

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΘΕΜΑ: Διερεύνηση αντοχών σκυροδέματος παρασκευασμένο με ανακυκλωμένα αδρανή και προσθήκη ποζολάνης σε αντικατάσταση άμμου κατά 20%



ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2016

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

ΣΙΑΜΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΝΤΙΝΟΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΔΡΙΒΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Βασικές έννοιες

- 1.1.Εισαγωγή
- 1.2.Ιδιότητες σκυροδέματος
- 1.3.Είδη Σκυροδέματος
- 1.4.Συμβολισμοί

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Νωπό σκυρόδεμα

- 2.1.Συστατικά
 - 2.1.1.Τσιμέντο(Portland)
 - 2.1.2.Αδρανή υλικά
 - 2.1.3.Νερό αναμίξεως
 - 2.1.4.Πρόσμικτα ή πρόσθετα
- 2.2.Παρασκευή σκυροδέματος
 - 2.2.1.Σύνθεση
 - 2.2.2.Ανάμιξη
 - 2.2.3.Κάθιση και εργασιμότητα
 - 2.2.4.Διάστρωση και συμπύκνωση
 - 2.2.5.Συντήρηση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Στερεό σκυρόδεμα

- 3.1.Αντοχή
 - 3.1.1.Θλιπτική αντοχή
 - 3.1.2.Εφελκυστική αντοχή
 - 3.1.3.Διαξονική εντατική κατάσταση
 - 3.1.4.Αντοχή κοπώσεως σε θλίψη
- 3.2.Παραμορφώσεις

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Κοκκομετρική ανάλυση αδρανών υλικών

- 4.1.Σκοπός
- 4.2.Βασικές έννοιες
- 4.3.Διαδικασία κοκκομετρικής ανάλυσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Ανακύκλωση

- 5.1.Η σημασία της
- 5.2.Ανακύκλωση δομικών υλικών
- 5.3.Διαχείριση και αξιοποίηση αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΚΚ).
- 5.4.Ανακύκλωση Αδρανών Αποβλήτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Σκυρόδεμα από ανακυκλωμένα αδρανή

- 6.1.Εισαγωγή
- 6.2.Ανακυκλώσιμα αδρανή
- 6.3.Λόγοι που οδηγούν στην ανακύκλωση αδρανών
- 6.4.Διαδικασία παραγωγής ανακυκλωμένου σκυροδέματος
- 6.5.Η αναγκαιότητα της ανακύκλωσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Πειραματικό μέρος

- 7.1.Σκοπός του πειράματος
- 7.2.Μελέτη σύνθεσης και παρασκευή σκυροδέματος C25/30 S3 με προσθήκη υπερρευστοποιητή
 - 7.2.1.Ξεκαλούπωμα δοκιμίων, μέτρηση διαστάσεων, και συντήρηση σε νερό
 - 7.2.2.Δοκιμή αντοχών 7 ημερών
 - 7.2.3.Δοκιμή αντοχών 28 ημερών
- 7.3.Θραύση δοκιμίων και επαναχρησιμοποίηση στο ανακυκλωμένο σκυρόδεμα
 - 7.3.1.Διαχωρισμός των αδρανών με κοσκίνισμα στη μηχανή κοσκίνισματος
 - 7.3.2.Κοκκομετρική ανάλυση κανονικών αδρανών για παρασκευή σκυροδέματος C25/30 S3
 - 7.3.3.Κοκκομετρική ανάλυση των ανακυκλωμένων αδρανών
- 7.4.Παρασκευή ανακυκλωμένου σκυροδέματος με προσθήκη ποζολάνης σε αντικατάσταση άμμου κατά 20%
 - 7.4.1.Αντοχή δοκιμίων 7 ημερών
 - 7.4.2.Αντοχή δοκιμίων 28 ημερών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8.1.Συμπεράσματα

8.2.Αποτελέσματα

8.3.Βιβλιογραφία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1.Εισαγωγή

Το σκυρόδεμα είναι τεχνητός λίθος ,ο οποίος, όπως και οι φυσικοί λίθοι εμφανίζει υψηλή θλιπτική αντοχή και πολύ μικρή εφελκυστική. Για το λόγο αυτό το απλό σκυρόδεμα χρησιμοποιείται στα δομικά στοιχεία τα οποία καταπονούνται μόνο σε θλίψη και δίολου ή ελάχιστα σε εφελκυσμό.

Το σκυρόδεμα (κν. μπετόν, αγγλ. concrete, γαλλ. beton) είναι για περισσότερο από ένα αιώνα τώρα, το πλέον διαδεδομένο υλικό κατασκευής στατικών φορέων, όπως την κατασκευή κτιρίων , γεφυρών , σηράγγων , δεξαμενών κλπ.. Πριν την εμφάνισή του, εκτεταμένη χρήση είχαν οι ξύλινες, καθώς και οι πετρόκτιστες κατασκευές. Τα τελευταία χρόνια, και ιδιαίτερα στο εξωτερικό, μεγάλη ανάπτυξη παρουσιάζουν οι σύμμεικτες κατασκευές, που συνδυάζουν σκυρόδεμα και δομικό χάλυβα, προσφέροντας ταχύτητα στην κατασκευή και οικονομία κόστους και χώρου. Όμως παρά τις εκτεταμένες εφαρμογές του, λίγοι γνωρίζουν λεπτομέρειες για τον τεχνητό αυτό λίθο, που έχει τη μοναδική ιδιότητα να περνάει σε μικρό χρονικό διάστημα από τη ρευστή κατάσταση (νωπό), στη στερεά (σκληρυμένο), παρέχοντας τη δυνατότητα να μορφωθεί σε καλούπια κάθε σχήματος, που θα μπορούσε να επιθυμήσει κανείς, πριν στερεοποιηθεί και αποκτήσει τις τελικές αντοχές του.

Η κλασική χρήση του σκυροδέματος είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα (reinforced concrete), όπου η μάζα του ενισχύεται με σίδηρο οπλισμό (χάλυβα), ο οποίος του προσδίδει την εφελκυστική και διατμητική αντοχή που του λείπει, ενώ συνεισφέρει και στην παραλαβή των θλιπτικών τάσεων. Τα δύο υλικά συνεργάζονται άριστα (καλή αμοιβαία πρόσφυση, ίδιες θερμοκρασιακές διαστολές, προστασία του οπλισμού από το σκυρόδεμα έναντι σκουριάς). Οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά συστηματικά από το Γάλλο J.Monier το 1867.

Το σκυρόδεμα παρασκευάζεται με μίξη σε κατάλληλες αναλογίες τσιμέντου, αδρανών (χαλίκων), άμμου και νερού, ενώ τακτικά χρησιμοποιούνται και πρόσμικτα (admixtures), που βελτιώνουν τις παραμέτρους του (εργασιμότητα, ταχύτητα σκλήρυνσης κλπ.). Οι αναλογίες αυτές καθορίζονται από την εκάστοτε μελέτη σύνθεσης.

Αναφορικά με το ρυθμό σκλήρυνσης του σκυροδέματος : Σε γενικές γραμμές, σε τρεις μέρες αποκτά το 50 % της τελικής αντοχής του, σε μια εβδομάδα αποκτά το 70 % της τελικής αντοχής του και σε 28 ημέρες περί το 90 %. Το 100 % το αποκτά μετά παρέλευση πολλών ετών. Υπό καλές συνθήκες περιβάλλοντος, το όριο ηλικίας του σκυροδέματος μπορεί να ξεπεράσει κατά πολύ τα 100 χρόνια χωρίς σημαντικές αλλοιώσεις στη μάζα του και στον οπλισμό.

1.2.Ιδιότητες σκυροδέματος

Οι κυριότερες ιδιότητες του σκυροδέματος είναι **η συνεκτικότητα , η ομοιομορφία και η θερμοκρασία.**

Α) Η **συνεκτικότητα** του σκυροδέματος σχετίζεται άμεσα με την εργασιμότητά του ,τη συνοχή του και την ικανότητά του για έγχυση και συμπίκνωση. Όσο πιο συνεκτικό είναι ένα σκυρόδεμα τόσο μεγαλύτερη είναι η συνοχή και τόσο μικρότερη η εργασιμότητά του, δηλαδή η ικανότητά του για έγχυση και συμπίκνωση.

Στο νωπό σκυρόδεμα διακρίνονται τρεις περιοχές συνεκτικότητας το συνεκτικό, το πλαστικό και το μαλακό σκυρόδεμα. Για τα συνήθη έργα από οπλισμένο σκυρόδεμα συνιστάται η χρήση πλαστικού ή ημίρευστου σκυροδέματος. Η συνεκτικότητα προσδιορίζεται με τη δοκιμή της εξάπλωσης.

Ως μέτρο εξάπλωσης χαρακτηρίζεται η μέση διάμετρος,, που προκύπτει από τη δοκιμή εξάπλωσης του σκυροδέματος.

Η **συνεκτικότητα** του σκυροδέματος πρέπει να αυξάνεται ανάλογα με:

- Τον όγκο των στοιχείων κατασκευής
- Τη μείωση του οπλισμού των στοιχείων κατασκευής
- Τη διατιθέμενη ικανότητα συμπίκνωσης

Β) Οικονομικότητα

Το σκυρόδεμα κατασκευάζεται αποκλειστικά από εγχώριες πρώτες ύλες (άμμος, σκύρα, τσιμέντο).Είναι το φθηνότερο δομικό υλικό φέρουσας κατασκευής, όταν επιπονείται σε θλίψη.

-Περίπου 50-60 ευρώ/m³ ή 0.02 ευρώ/kg

Γ) Προσαρμοστικότητα

Σχηματοποιείται εύκολα σε οποιαδήποτε μορφή. Το νωπό σκυρόδεμα παίρνει την μορφή ξυλότυπου, μέσα στον οποίο διαστρώνεται. Επομένως μας δίνει αισθητικά και στατικά κάθε επιθυμητό αποτέλεσμα.

Από την άποψη αυτή υπερέχει όλων των υλικών, που χρησιμοποιούνται σήμερα για την κατασκευή του φέροντος οργανισμού.

Δ) Ομοιομορφία

Το νωπό σκυρόδεμα πρέπει να είναι ομοιόμορφο και μέσα στην ίδια παρτίδα (να μην παρουσιάζει απόμιξη) και από παρτίδα σε παρτίδα(σταθερότητα σύνθεσης).

Ε) Θερμοκρασία

Οι καλύτερες θερμοκρασίες για μια κανονική ανάπτυξη της αντοχής είναι από 18-25 °C. Όταν οι θερμοκρασίες του περιβάλλοντος είναι υψηλές η θερμοκρασία του νωπού σκυροδέματος δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 32 °C. Όταν οι θερμοκρασίες του περιβάλλοντος είναι κάτω από 5 °C πρέπει να παίρνονται ειδικά μέτρα προστασίας, εφόσον υπάρχει κίνδυνος παγετού.

Άλλα πλεονεκτήματα του σκληρυμένου οπλισμένου σκυροδέματος είναι:

- **Μονολιθικότητα**

Συνεπεία της αποτελεί, η κατασκευή φορέων που είναι σχεδόν πάντοτε πολλαπλά στατικά αόριστοι. Αποτέλεσμα αυτού είναι η ύπαρξη σημαντικών πρόσθετων συντελεστών ασφαλείας στην ανάληψη των δράσεων.

- **Πυρασφάλεια και ανθεκτικότητα σε επιφανειακή φθορά**

Η πείρα από μεγάλες πυρκαγιές απόδειξε, ότι οι κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα συμπεριφέρονται καλά. Προϋπόθεση είναι η επαρκής επικάλυψη του οπλισμού με σκυρόδεμα και η πρόβλεψη κατάλληλων αρμών.

Η επιφανειακή φθορά προκαλείται είτε λόγω μηχανικών επιπονήσεων, που προέρχονται από παγετό ή λόγω τριβής από κυκλοφορία(κλίμακες , δάπεδα) ή λόγω χημικών προσβολών. Για τις συνηθισμένες περιπτώσεις της πράξεως δεν απαιτείται η λήψη ειδικών μέτρων. Για τις ειδικές περιπτώσεις, βλέπε τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος.

1.3.Είδη Σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα, ανάλογα με τον τρόπο ενίσχυσης του με οπλισμό, διακρίνεται σε άοπλο, οπλισμένο και προεντεταμένο.

