



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
ΜΕ ΑΝΑΜΕΙΚΤΑ ΑΔΡΑΝΗ”**

Επιμέλεια Εργασίας : Δανάη Κακούρα

Επιβλέπων Καθηγητής : Αθανάσιος Αυτουσμής

ΑΘΗΝΑ 2021

Τίτλος: Διερεύνηση φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων σκυροδέματος με ανάμεικτα αδρανή

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

ΟΝΟΜ/ΝΥΜΟ ΚΑΘΗΓΗΤΗ	ΥΠΟΓΡΑΦΗ
ΑΥΤΟΥΣΙΜΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Καθηγητής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών (Επιβλέπων)	
ΚΕΡΠΕΛΗΣ ΠΛΟΥΤΑΡΧΟΣ Καθηγητής Εφαρμογών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών (Μέλος Τριμελούς Επιτροπής)	
ΔΕΝΕΖΑΚΗ ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ Καθηγήτρια του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών (Μέλος Τριμελούς Επιτροπής)	

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε από την Δανάη Κακούρα, στο πλαίσιο των σπουδών της στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, υπό την επίβλεψη και με τη συνδρομή του Καθηγητή κ. Αθανάσιου Αυτουσμή.

Η εργασία επιχειρεί, καταρχάς, να αποτυπώσει τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του σκυροδέματος, στη σύνθεση του οποίου συμμετέχουν αδρανή υλικά, σε διαφορετικές αναλογίες. Συγκεκριμένα, τα αδρανή υλικά που επελέγησαν είναι ο ασβεστόλιθος, ως συμβατό αδρανές, και ο ζεόλιθος, λόγω των ιδιαίτερων φυσικών ιδιοτήτων του.

Θα ήθελα στο σημείο αυτό να διευκρινίσω ότι το ενδιαφέρον μου για τη διερεύνηση των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος υπό το πρίσμα συμμετοχής σε αυτό διαφορετικών αδρανών υλικών, ξεκίνησε κατά την παρακολούθηση του εργαστηριακού μαθήματος «Εργαστηριακοί Έλεγχοι Οπλισμένου Σκυροδέματος». Στο πλαίσιο του μαθήματος αυτού, διαπίστωνα ότι ο τομέας των πειραματικών δοκιμών, λόγω του πρακτικού χαρακτήρα του, με ενδιαφέρει ιδιαίτερα και θα ήθελα να ασχοληθώ με αυτόν περαιτέρω, είτε σε επίπεδο μεταπτυχιακών σπουδών είτε και επαγγελματικά, εφόσον μου δοθεί η ευκαιρία.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Καθηγητή κ. Αθανάσιο Αυτουσμή, για τη συμβολή του στην εκπόνηση της εργασίας αυτής, ο οποίος, παρά τις ιδιαίτερες συνθήκες και τις δυσχέρειες λόγω της αναστολής λειτουργίας των εργαστηρίων της Σχολής κατά το τρέχον ακαδημαϊκό έτος, με καθοδήγησε με προθυμία και επάρκεια κατά τη διάρκεια όλων των σταδίων εκπόνησης της εργασίας μου, ιδίως δε σε ό,τι αφορά στο πειραματικό μέρος αυτής.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	ΣΕΛ.
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	9
EXECUTIVE SUMMARY.....	10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	13
1.1 Σύσταση και βασικές ιδιότητες.....	13
1.2 Χρήσεις σκυροδέματος.....	13
1.3 Κατηγορίες σκυροδέματος	14
1.4 Υλικά παρασκευής σκυροδέματος	16
1.4.1 Τσιμέντο	16
1.4.1.1 Τύποι τσιμέντων	17
1.4.1.2 Ποσότητα τσιμέντου	19
1.4.1.3 Κατηγορίες αντοχής τσιμέντων	19
1.4.2 Νερό	21
1.4.2.1 Λόγος νερού - τσιμέντου	22
1.4.3 Αδρανή Υλικά	22
1.4.3.1 Γενικά	22
1.4.3.2 Μορφή και μέγεθος των κόκκων	23
1.4.3.3 Αντοχή των αδρανών	24
1.4.4 Πρόσμικτα Υλικά	24
1.4.5 Πρόσθετα Υλικά	26
1.5 Ανθεκτικότητα σκυροδέματος	26

1.6	Σκυροδέματα με ελαφρά αδρανή	28
-----	------------------------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

ΖΕΟΛΙΘΟΣ – ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	31
--------------------------------------	-----------

2.1	Ζεόλιθος	31
2.1.1	Προέλευση ζεόλιθου	31
2.1.2	Ο ζεόλιθος στη βιομηχανία του τσιμέντου και του σκυροδέματος.....	33
2.1.3	Δομή πλαισίου του ζεόλιθου	33
2.1.4	Σχηματισμός ζεόλιθων	35
2.1.5	Χρήσεις ζεόλιθου	35
2.2	Ασβεστόλιθος	36
2.2.1	Προέλευση και γενικά χαρακτηριστικά	36
2.2.2	Ιδιότητες ασβεστόλιθου	37
2.2.3	Χρήσεις ασβεστόλιθου	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°

ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	40
--	-----------

3.1	Μελέτη συνθέσεως σκυροδέματος	40
3.2	Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος	40
3.2.1	Εξίδρωση	40
3.2.2	Απόμειξη	42
3.2.3	Εργάσιμο	42
3.2.3.1	Μέτρηση του εργάσιμου του σκυροδέματος	43
3.3	Συντήρηση σκυροδέματος	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	49
--	-----------

4.1	Μέθοδοι προσδιορισμού αντοχής (ΚΑΝΕΠΕ 3.7.12)	49
-----	---	----

4.2	Μέθοδος Υπερήχων	50
4.2.1	Εξοπλισμός.....	50
4.2.2	Μεθοδολογία εφαρμογής.....	51
4.2.3	Παράγοντες που επηρεάζουν τις μετρήσεις της ταχύτητας του παλμού	54
4.3	Μέθοδος κρουσίμετρου	56
4.3.1	Παράγοντες επιρροής αποτελεσμάτων με τη μέθοδο του κρουσίμετρου..	57
4.3.2	Δείκτης κρουσιμέτρησης R	59
4.3.3	Στάδια δοκιμής κρουσίμετρου	60
4.3.4	Αποφυγή σφαλμάτων.....	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	63	
5.1	Μεθοδολογία	63
5.2	Ποσότητες Υλικών	63
5.3	Διαδικασία παρασκευής δοκιμίων	65
5.3.1	Παρασκευή σκυροδέματος	65
5.3.2	Μέτρηση εργάσιμου	67
5.3.3	Παρασκευή δοκιμίων.....	69
5.4	Ξεκαλούπωμα και συντήρηση δοκιμίων	71
5.5	Μη καταστροφικοί έλεγχοι	72
5.5.1	Μέθοδος των υπερήχων	72
5.5.2	Μέθοδος κρουσίμετρου	78
5.5.3	Σύγκριση αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων	86

5.5.4 Μηχανή θραύσης δοκιμών	87
5.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	89
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	91
ΕΛΛΗΝΙΚΗ	91
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ.....	96
ΠΙΝΑΚΕΣ	ΣΕΛ.
Πίνακας 1: Είδη σκυροδέματος.....	14
Πίνακας 2:Κατηγορίες δοκιμών και επιμέρους χαρακτηριστικά.....	15
Πίνακας 3: Τύποι Τσιμέντων.....	17
Πίνακας 4: Συμβολισμός πρόσθετων υλικών.....	18
Πίνακας 5: Ιδιότητες ελαφρών σκυροδεμάτων.....	29
Πίνακας 6: Φυσικές ιδιότητες Ασβεστόλιθου.....	38
Πίνακας 7:Βασικοί χαρακτηρισμοί ασβεστόλιθου.....	38
Πίνακας 8: Κατηγορίες κάθισης.....	47
Πίνακας 9: Μέθοδοι εξασφάλισης υγρασίας.....	48
Πίνακας 10: Επίδραση της συντήρησης στην ταχύτητα των υπερήχων.....	54
Πίνακας 11: Ποσοστό διόρθωσης ταχύτητας υπερήχων συναρτήσει επικρατούσης θερμοκρασίας και υγρασίας.....	54
Πίνακας 12: Ποιοτική κατάταξη σκυροδέματος αναλόγως της μετρούμενης ταχύτητας υπερήχων.....	56
Πίνακας 13: Επίδραση της διεύθυνσης κρουσιμέτρησης στην ένδειξη του κρουσίμετρου...59	

Πίνακας 14: Ανάλυση για 1m ³	64
Πίνακας 15: Τελικές ποσότητες κυβικών δοκιμίων	64
Πίνακας 16: Εγγραφή αποτελεσμάτων κοκκομετρικής ανάλυσης συμβατικών αδρανών.....	66
Πίνακας 17: Μετρήσεις υπερήχων.....	73
Πίνακας 18: Τελικές θλιπτικές αντοχές δοκιμίων με την μέθοδο των υπερήχων.....	78
Πίνακας 19: Μετρήσεις κρουσίμετρου.....	79
Πίνακας 20: Τελικές θλιπτικές αντοχές δοκιμίων με την μέθοδο του κρουσίμετρου.....	84
Πίνακας 21: Αντοχές των επτά δοκιμίων.....	88

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

ΣΕΛ.

Διάγραμμα 1: Μεταβολή μέσης θλιπτικής αντοχής Σκυροδέματος συναρτήσει της ένδειξης R του κρουσίμετρου.....	60
Διάγραμμα 2: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών.....	67
Διάγραμμα 3: Καμπύλη ΤΡΕΖΟΥ.....	74
Διάγραμμα 4: Τελικές θλιπτικές αντοχές (υπέρηχοι)	78
Διάγραμμα 5: Τελικές θλιπτικές αντοχές (κρουσίμετρο)	84
Διάγραμμα 6: Σύγκριση αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.....	86
Διάγραμμα 7: Αντοχές των επτά δοκιμίων.....	88

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με σκοπό την αποτύπωση των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος, στη σύνθεση του οποίου συμμετέχουν αδρανή υλικά, σε διαφορετικές αναλογίες, επελέγησαν ως αδρανή υλικά ο ασβεστόλιθος, ως συμβατό αδρανές, και ο ζεόλιθος, ως σύνθετο αδρανές, λόγω των ιδιαίτερων φυσικών ιδιοτήτων του.

Μετά από θεωρητική ανασκόπηση των εννοιών του σκυροδέματος, του ασβεστόλιθου και του ζεόλιθου, της Μελέτης Συνθέσεως του σκυροδέματος, όπως αυτή καθορίζεται από τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος, καθώς και τις ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος αλλά και της μελέτης της εκτίμησης της αντοχής του με τη χρήση έμμεσων μεθόδων, οδηγούμαστε στο πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας, κατά το οποίο διερευνάται η αντοχή 6+1 δοκιμίων με διαφορετική σύσταση αδρανών.

Τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας, συνοπτικά παρουσιαζόμενα, οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι σύνθετα αδρανή, όπως στην περίπτωσή μας ο ζεόλιθος, έχουν μεγαλύτερη απαίτηση σε νερό σε σχέση με τα συμβατά αδρανή, όπως στην περίπτωσή μας ο ασβεστόλιθος, συμπέρασμα που επιβεβαιώνεται και με οπτική παρατήρηση κατά την παρασκευή των δοκιμίων και το γεγονός αυτό επηρεάζει δυσμενώς την αντοχή του σκυροδέματος.

EXECUTIVE SUMMARY

In order to capture the physical and mechanical properties of the concrete, in which inert materials are composed, in different proportions, limestone, as compatible inert, and zeolite, as composite inert, was chosen as composite inert due to its specific physical properties.

After a theoretical review of the concepts of concrete, limestone and zeolite, the concrete composition study, as defined by the Concrete Technology Regulation, and the properties of the fresh concrete and the study of its resistance assessment using indirect methods, we are led to the experimental part of this paper, in which the strength of 6+1 test pieces with different aggregate composition is being investigated.

The results of the experimental procedure, summarized, led to the conclusion that complex aggregates, such as zeolite, have a greater water requirement than compatible aggregates, such as limestone, which was confirmed by visual observation during the process of production of the samples as well and this fact affects the resistance of concrete in a non satisfactory way .

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει ως στόχο να αποτυπώσει και να διερευνήσει τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες που αποκτά το σκυρόδεμα που περιέχει στη σύστασή του ανάμεικτα αδρανή υλικά.

Με τον όρο αδρανή υλικά αναφερόμαστε στα κοκκώδη υλικά που προκύπτουν από την επεξεργασία φυσικών ή βιομηχανικά παρασκευασμένων ή ανακυκλωμένων υλικών. Τα αδρανή υλικά καθορίζουν, μεταξύ άλλων, το βάρος, την μεταβολή του όγκου και το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος. Στο πλαίσιο αυτό, το σχήμα, το πορώδες και η υφή των αδρανών αποκτά εξαιρετική σημασία για τις τελικές ιδιότητες του παραγόμενου σκυροδέματος.

Στην παρούσα εργασία θα μας απασχολήσουν τα σκυροδέματα με ελαφρά αδρανή, και συγκεκριμένα θα επικεντρωθούμε στη μελέτη σκυροδέματος που η παρασκευή του έχει γίνει με την ανάμιξη αδρανών ζεόλιθου και ασβεστόλιθου. Σχετικά επισημαίνεται ότι ο ζεόλιθος, ως ελαφρό αδρανές, μας παραπέμπει στην κατηγορία των ελαφρών σκυροδεμάτων.

Όσον αφορά στη διάρθρωση της εργασίας, αυτή έχει ως ακολούθως :

Στο πρώτο κεφάλαιο επιχειρείται η παρουσίαση της έννοιας του σκυροδέματος, με αναφορά στη σύσταση και τις βασικές ιδιότητές του, τις χρήσεις του, τις κατηγορίες σκυροδέματος καθώς και τα υλικά παρασκευής του (τσιμέντο, νερό, αδρανή υλικά, πρόσμικτα υλικά και πρόσθετα υλικά).

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα αδρανή υλικά που θα μας απασχολήσουν στο πειραματικό κομμάτι της εργασίας αυτής, ήτοι ο ζεόλιθος και ο ασβεστόλιθος. Γίνεται αναφορά στην προέλευση και τις ιδιότητες των ως άνω δύο αδρανών καθώς και στις χρήσεις αυτών.

Ακολουθως, το τρίτο κεφάλαιο πραγματεύεται συνοπτικά τη Μελέτη Συνθέσεως του σκυροδέματος, όπως αυτή καθορίζεται από τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος, καθώς και τις ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος.

Το τέταρτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στη μελέτη της εκτίμησης της αντοχής του σκυροδέματος με τη χρήση έμμεσων μεθόδων, όπως για παράδειγμα το κρουσίμετρο και οι υπέρηχοι που θα χρησιμοποιηθούν ακολούθως στο πειραματικό μέρος της εργασίας.

Έτσι οδηγούμαστε στο πέμπτο κεφάλαιο, το οποίο αποτελεί το πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας, κατά το οποίο διερευνάται η αντοχή 6+1 δοκιμών με διαφορετική σύσταση αδρανών.

Σχετικά επισημαίνεται ότι, λόγω των ιδιαίτερων υγειονομικών συνθηκών που επικράτησαν στη χώρα κατά το ακαδημαϊκό έτος 2020-2021 λόγω του covid-19, η εκπόνηση του πειραματικού μέρους παρουσίασε πρόσθετη δυσκολία, εξαιτίας της αδυναμίας δια ζώσης διενέργειάς του στο εργαστήριο. Κατά συνέπεια, το πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας και τα αποτελέσματα αυτού έχουν προκύψει αποκλειστικά με προσομοίωση της πειραματικής διαδικασίας με τη χρήση μαθηματικών υπολογισμών, χωρίς τη χρήση εργαστηριακών οργάνων. Κατά τούτο, παρότι έχει επιχειρηθεί η κατά το δυνατόν ρεαλιστικότερη απεικόνιση των πραγματικών συνθηκών του πειράματος, δεν είναι δυνατή η επαλήθευση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων, τα οποία είναι υποθετικά.

Τέλος, ακολουθούν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας, από την οποία, εν συντομία, έγινε αντιληπτό ότι τα σύνθετα αδρανή έχουν μεγαλύτερη απαίτηση σε νερό σε σχέση με τα συμβατά αδρανή.

Για τη συγγραφή της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε ως βάση ελληνική και ξένη βιβλιογραφία, καθώς επίσης σημαντικές πληροφορίες αντλήθηκαν από ιστοσελίδες στο διαδίκτυο (ελληνικές και αγγλόφωνες).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

1.1 Σύσταση και βασικές ιδιότητες

Το σκυρόδεμα είναι ένα τεχνητό υλικό το οποίο προκύπτει από την σκλήρυνση ενός μείγματος σε κατάλληλες αναλογίες. Το μείγμα αυτό αποτελείται από το τσιμέντο , τα αδρανή υλικά, το νερό και τα πρόσθετα- πρόσμικτα υλικά. Σε αυτό το βασικό μείγμα που προαναφέρθηκε συχνά προστίθενται χημικές ουσίες με στόχο την βελτιστοποίηση των υλικών.

Το σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται από την υψηλή αντοχή του σε θλίψη σε αντίθεση με την αντοχή του σε εφελκυσμό και διάτμηση όπου είναι αρκετά χαμηλή. Η ενσωμάτωση του χάλυβα στο σκυρόδεμα γίνεται με σκοπό την παραλαβή των εφελκυστικών τάσεων που δημιουργούνται.

Ο τσιμεντοπολτός (ανάμιξη νερού , τσιμέντου και πρόσθετων) αποτελεί συνδετικό παράγοντα για τα αδρανή, καθώς συνδέει τα αδρανή και τα κενά μεταξύ τους και τα μετατρέπει σε ένα τεχνητό πέτρωμα. Τα αδρανή παρά το χαμηλό τους κόστος έχουν εξαιρετικά σημαντικές ιδιότητες όπως είναι η μηχανική αντοχή τους, η ανθεκτικότητα τους ενάντια στις περιβαλλοντικές συνθήκες, η υδατοστεγανότητα και η σταθερότητα του όγκου τους.

1.2 Χρήσεις σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται ευρέως στην κατασκευή, κυρίως επειδή, συγκρινόμενο με άλλα φυσικά και τεχνητά υλικά, οι πρώτες ύλες του είναι ευρύτατα διαθέσιμες, η παρασκευή του καθώς και η μορφοποίηση του είναι αρκετά εύκολες. Από την ευρεία χρήση του σκυροδέματος προέκυψαν διάφορα είδη σκυροδέματος και τσιμέντου, όπου η ταξινόμηση τους αποτέλεσε μια πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία. Η διαδικασία αυτή αποτυπώνεται από το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 197-1 <<Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για τα κοινά τσιμέντα>>.

Είδος	Συνοπτική περιγραφή
Σκυρόδεμα	Υλικό που προέρχεται από την ανάμιξη τσιμέντου, αδρανών, νερού, με ή χωρίς την προσθήκη πρόσθετων-πρόσμικτων και αναπτύσσει τις ιδιότητες του μέσω της ενυδάτωσης του τσιμέντου
Ελαφροσκυροδέματα	Σκυρόδεμα πυκνότητας $800\text{kg/m}^3 < \rho < 2000\text{kg/m}^3$
Νωπό Σκυρόδεμα	Σκυρόδεμα που έχει πλήρως αναμειχθεί και είναι δυνατόν να συμπυκνωθεί επιλέγοντας την κατάλληλη μέθοδο
Συμβατικό σκυρόδεμα	Σκυρόδεμα πυκνότητας $800\text{kg/m}^3 < \rho < 2000\text{kg/m}^3$
Σκληρυμένο Σκυρόδεμα	Σκυρόδεμα το οποίο βρίσκεται σε στερεή κατάσταση και έχει αναπτύξει μετρήσιμη αντοχή
Σκυρόδεμα με μεγάλο ειδικό βάρος	Σκυρόδεμα πυκνότητας $\rho > 2600\text{kg/m}^3$

Πίνακας 1:Είδη σκυροδέματος

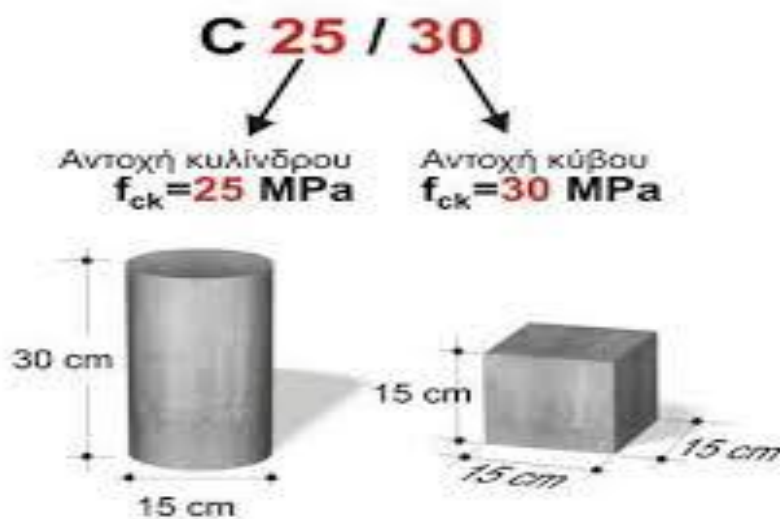
1.3 Κατηγορίες σκυροδέματος

Στην μελέτη και στην κατασκευή έργων, χρησιμοποιούνται, κατ' εφαρμογή των σύγχρονων Κανονισμών, συγκεκριμένες κατηγορίες σκυροδέματος που παρουσιάζονται στον κατωτέρω Πίνακα. Το κριτήριο βάσει του οποίου ορίζονται οι κατηγορίες του σκυροδέματος ορίζονται είναι η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή. Ο πρώτος αριθμός ορίζει την χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου και ο δεύτερος αριθμός την χαρακτηριστική αντοχή κύβου κάθε κατηγορίας. Τα κυλινδρικά δοκίμια χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο

της εφελκυστικής αντοχής σκυροδέματος ενώ τα κυβικά δοκίμια για τον έλεγχο της θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος.

Κατηγορία αντοχής σε θλίψη	Χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου	Χαρακτηριστική αντοχή κυβικού δοκιμίου
C8/10	8	10
C12/10	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60

Πίνακας 2:Κατηγορίες δοκιμών και επιμέρους χαρακτηριστικά ^[1]



Εικόνα1:Παράδειγμα χαρακτηριστικής αντοχής κύβου και κυλίνδρου για σκυρόδεμα C25/30. ^[37]

Σύμφωνα με τις προβλέψεις του Κανονισμού Τεχνολογίας σκυροδέματος, η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος μετράται σε διάστημα 28 ημερών για κυλινδρικά (fck) ή κυβικά (fck,cube) δοκίμια. Ως χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού ή κυβικού δοκιμίου ορίζεται μια συγκεκριμένη τιμή αντοχής, στην περίπτωση που υπάρχει 5% πιθανότητα η τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου να κυμαίνεται σε τιμή μικρότερη αυτής (της χαρακτηριστικής).

