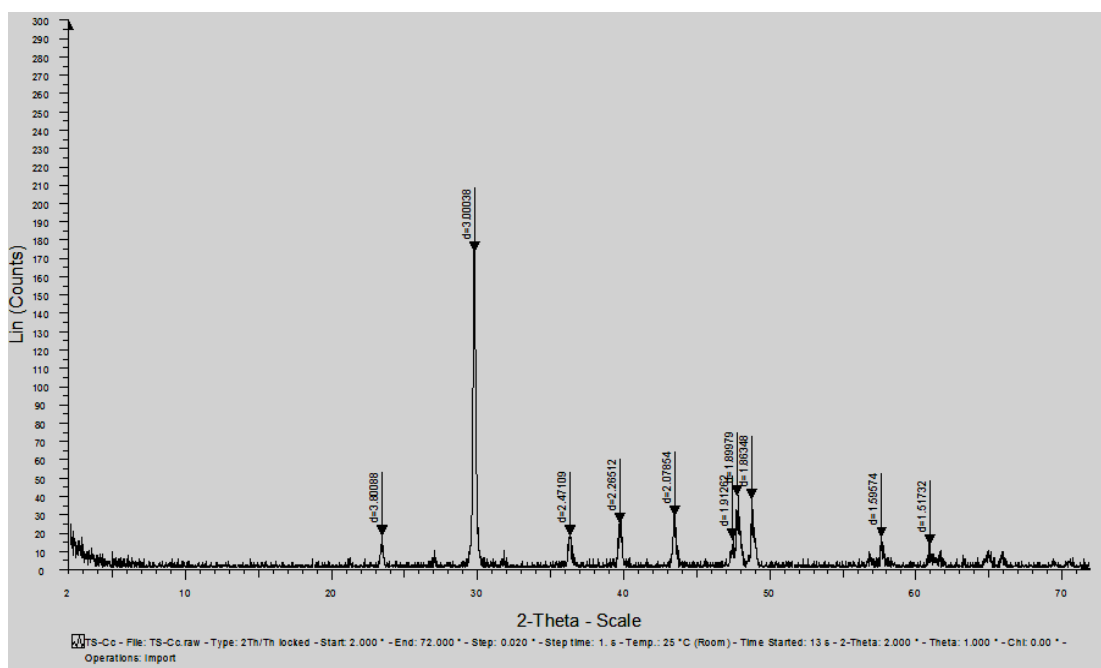
4. Πειραματικά Αποτελέσματα & Συζήτηση

Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται και αναλύονται διεξοδικά τα πειραματικά αποτελέσματα της μεταπτυχιακής εργασίας με τη βοήθεια διαγραμμάτων και πινάκων.

4.1 Μελέτη της κρυσταλλικής δομής με περίθλαση των ακτίνων - X

Το δείγμα εξετάστηκε με περιθλασιμετρία ακτίνων-X (X-rays diffraction). Για τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο τύπου Bruker D-8 Focus, με τις ακόλουθες συνθήκες λειτουργίας: ακτινοβολία CuK α , ($\lambda=1.5405$ Å), φίλτρο Ni, ένταση 30 mA, τάση 40 Kv και ταχύτητα γωνιόμετρου 1 $^\circ$ /min. Η ταυτοποίηση των ορυκτολογικών φάσεων, έγινε με βάση τις χαρακτηριστικές τους ανακλάσεις. Η εξέταση με περιθλασιμετρία ακτίνων-X έγινε σε κονιοποιημένο δείγμα.



Διάγραμμα 4. 1: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X του εξετασθέντος δείγματος.

Από το διάγραμμα 4.1 φαίνεται ότι το δείγμα αποτελείται από καθαρό ασβεστίτη (CaCO_3). Για τον προσδιορισμό του ασβεστίτη, χρησιμοποιήθηκαν οι ανακλάσεις hkl: (104) στα $d=3.03 \text{ \AA}$, (113) στα $d=2.28 \text{ \AA}$, (202) στα $d=2.09 \text{ \AA}$, (102) στα $d=3.84 \text{ \AA}$.

4.2 Ταξινόμηση

Για τη μελέτη και εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν το πορώδες του ασβεστολιθικού υλικού, είναι απαραίτητη η κατανομή του υλικού στα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα.

Για την αποφυγή των σφαλμάτων στις μετρήσεις, πρέπει πρώτα να γίνει έλεγχος πως έχουν απομακρυνθεί κατά το δυνατό όλα τα τεμάχια από τις βροχίδες των κοσκίνων μετά το πέρας της κοσκίνισης. Αυτό πετυχαίνεται χειρονακτικά, χτυπώντας κάθε κόσκινο έτσι ώστε να απελευθερωθούν τα τεμαχίδια, όπου υπάρχει η δυνατότητα. Ύστερα απομακρύνεται με ιδιαίτερη προσοχή το παραμένον κάθε κόσκινου και ζυγίζονται όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα.

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται μέτρηση βαρών κοκκομετρικών κλασμάτων, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 4: Συνολικό βάρος παραμένου υλικού στο κάθε κοκκομετρικό κλάσμα

<u>Κοκκομετρικό κλάσμα</u> (mm)	<u>Βάρος παραμένου υλικού</u> (kg)
+25	8,984
-25 +19	7,632
-19 +16	12,983
-16 +12,5	11,865
-12,5 +8	11,467
-8 +3,327	10,837

4.3 Δειγματοληψία

Για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των αδρανών είναι απαραίτητη η παραλαβή αντιπροσωπευτικού δείγματος του προς εξέταση υλικού.

Το δείγμα πρέπει να λαμβάνεται σταδιακά από 10 διαφορετικά μέρη του συνολικού υλικού για την κατά το δυνατόν μεγαλύτερη αντιπροσωπευτικότητα του. Επειδή όμως για την εργαστηριακή εξέταση, απαιτείται πολύ μικρότερη ποσότητα από αυτή του δείγματος πρέπει να γίνεται παραπέρα ελάττωση της μάζας του δείγματος (αντιπροσωπευτική δειγματοληψία), φροντίζοντας παράλληλα να διατηρείται ο χαρακτήρας του προς εξέταση υλικού, δηλαδή ως προς το αρχικό δείγμα και κατά το δυνατόν ως προς την αρχική πηγή των αδρανών.

Η μέθοδος ελάττωσης της αρχικής μάζας και λήψης του τελικού δείγματος (για τον έλεγχο ιδιοτήτων) έγινε με τη μέθοδο του μηχανικού δειγματολήπτη. Ο Πίνακας 5 παρουσιάζει τη μάζα των του δείγματος ανάλογα με το μέγεθος των αδρανών (κοκκομετρικό κλάσμα)

Πίνακας 5: Μάζα δείγματος ανάλογα το κοκκομετρικό κλάσμα για τον έλεγχο των ιδιοτήτων των αδρανών

<u>Κοκκομετρικό κλάσμα</u> (mm)	<u>Βάρος ασβεστολιθικού υλικού</u> (g)
+25	807,5
-25 +19	827,8
-19 +16	829,8
-16 +12,5	469,7
-12,5 +8	470,7
-8 +3,327	750,1

4.4 Προσδιορισμός απορροφητικής ικανότητας ασβεστολιθικού υλικού

Η απορροφητική ικανότητα αφορά στη μέγιστη ποσότητα νερού που μπορούν να απορροφήσουν τα αδρανή από τη τσιμεντόπαστα. Η απορροφητική ικανότητα είναι το μέτρο του συνολικού όγκου των πόρων που είναι προσβάσιμοι από το νερό.

Ο προσδιορισμός του πορώδους πραγματοποιήθηκε στο ασβεστολιθικό υλικό που προέκυψε από τη δειγματοληψία. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η παρακάτω:

- Ζύγιση υλικού
- Ξήρανση στους 105 °C για 24 ώρες
- Ζύγιση ξηρού υλικού
- Εμβάπτιση σε νερό για 24 ώρες
- Ζύγιση (με υγρασία που βρίσκεται στο πορώδες του υλικού)

Στον Πίνακα 6 καταγράφονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έγιναν στα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας.

Πίνακας 6: Προσδιορισμός απορροφητικής ικανότητας ασβεστολιθικού υλικού σε κάθε κοκκομετρικό κλάσμα

Κοκκομετρικό κλάσμα (mm)	Αρχικό βάρος (g)	Ξήρανση (g)	Βύθιση σε νερό (g)	Τελική ξήρανση (g)
+25	807,5	806,1	808,8	806,1
-25 +19	827,8	827,6	828,5	827,1
-19 +16	829,8	829,1	832,0	829,0
-16 +12,5	469,7	469,5	471,2	469,5
-12,5 +8	470,7	445,0	447,0	443,4
-8 +3,327	750,1	748,7	761,8	748,0

Στα λεπτότερα κοκκομετρικά κλάσματα παρατηρείται μείωση του βάρους του ασβεστολιθικού υλικού. Στην τελική ξήρανση η μείωση πιθανότατα να οφείλεται στη μερική απώλεια υλικού κατά την διάρκεια της δοκιμής.

4.5 Δοκιμή προσδιορισμού επιμηκών και πλακωδών τεμαχίων

Η δομή της επιφάνειας των μορίων επηρεάζει ορισμένες ιδιότητες του σκυροδέματος. Η πιο σημαντική επίδραση είναι με η συνάφεια που αναπτύσσεται μεταξύ του συνόλου και (κόλλα) τσιμέντου. Έτσι λοιπόν, είναι απαραίτητο να χαρακτηριστεί η μορφή των συνολικών τεμαχίων, δηλαδή να περιγραφούν και να προσδιοριστούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ακανόνιστων τεμαχίων, προκειμένου να προβλεφτεί η εργασιμότητα του μείγματος τσιμεντόπαστας - αδρανών.