1. Άοπλο σκυρόδεμα

Είναι το σκυρόδεμα που δεν είναι ενισχυμένο με ράβδους οπλισμού. Παρασκευάζεται από κοινό τσιμέντο Πόρτλαντ και αδρανή υλικά. Η περιεκτικότητά του σε τσιμέντο είναι χαμηλή, γι' αυτό και ονομάζεται ισχνό σκυρόδεμα ή γκρομπετόν. Χρησιμοποιείται συνήθως σε δάπεδα, σε υποστρώματα για τα πέδιλα και σε πρόχειρες κατασκευές.

2. Οπλισμένο σκυρόδεμα

Είναι το σκυρόδεμα που ενισχύεται με ράβδους από χάλυβα. Τα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα κατασκευάζονται στο εργοτάξιο, δηλαδή απ' ευθείας στην τελική θέση ή στο εργοστάσιο, οπότε και ονομάζονται προκατασκευασμένα στοιχεία. Από το εργοστάσιο μεταφέρονται και τοποθετούνται στην οριστική θέση τους στο έργο.

3. Προεντεταμένο σκυρόδεμα

Στο προεντεταμένο σκυρόδεμα, εφαρμόζεται άλλος τρόπος χρησιμοποίησης του χαλύβδινου οπλισμού. Ο χάλυβας, σε μορφή συρμάτων ή καλωδίων, δεν τοποθετείται στον ξυλότυπο 'γυμνό', αλλά μέσα σε σωλήνες, ώστε κατά τη διάστρωση, να μην έρχεται σε επαφή με το σκυρόδεμα. Μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος, εφαρμόζονται δυνάμεις εφελκυσμού στα χαλύβδινα καλώδια και με την κατάλληλη διάταξη, συγκρατούνται σε κατάσταση τάσης. Με τη μέθοδο αυτή, διευρύνθηκαν οι δυνατότητες κατασκευής έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Σήμερα, είναι δυνατό να κατασκευαστούν δοκοί ή πλάκες πολύ μεγάλων ανοιγμάτων, πράγμα που με το κοινό οπλισμένο σκυρόδεμα ήταν αδύνατο. Το προεντεταμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται κυρίως σε έργα γεφυροποιίας και σε κτίρια εργοστασίων.

1.4.Συμβολισμοί

f_c / f_{ct} = θλιπτική και εφελκυστική αντοχή σε διάρρηξη

f_{ck} = χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος

f_T = θλιπτική αντοχή σε θερμοκρασία T οC

f₂₀ = θλιπτική αντοχή σε θερμοκρασία 20 οC

f_{ct50%} / f_{ct100%} = εφελκυστική αντοχή σε διάρρηξη σκυροδεμάτων με 50% και 100% ανακυκλωμένα αδρανή

C = ποσότητα τσιμέντου σε kg ανά m³

W = ποσότητα νερού σε kg ανά m³

W/C = λόγος νερού προς τσιμέντο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Νωπό σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα είναι το μείγμα τσιμέντου, αδρανών υλικών και νερού, σε αναλογία που καθορίζεται σε σχέση με το σκοπό της κατασκευής. Είναι ένα πολύτιμο υλικό με πλατιά χρήση, η οποία καλύπτει σχεδόν όλες τις οικοδομικές κατασκευές και τα τεχνικά έργα.

Για την παρασκευή του σκυροδέματος χρησιμοποιούνται τσιμέντο, νερό, άμμος, χαλίκι και γαρμπίλι. Το τσιμέντο, όταν ενωθεί με το νερό αντιδρά χημικά, γι' αυτό ονομάζεται και ενεργό υλικό σκυροδέματος.

Τα υλικά άμμος και σκύρα ονομάζονται αδρανή, διότι διατηρούν όλες τις φυσικές και χημικές τους ιδιότητες και μετά την πήξη και σκλήρυνση του σκυροδέματος.

Η ποιότητα του στερεού σκυροδέματος, ως προς την αντοχή και τη στεγανότητα, εξαρτάται από το είδος και την κοκκομετρική σύνθεση των αδρανών, το συντελεστή νερού προς τσιμέντο N/T, τον χρόνο αναμίξεως, τη συμπύκνωση κατά τη διάστρωση και για την αποφυγή επιφανειακών ρωγμών από την επιμελημένη συντήρηση.

Εργοταξιακό είναι το σκυρόδεμα ,όταν τα συστατικά του προσθέτονται και αναμιγνύονται στο εργοτάξιο.

Μεταφερόμενο ή έτοιμο ονομάζεται το σκυρόδεμα, που η σύνθεσή του γίνεται σε εργοστάσιο παραγωγής σκυροδέματος, αναμιγνύεται στο εργοστάσιο ή στο αυτοκίνητο και παραδίδεται στο εργοτάξιο έτοιμο για διάστρωση.

2.1.Συστατικά

2.1.1.Τσιμέντο (Portland)

Το τσιμέντο είναι υδραυλική λεπτόκοκκη κονία, που χρησιμοποιείται ως συνδετικό υλικό για την παραγωγή σκυροδέματος (υδραυλικές ονομάζονται οι κονίες, που όταν αναμιχθούν με το νερό πήζουν και σκληραίνουν). Ο τσιμεντοπολτός (όπως ονομάζεται το αναμεμιγμένο με νερό τσιμέντο) πήζει και σκληραίνει μέσω της ενυδάτωσης, τόσο στον αέρα, όσο και εμβαπτισμένος σε νερό.

Το χρώμα του τσιμέντου γενικά εξαρτάται από τις πρώτες ύλες και είναι ανεξάρτητο της ποιότητας αντοχής. Η ανάπτυξη της αντοχής του τσιμεντοπολτού εξαρτάται από τη χημική σύνθεση και από τη λεπτότητα άλεσης.

Ο τρόπος συντήρησης του τσιμεντοκονιάματος μετά την πήξη είναι σημαντικός και επιδρά επίσης στην αντοχή του. Η παρουσία υγρασίας κατά τη σκλήρυνση είναι απαραίτητη για την πλήρη ενυδάτωση των κόκκων του τσιμέντου. Κατά την αποθήκευσή του το τσιμέντο πρέπει να προφυλάσσεται από την

υγρασία, γιατί κατά την αποθήκευση το τσιμέντο υγραίνεται από τον αέρα και αρχίζει η ενυδάτωσή του με αποτέλεσμα να σβολιάζει. Τσιμέντα μέσα σε σάκους από χαρτί χάνουν μέχρι 10-20% της αντοχής τους σε θλίψη για αποθήκευση 3 μηνών και μέχρι 20-30% της αντοχής τους σε θλίψη για αποθήκευση 6 μηνών.

Στην Ελληνική αγορά κυκλοφορούν τα παρακάτω είδη τσιμέντων:

- A) Κοινό τσιμέντο Portland Ελληνικού τύπου(10% θηραϊκή γή)
- B) Τσιμέντο καθρό Portland
- Γ) Τσιμέντο ταχείας απόκτησης αντοχών
- Δ) Τσιμέντο υψηλής αντοχής-ειδικής παραγγελίας

Τα βασικά συστατικά για παραγωγή τσιμέντου τύπου πόρτλαντ είναι ασβεστολιθικά και αργιλικά πετρώματα, τα οποία αφού αναμιχθούν σε προκαθορισμένες αναλογίες υποβάλλονται σε όπτηση περίπου στους 1450°C. Από τη διαδικασία αυτή παραλαμβάνεται το κλίνκερ, το οποίο ακολούθως αλέθεται, ώστε να αποκτήσει την τελική γνωστή λεπτότητα του τσιμέντου.

Λόγω της ιδιότητας που έχει το τσιμέντο να πήζει, όταν αναμειχθεί με το νερό ή να σχηματίζει κουβάρια, όταν απορροφά υγρασία, πρέπει να λαμβάνονται όλα τα μέτρα για την προστασία του.

Επίσης, δεν επιτρέπεται η χρήση διαφορετικών τύπων τσιμέντων για την κατασκευή σκυροδέματος στο ίδιο έργο.

Υπάρχουν τα ακόλουθα είδη τσιμέντων:

- α) Τσιμέντο Portland
- β) Τσιμέντο Portland με άλλα συστατικά, όπως η σκωρία-τσιμέντο υνικαμίνων- και η θηραϊκή γη, δηλαδή τσιμέντο με πρόσμιξη ηφαιστειών γαιών
- γ) Ειδικά τσιμέντα, όπως τα υπερθειικά και τα αργιλικά. Κατά τον νέο Ευρωπαϊκό κανονισμό ENV 197-1 «Τσιμέντο-Σύνθεση, Απαιτήσεις και Κριτήρια Συμμορφώσεως» τα τσιμέντα κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες αντοχής με βάση την χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή των 28 ημερών.

Η περαιτέρω υποδιαίρεση αφορά εκείνα που αναπτύσσουν υψηλή αντοχή σε 2 ημέρες, τα οποία χαρακτηρίζονται με το γράμμα “ R” (Rapid).

Πίνακας 1

Μηχανικές και φυσικές απαιτήσεις για τα ευρωπαϊκά τυποποιημένα τσιμέντα.

Κατηγορία αντοχής	Θλιπτική αντοχή (N/mm ²)				Έναρξη πήξεως (min)	Τέλος πήξεως h
	Αρχική αντοχή		Αντοχή κανονική			
	2 ημερών	7 ημερών	28 ημερών			
32,5	-	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 60	
32,5 R	≥ 10	-				
42,5	≥ 10	-	≥ 42,5	≤ 62,5		
42,5 R	≥ 20	-				
52,5	≥ 20	-	≥ 52,5	-	≥ 45	
52,5 R	≥ 30	-			≤ 12	

2.1.2.Αδρανή υλικά

Τα υλικά άμμος, χαλίκι και γαρμπίλι ονομάζονται αδρανή, διότι διατηρούν όλες τις φυσικές και χημικές τους ιδιότητες και μετά την πήξη και σκλήρυνση του σκυροδέματος. Τα αδρανή του σκυροδέματος αποτελούν, κατά προσέγγιση, το 80% του συνολικού βάρους του και καταλαμβάνουν το 70-75% του όγκου του.

Ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων διακρίνονται σε δυο ομάδες:

A) Τα λεπτόκοκκα αδρανή (άμμος)

B) Τα χονδρόκοκκα αδρανή (σκύρα)

Το μέγεθος των κόκκων επιλέγεται έτσι όπως επιτρέπουν η ανάμιξη, μεταφορά, διάστρωση και κατεργασία του σκυροδέματος. Το μέγεθος των κόκκων δεν επιτρέπεται να είναι μεγαλύτερο του 1/3 της μικρότερης διάστασης του δομικού στοιχείου. Στην περίπτωση πυκνού οπλισμού ή μικρής επικάλυψης με σκυρόδεμα το μέγεθος των αδρανών πρέπει να είναι μικρότερο από την απόσταση των ράβδων του οπλισμού μεταξύ τους και μεταξύ αυτών και του ξυλότυπου.

Οι επιθυμητές ιδιότητες των αδρανών είναι:

- A) Ικανή μηχανική αντοχή (100-300MPa)
- B) Ανθεκτικότητα(σε τριβή, κρούση και χρόνο)
- Γ) Κατάλληλη ορυκτολογική σύσταση
- Δ) Μικρή υδατοαπορροφητικότητα
- E) Σταθερότητα όγκου(σε εναλλαγές θερμοκρασίας και υγρασίας)
- ΣΤ) Κατάλληλη και σταθερή κοκκομετρική σύνθεση
- Z) Κατάλληλη μορφή(όχι πλακοειδείς ή επιμήκεις κόκκοι)
- H) Καθαρότητα(άργιλος<0.25%, οργανικά<1%, χλωρίδα<0.02%, εύθρυπτοι κόκκοι<3%, διερχόμενο No200<15% της άμμου)
- Θ) Μικρή υγρασία

Η χρήση κατάλληλου μεγέθους και κατάλληλης ποιότητας αδρανών βελτιώνει την ποιότητα του σκυροδέματος. Τα αδρανή μπορεί να είναι θραυστά ή συλλεκτά (προκύπτουν από φυσική αποσάθρωση πετρωμάτων). Για παραγωγή υψηλής ποιότητας σκυροδέματος, τα αδρανή καθαρίζονται και κοκκομετρούνται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις με μηχανικές διεργασίες, όπως πλήρη ανάμιξή τους, σύνθλιψη, διαχωρισμό με κόσκινα και πλύσιμο.