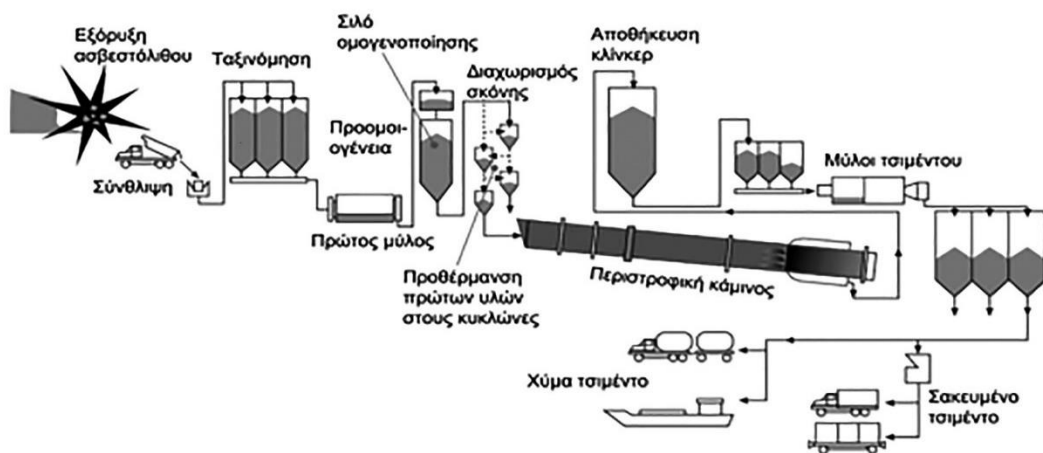
1.4 Υλικά παρασκευής σκυροδέματος

1.4.1 Τσιμέντο

Το τσιμέντο το οποίο χρησιμοποιείται για την παρασκευή σκυροδέματος, είναι ένα βιομηχανικό κοκκώδες υλικό(σε αντίθεση με άλλες φυσικές κονίες) με υδραυλικές ιδιότητες. Εξαιτίας των υδραυλικών ιδιοτήτων του το τσιμέντο χαρακτηρίζεται και ως υδραυλική λεπτόκοκκη κονία. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούμε τον όρο "υδραυλική κονία" διότι από την ανάμιξη τσιμέντου και νερού προκύπτουν υλικά τα οποία έχουν χαρακτηριστικά σκλήρυνσης και πήξης.

Η πιο σημαντική ιδιότητα του τσιμέντου είναι ότι όταν αναμιχθεί με το νερό απορροφά μια ποσότητα νερού περίπου ίση με το 12-15% του βάρους του.

Το τσιμέντο πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN 197-1, καθώς και να φέρει τη σήμανση CE σύμφωνα με το πρότυπο και τις διατάξεις του Κανονισμού(άρθρο 9). Με βάση το άρθρο 6 του Κανονισμού (ΕΕ) 305/2011 και τον Κανονισμό (ΕΕ) αριθ. 574/2014 πρέπει να παρέχεται η δήλωση επιδόσεων με τα ισχύοντα τεχνικά χαρακτηριστικά του τσιμέντου , καθώς και το έντυπο δεδομένων ασφαλείας.



Εικόνα 2: Διαδικασία παρασκευής τσιμέντου [38]

1.4.1.1 Τύποι Τσιμέντων

Για την παραγωγή τσιμέντου χρησιμοποιούνται πρώτες ύλες ανάλογα την διαθεσιμότητα τους σε κάθε χώρα. Ανάλογα με τη σύνθεση το βαθμό αλέσεως, τα πρόσθετα υλικά την διαθεσιμότητα και τις απαιτήσεις τα τσιμέντα κατατάσσονται από τους Κανονισμούς σε διάφορες κατηγορίες αντοχής και διάφορους τύπους.

Ο Ελληνικός Κανονισμός Τσιμέντων ΕΛΟΤ EN 197-1 προδιαγράφει σε γενική μορφή τους εξής τύπους τσιμέντου [2]:

ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
CEM I	Τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM II	Σύνθετο Τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM III	Σκωριοτσιμέντο
CEM IV	Ποζολανικό Τσιμέντο
CEM V	Σύνθετο Τσιμέντο

Πίνακας 3: Τύποι Τσιμέντων [2]

- Τσιμέντο CEM I (κ>95%): Επιτρέπεται η προσθήκη σε ποσοστό μέχρι 5% ενός δευτερεύοντος συστατικού.

- Τσιμέντο CEMII: Το συγκεκριμένο τσιμέντο μπορεί να παράγεται με προσθήκες πυριτικής παιπάλης, φυσική ή ψημένη ποζολάνη, σκωρία , ασβεστόλιθο, ασβεστόχα ή πυριτική ιπτάμενη τέφρα. Υπάρχουν δύο τύποι Α και Β με βάση το ποσοστό της προσθήκης. Για τύπο Α έχουμε $80\% < K < 94\%$ ^[3] και για τύπο Β έχουμε $65\% < K < 79\%$.
- Τσιμέντο CEMIII: Πρόκειται για σκωριοτσιμέντο, όπου συναντάμε τρεις τύπους ανάλογα με το ποσοστό της σκωρίας. Για ποσοστό λοιπόν $35\% < K < 65\%$ ^[3] έχουμε τύπο Α , για ποσοστό $20\% < K < 34\%$ ^[3] έχουμε τύπο Β και για ποσοστό $5\% < K < 19\%$ ^[3] έχουμε τύπο C.
- Τσιμέντο CEMIV: Πρόκειται για ποζολανικό τσιμέντο όπου η παραγωγή του μπορεί να γίνει είτε με πυριτική παιπάλη , είτε με ποζολάνη , είτε με ιπτάμενη τέφρα ή με συνδυασμό των παραπάνω. Για τύπο Α έχουμε ποσοστό $65\% < K < 89\%$ ^[3] και για τύπο Β έχουμε ποσοστό $45\% < K < 64\%$ ^[3]
- Τσιμέντο CEMV: Εδώ συναντάται η περίπτωση ενός σύνθετου τσιμέντου δηλαδή η σύνθεση του γίνεται με συνδυασμό ποζολάνης, με σκωρία υψικαμίνων και πυριτική τέφρα. Για ποσοστό $40\% < K < 64\%$ ^[3] έχουμε τύπο Α και για ποσοστό $20\% < K < 39\%$ ^[3] έχουμε τύπο Β.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα πρόσθετα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή σύνθετων τσιμέντων:

Συστατικά	Συμβολισμοί
Πυριτική παιπάλη	D
Κλίνκερ	K
Ασβεστόλιθος	L
Ποζολάνη φυσική	P
Ποζολάνη φυσική ψημένη	Q
Σκωρία υψικαμίνων	S
Τέφρα καύσης σχιστολίθων	T

Πυριτική ιπτάμενη τέφρα	V
Ασβεστική ιπτάμενη τέφρα	W

Πίνακας 4: Συμβολισμός πρόσθετων υλικών^[3]

1.4.1.2 Ποσότητα τσιμέντου

Στο σκυρόδεμα πρέπει να περιέχεται η μικρότερη δυνατή ποσότητα τσιμέντου, η οποία να είναι όμως να είναι επαρκής, ώστε να είναι εφικτή η επίτευξη της απαιτούμενης θλιπτικής αντοχής και η προστασία των οπλισμών από την διάβρωση.

Η ποσότητα του τσιμέντου εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων του τσιμέντου, την κατηγορία του σκυροδέματος που παρασκευάζεται καθώς και από την ποιότητα του τσιμέντου

Ενδεικτικά:

- Για κατηγορία σκυροδέματος C8 η ποσότητα τσιμέντου σε kg ανά m³ είναι 240-250.
- Για κατηγορία σκυροδέματος C12 η ποσότητα τσιμέντου σε kg ανά m³ είναι 280-300.
- Για κατηγορία σκυροδέματος C16 η ποσότητα τσιμέντου σε kg ανά m³ είναι 300-350.
- Για κατηγορία σκυροδέματος C20 η ποσότητα τσιμέντου σε kg ανά m³ είναι 350-400.

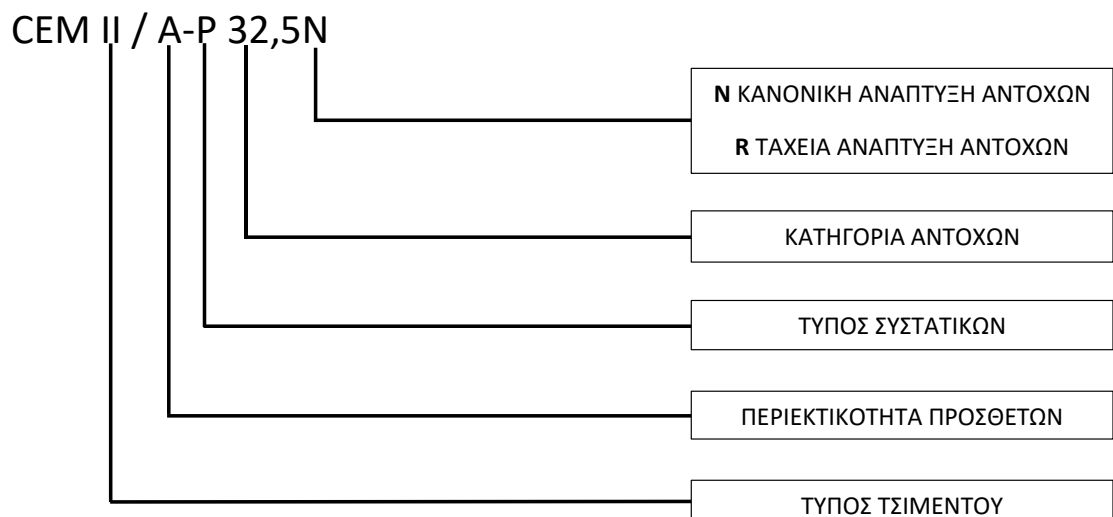
1.4.1.3 Κατηγορίες αντοχής τσιμέντων

Κατ' εφαρμογή του προτύπου ΕΛΟΤ EN 197-1, προκύπτουν οι συμβολισμοί των διάφορων τσιμέντων, οι οποίοι καθορίζονται από τον κύριο τύπο τσιμέντου, το ποσοστό Κλίνκερ, την κατηγορία αντοχής, τον τύπο του δεύτερου κύριου συστατικού καθώς και από το επίπεδο της πρώιμης αντοχής. ^[4]

Το τσιμέντο λοιπόν, το οποίο χρησιμοποιείται σε κατασκευές λόγω της γρήγορης ανάπτυξης θλιπτικής αντοχής διακρίνεται σε 4 τύπους με βάση το ρυθμό σκλήρυνσης του:

- Ταχείας σκλήρυνσης και υψηλής αντοχής
- Ταχείας σκλήρυνσης όπου η πήξη πραγματοποιείται σε διάστημα μικρότερο των 30 λεπτών, για συγκεκριμένες απαιτήσεις
- Κανονικό όπου η πήξη πραγματοποιείται σε διάστημα 6-8 ωρών.
- Βραδείας σκλήρυνσης όπου η πήξη πραγματοποιείται μετά από 8 ώρες.

Σύμφωνα με τον Κανονισμό, τα τσιμέντα κατατάσσονται στις κατηγορίες 32,5 N, 32,5 R, 42,5 N, 42,5 R, 52,5 N, 52,5 R, όπου για κάθε κατηγορία τυπικής αντοχής, περιλαμβάνονται δύο κατηγορίες πρώιμης αντοχής. Μια κατηγορία με κανονική πρώιμη αντοχή(N) και μια κατηγορία με υψηλή πρώιμη αντοχή (R). ^[4]



Εικόνα 3:Ονοματολογία τσιμέντων ΕΛΟΤ EN 197-1

1.4.2 ΝΕΡΟ

Το νερό χαρακτηρίζεται ως ένα από τα κυριότερα συστατικά του σκυροδέματος, διότι καταλαμβάνει ένα μεγάλο ποσοστό αυτού. Μπορούν να διακριθούν διάφοροι «τύποι νερού», όπως: Πόσιμο νερό, νερό που ανακτάται από τις διάφορες διεργασίες στην μονάδα παραγωγής σκυροδέματος, επιφανειακό νερό, υπόγειο νερό, θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό και νερό αποχετεύσεων.^[5] Παρά τους προαναφερθέντες «τύπους νερών» που υπάρχουν, το νερό που χρησιμοποιείται για το σκυρόδεμα θα πρέπει να είναι καθαρό, πόσιμο και απαλλαγμένο από τυχόν βλαπτικές ουσίες, διότι μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την ποιότητα του σκυροδέματος με αποτέλεσμα να προκληθεί διάβρωση στον οπλισμό. Πιο συγκεκριμένα, το νερό που είναι αποδεδειγμένα πόσιμο θεωρείται κατάλληλο και δεν χρειάζεται έλεγχο.

Το νερό ανάμιξης που χρησιμοποιείται στην παραγωγή του σκυροδέματος πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN 1008.^[5] Τα υπόγεια νερά ή τα νερά που ανακτώνται από διάφορες διεργασίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν έπειτα από έλεγχο και αφού διαπιστωθεί με σιγουριά ότι πληρούνται οι απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN 1008.

Τέλος, η χρήση νερού που προέρχεται από αποχετεύσεις και βιομηχανικά απόβλητα είναι απαγορευμένη.

1.4.2.1 Λόγος νερού-τσιμέντου

Στην αντοχή του σκυροδέματος παίζει σπουδαίο ρόλο η αναλογία του βάρους του νερού προς το βάρος του τσιμέντου(w/c). Ο λόγος του νερού προς το τσιμέντο καθορίζεται από διάφορους παράγοντες οι οποίοι εξαρτώνται από το είδος του σκυροδέματος που θα παραχθεί, από τις συνθήκες του περιβάλλοντος καθώς και από την αντοχή του τσιμέντου. Κατά την ανάμιξη των στερεών υλικών πρέπει να δοθεί βάση στο νερό που προστίθεται καθώς και στην υγρασία των αδρανών.^[6] Επομένως η ποσότητα του νερού και ο λόγος w/c έχουν καθοριστικό ρόλο. Στην περίπτωση όπου ο λόγος w/c είναι πολύ μικρός αναπτύσσονται αντοχές που δεν είναι επαρκείς διότι το τσιμέντο δεν ενυδατώνεται με τον σωστό τρόπο. Επιπλέον από την αύξηση της εξάτμισης του νερού στο μείγμα σχηματίζονται πόροι σε μεγάλο βαθμό που φέρουν ως αποτέλεσμα την μείωση της ανθεκτικότητας του μείγματος.

Φαινομενικά η άριστη αναλογία w/c είναι μεταξύ του 0,4 για σκυροδέματα υψηλής αντοχής και του 0,5 για σκυροδέματα χαμηλότερης αντοχής. Επομένως, το ερώτημα που προκύπτει είναι το εξής : «Η απόκλιση από το άριστο είναι προτιμότερη προς τα επάνω ή προς τα κάτω;». Στόχος είναι η επίτευξη της βέλτιστης αναλογίας νερού χωρίς να επηρεάζεται σημαντικά η αντοχή του σκυροδέματος. Έχει παρατηρηθεί λοιπόν, πως όταν υπάρχει απόκλιση προς τα επάνω κατά 10% συνεπάγεται μείωση της αντοχής του σκυροδέματος περίπου 15%, ενώ μια απόκλιση 10% προς τα κάτω συνεπάγει μείωση της αντοχής του σκυροδέματος περίπου 30%.^[6] Συμπερασματικά λοιπόν για λόγους ασφαλείας και για να αποφύγουμε την ραγδαία πτώση της αντοχής του παραγόμενου σκυροδέματος, επιλέγουμε τις αποκλίσεις προς τα επάνω από το άριστο.

1.4.3 ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ

1.4.3.1 Γενικά

Ως αδρανή υλικά ορίζονται τα κοκκώδη υλικά, τα οποία προκύπτουν από την επεξεργασία φυσικών ή βιομηχανικά παρασκευασμένων ή ανακυκλωμένων υλικών. ^[29]

Τα αδρανή υλικά καθορίζουν κυρίως το βάρος, την μεταβολή του όγκου και το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος. Εξαιρετικά σημαντικοί παράγοντες για τις ιδιότητες του σκυροδέματος είναι το σχήμα, το πορώδες και η υφή των αδρανών. Επιπλέον, μπορεί τα αδρανή να έχουν αρκετά χαμηλή τιμή αλλά εμφανίζουν ιδιότητες όπως είναι η σταθερότητα όγκου, η μηχανική αντοχή και η ανθεκτικότητα σε διάρκεια έναντι περιβαλλοντικών αντιδράσεων. Τέλος, για τα κοινά σκυροδέματα καθώς και για τις ελληνικές συνθήκες, καλύτερα αδρανή θεωρούνται αυτά τα οποία προέρχονται από ασβεστολιθικά ή πυριτικά πετρώματα.

1.4.3.2 Μορφή και μέγεθος των κόκκων

Οι κόκκοι των αδρανών ποικίλουν, μπορεί να είναι κυβικοί, στρόγγυλοι, πλακόμορφοι ή επιμήκεις, γωνιώδεις. Από πλευράς μηχανικής αντοχής σκυροδέματος καλύτεροι είναι οι κόκκοι με ανώμαλη επιφάνεια ενώ από πλευράς εργασιμότητας καταλληλότεροι είναι οι κυβόμορφοι και οι στρόγγυλοι κόκκοι. Τα συλλεκτικά αδρανή, που προέρχονται απ' ευθείας από τη φύση ή με συλλογή από ρέματα είναι γενικά στρογγυλόμορφα με λεία επιφάνεια, ενώ τα θραυστά αδρανή, που προέρχονται από θραύση πετρωμάτων, είναι γενικά κοβόμορφα, γωνιώδη, πλακοειδή ή επιμήκη με τραχεία επιφάνεια. Τα θραυστά αδρανή με κόκκους που δεν είναι πλακοειδείς ή επιμήκεις είναι προτιμώμενα από τα συλλεκτικά αδρανή υλικά. ^[31] Τούτο διότι, αν εξαιρέσουμε τα περισσότερα ελαφρά αδρανή με κυψελωτή δομή, τα αδρανή παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με τις άλλες φάσεις του σκυροδέματος. Επομένως, δεν επηρεάζουν άμεσα την αντοχή του σκυροδέματος, που είναι και το κρίσιμο, αλλά μόνον έμμεσα, λαμβανομένου υπόψη του σχήματος και του μεγέθους τους.

Τα αδρανή κατατάσσονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων :

1. Άμμος με διάμετρο $0 \leq d < 4 \text{ mm}$
2. Ρύζι με διάμετρο $4 \leq d < 8 \text{ mm}$
3. Γαρμπίλι με διάμετρο $8 \leq d < 16 \text{ mm}$

4. Χαλίκι με διάμετρο $16 \leq d < 31,5$ mm

1.4.3.3 Αντοχή των αδρανών

Για την ικανοποιητική αντοχή του σκυροδέματος, το πέτρωμα των αδρανών πρέπει να διαθέτει:

- Ανθεκτικότητα στον χρόνο
- Μηχανική αντοχή
- Χημική αδράνεια σε σχέση με το νερό και το τσιμέντο
- Σταθερότητα του όγκου
- Μικρή επιφανειακή φθορά σε κρούση

Για την Ελλάδα ο Κανονισμός επιτρέπει την χρήση αδρανών με αντοχή πετρώματος 45MPa-65MPa, εφόσον τα αδρανή ικανοποιούν τις προδιαγραφές που υπάρχουν για την επίτευξη της κατάλληλης θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. Γενικά σαν ικανοποιητική τιμή με βάση τον Ν.Κ.Τ.Σ θεωρούνται τα 65 MPa αντοχής σκυροδέματος.

1.4.4 ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ ΥΛΙΚΑ

Ως πρόσμικτα στην παραγωγή σκυροδέματος ορίζονται τα χημικά λεπτόκοκκα υλικά, τα οποία προστίθενται στο μίγμα του σκυροδέματος ^[4] (κατά την διαδικασία της ανάμιξης), για την τροποποίηση ορισμένων χαρακτηριστικών του ή για να προσδώσουν ορισμένες ιδιότητες σε αυτό.

Η κατηγοριοποίηση των πρόσμικτων υλικών με βάση τον σκοπό που εξυπηρετούν δεν είναι απλοϊκή. Για λόγους διευκόλυνσης τα πρόσμικτα χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες.

A) Πρόσμικτα επιφανειακής δράσης

- Ρευστοποιητικά : Επιβραδύνουν την πήξη και χρησιμοποιούνται για την επίτευξη της επιθυμητής εργασιμότητας αντί της προσθήκης επιπρόσθετου νερού. Η χρήση τους είναι ιδιαιτέρως σημαντική για σκυροδέματα υψηλής ποιότητας , κρατούν χαμηλό τον λόγο w/c με αποτέλεσμα την αύξηση της αντοχής και της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος.
- Υπερρευστοποιητικά: Η χρήση τους είναι ίδια με τα προαναφερθέντα ρευστοποιητικά με την μόνη διαφορά ότι αντί να επιβραδύνουν την πήξη την επιταχύνουν(συνεπάγεται μεγαλύτερη ρευστότητα).
- Αερακτικά : Αναπτύσσουν στη μάζα του σκληρυμένου σκυροδέματος μικροσκοπικές φυσαλίδες(0,02-0,2mm) με στόχο την αύξηση του ποσοστού του αέρα και κατά συνέπεια την αύξηση ανθεκτικότητας του σκυροδέματος σε κύκλους θερμοκρασίας (ζέστης- παγετού).

B) Πρόσμικτα ελέγχου της πήξης

- Επιταχυντικά : Χαρακτηρίζονται τα υλικά που επιταχύνουν την διαδικασία της ενυδάτωσης του τσιμέντου. Χρησιμοποιούνται για σκυροδέτηση σε χαμηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του μίγματος και την αύξηση της συστολής ξήρανσης.
- Επιβραδυντικά : Χαρακτηρίζονται τα υλικά που επιβραδύνουν την εξέλιξη της ενυδάτωσης. Η δράση των υλικών αυτών στηρίζεται στην απομόνωση των αργλικών αλάτων και κυρίως του αργλικού τριασβεστίου του τσιμέντου και επομένως στην καθυστέρηση της επαφής με το νερό. Χρησιμοποιούνται για σκυροδέτηση σε ζεστές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα την αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος.
- Στεγανοποιητικά : Η δράση των στεγανοποιητικών αποσκοπεί στην ελάττωση της υδατοπερατότητας και στην αποφυγή μακροσκοπικών κοιλοτήτων και ρηγματώσεων.