Εξχωριστά τεμάχια αδρανών με συγκεκριμένη κοκκομετρία ελέγχονται όσον αφορά στις αναλογίες πλάτους - πάχους, μήκους - πλάτους ή μήκους - πάχους. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στο δείγμα που προέκυψε από τη δειγματοληψία, διότι η κοκκομετρία πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική του υλικού.

Το δείγμα κοσκινίζεται ώστε να διαχωριστούν τα τεμάχια που δεν διέρχονται από κόσκινο με άνοιγμα βροχίδων ανάλογο του κοκκομετρικού κλάσματος που ανήκουν. Στη συνέχεια, κάθε ένα τεμάχιο ελέγχεται με τη βοήθεια μετρητικής συσκευής (Εικόνα 4.1, α). Τα τεμάχια που διέρχονται από τις οπές της μετρητικής συσκευής ζυγίζονται και προσδιορίζεται ο δείκτης πεπλατυσμένου κάθε δείγματος τεμαχίων. Στη συνέχεια, κάθε ένα τεμάχιο από το συνολικό κλάσμα ελέγχεται στη μετρητική συσκευή (Εικόνα 4.1, β) ως προς το μήκος των τεμαχίων του. Τα μεγαλύτερου μήκους τεμάχια ζυγίζονται και προσδιορίζεται ο δείκτης «επιμήκους» κάθε κοκκομετρικού κλάσματος.



Εικόνα 4. 1: Μετρητικές συσκευές για τον προσδιορισμό του δείκτη «πλακωδών» τεμαχίων και του δείκτη «επιμήκους» τεμαχίων

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί, ότι οι παραπάνω δοκιμές μπορούν να πραγματοποιηθούν μόνο σε τεμάχια που υπερβαίνουν σε μέγεθος τα 6,3 mm.

4.5.1 Προσδιορισμός δείκτη πλακωδών τεμαχίων

Ο δείκτης «πεπλατυσμένου» κάθε κοκκομετρικού κλάσματος προσδιορίζεται από το λόγο του βάρους των τεμαχίων που διέρχονται από τη μετρητική συσκευή προς το ολικό βάρος του δείγματος, αναγόμενος επί τοις %. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7: Προσδιορισμός δείκτη «πλακωδών» τεμαχίων

Κοκκομετρικά κλάσματα (mm)	Βάρος κλάσματος (g)	Βάρος διερχόμενο (g)	Δείκτης πλακωδών %
+25	807,5	172,6	21,3
-25 +19	827,8	160,7	19,4
-19 +16	829,8	158,2	19,0
-16 +12,5	469,7	98,6	20,9
-12,5 +8	470,7	95,4	20,2

Γενικά, τα πεπλατυσμένα και επιμήκη τεμάχια πρέπει να αποφεύγονται ή στη χειρότερη περίπτωση να περιορίζονται σε ποσοστό περίπου 20% του συνόλου. Εάν παρατηρηθεί αύξηση στο ποσοστό σημαίνει αύξηση στο κενό χώρο ανάμεσα στα τεμάχια. Επιπλέον, είναι δυνατόν να υπάρχει

ανομοιόμορφη κατανομή τάσεων λόγω σχήματος με αποτέλεσμα το κίνδυνο θραύσης των αδρανών. Ενώ, το κυβικό σχήμα επιτυγχάνει τη βέλτιστη γεωμετρική κατανομή των κόκκων με αποτέλεσμα τη μέγιστη δυνατή συμπύκνωση.[4]

4.5.2 Προσδιορισμός δείκτη «επιμήκους» τεμαχίων

Ο δείκτης επιμήκυνσης κάθε κοκκομετρικού κλάσματος προσδιορίζεται από το λόγο του βάρους των τεμαχίων που συγκρατούνται από τη μετρητική συσκευή προς το ολικό βάρος του δείγματος, αναγόμενος επί τοις %.

Πίνακας 8: Προσδιορισμός δείκτη επιμήκυνσης τεμαχίων

Κοκκομετρικά κλάσματα (mm)	Βάρος κλάσματος (g)	Βάρος διερχόμενο (g)	Δείκτης «επιμήκους» %
+25	807,5	192,4	23,8
-25 +19	827,8	228,9	27,7
-19 +16	829,8	198,6	23,9
-16 +12,5	469,7	92,4	19,6
-12,5 +8	470,7	98,6	20,9

Σύμφωνα με τον Πίνακα 8, παρατηρείται ότι τα τεμάχια εμφανίζονται επιμήκη στα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα σε ποσοστό περίπου 20%. Τα επίπεδα ή επιμήκη αλλά ταυτόχρονα και γωνιώδη τεμάχια, μπορούν να οδηγήσουν σε υψηλότερο ποσοστό κενών μεταξύ των αδρανών από τα κυβικά ή στρογγυλεμένα τεμάχια.

4.6 Προσδιορισμός της βέλτιστης σύνθεσης αδρανών σκυροδέματος

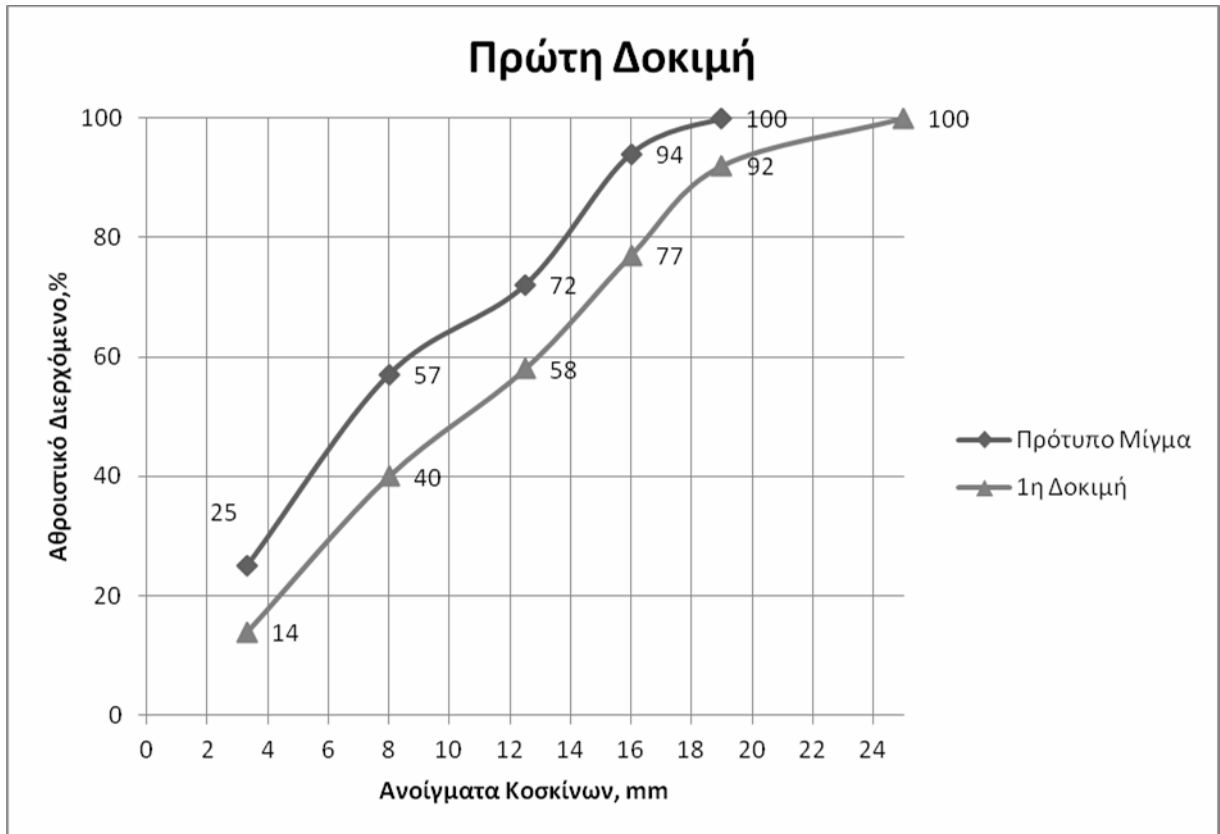
Η κύρια χρήση των αδρανών είναι στην παραγωγή σκυροδέματος. Αυτά λόγω γωνιώδους και ακανόνιστου σχήματος συνδέονται μεταξύ τους και συγκρατούνται στο σκυρόδεμα με τη βοήθεια της τσιμεντόπαστας (μείγμα τσιμέντου + νερού). Όμως, επειδή το τσιμέντο είναι πολύ ακριβό ως υλικό

(μεγάλο κόστος παραγωγής), η περιεχόμενη ποσότητα του στο σκυρόδεμα πρέπει να ελαχιστοποιείται υπό την προϋπόθεση βέβαια διατήρησης ικανοποιητικής της αντοχής του σκυροδέματος.