Κατάλληλα για χρήση ως αδρανή σκυροδέματος είναι υλικά, τα οποία δεν επηρεάζουν τη σκλήρυνση του τσιμεντού, έχουν ισχυρή πρόσφυση με τον τσιμεντοπολτό και δεν αποτελούν κίνδυνο για την ανθεκτικότητά του.

-Ανάλογα με το κοκκομετρικό φάσμα, την αντοχή, το σχήμα και το ειδικό βάρος των αδρανών επηρεάζονται άμεσα οι ιδιότητες του σκυροδέματος.

Για παράδειγμα, αδρανή όπως η θραυστή άμμος και τα σκύρα θεωρούνται κατάλληλα, όταν η θλιπτική αντοχή του πετρώματος υπερβαίνει τα 100 MN/m². Η συλλεκτή άμμος και τα χαλίκια, λόγω της φυσικής επιλογής κατά τη δημιουργία τους, έχουν γενικά την απαιτούμενη αντοχή. Αδρανή σφαιρικά ή κυβικά δίνουν εύκολα κατεργάσιμο σκυρόδεμα. Το αντίθετο συμβαίνει για τους πλακοειδείς χάλικες, δηλαδή αυτούς που έχουν μήκος μεγαλύτερο του τριπλάσιου των δυο άλλων διαστάσεων και οι οποίοι δεν πρέπει να υπερβαίνουν σε βάρος το μισό των πάνω από τα 8 mm αδρανών.

Τέλος, τα αδρανή πρέπει να είναι απαλλαγμένα προσμίξεων που παραβιάζουν την πήξη και τη σκλήρυνση ή μειώνουν την αντοχή του σκυροδέματος ή επιδρούν στον οπλισμό.

Επιβλαβείς προσμίξεις θεωρούνται, μεταξύ άλλων:

- α) Η άργιλος και ο πηλός και γενικά τα συστατικά, τα οποία διέρχονται από κόσκινο οπής 0,063 mm, που προκαλούν μείωση της αντοχής του σκυροδέματος και της συνάφειας του οπλισμού.
- β) Οργανικά συστατικά, π.χ. χουμώδη υλικά, λιγνίτης κ.λ.π., που η περιεκτικότητά τους δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,5% σε βάρος.
- γ) Υλικά, που εμποδίζουν τη σκλήρυνση, όπως η ζάχαρη και τα διαλυτά άλατα.
- δ) Θεικές και θειούχες ενώσεις. Η περιεκτικότητά σε SO₃ δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1% σε βάρος των σε θερμοκρασία 105 ο C ξηραμένων αδρανών.

-Για την παρασκευή του ανακυκλώσιμου σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκε μαζί με ανακυκλώσιμη άμμο και ποσότητα ποζολάνης.

Η **ποζολάνη** είναι ένα ανόργανο υλικό με ιδιότητες παραπλήσιες με αυτές του τσιμέντου (υδραυλικές ιδιότητες). Μπορεί να προέρχεται είτε από τη φύση (φυσικές ποζολάνες), είτε από τεχνητές πηγές (σκωρία υψικαμίνων, ιπτάμενη τέφρα - στάχτη σταθμών παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούν κάρβουνο ή λιγνίτη - ή silica fume - στάχτη που παράγεται κατά τη θέρμανση πυριτικού). Η φυσική ποζολάνη είναι βιομηχανικό ορυκτό ηφαιστειακής προέλευσης (ηφαιστειακοί τόφοι) και περιέχει υψηλό ποσοστό ενεργού διοξειδίου του πυριτίου αλλά και οξειδίου του αργιλίου - αλουμίνα. Μεγάλη ποικιλία ορυκτών έχει ποζολανικές ιδιότητες και μπορούν να χαρακτηριστούν φυσικές ποζολάνες. Αλεσμένη ποζολάνη, αναμιγμένη με άσβεστο και νερό, δημιουργεί ένα είδος τσιμέντου. Αυτό συμβαίνει γιατί με την παρουσία της ασβέστου και του νερού, το πυριτικό και η αλούμινα αντιδρούν σχηματίζοντας υδραυλικές ενώσεις, όπως ακριβώς και στο τσιμέντο. Σήμερα χρησιμοποιείται ευρύτατα στην τσιμεντοβιομηχανία (ποζολανικά τσιμέντα) σαν πρόσθετο.

2.1.3.Νερό αναμίξεως

Το νερό αναμίξεως πρέπει να είναι καθαρό. Δεν πρέπει να περιέχει ουσίες διαλυμένες ή αιωρούμενες, που εμποδίζουν τη σκλήρυνση του σκυροδέματος. Αποκλείονται γενικά τα νερά, τα οποία περιέχουν λάδια, λίπη ή σάκχαρο. Ένδειξη για την ενδεχόμενη καταλληλότητα δίνει η οσμή, η γεύση, το χρώμα και η για πολύ χρόνο διατήρηση αφρού μετά την ανάδευση. Στις περιπτώσεις αυτές συνιστάται χημική ανάλυση ή, ασφαλέστερα, έλεγχος της καταλληλότητας του νερού με την παρασκευή δοκιμίων σκυροδέματος.

Θαλασσινό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για άοπλο σκυρόδεμα εφ' όσον όμως υπάρχουν ειδικοί λόγοι, που να το δικαιολογούν, γιατί το θαλασσινό νερό μειώνει γενικά την αντοχή του σκυροδέματος. Λόγω του κινδύνου διαβρώσεως του οπλισμού είναι ακατάλληλο για κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Η αναλογία του νερού στο μίγμα είναι καθοριστικός παράγοντας επίτευξης των επιθυμητών αντοχών στο σκυρόδεμα και πρέπει να διατηρείται αυστηρά στα όρια που καθορίζει η μελέτη σύνθεσης. **Εν γένει, λιγότερο νερό συνεπάγεται μεγαλύτερες αντοχές και περισσότερο νερό σημαίνει υψηλότερη εργασιμότητα (ρευστότητα).** Το θαλασσινό νερό είναι ακατάλληλο, ενώ στις προεντεταμένες κατασκευές απαγορεύεται ρητά.

Ο λόγος νερού – τσιμέντου (N/T) είναι ένας από τους πιο σοβαρούς παράγοντες, που επηρεάζουν την αντοχή του σκυροδέματος στη θλίψη. Γι' αυτό, όταν προσδιορίζουμε το συνολικό ποσό του νερού που χρειάζεται ένα σκυρόδεμα, αναφερόμαστε στο λόγο του βάρους του νερού προς το βάρος του τσιμέντου που χρησιμοποιήσαμε (N/T ratio).

Ο λόγος νερού – τσιμέντου (N/T) πρέπει να είναι περίπου 0,26 έως 0,28 για να μπορεί να γίνεται πλήρως η χημική αντίδραση κατά την πήξη και σκλήρυνση του σκυροδέματος. Συνήθως όμως, λόγω του εργάσιμου του σκυροδέματος, δεν είναι μικρότερος από 0,45.

-Έχει αποδεχτεί πειραματικά ότι, όσο αυξάνεται ο λόγος νερού – τσιμέντου, τόσο ελαττώνεται η αντοχή του σκυροδέματος.

2.1.4.Πρόσμικτα ή πρόσθετα

Τα πρόσμικτα ή πρόσθετα μέσα είναι ουσίες ρευστές ή σε σκόνη, οι οποίες προστίθενται σε πολύ μικρές ποσότητες στο σκυρόδεμα κατά την έναρξη της αναμίξεως και έχουν σκοπό να βελτιώσουν ορισμένες ιδιότητες του νωπού και του στερεού σκυροδέματος.

Ανάλογα με τα αποτελέσματα της δράσεως τους, διακρίνονται σε:

A) Υπερρευστοποιητής

Καθιστά δυνατή τη σημαντική μείωση του περιεχόμενου νερού σε ένα δεδομένο μίγμα σκυροδέματος, χωρίς επίδραση στη συνεκτικότητά του ή αυξάνει σημαντικά το εργάσιμό του χωρίς αλλαγή του περιεχόμενου νερού ή επιτυγχάνει και τα δύο αποτελέσματα.

B) Αερακτικό

Εισάγει συγκεκριμένη ποσότητα αέρα στο μίγμα, με τη μορφή μικρών και ομοιόμορφα κατανεμημένων φυσαλίδων αέρα, κατά τη φάση ανάμιξης, και οι οποίες παραμένουν στη σκληρυμένη μάζα σκυροδέματος. Έτσι, ενσωματώνονται στο σκυρόδεμα και βελτιώνουν το εργάσιμο του νωπού και την έναντι παγετού ανθεκτικότητα του στερεού σκυροδέματος.

Γ) Επιβραδυντής

Επιβραδύνει το χρόνο για την αρχική πήξη και επιμηκύνει την εργασιμότητα. Γενικά επιβραδύνει την έναρξη της πήξεως κατά 3 έως 8 ώρες και επιτρέπει επομένως μακρότερο του συνηθισμένου χρόνο κατεργασίας του σκυροδέματος. Χρησιμοποιείται όταν υπάρχουν αρμοί διακοπής εργασίας για βελτίωση της συνδέσεως της επόμενης με την προηγούμενη στρώση ή κατά τη σκυροδέτηση, σε περίπτωση καύσωνα.

Δ) Επιταχυντής

Για επιτάχυνση της σκληρύνσεως, που σημαίνει ταχύτερη αφαίρεση των τύπων, ή για σκυροδέτηση κατά τη διάρκεια παγετού. Δεν πρέπει να περιέχει χλωριούχο ασβέστιο (CaCl_2), το οποίο προκαλεί διάβρωση του οπλισμού. Καλύτερα να αποφεύγονται και να χρησιμοποιούνται τσιμέντα ταχείας αναπτύξεως αντοχής.

Ε) Αντιπαγετικό

Δεν πρέπει να περιέχει χλωριούχα άλατα. Προτιμότερη λύση είναι η θέρμανση των αδρανών και του νερού και η κάλυψη των ελεύθερων επιφανειών του νωπού σκυροδέματος.

ΣΤ) Στεγανωτικό

Μειώνει την υδατοπερατότητα του σκυροδέματος, αλλά ενδεχομένως και την αντοχή του. Προτιμότερο είναι να παρασκευάζεται σκυρόδεμα ορθής κοκκομετρικής συνθέσεως με επαρκή περιεκτικότητα λεπτόκοκκων και καλή συμπίκνωση.

-Γενικά, η σκοπιμότητα χρησιμοποίησης πρόσμικτων μέσων ελέγχεται, λόγω των ανεπιθύμητων παρενεργειών, που μπορούν να προκαλέσουν. Για το λόγο αυτό επιβάλλονται από τους κανονισμούς προηγούμενες συστηματικές δοκιμές, ιδιαίτερα όταν προστίθενται περισσότερα πρόσμικτα, τα οποία επηρεάζουν ορισμένες ιδιότητες του σκυροδέματος και, σε αντίθεση προς τα πρόσμικτα μέσα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ως συστατικά όγκου. Συνήθως χρησιμοποιούνται η θηραϊκή γη, η γη διατόμων, ο μπετονίτης, ινώδη υλικά και τα χρώματα μάζης.

2.2.Παρσκευή σκυροδέματος

Η χρησιμοποίηση κατάλληλων συστατικών δεν παρέχει μόνη της τη βεβαιότητα της επιτυχίας της επιδιωκόμενης ποιότητας. Πέραν τούτων, απαιτείται ο καθορισμός σκόπιμης αναλογίας μίξεως τσιμέντου-αδρανών-νερού, ακριβής δοσολογία σε βάρος, άνογη ανάμιξη, μεταφορά επί του τύπου χωρίς απόμιξη, τέλεια κατά το δυνατόν συμπίκνωση και ορθή συντήρηση.

2.2.1.Σύνθεση

Τα επιμέρους υλικά του σκυροδέματος(τσιμέντο, αδρανή, νερό και πρόσθετα) πρέπει να αναμιχθούν σε κατάλληλες αναλογίες ώστε να προκύψει νωπό σκυρόδεμα με την απαιτούμενη συνεκτικότητα και, μετά τη συμπίκνωση και συντήρηση, σκληρυμένο σκυρόδεμα με τις προδιαγραφμένες ιδιότητες αντοχής και ανθεκτικότητας.

Γενικά, ένα μίγμα άμμου και χαλικιών παρουσιάζει κενά, που επενεργούν αρνητικά στην αντοχή του σκυροδέματος. Επομένως θα πρέπει να επιδιώκεται καλή κοκκομετρία των αδρανών.

