

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ**

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΘΕΜΑ : ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΟΧΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟΥ ΜΕ
ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΑ ΑΔΡΑΝΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΤΕΦΡΑΣ ΣΕ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ
ΑΜΜΟΥ.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΔΡΙΒΑΣ

ΦΟΙΤΗΤΡΙΕΣ :

ΣΟΦΙΑ ΔΗΜΑΚΑ

ΣΤΕΦΑΝΙΑ ΚΑΛΛΙΟΠΗ ΜΑΝΩΛΑΚΗ ΒΑΡΘΟΛΟΜΟΥ



**ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ**

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERS

DISSERTATION IN REINFORCED CONCRETE CLASS

SUBJECT: RESEARCH ON THE ENDURANCE OF THE CONCRETE CONCOCTED
WITH RECYCLABLE AGGREGATE AND THE ADDITION OF ASH IN REPLACEMENT
OF SAND

SUPERVISOR:

DIMITRIOS DRIVAS

STUDENTS:

SOFIA DIMAKA

STEFANIA KALLIOPI MANOLAKI VARTHOLOMOU

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του μαθήματος οπλισμένου σκυροδέματος. Αντικείμενο της μελέτης αποτελεί το σκυρόδεμα από ανακυκλώσιμα υλικά. Στην εργασία αυτή θα μελετηθούν οι αντοχές που αποκτά το ανακυκλώσιμο σκυρόδεμα, εάν πραγματοποιηθεί αντικατάσταση μέρους της άμμου από τέφρα. Στόχος της εργασίας ήταν να διευκρινιστεί κατά πόσο είναι εφικτή η δημιουργία δοκιμίων σκυροδέματος από 100% ανακυκλώσιμα αδρανή υλικά και πως ο λόγος νερού τσιμέντου επηρεάζει τις αντοχές του σκυροδέματος. Καταλήγοντας έγινε σύγκριση των αντοχών μεταξύ κοινού και ανακυκλώσιμου σκυροδέματος κατηγορίας C 25/30 παρασκευασμένο με τσιμέντο τύπου CEM II/B-M (P-L-W) 42.5N EN197-1 με λόγο νερού προς τσιμέντο 0,5 καθώς και των αντοχών που προέκυψαν από σκυροδετήσεις μεταξύ κοινού και ανακυκλώσιμου σκυροδέματος με λόγο νερού προς τσιμέντο 0,8.

Synopsis

This study was created under the subject of reinforced concrete. The object of this study is the recycled concrete and the durability that derive from it if we replace the sand of the concrete materials with ash. The goal of this project is to define if it is possible to make specified specimens from recycled concrete from 100% recycled aggregate and also how the water-cement ratio affects the durability of concrete. Furthermore we compared the durability between plain concrete and recycled concrete type C25/30 and category CEM II/B-M (P-L-W) 42.5N EN197-1 and water – cement ratio 0,5. In addition we compare the durability from specimens of plain and recycled concretes that had water – cement ration 0,8.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	7
Κεφάλαιο 1 Δομικά υλικά.....	9
1.1 Σύντομη ιστορική αναδρομή.....	9
1.2 Σκυρόδεμα.....	9
1.3 Είδη σκυροδέματος.....	10
1.4 Αδρανή υλικά.....	11
1.5 Κοκκομετρική ανάλυση.....	13
1.6 Τσιμέντο.....	15
1.6.1 Διαδικασία παραγωγής τσιμέντου.....	15
1.6.2 Συντήρηση και αποθήκευση.....	16
1.6.3 Κατηγοριοποίηση.....	16
1.7 Νερό ανάμειξης.....	17
1.8. Πρόσθετα υλικά.....	18
1.8.1 Χημικά πρόσθετα επιφανειακής δράσης.....	18
1.8.2 Χημικά πρόσθετα ελέγχου πήξης.....	19
1.8.3 Ορυκτά πρόσθετα.....	19
1.8.4 Παραπροϊόντα.....	20
1.8.5.Στεγανωτικά πρόσμικτα.....	21
1.9. Δοκιμή Los Angeles.....	21
Κεφάλαιο 2 Νωπό Σκυρόδεμα.....	23
2.1 Σύνθεση σκυροδέματος.....	23
2.2 Ανάμειξη και μεταφορά.....	24
2.3 Εργασιμότητα σκυροδέματος.....	24
2.4 Δοκιμή κάθισης (SLUMP TEST).....	25
2.5 Διάστρωση, συμπύκνωση, τελείωμα.....	28

2.6 Τράπεζα δόνησης	29
2.7 Συντήρηση.....	29
2.8 Απόμιξη.....	30
Κεφάλαιο 3 Σκληρυμένο σκυρόδεμα	31
3.1 Αντοχή σκυροδέματος.....	31
3.1.1 Κατηγορίες αντοχής σκυροδέματος	31
3.1.2 Θλιπτική αντοχή.....	31
3.1.3 Δοκιμή αντοχής σε θλίψη	32
3.1.4 Εφελκυστική αντοχή	33
3.2 Παραμορφώσεις σκυροδέματος	34
3.3 Λόγος Poisson	34
3.4 Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων.....	35
Κεφάλαιο 4 Ανακύκλωση	36
4.1 Η αναγκαιότητα της ανακύκλωσης.....	36
4.2 Οικοδομικά απορρίμματα (ΑΑΚ)	36
4.3 Διαχείριση αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις.....	39
4.4 Ανακύκλωση από ΑΚΚ.....	41
4.4.1 Οφέλη	41
4.4.2 Εμπόδια για την επίτευξη του στόχου αυτού	41
4.5 Αδρανή από ανακύκλωση	42
4.5.1 Σημασία της ανακύκλωσης αδρανών υλικών.....	42
4.6 Σκυρόδεμα από ανακυκλωμένα αδρανή.....	43
4.6.1 Διαδικασία παραγωγής ανακυκλώσιμου σκυροδέματος.....	43
4.6.2 Οφέλη	44
Κεφάλαιο 5 Πειραματική διαδικασία.....	45

Μέρος 1 ^ο	45
5.1 Παρασκευή σκυροδέματος C25/30 με λόγο N/T= 0,5 με κάθιση S2.....	45
5.1.1 Κοκκομετρική ανάλυση αδρανών υλικών.....	45
5.1.2 Παρασκευή σκυροδέματος C25/30 για λόγο N/T=0,5 με κοινά αδρανή	49
5.1.3 Ξεκαλούπωμα και τοποθέτηση στη δεξαμενή νερού	51
5.1.4 Θραύση δοκιμίων την 7 ^η μέρα.....	52
5.1.5 Θραύση δοκιμίων την 28 ^η μέρα.....	52
5.2 Δημιουργία ανακυκλώσιμου υλικού	52
5.2.1 Πλύσιμο και τοποθέτηση σε κλίβανο	53
5.2.2 Κοκκομετρική διαβάθμιση υλικού	53
5.2.3 Κοκκομετρική ανάλυση ανακυκλώσιμων αδρανών υλικών	54
5.3 Δημιουργία σκυροδέματος από ανακυκλώσιμα αδρανή υλικά με προσθήκη 5% τέφρας στο ποσοστό της άμμου	57
5.3.1 Ξεκαλούπωμα και τοποθέτηση στη δεξαμενή νερού	57
5.3.2 Θραύση των δοκιμίων την 28 ^η μέρα	58
Μέρος 2 ^ο	58
5.4 Παρασκευή σκυροδέματος με λόγο N/T=0,8 χωρίς πρόσμικτα με κοινά αδρανή.....	58
5.4.1 Ξεκαλούπωμα και τοποθέτηση στη δεξαμενή νερού	59
5.4.2 Θραύση δοκιμίων την 28 ^η μέρα.....	59
5.5 Παρασκευή σκυροδέματος με λόγο N/T=0,8 με ανακυκλωμένα αδρανή.....	59
5.5.1 Ξεκαλούπωμα και τοποθέτηση στη δεξαμενή νερού	59
5.5.2 Θραύση δοκιμίων την 7 ^η μέρα.....	59
5.5.3 Θραύση δοκιμίων την 28 ^η μέρα	59
Κεφάλαιο 6 Αποτελέσματα – παρατηρήσεις.....	60
Μέρος 1 ^ο	60

6.1 Αποτελέσματα από την παρασκευή σκυροδέματος C25/30 για λόγο N/T=0,5 με κοινά αδρανή	60
6.1.2 Θραύση δοκιμίων την 7 ^η μέρα.....	61
6.1.3 Θραύση δοκιμίων στις 28 ημέρες.....	61
6.2 Αποτελέσματα από τη δημιουργία σκυροδέματος με ανακυκλώσιμα αδρανή υλικά και προσθήκη 5% τέφρας στο ποσοστό της άμμου.....	63
6.2.1 Θραύση δοκιμίων την 28 ^η μέρα.....	63
Μέρος 2 ^ο	65
6.3 Αποτελέσματα από την δημιουργία σκυροδέματος με λόγο N/T=0,8 χωρίς πρόσμικτα με κοινά αδρανή	65
6.3.1 Θραύση δοκιμίων την 28 ^η μέρα.....	66
6.4 Αποτελέσματα από την παρασκευή σκυροδέματος με ανακυκλώσιμα αδρανή και αντικατάσταση της άμμου με προσθήκη τέφρας κατά 20%, για λόγο N/T=0,8.....	67
6.4.1 Θραύση δοκιμίων την 7 ^η μέρα.....	68
6.4.2 Θραύση δοκιμίων την 28 ^η μέρα.....	68
6.5 Παρατηρήσεις.....	71
Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα.....	72
Βιβλιογραφία.....	74

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε μία εποχή όπου το θέμα της περιβαλλοντικής ρύπανσης αποτελεί μείζων πρόβλημα για το μέλλον του πλανήτη η ανακύκλωση των φυσικών πόρων κρίνεται αναγκαία.

Όσον αφορά το θέμα των κατασκευών, το σκυρόδεμα αποτελεί σήμερα το πλέον διαδεδομένο δομικό υλικό. Για την παραγωγή του χρησιμοποιούνται ανόργανα υλικά (χαλίκι , γαρμπίλι , άμμο) τα οποία δεν αποτελούν ανανεώσιμες πρώτες ύλες. Υπολογίζεται ότι για τις κατασκευαστικές ανάγκες παγκοσμίως καταναλώνονται 8-12 εκατομμύρια τόνοι αδρανών υλικών σε ετήσια βάση. Το γεγονός αυτό πρόκειται να επιφέρει μεγάλες περιβαλλοντικές συνέπειες με τη πάροδο του χρόνου.

Επίσης τα οικοδομικά απόβλητα τα οποία προκύπτουν από την κατεδάφιση κατασκευών - με το σκυρόδεμα να κατέχει δεσπόζουσα θέση μεταξύ τους - σε συνδυασμό με την όλο και αυξανόμενη μείωση του χώρου εναπόθεσης των αποβλήτων αποτελούν μέγιστο περιβαλλοντικό πρόβλημα το οποίο χρήζει άμεσης λύσης.

Με βάση τα παραπάνω δημιουργείται η ανάγκη επαναχρησιμοποίησης των οικοδομικών αποβλήτων.

Η ανακύκλωσή τους είναι εφικτή και πραγματοποιείται σε πολλές χώρες (όπως η Αγγλία και η Σουηδία) όπου και υπάρχουν προγράμματα προώθησης καθώς και νομοθεσίες που ευνοούν την πρακτική αυτή.

Εν αντιθέση στη χώρα μας το ποσοστό των αποβλήτων που ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται είναι πολύ μικρό σε σχέση με εκείνα που απορρίπτονται ανεξέλεγκτα σε χωματερές και σε παράνομα σημεία απόθεσης. Ενδεικτικά το πόσο των αδρανών που απορρίπτεται ανέρχεται σε 6,5 εκ. τόνους.

Από οικονομικής άποψης στην Ελλάδα λόγω της μεγάλης ποικιλότητας του ανάγλυφου το κόστος εξόρυξης των πρωτογενών υλικών είναι πολύ μικρό. Εν αντιθέση με το κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης το οποίο είναι σχετικά μεγάλο, γεγονός που καθιστά την ανακύκλωση ασύμφορη. Για να καταστεί δυνατή η διάδοση της ανακύκλωσης αδρανών υλικών για την παραγωγή σκυροδέματος στη χώρα μας θα πρέπει οι τιμές των παραγόμενων αδρανών υλικών να είναι χαμηλότερες από αυτές που προέρχονται από λατομεία έτσι ώστε να γίνουν πιο ελκυστικά προς τις κατασκευαστικές εταιρίες.

Από μηχανικής άποψης υπάρχουν μειονεκτήματα στις ιδιότητες των αδρανών σκυροδεμάτων τα οποία παράγονται από ανακυκλωμένα αδρανή και τα οποία δεν έχουν λυθεί επαρκώς όπως το υψηλό πορώδες, υψηλή συστολή ξήρανσης, μικρό μέτρο ελαστικότητας και τα οποία αποτρέπουν την εκτεταμένη χρήση σκυροδεμάτων από ανακυκλώσιμα υλικά. Παρ' όλα αυτά

έχει γίνει χρήση ανακυκλώσιμων αδρανών σε σκυροδέματα χαμηλότερης ποιότητας όπως για την κατασκευή οδοστρωμάτων.

Εάν γίνει σωστή εφαρμογή της ισχύουσας νομοθεσίας είναι δυνατόν να υπάρξει στη χώρα μας μεγάλη αξιοποίηση των οικοδομικών αποβλήτων με την πάροδο του χρόνου. Το γεγονός αυτό θα επιφέρει πολλαπλά οφέλη για τη οικονομία και το περιβάλλον, αφού θα μειωθεί το κόστος παραγωγής. Επίσης θα πραγματοποιηθεί εξοικονόμηση υλικών, φυσικών πόρων και ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Δομικά υλικά

1.1 Σύντομη ιστορική αναδρομή

Από τότε που ο άνθρωπος άρχισε να οργανώνεται σε κοινωνίες δημιουργώντας καταλύματα για να προστατευτεί από τις καιρικές συνθήκες, τα άγρια ζώα και τους εχθρούς έγινε η χρήση των πρώτων δομικών υλικών. Στη Νεολιθική εποχή τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία καταφυγίων ήταν δέρματα και οστά ζώων μαζί με φυτικά προϊόντα και ξύλα.

Με την πάροδο των χιλιετιών για την κατασκευή οικιών έγινε εκτεταμένη η χρήση της πέτρας, ενώ με την ανάπτυξη των μεταλλικών εργαλείων εξελίσσονται ταυτόχρονα και τα δομικά έργα αφού γίνεται ευκολότερη η λάξευση των λίθων.

Αργότερα και κατά την αρχαιότητα άρχισε να εισάγεται στις κατασκευές το μάρμαρο σε έργα όπως λατρευτικοί ναοί, υδραγωγεία και δημόσια έργα.

Ένα ακόμη υλικό το οποίο ήταν το πιο διαδεδομένο στην αρχαιότητα και χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα είναι το ξύλο το οποίο έχει μικρή πυκνότητα, αντοχή και εξαιρετική συμπεριφορά στις σεισμικές δονήσεις αλλά λόγω της μικρής διάρκειας ζωής και την ευαισθησία στις περιβαλλοντικές συνθήκες ελάχιστα έργα διασώζονται στις μέρες μας.

Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε είτε ως δομικό υλικό αλλά και ως συνδετικό ήταν η άργιλος (πηλός). Με το ψήσιμο της παρήχθησαν υλικά όπως οι οπτόπλινθοι (τούβλα), τα κεραμιδιά και οι κεραμικές πλάκες.

Το ξύλο, οι λίθοι και τα κεραμικά υλικά αποτελούσαν τα βασικά υλικά για την κατασκευή δομικών έργων μέχρι και τα μέσα του προηγούμενου αιώνα. Αργότερα με την ταχεία εξέλιξη της τεχνολογίας μπόρεσαν στην μαζική παραγωγή νέα υλικά όπως το σκυρόδεμα, το τσιμέντο, ο δομικός χάλυβας, τα πλαστικά, ινοπλισμένα πολυμερή κ.α.

1.2 Σκυρόδεμα

Η διάδοση του σκυροδέματος στις κατασκευές ξεκίνησε από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα και η ανάπτυξή του είναι συνδεδεμένη με εκείνη του τσιμέντου το οποίο αποτελεί ένα από τα βασικά συστατικά του.

Αποτελεί το κατεξοχήν δομικό υλικό που χρησιμοποιείται πλέον στις κατασκευές. Είναι μίγμα το οποίο παρασκευάζεται με την ανάμιξη αδρανών υλικών, νερού και τσιμέντου ενώ συχνά χρησιμοποιούνται ως συστατικά αυτού ορυκτά πρόσθετα (φυσικές ποζολάνες, ιπτάμενες τέφρες, πυριτική παιπάλη) και ειδικά βελτιωτικά πρόσθετα (αερακτικά πρόσθετα, επιβραδυντές ή επιταχυντές πήξης, ρευστοποιητές, υπέρρευστοποιητές). Τα αδρανή υλικά

είναι συγκολλημένα μεταξύ τους μέσω ενυδατωμένου τσιμεντοπολτού, που είναι το προϊόν της αντίδρασης νερού με τσιμέντο.

Η κλασική χρήση του σκυροδέματος είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα όπου η μάζα του ενισχύεται με σίδηρο οπλισμό (χάλυβα). Το σκυρόδεμα παρουσιάζει ιδιότητες όπως : αντοχή σε θλίψη, αντοχή σε κάμψη και εφελκυσμό, αντοχή σε τριβή, στεγανότητα ακόμη έχει μεγάλη ανθεκτικότητα σε διάρκεια και σε περιβαλλοντικές επιδράσεις.

Η τεράστια διάδοση του σκυροδέματος οφείλεται επίσης στο χαμηλό κόστος του, στην μεγάλη και άμεση διαθεσιμότητα των συστατικών του και στα σχετικά χαμηλά επίπεδα ενέργειας που καταναλώνονται για την παραγωγή του.

Σύμφωνα με τον κανονισμό στους υπολογισμούς λαμβάνεται ως ειδικό βάρος άοπλου σκυροδέματος 24 KN/m^3 ενώ ειδικό βάρος οπλισμένου σκυροδέματος υπολογίζεται 25 KN/m^3 .

1.3 Είδη σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα χωρίζεται στις εξής κατηγορίες:

Ανάλογα με την κατάσταση της σκλήρυνσής του θεωρείται

Νωπό τις πρώτες 1 με 3 ώρες από την παραγωγή του

Σκληρυμένο στις 6 με 12 ώρες τουλάχιστον από την στιγμή της παραγωγή του και το τελικό προϊόν

Ανάλογα με το φαινόμενο ειδικό βάρος για το σκληρυμένο σκυρόδεμα διακρίνεται σε:

Βαρύ στο οποίο το ξηρό φαινόμενο βάρος είναι μεγαλύτερο από 28 KN/m^3

Σύνηθες όπου το ξηρό φαινόμενο βάρος κυμαίνεται από $20 \div 28 \text{ KN / m}^3$

Ελαφρύ όπου το φαινόμενο βάρος είναι μικρότερο από 20 KN/m^3

Ανάλογα με τη θέση ανάμιξης και χρήσης διακρίνουμε:

Εργοταξιακό σκυρόδεμα του οποίου η παρασκευή πραγματοποιείται μέσα στο εργοτάξιο

Έτοιμο σκυρόδεμα όπου παραδίδεται νωπό αλλά αναμιγνύεται στο εργοτάξιο

Προκατασκευασμένο σκυρόδεμα το οποίο παραδίδεται σκληρυμένο με μορφή έτοιμων δομικών στοιχείων

Ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς του χωρίζεται σε:

Σύνηθες όπου μεταφέρεται σε δοχεία και χύνεται με τη βοήθεια της βαρύτητας στα καλούπια

Αντλούμενο όπου μεταφέρεται με τη βοήθεια σωληνώσεων

Εκτοξευόμενο το οποίο εκτοξεύεται με ειδικά μηχανήματα

1.4. Αδρανή υλικά

Τα αδρανή είναι ορυκτής προέλευσης υλικά (άμμος, χαλίκι, γαρμπίλι) που χρησιμοποιούνται είτε με συγκολλητικό μέσο είτε αυτούσια σε τεχνικά έργα. Ονομάζονται αδρανή γιατί δεν παρουσιάζουν χημικές ιδιότητες μεταξύ τους. Ακόμη δεν αντιδρούν χημικά με το συγκολλητικό μέσο, μόνο συγκρατούνται από αυτό.

Αποτελούν τα κύρια συστατικά του σκυροδέματος και δρουν ως πληρωτικά, ενώ δεν συμμετέχουν στη διαδικασία ενυδατώσεως. Τα αδρανή προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα στο σκυρόδεμα, από τεχνικής άποψης, αφού επηρεάζουν τη στατική λειτουργία του εξασφαλίζοντας σταθερότητα όγκου, ενώ διατηρούν χαμηλό το κόστος του σκυροδέματος διότι πρόκειται για φθηνά υλικά ακόμη αυξάνουν τη διάρκεια ζωής στις κατασκευές.

Τα αδρανή με βάση το μέγεθος των κόκκων τους χωρίζονται σε :

Λεπτόκοκκα αδρανή με μέγιστο μέγεθος κόκκου 4mm

Χονδρόκοκκα αδρανή με μέγιστο μέγεθος κόκκου μεγαλύτερο των 4 mm και ελάχιστο μέγεθος μεγαλύτερο των 2mm

Παιπάλη θεωρείται το διαβαθμισμένο λεπτομερές αδρανές υλικό με μέγιστο κόκκο 2mm

εάν η μέγιστη διάσταση του κόκκου τους ξεπερνά ή όχι τα 5mm περίπου.

Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620 τα αδρανή ανάλογα με το μέγεθος τους κατατάσσονται σε 4 βασικές κατηγορίες: α) άμμος (0/4), β) ρυζάκι (4/8), γαρμπίλι (8/16) και χαλίκι (16/31,5).

Ακριβέστερα ως παιπάλη ορίζεται το διερχόμενο από το κόσκινο Νο 200 (75μm) και ως άμμος το διερχόμενο σε ποσοστό τουλάχιστον 95% από το κόσκινο Νο 4

Ακόμη με βάση το βάρος τους χωρίζονται σε

Αδρανή κανονικού βάρους με πυκνότητα κόκκων που κυμαίνεται από 2000 – 3000 kg/m³

Ελαφρά αδρανή των οποίων η πυκνότητα δεν ξεπερνά τα 2000 kg/m³

Ενώ ανάλογα την προέλευσή τους χωρίζονται σε:

Συλλεκτά αδρανή τα οποία προέρχονται από ακτές θαλασσών από ποτάμια και από ορυχεία. Το σχήμα του κόκκου είναι γενικά στρογγυλεμένο ενώ η ορυκτολογική τους σύσταση είναι ετερογενής.

Θραυστά αδρανή είναι φυσικής προέλευσης παράγονται σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν αποθέσεις φυσικών αδρανών. Η διαδικασία παραγωγής τους γίνεται με τη θραύση συμπαγών πετρωμάτων. Είναι γενικά κυβόμορφα, γωνιώδη ή επιμήκη με τραχεία επιφάνεια

Στο σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται επί το πλείστον φυσικά αδρανή κανονικού βάρους. Τα πετρώματα από τα οποία προέρχονται είναι ιζηματογενή ασβεστολιθικής ή πυριτικής σύστασης. Τα αδρανή κατά κανόνα προέρχονται από λατομεία τα οποία διαθέτουν ειδικό εξοπλισμό για τη θραύση τους σε διάφορα μεγέθη κόκκων.

Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του σκυροδέματος κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος τους συνήθως ως εξής:

Άμμος μέσο μέγεθος κόκκων έως 8 mm ή 3/8' (χονδρόκοκκη) και έως 4mm (λεπτόκοκκη)

Γαρμπίλι: μέσο μέγεθος κόκκων από 5 έως 12,5 mm (λεπτόκοκκο ή χονδρόκοκκο)

Σκύρα: μέσο μέγεθος κόκκων από 12,5 έως 38 mm ή ακόμη μεγαλύτερα

Απαιτούμενες ιδιότητες των αδρανών

Μηχανική αντοχή (100-300 MPa) , η θλιπτική αντοχή, η αντοχή σε επιφανειακή φθορά και το μέτρο ελαστικότητας των αδρανών εξαρτώνται από το πορώδες και είναι σαφώς αυξημένες σε σχέση με εκείνα του σκυροδέματος, μικρή υδατοαπορροφητικότητα, ανθεκτικότητα σε τριβή και κρούση, σταθερότητα όγκου, κατάλληλη και σταθερή κοκκομετρική σύνθεση, κατάλληλη μορφή (όχι πλακοειδείς ή επιμήκεις κόκκοι), καθαρότητα (οι βλαβερές ουσίες για τα αδρανή είναι δυνατόν να επηρεάσουν την εργασιμότητα, την πήξη και σκλήρυνση ακόμη και την ανθεκτικότητα του στο χρόνο), μικρή υγρασία.

Κατάλληλη ορυκτολογική σύσταση

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό των αδρανών είναι το πορώδες - ιδιαίτερα στα χονδρόκοκκα αδρανή - αφού επηρεάζει το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος και επομένως την ικανότητα τους να περιορίζουν τις παραμορφώσεις του τσιμεντοπολτού. Τα ασβεστολιθικά αδρανή των κοινών σκυροδεμάτων έχουν μέτρο ελαστικότητας που κυμαίνεται από 25 έως 85 GPa και ξεπερνάει κατά πολύ εκείνο του τσιμεντοπολτού. Σε αντίθεση με σκυροδέματα που αποτελούνται από λεπτόκοκκα αδρανή, των οποίων το μέτρο ελαστικότητας του τσιμεντοπολτού είναι μεγαλύτερο. Επομένως η ροή του φορτίου γίνεται κυρίως μέσα από αυτά. Ακόμη παράγοντες που επηρεάζουν τη καμπύλη τάσεων παραμορφώσεων είναι το σχήμα των αδρανών, η επιφανειακή υφή τους, ο μέγιστος κόκκος, η κοκκομετρική διαβάθμισή τους και η ορυκτολογική τους σύσταση.

Άλλες ιδιότητες αδρανών είναι οι εξής:

Ιδιότητες αδρανών για χρήσεις επιφανείας ή άλλη τελική χρήση

Αντίσταση σε θρυμματισμό, αντίσταση σε φθορά, αντίσταση σε στίλβωση, αντίσταση σε ψύξη - απόψυξη, περιεκτικότητα χλωριόντων

Ιδιότητες αδρανών που περιέχονται από ιδιαίτερες πηγές

Περιεκτικότητα κελυφών, σταθερότητα όγκου, περιεκτικότητα χλωριόντων, ενώσεις που περιέχουν θείο, οργανικές και ελαφροβαρείς προσμίξεις

1.5 Κοκκομετρική ανάλυση

Τα αδρανή αποτελούνται από κόκκους διαφόρων μεγεθών. Η κοκκομετρική τους διαβάθμιση έχει μεγάλη σημασία για τη σύνθεση του σκυροδέματος. Τα αδρανή που είναι καλά διαβαθμισμένα παρουσιάζουν ελάχιστα κενά μεταξύ τους και απαιτούν μικρή ποσότητα τσιμεντοπολτού (μείωση κόστους, αύξηση όγκου σκυροδέματος).

Η κοκκομετρική τους διαβάθμιση καθορίζεται από ομάδα πρότυπων κοσκίνων σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος 1999 γερμανικών προτύπων (DIN 4187 και 4188) ή της Αμερικάνικης σειράς (ASTM E11).

Τα αμερικάνικα κόσκινα έχουν τετραγωνική οπή και συμβολίζονται με το σύμβολο No όπου και αναγράφεται ο αριθμός του κόσκινου ενώ για μεγαλύτερα ανοίγματα το μέγεθος συμβολίζεται με ίντσες.

Η σειρά των γερμανικών κοσκίνων φέρει οπές τετράγωνης μορφής και συμβολίζονται με σύμβολο □ που ακολουθείται από ένα αριθμό, που δηλώνει το άνοιγμα της οπής σε mm.

Ως μέγιστος κόκκος αδρανούς, d_{max} , ορίζεται το μέγεθος της οπής του μικρότερου κόσκινου μίας σειράς από το οποίο διέρχεται το 95% τουλάχιστον της ποσότητας του αδρανούς, ενώ από το αμέσως μεγαλύτερο κόσκινο διέρχεται κατά 100%.

Ως άμμος ορίζεται το διερχόμενο κλάσμα από το κόσκινο Φ5, ή Νο4 σε ποσότητα τουλάχιστον 95%. Το ποσοστό των κόκκων της άμμου που περνάει από το κόσκινο 0,2 δεν πρέπει, σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ.-97, να υπερβαίνει: α) Το 20% του ξηρού βάρους της άμμου, όταν πρόκειται για σκυρόδεμα χαρακτηριστικής αντοχής ίσης ή μεγαλύτερης από 30 MPa. β) Το 25% του ξηρού βάρους της άμμου, όταν πρόκειται για σκυρόδεμα χαρακτηριστικής αντοχής μικρότερης από 30 MPa. γ) Το 31% του ξηρού βάρους της άμμου, όταν πρόκειται για άοπλα σκυροδέματα χωρίς ειδικές απαιτήσεις.

Ως παιπάλη ή filler, κατά το πρότυπο ASTM, ορίζεται το λεπτόκοκκο κλάσμα το οποίο διέρχεται από το κόσκινο Νο200 (το οποίο έχει άνοιγμα τετραγωνικής οπής 0,075mm) και

προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο ΣΚ-305. Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 12620 ως παιπάλη ορίζεται το διαβαθμισμένο λεπτομερές αδρανές υλικό με μέγιστο κόκκο 2 mm, και το οποίο διέρχεται σε ποσοστό 70 – 100% από το κόσκινο 0,063 mm. Η παιπάλη της θραυστής άμμου δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16% του ξηρού βάρους της και η παιπάλη των περισσότερο χοντρόκοκκων κλασμάτων (ρυζάκι, γαρμπίλι, χαλίκι) δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1% του ξηρού βάρους τους. Για άοπλα σκυροδέματα χωρίς ειδικές απαιτήσεις επιτρέπεται παιπάλη στην άμμο μέχρι 20% του ξηρού βάρους της.

Για τη διαδικασία του κοσκινίσματος χρησιμοποιείται ειδική μηχανή κοσκινίσματος στην οποία τα κοσκινά τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο με το κόσκινο μεγαλύτερης οπής στην κορυφή και υποδοχέα συλλογής του λεπτότερου υλικού στο τέλος (Εικόνα 1).

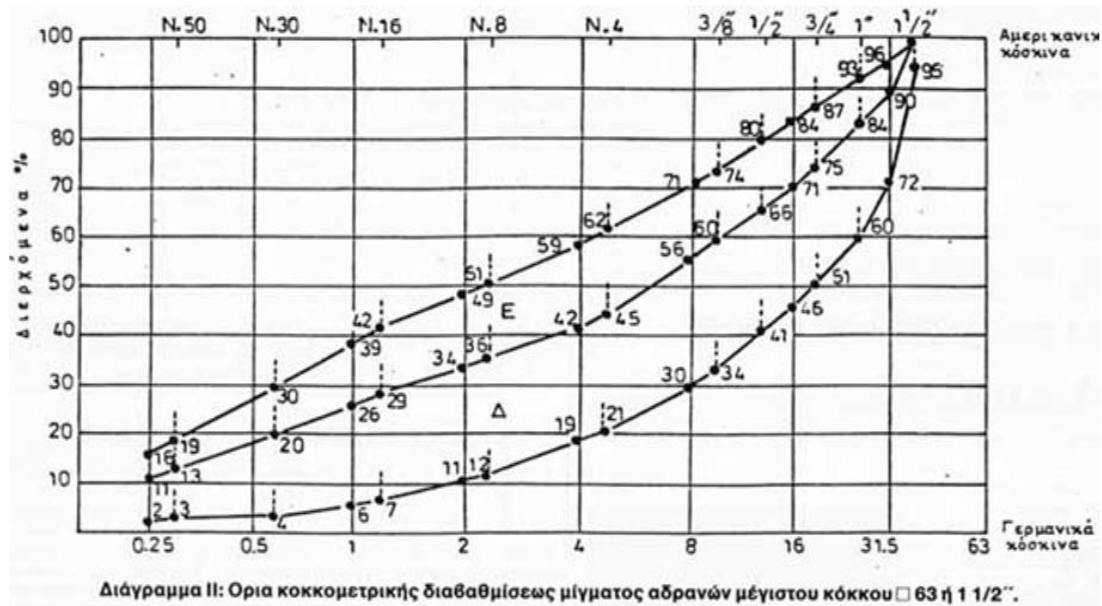


Εικόνα 1 Μηχανή κοσκινίσματος με τα κόσκινα ASTM

Η ποσότητα του υλικού που παρέμεινε σε κάθε κόσκινο καλείται συγκρατούμενο και αυτή που πέρασε διερχόμενο. Το συγκρατούμενο υλικό ζυγίζεται και

Ο υπολογισμός του % διερχόμενου στο κόσκινο i δίνεται από τη σχέση :

$$\text{Διερχόμενο \% κόσκινο} = \frac{\text{Διερχόμενο στο κόσκινο}}{\text{Αρχικό βάρος δείγματος}} * 100$$



Διάγραμμα I Ορια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 1 1/2"

Σύμφωνα με τα ποσοστά διερχόμενου υλικού σχεδιάζεται η κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος (Διάγραμμα 1).

1.6 Τσιμέντο

Τσιμέντο ονομάζεται ένα λεπτά διαχωρισμένο υλικό το οποίο αν έρθει σε επαφή με το νερό έχει την ικανότητα να πήζει και να σκληραίνει. Η αντίδραση του τσιμέντου με το νερό γίνεται σε μικρό χρονικό διάστημα και δημιουργείται ένα παχύρρευστο μείγμα το οποίο στερεοποιείται σταδιακά μέσω αντιδράσεων και διεργασιών ενυδάτωσης. Το προϊόν της αντίδρασης αυτής ονομάζεται τσιμεντοπολτός.

Κατά τη διάρκεια της αντίδρασης ο τσιμεντοπολτός χάνει τη ρευστότητά του λόγω της σταδιακής μείωσης του νερού που οφείλεται στις διαδικασίες αντιδράσεων ενυδάτωσης

Ο τσιμεντοπολτός πήζει, δηλαδή βρίσκεται στο στάδιο της αρχικής στερεοποίησης ή πήξης και συμπύπτει με τη χρονική στιγμή στην οποία παύει να είναι επεξεργάσιμος.

Το τελευταίο στάδιο της πήξης ονομάζεται τελική πήξη.

1.6.1 Διαδικασία Παραγωγής Τσιμέντου

Το τσιμέντο προέρχεται από ασβεστόλιθο και άργιλο υλικά φυσικής προέλευσης τα οποία υφίστανται επιτόπια σύνθλιψη με πρωτογενή τρόπο ώστε να επιτευχθεί η μείωση του όγκου τους, γεγονός που θα επιτρέψει την ευκολότερη μεταφορά τους στις παραγωγικές μονάδες.

Αφού γίνει επεξεργασία των πρώτων υλών δηλαδή άλεση των υλικών ίσως και με πρόσθετες ουσίες, ώστε να προκύψει λεπτόκοκκο μείγμα (φαρίνα). Ακολουθείται η ξήρανσή του. Επόμενο Στάδιο είναι η παραγωγή Κλίνκερ η οποία επιτυγχάνεται με τη θέρμανση του υλικού στους 1450 βαθμούς κελσίου. Το Κλίνκερ είναι αυτό που προσδιορίζει τις υδραυλικές ιδιότητες στο τσιμέντο. Τέλος πραγματοποιείται άλεση του κλίνκερ αναμιγμένο με γύψο και άλλα συστατικά. Το τελικό προϊόν αποτελεί το τσιμέντο. Η ανάπτυξη της αντοχής του τσιμεντοπολτού εξαρτάται από την χημική σύνθεση και από τη λεπτότητα της άλεσης.

1.6.2 Συντήρηση και αποθήκευση

Η σωστή συντήρηση του τσιμεντοκονιάματος μετά την πήξη του έχει πολύ μεγάλη σημασία για την αντοχή του. Πολύ σημαντική είναι η παρουσία υγρασίας κατά τη διαδικασία σκλήρυνσης για την πλήρη ενυδάτωσή του κόκκων του τσιμέντου. Σε αντίθεση με την διαδικασία της αποθήκευσης κατά την οποία πρέπει να προφυλάσσεται από αυτήν. Τσιμέντα αποθηκευμένα σε σάκους από χαρτί χάνουν 10 έως 20% της αντοχής τους σε θλίψη για διάστημα 3 μηνών ενώ για διάστημα 6 μηνών είναι δυνατόν να χάσουν 20-30% της θλιπτικής τους αντοχής.

1.6.3 Κατηγοριοποίηση

Τα τσιμέντα κατατάσσονται σε τέσσερις τύπους:

Τσιμέντα τύπου I ή τσιμέντα Portland ονομάζονται τα τσιμέντα τα οποία είναι προϊόντα της άλεσης του Κλίνκερ με προσθήκη γύψου 2-3% και Φιλλερ

Τσιμέντα τύπου II ή τσιμέντα Portland με ποζολάνες είναι τα τσιμέντα τα οποία περιέχουν ποζολάνη σε ποσοστό 20% κατά βάρος.

Ακόμη τα τσιμέντα με βάση την θλιπτική τους αντοχή σε σχέση με το χρόνο χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

Πίνακας 1 κατηγοριοποίηση τσιμέντων με βάση τη θλιπτική τους αντοχή σε σχέση με το χρόνο

Κατηγορία Αντοχών (ονομαστική)	Αντοχή σε θλίψη σε N/mm ²				Αρχικός χρόνος πήξης	Διόγκωση (Διαστολή)
	2 ημερών ελάχιστη τιμή	7 ημερών ελάχιστη τιμή	Τυπική Αντοχή			
			28 ημέρες		min	mm
32,5 N	-	≥ 16,0	≥	≤	≥ 70,0	≥ 10,0
32,5 R	≥ 10,0	-	32,5	52,5		
42,5 N	≥ 10,0	-	≥	≤	≥ 60,0	
42,5R	≥ 20,0	-	42,5	62,5		
52,5N	≥ 20,0	-	≥	-	≥ 45,0	
52,5R	≥30,0	-	42,5	-		

Πρώιμη αντοχή

Είναι η αντοχή σε θλίψη η οποία προσδιορίζεται με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 196-1 σε ηλικία είτε 2 είτε 7 ημερών.

Τυπική Αντοχή

Η τυπική αντοχή ενός τσιμέντου είναι η αντοχή του σε θλίψη και προσδιορίζεται με το πρότυπο ΕΛΟΤ στην ηλικία των 28 ημερών.

Για κάθε κατηγορία τυπικής αντοχής περιλαμβάνονται δύο κατηγορίες πρώιμης αντοχής. Μία κατηγορία με κανονική πρώιμη αντοχή που συμβολίζεται με N και μια κατηγορία με υψηλή πρώιμη αντοχή που συμβολίζεται με R.

1.7 Νερό ανάμιξης

Η ποιότητα του νερού ανάμιξης σπανίως επηρεάζει την αντοχή του. Παρόλα αυτά επιβλαβείς ουσίες που περιέχονται στο νερό ενδέχεται να μειώσουν την αντοχή του. Νερά τα οποία περιέχουν αστικά ή βιομηχανικά λύματα επίσης νερά με ίχνη ζάχαρης, με οξέα, οργανικές ουσίες, λάδια και λίπη είναι συνετό να αποφεύγονται διότι προκαλούν αναστολή της πήξης, εμποδίζουν την πρόσφυση των αδρανών και του τσιμεντοπολτού και άλλες ανεπιθύμητες παρενέργειες.

Ακόμη το θαλασσίνο νερό είναι δυνατόν να προκαλέσει διάβρωση του χάλυβα για οπλισμένο σκυρόδεμα. Σε περίπτωση χρησιμοποίησης θαλασσινού νερού η απαιτούμενη αντοχή θα πρέπει να αυξάνεται κατά 15% σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος. Κατά γενική παραδοχή κατάλληλο για χρήση είναι το πόσιμο νερό.

Πολύ σημαντικός παράγοντας για την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος είναι ο λόγος νερού προς το τσιμέντο (N/T) . Πειραματικές διαδικασίες έχουν δείξει ότι όσο αυξάνεται ο λόγος νερού τσιμέντου τόσο μειώνονται οι αντοχές του.

Θεωρητικά για πλήρη ενυδάτωση των συστατικών του κλίνκερ απαιτείται λόγος νερού προς τσιμέντο ίσος με 0,23.

Πρακτικά στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθούν ρευστοποιητές υπάρχει απαίτηση για επιπλέον ποσότητα νερού. Επομένως ο λόγος νερού τσιμέντου συνήθως είναι μεγαλύτερος ή ίσος του 0,50.

1.8 Πρόσθετα υλικά

Κατά την σκυροδέτηση είναι πολλές φορές πιθανόν να προστεθούν, σε μικρές ποσότητες σε σχέση με την ποσότητα του τσιμέντου, υλικά τα οποία έχουν ως σκοπό τη βελτίωση κάποιων ιδιοτήτων του σκυροδέματος όπως η εργασιμότητα σε νωπό σκυρόδεμα ή η ανθεκτικότητα για σκληρυνόμενο.

Τα υλικά αυτά διακρίνονται σε χημικά πρόσμικτα που επηρεάζουν τις αντιδράσεις του νερού με το τσιμέντο, σε χημικά πρόσμικτα τα οποία δρουν στην επιφάνεια των κόκκων του τσιμέντου και στα ορυκτά πρόσθετα τα οποία επηρεάζουν τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του νωπού σκυροδέματος αμέσως μετά την ανάμειξη τους αλλά μπορεί και να παρουσιάσουν δραστηριότητα αρκετές μέρες ή μήνες αργότερα.

Η χρήση των πρόσθετων υλικών απαιτεί μεγάλη προσοχή διότι η ευνοϊκή επίδραση σε κάποια ιδιότητα του σκυροδέματος μπορεί να επηρεάσει αρνητικά κάποια άλλη.

1.8.1 Χημικά πρόσθετα επιφανειακής δράσης

Αερακτικά : Τα αερακτικά έχουν την ικανότητα να δημιουργούν φυσαλίδες αέρος οι οποίες ενσωματώνονται στο σκυρόδεμα και αυξάνουν την εργασιμότητα όταν πρόκειται για νωπό σκυρόδεμα, ενώ επηρεάζουν θετικά την ανθεκτικότητα έναντι παγετού στο σκληρυνόμενο σκυρόδεμα.

Τα αερακτικά πρόσμικτα προέρχονται συνήθως από άλατα ρητινών ξύλου, από πετρελαϊκά οξέα και από συνθετικά απορρυπαντικά.

Ρευστοποιητικά

Τα ρευστοποιητικά χρησιμοποιούνται για τη ρευστοποίηση του σκυροδέματος και την αύξηση της εργασιμότητας. Πολλά από αυτά χρησιμοποιούνται για την επιβράδυνση της πήξης και την ελάττωση του λόγου νερού προς τσιμέντο (N/T). Ενίοτε προκαλούν αύξηση της αντοχής σε

νεαρές ηλικίες. Σαν ρευστοποιητικά χρησιμοποιούνται υλικά από άλατα, από παράγωγα ενώσεων, από πολυσακχαρίδες και από ορισμένα ανθρακοξυλικά οξέα.

Υπερρευστοποιητικά

Τα υπερρευστοποιητικά έχουν την ικανότητα να αυξάνουν την ρευστότητα μιγμάτων 3-4 φορές περισσότερο από ότι τα κοινά ρευστοποιητικά δίνοντας έτσι τη δυνατότητα μείωσης νερού χωρίς απώλεια ρευστότητας. Ακόμη σκυροδέματα με υπερρευστοποιητικά εμφανίζουν υψηλές αντοχές σε σχέση με σκυροδέματα τα οποία δεν περιέχουν πρόσθετα για τον ίδιο λόγο νερού προς τσιμέντο. Τα ρευστοποιητικά χρησιμοποιούνται σε σκυροδέματα υψηλής αντοχής και προέρχονται από άλατα μελαμίνης και ενώσεις φορμαλδεΐδης.

1.8.2 Χημικά πρόσθετα ελέγχου πήξης

Επιταχυντικά Πήξης

Τα επιταχυντικά πρόσμικτα επιταχύνουν την σκλήρυνση του σκυροδέματος. Συνήθως χρησιμοποιούνται όταν η σκυροδέτηση γίνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες, όταν απαιτείται γρήγορη απομάκρυνση του ξυλοτύπου ή όταν ένα στοιχείο πρόκειται να παραλάβει εξωτερικά φορτία σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα από την σκυροδέτηση. Η χρήση τους προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας, αύξηση της συστολής ξήρανσης ακόμη και μείωση της αντοχής του σκυροδέματος επομένως τα επιταχυντικά πήξης επιτρέπονται μόνο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις και όταν αυτό θεωρείται απαραίτητο.

Επιβραδυντικά πήξης

Τα επιβραδυντικά χρησιμοποιούνται σε σκυροδετήσεις με υψηλές θερμοκρασίες με σκοπό τον έλεγχο του χρόνου πήξης. Τα επιβραδυντικά μπορούν να προκαλέσουν και αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος κατά τις πρώτες ημέρες αφού μπορούν να δράσουν και σαν ρευστοποιητικά αυξάνοντας την περιεκτικότητα σκυροδέματος σε αέρα. Τέτοιες ιδιότητες εμφανίζουν ο γύψος και η ζάχαρη καθώς και ευδιάλυτα άλατα ψευδαργύρου.

1.8.3 Ορυκτά Πρόσθετα

Φυσικά υλικά

Ηφαιστειακές γαίες

Προέρχονται από κονιορτοποίηση ηφαιστειακών πετρωμάτων. Στη χώρα μας έχουμε παραγωγή θηραϊκής και μηλαινικής γης που χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα του τσιμέντου για την παραγωγή σκυροδέματος.

Διατομική γη

Τη συναντούμε κυρίως σε εναποθέσεις στις ΗΠΑ και σε άλλες χώρες. Η διατομική γη χαρακτηρίζεται από μεγάλες απαιτήσεις σε νερό γεγονός το οποίο επηρεάζει αρνητικά την αντοχή και την ανθεκτικότητα σε διάρκεια του σκυροδέματος.

1.8.4 Παραπροϊόντα

Ιπτάμενη Τέφρα

Η ιπτάμενη τέφρα αποτελεί παραπροϊόν της καύσης του λιγνίτη σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από κόκκους αργιλοπυριτικής σύστασης. Στη χώρα μας είναι συνήθεις τέφρες με μεγάλη περιεκτικότητα σε οξείδιο του ασβεστίου (CaO) με σκούρο χρώμα γεγονός που οφείλεται στη ύπαρξη θεικών αλκαλίων. Η κατανομή των κόκκων τους κυμαίνεται από 1μm έως 100 μm ενώ το 50% των κόκκων δεν υπερβαίνει τα 20μm.

Σε σχέση με το σκυρόδεμα μεγάλη σημασία για την εργασιμότητα, τον ρυθμό ανάπτυξης της αντοχής αλλά και τη απαίτηση σε νερό ανάμειξης, αποτελεί η μορφολογία και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας των κόκκων καθώς και η κοκκομετρική διαβάθμιση τους.