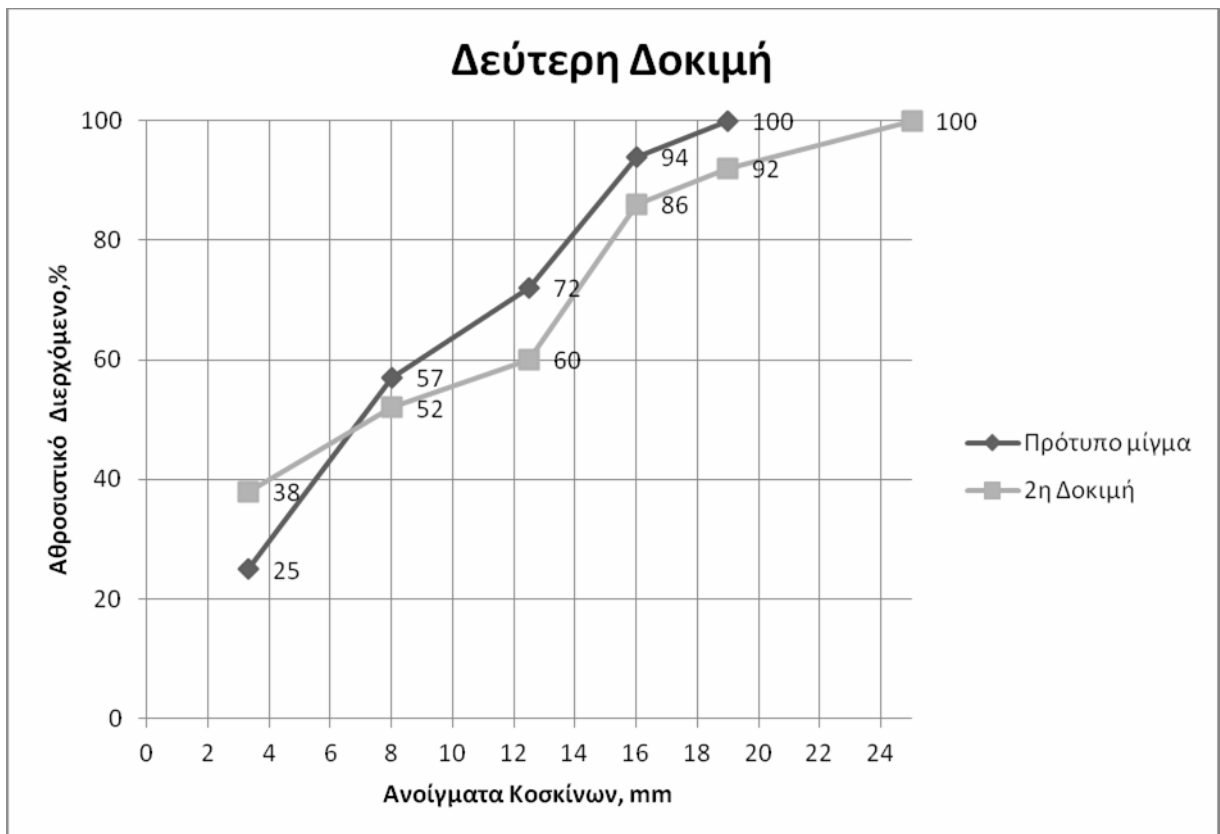
Τα μεγέθη των τεμαχίων των αδρανών σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκαν στην εκπόνηση της μεταπτυχιακής εργασίας κυμαίνεται από +25mm έως +3,327mm. Δημιουργήθηκαν δέκα διαφορετικά μίγματα (σύνθεση διαφορετικών μεγεθών) τεμαχίων μάζας 5 κιλών αδρανών. Η ποσοστιαία % κατά βάρος κατανομή μεγέθους τους φαίνεται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 9 & 10) σε σύγκριση με την προτεινόμενη (από προδιαγραφές) σύνθεση διαφορετικών μεγεθών τεμαχίων. Ο Πίνακας 9 και τα Διαγράμματα 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 αναφέρονται στις πέντε πρώτες δοκιμές, ενώ το Διάγραμμα 4.7 παρουσιάζει σε συνδυασμό τις πέντε πρώτες δοκιμές.

Πίνακας 9: Ποσοστά διάφορων κοκκομετρικών κλασμάτων για τις πέντε πρώτες δοκιμές

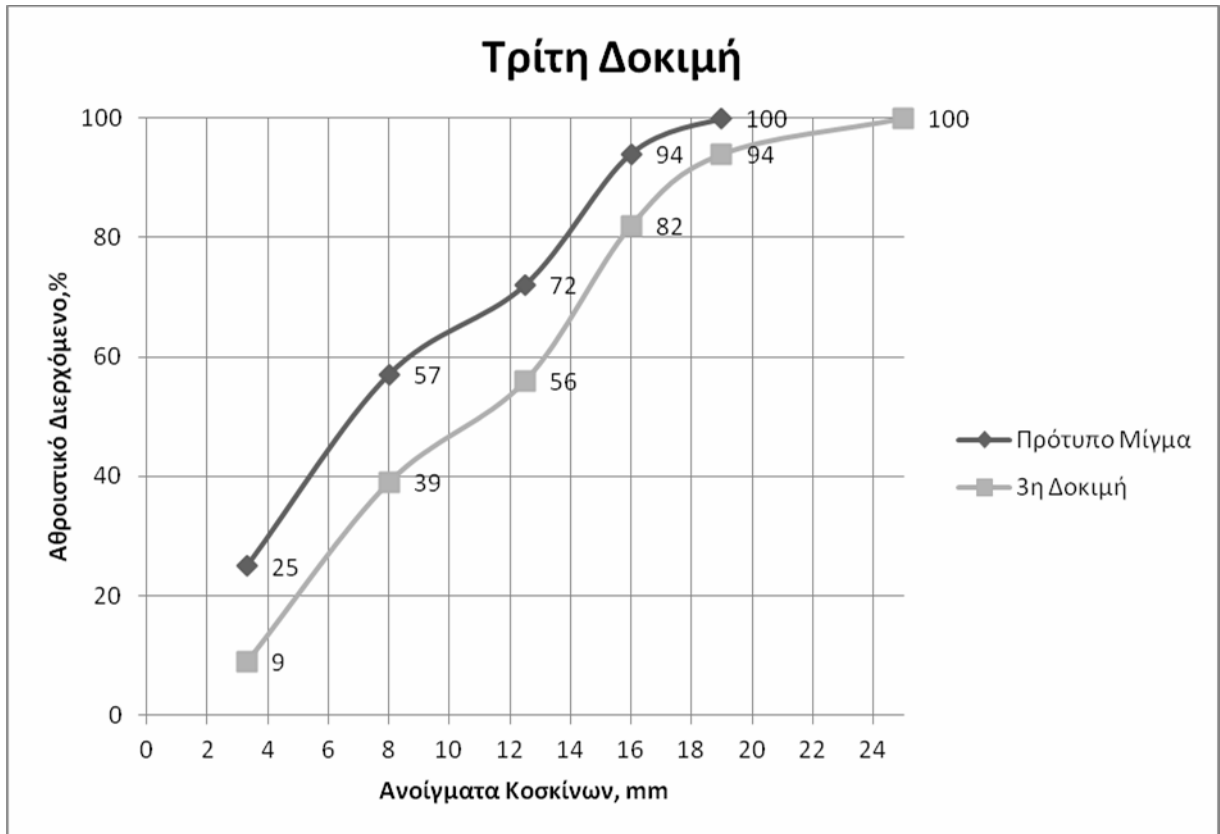
Κοκκομετρικά κλάσματα(mm)	Πρότυπο μίγμα (%)	1 ^η δοκιμή (%)	2 ^η δοκιμή (%)	3 ^η δοκιμή (%)	4 ^η δοκιμή (%)	5 ^η δοκιμή (%)
+25	-	8	8	6	4	9
-25 +19	6	15	6	12	14	5
-19 +16	22	19	26	26	30	18
-16 +12,5	15	18	8	17	35	22
-12,5 +8	32	26	14	27	9	30
-8 +3,327	25	14	38	9	26	16



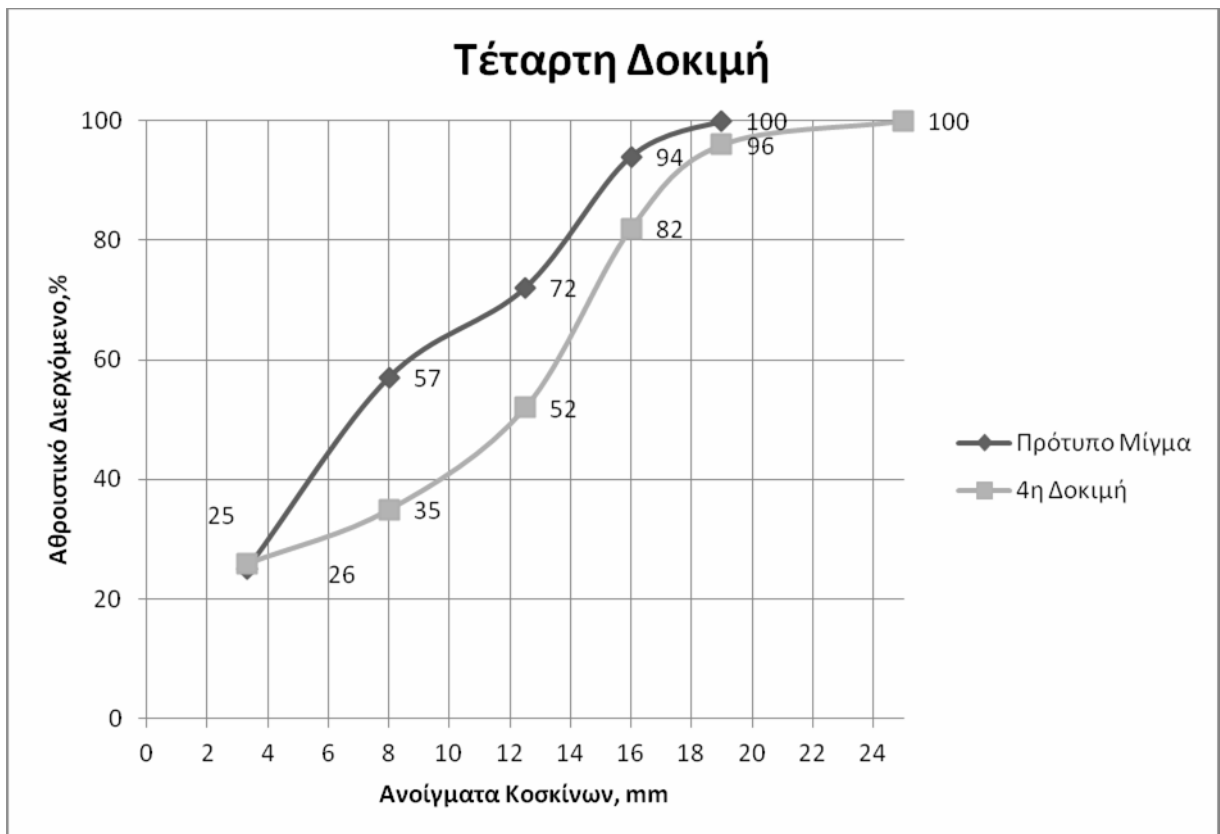
Διάγραμμα 4. 2: Διάγραμμα ταξινόμησης αδρανών σκυροδέματος κατά μέγεθος για την πρώτη δοκιμή.