Σημαντικές ιδιότητες, όπως π.χ. η εργασιμότητα του νωπού και η αντοχή σε θλίψη του σκληρυμένου σκυροδέματος καθορίζονται από το ποσοστό του τσιμέντου και του νερού στο νωπό σκυρόδεμα. Η αναλογία μίξης τσιμέντου προς αδρανή προς νερό είναι συνεπώς καθοριστικής σημασίας.

Το σκυρόδεμα πρέπει να περιέχει τόσο τσιμέντο ώστε να φθάσει την απαιτούμενη αντοχή σε θλίψη και οι οπλισμοί να προστατεύονται από τη διάβρωση. Για αυτό προδιαγράφονται ελάχιστες αναλογίες οι οποίες εξαρτώνται από την επίβλεψη, την κοκκομετρική καμπύλη των αδρανών, την επιθυμητή συνεκτικότητα του σκυροδέματος και το μέγιστο μέγεθος κόκκου. Οι αναλογίες των υλικών για την παρασκευή του σκυροδέματος καθορίζονται από εργαστηριακή μελέτη σύνθεσης. Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος αυξάνει με την αύξηση της περιεκτικότητας σε τσιμέντο.

Η ποσότητα του νερού στο νωπό σκυρόδεμα καθορίζεται από τον λόγο νερού προς τσιμέντο N/T, δηλαδή από τη αναλογία κατά βάρος νερού N προς τσιμέντο T, και είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη σύνθεση του σκυροδέματος.

Κατά την πήξη δεσμεύονται χημικά νερό ίσο προς το 15-25% περίπου του βάρους του τσιμέντου, ενώ για την πλήρη ενυδάτωση του τσιμέντου απαιτείται νερό περίπου 36-42%(ανάλογα με τις συνθήκες αποθήκευσης).Για την κατεργασία του σκυροδέματος απαιτείται επιπλέον ποσότητα νερού. Η απαιτούμενη ποσότητα νερού αυξάνει όσο λεπτότερο είναι το τσιμέντο και τα αδρανή. Το νερό που δεν έχει δεσμευτεί χημικά εξατμίζεται κατά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος, προκαλεί συρρίκνωση και δημιουργεί τριχοειδής πόρους σ' αυτό.

Η ποιότητα του τσιμέντου και της αναλογίας νερού προς τσιμέντο επηρεάζουν τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. Μικροί συντελεστές νερού-τσιμέντου, δηλαδή πιο δύσπλαστα μίγματα, επιτυγχάνονται με δονητές και προσθήκη κατάλληλων πρόσθετων υλικών. Για το σπλισμένο σκυρόδεμα ο λόγος N/T συνήθως παίρνει τιμές 0.50-0.65.

Οι απαιτούμενες ποσότητες αδρανών για την παρασκευή 1m³ συμπυκνωμένου σκυροδέματος, μετρούμενες πάντοτε σε βάρος, σωστό είναι να καθορίζονται πειραματικά στο εργαστήριο, εκτός αν υπάρχει μακροχρόνια πείρα χρησιμοποίησεως των ίδιων υλικών υπό τους αυτούς όρους.

Για να είναι το σκυρόδεμα εύπλαστο και να έχει πυκνή δομή(π.χ. δομικά στοιχεία όσο το δυνατόν αδιάβροχα),πρέπει το σκυρόδεμα να περιέχει μια ορισμένη ποσότητα παιπάλης, δηλαδή τσιμέντου και αδρανών κόκκων 0-0.25mm.

2.2.2.Ανάμιξη

Τα επιμέρους υλικά του σκυροδέματος πρέπει να αναμιγνύονται ικανοποιητικά ώστε να δημιουργείται ένα ομοιογενές μίγμα. Η ανάμιξη του σκυροδέματος πρέπει να γίνεται με μηχανικούς αναμκτήρες και όχι με τα χέρια.

Η ανάμιξη είναι δυνατό να γίνει με τους εξής τρόπους:

- A) Με σταθερούς αναμκτήρες κεκλιμένου άξονα
- B) Με σταθερούς αναμκτήρες οριζόντιου άξονα
- Γ) Με σταθερούς αναμκτήρες κατακόρυφου άξονα
- Δ) Με αυτοκινούμενους αναμκτήρες κεκλιμένου άξονα

Ο χρόνος αναμίξεως εξαρτάται από τον τύπο του αναμκτήρα και δεν πρέπει να είναι μικρότερος εκείνου, που συνιστά ο κατασκευαστής του, ο οποίος συνήθως τον καθορίζει για σκυρόδεμα συνεκτικότητας S2 και S3 και συνεπώς πρέπει να αυξάνεται αρκετά για συνεκτικότητα S1 ή υψηλή περιεκτικότητα σε τσιμέντο. Κατά κανόνα θεωρείται λογική η διάρκεια αναμίξεως τουλάχιστον 1 λεπτού. Όταν χρησιμοποιούνται πρόσθετα ο χρόνος αναμίξεως πρέπει να αυξάνεται. Ανάμιξη με το χέρι επιτρέπεται σε εξαιρετικές περιπτώσεις και για μικρές μόνο ποσότητες άοπλου σκυροδέματος.

Οι αναμκτήρες χαρακτηρίζονται από την ονομαστική χωρητικότητά τους, σε λίτρα ή κυβικά μέτρα, η οποία αναφέρεται στον όγκο νωπού ασυμπίεστου σκυροδέματος που μπορεί να αναμίξει στον χρόνο ανάμιξης ο αναμκτήρας. Με την προσθήκη των υλικών για την παρασκευή του σκυροδέματος προκύπτει όγκος ίσος με τα 2/3 περίπου του όγκου των υλικών που προστίθενται. Έτσι, π.χ. ένας αναμκτήρας χωρητικότητας 1500 λίτρων αποδίδει ένα κυβικό μέτρο νωπό συμπακνωμένο σκυρόδεμα.

2.2.3.Κάθιση και εργασιμότητα

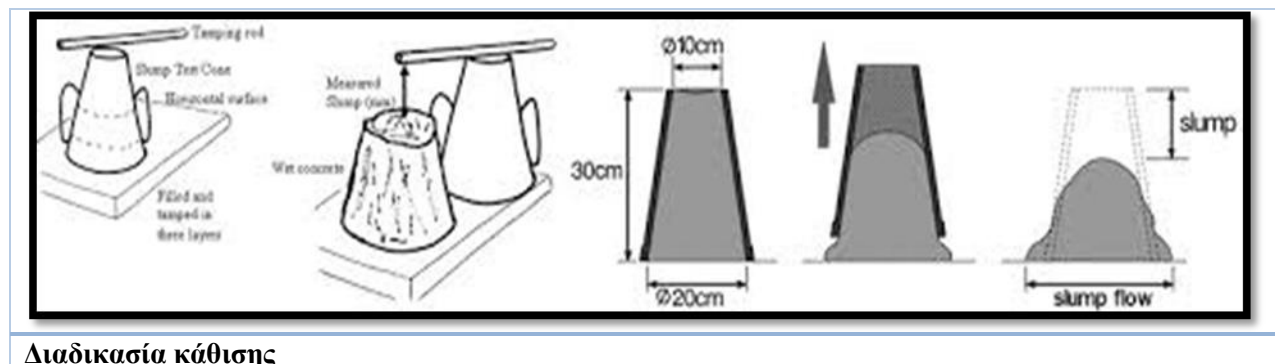
- Κάθιση

Η **Κάθιση** είναι ένα μέτρο της εργασιμότητας του σκυροδέματος που εκφράζεται με την απώλεια ύψους, σε cm, που παρουσιάζει μία κωνική στήλη νωπού σκυροδέματος όταν ανασυρθεί η κωνική μήτρα (κώνος κάθισης) με την οποία μορφώθηκε

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

Κατηγορίες Κάθισης (ΚΤΣ 97)

Κατηγορία	Κάθιση σε mm
S1	10-40
S2	50-90
S3	100-150
S4	160-210
S5	>=220



Διαδικασία κάθισης

- Εργασιμότητα

Εργασιμότητα του έτοιμου σκυροδέματος είναι η ιδιότητα του νωπού σκυροδέματος που χαρακτηρίζει την ευκολία με την οποία αυτό μεταφέρεται, διαστρώνεται και συμπυκνώνεται.

2.2.4. Διάστρωση και συμπύκνωση

Το εργοταξιακό σκυρόδεμα μεταφέρεται από τη θέση αναμίξεως στη θέση χρησιμοποίησής του το ταχύτερο, με οποιοδήποτε μέσο, αρκεί να αποφεύγονται η απόμιξη ή η απώλεια συστατικών, ιδιαίτερα του τσιμεντοπολτού και συγκεκριμένα μέσα σε 20 λεπτά από την ανάμιξη για πλαστικό και σε 45 λεπτά για ύφυγρο σκυρόδεμα.

Για μεταφερόμενο σκυρόδεμα με αυτοκίνητα- αναμκτήρες η εκφόρτωση πρέπει να συμπληρώνεται μέσα σε 90 λεπτά από την προσθήκη του νερού. Αμέσως μετά την ανάμιξη ή μεταφορά πρέπει να διεξάγεται η διάστρωση.

Διάστρωση σημαίνει όχι μόνο τοποθέτηση του νεπού σκυροδέματος στους τύπους αλλά και συμπύκνωση. Με τη συμπύκνωση επιδιώκεται η μόρφωση συμπαγούς μάζας χωρίς κενά, πυκνή επικάλυψη των οπλισμών και ομοιογενής επιφάνεια, ιδίως στην επαφή με τους τύπους. Η αντοχή και η στεγανότητα του σκυροδέματος είναι συνάρτηση του βαθμού συμπτυκνώσεως.

Η συμπύκνωση μπορεί να γίνει με τους παρακάτω τρόπους:

- A) Με το ίδιο βάρος του σκυροδέματος (μόνο για έργα επουσιώδους σημασίας και ρευστό σκυρόδεμα)
- B) Με κοπάνισμα (με ράβδους και πήχεις). Μόνο για έργα μικρής σημασίας και ρευστό ή ημίρρευστο σκυρόδεμα
- Γ) Με δονητές μάζας
- Δ) Με δονητές παρειάς
- E) Με δονητική τράπεζα, όπως ακριβώς έγινε και στο πείραμα της εργασίας.

2.2.5.Συντήρηση

Μετά τη διάστρωσή του το σκυρόδεμα πρέπει να προφυλάγεται, μέχρις ότου ολοκληρωθεί η σκλήρυνσή του από επιβλαβείς επιρροές π.χ από πρόωρη αποξήρανση λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας ή ανέμου, ισχυρή βροχή, παγετό, μεγάλη θερμοκρασιακή μεταβολή ή και επιβλαβείς δονήσεις. Ιδιαίτερη σημασία έχει η προστασία από αποξήρανση, ιδίως σε θερμό και ξηρό καιρό και τούτο διότι το σκυρόδεμα αποκτά την πλήρη αντοχή του και συγχρόνως αποφεύγεται η ρηγμάτωση του, μόνον όταν παρέχεται στο τσιμέντο για αρκετό χρόνο το απαιτούμενο για την ενυδάτωσή του νερό.

Για να αποφευχθεί η ρηγμάτωση πρέπει το σκυρόδεμα να συντηρηθεί, μέχρις ότου αποκτήσει στην επιφανειακή του στρώση το 50% τουλάχιστον της ονομαστικής αντοχής του.

Η συντήρηση με απ' ευθείας διαβροχή επάνω στις ορατές επιφάνειες του σκυροδέματος θεωρείται βλαπτική, επειδή κατά την εξάτμιση του νερού προκαλείται πτώση της θερμοκρασίας και επομένως εφελκυστικές τάσεις που μπορεί να οδηγήσουν στη ρηγμάτωση της επιφανειακής στρώσεως.

Η διατήρηση της υγρασίας μπορεί να γίνει:

- A) Με επανειλημμένες διαβροχές των επιφανειών του σκυροδέματος
- B) Με κάλυψη των επιφανειών με λινάτσες, άμμο, αδιάβροχα φύλλα
- Γ) Με ψεκασμό με ειδικά υγρά που σχηματίζουν επιφανειακή μεμβράνη

Ένα σκυρόδεμα που περιβάλλεται διαρκώς από υγρασία παρουσιάζει μια αισθητή αύξηση της αντοχής του, σε σχέση με ένα άλλο που διατηρήθηκε σε υγρασία μόνο στην αρχή. Η θερμοκρασία που επικρατεί κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης επηρεάζει σε μικρό μόνο βαθμό την τελική αντοχή.