Πλεονεκτήματα στη χρήση ιπτάμενης τέφρας

Η ιπτάμενη τέφρα αποτελεί ένα λεπτόκοκκο υλικό το οποίο βελτιώνει την εργασιμότητα του σκυροδέματος μειώνοντας την απαίτηση σε νερό. Ακόμη μειώνει το ενδεχόμενο διαχωρισμού των υλικών του σκυροδέματος και της εξίδρωσης.

Ιπτάμενες τέφρες με μικρή περιεκτικότητα σε οξείδιο του ασβεστίου (CaO) αυξάνουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε διάρκεια.

Η ιπτάμενη τέφρα δύναται να χρησιμοποιηθεί:

Σαν ποζολανική προσθήκη στο τσιμέντο ή το σκυρόδεμα

Σε έργα οδοποιίας όπως επιστρώσεις

Κατασκευές αντιστηρίξεων ή λιμενικά έργα

Στη γεωργία για εξουδετέρωση όξινων εδαφών

Σε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ή ελαφροσκυροδέματα

Στην Ελλάδα, οι ποσότητες της ιπτάμενης τέφρας που παράγονται ετησίως εκτιμώνται γύρω στους 12 εκατομμύρια τόνους, το μεγαλύτερο ποσοστό των οποίων παράγεται από τη ΔΕΗ. Ειδικότερα, το 80% της παραγόμενης ελληνικής τέφρας προέρχεται από την περιοχή μεταξύ Κοζάνης και Πτολεμαΐδας, ενώ το 20% από την περιοχή της Μεγαλόπολης. Από την

παραγόμενη αυτή ποσότητα μόνο το 10% αξιοποιείται στην Ελλάδα ενώ στην Ευρώπη το ποσοστό εκμετάλλευσης φτάνει γύρω στο 18%, κυρίως γιατί η ποιότητα της ελληνικής τέφρας την καθιστά λόγω ανομοιογένειας, λεπτότητας και άλλων χαρακτηριστικών, λιγότερο αξιοποιήσιμη σε σχέση με τις ευρωπαϊκές ιπτάμενες τέφρες.

Πυριτική παιπάλη

Αποτελεί παραπροϊόν της βιομηχανίας πυριτικών μετάλλων και σιδηροπυριτικών κραμάτων πρόκειται για ποζολάνη μεγάλης δραστηρότητας η οποία επιδρά στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος σε θειικά και οξέα.

Σκωρία Καμίνου

Η σκωρία καμίνου αποτελεί κονιορτοποίηση των παραπροϊόντων καμίνων σιδηρομεταλλευμάτων.

1.8.5 Στεγανωτικά Πρόσμικτα

Τα στεγανοποιητικά έχουν την ικανότητα να μειώνουν την διέλευση νερού στο σκυρόδεμα Παρ' όλα αυτά η χρήση του πρέπει να γίνεται προσεκτικά διότι κάποια από αυτά μπορούν να προκαλέσουν μείωση στην αντοχή του σκυροδέματος. Ως στεγανοποιητικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν λεπτόκοκκα αδρανή όπως χαλαζίας μπετονίτης, ανθρακικό ασβέστιο, ανόργανα υλικά : θηραϊκή γη, άργιλος, ορυκτά πυριτικά άλατα. Αδιάλυτοι σάπωνες ακόμη μπορούν να χρησιμοποιηθούν ρητινικά η στεατικά άλατα του αμμωνίου και υγροί υδρογονάνθρακες ή ελαιώδη προϊόντα του πετρελαίου.

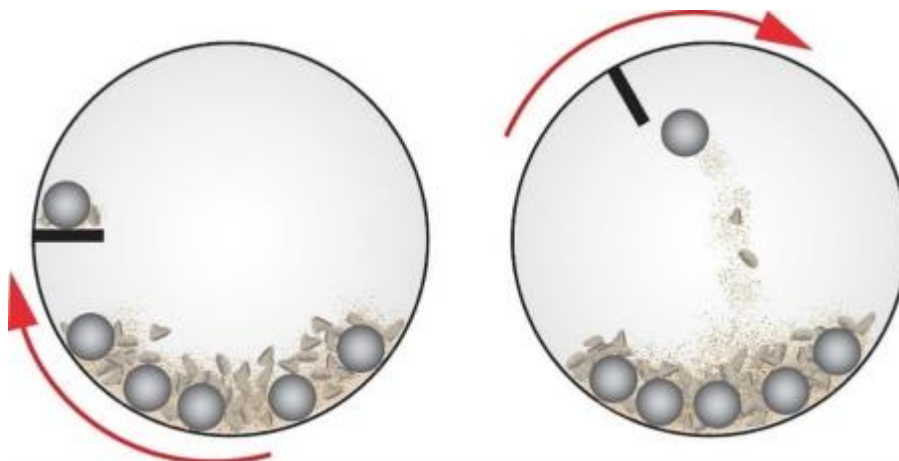
1.9 Δοκιμή Los Angeles



Εικόνα 2 Μηχανή Los Angeles

Η δοκιμή Los Angeles χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό αντοχής των αδρανών υλικών σε τριβή και κρούση (σύμφωνα με τις προδιαγραφές **ΣΚ-345, ΕΛΛΟΤ 408, AASHTO-T96, ASTM C131-81**). Η συσκευή είναι κυλινδρική με εσωτερική διάμετρο 28 ± 0.2 in (711 ± 5 mm) και εσωτερικό μήκος $20 \pm 0,2$ in (508 ± 5 mm) (Εικόνα 2). Τα δύο άκρα του κυλίνδρου είναι κλειστά. Το υλικό προς επεξεργασία εισέρχεται από το επάνω μέρος όπου η συσκευή διαθέτει άνοιγμα το οποίο κλείνει με καπάκι τέτοιας γεωμετρίας ώστε να μην αποβάλλεται σκόνη. Το εσωτερικό της περιέχει μια χαλύβδινη ράβδο που απέχει από το άνοιγμα απόσταση περίπου 50 inches (Εικόνα 3). Ακόμη διαθέτει ένα μετρητή ο οποίος μετράει τις στροφές που εκτελεί η συσκευή.

Τα αδρανή υλικά τοποθετούνται στη συσκευή μαζί με έναν αριθμό χαλύβδινων σφαιρών. Η συσκευή περιστρέφεται εκτελώντας 33 στροφές το λεπτό. Με την περιστροφή αυτή το υλικό προσκρούει στα τοιχώματα, στη ράβδο αλλά και τις σφαίρες. Το αποτέλεσμα είναι να μειωθεί ο όγκος και το βάρος του.



Εικόνα 3 Απεικόνιση εσωτερικής λειτουργίας της μηχανής Los Angeles

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Νωπό Σκυρόδεμα

2.1. Σύνθεση σκυροδέματος

Η σύνθεση των επιμέρους συστατικών του σκυροδέματος πρέπει να είναι τέτοια ώστε το σκυρόδεμα που θα προκύψει να πλήρη συγκεκριμένες προδιαγραφές. Στη νωπή κατάσταση να διαθέτει την απαιτούμενη συνεκτικότητα για να μπορεί να πάρει τη μορφή του φορέα που σκυροδετείται χωρίς να προκύπτουν κενά. Στη δε σκληρυμένη κατάσταση να αποκτήσει την αντοχή, την ανθεκτικότητα και τα μηχανικά χαρακτηριστικά για τα οποία έχει σχεδιαστεί η κατασκευή.

Καθοριστικός παράγοντας για τις ιδιότητες του σκυροδέματος είναι το ποσοστό του τσιμέντου και του νερού στο νωπό σκυρόδεμα. Το τσιμέντο που θα περιέχει πρέπει να είναι τόσο ώστε να μπορεί να επιτευχθεί η απαιτούμενη αντοχή η οποία αυξάνει με την αύξηση της περιεκτικότητας σε τσιμέντο. Επίσης η ποσότητα του τσιμέντου είναι σημαντική για την προστασία των οπλισμών από διαδικασίες διάβρωσης.

Επομένως είναι αναγκαία η προδιαγραφή των αναλογιών των περιεχόμενων υλικών του σκυροδέματος.

Για την εκπόνησης της μελέτης σύνθεσης τα απαιτούμενα δεδομένα είναι:

- Η απαιτούμενη αντοχή f_a
- Η μορφή των δοκιμίων
- Η κάθιση του νωπού σκυροδέματος
- Ο μέγιστος κόκκος Αδρανών
- Η ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου
- Ειδικές απαιτήσεις όπως παραθαλάσσιο περιβάλλον , επιχρισμένο ή ανεπίχριστο σκυρόδεμα κλπ.

Τα ζητούμενα μεγέθη είναι :

- Η ποσότητα του τσιμέντου σε kg
- Η ποσότητα του νερού σε kg
- Η ποσότητα των αδρανών σε kg

Οι σχέσεις προκύπτουν από τον ορισμό εργαστηριακής μελέτης σύνθεσης για $1m^3$ σκυροδέματος.

Η ποσότητα του νερού σχετίζεται με το λόγο νερού προς τσιμέντο (N/T). Δηλαδή από την κατά βάρος αναλογία νερού προς το τσιμέντο και επηρεάζει την θλιπτική αντοχή του σκληρυμένο σκυροδέματος. Μικροί συντελεστές επιτυγχάνονται με τη χρήση πρόσθετων υλικών καθώς και με συμπύκνωση με δονητές.

Ακόμη η ποσότητα της παιπάλης που θα περιέχεται δεν πρέπει να ξεπερνά το ποσοστό του 0 έως 0,25 mm για να είναι ευκατέργαστο το σκυροδέμα.

2.2. Ανάμιξη και μεταφορά

Η ανάμιξη του σκυροδέματος γίνεται μηχανικά με αναμικτήρες διαφόρων τύπων (σταθερούς αναμικτήρες κεκλιμένου άξονα, σταθερούς αναμικτήρες οριζόντιου άξονα κλπ). Πραγματοποιείται είτε στο εργοτάξιο, είτε σε ειδικές εγκαταστάσεις μακριά από αυτό.

Τα πλεονεκτήματα του σκυροδέματος που παράγεται εργοστασιακά είναι ότι είναι λιγότερο κοστοβόρο και επιπλέον δίνει τη δυνατότητα να γίνει ποιοτικός έλεγχος. Για αυτούς τους λόγους σήμερα έχει μεγαλύτερη διάδοση έναντι του εργοταξιακού σκυροδέματος.

Κατά την ανάμιξη προστίθενται στον αναμικτήρα αρχικά τα χονδρόκοκκα αδρανή και έπονται τα λεπτόκοκκα, ακολουθεί η απόθεση του τσιμέντου. Τα υλικά αναμιγνύονται για 1 min. Κατόπιν προστίθενται νερό με δόσεις καθώς και πρόσθετα η πρόσμικτα εάν απαιτείται.

Στην περίπτωση χρήσης ρευστοποιητών ή υπερρευστοποιητών η τοποθέτησή τους στο μίγμα πραγματοποιείται λίγο πριν τη διάστρωση, λόγω της μικρής διάρκειας δράσης τους.

Συνήθης χρόνος ανάμιξης για αναμικτήρες κεκλιμένου άξονα είναι 30-40 στροφές. Σαν μέγιστος χρόνος υπολογίζεται 1.5 ώρα που αντιστοιχεί περίπου σε 300 στροφές.

Η μεταφορά του σκυροδέματος πραγματοποιείται με οχήματα. Η διάρκεια μεταφοράς αντιστοιχεί το μέγιστο σε 90 λεπτά εάν πρόκειται για όχημα μετονιέρα για να αποφευχθεί η μείωση ρευστότητας. Σε περίπτωση υψηλών θερμοκρασιών ο χρόνος μεταφοράς πρέπει να υπολογίζεται στο μισό του χρόνου μεταφοράς υπό φυσιολογικές καιρικές συνθήκες. Ο κάδος πρέπει να περιστρέφεται κατά 2-6 στροφές το λεπτό. Για την αποφυγή απόμιξης του υλικού όταν πρόκειται για μεγάλες αποστάσεις επιτρέπεται η προσθήκη νερού στο ανάμιγμα κατά τη διάρκεια της διαδρομής αλλά και κατά την άφιξη στο εργοτάξιο.

2.3. Εργασιμότητα Σκυροδέματος

Ως εργασιμότητα του σκυροδέματος ορίζεται το έργο που απαιτείται για τη μεταφορά, τη διάστρωση, τη συμπύκνωση και το τελείωμα χωρίς να γίνει απόμιξη των υλικών.

Εξαρτάται από δύο βασικούς παράγοντες : τη ρευστότητα δηλαδή την ευκολία ροής αλλά και από τη συνεκτικότητα δηλαδή τη συνοχή της μάζας του νωπού σκυροδέματος.

Η εργασιμότητα εξαρτάται από την κατασκευή , τις μεθόδους διάστρωσης συμπύκνωσης και τελειώματος και δεν αποτελεί μια θεμελιώδη ιδιότητα του σκυροδέματος.

Η σημασία της είναι μεγάλη διότι τα σκυροδέματα με χαμηλή εργασιμότητα παρουσιάζουν συνήθως προβληματική αντοχή και ανθεκτικότητα σε διάρκεια.

Οι μέθοδοι με τους οποίους μετράται η εργασιμότητα είναι συνηθέστερα:

- Η δοκιμή κάθισης με την οποία μετράται η εργασιμότητα του σκυροδέματος και ανάλογα με την κάθιση που αυτό παρουσιάζει χωρίζεται σε πέντε κατηγορίες

Πίνακας 2 Κατηγορίες Κάθισης

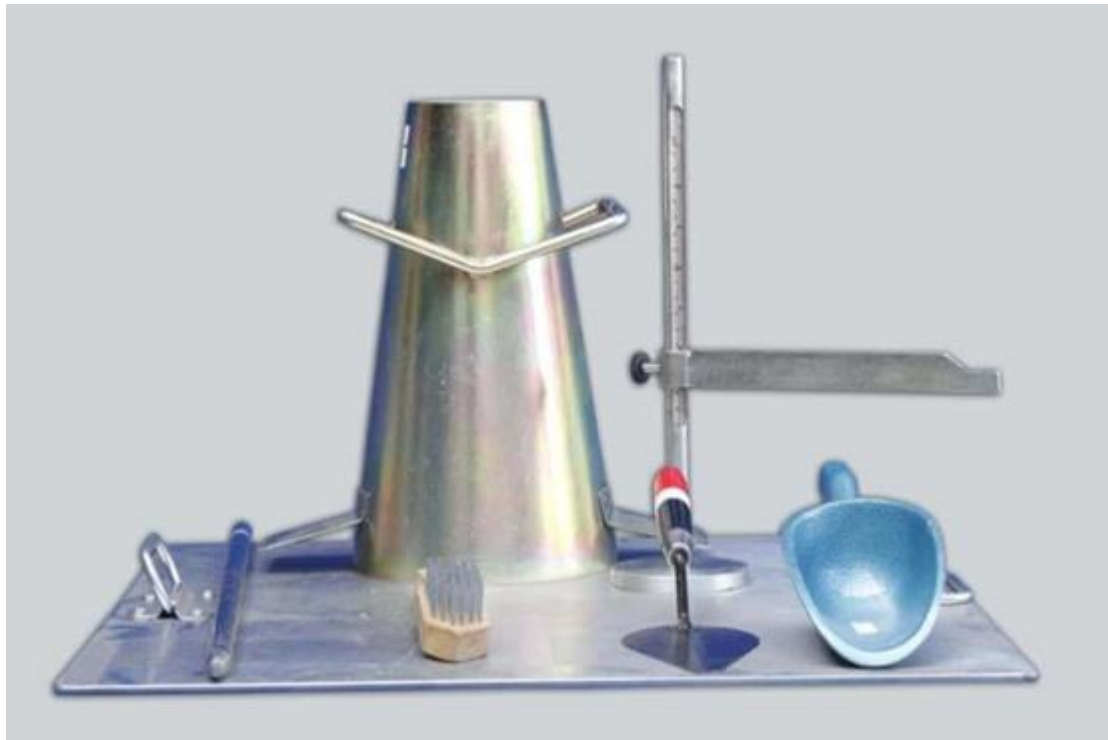
Κατηγορία	Κάθιση (mm)
S1	10 - 40
S2	50 - 90
S3	100 - 150
S4	160 - 210
S5	≥ 220

- Η δοκιμή Vebe , σε αναμίγματα που παρουσιάζουν μικρή ρευστότητα
- Η δοκιμή βαθμού συμπύκνωσης για τον προσδιορισμό της ευκολίας συμπύκνωσης του σκυροδέματος
- Η δοκιμή μέτρου εξάπλωσης για σκυροδέματα που παρουσιάζουν μεγάλη ρευστότητα

2.4 Δοκιμή κάθισης (SLUMP TEST)

Συμφωνά με τη μέθοδο ελέγχου ΣΚ-309 πριν την σκυροδέτηση πραγματοποιείται η δοκιμή κάθισης η οποία έχει ως στόχο τον προσδιορισμό της εργασιμότητας του σκυροδέματος.

Για τη δοκιμή χρησιμοποιείται ένας μεταλλικός κόλουρος κώνος με διάμετρο κάτω βάσης 200 ± 2mm, ύψος 300 ± 2mm και διάμετρο άνω βάσης 100 ± 2mm. Οι βάσεις αποτελούν ανοίγματα του κώνου ενώ είναι παράλληλες μεταξύ τους και κάθετες στον άξονα του κώνου. Αποτελείται εξωτερικά από δυο πτερύγια στην κάτω βάση της, τα οποία βοηθούν στην σταθερότητα του, ενώ στα 2/3 του ύψους της βρίσκονται δυο χειρολαβές. Το μέταλλο από το οποίο αποτελείται πρέπει να είναι ανθεκτικό έτσι ώστε να μην επηρεάζεται από το σκυρόδεμα. Το πάχος των τοιχωμάτων του κώνου πρέπει να είναι 1,5 mm. (Εικόνα 4)



Εικόνα 4 Εξοπλισμός για το slump test

Ακόμη για τη δοκιμή απαιτείται μια ράβδος συμπύκνωσης από χάλυβα μήκους 60 cm και διατομής Φ16 με στρογγυλεμένα άκρα.

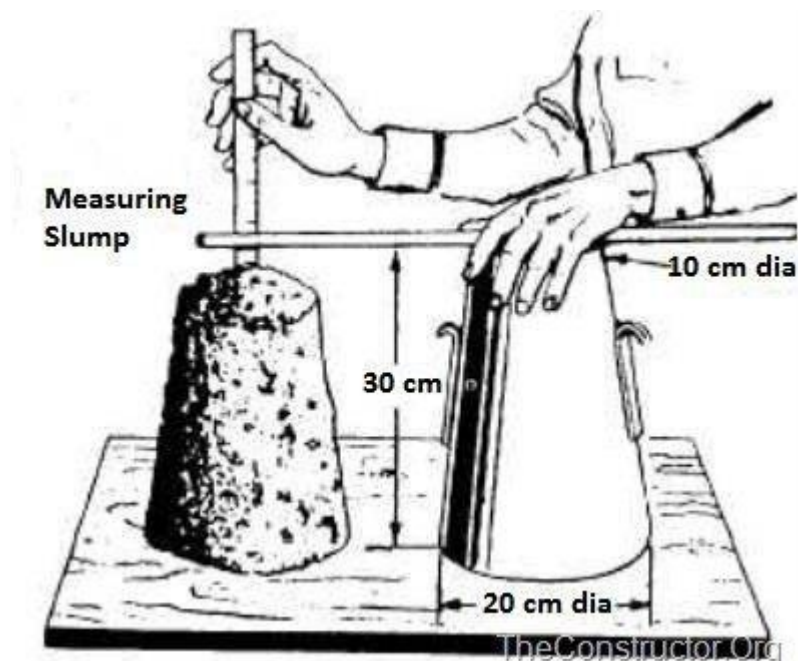
Η τιμή της κάθισης προκύπτει ως μέσος όρος δύο δοκιμών που γίνονται στο ίδιο δείγμα σε χρονικό διάστημα 15λεπτών.

Είναι απαραίτητο ο κώνος να τοποθετηθεί σε οριζόντια , λεία επιφάνεια και να παραμείνει ακινητοποιημένος καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμής καθώς και να διαβραχεί εσωτερικά αυτός και η επιφάνεια εδράσεως.

Τοποθετείται σκυρόδεμα στη μήτρα με τη σέσουλα σε τρεις ισοϋψείς στρώσεις. Κάθε στρώση συμπυκνώνεται χρησιμοποιώντας τη ράβδο συμπυκνώσεως, η οποία βυθίζεται έχοντας μια μικρή κλίση, με 25 χτύπους οι οποίοι ξεκινούν από την περίμετρο και καταλήγουν με σπειροειδή κατεύθυνση στο κέντρο. Στην πρώτη στρώση η ράβδος βυθίζεται σε όλη τη μάζα του σκυροδέματος. Κατά τη δεύτερη και τρίτη στρώση η κλίση ελαττώνεται και η ράβδος βυθίζεται κατά μήκος της στρώσης και εισέρχεται λίγο και στη επόμενη. Στην τρίτη στρώση ο κώνος γεμίζεται εντελώς με σκυρόδεμα και συμπληρώνεται συνεχώς σε όλη τη διάρκεια της συμπύκνωσης.

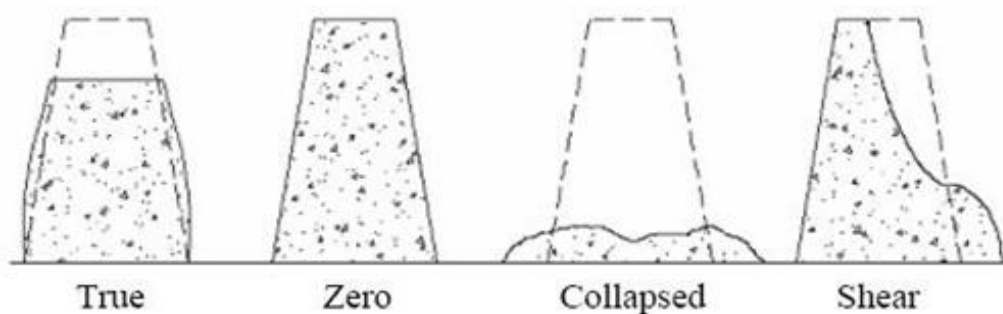
Μετά το πέρας της συμπύκνωσης επιπεδώνεται η άνω επιφάνεια με παλινδρομική κίνηση της ράβδου και καθαρίζεται το σκυρόδεμα που περισσεύει και αυτό που βρίσκεται γύρω από τη βάση του κώνου.

Έπειτα από τον καθαρισμό αφαιρείται ο κώνος αργά, με ομαλά κίνηση προς τα πάνω. Όλη η διαδικασία πρέπει να εκτελείται σε χρόνο λιγότερο από 150sec. Αφού πραγματοποιηθεί η αφαίρεση καθίσταται δυνατό να μετρηθεί η κάθιση, η οποία αποτελεί τη διαφορά ύψους μεταξύ κώνου και του υψηλότερου σημείου του σκυροδέματος που ελευθερώθηκε από των κώνο. Η κάθιση υπολογίζεται πάντα σε εκατοστά του μέτρου με προσέγγιση 5mm (Εικόνα 5).



Εικόνα 5 Αναπαράσταση μεθόδου εύρεσης της κάθισης

Εάν παρουσιασθεί κατάρρευση του σκυροδέματος, τότε η δοκιμή πρέπει να επαναληφθεί και εφόσον δύο διαδοχικές δοκιμές παρουσιάσουν τα ίδια αποτελέσματα τότε θεωρείται ότι το σκυρόδεμα δεν έχει την κατάλληλη πλαστιμότητα και συνοχή (Εικόνα 6)



Εικόνα 6 Αναπαράσταση κατηγορίας κάθισης σκυροδέματος

Παράγοντες που επηρεάζουν τη Εργασιμότητα

Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την εργασιμότητα του σκυροδέματος ποικίλλουν και σχετίζονται με το ποσοστό των αδρανών, το ποσοστό του τσιμέντου, το ποσοστό του νερού καθώς και την παρουσία πρόσμικτων, τη θερμοκρασία κ.α.