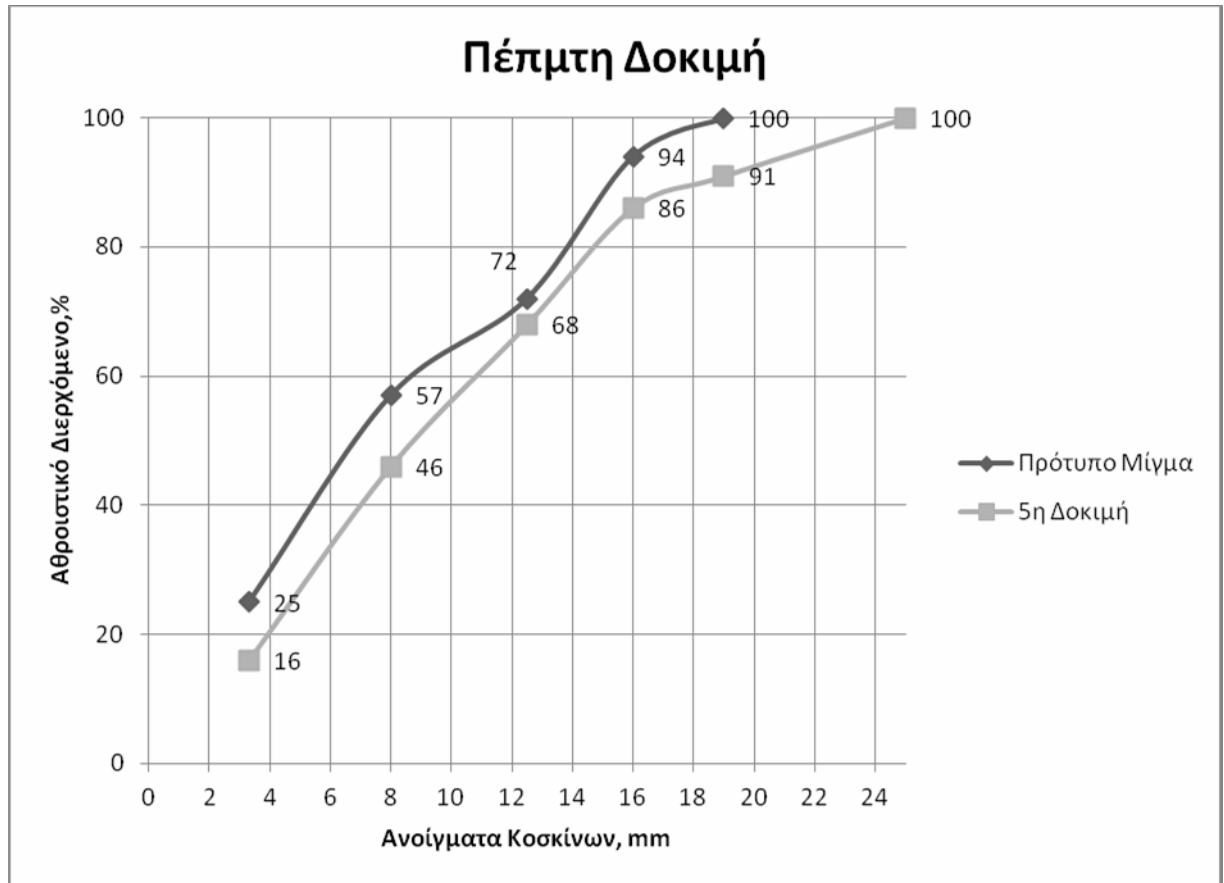
Διάγραμμα 4. 3: Διάγραμμα ταξινόμησης αδρανών σκυροδέματος κατά μέγεθος για τη δεύτερη δοκιμή.



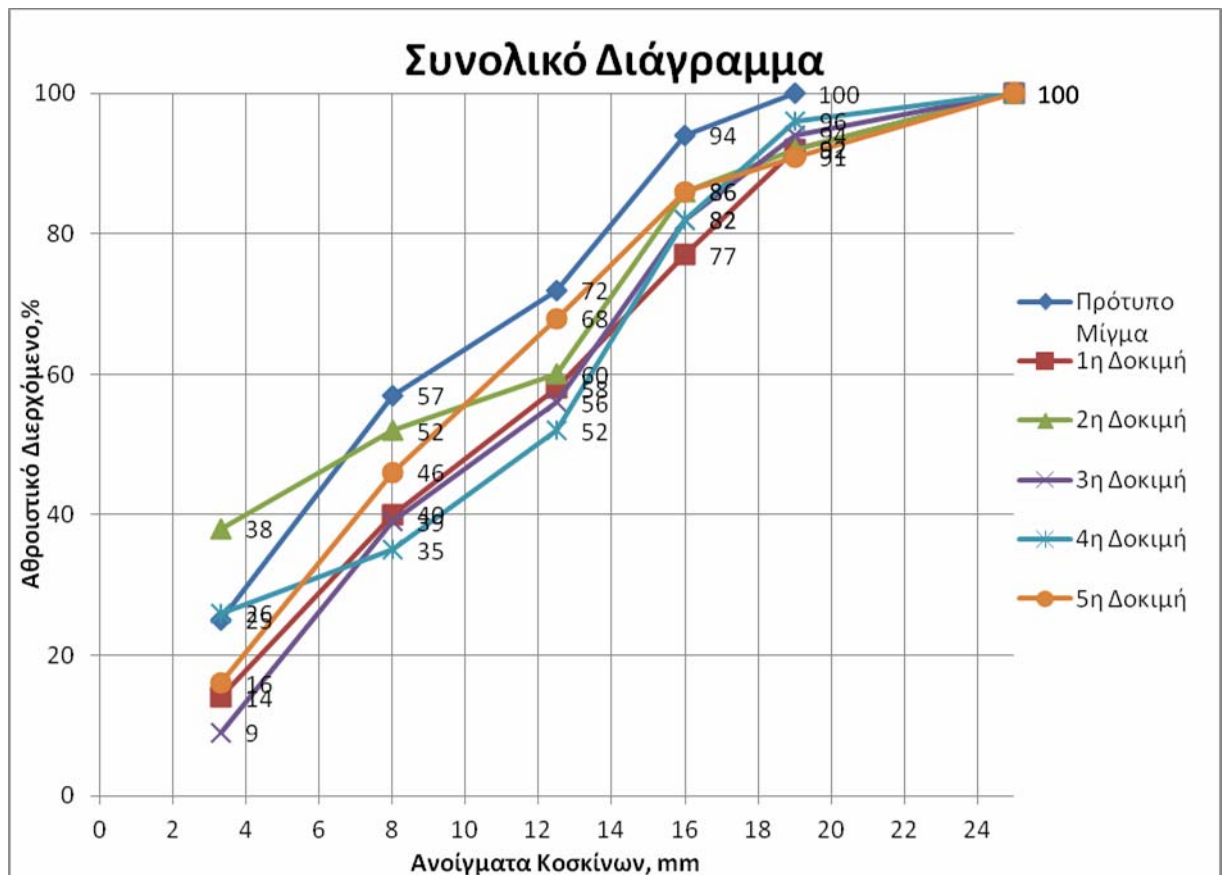
Διάγραμμα 4. 4: Διάγραμμα ταξινόμησης αδρανών σκυροδέματος κατά μέγεθος για την τρίτη δοκιμή.



Διάγραμμα 4. 5: Διάγραμμα ταξινόμησης αδρανών σκυροδέματος κατά μέγεθος για την τέταρτη δοκιμή.



Διάγραμμα 4. 6: Διάγραμμα ταξινόμησης αδρανών σκυροδέματος κατά μέγεθος για την πέμπτη δοκιμή.