Γενικά το σκυρόδεμα δεν θα ρηγματωθεί, μόνο εάν η εφελκυστική αντοχή του είναι πάντοτε μεγαλύτερη από την τάση εφελκυσμού, που προκαλεί η συστολή ξηράνσεως.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Στερεό σκυρόδεμα

3.1.Αντοχή

Η μηχανική αντοχή του σκυροδέματος αποτελεί τη βάση του υπολογισμού για το μελετητή και την πρώτη υποχρέωση του εργολάβου. Αυτή καθορίζεται με δοκίμια, τα οποία παρασκευάζονται από το ίδιο με το έργο σκυρόδεμα και σκληρύνονται κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Το σχήμα, οι διαστάσεις και η μέθοδος ελέγχου του δοκιμίου επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα. Η **θλιπτική αντοχή** του σκυροδέματος, σύμφωνα με τους κανονισμούς, αποτελεί τη βάση της διαστασιολογίσεως σε θλίψη και κάμψη. Η **εφελκυστική αντοχή** του σκυροδέματος, αν και έχει ουσιαστική σημασία και είναι αποφασιστική για τη συνάφεια και τη ρυγμάτωση, λαμβάνεται υπόψη σε ειδικές μόνο περιπτώσεις.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

Οι κατηγορίες αντοχής του σκυροδέματος φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Αντοχές (Μpa)	Ποιότητες σκυροδέματος								
	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
Θλιπτική fck	12	16	20	25	30	35	40	45	50
Εφελκυστική fctk 0.005	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9
Εφελκυστική fctm	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1
Εφελκυστική fctk 0.95	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3
Διατμητική τRd	0,18	0,22	0,26	0,30	0,34	0,37	0,41	0,44	0,48
Μέτρο Ελαστικότητας Ecm (Gpa)	26	28	29	31	32	34	35	36	37

Όπου ο πρώτος αριθμός κάθε κατηγορίας ορίζει τη χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου fck, ενώ ο δεύτερος τη χαρακτηριστική αντοχή κυβικού δοκιμίου fck,cube σε ΜΡα στις 28 μέρες.

3.1.1.Θλιπτική αντοχή

Η ποιότητα του σκυροδέματος καθορίζεται από τη θλιπτική αντοχή του, η οποία εξαρτάται από:

A) Τη σύνθεση του σκυροδέματος

B) Τη μέθοδο παρασκευής, συμπίκνωσης και συντήρησης

Γ) Την ηλικία του σκυροδέματος. Η αντοχή του σκυροδέματος αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου. Η αύξηση της αντοχής εξαρτάται από το είδος του τσιμέντου, τη σύνθεση του σκυροδέματος και τις συνθήκες περιβάλλοντος

Δ) Τη μορφή και τις διαστάσεις του δοκιμίου, σε σχέση και με τις διαστάσεις των αδρανών

E) Τις συνθήκες του περιβάλλοντος

Γενικά, το σκυροδέμα έχει μεγάλη αντοχή σε θλίψη(12-80MPa).Για σημαντικά έργα η επιρροή των διαφόρων παραγόντων στην αντοχή του σκυροδέματος πρέπει να προσδιορίζεται εργαστηριακά.

Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος μετράται στις 28 μέρες σε κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 150mm και ύψους 300mm ή σε κυβικά δοκίμια ακμής 150mm, σύμφωνα με τις διατάξεις του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος. Χαρακτηριστική αντοχή δοκιμίου είναι εκείνη η τιμή αντοχής για την οποία με πιθανότητα 95% ένα τυχαίο δοκίμιο δεν θα έχει αντοχή μικρότερη από αυτή. Γενικά, η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος αυξάνεται με το χρόνο.

Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος έτοιμου έργου μπορεί να ελεγχθεί ή με τη θραύση κυλινδρικών δοκιμίων, που λαμβάνονται συνήθως από τις πλάκες με τρυπάνια λήψεως πυρήνος (καρρότου), ή με ειδικές μεθόδους χωρίς θραύση των δοκιμίων, όπως είναι: κρούση σφύρας, κλπ. Η ορθή όμως εφαρμογή τους απαιτεί τη χρησιμοποίηση εξειδικευμένου προσωπικού.

3.1.2.Εφελκυστική αντοχή

Η αντοχή σε εφελκυσμό του σκυροδέματος είναι πολύ μικρή και πολύ αναξιόπιστη, δεδομένου ότι επηρεάζεται σημαντικά από την ανομοιόμορφη συστολή ξύρασης, τις θερμοκρασιακές μεταβολές και τους εξωτερικούς εξαναγκασμούς. Η θραύση από υπέρβαση της αντοχής σε θλίψη χαρακτηρίζεται από προοδευτική δημιουργία και διεύρυνση μεγάλου αριθμού ρωγμών διαφόρων διευθύνσεων. Αντίθετα, η θραύση από εφελκυσμό χαρακτηρίζεται από την απότομη θραύση κατά μήκος επιφάνειας κάθετης προς τη διεύθυνση των εφελκυστικών τάσεων.

Η τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος f_{ct} , λαμβάνεται ανάλογα με την οριακή κατάσταση που εξετάζεται και το στάδιο των υπολογισμών, και εκτιμάται βάσει της χαρακτηριστικής αντοχής του σκυροδέματος. Γενικά, η εφελκυστική αντοχή κυμαίνεται από 8-13% της θλιπτικής.

Η εφελκυστική αντοχή ανάλογα με την επιπόνηση, που δημιουργείται, διακρίνεται σε κεντρική, εγκάρσια ή διαρρήξεως και καμπτική. Συνήθως όμως καθορίζεται εμπειρικά ως συνάρτηση της θλιπτικής αντοχής.

Κεντρική

Συνήθως αποφεύγεται ο έλεγχος δοκιμίων σκυροδέματος σε κεντρικό εφελκυσμό παρ' ότι η χρήση των σύγχρονων συγκολλητικών υλικών υψηλής αντοχής επιτρέπει την εκτέλεση του πειράματος χωρίς ουσιώδεις παρενέργειες.

Εγκάρσια ή διαρρήξεως

Καθορίζεται γενικά επί κυλινδρικού δοκιμίου 100, 150, 200 ή 300mm και ύψους ίσου προς το διπλάσιο της διαμέτρου, που φορτίζεται κατά μήκος δυο ακριβώς αντικειμένων γενετειρών

Καμπτική

Χρησιμοποιείται σε ειδικές μόνο περιπτώσεις και κυρίως για τον έλεγχο των οδοστρωμάτων από σκυρόδεμα.

3.1.3. Διαξονική εντατική κατάσταση

Τόσο από τις επιπονήσεις από ροπή κάμψεων και ορθή δύναμη, όσο και από τέμνουσα και ροπή στρέψεως, αναπτύσσεται πεδίο κυρίων θλιπτικών και εφελκυστικών τάσεων, από τις οποίες προκαλείται η θραύση. Είναι πολύ ενδιαφέρουσα επομένως η γνώση της συμπεριφοράς του σκυροδέματος σε τέτοιο πεδίο τάσεων.

3.1.4. Αντοχή κοπώσεως σε θλίψη

Η κόπωση του σκυροδέματος είναι καθοριστική σε δομικά στοιχεία, στα οποία γίνονται εναλλαγές φορτίσεως (π.χ. σε γέφυρες, σε βάσεις μηχανών, σε σεισμική δράση κλπ) μεταξύ μιας κατώτερης θλιπτικής τάσεως σκυ και μιας ανώτερης σθ. Ως αντοχή κοπώσεως καθορίζεται η μέγιστη θλιπτική τάση, που επιτυγχάνεται ύστερα από $2 \cdot 10^6$ εναλλαγές φορτίσεως.

3.2. Παραμορφώσεις

Σε κάθε διατομή που καταπονείται από εντατικά μεγέθη, αναπτύσσονται διάφορες τάσεις, οι οποίες δεν μπορούν να μετρηθούν άμεσα, αλλά έμμεσα από τις παραμορφώσεις που προκαλούν. Για να υπολογισθούν οι τάσεις από τις παραμορφώσεις, θα πρέπει να είναι γνωστός ο νόμος μεταβολής τάσεων-παραμορφώσεων (σ - ϵ).

Ο νόμος του Hooke ή νόμος ελαστικότητας συνδέει τα δυο μεγέθη, την τάση σ και την παραμόρφωση ϵ και παραδέχεται ότι ο λόγος αυτών, που εκφράζεται με το μέτρο ελαστικότητας E , είναι σταθερός, δηλαδή

$$E = \sigma / \epsilon$$

Το μέτρο ελαστικότητας είναι σταθερό για τα διάφορα δομικά υλικά. Στο σκυρόδεμα αυτό συμβαίνει μόνον όταν οι τάσεις καταπόνησης είναι μικρές και σύντομης διάρκειας.

Όταν επιβληθούν στο σκληρυμένο σκυρόδεμα τέτοιες μικρές φορτίσεις προκαλούν **ελαστικές παραμορφώσεις**, που εξαφανίζονται μετά την αποφόρτιση.

Ενώ οι παραμορφώσεις που προκαλούνται από σύντομη ισχυρή καταπόνηση, δεν υποχωρούν τελείως μετά την αποφόρτιση και ονομάζονται **πλαστικές παραμορφώσεις**.

Εκτός από αυτές τις παραμορφώσεις, που είναι ανεξάρτητες με το χρόνο, στο σκυρόδεμα εμφανίζονται και παραμορφώσεις που εξαρτώνται από τον χρόνο. Έτσι, για στατική φόρτιση μεγάλης διάρκειας παρατηρούνται τα παρακάτω φαινόμενα:

A) Ερπυσμός

Για σταθερή ένταση, αύξηση των παραμορφώσεων με το χρόνο.

B) Χαλάρωση

Για σταθερή επιβεβλημένη παραμόρφωση, μείωση της έντασης με το χρόνο.

Γ) Επανάταξη

Για απομάκρυνση της δράσης, που μπορεί να είναι επιβαλλόμενη ένταση ή παραμόρφωση, βαθμιαία επάνοδος του υλικού στη αρχική του κατάσταση.

Δ) Συστολή ξήρανσης

Για παραμονή αρχικά υγρού σκυροδέματος σε ξηρό περιβάλλον, μείωση του όγκου με το χρόνο.

Ε) Διόγκωση διύγρανσης

Για παραμονή αρχικά ξηρού σκυροδέματος σε υγρό περιβάλλον, αύξηση του όγκου με το χρόνο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Κοκκομετρική ανάλυση αδρανών υλικών

4.1.Σκοπός

Το σκυρόδεμα είναι σήμερα το πιο διαδεδομένο δομικό υλικό και παρασκευάζεται από αδρανή υλικά, τσιμέντο και νερό. Ο τσιμεντοπολτός αποτελεί τον συνδετικό ιστό που καλύπτει τους κενούς χώρους μεταξύ των αδρανών υλικών και εμφανίζει χειρότερες μηχανικές ιδιότητες από αυτές των αδρανών. Η γνώση της κατανομής μεγέθους των κόκκων των αδρανών υλικών είναι απαραίτητη, ώστε κατά την παρασκευή σκυροδέματος να είναι δυνατό να υπολογιστούν οι ποσότητες από κάθε είδος αδρανών που πρέπει να αναμιχθούν, έτσι ώστε μεταξύ των αδρανών να υπάρχουν όσο το δυνατό λιγότεροι κενοί χώροι. Οι ποσότητες των αδρανών δηλαδή, πρέπει να είναι τέτοιες ώστε στα κενά μεταξύ των μεγαλύτερων κόκκων να χωρέσουν οι μικρότεροι κόκκοι κλπ. Με τον τρόπο αυτό απαιτείται λιγότερος τσιμεντοπολτός για τη σύνδεση των σκύρων(χαλικιών) και άρα η παρασκευή φτηνού σκυροδέματος και μεγάλης θλιπτικής αντοχής, αφού το τσιμέντο είναι το ακριβότερο υλικό εκ των συστατικών του.

Σκοπός της κοκκομετρικής ανάλυσης είναι η εύρεση της κατανομής μεγέθους κόκκων ενός αδρανούς υλικού και η κατασκευή της σχετικής κοκκομετρικής καμπύλης.