2.5 Διάστρωση, Συμπύκνωση, Τελείωμα

Η εκφόρτωση πρέπει να γίνει όσο των δυνατών πιο κοντά στο σημείο της τελικής διάστρωσης. Σε περίπτωση που αυτό δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί η μεταφορά από τη μπετονιέρα στη θέση διάστρωσης γίνεται με τη βοήθεια κεκλιμένων επιπέδων, αντλιών, κάδων σε συνδυασμό με δομικό γερανό ή και αναβατόρια. Στη χώρα μας αλλά και σε άλλες χώρες πιο διαδεδομένο μέσο είναι η αντλία.

Για να αποφευχθεί απόμιξη των συστατικών του σκυροδέματος πρέπει να αδειάζεται σε στρώσεις ίδιου πάχους. Παρατηρείται ότι η διάστρωση σε μεγάλους σωρούς και κατόπιν η δόνηση με δονητή έχει ως αποτέλεσμα την απόμιξη.

Ο ρυθμός διάστρωσης πρέπει να γίνεται με αρκετά γρήγορο ρυθμό ώστε η τελευταία δόση να είναι σε πλαστική κατάσταση όταν διαστρώνεται η επόμενη, για να αποφεύγεται ο σχηματισμός επιφανειών αδυναμίας.

Η συμπύκνωση είναι μια διαδικασία στην οποία το σκυρόδεμα υποβάλλεται σε δόνηση ώστε να αποβληθεί ο αέρας που εγκλωβίστηκε και να ελαττωθεί το ποσοστό πόρων στη μάζα του.

Σε έργα μικρής σημασίας η συμπύκνωση επιτυγχάνεται μέσω δόνησης με ράβδους ή πήχη.

Σε έργα μεγάλης εμβέλειας συνήθως δονούνται όλα τα στοιχεία με διαφορετική μηχανή δόνησης όπως οι δονητές μάζας και παρειάς.

Στην περίπτωση των εργαστηριακών δοκιμών η συμπύκνωση πραγματοποιείται με δόνηση στη τράπεζα δόνησεως. Ακόμη συμπύκνωση συντελείται και με το ίδιο βάρος του σκυροδέματος.

Το τελείωμα πραγματοποιείται σε επίπεδες επιφάνειες. Σκοπός είναι η βελτίωση της ποιότητας της επιφάνειας του σκυροδέματος. Για την επίτευξη του τελειώματος γίνεται χρήση ευθύγραμμης δοκού ορθογωνικής διατομής η οποία παρασύρει το σκυρόδεμα που περισσεύει σε ορισμένες περιοχές σε άλλες με τυχόν κοιλότητες. Ακόμη σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται σαρώστρες οι οποίες έχουν επίπεδη επιφάνεια σε επαφή με το σκυρόδεμα. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου χρειάζεται περαιτέρω εξομάλυνση η οποία επιτυγχάνεται με ένα ειδικό μηχάνημα που φέρει ξύλινες ή μεταλλικές λεπίδες που περιστρέφονται.

2.6 Τράπεζα δόνησης

Η τράπεζα δόνησεως χρησιμοποιείται ως μέσο για τη συμπύκνωση των δοκιμίων σκυροδέματος αμέσως μετά την παραγωγή του σύμφωνα με την προδιαγραφή **ΣΚ-303**. Η τράπεζα λειτουργεί με συχνότητα τουλάχιστον 3600 ταλαντώσεων το λεπτό.

Αμέσως μετά την απόθεση περίσσειας σκυροδέματος στις μήτρες τίθεται σε λειτουργία η τράπεζα και αρχίζει η δόνηση. Οι μήτρες πρέπει να βρίσκονται σε επαφή με την τράπεζα καθ' όλη τη διάρκεια της δόνησης. Όταν εμφανιστεί στην επιφάνεια των δοκιμίων ένα λεπτό στρώμα τσιμεντοκονιάματος το οποίο καλύπτει τα αδρανή τότε διακόπτουμε τη δόνηση.

Την διαδικασία αυτή ακολουθεί η τελική επεξεργασία η οποία περιλαμβάνει την επιπέδωσή του πάνω μέρους του σκυροδέματος με μυστρί, καθώς και τοποθέτηση σήμανσης με τρόπο ώστε να μην απομακρυνθεί από το σκυρόδεμα ή αλλοιωθούν τα στοιχεία της. Στην σήμανση συμπεριλάβαμε την ταυτότητα κάθε δοκιμίου, την ημερομηνία παραγωγής και τα ονόματα των δημιουργών τους.

2.7 Συντήρηση

Αμέσως μετά την τοποθέτηση του σκυροδέματος σε καλούπια πρέπει να γίνουν όλες οι απαιτούμενες διαδικασίες για τη συντήρησή του έτσι ώστε αυτό να βρίσκεται στην κατάλληλη θερμοκρασία και υγρασία οι οποίες εννοούν την ενυδάτωση.

Σκοπός είναι να μπορέσει το σκυρόδεμα να προστατευτεί από πρόωρη ξήρανση αλλά και από άλλες εξωτερικές επιδράσεις.

Για την ενυδάτωση του σκυροδέματος αλλά και την προστασία από την εξάτμιση χρησιμοποιούνται τα παρακάτω μέσα:

- Λινάτσες όπου καλύπτουν τις ελεύθερες επιφάνειες του σκυροδέματος και παραμένουν για τουλάχιστον επτά ημέρες
- Με πλημμύρισμα οριζόντιων ελεύθερων επιφανειών με νερό βάθους 10-20 mm το οποίο συγκρατείται με δρομικό μονότουβλο ή με μικρό ανάχωμα από χώμα στο όριο της επιφάνειας
- Με βύθισμα προκατασκευασμένων στοιχείων σε δεξαμενές νερού
- Με ψεκασμό της ελεύθερης επιφάνειας με περιστροφικούς ψεκαστήρες συνεχούς λειτουργίας
- Με επικάλυψη της ελεύθερης επιφάνειας με πλαστικές μεμβράνες ώστε να παρεμποδίζεται η εξάτμιση του νερού

- Με επάλειψη η ψεκασμό των ελεύθερων επιφανειών με υγρό που σχηματίζει λεπτή και αδιαπέραστη μεμβράνη από το νερό παρεμποδίζοντας την εξάτμιση.

2.8 Απόμιξη

Με τον όρο απόμιξη εννοούμε τον διαχωρισμό των συστατικών του σκυροδέματος ώστε να μην είναι ομοιόμορφα διασκορπισμένα. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη διαφορά ειδικού βάρους. Παρατηρείται σε σχετικά ξηρά αναμίγματα όπου παρουσιάζεται διαχωρισμός χονδρόκοκκων αδρανών από τη μάζα του σκυροδέματος και σε σχετικά υγρά όπου γίνεται εμφάνιση νερού με τσιμέντο και λεπτή άμμο στη επιφάνεια του σκυροδέματος (εξίδρωση).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Σκληρυμένο σκυρόδεμα

3.1 Αντοχή του σκυροδέματος

3.1.1 Κατηγορίες αντοχής σκυροδέματος

Η χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος βασίζεται στη θλιπτική αντοχή του, η οποία μετρήθηκε στις 28 ημέρες από τη παραγωγή του σκυροδέματος σε κυβικά δοκίμια πλευράς 15 cm και σε κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 15 cm και ύψους 30 cm σύμφωνα με τις διατάξεις του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος.

Οι κατηγορίες αντοχής του σκυροδέματος είναι :

Πίνακας 3 κατηγορίες αντοχής σκυροδέματος

C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Ο πρώτος αριθμός κάθε κατηγορίας ορίζει τη χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου fck, ενώ ο δεύτερος ορίζει τη χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυβικού δοκιμίου fck, cube σε MPa σε 28 ημέρες.

Η χρήση της κατηγορίας C12/15 επιτρέπεται μόνο για κτήρια με χαμηλές απαιτήσεις πλαστικότητας το πολύ για τρεις ορόφους.

Η κατηγορία C16/20 επιτρέπεται για κτήρια με χαμηλές απαιτήσεις πλαστικότητας ανεξαρτήτως των αριθμό των ορόφων και για κτήρια με αυξημένες απαιτήσεις πλαστικότητας με τρεις το πολύ ορόφους

Για προεντεταμένο σκυρόδεμα απαγορεύεται να γίνει χρήση των κατηγοριών C12/15, C16/20, C 20/25

3.1.2 Θλιπτική αντοχή

Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος μετράται στις 28 ημέρες κυβικά δοκίμια πλευράς 15 cm και σε κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 15 cm και ύψους 30 cm σύμφωνα με τις διατάξεις του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος,

Χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου fck και κυβικού δοκιμίου fck, cube θεωρείται εκείνη η τιμή αντοχής κάτω της οποίας υπάρχει η πιθανότητα 5% να βρεθεί η τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου.

Το σκυρόδεμα παρουσιάζει μεγάλη αντοχή σε θλίψη επομένως στην πράξη γίνεται σχεδιασμός των στοιχείων από σκυρόδεμα έτσι ώστε να γίνεται εκμετάλλευση αυτής του της ιδιότητας.

Αποτελεί τη σημαντικότερη ιδιότητα του αφού εξαρτώνται από αυτή όλες οι άλλες ιδιότητες όπως το μέτρο ελαστικότητας, η ανθεκτικότητα του, η διαπερατότητα.

3.1.3 Δοκιμή αντοχής σε θλίψη

Η δοκιμή αυτή αποτελεί την πιο κοινή δοκιμή στο σκυρόδεμα λόγω του ότι η αντοχή του σε θλίψη είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του. Η δοκιμή γίνεται σύμφωνα με τα πρότυπα EN 12390, ASTM C39 και ΣΚ-304.

Πραγματοποιείται στη μηχανή φορτίσεως η οποία είναι κατάλληλα εξοπλισμένη για την εφαρμογή, τον έλεγχο και τη μέτρηση του απαιτούμενου αξονικού φορτίου. Η μηχανή περιέχει δύο χαλύβδινες πλάκες με επιφάνεια σκληρότητας HRC 55 κατά Rockwell από τις οποίες η άνω έχει σφαιρική άρθρωση. Το πάχος των πλακών πρέπει να είναι επαρκές ώστε η παραμόρφωση στα συνήθη φορτία να μην υπερβαίνει την ανοχή επιπεδότητας.

Καθένα δοκίμιο τοποθετείται στην πρέσα με σκοπό να ξεκινήσει η δοκιμή αντοχής σε μονοαξονική θλίψη. Οι επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τα δοκίμια κατά τη θραύση πρέπει σύμφωνα με την προδιαγραφή ΣΚ-304 παρ.4 να έχουν απόκλιση από την επιπεδότητα 0,01mm ανά 150mm της ακμή εάν πρόκειται για κυβικό δοκίμιο ή της διαμέτρου για κυλινδρικό. Εάν οι προϋποθέσεις δεν πληρούνται τότε χρειάζονται επεξεργασία διότι η φόρτιση των επιφανειών που προεξέχουν προκαλεί συγκέντρωση των τάσεων με αποτέλεσμα να επιταχύνεται η θραύση.

Τα δοκίμια τοποθετούνται στο κέντρο τη πλάκας με τη βοήθεια ενός μεταλλικού οργάνου με το οποίο ρυθμίζουμε χειροκίνητα τη εκκεντρότητα (Εικόνα 7). Η μηχανή τίθεται σε λειτουργία.



Εικόνα 7 Αναπαράσταση δοκίμιου στην μηχανή θλίψης

Το φορτίο θραύσης επιβάλλεται με τρόπο συνεχή και ομοιόμορφο με ταχύτητα μεταξύ 0,2-1,0 Μρα/s προκαλώντας ομαλή αύξηση των τάσεων. Η συνολική διάρκεια της δοκιμής δεν επιτρέπεται να είναι κάτω από 30sec, χωρίς η ταχύτητα φορτίσεως να υπολείπεται των 0,2 Μρα.

Η πρέσα περιέχει ηλεκτρική οθόνη στην οποία αναγράφονται το εκάστοτε φορτίο που ασκείται καθώς και η παραμόρφωση. Η τιμή που ενδείκνυται στην οθόνη τη στιγμή της θραύσης αποτελεί το φορτίο θραύσης.

Παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή σε θλίψη

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή σε θλίψη είναι α) Λόγος νερού τσιμέντο N/T, β) ο τύπος του τσιμέντου ,γ) ο εγκλωβισμένος αέρας δ) η κοκκομετρία των αδρανών , ε) το νερό ανάμιξης, στ) τα πρόσμικτα και πρόσθετα, ζ) η μέθοδος παρασκευής ,συμπύκνωσης και συντήρησης, η) οι περιβαλλοντικές συνθήκες, θ)το σχήμα το μέγεθος και η υγρασία των δοκιμίων και ι)οι συνθήκες φόρτισης.

3.1.4 Εφελκυστική Αντοχή

Ο όρος εφελκυστική αντοχή αναφέρεται σε καθαρό αξονικό εφελκυσμό σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος. Η τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος f_{ct} υπολογίζεται με βάση την οριακή κατάσταση και το στάδιο των υπολογισμών. Προσδιορίζεται σε σχέση με την χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος σύμφωνα με τον πίνακα 3

Πίνακας 4 Εφελκυστική Αντοχή σε Μρα

f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{ctk0.05}$	1,10	1,30	15,00	1,80	2,00	2,20	2,50	2,70	2,90
f_{ctm}	1,60	1,90	2,20	2,60	2,90	3,20	3,50	3,80	4,10
$f_{ctk0.95}$	2,00	2,50	2,90	3,30	3,80	4,20	4,60	4,90	5,30

Οι τιμές του πίνακα 3 προκύπτουν από τη σχέση

$$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$$

Όπου (f_{ctm} , f_{ck}) σε ΜΡα

Το εύρος της διακύμανσης της f_{ct} είναι από 0,7 f_{ctm} έως 0,3 f_{ctm}

Η εκλογή της τιμής f_{ct} εξαρτάται από το είδος του εξεταζόμενου προβλήματος.

3.2. Παραμορφώσεις σκυροδέματος

Οι τάσεις που αναπτύσσονται στα καταπονούμενα μέλη δεν είναι δυνατό να μετρηθούν άμεσα μόνο μέσω των παραμορφώσεων που αυτές προκαλούν.

Ο υπολογισμός των τάσεων που προέρχονται από αυτές τις παραμορφώσεις γίνεται μέσω **του νόμου του Hooke** στη οποία το μέτρο ελαστικότητας είναι ίσο με το λόγο της τάσης προς την παραμόρφωση. Το μέτρο ελαστικότητας αποτελεί σταθερό μέγεθος για διάφορα δομικά υλικά σε αντίθεση με το σκυρόδεμα στο οποίο συμβαίνει αυτό μόνο όταν οι τάσεις είναι μικρές και σύντομης διάρκειας. Εκφράζει την ακαμψία του υλικού, δηλαδή την αντίστασή του στη ελαστική παραμόρφωση.

Ισχύει η σχέση

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Όπου E το μέτρο ελαστικότητας

σ η τάση

ε η παραμόρφωση

Η μέση τιμή του μέτρου ελαστικότητας είναι δυνατόν να εκτιμηθεί βάση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος σύμφωνα με τον πίνακα 4 σε GPa.

Πίνακας 5 Επιβατικό Μέτρο ελαστικότητας σε GPa

f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50
E_{cm}	26	27,5	29	30,5	32	33,5	35	36	37

Ελαστική παραμόρφωση

Ονομάζεται η παραμόρφωση η οποία σταματά να επιδρά εφόσον παύει να υπάρχει το φορτίο που την προκάλεσε.

Πλαστική Παραμόρφωση

Είναι η παραμόρφωση η οποία παραμένει και μετά το πέρας του φορτίου που την προκάλεσε.

3.3. Λόγος Poisson

Ο λόγος Poisson αποτελεί τον λόγο της εγκάρσιας προς την αξονική παραμόρφωση. Στην περιοχή των ελαστικών παραμορφώσεων είναι ίσος με 0.20. Γενικά κυμαίνεται μεταξύ 0.15 και 0.20 για το σκυρόδεμα.

Ο λόγος Poisson είναι γενικά χαμηλότερος σε υψηλής αντοχής σκυροδέματα ενώ υψηλότερος στα σκυροδέματα κεκορεσμένης υγρασίας ή σε σκυροδέματα που φορτίζονται δυναμικά.

Άλλες παραμορφώσεις που εμφανίζονται στο σκυρόδεμα σε στατική φόρτιση μεγάλης διάρκειας είναι :

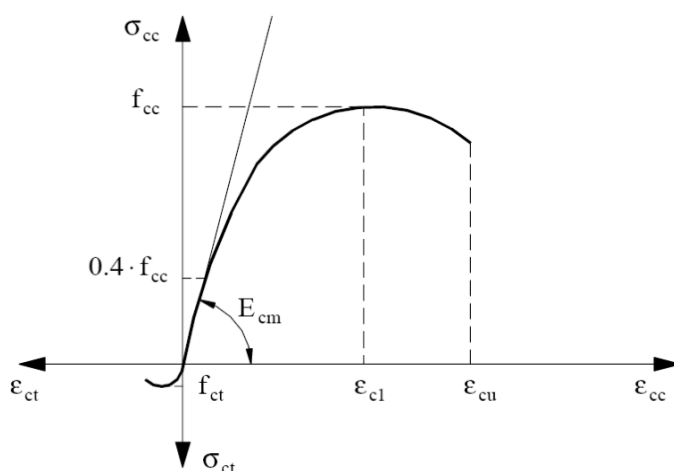
α) ο ερπυσμός, β) η χαλάρωση , γ) η επανάταξη, δ) η συστολή ξήρανσης ε) η διόγκωση διόγρανσης

3.4. Διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων

Ανάλογα με τη φύση του έργου και τις απαιτήσεις της μελέτης μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες μορφές διαγράμματος τάσεων παραμορφώσεων. Στην πράξη για τις μελέτες των τεχνικών έργων χρησιμοποιούνται χαρακτηριστικά διαγράμματα τόσο στο σκυρόδεμα όσο και στο χάλυβα. Τα διαγράμματα αυτά απεικονίζουν την συμπεριφορά των υλικών σύμφωνα με τον κανονισμό. Ακόμη χρησιμοποιούνται διαγράμματα σχεδιασμού τα οποία παραπέμπουν σε αντοχές σχεδιασμού για το σκυρόδεμα και χρησιμοποιούνται για τη διαστασιολόγηση των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος.

Η τυπική μορφή διαγράμματος τάσης-παραμόρφωσης στο σκυρόδεμα παρουσιάζεται στο σχήμα 1 όπου φαίνεται καθαρά ότι η αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη είναι πολύ μεγαλύτερη εκείνης του εφελκυσμού.

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των συστατικών του σκυροδέματος η τετμημένη της κορυφής του διαγράμματος και την ταχύτητα επιβολής των παραμορφώσεων η οποία και αποτελεί την αντοχή του υλικού κυμαίνεται μεταξύ 0,2% – 0,25% ενώ η συμβατική παραμόρφωση θραύσης μεταξύ 0,35% – 0,7% ενώ η τάση θραύση από $0,7 f_c - 1,25 f_c$



Σχήμα 1 Ενδεικτικό διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων σκυροδέματος

Με c συμβολίζεται η θλίψη και με t ο εφελκυσμός.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Ανακύκλωση

4.1. Η αναγκαιότητα της ανακύκλωσης

Ανακύκλωση ονομάζεται η διαδικασία επαναχρησιμοποίησης υλικών στην παραγωγική διαδικασία τα οποία θεωρούνται απορρίμματα. Δηλαδή υλικά τα οποία έχουν υποστεί επεξεργασία και πλέον λογίζονται ως σκουπίδια, αφού επαναεπεξεργαστούν εισάγονται εκ νέου στη διαδικασία παραγωγής.

Η ανάγκη για ανακύκλωση στις μέρες μας είναι πολύ μεγάλη αφού η βιομηχανία, οι όλο και αυξανόμενες απαιτήσεις ενέργειας, η υπερκατανάλωση έχουν οδηγήσει τον πλανήτη μας σε οριακά σημεία δημιουργώντας ανυπολόγιστες επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ατμόσφαιρα. Η ρύπανση των υδάτων και της ατμόσφαιρας, η έλλειψη πρώτων υλών όπως το πετρέλαιο, η αποψίλωση μεγάλου μέρους των δασών για να καλυφθούν οι ανάγκες της ανθρωπότητας για ξυλεία, η δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου αποτελούν μόνο μερικές από αυτές.

Επομένως η ανακύκλωση κρίνεται θεμελιώδης στόχος για την ανθρωπότητα και αποτελεί αναγκαία λύση για τη διάσωση του πλανήτη από την καταστροφή. Μερικά από τα πλεονεκτήματα της ανακύκλωσης είναι η εξοικονόμηση ενέργειας, η μείωση της χρήσης των πρώτων υλών καθώς και η μείωση των ρύπων στο περιβάλλον.

Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός είναι ανάγκη να υπάρξει ευαισθητοποίηση όχι μόνο χωρών, βιομηχανιών, οργανισμών, δημόσιων φορέων αλλά και κάθε ατόμου μεμονωμένα. Κάτι τέτοιο είναι δυνατόν να επιτευχθεί μέσω της συνεχούς ενημέρωσης και διάδοσης για τα οφέλη της ανακύκλωσης ώστε η οικολογική συνείδησης να γίνει πεποίθηση για όλους η προστασία του περιβάλλοντος και η βελτίωση της ποιότητας ζωής.

4.2. Οικοδομικά απορρίμματα (ΑΚΚ)

«Απόβλητα από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις» (ΑΕΚΚ): Κάθε υλικό ή αντικείμενο από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις που θεωρείται ως απόβλητο κατά την έννοια του άρθρου 2 (στοιχείο α) της υπ. αριθ. 50910/2003 (ΦΕΚ Β΄ 1909) κοινής υπουργικής απόφασης σε συνδυασμό με την παρ. 4 του άρθρου 2 του Ν. 2939/2001 και περιλαμβάνεται στο Παράρτημα Ι του άρθρου 17 του 1909/2003.

Τα οικοδομικά απόβλητα προέρχονται από διάφορες οικοδομικές εργασίες όπως η ανέγερση κτηρίων ή κατασκευή δημόσιων υποδομών ακόμη μπορούν να προκύψουν από την κατεδάφιση τους. Επομένως χωρίζονται ανάλογα με την προέλευσή τους σε απόβλητα από κατασκευές και απόβλητα από κατεδαφίσεις. Ακόμη θεωρούνται απόβλητα υλικά που έχουν προκύψει από

εκσκαφή τμήματος εδάφους. Τα υλικά από τα οποία αποτελούνται μπορεί να είναι χώματα από εκσκαφές, ξύλο, σκυρόδεμα, μέταλλα, γυαλί κ.α.

Τα απόβλητα από τις κατασκευές προκύπτουν από υλικά τα οποία έχουν καταστραφεί, από ενδιάμεσα απορρίμματα τα οποία χρησιμοποιούνται για να αποτελέσουν ένα υλικό, υλικά τα οποία περισσεύουν μετά το πέρας των εργασιών και τέλος υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για συσκευασία.

Τα απόβλητα τα οποία προέρχονται από νέες κατασκευές είναι λιγότερο μικτά καθώς και λιγότερο μολυσμένα από αυτά των κατεδαφίσεων τα οποία αποτελούν τα μεγαλύτερα ποσά των ΑΚΚ.