- Αντιπαγετικά : Χαρακτηρίζονται τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για να μειώσουν ή να άρουν τις δυσάρεστες επιπτώσεις του παγετού κατά την διαδικασία της πήξεως ^[13] και επιτρέπουν έτσι την σκυροδέτηση σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η δράση του έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση άλλων ιδιοτήτων, που συντελούν στην αύξηση της αντοχής στον παγετό.
- Αναστολείς διάβρωσης: Η χρήση τους έχει ως στόχο την αποφυγή διάβρωσης του χάλυβα.

1.4.5 ΠΡΟΣΘΕΤΑ

Ως πρόσθετα στην παραγωγή του σκυροδέματος ορίζονται τα λεπτόκκοκα υλικά τα οποία προστίθενται στο σκυρόδεμα σε αρκετά μεγάλες αναλογίες. Η χρήση τους γίνεται με στόχο να βελτιώσουν ή να προσδώσουν κάποιες ιδιότητες στο σκυρόδεμα. Σύμφωνα με το πρότυπο EN 206-1 υπάρχουν δύο τύποι πρόσθετων σκυροδέματος:

ΤΥΠΟΣ I: Είναι τα αδρανή πρόσθετα όπως οι χρωστικές ουσίες, η ασβεστολιθική πούδρα και η χαλαζιακή σκόνη.

ΤΥΠΟΣ II: Είναι τα ποζολανικά ή τα λανθάνοντα υδραυλικά υλικά όπως η ιπτάμενη τέφρα, η σκωρία, οι φυσικές ποζολάνες και η πυριτική παιπάλη.

1.5 Ανθεκτικότητα σκυροδέματος

Τα συστατικά του σκυροδέματος επηρεάζονται από το περιβάλλον που εκείνο εκτίθεται. Από τις διάφορες φυσικές και χημικές δράσεις επέρχεται η φθορά η οποία συναντάται σε όλα τα σύνθετα υλικά και κατ' επέκταση και στο σκυρόδεμα. Η φθορά έχει

ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ρωγμών και διογκώσεων στην επιφάνεια του σκυροδέματος, ακόμη και μείωση της μηχανικής του αντοχής.

Στόχος στις κατασκευές είναι η επίτευξη της μέγιστης διάρκειας ζωής σε αυτές, δηλαδή η ανθεκτικότητα σε διάρκεια. Ανθεκτικότητα σε διάρκεια ονομάζουμε τον ελάχιστο χρόνο μέσα στον οποίο η κατασκευή «αντιστέκεται» στις περιβαλλοντικές αντιδράσεις χωρίς να χάνει την απαραίτητη αντοχή και λειτουργία της. ^[7] Σε αυτό το σημείο θα αναφερθούν κάποιοι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε διάρκεια:

- Επιφανειακή φθορά: Επιφανειακή φθορά μπορεί να προκύψει από την μεγάλη ταχύτητα που κινείται το νερό σε επιφάνειες που αλλάζει την γεωμετρία τους, από διέλευση οχημάτων, είτε από νερό το οποίο περιέχει αιωρούμενα σωματίδια.
- Ρηγμάτωση: Καθορίζεται ανάλογα με το περιβάλλον, δηλαδή για μέτρια διαβρωτικό περιβάλλον το άνοιγμα των ρωγμών ^[7] δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0,3 mm ενώ για πολύ διαβρωτικό πρέπει να περιορίζεται ανάλογα με την διαβρωτικότητα του περιβάλλοντος.
- Μεταβολή όγκου λόγω θερμοκρασίας ή υγρασίας
- Επιβαλλόμενες παραμορφώσεις (σεισμού ή καθιζήσεων)
- Ακραίες θερμοκρασίες
- Υδατοπερατότητα: Η αντοχή συνδέεται με το τριχοειδές πορώδες όπως και η ανθεκτικότητα. ^[7] Αποτέλεσμα είναι να την επηρεάζουν παράγοντες όπως το πορώδες, ο λόγος νερού-τσιμέντου w/c και η συντήρηση.
- Επιβαλλόμενα φορτία (σχεδιασμού, ερπυσμού, υπερφόρτωσης)

Το πρόβλημα της ανθεκτικότητας σε διάρκεια θεωρείται από τους μηχανικούς σαν το σημαντικότερο πρακτικό αλλά και επιστημονικό πρόβλημα που παρατηρείται στα σκυροδέματα. Εκτός από τις επιδράσεις που έχει στο περιβάλλον και την ασφάλεια των κατασκευών, έχει μεγάλη επίδραση και στην οικονομία. Αυτό συμβαίνει διότι το κόστος των επισκευών στις κατασκευές ξεπερνάει ακόμη και το κόστος των νέων κτηρίων. Έτσι λοιπόν, πρέπει να δίδεται μεγάλη βάση στη διαδικασία ελέγχου των παραγόντων που ευθύνονται για το πρόβλημα της ανθεκτικότητας, παρά το γεγονός ότι το σκυρόδεμα από μόνο του σαν υλικό είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό.

1.6 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ ΜΕ ΕΛΑΦΡΑ ΑΔΡΑΝΗ

Τα ελαφρά σκυροδέματα κατατάσσονται σε δύο μεγάλες ομάδες:

A) σκυροδέματα με ελαφρά αδρανή

B) κυψελωτά σκυροδέματα .

Τα ελαφρά σκυροδέματα σε σχέση με τα κοινά σκυροδέματα εμφανίζουν:

- Μεγαλύτερο πορώδες
- Μικρότερο φαινομενικό ειδικό βάρος
- Μικρότερη αντοχή
- Καλύτερες θερμομονωτικές και ηχομονωτικές ιδιότητες
- Καλύτερο εργάσιμο
- Υψηλότερο κόστος

Εμείς στην παρούσα Διπλωματική θα ασχοληθούμε με την πρώτη ομάδα (σκυροδέματα με ελαφρά αδρανή) διότι μελετάμε σκυρόδεμα που η παρασκευή του έχει γίνει με την ανάμιξη αδρανών ζεόλιθου και ασβεστόλιθου όπου ο ζεόλιθος ως ελαφρό αδρανές μας παραπέμπει στην κατηγορία των ελαφρών σκυροδεμάτων.

Τα σκυροδέματα με ελαφρά αδρανή είναι σκυροδέματα στα οποία

χρησιμοποιούνται αδρανή με μεγάλο πορώδες και μικρό ειδικό βάρος. Τα αδρανή αυτά είναι φυσικά ή τεχνητά και ανόργανα ή οργανικά. Η προδιαγραφή της R.I.L.E.M. LC-1, 1975 «Ορολογία ελαφρών σκυροδεμάτων» κατατάσσει τα ελαφρά αδρανή στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Ακατέργαστα υλικά φυσικής προέλευσης
- Βιομηχανικά κατεργασμένα υλικά φυσικής προέλευσης (π.χ. διογκωμένος περλίτης)
- Βιομηχανικά υποπροϊόντα χωρίς καμία κατεργασία (π.χ. οξειδία του σιδήρου των υψικαμίνων)
- Βιομηχανικά υποπροϊόντα μετά από κατεργασία (π.χ. διογκωμένα οξειδία σιδήρου)
- Οργανικά υλικά (π.χ. πλαστικά, ξύλο).

Ελαφρά σκυροδέματα που παρασκευάζονται με την χρήση ελαφρών αδρανών φυσικών ή τεχνητών είναι τα εξής :

- Κισηρομπετόν
- Περλιτομπετόν
- Σκωριοκισηρομπετόν
- Σπογγοκεραμομπετόν
- Ξυλομπετόν

Τύπος σκυροδέματος	Πυκνότητα (t/m ³)	λ (kcal/m*h°C)	f _{θλ} (MPa)	f _{εφ} (MPa)	Χρόνια συστολή (mm/m)
Κισηρομπετόν	0,6-1,8	0,25-0,40	2-22	0,5-5	0,3-0,8

Σκωριοκισηρομπετόν	1,1-1,5	-	1-20	-	-
Σπογγοκεραμομπετόν	0,6-1,7	0,17-0,51	2,5-12	-	0,36-0,53
Περλιτομπετόν	0,15-1,2	0,07-0,15	1-10	-	-
Ξυλομπετόν	0,6-1,2	0,15-0,30	1-13	1-7	10-30

Πίνακας 5: Ιδιότητες ελαφρών σκυροδεμάτων

Τέλος, θα αναφέρουμε τις συνηθέστερες χρήσεις των ελαφρών σκυροδεμάτων οι οποίες είναι για:

- Θερμομόνωση
- Ηχομόνωση
- Γέμισμα δαπέδων
- Δημιουργία κλίσεων στο μπετόν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΖΕΟΛΙΘΟΣ - ΑΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ

2.1 Ζεόλιθος

2.1.1 Προέλευση ζεόλιθου

Οι ζεόλιθοι είναι αργιλοπυριτικά κρυσταλλικά στερεά (ορυκτά) με καθορισμένες δομές. Η παρουσία του ζεόλιθου είναι συχνή σε γεωγραφικές περιοχές με ηφαιστειογενή δραστηριότητα. Οι ζεόλιθοι λόγω των ιδιοτήτων τους ως πορώδη ποικίλουν σε χρήσεις και εφαρμογές. Οι ζεόλιθοι συχνά αναφέρονται με τον όρο μοριακά κόσκινα τα οποία είναι μια οικογένεια μικροπορώδων στερεών. Ο Axel Fredrik, Σουηδός ορυκτολόγος, ο οποίος και εισήγαγε πρώτος τον όρο «ζεόλιθος» το 1756, διαπίστωσε ότι κατά την ταχεία θέρμανση του ορυκτού «stilbite», η σημαντική παραγόμενη ποσότητα ατμού απορροφάται στη συνέχεια από το ορυκτό^[8]. Με αφορμή τη διαπίστωση αυτή, αποκάλεσε το υλικό αυτό «Zeolite».^[8] Σήμερα έχουν αναγνωρισθεί περισσότερα από σαράντα πέντε είδη φυσικών ζεόλιθων, όμως μόνο επτά από αυτά θεωρούνται εκμεταλλεύσιμα υλικά.^[9] Αυτά τα επτά ορυκτά είναι ο μορντενίτης, φιλιπσίτης, φερριερίτης, κλινοπτιλόλιθος, ανάλκιμο, χαμπασίτης και ο εριονίτης.

Επιπλέον, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι εντοπίστηκαν τέσσερα είδη ζεόλιθων σε τριάντα θέσεις του Νομού Έβρου. Τέλος, ο ζεόλιθος λόγω των ιδιοτήτων του ως πορώδες ποικίλει σε εφαρμογές και χρήσεις. Χαρακτηριστικές εφαρμογές του είναι στον τομέα της γεωργίας, την κτηνοτροφίας, της βιομηχανίας υδρογονανθράκων, στις ιχθυοκαλλιέργειες, στην ιατρική και στον τομέα του περιβάλλοντος.



Εικόνα 4: Ζεόλιθος [39]



Εικόνα 5: Τύποι ζεόλιθων [43]

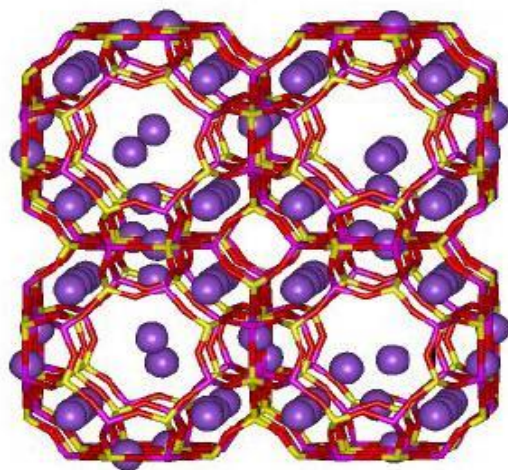
2.1.2 Ο ζεόλιθος στην βιομηχανία του τσιμέντου και του σκυροδέματος

Οι ζεόλιθοι έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε διάφορες βιομηχανίες εμπορικής αξία. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην ευρεία ποικιλία των φυσικών ειδών και στην ικανότητα σύνθεσης νέων τύπων. Στη βιομηχανία του σκυροδέματος και του τσιμέντου, ο φυσικός ζεόλιθος είναι ένα δημοφιλές φυσικό υλικό σε διάφορες περιοχές του κόσμου λόγω των περιβαλλοντικών, τεχνικών και οικονομικών πλεονεκτημάτων του. Πολλά έργα ανέφεραν τη χρήση του φυσικού ζεόλιθου ως υποκατάστατου υλικού για τσιμέντο σε κονίαμα και σκυρόδεμα.

Γενικότερα, η χρήση του φυσικού ζεόλιθου μπορεί να ξεπεράσει προβλήματα (οικονομικά και περιβαλλοντικά) που σχετίζονται με τη χρήση υψηλής ποσότητας τσιμέντου. Επιπλέον, φαίνεται ότι λειτουργεί ως βελτιωτικός παράγοντας για την αντοχή του σκυροδέματος και του τσιμέντου.

2.1.3 Δομή πλαισίου του ζεόλιθου

Βασική μονάδα των ζεόλιθων είναι το τετράεδρο δηλαδή τέσσερα συνδεδεμένα δίκτυα ατόμων. Η δομή τους μπορεί να χαρακτηριστεί «ανοικτή» εξαιτίας των όγκων των κενών όπου φθάνουνε μέχρι και το 50% του αφυδατωμένου μέλους. Τα μεγάλα κενά στην δομή των ζεόλιθων εξηγούν και την χαμηλή πυκνότητα αυτών των μεταλλευμάτων.



Εικόνα 6: Βασικό δομικό τετράποδο^[40]

Σήμερα είναι γνωστές περισσότερες από 130 διαφορετικές δομές πλαισίου όπου συνδέονται με κοιλότητες ή κανάλια τα οποία διαθέτουν το κατάλληλο μέγεθος. Όταν έγινε κατανοητό ότι το μέγεθος των πόρων μπορεί να ελεγχθεί, οι έρευνες στράφηκαν προς την βελτιστοποίηση της μεθόδου διαχωρισμού, η οποία βρήκε εφαρμογή σε πολλές βιομηχανικές διεργασίες. Όπως προαναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου, οι ζεόλιθοι χαρακτηρίζονται ως μοριακά κόσκινα. Αυτό ο χαρακτηρισμός τους περιγράφει την δυνατότητα που έχουν στον διαχωρισμό μορίων διαφορετικού μεγέθους μέσω των πόρων τους, καθώς και την αποτελεσματικότητά τους σε καταλυτικές διεργασίες. Τέλος πρέπει να αναφερθεί η ικανότητα που διαθέτουν οι ζεόλιθοι στην ανταλλαγή ιόντων και να εξηγηθεί το αν επηρεάζεται σημαντικά η δομή τους ή όχι. Τα μόρια του νερού λοιπόν σε συνδυασμό με τα κατιόντα, έχουν την δυνατότητα να μετακινούνται εντός των διαύλων του κρυσταλλικού πλέγματος καθώς και να ανταλλάσσονται με άλλα κατιόντα χωρίς όμως να επηρεάζεται ιδιαίτερα η δομή του πλέγματος.



Εικόνα 7: Πορώδης δομή ζεόλιθου [41]

2.1.4 Σχηματισμός ζεόλιθων

Οι ζεόλιθοι είναι συνηθισμένα συστατικά που βρίσκονται στα κενά και στις κοιλότητες διαφόρων τύπων πετρωμάτων. Οι κρύσταλλοι των ζεόλιθων φθάνουν σε μέγεθος μερικές δεκάδες εκατοστά. Οι ζεόλιθοι σχηματίζονται από την αντίδραση ηφαιστειακών και ιζηματογενών πετρωμάτων με ποτάμια, θάλασσες, λίμνες ή υπεδάφια νερά. Έχει διαπιστωθεί ότι είναι τα πιο διαδεδομένα και άφθονα πυριτικά ορυκτά στα ιζηματογενή πετρώματα.^[9] Πιο συγκεκριμένα, ο σχηματισμός των ζεόλιθων πραγματοποιείται σε αποθέσεις ηφαιστειακών πετρωμάτων από το νερό που επιδρά χημικά με την υδρόλυση των υαλωδών συστατικών.^[10] Επιπλέον, σχηματίζονται όταν η σχέση κατιόντων προς το υδρογόνο ή άλλες ιοντικές σχέσεις είναι κατάλληλες.

2.1.5 Χρήσεις ζεόλιθου

Όπως αναφέρθηκε στα γενικά χαρακτηριστικά του ζεόλιθου, ο ζεόλιθος λόγω των ιδιοτήτων του έχει πάρα πολλές χρήσεις. Στην συνέχεια θα αναφερθούν επιγραμματικά οι χρήσεις του διότι η εργασία βασίζεται στην παραγωγή του σκυροδέματος με την χρήση του ζεόλιθου οπότε δεν θέλουμε να εντρυφήσουμε περαιτέρω.

- Παραγωγή τσιμέντου (υποκαθιστά τον περλίτη)
- Κατασκευή ελαφρών τούβλων με μεγάλη αντοχή
- Κατασκευή των δαπέδων, σανίδων, σαν υλικό πλήρωσης οικοδομική χρήση
- Μείωση της υγρασίας
- Βελτιωτικό εδάφους
- Επεξεργασία και φιλτράρισμα πόσιμου νερού
- Υλικά διατροφής ζώων
- Βιομηχανία απορρυπαντικών
- Αύξηση της ικανότητας απορρόφησης των λυμάτων

- Μείωση της περιεκτικότητας σε αμμωνία που περιέχει η ατμόσφαιρα
Αποθήκευση ηλιακής ενέργειας
- Βιομηχανία καταλυτών

2.2 Ασβεστόλιθος

2.2.1 Προέλευση και γενικά χαρακτηριστικά

Οι ασβεστόλιθοι είναι ιζηματογενή πετρώματα ποικίλης μορφής, χρωματισμού, γένεσης και αποτελούνται από ασβεστίτη σε ποσοστό 90-100%. Παρά το γεγονός ότι εμφανίζονται σε διαφορετικές μορφές, η προέλευσή τους μπορεί να εντοπιστεί σε χημικές ή σε βιοχημικές. Είναι τα πιο κοινά και διαδεδομένα ανθρακικά πετρώματα εξαιτίας της ποικιλίας των απολιθωμάτων που περιέχουν.



Εικόνα 8: Ασβεστόλιθος^[42]

Βασικά χαρακτηριστικά τους είναι η μεγάλη διαπερατότητα και το πορώδες τους. Οι κόκκοι τους έχουν διαστάσεις $d < 0,01$ mm και για αυτόν τον λόγο ο σχηματισμός τους

δεν είναι εμφανής. Οι ασβεστόλιθοι, παρά το γεγονός ότι αποτελούνται από ένα μόνο ουσιώδες ορυκτολογικό συστατικό (ασβεστίτης), εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία χρώματος και ιστολογικής κατασκευής. Αυτό συμβαίνει διότι έχουν και την δυνατότητα να σχηματίζονται κάτω από ποικίλες γεωλογικές συνθήκες και περιέχουν πλούσια επουσιώδη ορυκτολογικά συστατικά και χρωστικές ουσίες.

Τα λοιπά ορυκτολογικά συστατικά του ασβεστόλιθου είναι τα εξής:

- Αργιλικά ορυκτά
- Χαλαζίας ή χαλκηδόνιος
- Ανθρακούχες ενώσεις (προέρχονται από οργανικά λείψανα)
- Άστριοι
- Σιδηροπυρίτης
- Δολομίτης
- Αιματίτης

Ενίοτε, περιέχουν όπως προαναφέρθηκε δολομίτη σε διάφορα ποσοστά και για αυτό τον λόγο αποκαλούνται και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι.^[11] Ο δολομίτης είναι ένα πολύ σημαντικό ορυκτό. Σπάνια σχηματίζεται, κυρίως σε υπό επιφανειακές συνθήκες και σπάνια στην επιφάνεια. Τέλος, ως πιο σπάνια συστατικά των ασβεστόλιθων που αξίζει να αναφέρουμε είναι ο μαγνησίτης, ο σιδηρίτης και ο ανκερίτης.

2.2.2 Ιδιότητες ασβεστόλιθου

Οι ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν σπουδαίες μηχανικές και φυσικές ιδιότητες λόγω του μεγάλου φάσματος σε εφαρμογές και χρήσεις που διαθέτουν. Το χρώμα του πετρώματος κατά βάση εξαρτάται από τις προσμίξεις του (οξειδία σιδήρου, αργίλου κλπ). Το συνηθέστερο χρώμα που συναντάται είναι το άσπρο, γκρι-γαλάζιο και το κίτρινο ενώ σπανιότερα συναντάται το κόκκινο ή το μαύρο χρώμα. Χαρακτηρίζεται από τον όρο «υδατοπερατό», διότι διαβρώνεται έντονα από το νερό. Αυτή η διαβρωτική ικανότητα του νερού έναντι του πετρώματος έχει ως αποτέλεσμα να δώσει στο πέτρωμα περίπλοκους σχηματισμούς όπως ρήγματα ή σπήλαια. Το ειδικό βάρος των

ασβεστόλιθων ανάλογα πάντα με την ορυκτολογική του σύσταση κυμαίνεται μεταξύ 2,5 έως 2,6 gr/cm³. Τέλος έχει βαθμό σκληρότητας 3 στην κλίμακα Mohs πράγμα που σημαίνει ότι χαράσσεται αρκετά εύκολα.

ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΥ	
Διαπερατότητα	0,1 cm/s
Ελαστικότητα	3*10 ⁴ Mpa
Θερμική αγωγιμότητα	1,0 w/m*k
Σκληρότητα	3,5 Mohs
Ειδικό βάρος	2,7 g/cm ³
Πορώδες	0,2-2,0% κ.ο
Αντοχή σε θλίψη	800-1800 kp/cm ²
Υδατοαπορροφητικότητα	0,4 -0,9% κ.ο

Πίνακας 6: Φυσικές ιδιότητες Ασβεστόλιθου ^[13]

Όσο αφορά την αντοχή του ασβεστόλιθου, συναντάται ένα μεγάλο εύρος τιμών. Σε γενικές γραμμές η αντοχή του κυμαίνεται από 500 μέχρι 1500 kg/cm². Αυτό το εύρος τιμών στην αντοχή του ασβεστόλιθου οφείλεται στις ποικίλες μορφές που συναντάται . Για παράδειγμα ορισμένες φορές είναι συμπαγής ενώ άλλοτε είναι έντονα διαβρωμένος.

ΒΑΣΙΚΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΙ ΤΟΥ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΥ	
Ανθεκτικότητα σε διάρκεια	Μέτρια
Θλιπτική αντοχή (MPa)	100
Πυκνότητα (kg/cm ³)	2650

Πίνακας 7: Βασικοί χαρακτηρισμοί ασβεστόλιθου^[13]

2.2.3 Χρήσεις ασβεστόλιθου

Γενικά όσο αφορά τα βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα η χρήση τους είναι κατά κύριο λόγο τοπική διότι η μεταφορά τους σε μεγάλες αποστάσεις είναι οικονομικά επιζήμια. Προϊόντα ασβεστόλιθου παράγονται σχεδόν σε κάθε χώρα. Οι ασβεστόλιθοι κατέχουν την εντέκατη θέση σε παγκόσμια κατάταξη για όλες τις βιομηχανικές

εφαρμογές με εξαίρεση την βιομηχανία του τσιμέντου. Με βάση την ποιότητα του αντίστοιχα κατατάσσονται στην έβδομη και εντέκατη θέση (Lutting,1980).