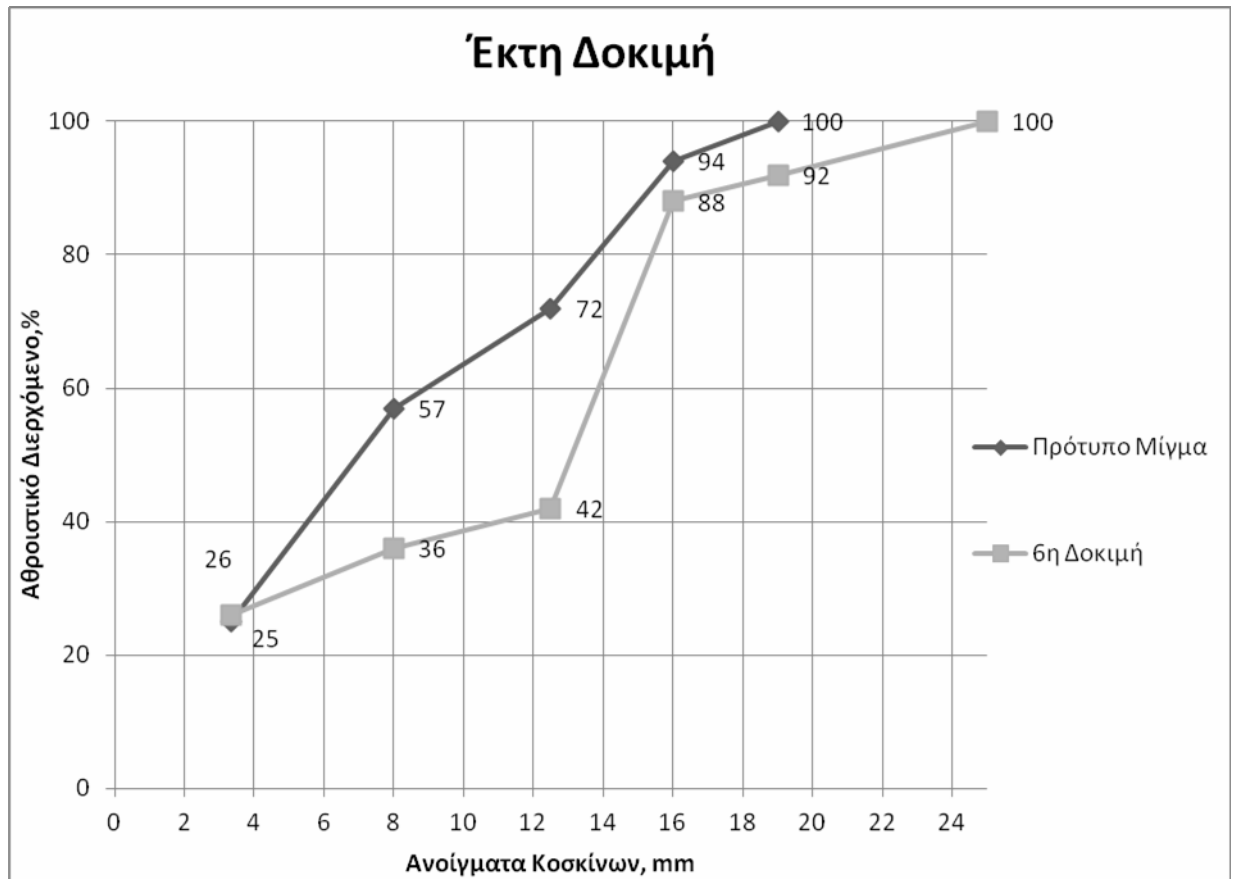
Διάγραμμα 4. 7 Διάγραμμα ταξινόμησης αδρανών σκυροδέματος κατά μέγεθος.

Στον Πίνακα 10 δίνονται οι πέντε τελευταίες δοκιμές.

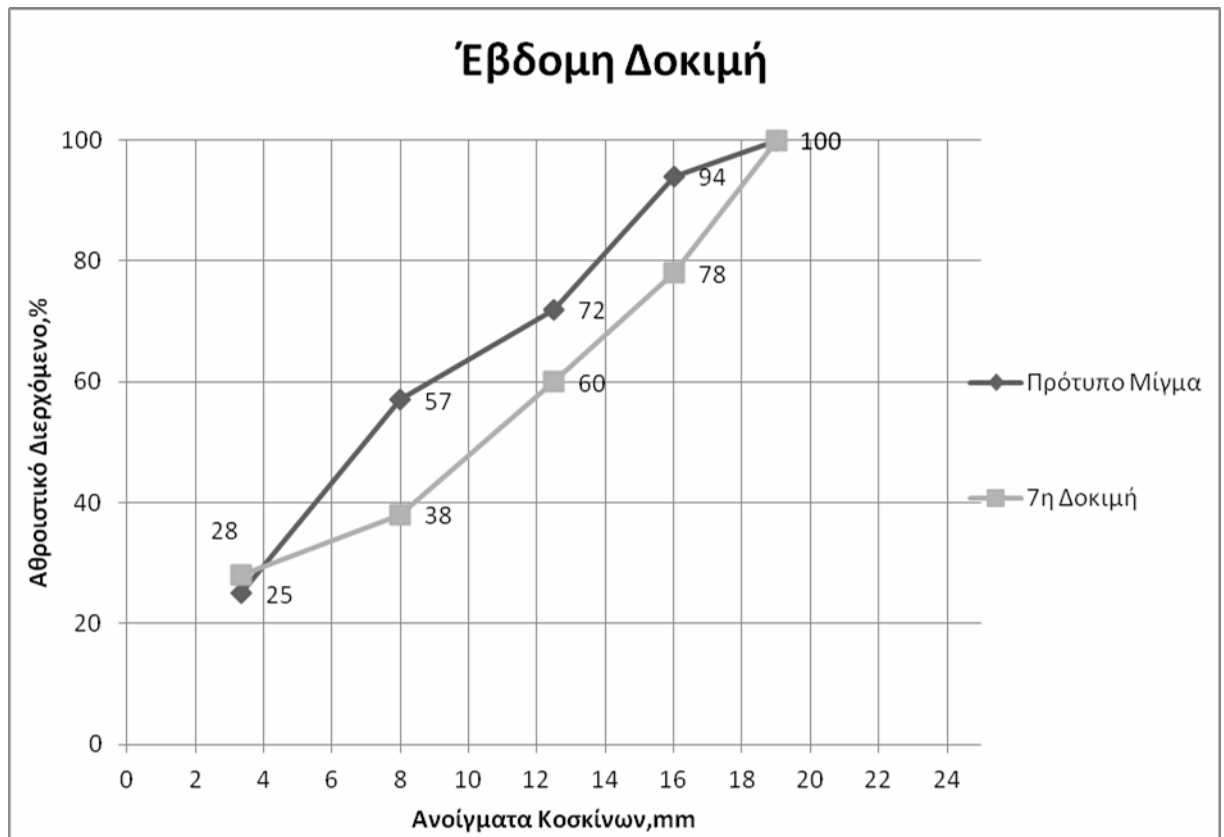
Πίνακας 10: Ποσοστά διάφορων κοκκομετρικών κλασμάτων για τις δοκιμές 6 έως 10

Κοκκομετρικά κλάσματα(mm)	Πρότυπο μίγμα (%)	6η δοκιμή (%)	7η δοκιμή (%)	8η δοκιμή (%)	9η δοκιμή (%)	10η δοκιμή (%)
+25	-	8	-	9	0	2
-25 +19	6	4	22	14	20	24
-19 +16	22	46	18	13	20	18
-16 +12,5	15	6	22	30	20	28
-12,5 +8	32	10	10	4	18	10
-8 +3,3/2,7	25	26	28	30	22	18

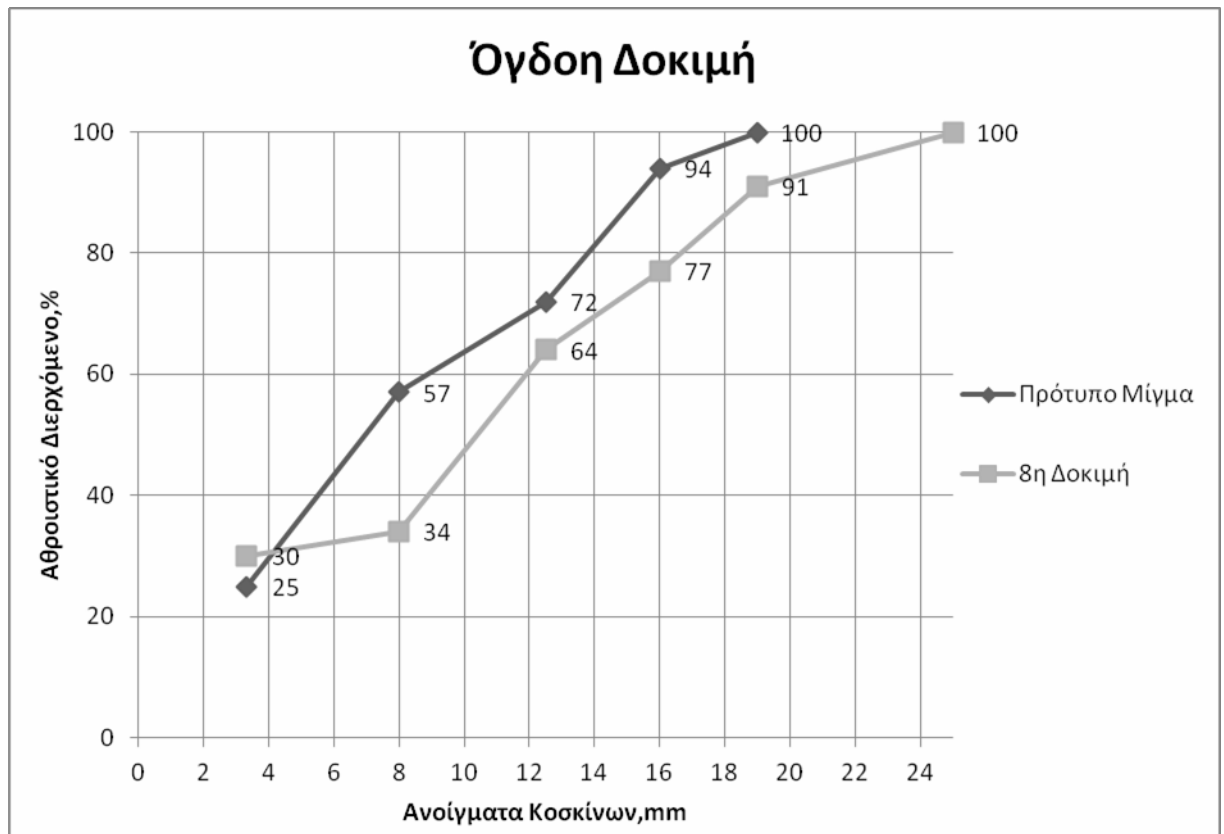
Στα Διαγράμματα 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 που ακολουθούν γίνεται γραφική απεικόνιση της συμπεριφοράς των διάφορων μιγμάτων, ενώ στο διάγραμμα 4.13 παρουσιάζεται το συνδυαστικό διάγραμμα.