Ακόμη από τις κατεδαφίσεις προκύπτουν απόβλητα τα οποία είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα και είναι αναγκαία η απομάκρυνσή τους από τα υπόλοιπα απορρίμματα.

Τέτοια είναι ο αμιάντος, το νικέλιο, τα πριονίδια ξύλου, τα πριονίδια ξύλου δρυός, το βενζόλιο, το κάδμιο, η φορμαλδεΐδη, οι διοξίνες ο χρωμικός μόλυβδος κ.α.

Τα ΑΚΚ αποτελούν το 25-30 % των παραγόμενων αποβλήτων στην ευρωπαϊκή ένωση και είναι τα πιο βαριά και ογκώδη απόβλητα που παράγονται σε αυτή. Το ποσοστό ανακύκλωσής τους στην Ευρωπαϊκή Ένωση ποικίλει ανά τη χώρα. Έχουν καταγραφεί ποσοστά σε χώρες κάτω από 10% ενώ σε άλλες πάνω από 90%. Στην Ελλάδα η ποσότητά των αποβλήτων από κατεδαφίσεις και κατασκευές ανέρχεται στο ποσό των 6-7 τόνων το χρόνο. Παρόλα αυτά παρατηρείται μείωση της παραγωγής ΑΚΚ γεγονός που οφείλεται στη μείωση της οικοδομικής δραστηριότητας λόγω της οικονομικής κρίσης.

Πίνακας 6 Απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό κατάλογο αποβλήτων

17 00 00	ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΙΣ(ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ ΚΑΙ ΤΑ ΧΩΜΑΤΑ ΕΚΣΚΑΦΩΝ ΑΠΟ ΡΥΠΑΣΜΕΝΑ ΕΛΑΦΗ)
17	ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΙΣ(ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΡΟΜΩΝ)
17 01	Σκυρόδεμα, τούβλα, πλακάκια και κεραμικά
17 01 01	Σκυρόδεμα
17 01 02	Τούβλα
17 01 03	Πλακάκια και κεραμικά
17 01 06*	Μίγμα, ή ξεχωριστό κλάσμα από σκυρόδεμα, τούβλα, κεραμικά και πλακάκια που περιέχουν επικίνδυνα υλικά

17 01 07	Μίγμα από σκυρόδεμα, τούβλα, κεραμικά και πλακάκια διαφορετικό από αυτό που αναφέρεται στη 17 01 06
17 02	Ξύλο, γυαλί και πλαστικό
17 02 01	Ξύλο
17 02 02	Γυαλί
17 02 03	Πλαστικό
17 02 04*	Ξύλο, γυαλί, πλαστικό που περιέχει ή έχει μολυνθεί με επικίνδυνα υλικά
17 03	Μίγματα βιτουμενίου, ανθρακόπισσα και άλλα προϊόντα πίσσας
17 03 01*	Μίγματα Βιτουμενίου που περιέχουν ανθρακόπισσα
17 03 02	Μίγματα Βιτουμενίου που δεν υπάγονται στην 17 03 01
17 03 03*	Ανθρακόπισσα και προϊόντα πίσσας
17 04	Μέταλλα (περιλαμβάνονται και τα κράματά τους)
17 04 01	Χαλκός, Μπρούτζος, ορείχαλκος
17 04 02	Αλουμίνιο
17 04 03	Μόλυβδος
17 04 04	Ψευδάργυρος
17 04 05	Σίδηρος και χάλυβας
17 04 06	Κασσίτερος
17 04 07	Μίγμα υλικών
17 04 09*	Απόβλητα μετάλλων ρυπασμένα με επικίνδυνα υλικά
17 04 10*	Καλώδια που περιέχουν έλαια, ανθρακόπισσα και άλλα επικίνδυνα υλικά
17 04 11	Καλώδια που δεν υπάγονται στην 17 04 11
17 05	Χώματα (περιλαμβάνονται τα χώματα εκσκαφών από ρυπασμένα εδάφη), πέτρες και μπάζα εκσκαφών
17 05 03*	Χώματα και πέτρες που περιλαμβάνουν επικίνδυνα υλικά
17 05 04	Χώματα και πέτρες που δεν υπάγονται στην 17 05 03
17 05 05*	Μπάζα εκσκαφών που περιέχουν επικίνδυνα υλικά
17 05 06	Μπάζα εκσκαφών που δεν υπάγονται στην 17 05 05
17 05 07*	Άχρηστο φορτίο φορτηγών οχημάτων (track ballast) που περιέχει επικίνδυνα υλικά
17 05 08	Άχρηστο φορτίο οχημάτων που δεν υπάγεται στη 17 05 07
17 06	Μονωτικά υλικά και κατασκευαστικά υλικά που περιέχουν αμιάντο

17 06 01*	Μονωτικά υλικά που περιέχουν αμίαντο
17 06 03*	Άλλα μονωτικά υλικά που περιέχουν ή αποτελούνται από επικίνδυνα υλικά
17 06 04	Μονωτικά υλικά που δεν αναφέρονται στις 17 06 03 και 17 06 01
17 06 05*	Κατασκευαστικά υλικά που περιέχουν αμίαντο
17 08	Κατασκευαστικά υλικά με βάση το γύψο
17 08 01*	Κατασκευαστικά υλικά με βάση το γύψο ρυπασμένα με επικίνδυνα υλικά
17 08 02	Κατασκευαστικά υλικά με βάση το γύψο που δεν υπάγονται στη 17 08 01
17 09	Άλλα υλικά από κατασκευές και κατεδαφίσεις
17 09 01*	Απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις που περιέχουν υδράργυρο
17 09 02*	Απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις που περιέχουν PCB (για παράδειγμα υλικά στεγανοποίησης που περιέχουν PCB, ηλεκτρικοί πυκνωτές που περιέχουν PCB ως μέσα πλήρωσης, προστατευτικές επικαλύψεις ξύλων και μετάλλων που περιέχουν PCB)
17 09 03*	Άλλα απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις (περιλαμβανομένων των αποβλήτων μικτών κατασκευών και κατεδαφίσεων) που περιέχουν επικίνδυνα υλικά
17 09 04	Απόβλητα μικτών κατασκευών και κατεδαφίσεων που δεν αναφέρονται στις 17 09 01 17 09 02 17 09 03

[Τα απόβλητα που θεωρούνται επικίνδυνα σημειώνονται με αστερίσκο όπως ορίζει η Απόφαση 2000/532/ΕΚ.]

4.3.Διαχείριση αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις

Για την διαχείριση των αποβλήτων υπάρχουν πολλές επιλογές και παρουσιάζονται με βάση την ιεράρχηση που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή οδηγία για τη διαχείριση των απορριμμάτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις. Από τις δυνατές λύσεις η λιγότερο επιθυμητή είναι αυτή της διάθεσης – απόρριψης και θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε έσχατες περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατόν να υπάρξουν άλλες επιλογές. Στην περίπτωση αυτή τα υλικά τα οποία δεν δύναται να υποστούν οποιαδήποτε άλλη επεξεργασία προωθούνται σε χώρους υγειονομικής ταφής ή χωματερές.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία - Πλαίσιο ισχύει η ακόλουθη ιεράρχηση για την αξιοποίηση των αποβλήτων:

α) πρόληψη, β) προετοιμασία και επαναχρησιμοποίηση, γ) ανακύκλωση, δ) αλλού είδους ανάκτησης, ε) διάθεση

Ορισμοί

Πρόληψη: τα μέτρα τα οποία λαμβάνονται πριν μία ουσία, υλικό ή προϊόν καταστούν απόβλητα, και τα οποία μειώνουν:

Α) την ποσότητα των αποβλήτων, μέσω της επαναχρησιμοποίησης ή της παράτασης της διάρκειας ζωής των προϊόντων

Β) τις αρνητικές επιπτώσεις των παραγόμενων αποβλήτων στο περιβάλλον και τη ανθρώπινη υγεία

Γ) την περιεκτικότητα των υλικών και προϊόντων σε επικίνδυνες ουσίες

Επεξεργασία: Οι εργασίες ανάκτησης ή διάθεσης στις οποίες περιλαμβάνεται η προετοιμασία πριν από την ανάκτηση ή τη διάθεση.

Ανάκτηση: Οποιαδήποτε εργασία της οποίας το κύριο αποτέλεσμα είναι ότι τα απόβλητα εξυπηρετούν ένα χρήσιμο σκοπό αντικαθιστώντας άλλα υλικά τα οποία υπό άλλες συνθήκες, θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν για την πραγματοποίηση συγκεκριμένης λειτουργίας, ή ότι απόβλητα υφίστανται προετοιμασία για την πραγματοποίηση αυτής της λειτουργίας, είτε στην εγκατάσταση, είτε στο γενικότερο πλαίσιο της οικονομίας.

Διάθεση: οποιαδήποτε εργασία η οποία δεν συνιστά ανάκτηση, ακόμη και στη περίπτωση που η εργασία έχει ως δευτερογενή συνέπεια την ανάκτησης ουσιών ή ενέργειας.

Επαναχρησιμοποίηση: Ονομάζεται οποιαδήποτε ενέργεια μέσω της οποίας τα υλικά τα οποία προήλθαν από κατεδαφίσεις, ανεγέρσεις οικοδομών, φυσικές ή άλλες κατασκευές χρησιμοποιούνται για τους σκοπούς που σχεδιάστηκαν με ή χωρίς την υποστήριξη των βοηθητικών οργάνων.

Ανακύκλωση: Η επανεπεξεργασία σε διαδικασία παραγωγής των ανακυκλώσιμων υλικών που περιέχονται στα απόβλητα υλικά προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για τον αρχικό τους σκοπό ή για άλλους σκοπούς, πλην της ανάκτησης ενέργειας.

Ανάκτηση ενέργειας: Η χρήση των καύσιμων υλικών των εν λόγω αποβλήτων ως μέσου παραγωγής ενέργειας, με άμεση καύση, μαζί ή χωρίς άλλα απόβλητα, αλλά με ανάκτηση της θερμότητας τηρούμενων των διατάξεων της κείμενης νομοθεσίας για την προστασία του περιβάλλοντος.

Εναλλακτική διαχείριση: Οι εργασίες συλλογής, μεταφοράς, προσωρινής αποθήκευσης, επαναχρησιμοποίησης, επεξεργασίας και αξιοποίησης των ΑΕΚΚ, ώστε με την επαναχρησιμοποίηση ή αξιοποίησή τους να επιστρέψουν στο ρεύμα της αγοράς ή να προωθούνται σε άλλες χρήσεις.

4.4 Ανακύκλωση από ΑΚΚ

Η ανακύκλωση των αποβλήτων από κατασκευές - κατεδαφίσεις γίνεται:

Είτε στις εγκαταστάσεις εντός εργοταξίου για την ανάκτηση της υψηλής αξία εμπορεύσιμων υλικών ή και υλικών χαμηλής σε αξία ποιότητας.

Είτε σε εγκαταστάσεις εκτός εργοταξίου για την ανάκτηση της υψηλής αξία εμπορεύσιμων υλικών ή και υλικών χαμηλής σε αξία ποιότητας.

Η επεξεργασία πραγματοποιείται με τρόπο τέτοιο ώστε τα υλικά να φτάσουν το αρχικό επίπεδο ποιότητας τους και όχι κατώτερο από αυτό.

4.4.1 Οφέλη

Τα οφέλη που προκύπτουν από την ανακύκλωση αποβλήτων από κατασκευές – κατεδαφίσεις είναι τα εξής:

α) Μείωση της παραγωγής εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου λόγω του ότι μειώνει την ανάγκη για εξαγωγή και μεταφορά πρώτων υλών, β) εξοικονόμηση ενέργειας από την παραγωγή νέων υλικών καθώς και την εξόρυξη, γ) μείωση του κόστους του έργου δ) μείωση του κόστους μεταφοράς ,ε) μείωση του κόστους ορισμένων νέων οικοδομικών υλικών στ) εξοικονόμηση χώρου στις χωματερές, ζ) δημιουργία ευκαιριών απασχόλησης

Η Ευρωπαϊκή οδηγία πλαίσιο 2008/98 θέτει τον παρακάτω στόχο για τη διαχείριση των αποβλήτων από κατασκευές- κατεδαφίσεις μακροπρόθεσμα:

<<Μέχρι το 2020, η προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση και η ανάκτηση άλλων υλικών, συμπεριλαμβανομένων των εργασιών υγειονομικής ταφής , χρησιμοποιώντας απόβλητα για την αποκατάσταση άλλων υλικών, μη επικίνδυνων αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων εξαιρουμένων υλικών που απαντούν στη φύση και τα οποία ορίζονται στην κατηγορία 17 05 04 του καταλόγου αποβλήτων, πρέπει να αυξηθεί κατά 70% τουλάχιστον ως προς το βάρος>>

4.4.2 Εμπόδια για την επίτευξη του στόχου αυτού :

Οικονομικής φύσεως εμπόδια

Τα υλικά από τα οποία συντίθενται τα ΑΚΚ είναι συνήθως σκυρόδεμα, τούβλα, πέτρες, άμμος, χαλίκι. Τα υλικά αυτά είναι εν γένει άμεσα διαθέσιμα γεγονός το οποίο τα καθιστά φθηνότερα λόγω του χαμηλού κόστους της παραγωγής τους. Μόνο σε περιπτώσεις μεγάλων πόλεων οι οποίες βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από κάποιο λατομείο είναι δυνατό να υπάρξει αυξημένη ζήτηση δευτερογενών ανακυκλωμένων υλικών τα οποία θα προέρχονται από απόβλητα.

Τεχνικά εμπόδια

Τα ΑΚΚ πρέπει να συλλέγονται καθαρά και να έχει γίνει απομάκρυνση όλων των μολυσμένων υλικών διαφορετικά μπορεί να προκληθεί μόλυνση στη ροή της ατμόσφαιρας.

Πολιτιστικά εμπόδια

Γενικά έχει επικρατήσει εσφαλμένα η αντίληψη κυρίως όσον αφορά το σκυρόδεμα από ανακυκλώσιμα υλικά ότι πρόκειται για κατώτερης ποιότητας σκυρόδεμα σε σχέση με αυτό που παράγεται από φυσικά υλικά.

4.5 Αδρανή από ανακύκλωση

Το 90 % της παραγωγής των αδρανών υλικών προέρχεται από την εξόρυξη φυσικών πόρων σε λατομεία ενώ το υπόλοιπο 10% προέρχεται από θαλάσσιες αποθέσεις, ανακύκλωση βιομηχανικών αποβλήτων και ανακύκλωση αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων.

Επι το πλείστον τα αδρανή τα οποία παράγονται από ανακύκλωση είναι ΑΚΚ αποτελούνται από σπασμένο σκυρόδεμα, κατεστραμμένα τούβλα, τοιχοποιίες και πλινθοδομές ενώ τα τεχνητά αδρανή παράγονται από βιομηχανικές δραστηριότητες κατά τη διαδικασία επεξεργασίας αποβλήτων, υπολειμμάτων και παραπροϊόντων της βιομηχανίας. Επίσης είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν απόβλητα προερχόμενα από εξόρυξη για την παραγωγή αδρανών υλικών.

Τα αδρανή προερχόμενα από άλλες διαδικασίες είναι δυνατόν να αντικαταστήσουν τα αδρανή τα οποία προέρχονται από εξόρυξη σε διάφορες εφαρμογές όπως στη παραγωγή σκυροδέματος, στη δημιουργία δρόμων και σε κτηριακές κατασκευές.

Τα προϊόντα που προκύπτουν είναι ικανά να αντικαταστήσουν τα φυσικά αδρανή ή και να αναμειχθούν με αυτά έχοντας ως αποτέλεσμα τη μείωση της χρήσης γης για λατόμηση και την εξοικονόμηση μη ανανεώσιμων πόρων.

4.5.1 Σημασία της ανακύκλωσης αδρανών υλικών

Τα αδρανή υλικά χρησιμοποιούνται κυρίως για κτηριακές κατασκευές καθώς και για εργασίες υποδομών γεγονός το οποίο καθιστά αυξημένη τη ζήτησή τους αφού απαιτούνται μεγάλες ποσότητες με σκοπό να καλύψουν τις ανάγκες παγκοσμίως. Ενδεικτικά η συνολική ζήτηση αδρανών για το έτος 2010-2011 ευρωπαϊκά σύμφωνα με την ετήσια έκθεση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Αδρανών ανέρχεται στο ποσό των τριών Δισ. τόνων.

Η μεγάλη εξόρυξη των αδρανών δημιουργεί αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον αλλά και στις τοπικές κοινωνίες οι οποίες βρίσκονται πλησίον των λατομείων όπως η όχληση λόγω της μεταφοράς υλικών και η αλλαγή του τοπίου.

Οι επιπτώσεις διαφοροποιούνται ανάλογα με το χώρο εξόρυξης και εξαρτώνται από τις διαφορετικές πρακτικές εξόρυξης και επεξεργασίας. Μεγαλύτερες αλλοιώσεις υφίστανται περιοχές με μεγάλο φυσικό πλούτο σε αντίθεση με περιοχές στις οποίες υπάρχει προηγούμενη επιβάρυνση.

Επομένως η παραγωγή αδρανών από ανακυκλώσιμες δραστηριότητες κρίνεται αναγκαία, αφού μειώνει τις απαιτήσεις σε γη, μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο ελάχιστο, εξοικονομώντας ταυτόχρονα μη ανανεώσιμους φυσικούς πόρους.

4.6 Σκυρόδεμα από ανακυκλωμένα αδρανή

Το σκυρόδεμα δεν μπορεί να θεωρηθεί ως οικολογικό υλικό διότι χρησιμοποιούνται μη ανανεώσιμες πρώτες ύλες για τη δημιουργία του. Η μεγάλη κατανάλωση αδρανών υλικών που απαιτούνται για την δημιουργία σκυροδέματος προκαλεί ανεπιθύμητες επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Για το λόγο αυτό κρίνεται αναγκαία η χρήση εναλλακτικών υλικών τα οποία θα είναι φιλικά στο περιβάλλον αλλά δεν θα επιβαρύνουν οικονομικά το κόστος των κατασκευών.

Η χρήση του ανακυκλώσιμου σκυροδέματος είναι δυνατό να δράσει θετικά στη μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος αλλά και να βρει λύση για 200 εκατομμύρια τόνους κατασκευαστικών μπαζών που παράγονται στην Ευρώπη ετησίως.

Παρόλα αυτά η χρήση του δεν έχει διαδοθεί διότι τα ανακυκλώσιμα αδρανή παρουσιάζουν χαμηλή αντοχή, υψηλότερο πορώδες, μεγάλη διακύμανση ποιότητας, υψηλή συστολή ξήρανσης, μεγάλο ερπυσμό και χαμηλό μέτρο ελαστικότητας. Οι έρευνες που έχουν γίνει για τα ανακυκλώσιμα σκυροδέματα αφορούν κυρίως τις μηχανικές τους ιδιότητες και όχι τόσο την ανθεκτικότητά τους. Ακόμη στα ανακυκλώσιμα σκυροδέματα είναι δυνατή η δημιουργία διεπιφανειών μεταξύ αδρανών και τσιμέντου προκαλώντας ρωγμές και μικρούς πόρους οι οποίοι επηρεάζουν την αντοχή του σε αντίθεση με τα συμβατικά σκυροδέματα.

Γίνεται έτσι σαφές ότι η αντοχή και η είσοδος χλωριόντων εξαρτάται από το είδος του παλαιού σκυροδέματος.

4.6.1 Διαδικασία παραγωγής ανακυκλώσιμου σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα προς ανακύκλωση συλλέγεται από τοποθεσίες κατεδαφίσεις και οδηγείται σε εγκαταστάσεις σύνθλιψης στις οποίες γίνεται δεκτό μόνο ‘καθαρό σκυρόδεμα’ το οποίο δε θα περιέχει απορρίμματα όπως ξύλο, χαρτί κ.α.

Τα θραύσματα ταξινομούνται με βάση το μέγεθός τους και αφού γίνει η σύνθλιψη πραγματοποιείται περαιτέρω καθαρισμός μέσω φιλτραρίσματος.

Ακόμη είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί επιτόπου σύνθλιψη στο εργοτάξιο με τη βοήθεια φορητών θραυστήρων. Η μέθοδος αυτή μειώνει το κόστος κατασκευής και τη ρύπανση που παράγεται σχετικά με τη μεταφορά υλικών από και προς ένα λατομείο.

Μετά την επεξεργασία τα αδρανή μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε :

Οδικά έργα, σε επιχώσεις, ως υλικό πλήρωσης στα λατομεία, στην κατασκευή αυλών και χώρων στάθμευσης, σε επιχωματώσεις εκσκαφών σωληνώσεων, κατασκευή περιβάλλοντος χώρου θεμελιώσεις κ.α., αλλά και στην εκ νέου κατασκευή του σκυροδέματος.

4.6.2 Οφέλη

Με τη δημιουργία ανακυκλώσιμου σκυροδέματος παρουσιάζονται τα εξής σημαντικά οφέλη:

Εξοικονομείται χώρος σε χώρους υγειονομικής ταφής .

Χρησιμοποιώντας ανακυκλωμένα υλικά όπως χαλίκια μειώνεται η απαίτηση για εξόρυξη αμμοχάλικου .

Η ανακύκλωση ενός τόνου τσιμέντου θα μπορεί να εξοικονομήσει 1.360 γαλόνια (5,14 m³) νερό, 900 κιλά διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) .

Χρήση ανακυκλωμένου σκυροδέματος ως το βασικό υλικό για οδοστρώματα μειώνει την ρύπανση που προέρχεται από τη μεταφορά με φορτηγά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Πειραματική Διαδικασία

Στην προκειμένη εργασία η πειραματική διαδικασία χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος παρασκευάζεται σκυρόδεμα κατηγορίας C25/30 με λόγο νερού προς τσιμέντο 0,5 από κοινά και από ανακυκλώσιμα αδρανή υλικά. Στο δεύτερο μέρος παράγεται σκυρόδεμα από θραυστά και από ανακυκλώσιμα αδρανή με λόγο νερού προς τσιμέντο 0,8.

Μέρος 1^ο

5.1 Παρασκευή σκυροδέματος C25/30 με λόγο N/T= 0,5 S2 κάθιση

Σε 1m³ σκυροδέματος C25/30 και κατηγορίας κάθισης S2 η οποία θα γίνει S3 με την προσθήκη υπερρευστοποιητή περιέχονται:

Πίνακας 7 Ποσότητες αδρανών υλικών για την παραγωγή 1m³ σκυροδέματος C25/30 και κατηγορίας κάθισης S3

Άμμος	920 kg
Γαρμπίλι	210 kg
Χαλίκι	740 kg
Τσιμέντο	330 kg
Νερό	189 kg
Υπερρευστοποιητής	1,65 kg (0,5%τσιμέντο)

Το Φαινόμενο Βάρος του σκυροδέματος υπολογίζεται στα 2241 kg/m³ για κατηγορία κάθισης S3.