Μερικές από τις χρήσεις του ασβεστόλιθου αναγράφονται παρακάτω:

- Τεχνικά έργα
- Παραγωγή άσβεστου
- Πύρωση
- Συμπλήρωμα ζωικών τροφών (με ανάμιξη φωσφορικού καλίου και αλεσμένων οστών)
- Βιομηχανικών λιπασμάτων
- Αστικά-Βιομηχανικά λύματα-όξινων νερών

Επίσης, οι ασβεστόλιθοι χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τσιμέντου ως πρώτη ύλη και ως πρόσθετο, παραγωγή τούβλων και πλακακιών. Αποτελεί πρώτη ύλη για την παραγωγή γυαλιού, βαφών, χρωμάτων και χαρτιού. Στην παραγωγή πλαστικών, ελαστικών και κεραμικών. Ακόμα, αποτελεί πρώτη ύλη για την Παρασκευή οξειδίου του ασβέστη και ασβεστίου.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι η χρήση του ασβεστόλιθου στον κατασκευαστικό κλάδο αυξάνεται λόγω των συνολικών πλεονεκτημάτων. Μερικά από αυτά τα οφέλη περιλαμβάνουν την καλή αντοχή, χαμηλή πιθανότητα αντίδρασης αλκαλίων-πυριτίας και μείωση της συρρίκνωσης ξήρανσης στο σκυρόδεμα. Οι ασβεστόλιθοι χρησιμοποιούνται στην παραγωγή αδρανών και οι βασικότεροι είναι οι κατωτέρω:

- Ικανοποιούν μηχανικές αντοχές των συνήθων κατασκευών
- Έχουν μικρό κόστος
- Συναντώνται σε αρκετά μέρη της Ελλάδας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

3.1 Μελέτη Συνθέσεως σκυροδέματος

Για τη μελέτη και την παρασκευή του σκυροδέματος, πρέπει να ακολουθείται τέτοια μέθοδος έτσι ώστε η εργασιμότητα και η ομοιογένεια που θα έχει να επιτρέπει την ικανοποιητική διάστρωση και συμπύκνωση του, σύμφωνα πάντα με τα διαθέσιμα μέσα.

Επιπλέον, θα πρέπει να ικανοποιεί τις προδιαγραφές του έργου, δηλαδή να διαθέτει την απαιτούμενη ανθεκτικότητα και αντοχή. Η Μελέτη Συνθέσεως καθορίζει τις αναλογίες των υλικών και είναι υποχρεωτική για την παρασκευή οποιουδήποτε τύπου σκυροδέματος. Εντούτοις, για σκυροδέματα τα οποία δεν συμμετέχουν ουσιαστικά στην λειτουργία του έργου, η Μελέτη Συνθέσεως δεν κρίνεται επιβεβλημένη.

Η Μελέτη συνθέσεως πρέπει να πραγματοποιείται στο πρώτο στάδιο του έργου αλλά και να επαναλαμβάνεται όταν τα αδρανή παρουσιάζουν διαφορετική διαβάθμιση και σύμφωνα με την Μελέτη συνθέσεως :

- Αλλάζει η πηγή λήψεως των αδρανών
- Αλλάζει ο τύπος και η κατηγορία αντοχής του τσιμέντου ή άλλες πρόσθετες ιδιότητες
- Η κάθιση δεν γίνεται να ικανοποιήσει τις αρχικές απαιτήσεις
- Το μίγμα παρουσιάζει τάσεις απομίξεως.

3.2 Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος

Οι ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος είναι, μεταξύ άλλων, οι ακόλουθες:

3.2.1 Εξίδρωση

Εξίδρωση ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο το νερό διαχωρίζεται από τα στερεά συστατικά του σκυροδέματος. Το φαινόμενο αυτό συναντάται πριν από την πήξη.^[1]

Τα στερεά συστατικά, λόγω της βαρύτητάς τους, κινούνται καθοδικά σε αντίθεση με το νερό το οποίο έχει την τάση να κινείται ανοδικά εξαιτίας των τριχοειδών δυνάμεων.

Έτσι λοιπόν, στην επιφάνεια του σκυροδέματος εμφανίζεται ένα λεπτό στρώμα νερού που προσομοιάζει με εξίδρωση. Στην συνέχεια το νερό το οποίο εμφανίζεται στην επιφάνεια εξατμίζεται άρα γίνεται αντιληπτό ότι το φαινόμενο της εξίδρωσης συμβάλει στην μείωση του τελικού όγκου του μείγματος και την απομάκρυνση ενός μέρους του νερού σε αυτό. Το φαινόμενο της εξίδρωσης επιτείνεται σε περίπτωση αύξησης του νερού αναμείξεως καθώς και από την έλλειψη λεπτόκοκκων υλικών της άμμου και του τσιμέντου, καθώς τουτοιοτρόπως διευκολύνεται η κίνηση του νερού προς τα επάνω.

Η ελάττωση του νερού είναι επιθυμητή γιατί έχει ευνοϊκό αποτέλεσμα στην αντοχή. Πιο συγκεκριμένα, η περίσσεια του νερού αναμείξεως, πέρα από εκείνο που δεσμεύεται χημικά και κρυσταλλικά από το τσιμέντο, οδηγεί και στην δημιουργία πορώδους του σκυροδέματος και στην, κατ' επέκταση, ελάττωση της αντοχής του.^[1] Ωστόσο, το φαινόμενο του διαχωρισμού θεωρείται επιβλαβές και επομένως μη επιθυμητό, δεδομένου ότι οδηγεί σε ανομοιογένεια μέσα στην μάζα του σκυροδέματος και ειδικότερα στα ακόλουθα δυσμενή φαινόμενα:

- Κατά την κίνηση του νερού προς τα επάνω, συμπαρασύρεται από αυτό το λεπτόκοκκο τμήμα του τσιμέντου. Έτσι, στην επάνω επιφάνεια του μείγματος δημιουργείται ένα λεπτό στρώμα κονίας που ρηγματώνεται και αποφλοιώνεται, με συνέπεια το μείγμα να καταλήγει φτωχότερο σε τσιμέντο.
- Καθώς το νερό παρεισφρεί μεταξύ των στερεών συστατικών του μείγματος, δημιουργούνται μέσα στον τσιμεντοπολτό λεπτοί σωληνίσκοι.

Το νερό συγκεντρώνεται αφενός στην επιφάνεια του σκυροδέματος και αφετέρου στις κοιλότητες μεταξύ των σκύρων, όπου και επικαθήμενο δημιουργεί τοπικές κοιλότητες.

Επίσης, συγκέντρωση του νερού παρατηρείται και σε όλο το μήκος κάτω από τις ράβδους του οπλισμού, με αποτέλεσμα τη δημιουργία κενού που επηρεάζει δυσμενώς την έκταση της επιφάνειας συνεργασίας ανάμεσα στο σκυρόδεμα και τον οπλισμό και, κατά συνέπεια, αυξάνει το ποσοστό κινδύνου για ανεπιθύμητη διάβρωση του οπλισμού.

3.2.2 Απόμειξη

Ο διαχωρισμός των στερεών συστατικών του σκυροδέματος γίνεται τόσο συνολικά όσο και μεταξύ των ίδιων των συστατικών, καθώς μετακινούνται προς τα κάτω, αναλόγως του βάρους του καθενός από αυτά. Τα βαρύτερα στερεά συστατικά του σκυροδέματος κινούνται προς τα χαμηλότερα στρώματα αυτού σε σχέση με τα ελαφρύτερα που παραμένουν σε υψηλότερα στρώματα. Επομένως, το φαινόμενο κατά το οποίο τα στερεά συστατικά του σκυροδέματος διαστρωματώνονται αναλόγως του βάρους τους, ονομάζεται απόμειξη σκυροδέματος.

Αν οι κόκκοι προέρχονται από το ίδιο πέτρωμα και έχουν κατά συνέπεια το ίδιο ειδικό βάρος, τότε ο διαχωρισμός τους γίνεται σε συνάρτηση του μεγέθους των κόκκων. Το φαινόμενο της απόμειξης του σκυροδέματος θεωρείται εξαιρετικά καταστρεπτικό για την αντοχή και την ποιότητα του σκυροδέματος ^[1]διότι εξαιτίας του μεταβάλλονται οι αναλογίες μείξεως με τρόπο απρόβλεπτο και μη ομοιόμορφο. Με αυτό τον τρόπο λοιπόν δημιουργούνται περιοχές μειωμένης αντοχής και μειωμένης πρόσφυσης μεταξύ οπλισμού και σκυροδέματος από την έλλειψη κονιάματος.

3.2.3 Εργάσιμο

Εργασιμότητα σκυροδέματος ορίζεται η “προσπάθεια” που απαιτείται για την μεταφορά, την διάστρωση, τη συμπύκνωση και το τελείωμα του σκυροδέματος χωρίς απόμειξη των υλικών.^[13] Η εργασιμότητα πρέπει να ελέγχεται, πριν από την διάστρωση και μετά από την εκφόρτωση σύμφωνα με το Κανονισμό Τεχνολογίας σκυροδέματος. Το εργάσιμο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τον κατασκευαστή κατά το χρόνο της

σκυροδέτησης και οι ιδιότητες με τις οποίες συνδέεται και από τις οποίες εξαρτάται είναι οι κατωτέρω^[9]:

- Ρευστότητα: Αφορά στην ευκολία με την οποία ρέει ένα υλικό και εξαρτάται κυρίως από την ποσότητα του νερού αναμείξεως.
- Πλαστικότητα: Είναι η ικανότητα ενός υλικού να παραμορφώνεται χωρίς να διακόπτεται η συνέχειά του.
- Συνοχή: Συνεπεία των δυνάμεων που έλκουν τα μόρια του υλικού μεταξύ τους δημιουργείται η συνοχή, η οποία, μεταξύ άλλων ιδιοτήτων, συντελεί στην πλαστικότητα.
- Συμπηκνωσιμότητα: Η δυνατότητα του υλικού να συμπυκνώνεται.
- Συνεκτικότητα: Χρησιμοποιείται για να εκφραστεί άλλοτε το εργάσιμο και άλλοτε η ρευστότητα.

Το εργάσιμο αυξάνεται γενικά όσο αυξάνεται το νερό αναμείξεως, δηλαδή η ρευστότητα του μείγματος. Η ποσότητα του νερού αναμείξεως επηρεάζει τη ρευστότητα του μείγματος περισσότερο από το λόγο νερού προς τσιμέντο^[1].

3.2.3.1 Μέτρηση του εργάσιμου του σκυροδέματος με εργαστηριακές δοκιμές

Η μέτρηση του εργάσιμου δεν είναι δυνατόν να διενεργηθεί απευθείας και για το λόγο αυτό, έχουν προταθεί και εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι, μέσω των οποίων προκύπτουν μετρήσεις που οδηγούν στο να σχηματίσουμε μια προσεγγιστική εικόνα του βαθμού εργασιμότητας του σκυροδέματος.

Ο πιο συνήθης και πρακτικός τρόπος για την μέτρηση του εργάσιμου είναι η μέτρηση ή δοκιμή κάθισης (κώνος του Abrams). Σε περιπτώσεις σκυροδεμάτων μεγάλης ρευστότητας εφαρμόζεται η δοκιμή μέτρου εξάπλωσης ενώ σε σκυροδέματα μικρής

ρευστότητας εφαρμόζεται η δοκιμή Vebe. Εμείς στην παρούσα διπλωματική θα ασχοληθούμε στο πειραματικό μέρος με την δοκιμή της κάθισης (slump test) οπότε δεν θα αναλύσουμε την διαδικασία των δοκιμών μέτρου εξάπλωσης και Vebe.

Δοκιμή κάθισης

Η δοκιμή κάθισης βασίζεται στο πρότυπο ΕΛΟΤ 521/1981 η οποία εγκρίθηκε από τον υπουργό του ΥΠΕΧΩΔΕ το 1986.

Το δείγμα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό της παρτίδας. Το δείγμα πρέπει να λαμβάνεται σύμφωνα με την προδιαγραφή ΕΛΟΤ 516, η οποία αφορά στη δειγματοληψία του νωπού σκυροδέματος. Επιπλέον, πρέπει το δείγμα να ελέγχεται εντός πέντε λεπτών από τη δειγματοληψία.

Όργανα - συσκευές

- Μεταλλικός κούλουρος κώνος (Slump cone ή Abrams cone) ο οποίος χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της συνοχής του νωπού σκυροδέματος. Έχει διάμετρο βάση 200 mm ,διάμετρο κορυφής 100 mm, ύψος 300 mm
- Ράβδος κυκλικής διατομής με διάμετρο 16 mm και μήκος 600 mm, με στρογγυλεμένα άκρα (rounded ends) και μία άκαμπτη επίπεδη, οριζόντια και μη απορροφητική επιφάνεια (Πρότυπο EN 12350-2, ΕΛΟΤ -521, ASTM C143-78).
- Χωνί (προαιρετικά) το οποίο προσαρμόζεται στο πάνω μέρος του κώνου για την διευκόλυνση του γεμίσματος.
- Ταψί στο οποίο θα ανακατευτεί το νωπό σκυρόδεμα
- Σέσουλα πλάτους 100 mm

- Βρεγμένο πανί και φτυάρι
- Χρονόμετρο



Εικόνα9: Συσκευή κάθισης^[44]

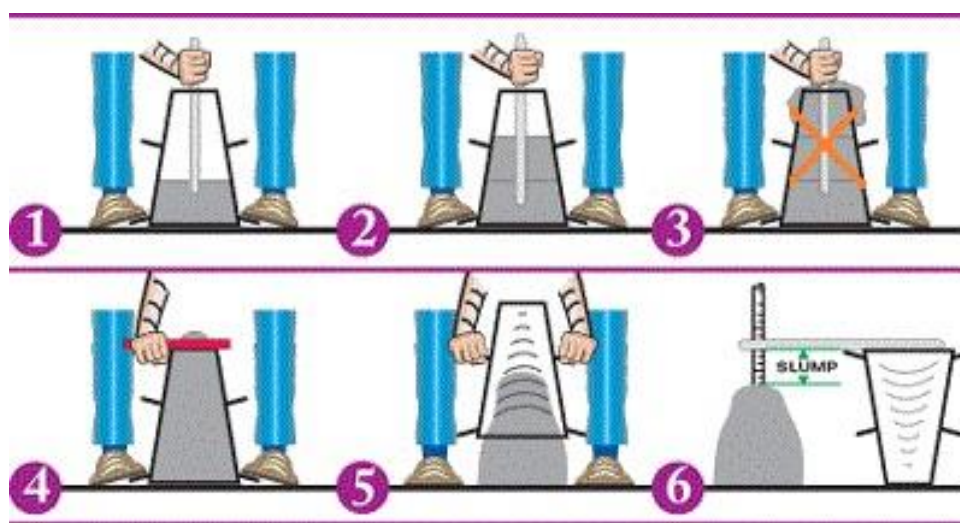
Διαδικασία

Η διαδικασία ξεκινάει με το γέμισμα του κώνου με σκυρόδεμα, συγκεκριμένα γίνεται διάστρωση σε τρεις στρώσεις ίδιου πάχους. Κάθε στρώση συμπυκνώνεται με 25 χτυπήματα ομοιόμορφα κατανομημένα στην επιφάνεια του σκυροδέματος με την βοήθεια της ράβδου. Κατά την συμπύκνωση της κατώτερης στρώσης δίνουμε στην ράβδο μια μικρή κλίση κατά την έμπηξη της στο σκυρόδεμα και στην συνέχεια βαθμιαία κατακορυφώνεται καθώς τα χτυπήματα προχωρούν με σπειροειδή κίνηση στο κέντρο. Τα χτυπήματα γίνονται στο κέντρο και στην περιφέρεια. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως σε όλο το διάστημα που συμπυκνώνουμε το σκυρόδεμα πατάμε τα μεταλλικά «αυτιά» στη βάση του κώνου, έτσι ώστε να παραμένει ο κώνος σταθερός και ακίνητος. Στην ανώτερη στρώση ο κώνος πρέπει να γεμίζει με περίσσεια σκυροδέματος πριν την έναρξη των ραβδισμών και να συμπληρώνεται κατά την διάρκεια της συμπύκνωσης έτσι ώστε να υπάρχει περίσσεια υλικού. Όταν ολοκληρώσουμε την συμπύκνωση αποκόπτουμε το σκυρόδεμα που περισσεύει στο πάνω μέρος του κώνου και η επιφάνεια του επιπεδώνεται. Επιπλέον, καθαρίζουμε την περιοχή γύρω από την βάση του κώνου και με τα δύο χέρια μας πιάνοντας τα χερούλια τη; Μήτρας ανασύρουμε τον κώνο

προσεκτικά και κατακόρυφα μέσα σε 5-10 sec. Η διαδικασία της δοκιμής, του γεμίσματος και η αφαίρεση του κώνου πρέπει να ολοκληρώνεται το πολύ σε διάστημα 2,5 λεπτών.

Η μάζα του σκυροδέματος, εξαιτίας του βάρους της, παραμορφώνεται μετά την αφαίρεση του κώνου. Αναστρέφουμε τον κώνο δίπλα από την μάζα του σκυροδέματος, τοποθετούμε επάνω του οριζόντια ράβδο συμπύκνωσης και με την βοήθεια ενός χάρακα ή μέτρου μετράμε την απόσταση από το κάτω μέρος της ράβδου από το υψηλότερο σημείο της επιφάνειας του σκυροδέματος. Αυτή η απόσταση ονομάζεται κάθιση και εκφράζεται σε εκατοστά.

Τέλος αξίζει να αναφέρουμε ότι η δοκιμή αυτή χαρακτηρίζεται αναξιόπιστη όταν η κάθιση του σκυροδέματος οφείλεται σε διατμητική αστοχία. Χαρακτηριστικό της διατμητικής αστοχίας με γυμνό μάτι είναι ο σχηματισμός σε μορφή διαγώνιου επιπέδου αστοχίας πάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος.



Εικόνα 10: Στάδια δοκιμής κάθισης ^[46]

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΚΑΘΙΣΗ (mm)
S1	Ελάχιστα Πλαστικό	10 έως 40
S2	Μέτρια Πλαστικό	50 έως 90
S3	Πλαστικό	100 έως 150
S4	Ημίρρευστο	160 έως 210
S5	Ρευστό	>220
Η μετρούμενη κάθιση θα στρογγυλεύεται στα πλησιέστερα 10 mm		

Πίνακας 8: Κατηγορίες κάθισης

3.3 - Συντήρηση σκυροδέματος

Η συντήρηση του σκυροδέματος είναι υποχρεωτική για κάθε έργο και όσο μεγαλύτερες είναι η θερμοκρασία στον περιβάλλοντα χώρο και η ταχύτητα του ανέμου, τόσο πιο σχολαστική θα πρέπει να είναι. Η συντήρηση είναι το επόμενο βήμα μετά την διάστρωση και η διάρκεια της εξαρτάται, όπως έγινε αντιληπτό, από τις κλιματολογικές συνθήκες και τις απαιτήσεις του έργου.

Μετά την σκυροδέτηση, το σκυρόδεμα θα πρέπει να καταβρέχεται καλά (όσες φορές την ημέρα χρειάζεται) τουλάχιστον για τις 7 πρώτες ημέρες. Κατά τη συντήρησή του πρέπει να εξασφαλίζονται συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας, οι οποίες θα ευνοούν την ενυδάτωση του μεγαλύτερου ποσοστού του τσιμέντου που περιέχεται στο μίγμα.

ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	
Μέθοδοι που απαγορεύουν ή επιβραδύνουν την εξάτμιση του νερού του μείγματος	Ψεκάσμος με ειδικά υγρά Επικάλυψη με άμμο, λινάτσες, αδιάβροχα φύλλα
Μέθοδοι για την αναπλήρωση του νερού που εξατμίζεται	Κατάβρεγμα Πλημμύρισμα

Πίνακας 9: Μέθοδοι εξασφάλισης υγρασίας

Αν οι θερμοκρασιακές συνθήκες του έργου είναι κατάλληλες δηλαδή δεν έχουμε περιπτώσεις όπου η συντήρηση γίνεται σε περίοδο καύσωνα ή παγετού τότε η διαδικασία έχει ως εξής:

Αφού ολοκληρωθεί το στάδιο της διάστρωσης, οι ελεύθερες επιφάνειες του σκυροδέματος σκεπάζονται με λινάτσες. Για 7 τουλάχιστον ημέρες, οι λινάτσες πρέπει να καταβρέχονται όλο το 24ωρο. Αν οι λινάτσες απομακρυνθούν πριν από την συμπλήρωση 14 ημερών από την διάστρωση, το σκυρόδεμα για 7 έως 14 ημέρες θα πρέπει να καταβρέχεται με στόχο τον κορεσμό της επιφάνειας του δύο φορές ημερησίως. Από τις 14 ημέρες έως τις 28 ημέρες θα πρέπει να καταβρέχεται μια φορά ημερησίως.^[12]

Σχετικά επισημαίνεται ότι η διαβροχή λίγης ώρας δεν αποτελεί ικανοποιητικό τρόπο συντήρησης για τα σκυροδέματα νεαρής ηλικίας και εφαρμόζεται μετά το πέρας της φάσης της κύριας συντήρησης.

Ο έλεγχος ως προς την αποτελεσματικότητα της μεθόδου γίνεται με «δοκίμια έργου», τα οποία διατηρούνται δίπλα στο έργο και συντηρούνται με τον ίδιο τρόπο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Αντικείμενο μελέτης του παρόντος κεφαλαίου είναι η εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος μέσω των μη καταστροφικών ελέγχων. Μεταξύ των πλέον δημοφιλών μη καταστροφικών ελέγχων είναι η κρουσιμέτρηση και οι υπέρηχοι, οι οποίοι και παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο.

4.1 Μέθοδοι προσδιορισμού αντοχής (ΚΑΝΕΠΕ 3.7.12)

Για την εκτίμηση της αντοχής πρέπει να γίνει ένας συνδυασμός έμμεσων μεθόδων (κρουσίμετρο, υπέρηχοι, εξολκαίας) και πυρηνοληψίας. Με τον συνδυασμό αυτό μας δίνεται η δυνατότητα ελέγχου σε περισσότερες θέσεις με μεγαλύτερη αξιοπιστία.