4.2.Βασικές έννοιες

Κοκκομετρική ανάλυση των αδρανών υλικών λέγεται ο προσδιορισμός της αναλογίας με την οποία περιέχονται τα διάφορα μεγέθη κόκκων στο αδρανές υλικό.

Ο κοκκομετρικός διαχωρισμός των αδρανών γίνεται με πρότυπα κόσκινα που έχουν κυκλικές ή τετραγωνικές τρύπες, σύμφωνα με τον αντίστοιχο κανονισμό.

Διαχωρισμός των αδρανών υλικών, ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους:

•α/ Άμμος (0 / 8) $0 < d < 8$

•β/ Γαρμπύλι (8 / 16) $8 < d < 16$

•γ/ Σκύρα (16 / 64) $16 < d < 64$

Η κοκκομετρική σύνθεση των αδρανών επηρεάζει:

–Όλες σχεδόν τις ιδιότητες του κονιάματος (πυκνότητα, αντοχή, υδατοπερατότητα, αντοχή σε παγετό, αντοχή σε φθορά).

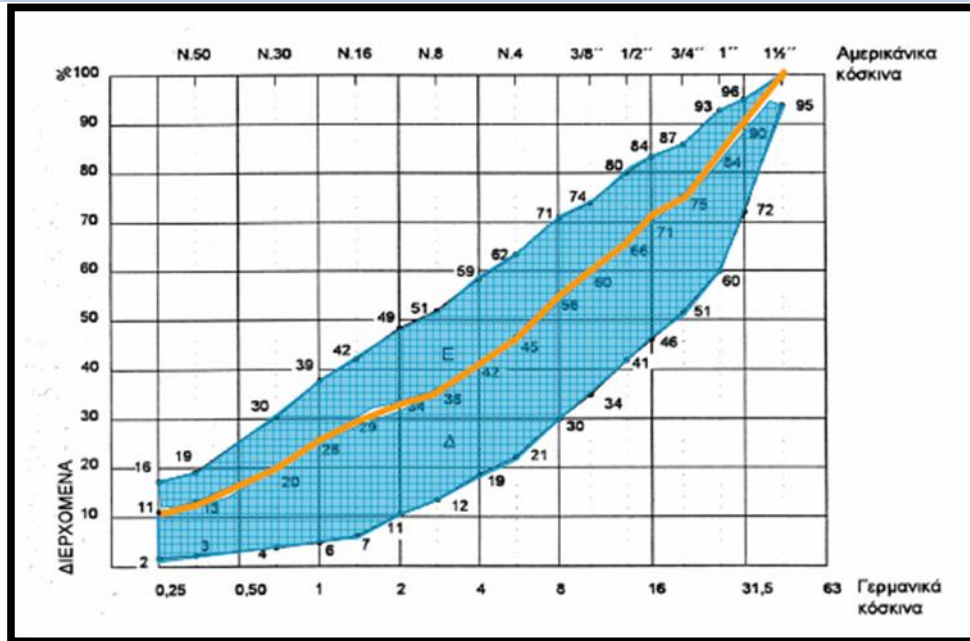
–Την ποιότητα του κονιάματος.

–Το κόστος της κατασκευής.

-Ιδανική κοκκομετρική καμπύλη των αδρανών υλικών είναι η καμπύλη για την παρασκευή μπετόν σύμφωνα με τους κανονισμούς.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.2.1

Στο παρακάτω διάγραμμα ορίζονται οι περιοχές μέσα στις οποίες πρέπει να βρίσκονται οι κοκκομετρικές γραμμές των αδρανών υλικών, ώστε αυτά να είναι κατάλληλα για την παρασκευή σκυροδέματος



Προσδιορισμός της κοκκομετρικής σύνθεσης των αδρανών:

Έχει τεράστια σημασία ο τρόπος που λαμβάνεται το δείγμα των αδρανών, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την κοκκομετρική ανάλυση.

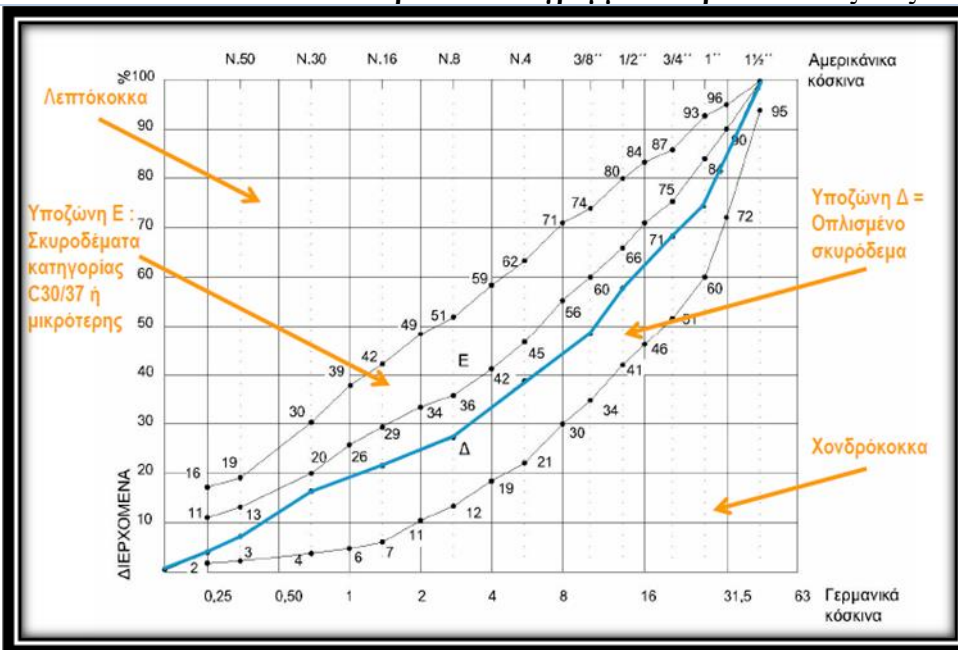
Λήψη δείγματος μόνο από την περιφέρεια του σωρού → Μεγάλη περιεκτικότητα σε μεγάλους κόκκους.

Λήψη δείγματος μόνο από το κέντρο του σωρού → Μεγάλη περιεκτικότητα σε μικρούς κόκκους.

Πολύ καλό ανακάτεμα του σωρού του αδρανούς → Δειγματοληψία.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.2.2

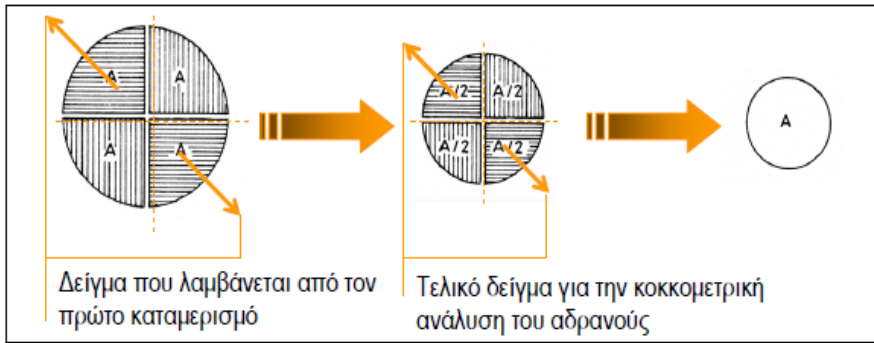
Στο παρακάτω διάγραμμα διακρίνονται οι ζώνες



Δειγματοληψία:

Μέθοδος του τεταρτομερισμού (σχηματιζόμενα τεταρτοκύκλια).

- Λαμβάνεται τετραπλάσια ποσότητα αδρανούς από αυτήν που χρειάζεται για το τελικό δείγμα.
- Φτιάχνεται ένας σωρός με τη μορφή ισοπαχούς δίσκου.
- Χωρίζεται σε 4 τεταρτημόρια με τη βοήθεια του σταυρού διαχωρισμού.
- Από αυτά τα τεταρτημόρια λαμβάνονται 2 κατάκορυφή.
- Φτιάχνεται ένας καινούργιος σωρός με τη μορφή ισοπαχούς δίσκου.
- Ο νέος κύκλος χωρίζεται πάλι σε 4 τεταρτημόρια.
- Λαμβάνονται πάλι 2 κατάκορυφή, που αποτελούν και το τελικό δείγμα

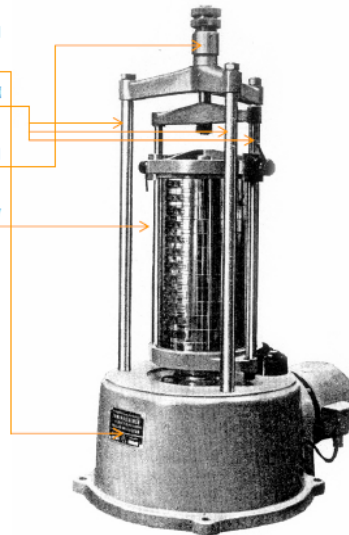


Σημείωση: Για την κοκκομετρική ανάλυση, η ποσότητα του αδρανούς υλικού, που πρέπει να έχει το τελικό δείγμα είναι διαφορετική για κάθε κατηγορία.

Συσκευή κοκκομετρικής ανάλυσης

ΣΥΣΚΕΥΗ

- Η συσκευή αποτελείται από :
- Χαλύβδινη κυκλική βάση, στην οποία είναι προσαρμοσμένος ο ηλεκτροκινητήρας.
- 3 κατακόρυφα κυλινδρικά μεταλλικά στηρίγματα (εσωτερικά και κοντά στην περιφέρεια της βάσης, σε ίσες αποστάσεις).
- Κάλυμμα, με τρεις βραχίονες που ενώνονται στο κέντρο και στηρίζεται στα στηρίγματα με κοχλίες.
- Ομόκεντρο χαλύβδινο πλαίσιο (εσωτερικά των τριών στηριγμάτων και σε μικρή απόσταση από αυτά).
- Δύο αντιδιαμετρικά κατακόρυφα στελέχη, που αποτελούν το ομόκεντρο χαλύβδινο πλαίσιο.



Κόσκινα

Τα Αμερικανικά κόσκινα έχουν κατά ASTM τετραγωνική οπή και συμβολίζονται με το σύμβολο No, που αναγράφεται πριν τον αριθμό του κοσκίνου μέχρι και το κόσκινο No4, ενώ τα μεγαλύτερου ανοίγματος κόσκινα συμβολίζονται με το μέγεθος της οπής σε ίντσες π.χ. 1/2'' Η σειρά των αμερικανικών κοσκίνων (ASTM-E11) με το αντίστοιχο άνοιγμα οπής δίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4.2.1: Σειρά αμερικανικών κοσκίνων κατά ASTM-E 11 με τις διαστάσεις του αντίστοιχου ανοίγματος οπής

κόσκινο	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"
Μέγεθος οπής mm	50	37.5	25	19	12.5	9.5
κόσκινο	No4	No5	No8	No10	No16	No20
Μέγεθος οπής mm	4.75	4	2.36	2	1.18	0.85
κόσκινο	No30	No40	No50	No70	No100	No200
Μέγεθος οπής μm	600	425	300	212	150	75

Ως **μέγιστος κόκκος αδρανούς d(max)**, ορίζεται το μέγεθος της οπής του μικρότερου κόσκινου μιας 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 No4 σε ποσότητα τουλάχιστον 95%.

Ως **παιπάλη** κατά το πρότυπο ASTM, ορίζεται το λεπτόκοκκο κλάσμα το οποίο διέρχεται από το κόσκινο No200 (το οποίο έχει άνοιγμα τετραγωνικής οπής 0,075mm). Η παιπάλη είναι ανεπιθύμητη πάνω από τα καθορισμένα όρια επειδή παρουσιάζει μεγάλη ειδική επιφάνεια και αυξάνει την ποσότητα του νερού που απαιτείται κατά την παρασκευή του σκυροδέματος. Αυτό έχει σαν συνέπεια τη μείωση της αντοχής, διότι η αντοχή του σκυροδέματος εξαρτάται από τον λόγο νερό /τσιμέντο (N/T).