Το τσιμέντο είναι Πόρτλαντ και συγκεκριμένα CEM II/B-M (P-L-W) 42.5N EN197-1

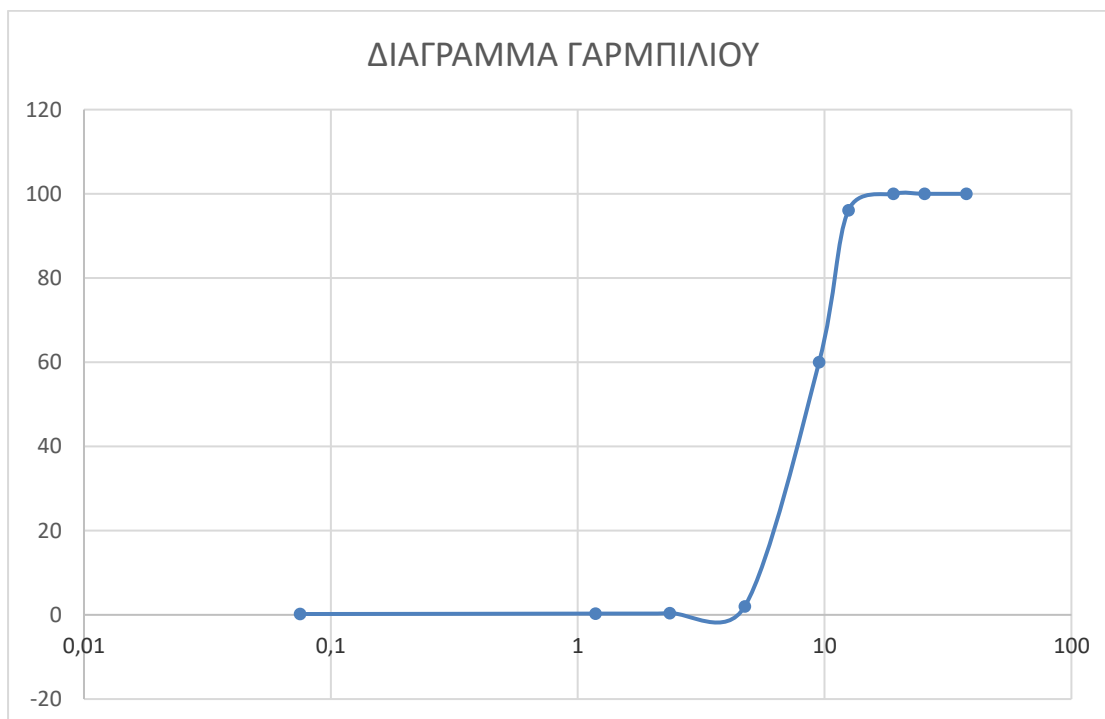
5.1.1 Κοκκομετρική ανάλυση αδρανών υλικών

Με σκοπό να γίνει έλεγχος καταλληλότητας των αδρανών υλικών με βάση τα όρια του ΚΤΣ '97 πραγματοποιήθηκε κοκκομετρική ανάλυση δείγματος των αδρανών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την πρώτη σκυροδέτηση για τη δημιουργία κοκκομετρικών καμπυλών.

Υπολογίστηκε επομένως αναλογικά η ποσότητα αδρανών σύμφωνα με τη σύνθεση για 1m³ σκυροδέματος και αφού ζυγίστηκαν τοποθετήθηκαν στην μηχανή κοσκίνισματος. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της κοσκίνισης και οι κοκκομετρικές καμπύλες

Πίνακας 8 Κοκκομετρική Ανάλυση Γαρμπιλιού

Κόσκινο	Μερικό συγκρατούμενο r(gr)	Ολικό συγκρατούμενο R(gr)	%Συγκρατούμενο %R	% Διερχόμενο %P
1 ½	0	0	0	100
1´	0	0	0	100
3/4	0	0	0	100
1/2	55	55	3,9	96,1
3/8	515	570	40	60
No 4	833	1403	98	2
No 8	1	1413	99,6	0,4
No 16	1,5	14145	99,7	0,3
No 200	0,5	1415	99,8	0,2
Υποδοχέας	3			
Περίσσεια	8,5			
Ολικό Βάρος	1409			



Διάγραμμα 2 Κοκκομετρική Καμπύλη Γαρμπιλιού

Πίνακας 9 Κοκκομετρική Ανάλυση Χαλικιού

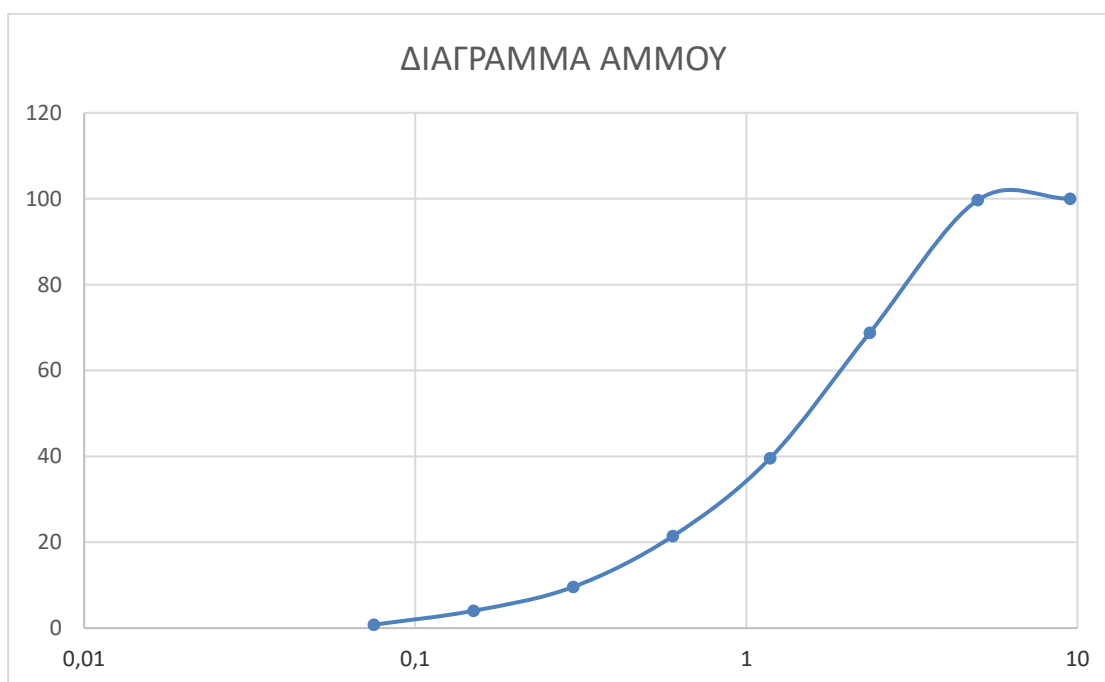
Κόσκινο	Μερικό συγκρατούμενο r(gr)	Ολικό συγκρατούμενο R(gr)	%Συγκρατούμενο %R	% Διερχόμενο %P
1 ½	0	0	0	100
1´	655	655	13	99,8
3/4	1888	2543	51,32	48,7
1/2	2324,5	48675	97,44	2,56
3/8	102	49695	99,49	0,51
No 4	8	49775	99,64	0,36
No 8	2,5	4980	99,7	0,3
No 16	2	49865	99,82	0,18
No 200	6,5	4993	99,95	0,05
Υποδοχέας	3,1			
Περίσσεια	3,4			
Ολικό Βάρος	4991,6			



Διάγραμμα 3 Κοκκομετρική Καμπύλη Χαλικιού

Πίνακας 10 Κοκκομετρική Ανάλυση Άμμου

Κόσκινο	Μερικό συγκρατούμενο r(gr)	Ολικό συγκρατούμενο R(gr)	%Συγκρατούμενο %R	% Διερχόμενο %P
3/8	0	0	0	100
No 4	20	20	0,32	99,68
No 8	1918,5	1938	31,2	68,8
No 16	1813,5	3752	60,42	39,58
No 30	1127	4879	78,57	21,43
No 50	735	5614	90,4	9,6
No 100	240,5	5959	95,96	4,04
No 200	201,5	6160,5	99,20	0,8
Υποδοχέας	101,3			
Περίσσεια	52,7			
Ολικό Βάρος	6157,3			



Διάγραμμα 4 Κοκκομετρική Καμπύλη Άμμου

5.1.2 Παρασκευή σκυροδέματος C25/30 για λόγο N/T = 0,5 με κοινά αδρανή

Σύμφωνα με την σύνθεση για 1 m^3 σκυροδέματος υπολογίστηκαν οι απαιτούμενες ποσότητες αδρανών για 15 κυβικές και 9 κυλινδρικές μήτρες.

Οι ποσότητες των αδρανών ζυγίστηκαν (Εικόνα 8) και τοποθετήθηκαν στη βαρέλα όπου και πραγματοποιήθηκε η σκυροδέτηση (Εικόνα 9).



Εικόνα 8 Προετοιμασία υλικού για τοποθέτηση στην βαρέλα



Εικόνα 9 Τοποθέτηση του υλικού στην βαρέλα για σκυροδέτηση

Μετά το πέρας της σκυροδέτησης ακολούθησε η διαδικασία του slump test (δοκιμή κάθισης) (Εικόνα 10) έτσι ώστε να υπολογιστεί η κάθιση του παραγόμενου σκυροδέματος της οποίας η τιμή μετρήθηκε στα 7,4 mm και παραπέμπει στην κατηγορία κάθισης S2.



Εικόνα 10 Πειραματικό slump test

Έπειτα αφού αποτέθηκε το σκυρόδεμα στις μήτρες, τοποθετήθηκαν στην τράπεζα δονήσεως όπου έγινε συμπύκνωση του σκυροδέματος (Εικόνα 11). Στη συνέχεια κάθε δοκίμιο σημάνθηκε και καλύφθηκε η ελεύθερη επιφάνεια του με υγρά πανιά.



Εικόνα 11 Δόνηση των δοκιμίων στην τράπεζα δόνησης

5.1.3 Ξεκαλούπωμα και τοποθέτηση στη δεξαμενή νερού

Την επομένη της σκυροδέτησης τα δοκίμια ξεκαλουπώθηκαν και τοποθετήθηκαν στην δεξαμενή νερού (Εικόνα 12) με σκοπό να βρίσκονται σε πλήρη ενυδάτωση για 28 ημέρες. Ακόμη μετρήθηκαν με παχύμετρο οι διαστάσεις των δοκιμίων πριν αυτές τοποθετηθούν στη δεξαμενή.



Εικόνα 12 Εμβαπτισμός των δοκιμίων μετά το ξεκαλούπωμα στην δεξαμενή για 7 και 28 ημέρες

5.1.4 Θραύση δοκιμίων την 7^η μέρα

Αφού πέρασαν 7 ημέρες από την παρασκευή του σκυροδέματος αφαιρέθηκαν από τη δεξαμενή νερού δύο κύβοι, μετρήθηκαν εκ νέου οι διαστάσεις του και πραγματοποιήσαμε σε αυτούς τη δοκιμή της αντοχής σε θλίψη.

5.1.5 Θραύση δοκιμίων την 28^η μέρα

Η παραπάνω διαδικασία επαναλήφθηκε και στις 28 ημέρες για τα εναπομείναντα δοκίμια. Αφού μετρήθηκαν οι διαστάσεις τους υπολογίστηκε η αντοχή τους σε θλίψη. (Εικόνα 13).



Εικόνα 13 Πειραματική δοκιμή θλίψης ενός τυχαίου δοκιμίου

5.2 Δημιουργία ανακυκλώσιμου υλικού

Για την δημιουργία σκυροδέματος από ανακυκλώσιμα αδρανή χρησιμοποιήσαμε τα δοκίμια από την αρχική σκυροδέτηση. Τα δοκίμια θραύτηκαν αρχικά με κομπρεσέρ. Έπειτα το υλικό τοποθετήθηκε στη μηχανή los angeles, για την μείωση του μέγιστου κόκκου. Πραγματοποιήθηκε εισαγωγή υλικού στη μηχανή ανά δόσεις περίπου των 15 κιλών τη φορά μαζί με 12 χαλύβδινες σφαίρες. Αφού εκτελέστηκαν 200 στροφές από τη μηχανή το υλικό απομακρύνθηκε από αυτή και ζυγίστηκε. Από την θραύση των δοκιμίων και την τοποθέτηση

του υλικού στην μηχανή Los angeles προέκυψε αρκετή ποσότητα παιπάλης λόγω της άλεσης των υλικών η οποία διαχωρίστηκε από το υπόλοιπο υλικό.

5.2.1 Πλύσιμο και τοποθέτηση σε κλίβανο

Το υλικό που προέκυψε από τη θραύση με τη μηχανή Los Angeles πλύθηκε και εν συνεχεία τοποθετήθηκε σε ειδικό κλίβανο στους 100 βαθμούς έτσι ώστε να ξηραθεί. Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε με σκοπό να επιτύχουμε τη μέγιστη δυνατή απομάκρυνση της παιπάλης από το υλικό.

5.2.2 Κοκκομετρική διαβάθμιση υλικού

Εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού με τη βοήθεια της μηχανής κοσκίνισματος (Εικόνα 14) έτσι ώστε να γίνει διάταξη του υλικού από το πιο χονδρόκοκκο στο πιο λεπτόκοκκο. Για τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιούνται τα κόσκινα : 1 και $\frac{1}{2}$, 1' , $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, No 4, No 50 και No 200 τα οποία τοποθετήθηκαν στη μηχανή κοσκίνισματος μαζί με τα θραύσματα. Όπου και πραγματοποιήθηκε η διαδικασία της κοσκίνισης για 10 λεπτά. Στη μηχανή απορρίφθηκαν ανά δόσεις 13 kg περίπου τη φορά. Με βάση τα συγκρατούμενο ποσά σε κάθε κόσκινο έγινε κατηγοριοποίηση των αδρανών. Το συγκρατούμενο από τα κόσκινα 1 $\frac{1}{2}$, 1' , $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$ χαρακτηρίζεται ως χαλίκι, το συγκρατούμενο από τα κόσκινα No 4 γαρμπίλι, από το No 50 και No 100 ως άμμος , τέλος από το No 200 ως και τον υποδοχέα παιπάλη.



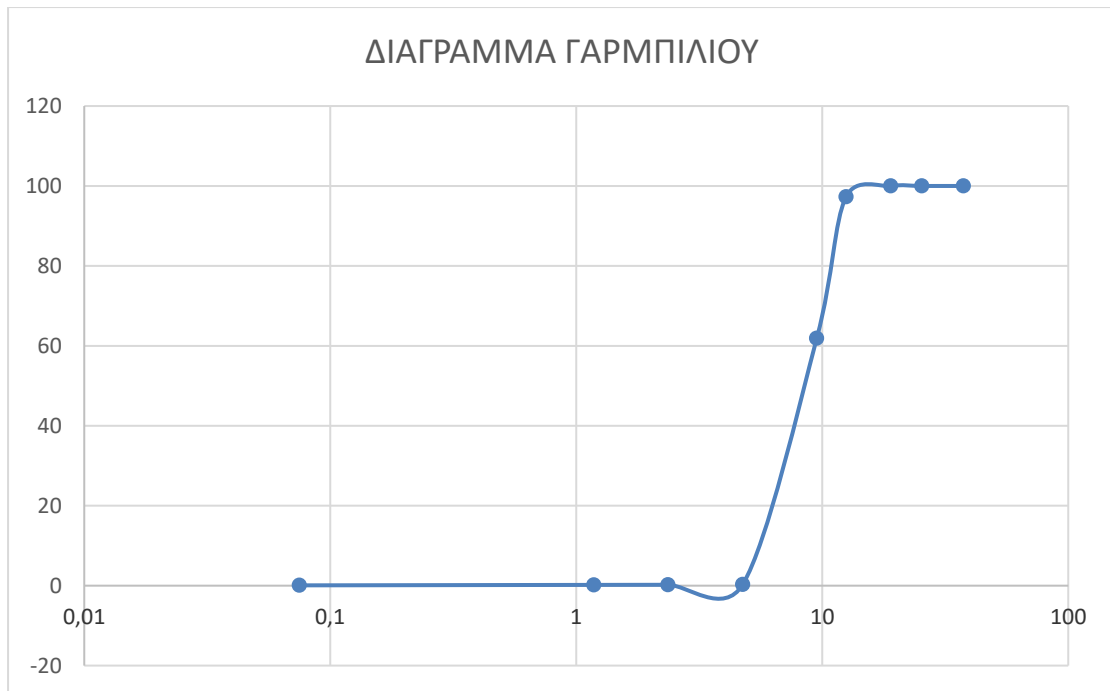
Εικόνα 14 Κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού

5.2.3 Κοκκομετρική ανάλυση ανακυκλώσιμων αδρανών υλικών

Για την κοκκομετρική ανάλυση των ανακυκλώσιμων αδρανών υλικών λήφθηκαν ποσότητες κλασμάτων αντίστοιχες της αρχικής κοκκομετρικής ανάλυσης. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε έτσι ώστε να δημιουργηθεί ίδια κλασματική καμπύλη με την αρχική σκυροδέτηση.

Πίνακας 11 Κοκκομετρική Ανάλυση Γαρμπιλιού

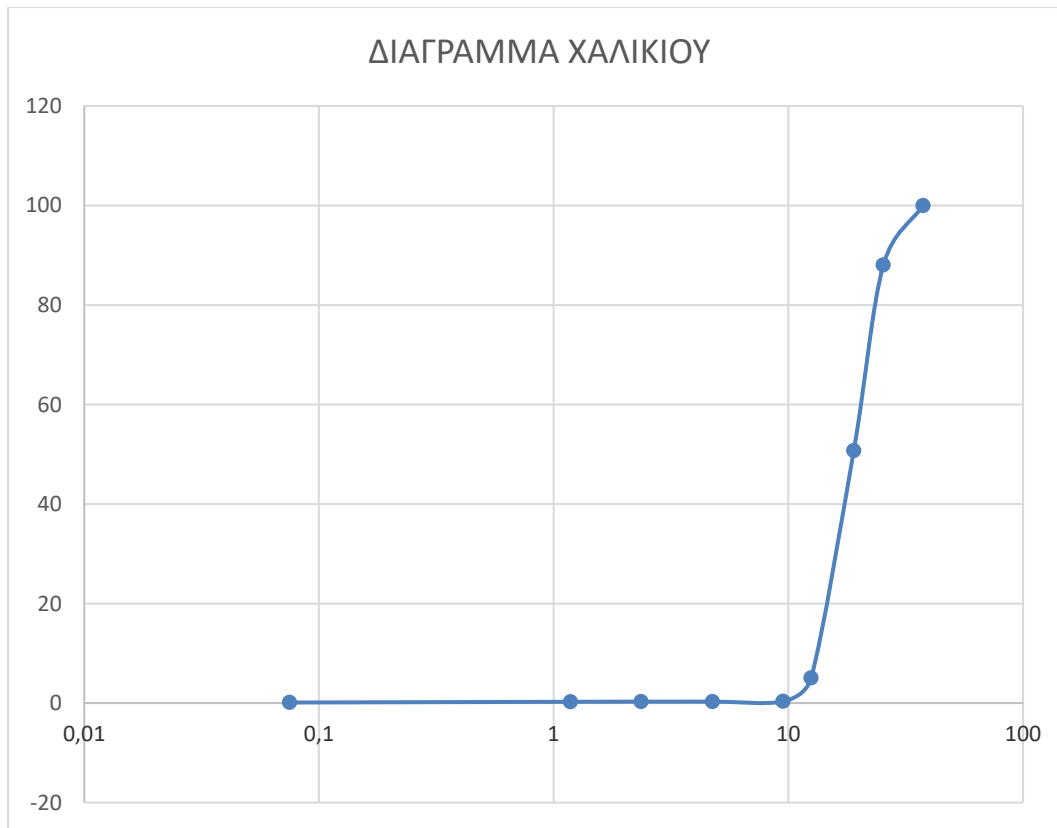
Κόσκινο	Μερικό Συγκρατούμενο r(gr)	Ολικό Συγκρατούμενο R(gr)	%Συγκρατούμενο %R	% Διερχόμενο %P
1 1/2	0	0	0	100
1'	0	0	0	100
3/4	0	0	0	100
1/2	37,5	37,5	2,7	97,3
3/8	491	528,5	38,1	61,9
No 4	854,5	1383	99,71	0,29
No 8	1	1384	99,78	0,22
No 16	0,5	184,5	99,81	0,19
No 200	1,5	1386	99,92	0,08
Υποδοχέας	1			
Περίσσεια	30,5			
Ολικό Βάρος	1387			



Διάγραμμα 5 Κοκκομετρική Καμπύλη Γαρμπιλιού

Πίνακας 12 Κοκκομετρική Ανάλυση Χαλικιού

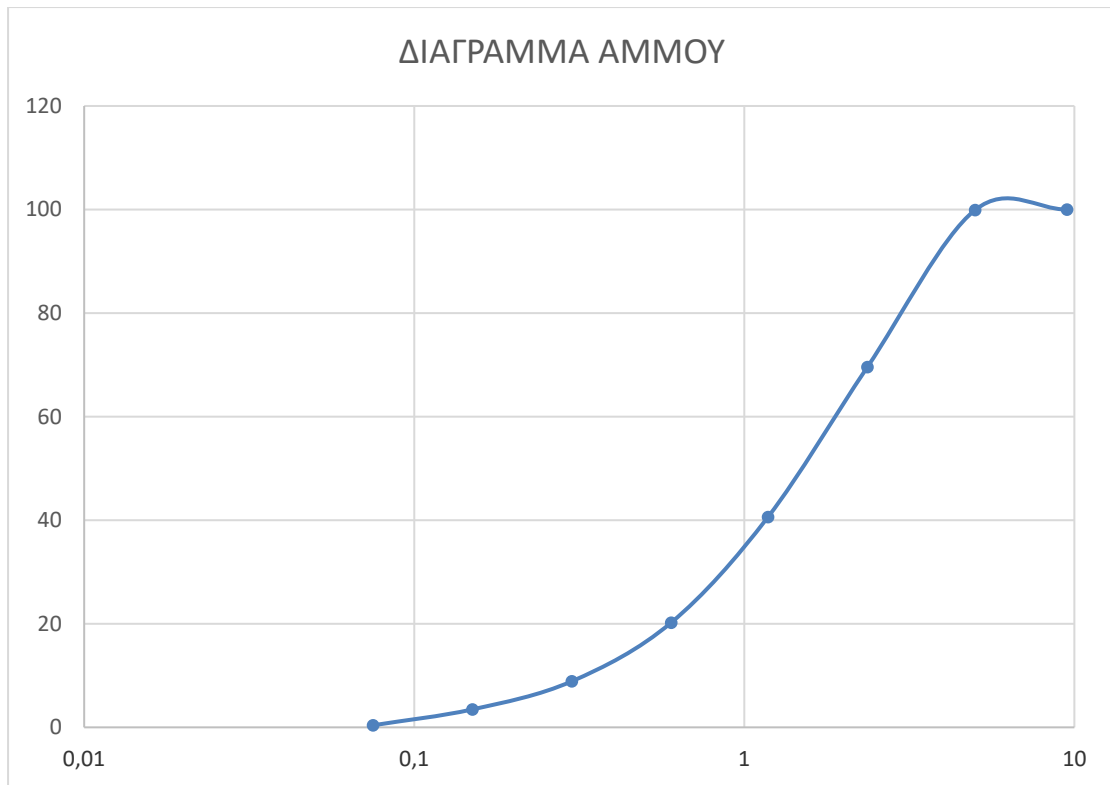
Κόσκινο	Μερικό Συγκρατούμενο r(gr)	Ολικό Συγκρατούμενο R(gr)	%Συγκρατούμενο %R	% Διερχόμενο %P
1 1/2	0	0	0	100
1'	597	597	11,96	88,04
3/4	1863	2460	49,28	50,72
1/2	2279,5	4739,5	94,95	5,05
3/8	234	4973,5	99,64	0,36
No 4	3	4976,5	99,7	0,3
No 8	1	4977,5	99,71	0,29
No 16	1,5	4979	99,74	0,26
No 200	7,5	4986,5	99,89	0,11
Υποδοχέας	5			
Περίσσεια	3,5			
Ολικό Βάρος	4991,5			



Διάγραμμα 6 Κοκκομετρική Καμπύλη Χαλικιού

Πίνακας 13 Κοκκομετρική Ανάλυση Άμμου

Κόσκινο	Μερικό Συγκρατούμενο r(gr)	Ολικό Συγκρατούμενο R(gr)	%Συγκρατούμενο %R	% Διερχόμενο %P
3/8	0	0	0	100
No 4	5	5	0,08	99,9
No 8	1881	1886	30,42	69,58
No 16	1793,5	3679,5	59,37	40,63
No 30	1267	4946,5	79,79	20,21
No 50	702	5648,5	91,11	8,89
No 100	335,5	5984	96,53	3,47
No 200	190	6174	99,6	0,4
Υποδοχέας	25			
Περίσσεια	11			
Ολικό Βάρος	6199			



Διάγραμμα 7 Κοκκομετρική Καμπύλη Άμμου

5.3 Δημιουργία σκυροδέματος από ανακυκλώσιμα αδρανή υλικά προσθήκη 5% τέφρας στο ποσοστό της άμμου

Από την ποσότητα των αδρανών υλικών που προήλθαν από τη θραύση της πρώτης σκυροδέτησης υπολογίστηκαν σε κιλά οι απαιτούμενες ποσότητες των υλικών που απαιτούνται για τη δημιουργία 6 κυβικών δοκιμίων σκυροδέματος.