Η μεγαλύτερη δυσκολία είναι η μετατροπή των τιμών των πυρήνων που έχουν ληφθεί στην πραγματική επιτόπου αντοχή. Με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ 344 χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι διορθωτικοί συντελεστές:

- Λόγος του ύψους προς την διάμετρο του πυρήνα (H/D)
- Η διάμετρο του πυρήνα
- Το πάχος του στοιχείου από το οποίο έχει ληφθεί ο πυρήνας
- Η διαταραχή από την πυρηνοληψία

Η ακρίβεια των έμμεσων μεθόδων (κρουσίμετρο, υπέρηχοι) εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες. Επιπλέον, απαραίτητη κρίνεται η παράλληλη λήψη πυρήνων δηλαδή στο σημείο όπου έχουν ληφθεί μετρήσεις με έμμεσο τρόπο πρέπει να γίνει πυρηνοληψία, προκειμένου να γίνει βαθμονόμηση των προαναφερθέντων μεθόδων στην συγκεκριμένη κατασκευή. Έτσι λοιπόν, με βάση τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από τις μεθόδους ο Μηχανικός είναι υποχρεωμένος να αιτιολογήσει τις παραδοχές (βάση Τεχνολογίας Σκυροδέματος και ΚΑΝΕΠΕ) και τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος που θα χρησιμοποιηθούν κατά την αποτίμηση και τον σχεδιασμό.

Με τις έμμεσες μεθόδους η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος προσεγγίζεται με έμμεσο τρόπο κάνοντας συσχέτιση με κάποια άλλη ιδιότητα (πχ πυκνότητα, επιφανειακή σκληρότητα). Όσο αφορά την αντοχή, πρέπει να τονιστεί ότι μπορεί μόνο να εκτιμηθεί και όχι να μετρηθεί, επειδή οι μη καταστρεπτικές δοκιμές είναι συγκριτικής φύσης.

4.2 Μέθοδος Υπερήχων

Η δοκιμή σκυροδέματος με υπερήχους βασίζεται στην προδιαγραφή ΕΛΟΤ EN 12504.04. Πρόκειται για μια μέθοδο που βασίζεται στην αντήχηση εξ αντανάκλασεως υπερηχητικών ή κρουστικών κυμάτων^[14]. Η μέτρηση της ταχύτητας των υπερήχων χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση της ομοιομορφίας του σκυροδέματος, καθώς μας δίνει την δυνατότητα να εντοπίσουμε τις ανωμαλίες του σκυροδέματος (π.χ. ρωγμές, κενά) και να προσδιορίσουμε τις δυναμικές φυσικές ιδιότητες του. Επιπλέον, χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος (προκατασκευασμένο ή δείγμα) μετά από την κατάλληλη βαθμονόμηση του οργάνου (συσκευή υπερήχων).

4.2.1 Εξοπλισμός

Η συσκευή των υπερήχων αποτελείται από μια γεννήτρια παραγωγής υπερηχητικών κυμάτων, ένα ζεύγος μετατροπών δηλαδή τον μετατροπέα μετάδοσης (πομπός) και τον μετατροπέα λήψης (δέκτη), έναν ενισχυτή και ένα χρονόμετρο ακριβείας για την μέτρηση του χρόνου που απαιτείται από την αναχώρηση ενός παλμού από τον πομπό μέχρι την άφιξή του στο δέκτη.



Εικόνα 11: Συσσκευή υπερήχων Εργαστηρίου Σκυροδέματος [14]

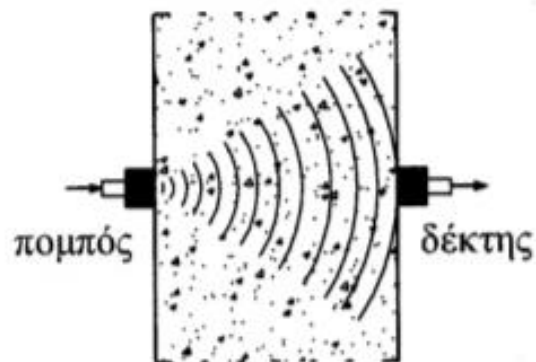
4.2.2 Μεθοδολογία εφαρμογής

Το πρώτο βήμα πριν την έναρξη της διαδικασίας είναι η βαθμονόμηση της συσκευής. Η συσκευή ελέγχεται και βαθμονομείται με μία ράβδο βαθμονόμησης έτσι ώστε να υπάρχει ένα σημείο αναφοράς για την μετρούμενη ταχύτητα. Η βαθμονόμηση λοιπόν πρέπει να πραγματοποιείται πριν από κάθε χρήση της συσκευής έτσι ώστε να υπάρχει εξασφάλιση της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων. Η ακρίβεια πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ $\pm 1\%$ κατά ISO DIS 8047 (1982) ή $\pm 2\%$ κατά ASTM C597 (1983) [14]. Σε περίπτωση που το όργανο δεν περιέχει ράβδο βαθμονόμησης, ενώνουμε τον πομπό με τον δέκτη και το αποτέλεσμα θα πρέπει να είναι ίσο με το μηδέν.

Μετά τον έλεγχο του οργάνου αποθηκεύουμε στην μνήμη της συσκευής το μήκος του στοιχείου που εξετάζουμε. Για την αποφυγή τυχόν σφαλμάτων εξαιτίας ατελειών του δοκιμίου χρησιμοποιούμε λιπαντική ουσία (πχ γράσο ή βαζελίνη). Αν η επιφάνεια του δοκιμίου είναι πολύ τραχιά το εμβαδόν της πρέπει να εξομαλύνεται και να ισοπεδώνεται με τριβή ή με την χρήση εποξειδικής ρητίνης ταχείας πήξης. Οι μετρήσεις των υπερήχων μπορούν να γίνουν με τους ακόλουθους τρεις τρόπους:

a. Τοποθέτηση των δύο μετατροπέων αντικριστά

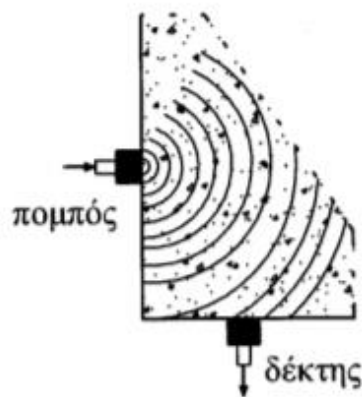
Θεωρείται ο πιο ακριβής τρόπος μέτρησης διότι υπολογίζεται ακριβώς η απόσταση του πομπού και του δέκτη.



Εικόνα 12: Άμεση μετάδοση του ήχου

b. Τοποθέτηση των δύο μετατροπέων στις δύο κάθετες πλευρές

Ο συγκεκριμένος τρόπος μέτρησης δεν θεωρείται κατάλληλος διότι αντιμετωπίζεται δυσκολία στον προσδιορισμό του μήκους του δοκιμίου.



Εικόνα 13: Έμμεση μετάδοση του ήχου

c. Τοποθέτηση των δυο μετατροπέων στην ίδια πλευρά

Ο συγκεκριμένος τρόπος μέτρησης χρησιμοποιείται όταν υπάρχει υποψία διαφοροποίησης του σκυροδέματος.



Εικόνα 14: Έμμεση μετάδοση του ήχου

Αφού τοποθετηθούν κατάλληλα οι μετατροπείς (συνίσταται ο τρόπος (α) που προαναφέρθηκε) βάζουμε την συσκευή σε λειτουργία και περιμένουμε μέχρι να ακούσουμε ότι το υπερηχητικό κύμα έφτασε στον δέκτη. Το όργανο μας εμφανίζει τις ακόλουθες ενδείξεις:

V = Η ταχύτητα παλμού

L= Το μήκος της διαδρομής (mm)

T= Ο χρόνος που απαιτείται από τον παλμό να διασχίσει το μήκος (μs)

Η ταχύτητα του παλμού υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$V = L / T$$

Όσον αφορά στην ακρίβεια της μέτρησης του μήκους της διαδρομής θα πρέπει να καταγράφεται με ακρίβεια $\pm 1\%$. Η ακρίβεια του μήκους διαδρομής εξαρτάται από το μέγεθος της απόστασης των μετατροπέων από κέντρο σε κέντρο.

4.2.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τις μετρήσεις της ταχύτητας του παλμού

- Υγρασία: Υψηλά ποσοστά υγρασίας συνεπάγονται την αύξηση της μετρούμενης ταχύτητας. Για την μείωση των σφαλμάτων στα αποτελέσματα κρίνεται απαραίτητη η χρήση διορθωτικών συντελεστών. Ο Λογοθέτης (1979) συνιστά τη χρήση των διορθωτικών συντελεστών που παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα :

Συντήρηση σκυροδέματος	Διορθωτικός συντελεστής (πολλαπλασιάζεται η μετρηθείσα ταχύτητα)
Σε ξηρό αέρα	1,03
Συμβατική	1,00
Στο νερό	0,97

Πίνακας 10: Επίδραση της συντήρησης στην ταχύτητα των υπερήχων

- Θερμοκρασία δοκιμίου: Η θερμοκρασία αν δεν κυμαίνεται από 5°C έως 30°C μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τις μετρούμενες ταχύτητες. Στην περίπτωση που η θερμοκρασία είναι κάτω των 5°C, το νερό παγώνει και η ταχύτητά του αυξάνεται. Αντίστοιχα, για θερμοκρασία άνω των 30°C παρατηρείται μείωση της ταχύτητας.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ C°	ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ	
	Ξηρές συνθήκες (%)	Υγρές συνθήκες (%)
60	5	4
40	2	1,7

20	0	0
0	-0,5	-1
-4	-1,5	-7,5

Πίνακας 11: Ποσοστό διόρθωσης ταχύτητας υπερήχων συναρτήσει επικρατούσης θερμοκρασίας και υγρασίας

- Μήκος διαδρομής: Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση πομπού-δέκτη τόσο μικρότερη συχνότητα δοκιμής χρησιμοποιούμε. Πιο συγκεκριμένα, η φυσική συχνότητα των μετατροπέων πρέπει να είναι από 20 kHz έως 150 kHz. Όταν η δοκιμή γίνεται σε στοιχείο με μεγάλο μήκος διαδρομής τότε η συχνότητα πρέπει να είναι κοντά στα 20 kHz. Αντιθέτως για μικρό μήκος διαδρομής η συχνότητα φτάνει ή μπορεί και να ξεπεράσει τα 150 kHz.
- Σχήμα και μέγεθος δείγματος: Το σχήμα και το μέγεθος κάθε δομικού στοιχείου, δεν επηρεάζουν την μετρούμενη ταχύτητα.
- Επίδραση ράβδων σπλισμού: Έχει παρατηρηθεί ότι με την πρόσπτωση του παλμού πάνω σε σπλισμό η ταχύτητα μεγαλώνει. Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί ότι στον χάλυβα η ταχύτητα των υπερήχων είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την ταχύτητα στο σκυρόδεμα κατά 1 έως 2 φορές.
- Εκτίμηση ρωγμών και κενών: Η ύπαρξη των ρωγμών εντοπίζεται από την συσκευή των υπερήχων. Η ύπαρξη των ρωγμών γίνεται αντιληπτή όταν ο χρόνος διάδοσης του υπερηχητικού κύματος παρουσιάζεται με αυξανόμενο τρόπο σε σχέση με τον χρόνο που παρουσιάστηκε σε προηγούμενες θέσεις που είχαν εξετασθεί και δεν βρέθηκαν ρωγμές.

Ανάλογα με την ταχύτητα των υπερήχων μπορούμε να αποφανθούμε για την ποιοτική κατάταξη του σκυροδέματος σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα:

A/α	Ταχύτητα υπερήχων	Ποιότητα
1	>4.500	Εξαιρετική
2	3.500-4.500	Καλή
3	2.500-3.500	Μέτρια
4	<2.500	Κακή
5	<2.000	Απόμειξη/ρωγμές

Πίνακας 12: Ποιοτική κατάταξη σκυροδέματος αναλόγως της μετρούμενης ταχύτητας υπερήχων

4.2.4 Μέθοδος κρουσίμετρου

Η μέθοδος του κρουσιμέτρου είναι μια από τις παλαιότερες μη καταστρεπτικές μεθόδους και χρησιμοποιείται έως σήμερα ευρέως. Ανακαλύφθηκε το 1948 Ernst Schmidt και για αυτό το λόγο είναι γνωστή και ως μέθοδος του κρουσιμέτρου Schmidt.



Εικόνες 15,16: Συσκευή κρουσίμετρου^[47]

Η μέθοδος του κρουσίμετρου ανήκει στους μη καταστροφικούς ελέγχους και μας δίνει την δυνατότητα να κάνουμε εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος σε θλίψης (EN 12390-3). Γενικά, η μέθοδος του κρουσίμετρου συνίσταται να συνδυάζεται και με κάποια άλλη μέθοδο διάγνωσης βλαβών (πχ υπερήχους ή λήψη πυρήνων). Πρόκειται για μια σχετικά απλή μέθοδο και αξιόπιστη στα αποτελέσματά της. Επιπλέον, η κρουσιμέτρηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σκυρόδεμα γνωστής αντοχής ή σε σκυρόδεμα το οποίο έχει

προέλθει από καθορισμένο όγκο σκυροδέματος και έχει επαληθευτεί ότι ανήκει σε συγκεκριμένη κατηγορία αντοχής.

Ανάλογα με την αναπήδηση του κρουσίμετρου προσδιορίζεται η επιφανειακή σκληρότητα του σκυροδέματος. Στην μέθοδο αυτή απαιτούνται 8 με 10 έλεγχοι ανά όροφο και 16 ανά κτίριο.

Αριθμός μετρήσεων κατά DIN: Πραγματοποιούνται 14 μετρήσεις από τις οποίες αφαιρούνται οι 2 μεγαλύτερες και οι 2 μικρότερες και λαμβάνεται ο μέσος όρος από τις τελικές 10 μετρήσεις.

Αριθμός μετρήσεων κατά ASTM: Πραγματοποιούνται 10 μετρήσεις από τις οποίες αν 1 μέτρηση διαφέρει από το μέσον όρο (των 10 μετρήσεων) περισσότερο από 7 μονάδες απορρίπτεται και λαμβάνεται ο μέσος όρος από τις 9 μετρήσεις. Εάν όμως διαφέρουν 2 μετρήσεις αντί για 1, τότε απορρίπτονται όλες.

Η σχέση αναπήδησης αντοχής εξαρτάται από παράγοντες σχετικούς με την ποιότητα της επιφάνειας σκυροδέματος. Στην συνέχεια θα αναφερθούν με αρίθμηση όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την μέθοδο.

4.3.1 Παράγοντες επιρροής αποτελεσμάτων με τη μέθοδο του κρουσίμετρου:

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα της ανωτέρω μεθόδου είναι οι εξής:

- Τύπος τσιμέντου και ποιότητα αδρανών:

Οι τύποι τσιμέντου Portland δεν επηρεάζουν σημαντικά τις ενδείξεις του κρουσίμετρου, η μέγιστη απόκλιση τους φτάνει μέχρι 10%. Ανάλογα με τον τύπο του τσιμέντου και την ποιότητα των αδρανών χρειάζονται ξεχωριστές βαθμονομήσεις. Οι διαφορετικοί τύποι τσιμέντου όμως σε σχέση με το τσιμέντο Portland, επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα σε ποσοστό από 50% έως 100%. Η βαθμονόμηση του οργάνου κρίνεται απαραίτητη πριν την εφαρμογή του ανάλογα πάντα με τα δεδομένα του στοιχείου που θέλουμε να εξετάσουμε.

- Τύπος σκλήρυνσης και ηλικία σκυροδέματος:

Η μέτρηση του δείκτη επιφανειακής σκληρότητας για σκυροδέματα ηλικίας μεταξύ 14 ημερών και 3 μηνών έχει μικρότερα ποσοστά σφαλμάτων. Πιο συγκεκριμένα, για σκυροδέματα 14 ημερών το ποσοστό σφάλματος είναι έως 15% ενώ για σκυροδέματα ηλικίας 3 μηνών το ποσοστό σφάλματος είναι έως 25%.

- Είδος της επιφάνειας:

Η επιφάνεια που εξετάζεται θα πρέπει να είναι καθαρή και λεία διότι η αξιοπιστία του κρουσίμετρου είναι αυξημένη σε λείες επιφάνειες. Οι ανώμαλες επιφάνειες όπως αυτές που προέρχονται από κοπή ή αυτές που δεν προέρχονται από καλούπια πρέπει να λειανθούν έτσι ώστε μεταξύ της επιφάνειας και του εμβόλου να μην υπάρχουν κενά.

- Υγρασία επιφάνειας:

Συνίσταται οι μετρήσεις να γίνονται σε ξηρά στοιχεία. Αυτό συμβαίνει διότι η υψηλή υγρασία έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων του κρουσίμετρου έως 20% σε σχέση με τα στοιχεία που εξετάζονται υπό κανονικές συνθήκες.

- Ενανθράκωση:

Η ενανθράκωση ιδιαίτερα σε κατασκευές μεγάλης ηλικίας μεγιστοποιεί τις τιμές του κρουσίμετρου σε ποσοστό έως 50%. Ακόμα, η ενανθράκωση παρουσιάζεται και σε δομικά στοιχεία τα οποία περιβάλλονται από διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Ένας τρόπος για την αντιμετώπιση της ενανθράκωσης είναι η αφαίρεση επιφανειακής στρώσης της τάξης των 5 mm από την επιφάνεια του δοκιμίου.

- Διεύθυνση κρουσιμέτρησης:

Κάθε κρουσίμετρο συνοδεύεται με το δικό του εγχειρίδιο όπου σε αυτό αναφέρονται οι διορθώσεις για τις γωνίες κλίσεως ανάλογα με την διεύθυνση εφαρμογής. Ο μετρούμενος δείκτης επιφανειακής σκληρότητας επηρεάζεται

σημαντικά από την διεύθυνση της κρουσιμέτρησης και για τον λόγο αυτό πρέπει να ακολουθούνται οι απαιτούμενες διορθώσεις.

R	Διόρθωση για γωνίες κλίσεως (+ προς τα πάνω, - προς τα κάτω)			
	+90	+45	-45	-90
10			+2,4	+3,2
20	-5,4	-3,5	+2,5	+3,4
30	-4,7	-3,1	+2,3	+3,1
40	-3,9	-2,6	+2,0	+2,7
50	-3,1	-2,1	+2,6	+2,2
60	-2,3	-1,6	+1,3	+1,7

Πίνακας 13: Επίδραση της διεύθυνσης κρουσιμέτρησης στην ένδειξη του κρουσίμετρου

- Αριθμός και θέσεις δοκιμών:

Ο αριθμός των κρουσιμετρήσεων θα πρέπει να είναι τουλάχιστον από 5 έως 10 στην κάθε θέση. Οι θέσεις δοκιμών θα πρέπει να απέχουν μεταξύ τους καθώς και από τις ακμές του δοκιμίου 30 mm. Η συνολική διάμετρος στην περιοχή των μετρήσεων θα πρέπει να είναι περίπου 300 mm. Αφού ολοκληρωθούν οι μετρήσεις τα αποτελέσματα ελέγχονται και απορρίπτονται οι τιμές με διαφορές +- 5 μονάδων. Η τελική αντοχή του σκυροδέματος προκύπτει από τον μέσο όρο των υπόλοιπων τιμών.

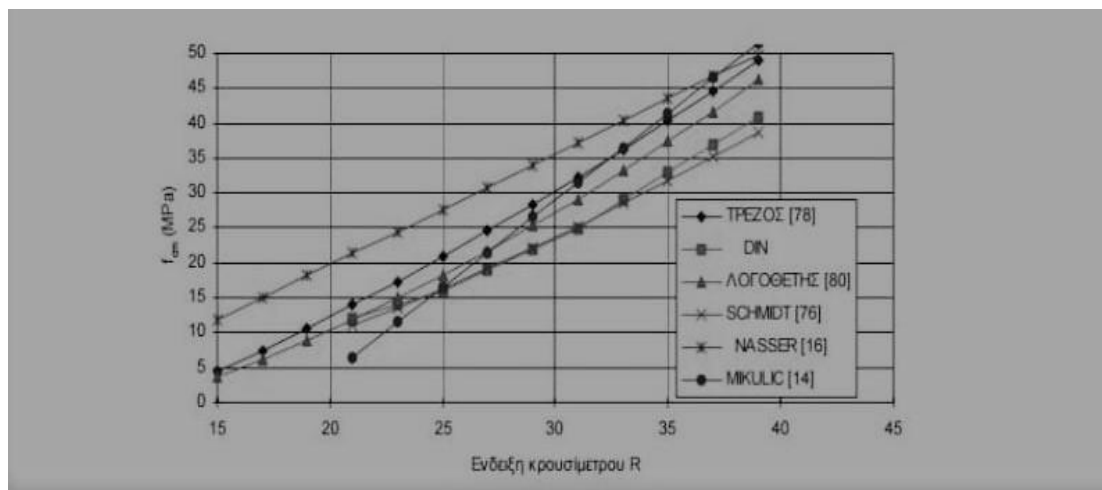
- Θερμοκρασία:

Η κατάλληλη θερμοκρασία κατά την διάρκεια της κρουσιμέτρησης είναι μεταξύ 10°C έως 30°C. Οι θερμοκρασίες οι οποίες είναι εκτός του ορίου που αναφέρθηκε προκαλούν την δημιουργία σφαλμάτων στα αποτελέσματα.

4.3.2 Δείκτης κρουσιμέτρησης R

Η εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος πρέπει να γίνεται με προσοχή. Η διαδικασία αυτή αφορά τη δύναμη και την αναπήδηση του κρουσίμετρου. Στην Ελληνική

και διεθνή βιβλιογραφία παρουσιάζονται διάφορες καμπύλες στις οποίες γίνεται συσχέτιση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος με την ένδειξη του κρουσίμετρου R. Για την εκτίμηση της μέσης θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος από τον δείκτη R χρησιμοποιείται η καμπύλη Schmidt. [14]



Διάγραμμα 1: Μεταβολή μέσης θλιπτικής αντοχής Σκυροδέματος συναρτήσει της ένδειξης R του κρουσίμετρου. [14]

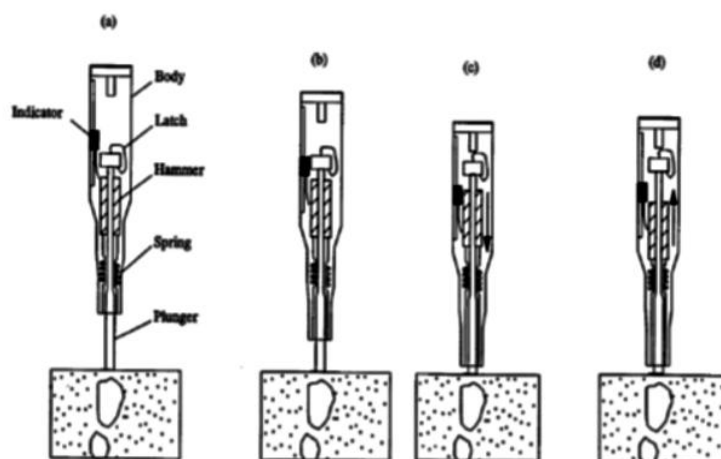
4.3.3 Στάδια δοκιμής κρουσίμετρου

Πριν από την έναρξη της δοκιμής καθαρίζεται η επιφάνεια πρόσκρουσης και η επιφάνεια του εμβόλου από ξένα αντικείμενα. Έπειτα, γίνεται λείανση του δοκιμίου το οποίο θα έρθει σε άμεση επαφή με το έμβολο του κρουσίμετρου. Τέλος, δημιουργείται ένας κάναβος όπου καθορίζονται οι θέσεις που θα γίνει η εφαρμογή της μεθόδου.