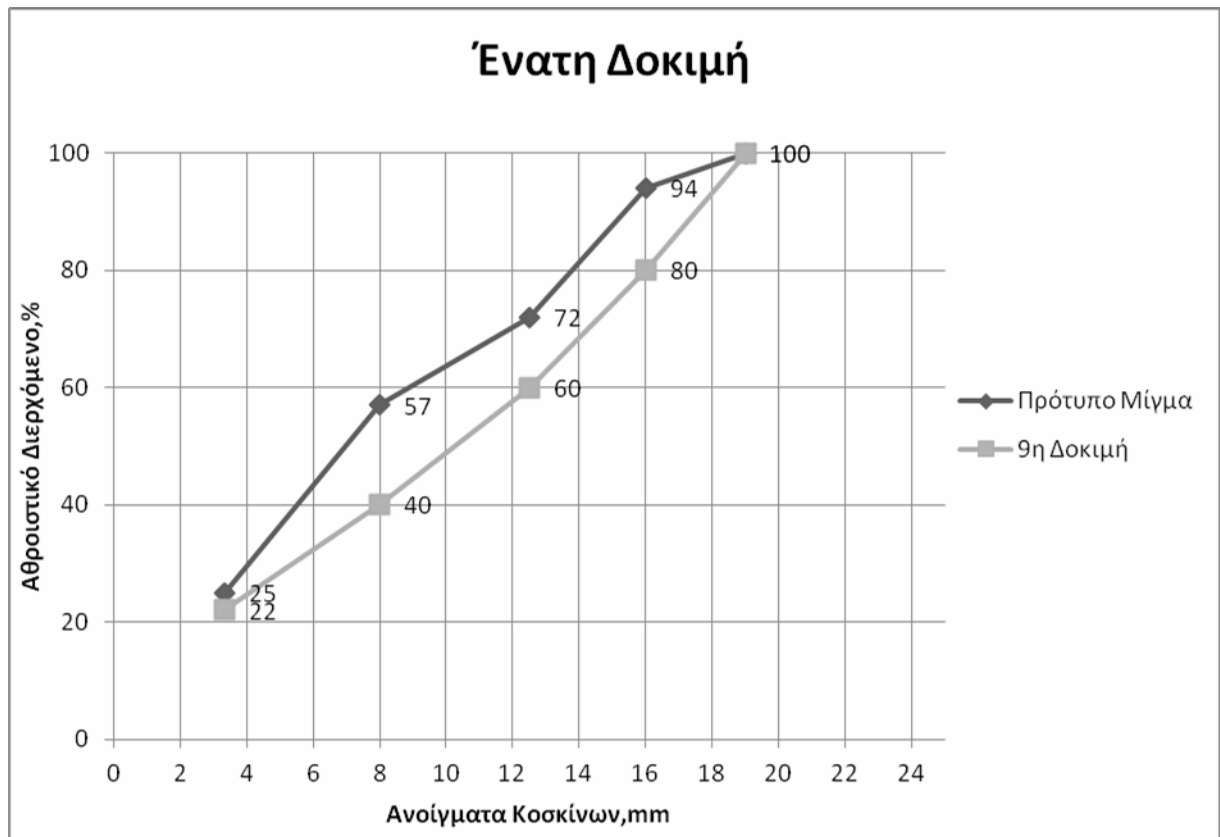
Διάγραμμα 4. 8: Διάγραμμα ταξινόμησης αδρανών σκυροδέματος κατά μέγεθος για την έκτη δοκιμή.



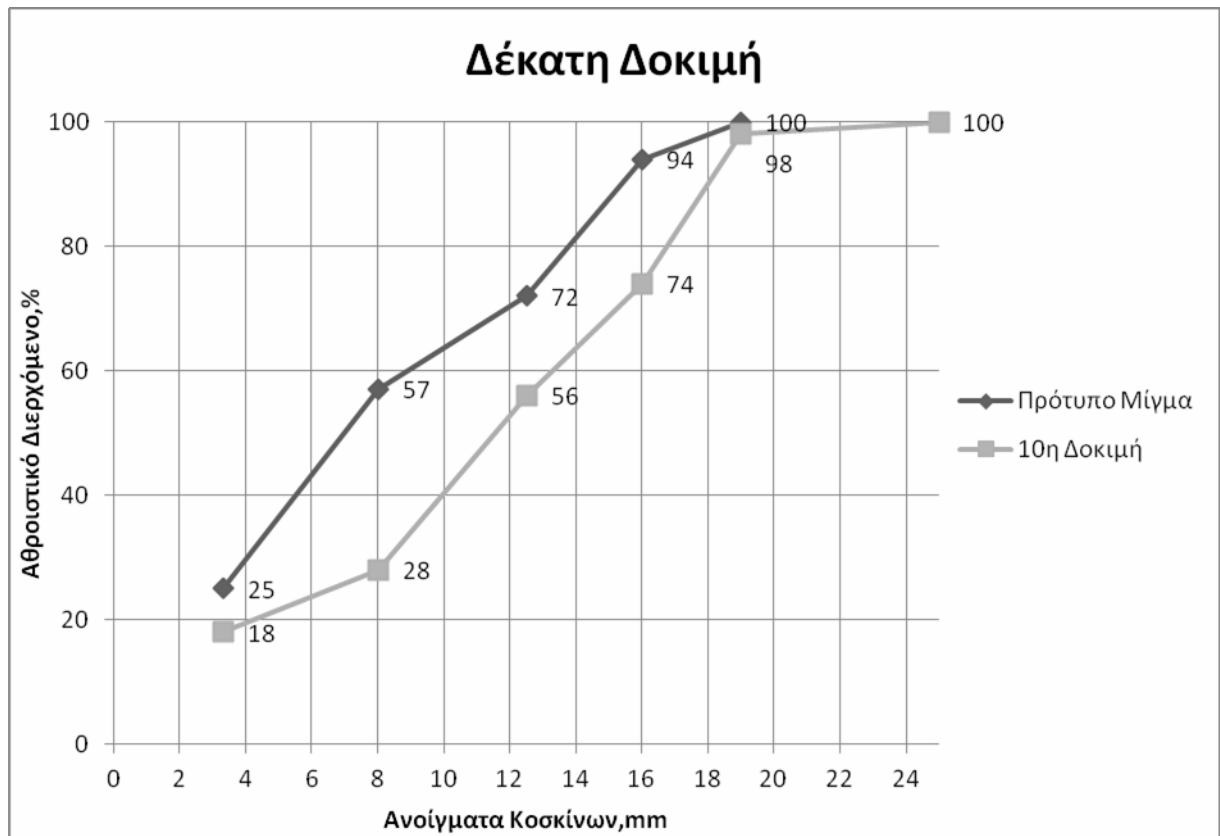
Διάγραμμα 4. 9: Διάγραμμα ταξινόμησης αδρανών σκυροδέματος κατά μέγεθος για την έβδομη δοκιμή.



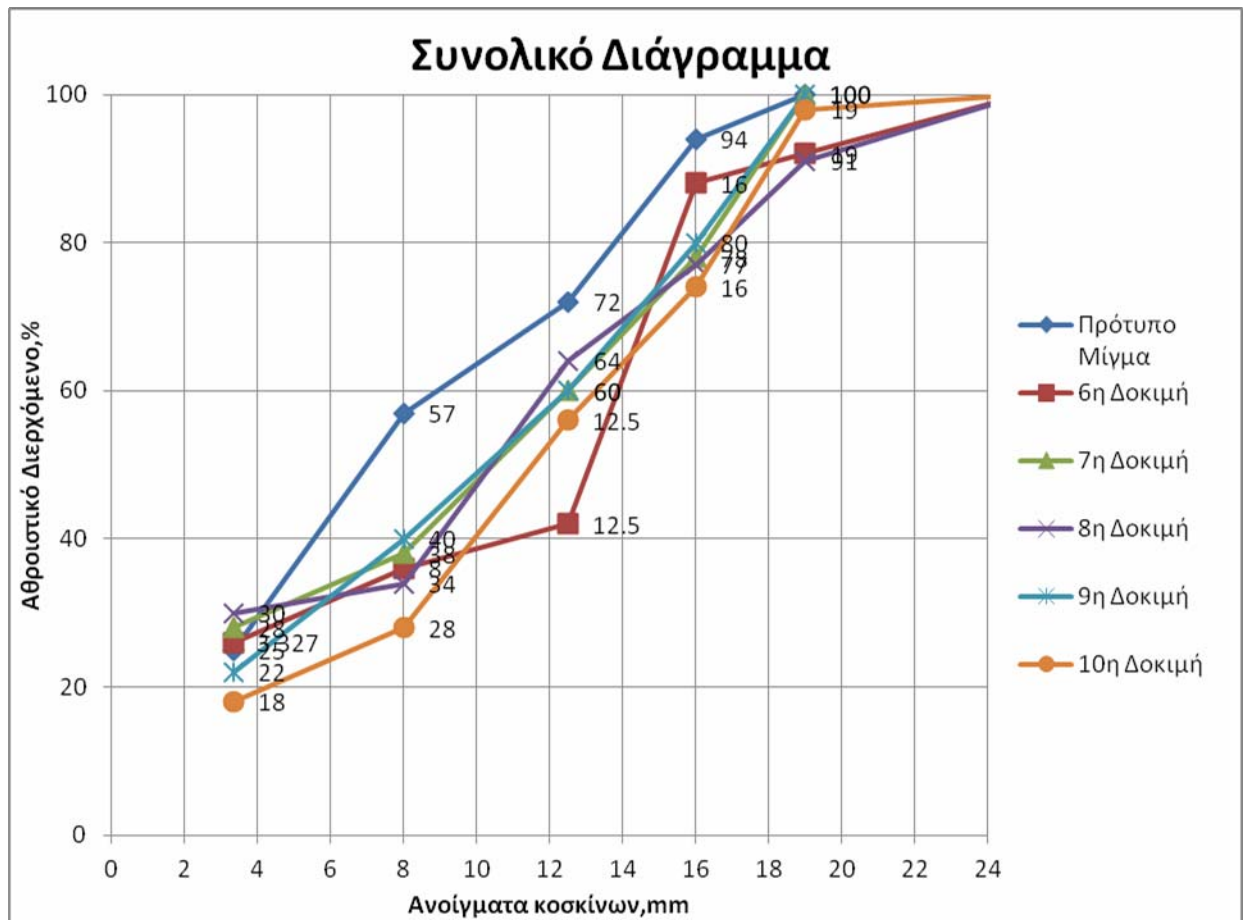
Διάγραμμα 4. 10: Διάγραμμα ταξινόμησης αδρανών σκυροδέματος κατά μέγεθος για την όγδοη δοκιμή.