4.3. Διαδικασία κοκκομετρικής ανάλυσης

Τα αδρανή υλικά τα οποία θα ελεγχθούν θα πρέπει να είναι πλυμένα και ξηρά. Τα κόσκινα που θα χρησιμοποιηθούν τοποθετούνται στη διάταξη κοσκίνησης το ένα πάνω στο άλλο από το κόσκινο μεγαλύτερης οπής προς το κόσκινο μικρότερης οπής. Η σειρά των κοσκίνων φέρει κατάλληλο σκεύος στο πυθμένα της, για τη συλλογή του λεπτότερου κλάσματος, που καλείται υποδοχέας. Ο χρόνος κοσκίνησης, σύμφωνα με την προδιαγραφή ASTM-C136, είναι τα δέκα λεπτά. Μετά το τέλος της κοσκίνησης αποσυναρμολογείται η διάταξη και ένα-ένα τα κόσκινα αναδεύονται με το χέρι. Το υλικό που απομένει στο i-κόσκινο και καλείται μερικό συγκρατούμενο (ri), μεταφέρεται στο επόμενο κόσκινο αφού απομακρύνουμε την παιπάλη που έχει μείνει με τη βοήθεια ενός πινέλου. Το μερικό συγκρατούμενο (ri) κάθε κόσκινου ζυγίζεται και στη συνέχεια υπολογίζεται το ολικό συγκρατούμενο Ri, ζυγίζοντας όλα τα συγκρατούμενα μαζί. Επίσης, υπολογίζεται το επί τοις εκατό συγκρατούμενο % Ri και το επί τοις εκατό διερχόμενο %Pi κάθε κόσκινου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Ανακύκλωση

5.1. Η σημασία της

Ανακύκλωση ονομάζουμε την εισαγωγή στην παραγωγική διαδικασία υλικών που θεωρούνται απορρίμματα. Είναι δηλαδή η επεξεργασία ήδη επεξεργασμένων υλικών, αυτών που θεωρούμε «άχρηστα-σκουπίδια», σε μορφή νέων προϊόντων. Υλικά όπως οι πρώτες ύλες από Γυαλί – Πλαστικό – Χαρτί – Μέταλλα – Μπαταρίες- Απορρίμματα Οικοδομών, τα οποία μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, στην παραγωγική διαδικασία.

Αυτή η διαδικασία αποτελεί σημαντική διέξοδο σε προβλήματα που έχουν ανακύψει από την συσσώρευση όλων αυτών των απορριμμάτων μειώνοντας θεαματικά την κατανάλωση πρώτων υλών, την εξοικονόμηση της ενέργειας του πλανήτη μας, αλλά και τη μείωση της ρύπανσής του.

Η επιτυχία της ανακύκλωσης δημιουργεί και μια σειρά από θετικά αποτελέσματα όπως: τη μείωση του όγκου των απορριμμάτων, μείωση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας, των υπόγειων υδάτων αλλά και του εδάφους, εξοικονομείται ενέργεια και δεν εξαντλούνται οι φυσικοί πόροι του πλανήτη. Έτσι επιτυγχάνεται σταδιακή πτώση στις τιμές των προϊόντων, αλλά το σπουδαιότερο αποκτούν όλοι σιγά-σιγά μια διαφορετική αντίληψη για τις φυσικές αξίες του πλανήτη, αποκτούν σεβασμό σε αυτό που η φύση τους δωρίζει, γίνονται πιο υγιείς στη σκέψη και στη δράση δομώντας ένα καλύτερο μέλλον και ένα καθαρότερο παρελθόν.

5.2. Ανακύκλωση δομικών υλικών

Το θέμα της ανακύκλωσης των δομικών υλικών και ιδιαίτερα των δομικών απορριμμάτων που προέρχονται από τις παλιές κατασκευές και αποτελούνται κυρίως από σκυρόδεμα και υλικά τοιχοποιίας, είναι σημαντικό για πολλούς λόγους στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης.

Στο παρελθόν τα κτίρια κατασκευάζονταν από φυσικά υλικά, όπως πέτρα, λάσπη, άχυρο και πυλό, συνεπώς μετά την κατεδάφισή τους, είτε απλώς επέστρεφαν στο φυσικό τους περιβάλλον είτε επαναχρησιμοποιούνταν από γενιά σε γενιά. Αυτό είχε ως συνέπεια τα απορρίμματα των κτιρίων να είναι σχεδόν μηδενικά. Ωστόσο, με το πέρασμα των χρόνων και με τη συνεχή ανάπτυξη της τεχνολογίας των κατασκευαστικών υλικών, τα απορρίμματα των κτιρίων γίνονταν ολοένα και περισσότερα. Επομένως, εκτός από τη μεγάλη εμπεριεχόμενη ενέργεια που περιλαμβάνουν τα υλικά, υπάρχει και το πρόβλημα της διάθεσής τους μετά την κατεδάφιση των κτιρίων. Συνήθως, καταλήγουν στο φυσικό περιβάλλον, προκαλώντας ανεπανόρθωτη ζημιά στο οικοσύστημα.

Η σχέση μεταξύ δόμησης και περιβάλλοντος σημαίνει ότι οποιαδήποτε ενέργεια αφορά την κατασκευή έχει άμεση επίδραση στο περιβάλλον και έχει τέσσερις συνιστώσες:

- λήψη μεγάλων ποσοτήτων πρώτων υλών (αδρανή για την παραγωγή τσιμέντου, σκυροδέματος, κεραμικών) με αποτέλεσμα τη δραστική μείωση των αποθεμάτων του ορυκτού φυσικού πλούτου που διαρκώς υποβαθμίζεται

- κατανάλωση υψηλών ποσοτήτων ενέργειας για την παραγωγή, μεταφορά, χρήση των πρώτων υλών κ.ο. και των τελικών προϊόντων τους.
- εκπομπές μεγάλων ποσοτήτων αερίων όπως CO₂, SO₂, κατά την παραγωγή τους
- δημιουργία τεράστιων όγκων δομικών απορριμμάτων από τις παλιές κατασκευές που είναι εκτός λειτουργίας ή κατεδαφίζονται λόγω νέων απαιτήσεων αλλά και από υλικά κατεδάφισης που προέρχονται από φυσικές καταστροφές (σεισμοί, θύελλες, κ.τ.λ.).

Τα τελευταία χρόνια, παρόλα αυτά, γίνεται προσπάθεια αλλαγής της κατασκευαστικής φιλοσοφίας. Διεθνής πιστοποιήσεις στοχεύουν, εκτός από τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κατασκευών, και στην ελαχιστοποίηση του περιβαλλοντικού του αποτυπώματος. Έτσι, αναλύεται ο κύκλος ζωής του κτιρίου ο οποίος περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1. Πρώτη ύλη

2. Παραγωγή υλικών

3. Συσκευασία - Τυποποίηση

4. Μεταφορά

5. Χρήση - Συντήρηση

6. Ανακύκλωση - Επαναχρησιμοποίηση

7. Απόρριψη

Τα οικοδομικά απορρίμματα αποτελούν μεγάλο μέρος του συνόλου των στερεών απορριμμάτων στις περισσότερες αστικές περιοχές. Σημαντικές ποσότητες οικοδομικών απορριμμάτων προκύπτουν καθημερινά από οικοδομικές εργασίες κάθε είδους, έργα τεχνικών υποδομών, εκσκαφές και φυσικές ή τεχνολογικές καταστροφές. Τα απορρίμματα που παράγονται από τις ανωτέρω δραστηριότητες είναι σχεδόν στο σύνολό τους αδρανή υλικά, δηλαδή υλικά τα οποία δεν υφίστανται καμία σημαντική χημική, φυσική ή βιολογική μετατροπή και για αυτόν τον λόγο μπορούν να θεωρηθούν ιδιαίτερα φιλικά προς το περιβάλλον.

Στην Ελλάδα, μέχρι στιγμής, δεν υπάρχει κάποιο οργανωμένο σύστημα για τη διαχείριση και επαναχρησιμοποίηση των απορριμμάτων που προκύπτουν από τις κατασκευές, τα οποία αν και δεν είναι αποδομήσιμα, είναι ανακυκλώσιμα.

Το σύνολο σχεδόν των οικοδομικών απορριμμάτων στην χώρα μας απορρίπτεται σε ανεξέλεγκτες περιοχές ή διατίθεται για την αποκατάσταση ανενεργών λατομείων χωρίς, όμως, συγκεκριμένες προδιαγραφές. Τέτοιου είδους υλικά είναι το σκυρόδεμα, τα τούβλα, η άσφαλτος, το γυαλί, τα ξύλα, ο χάλυβας, το αλουμίνιο, τα μέταλλα γενικότερα, τα πλαστικά κ.α., τα οποία παράγονται σε τεράστιες ποσότητες και μένουν αναξιοποίητα.

5.3. Διαχείριση και αξιοποίηση αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΚΚ).

Ο όρος απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΚΚ) αναφέρεται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα υλικών, τα οποία χωρίζονται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες ανάλογα με την προέλευσή τους:

α) **Υλικά Εκσκαφών:** Τα υλικά αυτά μπορεί να είναι μητρικά χώματα εκσκαφών, άμμος, χαλίκι, πέτρες, άργιλος και οποιαδήποτε άλλα υλικά που μπορεί να προκύψουν από εκσκαφές. Τα άχρηστα υλικά εκσκαφών υπάρχουν σχεδόν σε κάθε κατασκευαστική δραστηριότητα και ιδιαίτερα στις υπόγειες κατασκευές και σε έργα της γεωτεχνικής μηχανικής. Τα υλικά αυτά μπορούν να προέλθουν και από φυσικά φαινόμενα, όπως για παράδειγμα από υπερχειλίσεις χειμάρρων, κατολισθήσεις σε δρόμους κ.λπ. Η σύσταση των υλικών εκσκαφών εξαρτάται σημαντικά από τα γεωλογικά δεδομένα.

(β) **Υλικά Οδοποιίας:** Τα υλικά αυτά μπορεί να είναι άσφαλτος και οποιαδήποτε άλλα υλικά οδοστρώματος, υλικά βάσεων και υποβάσεων, δηλαδή χαλίκι, άμμος, σκύρα και γενικά υλικά που προκύπτουν από την αποξήλωση και ανακαίνιση οδών. Τα άχρηστα υλικά οδοποιίας προέρχονται όχι μόνο από την αποξήλωση και τη συντήρηση των δρόμων αλλά και από τις υπόγειες υδραυλικές και ηλεκτρικές εγκαταστάσεις πόλεων καθώς και από έργα επιδιόρθωσης αυτών.

(γ) **Υλικά Κατεδαφίσεων-Μπάζα:** Τα υλικά αυτά μπορεί να είναι χώματα, χαλίκι, κομμάτια ή στοιχεία από μπετόν (σκυροδέματα), επιχρίσματα, πλίνθοι (τούβλα), πλάκες επιστρώσεως, γύψος, άμμος, λαξευμένες πέτρες, θρύμματα ειδών υγιεινής κ.λπ. Τα υλικά κατεδαφίσεων χαρακτηρίζονται από μεγάλη ανομοιογένεια και προκύπτουν από την εξολοκλήρου ή επιμέρους κατεδάφιση των κατασκευών. Η σύσταση των υλικών αυτών ποικίλλει ανάλογα με το είδος, την ηλικία, τη μορφή, τη χρήση και το μέγεθος του κτιρίου/κατασκευής, ενώ για την κατεδάφιση σημαντικό ρόλο παίζει η ιστορική πολιτιστική και οικονομική αξία της κατασκευής.

(δ) **Απόβλητα από Εργοτάξια:** Τα απόβλητα αυτά μπορεί να είναι ξύλο, πλαστικό, χαρτί, γυαλί, μέταλλα, καλώδια, χρώματα, βερνίκια, στοιχεία επικαλύψεων προσόψεων, κόλλες και γενικά όλα τα υλικά που προέρχονται από τη λειτουργία εργοταξίων κατασκευής, κατεδάφισης, επισκευής, ενίσχυσης, προσθήκης, επέκτασης και ανακαίνισης. Πρέπει να σημειωθεί ότι μεγάλες ποσότητες άχρηστων υλικών στα εργοτάξια αποτελούν τα υλικά συσκευασίας οικοδομικών υλικών.