Οι κρουσιμετρήσεις θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 ανά θέση και η ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους όπως έχει αναφερθεί πρέπει να είναι 3 cm. Αν οι τελευταίες πέντε μετρήσεις δεν είναι εντός ± 3 της τιμής που δίνεται από τον κατασκευαστή, ρυθμίζουμε το όργανο και επαναλαμβάνουμε την διαδικασία σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Η δοκιμή γίνεται πιέζοντας το έμβολο του κρουσίμετρου στην επιφάνεια με αποτέλεσμα την αναπήδηση του εμβόλου η οποία εξαρτάται από την αντοχή και την ελαστικότητα των υλικών. Έτσι λοιπόν κρατάμε σταθερά το έμβολο έτσι ώστε να

προσκρούσει κάθετα προς την εξεταζόμενη επιφάνεια του σκυροδέματος



Εικόνα 17: Απεικόνιση σταδίων κρουσιμέτρησης [48]

Μετά την κρούση καταγράφουμε τον αριθμό αναπήδησης καθώς καταγράφουμε τη θέση και τον προσανατολισμό του κρουσίμετρου για κάθε σύνολο τιμών. Ως τελικό αποτέλεσμα της δοκιμής λαμβάνεται η μέση τιμή όλων των μετρήσεων. Ο αριθμός κρουσιμέτρησης εκφράζεται ως ακέραιος αριθμός. Αν πάνω από το 20% όλων των μετρήσεων διαφέρουν από τον μέσο όρο κατά περισσότερο από 30% πρέπει να απορρίπτεται ολόκληρο το σύνολο τιμών.

4.3.4 Αποφυγή σφαλμάτων

Για την αποφυγή σφαλμάτων συνίσταται η διενέργεια μετρήσεων ως εξής:

- a) Μακριά από τους σπλισμούς
- b) Σε αποστάσεις > 3 cm από ακμές
- c) Σε στοιχεία με πάχος >10 cm γιατί δημιουργείται ταλάντωση

Η μέθοδος του κρουσίμετρου αντενδείκνυται σε σκυροδέματα με :

- Ασυνήθεις συνθέσεις
- Χαμηλής αντοχής με ελαφρά αδρανή
- Πολύ παλαιά
- Πολύ σκληρά
- Μετά ή πολύ αργά από το ξεκαλούπωμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Σκοπός του πειραματικού μέρους είναι η διερεύνηση της αντοχής 6 δοκιμών σκυροδέματος εκ των οποίων τα 3 δοκίμια έχουν παρασκευαστεί με 10% προσθήκη ζεόλιθου και τα άλλα 3 δοκίμια με 20% προσθήκη ζεόλιθου ως αδρανές. Οι αντοχές των 6 δοκιμών θα συγκριθούν με την αντοχή ενός συμβατικού δοκιμίου σκυροδέματος το οποίο έχει παρασκευαστεί μόνο με ασβεστόλιθο.

5.1 Μεθοδολογία

Αρχικά φτιάχνουμε τα υλικά, υποθέτουμε πόσο τσιμέντο, αδρανή και νερό χρειαζόμαστε για να φτιάξουμε 6+1 δοκίμια. Παίρνουμε τα υλικά τα ανακατεύουμε μέσα στο μείγμα βάζοντας πρώτα τα αδρανή (πρώτα τα χονδρά και μετά τα λεπτόκοκκα). Φτιάχνουμε 1 συμβατό σκυρόδεμα μόνο με ασβεστόλιθο για να το έχουμε σαν πρότυπο (μας δίνει κατηγορία 42,5 MPa). Για τα υπόλοιπα 6 δοκίμια ακολουθούμε την ίδια διαδικασία με την μόνη διαφορά ότι αντί να έχουμε μόνο ασβεστόλιθο ως αδρανές, προσθέτουμε και :

- α) 10 % ζεόλιθο (στα 3 δοκίμια)
- β) 20% ζεόλιθο (στα υπόλοιπα 3 δοκίμια).

Μετά την ανάμιξη πριν διαστρώσουμε το μείγμα, εφαρμόζουμε τη δοκιμή της κάθισης και βλέπουμε τι κατηγορία θα μας δώσει. Αφού στρώσουμε το μείγμα σε καλούπια, κάνουμε συντήρηση για 28 ημέρες. Για να εκτιμήσουμε τις αντοχές, εφαρμόζουμε τις μεθόδους του κρουσίμετρου (10 σημεία) και των υπερήχων (3 σημεία). Τέλος, τοποθετούμε τα δοκίμια στην μηχανή θλίψης και καταγράφουμε την αντοχή του κάθε δοκιμίου.

5.2 Ποσότητες υλικών

Κατόπιν μελέτης συνθέσεως έχουμε:

Κατηγορία Σκυροδέματος: C_{25/30}

Τύπος Τσιμέντο: CEM I Portland 45 MPa

Υδατοτσιμεντοσυντελεστή: $\omega = 0,50$

Ποσότητα Τσιμέντου: 310 kg/m³

Ποσότητα Νερού: 153 kg/m³

Ποσότητα Αδρανών: 1944 kg/m³

		ΟΓΚΟΣ (m³)	ΤΣΙΜΕΝΤΟ (kg/m³)	ΝΕΡΟ (kg/m³)	ΑΔΡΑΝΗ (kg/m³)
		1	310	153	1944
Κυβικό Δοκίμιο (15x15x15) cm ³	3375 (cm ³)	0,003375	1,046250	0,516375	6,561000
Αύξηση 15%	0,15		1,2031875	0,59383125	7,54515
Έξι κυβικά καλούπια (6)			7,219125	3,5629875	45,2709
Στρογγυλοποίηση			7,22	3,56	45,26

Πίνακας 14: Ανάλυση για 1m³

ΥΛΙΚΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ	ΒΑΡΟΣ
ΤΣΙΜΕΝΤΟ	100%	7,22kg
ΝΕΡΟ	100%	3,56kg
ΑΔΡΑΝΗ	Συμβατά αδρανή + 10% προσθήκη ζεόλιθου	40,734kg + 4,526kg =45,26kg
	Συμβατά αδρανή + 20% προσθήκη ζεόλιθου	36,208kg + 9,052kg= 45,26kg

Πίνακας 15: Τελικές ποσότητες κυβικών δοκιμίων

5.3 Διαδικασία παρασκευής δοκιμών

5.3.1 Παρασκευή σκυροδέματος

Σε πρώτη φάση, ξεκινάμε την διαδικασία με το κοσκίνισμα των αδρανών. Τοποθετούμε τα κόσκινα στο σείστρο με την ακόλουθη σειρά (από κάτω προς τα πάνω): Κλειστό ταψί- 0,25 – 0,50 – 1,00 – 2,00 – 4,00 – 8,00 – 16,00 – 31,5



Εικόνα 18: Εργαστηριακά κόσκινα^[49]

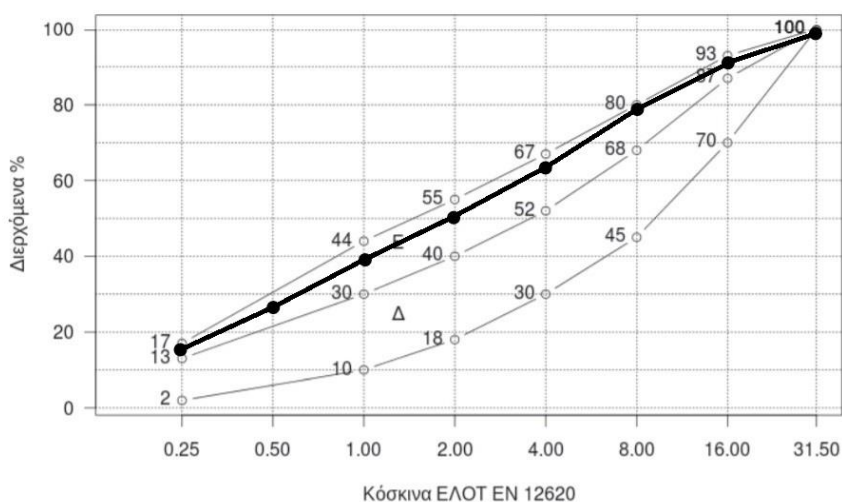
- Ρίχνουμε το προς εξέταση δείγμα αδρανών στο κόσκινο που βρίσκεται στην κορυφή, ασφαλίζουμε προσεκτικά το καπάκι και κοσκινίζουμε για περίπου 4 λεπτά.
- Ζυγίζουμε πόσο υλικό συγκρατήθηκε σε κάθε κόσκινο και συμπληρώνουμε την στήλη νούμερο 2 του πίνακα (...).
- Στην συνέχεια συμπληρώνουμε την στήλη 3 του πίνακα καταγράφοντας το συνολικό συγκρατούμενο βάρος σε κάθε κόσκινο.
- Προσθέτουμε το βάρος που συγκρατήθηκε στον πυθμένα.

- Στη συνέχεια αφαιρούμε το ολικό βάρος της στήλης 3 από το αρχικό βάρος του δείγματος αδρανών.
- Έπειτα καταγράφουμε στην στήλη 4 του πίνακα το βάρος του διερχόμενου υλικού από κάθε κόσκινο. Πιο συγκεκριμένα από το συνολικό συγκρατούμενο βάρος αφαιρούμε το βάρος του υλικού που έχει συγκρατηθεί σε κάθε κόσκινο.
- Τέλος καταγράφουμε στην στήλη 5 του πίνακα το ποσοστό του διερχόμενου υλικού από κάθε κόσκινο. Για των υπολογισμό των αποτελεσμάτων της στήλης 5 χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος τύπος :

$$\% \text{ διερχόμενο} = \frac{\text{διερχόμενο}}{\text{ολικό βάρος δείγματος}} * 100$$

Κόσκινο Νο	Συγκρατούμενο ανά κόσκινο (gr)	Συνολικό συγκρατούμενο (gr)	Διερχόμενο υλικό (gr)	Διερχόμενο ποσοστό (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
31,5	0	0	45260	100%
16	3828	3828	41431	91,54%
8	4420	8248	37012	81,87%
4	6790	15038	30222	66,77%
2	7580	22618	22642	50,03%
1	4868	27486	17774	39,27%
0,5	6950	34436	10824	23,92
2,5	4210	38646	6614	14,61%
Πυθμένας	6614	45260	0	0%
Σύνολο	45260			

Πίνακας 16: Εγγραφή αποτελεσμάτων κοκκομετρικής ανάλυσης συμβατικών αδρανών



Διάγραμμα ΠΒ1-2: Ορια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 31,5mm.

Διάγραμμα 2: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών (εφημερίδα της κυβέρνησης)

Στη συνέχεια, ζυγίζουμε την ποσότητα των υλικών για την παρασκευή των δοκιμών. Προσθέτουμε τα υλικά σε αναμκτήρα ξεκινώντας με τα χονδρόκοκκα και μετά με τα λεπτόκοκκα (ξηρή ανάμιξη) και τέλος προσθέτουμε σταδιακά το τσιμέντο και το νερό. Όπως ορίζει ο Ν.Κ.Τ.Σ., ο χρόνος αναμείξεως μετρείται αφού εισαχθούν όλα τα υλικά στον αναμκτήρα. Ο χρόνος αναγράφεται στις προδιαγραφές κάθε αναμκτήρα, σίγουρα όμως δεν μπορεί να είναι μικρότερος του ενός λεπτού.

5.3.2 Μέτρηση Εργάσιμου

Η μέτρηση του εργάσιμου του σκυροδέματος θα πραγματοποιηθεί με την δοκιμή της κάθισης.

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3, η διαδικασία ξεκινάει με το γέμισμα του κώνου

που έχει διάμετρο 200 mm στο κάτω μέρος και 100 mm στο άνω. Το γέμισμα πραγματοποιείται σε τρεις στρώσεις ίσου ύψους. Συμπυκνώνουμε κάθε στρώση με 25 ομοιόμορφα χτυπήματα με την χρήση χαλύβδινης ράβδου. Κατά την έμπειξη της ράβδου στο σκυρόδεμα πρέπει να βεβαιωθούμε ότι ο κώνος παραμένει σταθερός.

Αφού ολοκληρώσουμε την διαδικασία και αφαιρέσουμε την περίσσεια υλικού επιπεδώνουμε την επιφάνεια και αφαιρούμε προσεκτικά τον κώνο κάθισης. Η διαδικασία είχε διάρκεια 2 λεπτών.

Αναστρέφουμε τον κώνο δίπλα από την μάζα του σκυροδέματος και με την βοήθεια χάρακα μετράμε την κάθιση και ελέγχουμε τι κατηγορία θα μας δώσει.



Εικόνα 19: Μέτρηση κάθισης^[50]

Για σκυρόδεμα με 10% προσθήκη ζεόλιθου έχουμε κάθιση 70 mm δηλαδή κατηγορία S2 (μέτρια πλαστικό σκυρόδεμα).

Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία για σκυρόδεμα με 20% προσθήκη και το αποτέλεσμα της κάθισης είναι 65 mm που μας δίνει και αυτό κατηγορία S2.

Τέλος, η διαδικασία της κάθισης για το συμβατικό σκυρόδεμα χωρίς προσθήκη ζεόλιθου μας δίνει αποτέλεσμα 80 mm (κατηγορία S2).

5.3.3 Παρασκευή δοκιμών

Στο πείραμα μας έχουμε κυβικά δοκίμια με διαστάσεις (15x15x15) cm³.

Τα βήματα που εκτελούμε για την παρασκευή των κυβικών δοκιμών είναι τα εξής:

- Αλείφουμε με λάδι (ή ορυκτέλαιο) με την βοήθεια ενός πινέλου τα καλούπια.
- Γεμίζουμε 7 καλούπια για την παρασκευή 6+1 δοκιμών. Πιο συγκεκριμένα θα έχουμε ένα πρότυπο δοκίμιο μόνο με ασβεστόλιθο , τρία δοκίμια με 10% προσθήκη ζεόλιθου και τρία δοκίμια με 20% προσθήκη ζεόλιθου.



Εικόνα 20: Μήτρα για δοκίμιο σκυροδέματος 15*15 [51]

- Αφού ολοκληρώσουμε το γέμισμα των καλουπιών, χτυπάμε 25 φορές με την ειδική ράβδο συμπύκνωσης μήκους 60 cm. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνουμε την σωστή συμπύκνωση του υλικού μέσα στα καλούπια μας.



Εικόνα 21: Συμπύκνωση σκυροδέματος με την βοήθεια ράβδου^[52]

- Μετά την πρώτη συμπύκνωση, γεμίζουμε το καλούπι μέχρι το χείλος τους και συμπυκνώνουμε ξανά χτυπώντας το υλικό με την ράβδο άλλες 25 φορές.
- Μετά το τέλος της συμπύκνωσης επιπεδώνουμε με μυστρί την επιφάνεια των δοκιμίων και τα ζυγίζουμε.

Αυτό που παρατηρήθηκε οπτικά είναι ότι το συμβατό σκυρόδεμα χωρίς προσθήκη ζεόλιθου είναι πιο ρευστό στην υφή και το νερό που χρησιμοποιήθηκε κατά την παρασκευή του φαίνεται ελάχιστα στην επιφάνεια.

Αντιθέτως, τα δοκίμια που περιέχουν προσθήκη ζεόλιθου έχουν πιο συμπαγή υφή

χωρίς την παρουσία νερού στην επιφάνεια. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι ο ζεόλιθος ως υλικό έχει μεγάλη απαίτηση σε νερό και το απορροφάει πολύ εύκολα.



Εικόνα 22: Δεξιά το δοκίμιο του ζεόλιθου και αριστερά του το πρότυπο ^[8]

5.4 Ξεκαλούπωμα και συντήρηση δοκιμίων

Σύμφωνα με όσα ορίζει ο Κ.Τ.Σ., τα δοκίμια πρέπει να φυλάσσονται στην σκιά για χρονικό διάστημα από 20 έως 32 ώρες. Αφού αφαιρέσουμε τις μήτρες από τα δοκίμια, παρατηρούμε ότι τα τρία δοκίμια που έχουν παρασκευαστεί με 20% προσθήκη ζεόλιθου παρουσιάζουν κάποιες ρωγμές. Συμπεραίνουμε ότι αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη ανάγκη του ζεόλιθου σε νερό.

Στην συνέχεια τα δοκίμια τοποθετούνται σε θάλαμο συντήρησης και φυλάσσονται για 28 μέρες.

5.5 Μη καταστροφικοί έλεγχοι

Ακολουθούν οι μη καταστροφικοί έλεγχοι των 6+1 παρασκευασθέντων δοκιμίων, με τις μεθόδους των υπερήχων και του κρουσίμετρου.

5.5.1 Μέθοδος των υπερήχων

Σε πρώτη φάση, στο εργαστήριο σκυροδέματος έγιναν δοκιμές έμμεσου προσδιορισμού της αντοχής των 6+1 δοκιμίων σκυροδέματος με την μέθοδο των υπερήχων σε τρία σημεία.

Βήματα που ακολουθήθηκαν:

- Βαθμονόμηση συσκευής υπερήχων
- Λείανση των δοκιμίων με λιπαντική ουσία (γράσο)
- Αποθήκευση μήκους του στοιχείου στην συσκευή L=15 cm
- Έναρξη συσκευής
- Καταγραφή αποτελεσμάτων.

Για την μέθοδο των Υπερήχων ισχύουν οι εξής παράγοντες :

- Θερμοκρασία δοκιμίου $T = 34 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Συνθήκες ξηρές.

Μετά την ολοκλήρωση της δοκιμής τα αποτελέσματα των 6+1 κυβικών δοκιμίων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

A/A	ΔΟΚΙΜΙΟ 1 (ΣΥΜΒΑΤΟ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 2 (+10% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 3 (+10% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 4 (+10% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 5 (+20% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 6 (+20% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 7 (+20% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)
1	28,9	19,8	19,3	20,1	33	28,9	31,8
2	31,2	37,4	37,2	36,9	35,2	34,3	35,3
3	33,9	40,1	40,5	40,2	26,8	39,8	38,9

Πίνακας 17: Μετρήσεις υπερήχων

Υπολογιστικό παράδειγμα για 7 δοκίμια:

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 (πρότυπο):

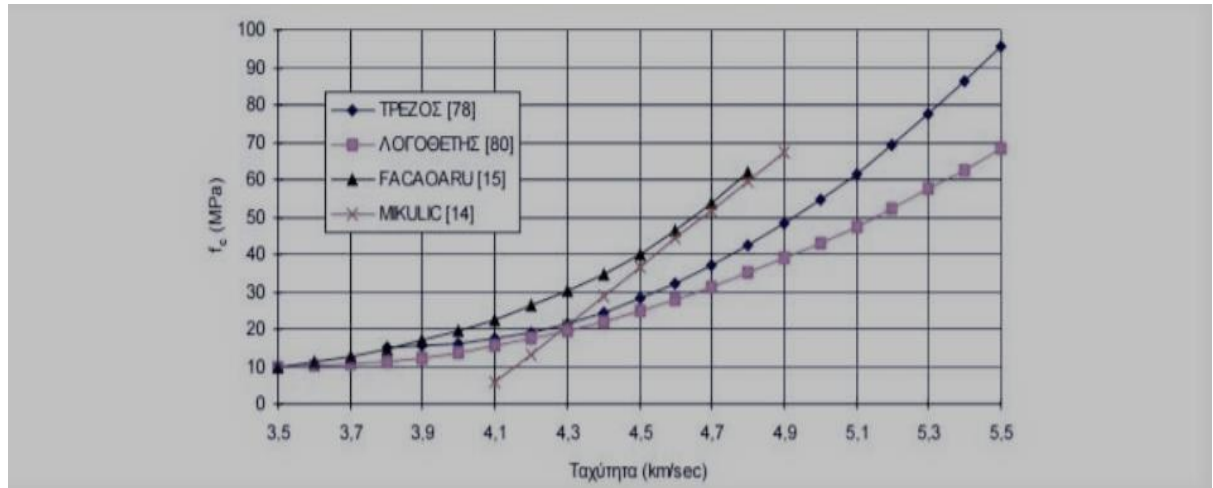
$$\Sigma t = 28,9 + 31,2 + 33,9 = 94 \mu s$$

$$\bar{t} = \frac{94}{3} = 31,33 \mu s = 31,33 * 10^{-6} s$$

$$V = \frac{L}{\bar{t}} = \frac{15 * 10^{-2}}{31,33 * 10^{-6}} = 0,48 * 10^4 = 4800 m/s = 4,8 km/s$$

Σύμφωνα με την καμπύλη Τρέζου έχουμε: $f_{c1} = 41 MPa$

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 4, η ποιοτική κατάταξη του σκυροδέματος είναι εξαιρετική, αφού $V = 4,8 km/s > 4,5$



Διάγραμμα 3: Καμπύλη ΤΡΕΖΟΥ [14]

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 (με 10% προσθήκη ζεόλιθου):

$$\Sigma t = 19,8 + 37,4 + 40,1 = 97,3 \mu s$$

$$\bar{t} = \frac{97,3}{3} = 32,43 \mu s = 32,43 * 10^{-6} s$$

$$V = \frac{L}{\bar{t}} = \frac{15 * 10^{-2}}{32,43 * 10^{-6}} = 0,46 * 10^4 = 4600 m/s = 4,6 km/s$$

Σύμφωνα με την καμπύλη Τρέζου έχουμε: $f_{c2} = 31 Mpa$

Συμφώνα με το Διάγραμμα 4, η ποιοτική κατάταξη του σκυροδέματος είναι εξαιρετική αφού $V = 4,6 km/s > 4,5$

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 (με 10% προσθήκη ζεόλιθου):

$$\Sigma t = 19,3 + 37,2 + 40,5 = 97 \mu s$$

$$\bar{t} = \frac{97}{3} = 32,33 \mu s = 32,33 * 10^{-6} s$$

$$V = \frac{L}{\bar{t}} = \frac{15 * 10^{-2}}{32,33 * 10^{-6}} = 0,47 * 10^4 = 4700 m/s = 4,7 km/s$$

Σύμφωνα με την καμπύλη Τρέζου έχουμε: $f_{c3} = 33 MPa$

Συμφώνα με το Διάγραμμα 4,η ποιοτική κατάταξη του σκυροδέματος είναι εξαιρετική αφού $V = 4,7 km/s > 4,5$

ΔΟΚΙΜΙΟ 4 (με 10% προσθήκη ζεόλιθου):

$$\Sigma t = 20,1 + 36,9 + 40,2 = 97,2 \mu s$$

$$\bar{t} = \frac{97,2}{3} = 32,40 \mu s = 32,40 * 10^{-6} s$$

$$V = \frac{L}{\bar{t}} = \frac{15 * 10^{-2}}{32,40 * 10^{-6}} = 0,46 * 10^4 = 4600 m/s = 4,6 km/s$$