Διάγραμμα 4. 11: Διάγραμμα ταξινόμησης αδρανών σκυροδέματος κατά μέγεθος για την ένατη δοκιμή.



Διάγραμμα 4. 12: Διάγραμμα ταξινόμησης αδρανών σκυροδέματος κατά μέγεθος για την δέκατη δοκιμή.



Διάγραμμα 4. 13: Διάγραμμα ταξινόμησης αδρανών σκυροδέματος κατά μέγεθος.

4.7 Υπολογισμός όγκου των κενών

Ο υπολογισμός όγκου των κενών έγινε με τη βοήθεια μιας ογκομετρικής φιάλης, έτσι ώστε να προσδιοριστεί η ποσότητα του νερού που απαιτήθηκε για τα δέκα διαφορετικά μίγματα σε σχέση με το πρότυπο μίγμα. Αρχικά, η σύνθεση των αδρανών είχε «δονηθεί» έτσι ώστε να μειωθεί ο όγκος των κενών. Ο Πίνακας 11 δείχνει την ποσότητα του νερού που απαιτήθηκε στις δέκα διαφορετικές συνθέσεις:

Πίνακας 11: Υπολογισμός όγκου κενού των διαφορετικών συνθέσεων

Δοκιμή	Ποσότητα Νερού(lt)
Πρότυπο Μείγμα	1590
1η	1750
2η	1600
3η	1900
4η	1800
5η	1680
6η	1680
7η	1720
8η	1670
9η	1710
10η	1760

4.8 Υπολογισμός φαινόμενης πυκνότητας

Για να μπορεί να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων έτσι ώστε να επιτευχθεί ο βέλτιστος συνδυασμός των διάφορων κοκκομετρικών κλασμάτων υπολογίστηκε η «φαινόμενη» πυκνότητα για κάθε έναν συνδυασμό διαβαθμίσεων αδρανών υλικών.

Η πυκνότητα του ασβεστολιθικού υλικού είναι $2,65 \text{ g/cm}^3$ και η μάζα του υλικού που χρησιμοποιήθηκε είναι 5000 g . Συνεπώς, ο πραγματικός όγκος είναι:

$$\text{Πραγματικός όγκος αδρανών} = \frac{5000 \text{ g}}{2,65 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 1886,8 \text{ cm}^3$$

4.8.1 Πρότυπη σύνθεση

Η περιεχόμενη ποσότητα (όγκος) της τσιμεντόπαστας για την πρότυπη σύνθεση κοκκομετρικών κλασμάτων είναι 1590 cm^3 (όγκος κενών). Ο όγκος σύνθεσης αδρανών με τα κενά υπολογίζεται στα $1590 + 1886,8 = 3476,8 \text{ cm}^3$. Άρα η φαινόμενη πυκνότητα της σύνθεσης είναι:

$$\text{Φαινόμενη πυκνότητα} = \frac{5000 \text{ g}}{3476,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 1,438 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

4.8.2 Πρώτη δοκιμή

Η περιεχόμενη ποσότητα (όγκος) της τσιμεντόπαστας για την πρώτη σύνθεση κοκκομετρικών κλασμάτων είναι 1750 cm^3 . Ο όγκος σύνθεσης αδρανών με τα κενά υπολογίζεται στα $1750 + 1886,8 = 3636,8 \text{ cm}^3$. Άρα η φαινόμενη πυκνότητα της σύνθεσης είναι :

$$\text{Φαινόμενη πυκνότητα} = \frac{5000 \text{ g}}{3636,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 1,375 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

4.8.3 Δεύτερη δοκιμή

Η περιεχόμενη ποσότητα (όγκος) της τσιμεντόπαστας για την *δεύτερη* σύνθεση κοκκομετρικών κλασμάτων είναι 1600 cm³. Ο όγκος σύνθεσης αδρανών με τα κενά υπολογίζεται στα 1600 + 1886,8 = 3486,8 cm³. Άρα η φαινόμενη ποκνότητα της σύνθεσης είναι :

$$\text{Φαινόμενη πυκνότητα} = \frac{5000 \text{ g}}{3486,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 1,434 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

4.8.4 Τρίτη δοκιμή

Η περιεχόμενη ποσότητα (όγκος) της τσιμεντόπαστας για την *τρίτη* σύνθεση κοκκομετρικών κλασμάτων είναι 1900 cm³. Ο όγκος σύνθεσης αδρανών με τα κενά υπολογίζεται στα 1900 + 1886,8 = 3786,8 cm³. Άρα η φαινόμενη ποκνότητα της σύνθεσης είναι :

$$\text{Φαινόμενη πυκνότητα} = \frac{5000 \text{ g}}{3786,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 1,320 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

4.8.5 Τέταρτη δοκιμή

Η περιεχόμενη ποσότητα (όγκος) της τσιμεντόπαστας για την *τέταρτη* σύνθεση κοκκομετρικών κλασμάτων είναι 1800 cm³. Ο όγκος σύνθεσης αδρανών με τα κενά υπολογίζεται στα 1800 + 1886,8 = 3686,8 cm³. Άρα η φαινόμενη ποκνότητα της σύνθεσης είναι :

$$\text{Φαινόμενη πυκνότητα} = \frac{5000 \text{ g}}{3686,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 1,356 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

4.8.6 Πέμπτη δοκιμή

Η περιεχόμενη ποσότητα (όγκος) της τοιμεντόπαστας για την *πέμπτη* σύνθεση κοκκομετρικών κλασμάτων είναι 1680 cm³. Ο όγκος σύνθεσης αδρανών με τα κενά υπολογίζεται στα 1680 + 1886,8 = 3566,8 cm³. Άρα η φαινόμενη πυκνότητα της σύνθεσης είναι :

$$\text{Φαινόμενη πυκνότητα} = \frac{5000 \text{ g}}{3566,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 1,402 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

4.8.7 Έκτη δοκιμή

Η περιεχόμενη ποσότητα (όγκος) της τοιμεντόπαστας για την *έκτη* σύνθεση κοκκομετρικών κλασμάτων είναι 1680 cm³. Ο όγκος σύνθεσης αδρανών με τα κενά υπολογίζεται στα 1680 + 1886,8 = 3566,8 cm³. Άρα η φαινόμενη πυκνότητα της σύνθεσης είναι :

$$\text{Φαινόμενη πυκνότητα} = \frac{5000 \text{ g}}{3566,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 1,402 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

4.8.8 Έβδομη δοκιμή

Η περιεχόμενη ποσότητα (όγκος) της τοιμεντόπαστας για την *έβδομη* σύνθεση κοκκομετρικών κλασμάτων είναι 1720 cm³. Ο όγκος σύνθεσης αδρανών με τα κενά υπολογίζεται στα 1720 + 1886,8 = 3606,8 cm³. Άρα η φαινόμενη πυκνότητα της σύνθεσης είναι :

$$\text{Φαινόμενη πυκνότητα} = \frac{5000 \text{ g}}{3606,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 1,386 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

4.8.9 Όγδοη δοκιμή

Η περιεχόμενη ποσότητα (όγκος) της τσιμεντόπαστας για την *όγδοη* σύνθεση κοκκομετρικών κλασμάτων είναι 1670 cm³. Ο όγκος σύνθεσης αδρανών με τα κενά υπολογίζεται στα 1670 + 1886,8 = 3556,8 cm³. Άρα η φαινόμενη ποκνότητα της σύνθεσης είναι :

$$\text{Φαινόμενη πυκνότητα} = \frac{5000 \text{ g}}{3556,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 1,406 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

4.8.10 Ένατη δοκιμή

Η περιεχόμενη ποσότητα (όγκος) της τσιμεντόπαστας για την *ένατη* σύνθεση κοκκομετρικών κλασμάτων είναι 1710 cm³. Ο όγκος σύνθεσης αδρανών με τα κενά υπολογίζεται στα 1710 + 1886,8 = 3596,8 cm³. Άρα η φαινόμενη ποκνότητα της σύνθεσης είναι :

$$\text{Φαινόμενη πυκνότητα} = \frac{5000 \text{ g}}{3596,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 1,390 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

4.8.11 Δέκατη δοκιμή

Η περιεχόμενη ποσότητα (όγκος) της τσιμεντόπαστας για τη *δέκατη* σύνθεση κοκκομετρικών κλασμάτων είναι 1760 cm³. Ο όγκος σύνθεσης αδρανών με τα κενά υπολογίζεται στα 1760 + 1886,8 = 3646,8 cm³. Άρα η φαινόμενη ποκνότητα της σύνθεσης είναι :

$$\text{Φαινόμενη πυκνότητα} = \frac{5000 \text{ g}}{3646,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 1,371 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Στον Πίνακα 12 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα της «φαινόμενης» πυκνότητας για όλες τις δοκιμές (διαφορετικές συνθέσεις).