5.3.1 Ξεκαλούπωμα και τοποθέτηση στη δεξαμενή νερού

Στη συνέχεια το υλικό κατανεμήθηκε στις 6 κυβικές μήτρες και δονήθηκε ώστε να επιτευχθεί η συμπίκνωση του (Εικόνα 15) και αφού τοποθετήθηκαν υγρά πανιά στην ελεύθερη επιφάνειά τους φυλάχθηκαν στο χώρο του εργαστηρίου, όπου την επομένη ξεκαλουπώθηκαν. Ακόμη μετρήθηκαν οι διαστάσεις τους με παχύμετρο και εμβαπτίστηκαν στο νερό ώστε να παραμείνουν για 28 ημέρες.



Εικόνα 15 Κυβικά δοκίμια μετά την συμπύκνωσή τους

5.3.2 Θραύση δοκιμίων την 28^η μέρα

Μετά το πέρας των 28 ημερών από την σκυροδέτηση πραγματοποιήθηκε στα δοκίμια η δοκιμή αντοχής σε θλίψη όπου και υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες θλιπτικές αντοχές, αφού πρώτα τα αφαιρέσαμε από τη δεξαμενή νερού και μετρήσαμε με παχύμετρο τις διαστάσεις τους όπως και στην προηγούμενη σκυροδέτηση.

Μέρος 2^ο

Στο δεύτερο μέρος της πειραματικής διαδικασίας έγινε η μελέτη και η παρασκευή σκυροδεμάτων από κοινά αδρανή λατομείου και από ανακυκλώσιμα αδρανή τα οποία προήλθαν από τη θραύση της πρώτης σκυροδέτησης. Στη σύνθεση των συστατικών του σκυροδέματος υπολογίστηκε λόγος νερού προς τσιμέντο ίσος με 0,8 έτσι ώστε να γίνει κατανοητό πειραματικά πως αυτός επηρεάζει τις αντοχές του σκυροδέματος.

5.4 Παρασκευή σκυροδέματος με λόγο N/T=0,8 χωρίς πρόσμικτα με κοινά αδρανή

Με βάση την αρχική σύνθεση για 1m³ σκυροδέματος πραγματοποιήθηκε σκυροδέτηση για 6 κυβικά δοκίμια με αδρανή λατομείου και λόγω νερού προς τσιμέντο ίσο με 0,8 και χωρίς την προσθήκη υπερρευστοποιητή. Λόγω της μικρής ποσότητας δοκιμίων οι θλιπτικές αντοχές τους μετρήθηκαν αποκλειστικά μετά το πέρας των 28 ημερών.

Την σκυροδέτηση ακολούθησε η γνωστή διαδικασία της τοποθέτησης του υλικού στις μήτρες, η συμπύκνωση τους μέσω δόνησης στην τράπεζα δόνησεως και η διατήρησή των δοκιμίων

στον χώρο του εργαστηρίου, στην ελεύθερη επιφάνεια των οποίων τοποθετήθηκαν υγρά πανιά ώστε να επιτευχθεί η ενυδάτωσή τους.

5.4.1 Ξεκαλούπωμα και τοποθέτηση στη δεξαμενή νερού

Κατά τα γνωστά την επομένη τα δοκίμια αφαιρέθηκαν από τις μήτρες, μετρήθηκαν οι διαστάσεις τους και τοποθετήθηκαν στη δεξαμενή νερού.

5.4.2 Θραύση δοκιμίων την 28^η μέρα

Τα δοκίμια αφαιρέθηκαν από την δεξαμενή νερού έπειτα από 28 ημέρες, αφέθηκαν να στεγνώσουν επιφανειακά και αφού μετρήθηκαν οι διαστάσεις τους, πραγματοποιήσαμε το πείραμα της αντοχής σε θλίψη

5.5 Παρασκευή σκυροδέματος με λόγο $N/T = 0,8$ με ανακυκλωμένα αδρανή

Χρησιμοποιώντας τη ίδια σύνθεση για $1m^3$ σκυροδέματος παρασκευάστηκε σκυρόδεμα με τα ανακυκλωμένα αδρανή που προέκυψαν από τη θραύση των δοκιμίων της πρώτης σκυροδέτησης. Στη σύνθεση αυτή υπολογίστηκε 20% αντικατάσταση της άμμου από τέφρα. Ακόμη προστέθηκαν 83 gr υπερρευστοποιητή.

Στη συνέχεια ακολουθήθηκε διαδικασία όμοια με τις προηγούμενες σκυροδετήσεις στην οποία το υλικό τοποθετήθηκε σε 12 κυβικές μήτρες και σε 3 κυλινδρικές. Τα δοκίμια δονήθηκαν έτσι ώστε να επιτευχθεί η συμπίκνωσή τους και αφού καλύφθηκαν από υγρά πανιά, φυλάχθηκαν εντός του εργαστηρίου.

5.5.1 Ξεκαλούπωμα και τοποθέτηση στη δεξαμενή νερού

Την επόμενη της σκυροδέτησης και εφόσον το σκυρόδεμα είχε πήξει τα δοκίμια ξεκαλουπάθηκαν μετρήθηκαν οι διαστάσεις τους και βυθίστηκαν στη δεξαμενή νερού.

5.5.2 Θραύση δοκιμίων την 7^η μέρα

Την έβδομη μέρα από την δημιουργία των δοκιμίων αφαιρέθηκαν 3 κύβοι από τη δεξαμενή νερού, υπολογίστηκαν με παχύμετρο οι διαστάσεις τους και τοποθετήθηκαν στην μηχανή θλίψης ώστε να μετρηθούν οι θλιπτικές τους αντοχές.

5.5.3 Θραύση δοκιμίων την 28^η μέρα

Με βάση την ίδια διαδικασία τη 28^η ημέρα όλα τα δοκίμια αφαιρέθηκαν από το νερό μέχρι να στεγνώσουν. Έπειτα μετρήθηκαν οι διαστάσεις τους και τοποθετήθηκαν στη μηχανή θλίψης ώστε να μετρηθούν οι θλιπτικές τους αντοχές για 28 ημέρες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Αποτελέσματα - παρατηρήσεις

Μέρος 1ο

6.1 Αποτελέσματα από την παρασκευή σκυροδέματος C25/30 για λόγο N/T=0,5 με κοινά αδρανή

Οι μετρούμενες διαστάσεις των δοκιμίων μετά το ξεκαλούπωμα είναι οι εξής:

Πίνακας 14 Διαστάσεις Κυλινδρικών Δοκιμίων

ΚΥΛΙΝΔΡΟΙ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ
ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 1	14,976
ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 2	14,985
ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 3	14,977
ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 4	15,030
ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 5	14,820
ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 6	14,773
ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 7	14,256
ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 8	14,283
ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 9	14,268

Πίνακας 3 Διαστάσεις Κυβικών Δοκιμίων

ΚΥΒΟΙ	ΠΛΕΥΡΑ Χ	ΠΛΕΥΡΑ Υ
ΚΥΒΟΣ 1	15,021	15,010
ΚΥΒΟΣ 2	15,000	15,009
ΚΥΒΟΣ 3	15,000	15,019
ΚΥΒΟΣ 4	15,040	14,993
ΚΥΒΟΣ 5	14,727	15,730
ΚΥΒΟΣ 6	15,070	15,010
ΚΥΒΟΣ 7	15,007	15,077
ΚΥΒΟΣ 8	15,007	15,009
ΚΥΒΟΣ 9	15,046	15,061
ΚΥΒΟΣ 10	14,970	15,002
ΚΥΒΟΣ 11	15,025	14,990
ΚΥΒΟΣ 12	15,052	15,117
ΚΥΒΟΣ 13	15,141	15,320
ΚΥΒΟΣ 14	15,019	15,101
ΚΥΒΟΣ 15	15,150	15,037
ΚΥΒΟΣ 16	15,025	15,002
ΚΥΒΟΣ 17	15,002	14,986
ΚΥΒΟΣ 18	15,009	15,043

6.1.2 Θραύση δοκιμίων την 7η μέρα

Με τη συμπλήρωση των 7 ημερών από την πρώτη σκυροδέτηση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις παρουσιάζονται παρακάτω:

Πίνακας 16 Πειραματικές τιμές για δοκίμια 7 ημερών

Δοκίμιο για 7 ημέρες	Πλευρά X cm	Πλευρά Ycm	Δύναμη Θραύσης KN	Επιφάνεια m ²	Τάση θραύσης Mpa
ΚΥΒΟΣ 18	15,003	14,985	645	0,0225	28,66
ΚΥΒΟΣ 17	15,006	14,985	671	0,0225	29,82

Μέσος όρος θλιπτικής αντοχής των κυβικών δοκιμίων στις 7 ημέρες είναι: **29.24 MPa**

6.1.3 Θραύση δοκιμίων στις 28 ημέρες

Πίνακας 17 Πειραματικές τιμές για δοκίμια 28 ημερών

Δοκίμιο	Πλευρά X	Πλευρά Y	Δύναμη θραύσης (KN)	Επιφάνεια (m ²)	Τάση θραύσης (MPa)
	(cm)	(cm)			
ΚΥΒΟΣ 1	14,996	15,003	916	0,0225	40,71
ΚΥΒΟΣ 2	14,991	15,004	943	0,0225	41,91
ΚΥΒΟΣ 3	14,987	15,009	902	0,0225	40,09
ΚΥΒΟΣ 4	15,023	15,068	865	0,0226	38,27
ΚΥΒΟΣ 5	14,793	14,921	925	0,0221	20,44
ΚΥΒΟΣ 6	15,06	14,945	904	0,0225	40,18
ΚΥΒΟΣ 7	15,077	15,075	890	0,0227	39,2
ΚΥΒΟΣ 8	15,003	14,999	944	0,0225	41,96
ΚΥΒΟΣ 9	15,03	15,061	901	0,0226	39,87
ΚΥΒΟΣ 10	14,974	14,986	919	0,0224	41,02
ΚΥΒΟΣ 11	14,988	14,979	950	0,0224	42,41
ΚΥΒΟΣ 12	14,967	14,971	920	0,0224	41,07
ΚΥΒΟΣ 13	15,131	15,06	905	0,0228	39,69
ΚΥΒΟΣ 14	15,002	15,012	903	0,0225	40,13
ΚΥΒΟΣ 15	15,005	15,003	943	0,0225	41,91
ΚΥΒΟΣ 16	15,004	14,993	963	0,0225	42,81

Μέσος όρος θλιπτικής αντοχής των κυβικών δοκιμίων στις 28 ημέρες είναι: **39.48 Mpa**

Πίνακας 18 Πειραματικές τιμές για δοκίμια 28 ημερών

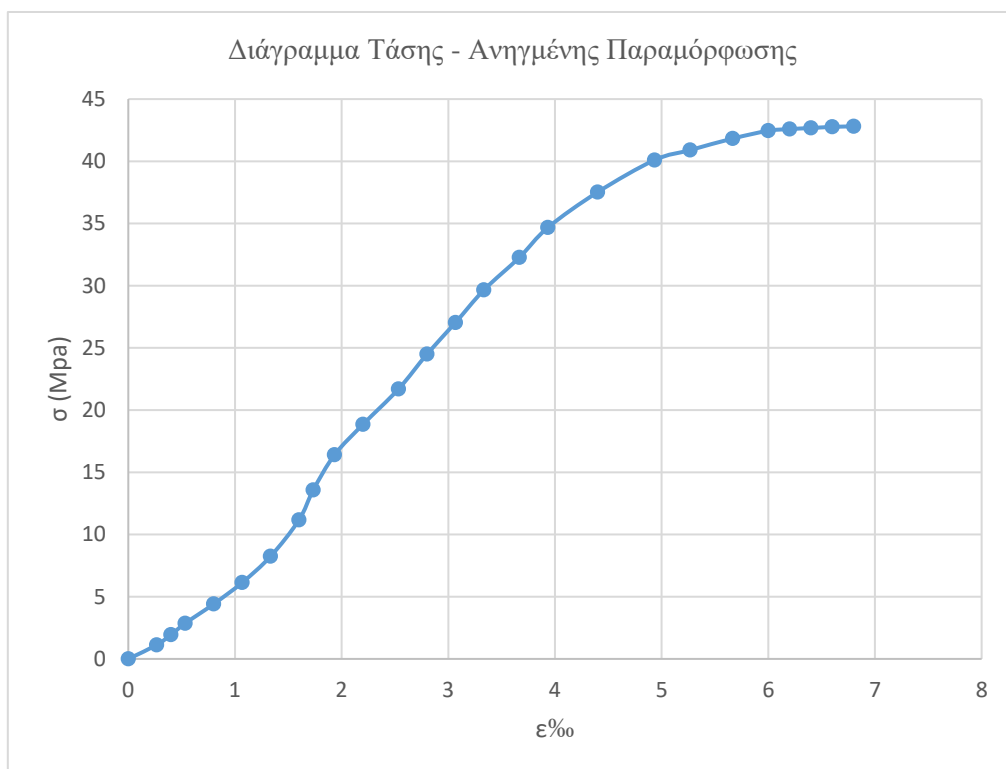
Δοκίμιο	Διάμετρος (cm)	Δύναμη θραύσης (KN)	Επιφάνεια (m ²)	Τάση θραύσης (MPa)
ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 4	15,026	560	0.0177	31.64
ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 5	14,861	330	0.0174	18.97
ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 6	15,275	460	0.0183	25.14

Μέσος όρος θλιπτικής αντοχής κυλινδρικών δοκιμίων για τις 28 ημέρες είναι: **25,06 MPa**

Παρακάτω απεικονίζεται αντιπροσωπευτικό διάγραμμα τάσης σ (MPa) – ανηγμένης παραμόρφωσης $\varepsilon\%$ για κυβικό δοκίμιο στις 28 ημερών.

Πίνακας 19 Πειραματικές τιμές τάσης - ανηγμένης παραμόρφωσης κύβου 16

Ανηγμένη παραμόρφωση $\varepsilon\%$	Τάση (MPa)	Δύναμη (KN)
0	0	0
0,27	1,125	25,3
0,40	1,943	43,7
0,53	2,858	64,3
0,80	4,410	99,2
1,07	6,130	137,9
1,33	8,242	185,4
1,60	11,162	251,1
1,73	13,567	305,2
1,93	16,403	369
2,20	18,848	424
2,53	21,693	488
2,80	24,494	551
3,07	27,028	608
3,33	29,650	667
3,67	32,273	726
3,93	34,674	780
4,40	37,519	844
4,93	40,097	902
5,27	40,897	920
5,67	41,831	941
6,00	42,453	955
6,20	42,586	958
6,40	42,675	960
6,60	42,764	962
6,80	42,809	963



Διάγραμμα 8 Τάσης - Ανηγγμένης Παραμόρφωσης κύβου 16

6.2 Αποτελέσματα από τη δημιουργία σκυροδέματος με ανακυκλώσιμα αδρανή υλικά και προσθήκη 5% τέφρας στο ποσοστό της άμμου

Παρακάτω παρατίθενται οι μετρούμενες διαστάσεις των δοκιμίων πριν αυτά τοποθετηθούν στη δεξαμενή νερού:

Πίνακας 4 Διαστάσεις Κυβικών Δοκιμίων

Δοκίμιο	Διάσταση πλευράς X (cm)	Διάσταση πλευράς Y (cm)
ΚΥΒΟΣ 1	14,954	14,916
ΚΥΒΟΣ 2	14,982	14,974
ΚΥΒΟΣ 3	14,962	15,005
ΚΥΒΟΣ 4	15,008	15,037
ΚΥΒΟΣ 5	15,150	15,239
ΚΥΒΟΣ 6	15,062	14,610

6.2.1 Θραύση δοκιμίων την 28^η μέρα

Τα μετρούμενα αποτελέσματα από την δοκιμή αντοχής σε θλίψη την 28^η μέρα από την πραγματοποίηση της σκυροδέτησης με ανακυκλώσιμα αδρανή και αντικατάσταση της άμμου σε ποσοστό 5% με τέφρα εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5 Πειραματικές τιμές για δοκίμια 28 ημερών

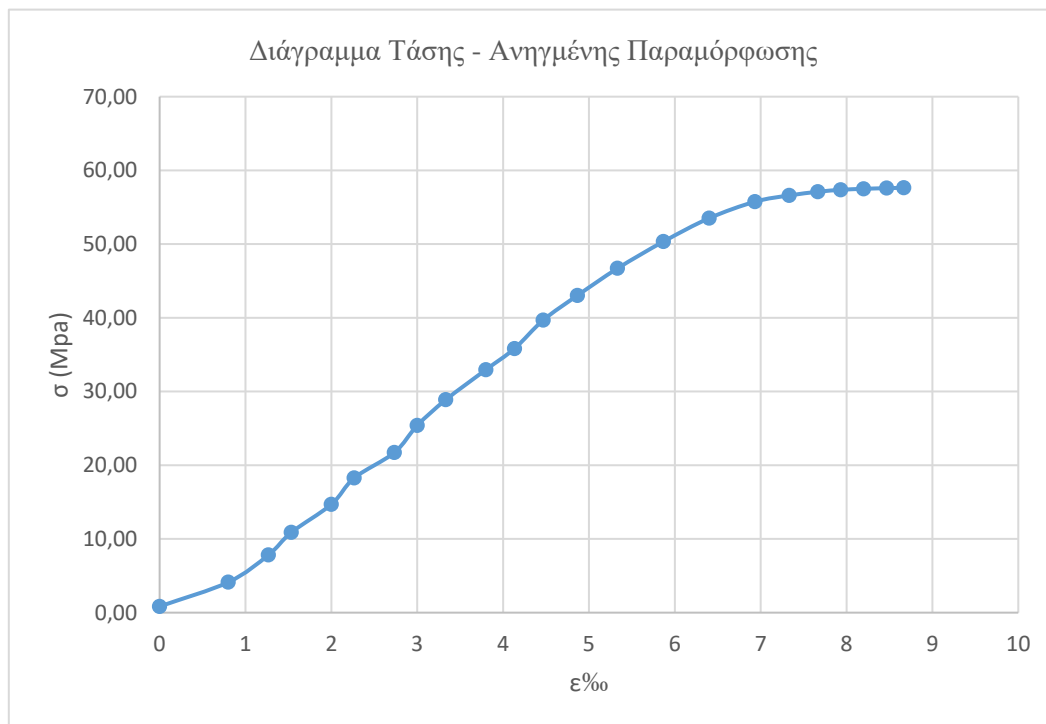
Δοκίμιο	Διάσταση πλευράς X (cm)	Διάσταση πλευράς Y (cm)	Δύναμη θραύσης (KN)	Επιφάνεια (m ²)	Τάση θραύσης (Mpa)
ΚΥΒΟΣ 1	14,942	14,909	1222	0,0228	53,59
ΚΥΒΟΣ 2	15,005	14,882	1287	0,0223	57,63
ΚΥΒΟΣ 3	14,997	15,013	1222	0,0225	54,31
ΚΥΒΟΣ 4	15,053	15,021	1257	0,0226	55,62
ΚΥΒΟΣ 5	15,137	15,031	1243	0,0227	54,76
ΚΥΒΟΣ 6	15,087	14,64	1241	0,0221	56,15

Μέσος όρος των κυβικών δοκιμίων είναι: **55,36 MPa**

Παρακάτω απεικονίζεται αντιπροσωπευτικό διάγραμμα τάσης σ (MPa) – ανηγμένης παραμόρφωσης $\epsilon\%$ για κυβικό δοκίμιο στις 28 ημερών.

Πίνακας 6 Πειραματικές τιμές τάσης - ανηγμένης παραμόρφωσης κόβου 2

Ανηγμένη Παραμόρφωση $\epsilon\%$	Τάση (Mpa)	Δύναμη (KN)
0	0,837	18,7
0,80	4,133	92,3
1,27	7,814	174,5
1,53	10,878	242,9
2,00	14,688	328
2,27	18,271	408
2,73	21,719	485
3,00	25,391	567
3,33	28,884	645
3,80	32,959	736
4,13	35,826	800
4,47	39,677	886
4,87	43,035	961
5,33	46,708	1043
5,87	50,335	1124
6,40	53,514	1195
6,93	55,753	1245
7,33	56,604	1264
7,67	57,097	1275
7,93	57,366	1281
8,20	57,500	1284
8,47	57,590	1286
8,67	57,634	1287



Διάγραμμα 9 Τάσης - Ανηγμένης Παραμόρφωσης κύβου 2

Μέρος 2^ο

6.3 Αποτελέσματα από την δημιουργία σκυροδέματος με λόγο N/T=0,8 χωρίς πρόσμικτα με κοινά αδρανή

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται οι μετρήσεις των διαστάσεων των δοκιμίων με κοινά αδρανή χωρίς την προσθήκη υπερρυστοποιητή την επόμενη ημέρα από την παραγωγή τους

Πίνακας 7 Διαστάσεις Κυβικών Δοκιμίων

Δοκίμιο	Διάσταση πλευρά X (cm)	Διάσταση πλευρά Y (cm)
KYΒΟΣ 1	14,991	15,021
KYΒΟΣ 2	15,046	15,037
KYΒΟΣ 3	14,993	14,985
KYΒΟΣ 4	15,034	15,118
KYΒΟΣ 5	15,05	14,915
KYΒΟΣ 6	14,084	15,016

Στην προκειμένη σκυροδέτηση δεν πραγματοποιείται έλεγχος της θλιπτικής αντοχής των δοκιμίων για 7 ημέρες καθώς πρόκειται για πολύ μικρό δείγμα δοκιμίων.