Σύμφωνα με την καμπύλη Τρέζου έχουμε: $f_{c4} = 31 MPa$

Συμφώνα με το Διάγραμμα 4,η ποιοτική κατάταξη του σκυροδέματος είναι εξαιρετική αφού $V = 4,6 km/s > 4,5$

ΔΟΚΙΜΙΟ 5 (με 20% προσθήκη ζεόλιθου):

$$\Sigma t = 35,2 + 36,8 + 33 = 105 \mu s$$

$$\bar{t} = \frac{105}{3} = 35 \mu s = 35 * 10^{-6} s$$

$$V = \frac{L}{\bar{t}} = \frac{15 \cdot 10^{-2}}{35 \cdot 10^{-6}} = 0,43 \cdot 10^4 = 4300 \text{ m/s} = 4,3 \text{ km/s}$$

Σύμφωνα με την καμπύλη Τρέζου έχουμε: $f_{c5} = 22 \text{ Mpa}$

Συμφώνα με το Διάγραμμα 4, η ποιοτική κατάταξη του σκυροδέματος είναι καλή αφού $4,500 > V = 4,3 \text{ km/s} > 3,500$

ΔΟΚΙΜΙΟ 6 (με 20% προσθήκη ζεόλιθου):

$$\Sigma t = 34,3 + 28,9 + 39,8 = 103 \text{ } \mu\text{s}$$

$$\bar{t} = \frac{103}{3} = 34,3 \text{ } \mu\text{s} = 34,3 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$V = \frac{L}{\bar{t}} = \frac{15 \cdot 10^{-2}}{34,3 \cdot 10^{-6}} = 0,44 \cdot 10^4 = 4400 \text{ m/s} = 4,4 \text{ km/s}$$

Σύμφωνα με την καμπύλη Τρέζου έχουμε: $f_{c6} = 25 \text{ Mpa}$

Συμφώνα με το Διάγραμμα 4, η ποιοτική κατάταξη του σκυροδέματος είναι καλή αφού $4,500 > V = 4,4 \text{ km/s} > 3,500$

ΔΟΚΙΜΙΟ 7 (με 20% προσθήκη ζεόλιθου):

$$\Sigma t = 35,3 + 31,8 + 38,9 = 106 \text{ } \mu\text{s}$$

$$\bar{t} = \frac{106}{3} = 35,3 \text{ } \mu\text{s} = 35,3 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$V = \frac{L}{\bar{t}} = \frac{15 \cdot 10^{-2}}{35,3 \cdot 10^{-6}} = 0,42 \cdot 10^4 = 4200 \text{ m/s} = 4,2 \text{ km/s}$$

Σύμφωνα με την καμπύλη Τρέζου έχουμε: $f_{c7} = 20 \text{ MPa}$

Συμφώνα με με το Διάγραμμα 4, η ποιοτική κατάταξη του σκυροδέματος είναι καλή αφού $4,500 > V = 4,2 \text{ km/s} > 3,500$

Υπολογισμός δύναμης Φυτερήχων και τυπικής απόκλισης S για τα δοκίμια με 10% προσθήκη ζεόλιθου (δοκίμιο 2, 3 και 4):

$$f_{\text{ΥΠΕΡ.}} = \frac{31+33+31}{3} \rightarrow f_{\text{ΥΠΕΡ.}} = 31,66 \text{ MPa}$$

$$\text{Εύρος} = f_{\text{max}} - f_{\text{min}} = 33 - 31 = 2 \text{ MPa}$$

$$\text{Τυπική απόκλιση: } S_{\text{ΥΠΕΡ.}} = \frac{\text{Εύρος} \cdot 100}{f_{\text{ΥΠΕΡ.}}} = \frac{2 \cdot 100}{31,66} \rightarrow S_{\text{ΥΠΕΡ.}} = 6,3 \text{ MPa}$$

Υπολογισμός δύναμης Φυτερήχων και τυπικής απόκλισης S για τα δοκίμια με 20% προσθήκη ζεόλιθου (δοκίμιο 5, 6 και 7):

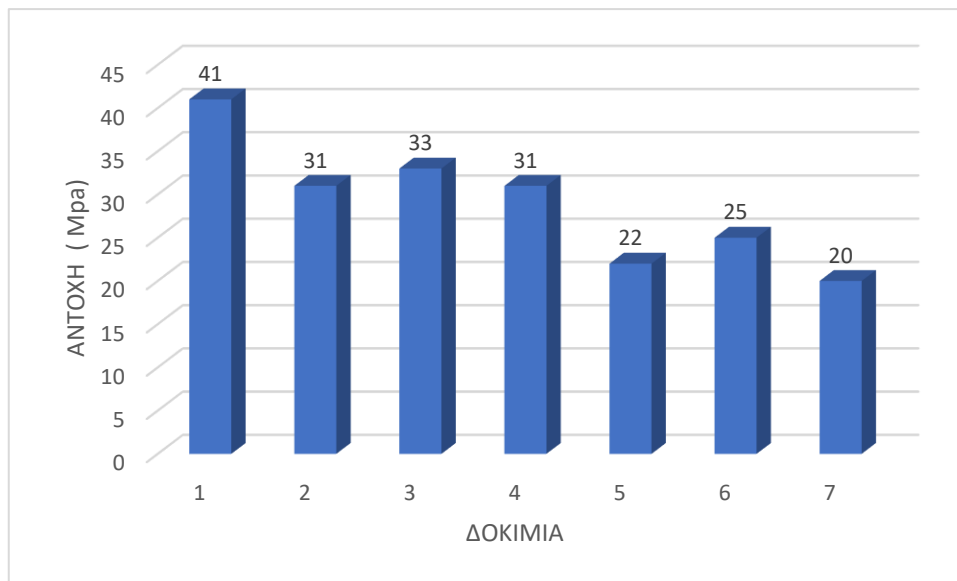
$$f_{\text{ΥΠΕΡ.}} = \frac{22+25+20}{3} \rightarrow f_{\text{ΥΠΕΡ.}} = 22,33 \text{ MPa}$$

$$\text{Εύρος} = f_{\text{max}} - f_{\text{min}} = 25 - 22 = 3 \text{ MPa}$$

$$\text{Τυπική απόκλιση: } S_{\text{ΥΠΕΡ.}} = \frac{\text{Εύρος} \cdot 100}{f_{\text{ΥΠΕΡ.}}} = \frac{3 \cdot 100}{22,33} \rightarrow S_{\text{ΥΠΕΡ.}} = 13,43 \text{ MPa}$$

	ΔΟΚΙΜΙΟ 1 (ΣΥΜΒΑΤΟ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 2 (+10% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 3 (+10% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 4 (+10% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 5 (+20% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 6 (+20% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 7 (+20% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)
F_c(MPa)	41 MPa	31 MPa	33 MPa	31 MPa	22 MPa	25 MPa	20 MPa

Πίνακας 18: Τελικές θλιπτικές αντοχές δοκιμίων με την μέθοδο των υπερήχων



Διάγραμμα 4: Τελικές θλιπτικές αντοχές (υπέρηχοι)

5.5.2 Μέθοδος κρουσίμετρου

Σε δεύτερη φάση στο εργαστήριο σκυροδέματος έγιναν δοκιμές έμμεσου προσδιορισμού της αντοχής των 6+1 δοκιμίων σκυροδέματος με την μέθοδο του κρουσίμετρου σε δέκα σημεία.

Βήματα που ακολουθήθηκαν:

- Καθάρισμα επιφάνειας πρόσκρουσης και επιφάνεια εμβόλου.
- Λείανση δοκιμίων .
- Αρχή δοκιμής κρατώντας σταθερά και κάθετα το κρουσίμετρο.

- Μετά το τέλος της κρούσης καταγράψαμε τον αριθμό αναπήδησης, την θέση και τον προσανατολισμό του κρουσίμετρου.

Για την μέθοδο Κρουσιμέτρου ισχύουν οι εξής παράγοντες :

- Η γωνία κλίσεως 90° προς τα κάτω
- Θερμοκρασία δοκιμίου $T_a = 32\text{ }^{\circ}\text{C}$

Μετά την ολοκλήρωση της δοκιμής τα αποτελέσματα των 6+1 κυβικών δοκιμών φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

A/A	ΔΟΚΙΜΙΟ 1 (ΣΥΜΒΑΤΟ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 2 (+10% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 3 (+10% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 4 (+10% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 5 (+20% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 6 (+20% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 7 (+20% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)
1	24	23	21	40	30	28	41
2	27	27	28	36	23	32	32
3	34	34	31	28	28	26	28
4	31	31	29	26	26	29	26
5	30	30	33	37	36	30	31
6	30	39	38	29	28	30	29
7	37	41	42	31	27	29	42
8	39	40	32	35	38	40	30
9	40	43	30	42	40	34	40
10	40	28	41	41	39	41	21

Πίνακας 19: Μετρήσεις κρουσίμετρου

Υπολογιστικό παράδειγμα για 7 δοκίμια:

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 (πρότυπο):

$$\Sigma_R = 24 + 27 + 34 + 31 + 30 + 30 + 37 + 39 + 40 + 40 = 332$$

$$\bar{R} = \frac{332}{10} = 33,2$$

γωνία κλίσεως 90° προς τα κάτω , γραμμική παρεμβολή από πίνακα 13 κεφάλαιο 4 :

$$\begin{array}{ll} 30 & 3,1 \\ 33,2 & \Delta \\ 40 & 2,7 \end{array} \quad \frac{40-30}{40-33,2} = \frac{2,7-3,1}{2,7-\Delta} \rightarrow \Delta = 2,972$$

$$\text{άρα: } R = 33,2 + 2,972 = 36,172$$

από διάγραμμα 1 έχουμε: $f_{c1} = 42 \text{ MPa}$

Οπότε: $35 < 36,172 < 45$, άρα καλή ποιότητα

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 (με 10% προσθήκη ζεόλιθου):

$$\Sigma R = 23 + 27 + 34 + 31 + 30 + 39 + 41 + 40 + 43 + 28 = 336$$

$$\bar{R} = \frac{336}{10} = 33,6$$

γωνία κλίσεως 90° προς τα κάτω , γραμμική παρεμβολή από πίνακα 13 κεφάλαιο 4 :

$$\begin{array}{ll} 30 & 3,1 \\ 33,6 & \Delta \\ 40 & 2,7 \end{array} \quad \frac{40-30}{40-33,6} = \frac{2,7-3,1}{2,7-\Delta} \rightarrow \Delta = 2,956$$

$$\text{άρα: } R = 33,6 + 2,956 = 36,556$$

από διάγραμμα 1 έχουμε: $f_{c2} = 43 \text{ MPa}$

Οπότε: $35 < 36,556 < 45$, άρα καλή ποιότητα

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 (με 10% προσθήκη ζεόλιθου):

$$\Sigma_R = 21+28+31+29+33+38+42+32+30+41 = 325$$

$$\bar{R} = \frac{325}{10} = 32,5$$

γωνία κλίσεως 90° προς τα κάτω , γραμμική παρεμβολή από πίνακα 13 κεφάλαιο 4 :

30	3,1	
32,5	Δ	$\frac{40-30}{40-32,5} = \frac{2,7-3,1}{2,7-\Delta} \rightarrow \Delta = 3,06$
40	2,7	

άρα: $R = 32,5 + 3,06 = 35,56$

από διάγραμμα 1 έχουμε: $f_{c3} = 41MPa$

Οπότε: $35 < 35,6 < 45$, άρα καλή ποιότητα

ΔΟΚΙΜΙΟ 4 (με 10% προσθήκη ζεόλιθου):

$$\Sigma_R = 40+36+28+26+37+29+31+35+42+41 = 345$$

$$\bar{R} = \frac{345}{10} = 34,5$$

γωνία κλίσεως 90° προς τα κάτω , γραμμική παρεμβολή από πίνακα 13 κεφάλαιο 4 :

$$\begin{array}{ll} 30 & 3,1 \\ 34,5 & \Delta \\ 40 & 2,7 \end{array} \quad \frac{40-30}{40-34,5} = \frac{2,7-3,1}{2,7-\Delta} \rightarrow \Delta = 2,92$$

$$\text{άρα: } R = 34,5 + 2,92 = 37,42$$

από διάγραμμα (Εικόνα ... κεφ 4) έχουμε: $f_{c4} = 45 \text{MPa}$

Οπότε: $35 < 37,42 < 45$, άρα καλή ποιότητα

ΔΟΚΙΜΙΟ 5 (με 20% προσθήκη ζεόλιθου):

$$\Sigma_R = 30+23+28+26+36+28+27+38+40+39=315$$

$$\bar{R} = \frac{315}{10} = 31,5$$

γωνία κλίσεως 90° προς τα κάτω, γραμμική παρεμβολή από πίνακα 13 κεφάλαιο 4 :

$$\begin{array}{ll} 30 & 3,1 \\ 33,6 & \Delta \\ 40 & 2,7 \end{array} \quad \frac{40-30}{40-31,5} = \frac{2,7-3,1}{2,7-\Delta} \rightarrow \Delta = 3,04$$

$$\text{άρα: } R = 31,5 + 3,04 = 34,54$$

από διάγραμμα 1 έχουμε: $f_{c5} = 38 \text{MPa}$

Οπότε: $25 < 34,54 < 35$, άρα μέτρια ποιότητα

ΔΟΚΙΜΙΟ 6 (με 20% προσθήκη ζεόλιθου):

$$\Sigma_R = 28+32+26+29+30+30+29+40+34+41 = 319$$

$$\bar{R} = \frac{319}{10} = 31,9$$

γωνία κλίσεως 90° προς τα κάτω, γραμμική παρεμβολή από πίνακα 13 κεφάλαιο 4 :

30	3,1	
31,9	Δ	$\frac{40-30}{40-31,9} = \frac{2,7-3,1}{2,7-\Delta} \rightarrow \Delta = 2,7$
40	2,7	

άρα: $R = 31,9 + 2,7 = 34,60$

από διάγραμμα 1 έχουμε: $f_{c6} = 38 \text{ MPa}$

Οπότε: $25 < 34,60 < 35$, άρα μέτρια ποιότητα

ΔΟΚΙΜΙΟ 7 (με 20% προσθήκη ζεόλιθου):

$$\Sigma_R = 41+32+28+26+31+29+42+30+40+21 = 320$$

$$\bar{R} = \frac{320}{10} = 32$$

γωνία κλίσεως 90° προς τα κάτω, γραμμική παρεμβολή από πίνακα 13 κεφάλαιο 4 :

30 3,1

$$32 \quad \Delta \quad \frac{40-30}{40-31,9} = \frac{2,7-3,1}{2,7-\Delta} \rightarrow \Delta = 2,9$$

40 2,7

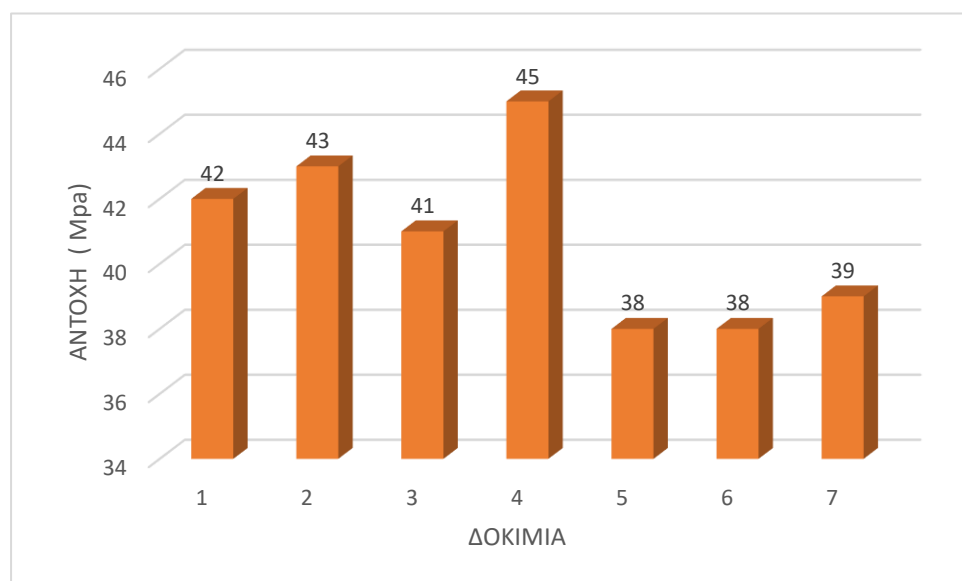
άρα: $R = 32 + 2,9 = 34,90$

από διάγραμμα 1 έχουμε: $f_{c6} = 39 \text{ MPa}$

Οπότε: $25 < 34,9 < 35$, άρα μέτρια ποιότητα

	ΔΟΚΙΜΙΟ 1 (ΣΥΜΒΑΤΟ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 2 (+10% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 3 (+10% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 4 (+10% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 5 (+10% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 6 (+10% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)	ΔΟΚΙΜΙΟ 7 (+10% ΖΕΟΛΙΘΟΣ)
Fc(MPa)	42 MPa	43 MPa	41 MPa	45 MPa	38 MPa	38 MPa	39 MPa

Πίνακας 20: Τελικές θλιπτικές αντοχές δοκιμών με την μέθοδο του κρουσίμετρου



Διάγραμμα 5: Τελικές θλιπτικές αντοχές (κρουσίμετρο)

Υπολογισμός δύναμης Φκρουσίμετρου και τυπικής απόκλισης S για τα δοκίμια με 10% προσθήκη ζεόλιθου (δοκίμιο 2, 3 και 4):

$$f_{\text{ΚΡΟΥΣ.}} = \frac{43+41+45}{3} \rightarrow f_{\text{ΚΡΟΥΣ.}} = 43 \text{ MPa}$$

$$\text{Εύρος} = f_{\text{max}} - f_{\text{min}} = 45 - 41 = 5$$

$$\text{Τυπική απόκλιση: } s_{\text{ΚΡΟΥΣ.}} = \frac{5 \cdot 100}{43} \rightarrow s_{\text{ΚΡΟΥΣ.}} = 11,6 \text{ MPa}$$

Υπολογισμός δύναμης Φκρουσίμετρου και τυπικής απόκλισης S για τα δοκίμια με 10% προσθήκη ζεόλιθου (δοκίμιο 5, 6 και 7):

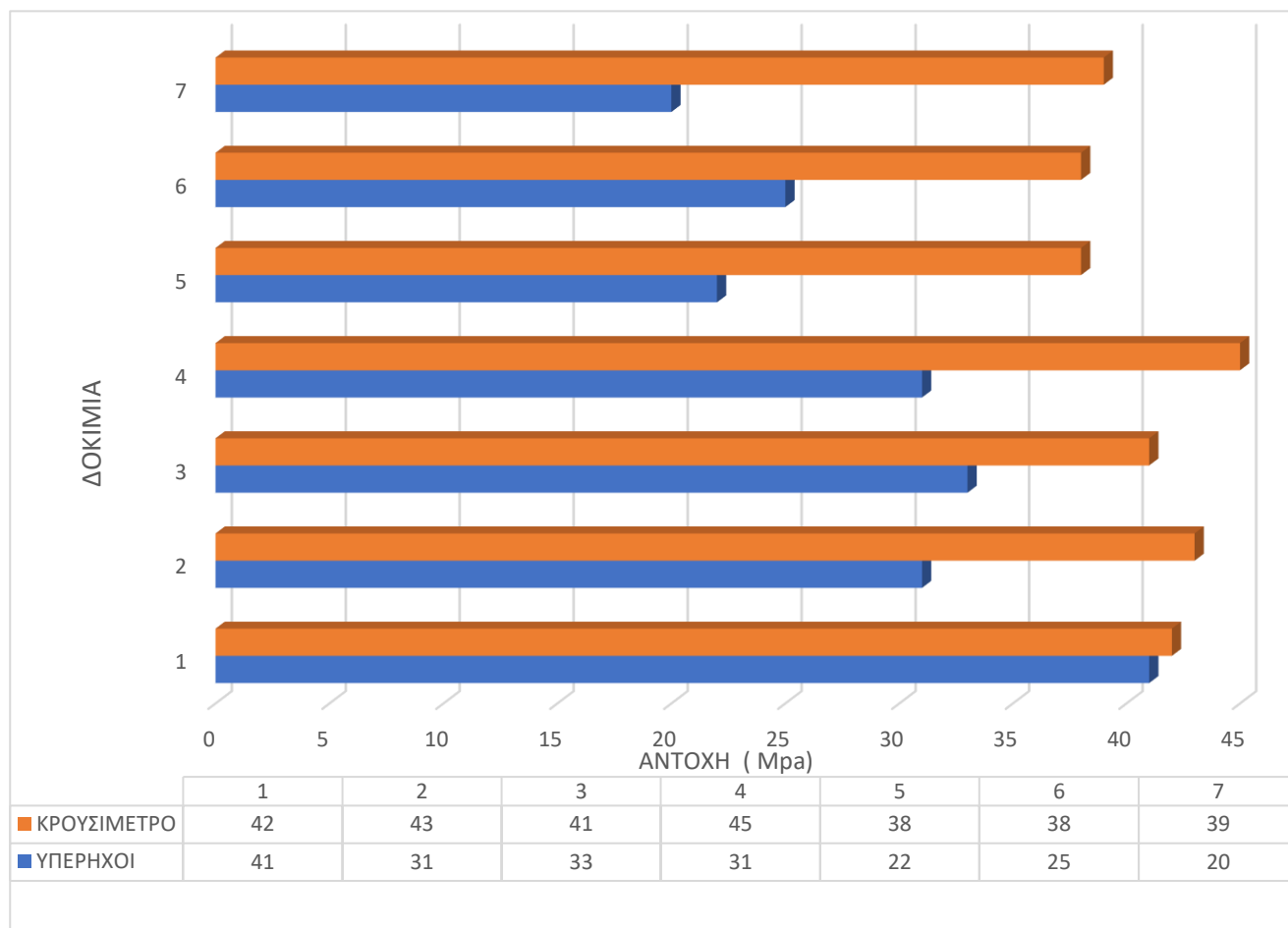
$$f_{\text{ΚΡΟΥΣ.}} = \frac{38+38+39}{3} \rightarrow f_{\text{ΚΡΟΥΣ.}} = 38,33 \text{ MPa}$$

$$\text{Εύρος} = f_{\text{max}} - f_{\text{min}} = 39 - 38 = 1$$

$$\text{Τυπική απόκλιση: } s_{\text{ΚΡΟΥΣ.}} = \frac{1 \cdot 100}{38,33} \rightarrow s_{\text{ΚΡΟΥΣ.}} = 2,6 \text{ MPa.}$$

5.5.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων

Μετά την ολοκλήρωση των μη καταστροφικών ελέγχων με τις μεθόδους των υπερήχων και του κρουσίμετρου, παρουσιάζεται στον κατωτέρω πίνακα η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα αποτελέσματα, όπως αυτά υπολογίστηκαν ανωτέρω:



Διάγραμμα 6: Σύγκριση αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων

Παρατηρήσεις

Σύμφωνα με το διάγραμμα 6 παρατηρούμε βάση των αποτελεσμάτων ότι οι 2 μέθοδοι έχουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ τους για τα δοκίμια με 10% και 20% προσθήκη ζεόλιθου σε σύγκριση με το πρότυπο δοκίμιο.