Πίνακας 12: Φαινόμενη πυκνότητα των διάφορων μιγμάτων

Δοκιμή	Φαινόμενη πυκνότητα
Πρότυπο Μείγμα	1,438
1 ^η	1,375
2 ^η	1,434
3 ^η	1,320
4 ^η	1,356
5 ^η	1,402
6 ^η	1,402
7 ^η	1,386
8 ^η	1,406
9 ^η	1,390
10 ^η	1,371

5. Αποτελέσματα & Συζήτηση

Τα σημαντικότερα συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν από την εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας συνοψίζονται στη συνέχεια:

Είναι γεγονός, ότι όσο μεγαλύτερη είναι η «φαινόμενη» πυκνότητα, τόσο μικρότερη ποσότητα τσιμεντόπαστας απαιτείται. Το μίγμα που προσεγγίζει περισσότερο το πρότυπο μίγμα είναι ο δεύτερος συνδυασμός των κοκκομετρικών κλασμάτων. Σε αυτό το μίγμα έχει γίνει χρήση χονδρομερούς υλικού σε ικανοποιητικό βαθμό σε σχέση με το πρότυπο μίγμα. Στο δεύτερο μίγμα, εμφανίζεται ομαλή διαβάθμιση κοκκομετρικών κλασμάτων, χωρίς μεγάλα κενά. Επιπλέον, η χρήση χονδρομερούς υλικού εξασφαλίζει τη μέγιστη αντοχή στο παραγόμενο σκυρόδεμα και την ανάγκη χρήσης μικρότερης ποσότητας τσιμεντόπαστας με προφανή μείωση του κόστους του σκυροδέματος.

Ενώ, το μίγμα που παρουσιάζει την χαμηλότερη «φαινόμενη» πυκνότητα είναι σε αυτό στο οποίο έχει γίνει περιορισμένη χρήση λεπτομερούς υλικού. Όσο αυξάνεται το ποσοστό των λεπτομερών υλικών στο μίγμα, παρατηρείται μείωση των κενών, που σημαίνει μικρότερη ποσότητα τσιμεντοκονίας. Τα λεπτομερή αδρανή χρησιμοποιούνται για την πλήρωση των κενών μεταξύ των χονδρομερών αδρανών με στόχο να αυξήσουν την εργασιμότητα του μίγματος τους σκυροδέματος και να ελαττώσουν τον όγκο των κενών που καλύπτεται από την τσιμεντόπαστα, γεγονός που έχει προφανώς θετικό οικονομικό αποτέλεσμα στο κόστος παραγωγής του σκυροδέματος.

Βρέθηκε ότι και με τη χρήση σημαντικού ποσοστού χονδρομερούς υλικού μπορεί να επιτευχθεί μείωση κενών του υλικού.

Επίσης, όπως επισημάνθηκε παραπάνω, με μειωμένο ποσοστό (χρήση) λεπτομερούς υλικού παρατηρήθηκε χαμηλή «φαινόμενη» πυκνότητα, δηλαδή αύξηση των κενών του υλικού, γεγονός που είναι προφανές ότι θα οδηγήσει σε αυξημένες απαιτήσεις τσιμεντόπαστας.

6. Προτάσεις Για Περαιτέρω Έρευνα

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία έγινε προσδιορισμός του «πορώδους» της σύνθεσης δέκα διαφορετικών μιγμάτων από έξι κοκκομετρικά κλάσματα θραυσμένου ασβεστολιθικού υλικού.

Βέβαια στον χρόνο που αναλογούσε για την εκπόνηση της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας, δεν ήταν δυνατόν να εξεταστούν όλες οι επιστημονικές πτυχές του θέματος. Για το λόγο αυτό προτείνονται ορισμένα θέματα, που θα μπορούσαν να αποτελέσουν έναυσμα για νέους ερευνητές.

❖ Θα ήταν ενδιαφέρον λοιπόν, η δημιουργία όμοιων με τη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία σύνθεσης αδρανών και προσθήκη τσιμεντοκονίας ώστε να παραχθούν δοκίμια τα οποία μετά από ενδεδειγμένη συντήρηση (θερμοκρασίας και υγρασίας) να θραυστούν έτσι ώστε να αξιολογηθεί η αντοχή τους σε μονοαξονική θλίψη.

❖ Η παραγωγή μιγμάτων διαφορετικής σύνθεσης κοκκομετρικών κλασμάτων αδρανών υλικών.

❖ Προσδιορισμός βέλτιστης σύνθεσης αδρανών με τη χρήση άλλων μεθόδων, όπως τη χρήση δείκτη χονδρομερούς/εργασιμότητας.



7. Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της Διπλωματικής αυτής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Καθηγητή μου Δρ. Τσακαλάκη Κωνσταντίνο για την ανάθεση αυτού του ενδιαφέροντος θέματος, για την πολύτιμη επιστημονική βοήθεια που μου παρείχε, τις χρήσιμες υποδείξεις του, καθώς επίσης και για το χρόνο που μου αφιέρωσε καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Σαμμά Ηλία, Μηχανικό Μεταλλείων Μεταλλουργό για την επίβλεψη και τη πολύτιμη βοήθεια του στη διεξαγωγή των εργαστηριακών δοκιμών.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον Καθηγητή κ. Δρ. Σ. Τσίμα και στον Λέκτορα κ. Δρ. Ε. Μπαδογιάννη, μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής.

Τελειώνοντας, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου και ιδιαίτερα στη μητέρα μου, για την αμέριστη βοήθεια και συμπαράσταση της, στους φίλους μου καθώς και στη συμφοιτήτρια μου Δανάη Τσακίρη για την άψογη συνεργασία που είχαμε.

8. Βιβλιογραφία

- 1) Τοίμας Σ. & Τσιβιλής Σ., (2010). Επιστήμη και τεχνολογία τσιμέντου. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ. Πολυτεχνείου.
- 2) Τσακαλάκης Κ., (2010). Τεχνολογία παραγωγής τσιμέντου και σκυροδέματος. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Ε.Μ. Πολυτεχνείου. Αθήνα.
- 3) Σταμπολτζής Γ., (1994). Μηχανική προπαρασκευή μεταλλευμάτων βιομηχανικών ορυκτών και πετρωμάτων. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Ε.Μ. Πολυτεχνείου. Αθήνα.
- 4) Determination of aggregates shape properties using X-Ray tomographic methods and the effect of shape on concrete materials
- 5) Colorado procedure 60-93. Standard method for: Determining surface moisture in fine and coarse aggregates.
- 6) Controls. Determination of flakiness index (D540 - D541 thickness and length gauge).
- 7) June 1990. Concrete mixture optimization.
- 8) ASTM. Designation: C30 -03. Standard specification for concrete aggregates.
- 9) Popovics Sandor. (1992). Concrete Materials properties specification and testing. 2nd Edition. Noyes Publication.
- 10) http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_AGGREGATES

- 11) Ζευγώλης, Μ. Ν. (2003). Τεχνολογία προστασίας περιβάλλοντος στη βιομηχανία. Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών, Ε. Μ. Π., Αθήνα
- 12) Σιμιτζής, Ι. Χ. (2009). Βασικές εργαστηριακές ασκήσεις υλικών. Σχολή Χημικών Μηχανικών, Ε. Μ. Π., Αθήνα.

Ανδριανάκη Βασιλική

Διεύθυνση: Ιωνίας 12 - Πανόραμα Παλλήνης
Τηλ.: 210 - 6043402 / 694-4229721
E-mail: andvasia@yahoo.gr
Ημερομηνία Γέννησης : 28/11/1987
Οικογενειακή Κατάσταση: Άγαμη

ΣΠΟΥΔΕΣ

6^ο Λύκειο Καλλιθέας

9/2002 - 6/2005

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Αθήνας

9/2005-10/2010

Μηχανικός Μεταλλειολόγος Μεταλλουργός, Κατεύθυνση «Επιστήμη Και Τεχνολογία Υλικών»

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Αθήνας

10/2010 – Σήμερα(Φεβρουάριος 2012)

MSc Επιστήμη Και Τεχνολογία Υλικών, Σχολή Χημικών Μηχανικών

ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

Πρακτική Άσκηση στο «Ελληνικό Κέντρο Έρευνας Μετάλλων»

Εργαστήριο Μεταλλογνώσιας : Ανάπτυξη, δομή, τεχνολογικές ιδιότητες, μετασχηματισμοί φάσεων και σχέσεις δομής - ιδιοτήτων κυρίως σε μεταλλικά υλικά)

1/07/2009-31/07/2009

Πρακτική Άσκηση στα «ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΑΜΥΝΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΒΕΕ(ΕΒΟ-ΠΥΡΚΑΛ)»

Εργοστάσιο παραγωγής καλύκων, κενών κορμών και μεταλλικών μερών πυρομαχικών

9/07/2007-10/08/2007

ΣΕΜΙΝΑΡΙΑ

Παρακολούθηση Σεμιναρίου με τίτλο «Οικονομία-Διοίκηση-Επιχειρήσεις»

Φεβρουάριος 2011 – Δεκέμβριος 2011

Παρακολούθηση του 4^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Μεταλλικών Υλικών στην Θεσσαλονίκη

Νοέμβριος 2010

Παρακολούθηση Σεμιναρίου Μεταλλουργίας – Επιστήμης των Υλικών Αβάνα, Κούβα

Ιούνιος 2010

Παρακολούθηση του 5^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Κεραμικών Υλικών στο Ε.Μ.Π.

Οκτώβριος 2010

Παρακολούθηση Σεμιναρίου ετήσιας διάρκειας με τίτλο «Θέματα ειδικής αγωγής: Μαθησιακές δυσκολίες»

Σεπτέμβριος 2009 - Ιούνιος 2010

Παρακολούθηση του 11th ACCUUS International Conference στο Λαύριο

Οκτώβριος 2007

ΓΝΩΣΕΙΣ ΞΕΝΩΝ ΓΛΩΣΣΩΝ

Αγγλικά	Άριστα (Proficiency,C2)
Ισπανικά	Καλή (Επίπεδο Inicial,B1)
Γαλλικά	Στοιχειώδη

ΓΝΩΣΕΙΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Office Applications (IC³, Certification), Crystallographica

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΟΡΓΑΝΩΣΕΙΣ

Μέλος του Συλλόγου Διπλωματούχων Μηχανικών Μεταλλείων και Μηχανικών Μεταλλουργών

Απρίλιος 2011

Μέλος του Τ.Ε.Ε.

Μάρτιος 2011

ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΑ

Ταξίδια, Μουσική, Κινηματογράφος