6.3.1 Θραύση δοκιμίων την 28^η μέρα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα:

Πίνακας 8 Πειραματικές τιμές για δοκίμια 28 ημερών

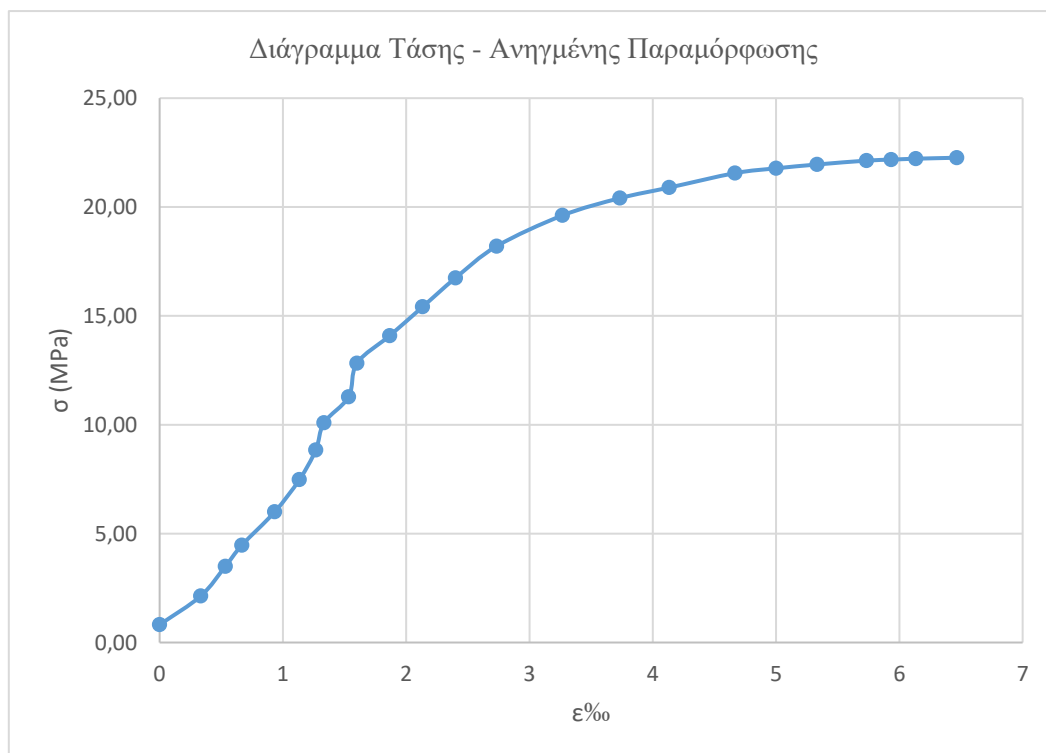
Δοκίμιο	Διάσταση πλευράς X (cm)	Διάσταση πλευράς Y (cm)	Δύναμη θραύσης (KN)	Επιφάνεια (m ²)	Τάση θραύσης (MPa)
ΚΥΒΟΣ 1	14,987	15,023	468	0,0225	20,80
ΚΥΒΟΣ 2	15,043	15,049	504	0,0226	22,30
ΚΥΒΟΣ 3	14,973	14,997	502	0,0225	22,31
ΚΥΒΟΣ 4	15,037	15,095	483	0,0227	21,28
ΚΥΒΟΣ 5	15,040	14,943	510	0,0225	22,67
ΚΥΒΟΣ 6	15,101	14,997	475	0,0226	21,02

Μέσος όρος θλιπτικής αντοχής των δοκιμίων είναι: **21,73 MPa**

Παρακάτω απεικονίζεται αντιπροσωπευτικό διάγραμμα τάσης σ (MPa) – ανηγμένης παραμόρφωσης $\epsilon\%$ για κυβικό δοκίμιο στις 28 ημερών.

Πίνακας 9 Τάσης - Ανηγμένης Παραμόρφωσης κύβου 2

Ανηγμένη Παραμόρφωση $\epsilon\%$	Τάση (MPa)	Δύναμη (KN)
0	0,817	18,5
0,33	2,134	48,3
0,53	3,499	79,2
0,67	4,466	101,1
0,93	5,999	135,8
1,13	7,479	169,3
1,27	8,839	200,1
1,33	10,089	228,4
1,53	11,282	255,4
1,60	12,823	290,3
1,87	14,091	319
2,13	15,416	349
2,40	16,742	379
2,73	18,199	412
3,27	19,613	444
3,73	20,408	462
4,13	20,894	473
4,67	21,556	488
5,00	21,777	493
5,33	21,954	497
5,73	22,131	501
5,93	22,175	502
6,13	22,219	503
6,47	22,263	504



Διάγραμμα 10 Τάσης - Ανηγμένης Παραμόρφωσης κύβου 2

6.4 Αποτελέσματα από την παρασκευή σκυροδέματος με ανακυκλώσιμα αδρανή και αντικατάσταση της άμμου με προσθήκη τέφρας κατά 20% για λόγο N/T=0,8

Οι μετρούμενες διαστάσεις των δοκιμίων πριν αυτά τοποθετηθούν στη δεξαμενή νερού είναι οι εξής:

Πίνακας 10 Διαστάσεις Κυβικών Δοκιμίων

Δοκίμιο	Διάσταση πλευράς X (cm)	Διάσταση πλευράς Y (cm)
ΚΥΒΟΣ 1	15,110	15,185
ΚΥΒΟΣ 2	15,014	15,067
ΚΥΒΟΣ 3	14,992	15,172
ΚΥΒΟΣ 4	15,068	15,088
ΚΥΒΟΣ 5	15,054	15,088
ΚΥΒΟΣ 6	15,091	15,015
ΚΥΒΟΣ 7	15,022	14,963
ΚΥΒΟΣ 8	14,901	15,015
ΚΥΒΟΣ 9	15,013	15,199
ΚΥΒΟΣ 10	15,150	15,014
ΚΥΒΟΣ 11	15,012	15,083
ΚΥΒΟΣ 12	15,026	15,112

Πίνακας 11 Διαστάσεις Κυλινδρικών Δοκιμίων

Δοκίμιο	Διάμετρος (cm)
ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 1	14,993
ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 2	15,001
ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 3	15,13

6.4.1 Θραύση δοκιμίων την 7^η μέρα

Από τη θλίψη των δοκιμίων προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Πίνακας 12 Πειραματικές τιμές για δοκίμια 7 ημερών

Δοκίμιο	Διάσταση πλευράς X (cm)	Διάσταση πλευράς Y (cm)	Δύναμη θραύσης KN	Επιφάνεια m ²	Τάση θραύσης MPa
ΚΥΒΟΣ 2	15,007	15,066	661	0,0226	29,24
ΚΥΒΟΣ 6	15,008	15,091	655	0,0226	28,98
ΚΥΒΟΣ 7	15,016	14,953	595	0,0224	26,56

Μέσος όρος θλιπτικής αντοχής των κυβικών δοκιμίων στις 7 ημέρες είναι: **28,26 MPa**

6.4.2 Θραύση δοκιμίων την 28^η μέρα

Πίνακας 13 Πειραματικές τιμές για δοκίμια 28 ημερών

Δοκίμιο	Διάσταση πλευράς X (cm)	Διάσταση Πλευράς Y (cm)	Δύναμη θραύσης (KN)	Επιφάνεια (m ²)	Τάση θραύσης (MPa)
ΚΥΒΟΣ 1	15,193	15,231	920	0,0231	39,82
ΚΥΒΟΣ 3	14,920	15,196	894	0,0227	39,38
ΚΥΒΟΣ 4	15,061	15,116	869	0,0227	38,28
ΚΥΒΟΣ 5	15,076	15,002	890	0,0226	39,20
ΚΥΒΟΣ 8	14,941	15,043	829	0,0225	36,84
ΚΥΒΟΣ 9	15,064	15,095	900	0,0227	39,64
ΚΥΒΟΣ 10	15,171	15,034	898	0,0228	39,38
ΚΥΒΟΣ 11	15,002	15,141	780	0,0227	34,36
ΚΥΒΟΣ 12	15,034	15,111	690	0,0227	30,39

Μέσος όρος θλιπτικής αντοχής των κυβικών δοκιμίων είναι: **37,47 MPa**

Πίνακας 14 Πειραματικές τιμές για δοκίμια 28 ημερών

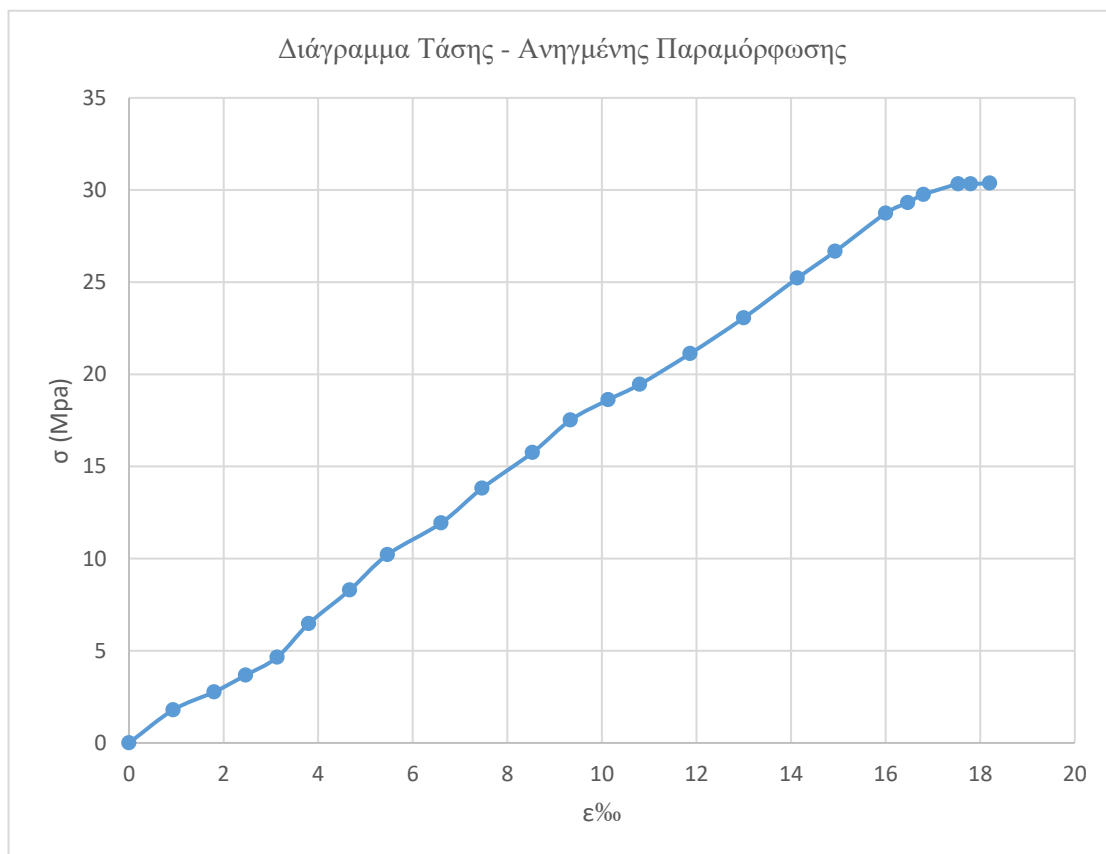
Δοκίμιο	Διάμετρος (cm)	Δύναμη θραύσης (KN)	Επιφάνεια (m ²)	Τάση θραύσης (MPa)
ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 1	14,936	305	0,0175	17,42
ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 2	15,013	381	0,0177	21,52
ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ 3	15,351	282	0,0185	15,24

Μέσος όρος θλιπτικής αντοχής των κυλινδρικών δοκιμίων είναι: **18,06 Mpa**

Παρακάτω απεικονίζεται αντιπροσωπευτικό διάγραμμα τάσης σ (MPa) – ανηγμένης παραμόρφωσης $\epsilon\%$ για κυβικό δοκίμιο στις 28 ημερών.

Πίνακας 15 Πειραματικές Τιμές Τάσης - Ανηγμένης Παραμόρφωσης κύβου 12

Ανηγμένη Παραμόρφωση $\epsilon\%$	Τάση (Mpa)	Δύναμη (KN)
0	0	0
0,93	1,791	40,7
1,80	2,764	62,8
2,47	3,675	83,5
3,13	4,648	105,6
3,80	6,470	147
4,67	8,292	188,4
5,47	10,215	232,1
6,60	11,932	271,1
7,47	13,820	314
8,53	15,756	358
9,33	17,517	398
10,13	18,617	423
10,80	19,453	442
11,87	21,126	480
13,00	23,062	524
14,13	25,219	573
14,93	26,671	606
16,00	28,740	653
16,47	29,312	666
16,80	29,752	676
17,53	30,325	689
17,80	30,325	689
18,20	30,369	690



Διάγραμμα 11 Τάσης - Ανηγμένης Παραμόρφωσης κύβου 12

Πίνακας 162 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων για τα δύο μέρη του πειράματος

	ΜΕΡΟΣ 1ο		ΜΕΡΟΣ 2ο	
	Σκυρόδεμα C25/30 με N/T=0,50	Σκυρόδεμα ανακυκλώσιμο C25/30 με 5% τέφρα και N/T=0,50	Σκυρόδεμα με N/T=0,80	Σκυρόδεμα ανακυκλώσιμο με 20% τέφρα και N/T=0,80
Μέσος όρος τάσης θραύσης κυβικών δοκιμίων στις 7 ημέρες (Mpa)	29.24 Mpa	–	–	28,26 Mpa
Μέσος όρος τάσης θραύσης κυβικών δοκιμίων στις 28 ημέρες (Mpa)	39.48 Mpa	55,36 Mpa	21,73 Mpa	37,47 Mpa
Μέσος όρος τάσης θραύσης κυλινδρικών δοκιμίων στις 28 ημέρες (Mpa)	25,06 Mpa	–	–	18,06 Mpa

6.5 Παρατηρήσεις

Η ξήρανση του υλικού στους 100 °C πραγματοποιήθηκε για τη μέγιστη απομάκρυνση της παιπάλης, η οποία λόγω της κοκκομετρίας της έχει την ικανότητα να απορροφά μεγάλη ποσότητα νερού.

Λόγω της μεγάλης επιφάνειας των κόκκων της τέφρας πραγματοποιείται μεγαλύτερη απορρόφηση του νερού με αποτέλεσμα να μικραίνει το εργάσιμο.

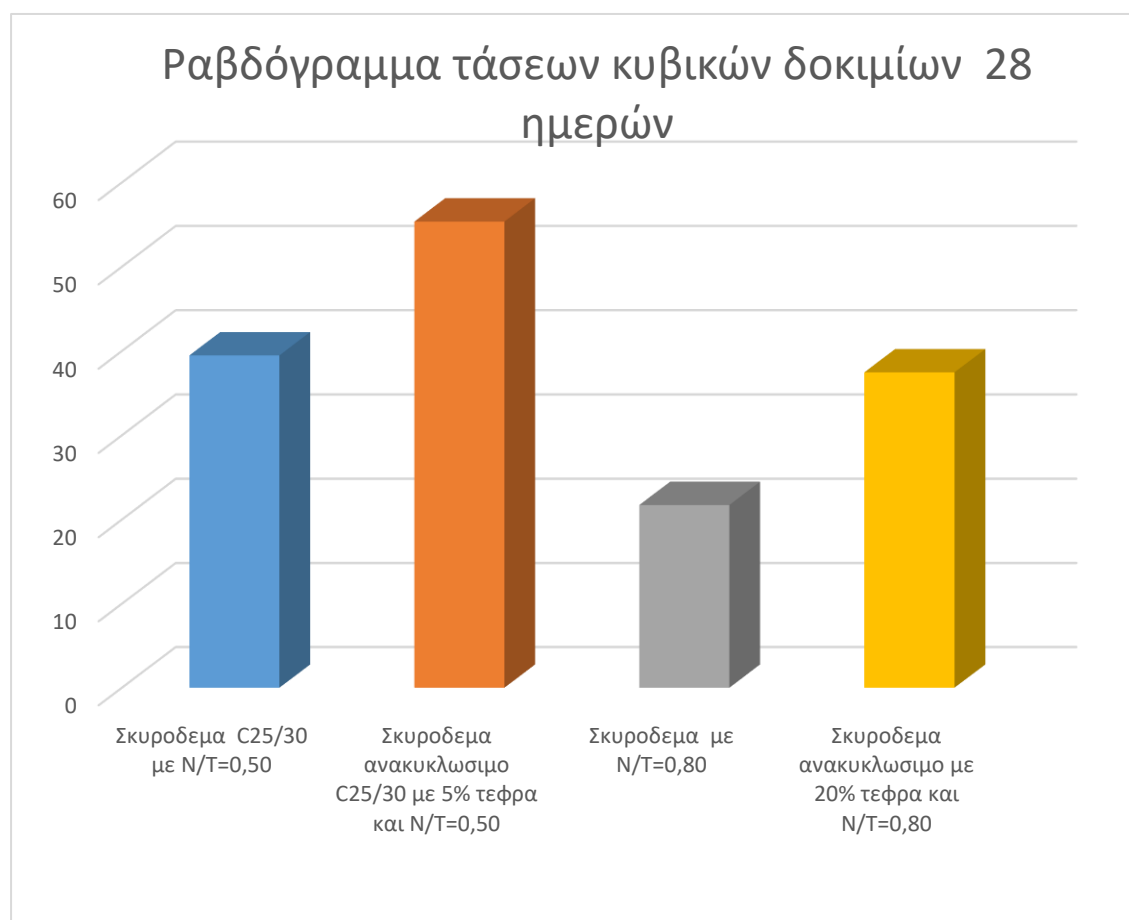
Η χρήση του τσιμέντου CEM II/B-M (P-L-W) 42.5N EN197-1 το οποίο περιέχει τα πρόσθετα ιπτάμενη τέφρα, ποζολάνη και ασβεστόλιθο μαζί με αντικατάσταση της άμμου από τέφρα προκάλεσαν μείωση του χρόνου πήξης του σκυροδέματος και παρατηρήθηκε ότι το σκυρόδεμα ήταν πολύ ύφιγρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Συμπεράσματα

Στο πρώτο μέρος της πειραματικής διαδικασίας η θλιπτική αντοχή του ανακυκλώσιμου σκυροδέματος με την προσθήκη 5% τέφρας και λόγο $N/T=0,5$, παρουσίασε αύξηση **40,22%** σε σχέση με τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος με απλά αδρανή για τον ίδιο λόγο N/T .

Επίσης στο δεύτερο μέρος υπήρξε αύξηση **72,43%** των θλιπτικών αντοχών του σκυροδέματος με 20% αντικατάσταση της άμμου από τέφρα και λόγο $N/T=0,8$ σε σχέση με εκείνη του σκυροδέματος με απλά αδρανή και λόγο $N/T=0,8$.



Ραβδόγραμμα 1 Συγκεντρωτικό ραβδόγραμμα τάσεων 28 ημερών

Η μείωση του χρόνου πήξης του σκυροδέματος που παρατηρήθηκε οφείλεται στην ύπαρξη προσθέτων υλικών του τύπου του τσιμέντου CEM II/B-M (P-L-W) 42.5N EN197-1 που περιλαμβάνει ποζολάνη, τέφρα και ασβεστόλιθο.

Ο λόγος νερού προς τσιμέντο επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις θλιπτικές αντοχές του σκυροδέματος, είτε συμβατικού είτε ανακυκλώσιμου επομένως οποιαδήποτε μεταβολή του

μπορεί να επιφέρει μείωση στις τιμές των αναμενόμενων αντοχών. Στο συγκεκριμένο πείραμα οι τιμές που εξήχθησαν για το ανακυκλώσιμο σκυρόδεμα με προσθήκη 20% τέφρας στο ποσοστό της άμμου παρότι δεν ήταν οι αναμενόμενες δεν έπεσαν κάτω από το όριο των 30 Μπα του σκυροδέματος C25/30.

Κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων, η ποσοστιαία αντικατάσταση της άμμου από τέφρα, λόγω των ποζολανικών ιδιοτήτων της, αυξάνει την θλιπτική αντόχη του ανακυκλώσιμου σκυροδέματος σε σχέση με το συμβατικό

Λόγω του μικρού χρόνου πήξης κατά τη σκυροδέτηση το ανακυκλώσιμο σκυρόδεμα δεν μπορεί να μεταφερθεί εύκολα. Είναι δυνατόν όμως να χρησιμοποιηθεί σε εργοστάσιο για την παραγωγή προκατασκευασμένων στοιχείων.

Βιβλιογραφία

Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος(ΚΤΣ-97),3^η Έκδοση, Ιανουάριος 2000,Αθήνα, Νοέμβριος 1997

Νέος κανονισμός Σκυροδέματος, έκδοση 99-05- έκδοση 1η

Ιπτάμενη Τέφρα : Δυνατότητες Αξιοποίησεως Θ.Γ. ΒΟΥΔΙΚΛΑΡΗΣ ΠΟΛ.ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ.

Σημειώσεις εργαστηρίου οπλισμένου σκυροδέματος Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

Μέθοδοι Δοκιμών τσιμέντου και Προσδιορισμός Χρόνου Πήξης τσιμέντου.

Τσιμέντα ΧΑΛΥΨ ανακαλύπτοντας το τσιμέντο <http://www.halyps.gr/>

Δομικά υλικά , Τσιμέντο και Σκυρόδεμα Α. Μοροπούλου Κ Λαμπρόπουλος
Σχολή χημικών μηχανικών ΕΜΠ

Δομικά υλικά Χ. Αθανάσιος Τριανταφύλλου

<http://www.halyvourgiki.com>

Κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος Ι. Γ. Χουλιάρας

Δρ. ΑΘ. Ρούτουλα Πετυλ. Σημειώσεις εργαστηριακού μαθήματος

<http://sites.google.com/sites/apaideusiapantonpathonmeter/>

www.lafarge.gr Ανακυκλωμένα και τεχνητά αδρανή

Ιστορική εξέλιξη δομικών υλικών –Σκυροδέματος(Μέθοδοι και υλικά αποκατάστασης στοιχείων σκυροδέματος) Δημήτρης Ξανθόπουλος Νικόλαος Πίντης

<https://el.wikipedia.org/>

Αδρανή υλικά <https://eclass.teicrete.gr>

Μικρομετρική Στερεά – κοκκομετρική ανάλυση <https://e-class.teilar.gr>

Πτυχιακή εργασία “ Βαθμονόμηση κρουσιμέτρου και εκτίμηση της αξιοπιστίας του, με αναγωγή των αποτελεσμάτων σε θλιπτικές αντοχές δοκιμίων έργου και πυρήνων από πειραματικές πλάκες προσομοίωσης κατασκευασμένες με σκυροδέματα διαφορετικών λόγων νερού / τσιμέντου και ηλικιών ίδιας συντήρησης” Στασινόπουλος Παναγιώτης

Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδος Ανακύκλωση οικοδομικών απορριμμάτων

Αναστασοπούλου Μαρία Βασιλείου Βασίλης Καραλής Κώστας

Συντονιστής Παπανικολόπουλος Πολυχρόνης

Πτυχιακή εργασία Σκυρόδεμα από ανακυκλώσιμα υλικά

Καριοφυλλίδης Ανέστης

Ρεκάλης Νικόλαος Μάριος

Μπέλλος Ζαχαρίας

Κοινή Υπουργική Απόφαση 50910/2727/2003 - ΦΕΚ 1909/Β/22-12-2003

Μέτρα και όροι για την διαχείριση των στερεών αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης.

Ελληνικός οργανισμός Ανακύκλωσης

Απόβλητα Εκσκαφών Κατασκευών & Κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ)

www.greekarchitects.gr Σκυρόδεμα από Ανακυκλώσιμα αδρανή

www.skyrodemanet.gr Σκυρόδεμα με ανακυκλωμένα αδρανή

Διπλωματική εργασία Ανακύκλωση και Διαχείριση αδρανών υλικών Κακλόπουλος Σωτήριος
Πολυτεχνείο Κρήτης

Σκυροδέματα με Ανακυκλώσιμα Αδρανή (Μηχανικές Ιδιότητες και ανθεκτικότητα σε Cl^-)
Α.Ε.. ΣΑΒΒΑ , Ε.Β. ΣΚΑΡΛΑΤΟΣ

Ιστότοποι από όπου δανείστηκαν οι εικόνες :

<https://civiltoday.com/civil-engineering-materials/concrete/79-concrete-slump-test-standard-equipment-procedures-cautions>

<http://blogs.sch.gr/niksfakian/>

<http://alpaytest.com/alfa/products/steel/02.html>

<https://www.globalgilson.com/aggregate-abrasion-testing-part-2-the-la-abrasion-test>

<https://theconstructor.org/concrete/concrete-slump-test/1558/>

Ιστότοπος που αφορά τον τύπο τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα :

http://www.lafarge.gr/wps/portal/gr/el/2_3_B-

[BulkDetail?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/lib_gr/Site_gr/AllProductDataSheet/ProductDatasheet_1257850079856/ProductDatasheet_FR](http://www.lafarge.gr/wps/portal/gr/el/2_3_B-BulkDetail?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/lib_gr/Site_gr/AllProductDataSheet/ProductDatasheet_1257850079856/ProductDatasheet_FR)