5.5.4 Μηχανή θραύσης δοκιμών

Ο τελικός έλεγχος αντοχής των δοκιμών πραγματοποιήθηκε μέσω της συσκευής θραύσης 28 ημέρες μετά την συντήρηση των δοκιμών.

Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε για τα 6+1 δοκίμια. Εξαιτίας της διαφορετικής σύνθεσης τους αναμένουμε να μας δώσουν διαφορετικά αποτελέσματα αντοχών μέσω των οποίων θα μπορέσουμε να βγάλουμε τα συμπεράσματα μας.



Εικόνα23: Μηχανή θλίψης^[14]

Διαδικασία δοκιμής:

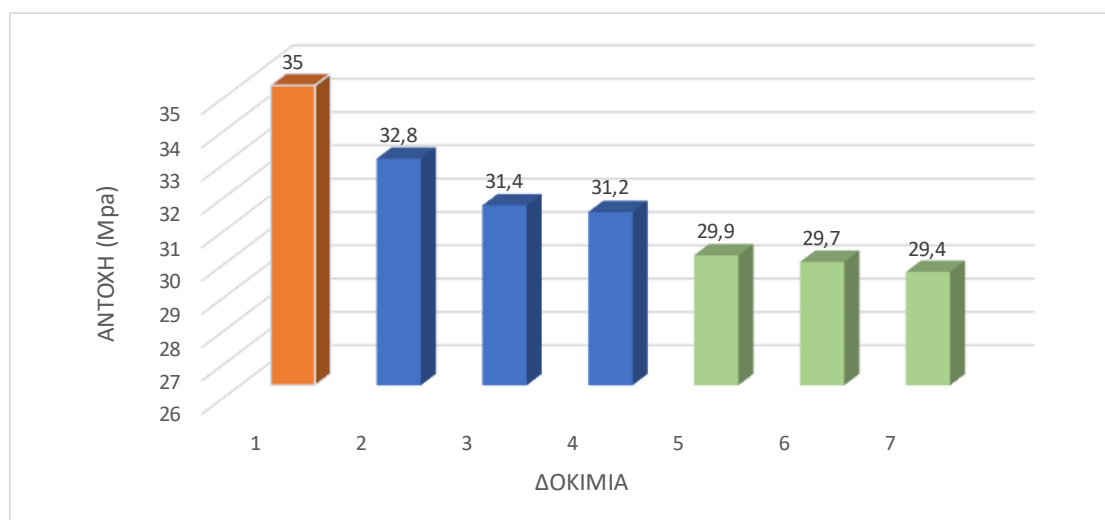
- Καθαρίζουμε τα προς εξέταση δοκίμια από ξένα σωματίδια
- Μετράμε τις διαστάσεις του δοκιμίου
- Τοποθετούμε το δοκίμιο στο κέντρο της πλάκας της μηχανής θραύσης

- Περνάμε τα δεδομένα του δοκιμίου(βάρος ,διαστάσεις, ειδικό βάρος, ημέρες) στον υπολογιστή της μηχανής.
- Θέτουμε την μηχανή θραύσης σε λειτουργία η οποία αρχίζει και πιέζει το δοκίμιο. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι η φόρτιση πρέπει να γίνεται με τρόπο ομοιόμορφο και συνεχή.
- Καταγράφουμε την δύναμη που ασκήθηκε μέχρι την στιγμή της θραύσης.

Η τελική αντοχή των δοκιμίων που προέκυψε από το μηχάνημα θλίψης παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα:

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΑΔΡΑΝΕΣ	ΑΝΤΟΧΗ (Μpa) ΓΙΑ 28 ΗΜΕΡΕΣ
1	ΣΥΜΒΑΤΟ ΑΔΡΑΝΕΣ	35
2	+10% ΖΕΟΛΙΘΟΣ	32,8
3	+10% ΖΕΟΛΙΘΟΣ	31,4
4	+10% ΖΕΟΛΙΘΟΣ	31,2
5	+20% ΖΕΟΛΙΘΟΣ	29,9
6	+20% ΖΕΟΛΙΘΟΣ	29,7
7	+20% ΖΕΟΛΙΘΟΣ	29,4

Πίνακας 21: Αντοχές των επτά δοκιμίων



Διάγραμμα 7: Αντοχές των επτά δοκιμίων

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Κατά την διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, έγινε αντιληπτό ότι τα σύνθετα αδρανή, όπως στην περίπτωση μας ο ζεόλιθος, αποδεικνύεται ότι έχουν μεγαλύτερη απαίτηση σε νερό σε σχέση με τα συμβατά αδρανή.

Στην περίπτωση του σκυροδέματος με 10% και 20%, αντίστοιχα, προσθήκη ζεόλιθου, η απαίτηση σε νερό ήταν σαφώς μεγαλύτερη σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι ο ζεόλιθος έχει την ιδιότητα να απορροφά πολλαπλάσια το βάρος του σε νερό.

Πιο συγκεκριμένα, είχαμε υπολογίσει στο πείραμα ότι θα χρειαστούμε 3,56 kg νερό. Στην πραγματικότητα όμως εξαιτίας της μεγάλης απορροφητικότητας του ζεόλιθου σε νερό, για τα δοκίμια με προσθήκη 10% ζεόλιθου χρειαστήκαμε +15% αύξηση στην ποσότητα του νερού (4,094 kg συνολικά).

Αντίστοιχα, για τα δοκίμια με προσθήκη 20% ζεόλιθου, απαιτήθηκε αύξηση στην ποσότητα του νερού κατά 20% (4,272 kg συνολικά).

Επίσης, με βάση τις τελικές τιμές αντοχών των δοκιμίων σκυροδέματος παρατηρήθηκε ότι σε διάστημα 28 ημερών η αντοχή των δοκιμίων που έχουν παρασκευαστεί με 10% προσθήκη ζεόλιθου είναι μικρότερη σε σχέση με την αντοχή του πρότυπου σκυροδέματος (35 MPa).

Αντίστοιχα, βασιζόμενοι στην τελική αντοχή των δοκιμίων με 20% προσθήκη ζεόλιθου μπορούμε να αποφανθούμε ότι η προσθήκη ζεόλιθου 20% κ.β καθυστερεί σημαντικά την ανάπτυξη των αντοχών κατά την διάρκεια των 28 ημερών σε σχέση με τα συμβατά αδρανή.

Όπως έγινε αντιληπτό η παρουσία του ζεόλιθου επηρέασε την αντοχή των δοκιμίων. Πέρα από την μεγάλη απαίτηση του ζεόλιθου σε νερό όπως προαναφέρθηκε, υπάρχουν και άλλοι πιθανοί παράγοντες που επιδρούν στην αντοχή των δοκιμίων με 10% και 20% προσθήκη ζεόλιθου. Η έλλειψη προσθήκης βελτιωτικών στην παρασκευή των δοκιμίων, όπως παραδείγματος χάρη οι ρευστοποιητές που συμβάλουν στην αύξηση και την αντοχή του σκυροδέματος, αποτελεί σημαντική παράμετρο για την μείωση της αντοχής. Μια πιθανή πρόταση λοιπόν, με στόχο την επίτευξη της καλύτερης αντοχής των

δοκιμίων είναι η χρήση βελτιωτικών σκυροδέματος. Επιπλέον, αποτέλεσμα της χαμηλής αντοχής των δοκιμίων θα μπορούσε να είναι η κακή συμπύκνωση του μείγματος, αν υποθέσουμε ότι πραγματοποιήθηκε σε εργαστήριο σκυροδέματος της Σχολής μας και πιθανό να μην εκτελέστηκε ορθά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

1. Δημητρίου.Π, Μιχάλης.Σ, (2007), Μελέτη Σύνθεσης Σκυροδέματος
2. Orykta.gr, Αδρανή υλικά, ημερομηνία πρόσβασης: 22 Νοέμβρη 2020, <https://www.orykta.gr/oryktes-protos-yles-tis-ellados/latomika-orykta/adrani>
3. Σπαργιάς.Σ, Φώτος.Δ , Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, (2018), Διερεύνηση χρήσης κρυσταλλινών για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας σκυροδέματος έναντι διείσδυσης χλωριόντων
4. Μοροπούλου.Α & Λαμπρόπουλος.Κ, «Δομικά Υλικά» ΕΜΠ, Τσιμέντο και σκυρόδεμα, (ημερομηνία πρόσβασης: 29 Νοέμβρη 2020), <https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CHEMENG114/Cement%20and%20Concrete.pdf>
5. Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, (2016), (ΦΕΚ 1561/τ.Β'/2-06-2016)
6. ZTUV Austria Hellas, Εργαστηριακές δοκιμές,(ημερομηνία πρόσβασης: 28 Ιανουαρίου 2021), <https://www.zarrasae.gr/node/55>
7. Παπασπυριδάκος.Χ & Τσίκας.Π, Ανθεκτικότητα οπλισμένου σκυροδέματος σε διάρκεια
8. Ψαρρού.Ι, Πτυχιακή Εργασία, (2013) , Ο ζεόλιθος σαν αδρανές
9. Zeolife, Γενικές πληροφορίες για τον ζεόλιθο και τον Ελληνικό ζεόλιθο, (ημερομηνία πρόσβασης :17 Δεκεμβρίου 2020), <https://zeolife.gr/genikes-pliories/>
10. Καψάλη.Β, (2005), Σχηματισμός ζεολιθων και γεωλογικά περιβάλλοντα, Θεσσαλονίκη
11. Τσίμας.ΣΤ, Ε.Μ.Π., Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Ο ασβεστόλιθος και η άσβεστος ως παράγοντες της Ελληνικής οικονομίας
12. Ελληνική Δημοκρατία Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε, (2006), Συντήρηση του σκυροδέματος
13. Χρίστου Μ. Οικονόμου,(2006), Τεχνολογία του Σκυροδέματος
14. Δημάκος Δρ.Κ., (2018), Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Εργαστηριακές ασκήσεις οπλισμένου σκυροδέματος, Αθήνα
15. Τσώνος.Α-Δ, (2017), Σχεδιασμός κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, Θεσσαλονίκη

16. Ε. Βιντζηλαίου (Συντονιστής), Ε. Βουγιούκα, Ε. Μπαδογιάννη, ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ, Παρουσίαση στο μάθημα Τεχνικά Υλικά (Κεφάλαιο 6)
17. Ζερής, Χ. , (2014), Στοιχεία Τεχνολογίας Σκυροδέματος
18. Νικολαΐδης Ν., Πολυτεχνείο Κρήτης, (2011), Αξιολόγηση ποιοτικών χαρακτηριστικών ασβεστολιθικών πετρωμάτων Κύπρου ως προς την καταλληλότητα τους για παραγωγή υδραυλικής άσβεστου
19. Ρούτουλας,Α., ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ, (2010), «τσιμέντα-σκυρόδεμα», έλεγχος ποιότητας και τεχνολογίας δομήσιμων υλικών
20. Αυτουσμής Α, (2012), Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Χρήση ζεόλιθων ως ειδικά αδρανή για την Παρασκευή ελαφρού σκυροδέματος
21. Κωστάκης Γ., Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά 2003, Εισαγωγή στην αξιολόγηση των Βιομηχανικών Ορυκτών. Σημειώσεις παραδόσεων
22. Μαρκόπουλος Θ., Ρεπούσκου Ε., Ροτόντο Π., Τριανταφύλλου Γ., Αποστολάκη Χ., (2004), Σύνθεση και ποιοτικός έλεγχος δομικών κονιαμάτων από ασβεστολιθικές πρώτες ύλες της Κρήτης, Χανιά
23. Χαραλάμπους,Ε, (2015), Αύξηση του λόγου νερού/ τσιμέντου στο εργοτάξιο
24. Ελευθερίου,Λ, (2019), Προσδιορισμός μεταβολής των μηχανικών ιδιοτήτων σκυροδέματος διαφόρων ποιοτήτων με τη μέθοδο των υπερήχων και του κρουσίμετρου και έλεγχο της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων με την ηλεκτρονική μηχανή θλίψεως δοκιμίου σκυροδέματος
25. Κουσίδης,Σ, 2013, Μη Καταστροφικός Έλεγχος Μέθοδος Υπερήχων, Κοζάνη
26. Η Χρήση του Σκυροδέματος στην Κατασκευή Έργων Πολιτικού Μηχανικού,ΤΕΙ Πειραιά, ημερομηνία πρόσβασης :14 Δεκεμβρίου 2020, file:///C:/Users/User/Downloads/pol_00567.pdf
27. Μαρασίδης,Τ, Νταλάρης,Σ , Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά, (2017), «Διερεύνηση σκυροδέματος παρασκευασμένο με ανακυκλωμένα αδρανή και προσθήκη ποζολάνης και ιπτάμενης τέφρας σε αντικατάσταση της άμμου κατά 20 %»
28. Μπένος,Α, Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π., (2012),Απαιτούμενες ποσότητες υλικών σε αναλογία μίξεως για την Παρασκευή σκυροδέματος των κατηγοριών C_{8/10}, C_{12/15}, C_{16/20}, C_{20/25}, C_{25/30}

29. Αναστασίου.Ελ, Επιμορφωτικό σεμινάριο για μηχανικούς (2006), Οδοστρώματα από σκυρόδεμα οι δρόμοι του μέλλοντος
30. Βιδάκης.Ε, Παπαϊωάννου.Ν, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, (1991), Τεχνικά-εμπορικά χαρακτηριστικά και παρουσίαση ελληνικού μαρμάρου
31. Τεχνικό Επιστημονικό Περιοδικό, Σκυρόδεμα και χάλυβας, ημερομηνία πρόσβασης: 28 Νοέμβρη 2020, http://www.skyrodemanet.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=132%3A-11&catid=57&Itemid=66
32. Πολλάλη.Σ, Χιώτης.Π, Χρηστοφή.Ε, (2015), Αντοχή δοκιμών σε θλίψη σύμφωνα με τον ΚΤΣ 97 και τον ΚΤΣ 15, Πάτρα
33. Φιλιππίδης Α. και Τσιραμπίδης Α., (2012), «Ποιοτικά χαρακτηριστικά των ελληνικών ζεόλιθων, περιβαλλοντικές, βιομηχανικές, αγροτικές και υδατικές χρήσεις του ελληνικού φυσικού ζεόλιθου»
34. Γιαννακοπούλου.Π, Μεταπτυχιακή Διατριβή, (2013), Μελέτη καταλληλότητας ανθρακικών πετρωμάτων του Νομού Αχαΐας για χρήση τους ως αδρανών υλικών σε κατασκευαστικές και περιβαλλοντικές εφαρμογές
35. Ένωση τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, Πρότυπα-Κανονισμοί, ημερομηνία πρόσβασης: 1 Δεκεμβρίου 2020, <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/cement/codes-standards/>
36. Ζεόλαδο, Οι χρήσεις και οι ιδιότητες του ζεόλιθου, ημερομηνία πρόσβασης 17 Δεκεμβρίου 2020, <https://zeolado.gr/%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1/%CF%87%CF%81%CE%AE%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CE%B6%CE%B5%CF%8C%CE%BB%CE%B9%CE%B8%CF%89%CE%BD-%CE%B3%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%B3%CE%AF%CE%B1-%CE%BA%CF%84%CE%B7%CE%BD%CE%BF%CF%84%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%AF%CE%B1-%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%AC%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CE%BD-%CE%B2%CE%B9%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%AF%CE%B1-%CF%85%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%B3%CE%BF%CE%BD%CE%B1%CE%BD%CE%B8%CF%81%CE%AC%CE%BA%CF%89%CE%BD-%CE%B9%CE%B1%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%B9%CF%87%CE%B8%CF%85%CE%BF%CE%BA%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B9%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1.html>
37. Χαραλάμπους.Ε , Αύξηση λόγου νερού/τσιμέντο στο εργοτάξιο, Λεμεσός 2015, Χαρακτηριστική αντοχή κύβου και κυλίνδρου [φωτογραφία], (ημερομηνία

πρόσβασης: 15 Νοεμβρίου 2020),

https://www.google.com/search?q=%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%AC%CE%B4%CE%B5%CE%B9%CE%B3%CE%BC%CE%B1+%CF%87%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82+%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%87%CE%AE%CF%82+%CE%BA%CF%8D%CE%B2%CE%BF%CF%85+%CE%BA%CE%B1%CE%B9+%CE%BA%CF%85%CE%BB%CE%AF%CE%BD%CE%B4%CF%81%CE%BF%CF%85+%CE%B3%CE%B9%CE%B1+%CF%83%CE%BA%CF%85%CF%81%CF%8C%CE%B4%CE%B5%CE%BC%CE%B1+C25/30&sxsrf=ALeKk03LaLT-tqaf8YyDO6UqVXPaN553g:1622505189354&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiog9TrjvXwAhXJhv0HHWbeBiAQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1536&bih=754#imgsrc=A918dbN-Dm7DuM

38. Καθημερινή εφημερίδα της Μαγνησίας Ταχυδρόμος, 2015, Διαδικασία παραγωγής του τσιμέντου [φωτογραφία], (ημερομηνία πρόσβασης: 27 Νοεμβρίου 2020), https://www.google.com/search?q=+%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1+%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CE%AE%CF%82+%CF%84%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%85&sxsrf=ALeKk00zg0WU_OGJxhYTTWltdQ12SepyPw:1622505421465&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwi6hqvaj_XwAhW1g_0HHW6GBUsQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1536&bih=754#imgsrc=ppdQsTmovTFzvM
39. Καλλιέργεια, Μια μορφή ορυκτού ζεόλιθου [φωτογραφία], (ημερομηνία πρόσβασης: 4 Ιανουαρίου 2021), <https://www.kalliergeia.com/glossary/zeolithos/>
40. Λάκης Χ Γεωλόγος- Εδαφολόγος, 2014, Φυσικοί ζεόλιθοι, Δομή ζεόλιθου [φωτογραφία], (ημερομηνία πρόσβασης: 4 Ιανουαρίου 2021), <https://blog.farmacon.gr/katigories/texniki-arthrografia/viotexnologia/item/84-fysikoi-zeolithoi>
41. Εισαγωγή στην πράσινη χημεία, Πορώδεις δομές του ζεόλιθου Υ [φωτογραφία], (ημερομηνία πρόσβασης: 4 Ιανουαρίου 2021), https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/2327/1/08_chapter_7_b.pdf
42. Ορυκτολογία Εικονικό Εργαστήριο, Ασβεστόλιθος [φωτογραφία], (ημερομηνία πρόσβασης: 16 Ιανουαρίου 2021), http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo106y_lab/10_rock_photo/sedimentary/chemical.htm
43. Μικρά μυστικά για τον ζεόλιθο [φωτογραφία], (ημερομηνία πρόσβασης: 5 Δεκεμβρίου 2020), <https://www.proionta-tis-fisis.com/mikra-mystika-gia-ton-zeolitho/?hcb=1>
44. PAVER, Κώνος κάθισης [φωτογραφία], (ημερομηνία πρόσβασης: 20 Φεβρουαρίου 2021), <http://www.paver.gr/shop/skyrodema/konos-kathisis-detail>

45. Πετρώματα κεφάλαιο 6,(ημερομηνία πρόσβασης:7 Ιανουαρίου 2021),
https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3477/1/02_chapter_06.pdf?fbclid=IwAR3PoE2xCsi4wM5RI2NcJ7T5oPzzQKrbvJEN8lWXehhb7Lz9pVhi734KwVw
46. PAVER, Δοκιμή κάθισης σκυροδέματος [φωτογραφία],_(ημερομηνία πρόσβασης: 22 Φεβρουαρίου 2021),
http://www.paver.gr/images/stories/virtuemart/product/skyrodema/slump_test_sk309.pdf
47. PAVER, Κρουσίμετρο σκυροδέματος [φωτογραφία], (ημερομηνία πρόσβασης: 26 Φεβρουαρίου 2021),
<http://www.paver.gr/shop/skyrodema/%CE%BA%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%AF%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%BF-%CF%83%CE%BA%CF%85%CF%81%CE%BF%CE%B4%CE%AD%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82-detail>
48. Σταματούλης,Σ, 2013, Μη καταστροφικοί έλεγχοι σκυροδέματος, Στάδια κρουσιμέτρησης [φωτογραφία],_(ημερομηνία πρόσβασης: 1 Μαρτίου2021),
http://oceanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/1093/pol_00975.pdf?sequence=1&isAllowed=y
49. Χρήστου.Ε & Φωτοπούλου.Α, Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα [φωτογραφία], (ημερομηνία πρόσβασης: 20 Απριλίου 2021),
https://kokkometria.weebly.com/?hcb=1&fbclid=IwAR15SiVklbr8_FibrGS6HDF7B5cCUdcSWgvaowi8cgDycD8MT8jrE72zjgg
50. Silvio Andrade,2016, Slump test [φωτογραφία], (ημερομηνία πρόσβασης: 27 Μαρτίου 2021), <http://sasolucoes.com.br/como-realizar-um-slump-test/>
51. PAVER, Μήτρες χυτοσιδηρές για δοκίμια σκυροδέματος [φωτογραφία],_(ημερομηνία πρόσβασης: 12 Απριλίου 2021),
<http://www.paver.gr/shop/skyrodema/%CE%BC%CE%AE%CF%84%CF%81%CE%B5%CF%82-%CE%B4%CE%BF%CE%BA%CE%AF%CE%BC%CE%B9%CE%B1-%CF%83%CE%BA%CF%85%CF%81%CE%BF%CE%B4%CE%AD%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82-15%CF%8715-cm-detail>
52. Πολλάλη.Σ & Χιώτης.Π& Χρηστοφή.Ε, Πάτρα 2015, Κατασκευή συμβατικών δοκιμών [φωτογραφία], (ημερομηνία πρόσβασης: 2 Μαΐου 2021),
<https://docplayer.gr/52831163-Antohi-dokimion-se-thlipsi-symfona-me-ton-kts-97-kai-ton-kts-15.html>
53. Science direct,2010, The effects of limestone aggregate on concrete properties ,ημερομηνία πρόσβασης :8 Ιανουαρίου 2021,
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061810002242>

ΞΕΝΗ

1. Domone, P. (2006), Self-compacting concrete: An analysis of 11 year of case studies. Cement and and Concrete Composites
2. Hirschi, T., Knauber, H., Lanz, M., Schlumpf, J. and Schrab, J. Εγχειρίδιο Τεχνολογίας Σκυροδέματος, Κρυονέρι Αττικής: Sika HELLAS ABEE (2007).

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **ΚΑΚΟΥΡΑ ΔΑΝΑΗ** του **ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ**, με αριθμό μητρώου **47216** φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τίτλο **ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΑΝΑΜΕΙΚΤΑ ΑΔΡΑΝΗ** και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών, που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Η Δηλούσα :
ΚΑΚΟΥΡΑ ΔΑΝΑΗ