Τα περισσότερα υλικά που υπάρχουν στα απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν. Για το λόγο αυτό απαιτείται η απομάκρυνσή τους πριν την έναρξη της κατεδάφισης ή της κατασκευής, διαδικασία πιο επίπονη άλλα και με υψηλότερο κόστος σε σύγκριση με τη συμβατική κατεδάφιση. Επιπλέον είναι απαραίτητος ο προσεκτικός διαχωρισμός, η ταυτοποίηση καθώς και ο έλεγχος των υλικών που προκύπτουν. Για τους παραπάνω λόγους το κόστος ανάκτησης υλικών χαμηλής αξίας όπως τούβλα και πλακάκια είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερο από αυτό της αγοράς νέων υλικών. Σε αντίθεση προϊόντα υψηλότερης αξίας όπως διάφορα μέταλλα και η ξυλεία ήδη ανακτώνται σε κάποιο βαθμό. Για ένα χρησιμοποιημένο προϊόν πρέπει εμπειρικά να αποδειχθεί, ότι μπορεί να επιτελέσει τους σκοπούς για τους οποίους κατασκευάστηκε. Στην περίπτωση που δεν είναι γνωστή η ακριβής χρονική διάρκεια χρήσης ενός υλικού αλλά και πώς αυτό χρησιμοποιήθηκε, τότε είναι

απαραίτητη η διεξαγωγή ελέγχων απόδοσης (performance test), δραστηριότητα με υψηλό κόστος που κρίνεται ασύμφορη ειδικά για μικρές ποσότητες υλικών.

Μέτρα και όροι για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων ως εργασίες αξιοποίησης, θεωρούνται (σε σχέση πάντα με τα αδρανή απόβλητα) οι παρακάτω:

- Ανακύκλωση ή ανάκτηση μετάλλων ή μεταλλικών ουσιών
- Ανακύκλωση ή ανάκτηση άλλων ανόργανων ουσιών
- Κύρια χρήση ως καύσιμο ή άλλο μέσο ανάκτησης ενέργειας
- Χρησιμοποίηση αποβλήτων που λαμβάνονται από τις παραπάνω εργασίες
- Ανταλλαγή αποβλήτων προκειμένου να υποβληθούν σε μία από τις παραπάνω εργασίες
- Αποθήκευση υλικών προκειμένου να υποβληθούν σε μία από τις παραπάνω εργασίες, εκτός από την προσωρινή αποθήκευση, πριν από τη συλλογή τους στο χώρο που παράγονται.

5.4.Ανακύκλωση Αδρανών Αποβλήτων

Η ανάγκη για ανακύκλωση των αδρανών αποβλήτων υπαγορεύεται από το γεγονός ότι η πλειονότητα των αποβλήτων αποτελεί εν δυνάμει χρήσιμο υλικό που μπορεί να εξοικονομήσει τις αντίστοιχες παρθένες πρώτες ύλες.

Σύμφωνα με την ΚΥΑ 113944/97, ανακύκλωση υλικών είναι ο διαχωρισμός ορισμένων ή όλων των υλικών που αποτελούν συστατικά των αποβλήτων έτσι ώστε να αποτελούν εφεξής χρήσιμα υλικά. Τα υλικά αυτά ανακυκλώνονται επανερχόμενα συνήθως σε παραγωγικούς κύκλους, αφού προηγούμενα δεχθούν, εάν απαιτηθεί, κατάλληλη επεξεργασία. Επίσης, ορίζεται ότι ανακύκλωση πραγματοποιείται είτε με διαχωρισμό των αποβλήτων στην πηγή σε δύο ή περισσότερα ρεύματα υλικών και την περαιτέρω ταξινόμησή τους σε κέντρα ανακύκλωσης, είτε με μηχανικό διαχωρισμό σε ειδικές προς τούτο εγκαταστάσεις. Το ειδικότερο ΠΔ για την εναλλακτική διαχείριση των αδρανών αποβλήτων, ορίζει ως ανακύκλωση την επεξεργασία σε διαδικασία παραγωγής των ανακυκλώσιμων υλικών που περιέχονται στα αδρανή απόβλητα, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για τον αρχικό τους σκοπό ή άλλους σκοπούς, πλην της ανάκτησης ενέργειας.

Το εύρος των πιθανών τεχνολογικών λύσεων που μπορούν να εφαρμοσθούν στην ανακύκλωση των ΑΚΚ είναι πολύ μεγάλο και περιλαμβάνει από ένα απλό κινητό θραυστήρα για το ανόργανο κλάσμα των ΑΚΚ μέχρι κεντρικές μονάδες ανακύκλωσης εξοπλισμένες για τη διαχείριση όλων των ρευμάτων των αποβλήτων αυτών. Η επιλογή της καταλληλότερης πρακτικής εξετάζεται ανά περίπτωση και εξαρτάται από τις συνθήκες και τα χαρακτηριστικά του εργοταξίου, καθώς και από τη σύσταση του προς επεξεργασία απόβλητου.

Γενικά, οι πρακτικές διαχείρισης, μπορούν να επιμερισθούν σε τρεις κατηγορίες τεχνολογικών εφαρμογών, ως εξής

A) Περιλαμβάνει κινητές μονάδες θραύσης και διαχωρισμού που είναι κατάλληλες για την επεξεργασία του ανόργανου κλάσματος των ΑΚΚ.

B) Περιλαμβάνει επιπλέον σύστημα απομάκρυνσης των μετάλλων και πιο σύνθετο σύστημα διαχωρισμού και κοσκίνισης, οπότε καθίσταται κατάλληλο για την επεξεργασία ανάμικτων (κυρίως ανόργανων) ΑΚΚ.

Γ) Περιλαμβάνει επιπλέον διαχωρισμό χειρωνακτικά, μονάδα πλύσης και εγκαταστάσεις για την επεξεργασία άλλων ρευμάτων ΑΚΚ (όπως το ξύλο), οπότε καθίσταται κατάλληλο για την επεξεργασία οποιουδήποτε (μικτού και ρυπασμένου με επικίνδυνα υλικά) ΑΚΚ.

-Γενικά, τα προϊόντα λοιπόν που εξάγονται από την επεξεργασία των αδρανών απορριμμάτων μπορούν να αξιοποιηθούν με αντίστοιχη εξοικονόμηση πρώτων υλών σε διάφορες κατηγορίες τεχνικών έργων, όπως αυτοκινητόδρομοι, πεζοδρόμια και παρόμοια έργα. Το ενδιαφέρον εστιάζεται στο ορυκτής προέλευσης κλάσμα (mineral materials), που είναι και το μεγαλύτερο. Από προχωρημένες διεργασίες διαχωρισμού μπορούν να προκύψουν προϊόντα για ένα εύρος εφαρμογών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Σκυρόδεμα από ανακυκλωμένα αδρανή

6.1.Εισαγωγή

Στο πλαίσιο της αειφόρου ανάπτυξης μια εναλλακτική λύση τόσο για τους φυσικούς πόρους, όσο και για τους χώρους ταφής των μπαζών είναι η ανακύκλωση και η χρήση του σκυροδέματος, που προκύπτει από οικοδομικά απορρίμματα και κατεδαφίσεις. Αυτό το «απόβλητο» σκυρόδεμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αδρανές και, επομένως, το σκυρόδεμα με τέτοια ανακυκλωμένα αδρανή αποτελεί υλικό φιλικό προς το περιβάλλον.

Η σχέση μας με το περιβάλλον, η προστασία του, η διατήρηση των ταχύτητα μειούμενων φυσικών πόρων και η ανάγκη να αναγνωρίσουμε τις υποχρεώσεις μας προς τις μελλοντικές γενιές αποτελούν το νόημα και την ουσία της αειφόρου ανάπτυξης. Η οικολογία και η ανακύκλωση στις μέρες μας προκύπτει όχι σαν μόδα, αλλά σαν πραγματική ανάγκη. Στο πλαίσιο αυτό, μια εναλλακτική λύση τόσο για τους φυσικούς πόρους, όσο και για τους χώρους εναπόθεσης των δομικών απορριμμάτων είναι η χρησιμοποίηση του σκυροδέματος, που προκύπτει από οικοδομικά απορρίμματα και κατεδαφίσεις .

Αυτό το «απόβλητο» σκυρόδεμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν αδρανές και, επομένως, το σκυρόδεμα με τέτοια ανακυκλωμένα αδρανή αποτελεί υλικό φιλικό προς το περιβάλλον. Κι αυτό, γιατί σήμερα οι όγκοι του σκυροδέματος που πρέπει να απομακρυνθούν, μεγαλώνουν συνεχώς προκαλώντας σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα . Πολλά τεχνικά έργα κατεδαφίζονται λόγω υπέρβασης των ορίων τους, νέων αναγκών, φυσικών καταστροφών κλπ. Αλλά και οι βιομηχανίες σκυροδέματος δημιουργούν απορρίμματα (στοιχεία προκατασκευής, δοκίμια μετά το σπάσιμο, επιστροφές σκυροδέματος λόγω καθυστερήσεων, μη αποδοχής ή κακού υπολογισμού της ποσότητας).

Τα ανακυκλωμένα αδρανή που προέρχονται από κατεδαφίσεις, συνήθως δεν είναι καθαρά, αφού περιέχουν άλατα, κεραμικά, άμμο, σκόνη, ξυλεία, πλαστικά, κλπ . Αν, επιπλέον, λαμβάνονται από ένα κέντρο ανακύκλωσης, συλλέγονται από διάφορα κτίρια με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν ανομοιογένεια και ασταθείς και με μεγάλες διαφοροποιήσεις ιδιότητες. Αυτό δυσκολεύει τη χρήση τους στην παραγωγή ενός νέου σκυροδέματος. Αντίθετα, τα ανακυκλωμένα που προέρχονται από βιομηχανίες, είναι σχετικά καθαρά με προσκολλημένα σε αυτά μόνο το παλιό τσιμέντο και αφού προέρχονται από τον ίδιο τύπο σκυροδέματος παρουσιάζουν μεγαλύτερη ομοιογένεια, δηλ. λιγότερο διαφοροποιημένες και περισσότερο σταθερές ιδιότητες.

Ανακυκλωμένα αδρανή από κατεδαφισμένο σκυρόδεμα έχουν χρησιμοποιηθεί, κυρίως, σε έργα υποδομής π.χ. οδοστρώματα και σπανιότερα σε άλλα έργα. Έχει δε γίνει αρκετή πειραματική έρευνα στο παρελθόν για τον σχεδιασμό των μειγμάτων και τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες τους , αλλά η ανθεκτικότητα τους έχει μελετηθεί λιγότερο και, κυρίως, η υδατοπερατότητα, η υδατοαπορροφητικότητα, η ενανθράκωση, η συστολή ξήρανσης, καθώς και η αντοχή σε ψύξη απόψυξη.

6.2.Ανακυκλώσιμα αδρανή

Ο όρος «ανακυκλώσιμα αδρανή» χρησιμοποιείται για να περιγράψει όλα τα προϊόντα που παράγονται από δραστηριότητες και διεργασίες ανακύκλωσης, εξαιρουμένης της εξόρυξης σε λατομεία. Διάφορα είδη αποβλήτων και ορυκτών παραπροϊόντων μπορούν να μετατραπούν αποτελεσματικά σε δευτερογενή προϊόντα μέσω ανακύκλωσης. Τα προϊόντα αυτά μπορούν να αντικαταστήσουν τα φυσικά αδρανή ή να αναμιχθούν με αυτά για διάφορες τελικές χρήσεις, εξοικονομώντας ταυτόχρονα μη ανανεώσιμους πόρους και μειώνοντας σημαντικά τη χρήση γης για λατόμευση και τις συνακόλουθες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Με αυτή την έννοια, τα ανακυκλώσιμα αδρανή περιλαμβάνουν επίσης αδρανή παραγόμενα από απόβλητα της εξορυκτικής (μεταλλευτικής) βιομηχανίας.

6.3.Λόγοι που οδηγούν στην ανακύκλωση αδρανών

Το σκυρόδεμα είναι το 2^ο πιο διαδεδομένο δομικό υλικό παγκοσμίως, με παραγωγή πάνω από 6.5 δις m³ ετησίως σε όλο τον κόσμο. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί περίπου σε 2.5 τόνους σκυρόδεμα ανά άτομο ανά έτος, με μόνο το νερό να χρησιμοποιείται περισσότερο και αυτό γιατί ξεπλένεται. Ενώ όμως είναι το σπουδαιότερο δομικό υλικό, δεν μπορεί να χαρακτηριστεί σαν φιλικό προς το περιβάλλον, αφού για την παρασκευή του καταναλώνονται μη ανανεώσιμοι φυσικοί πόροι. Το 40% της παγκόσμιας κατανάλωσης σε ανόργανα υλικά (άμμος, χαλίκια, ασβέστης) διατίθενται στην κατασκευή κτιρίων. Επειδή δε τα αδρανή καταλαμβάνουν το 60 με 80% του όγκου του σκυροδέματος, υπολογίζεται ότι μετά το 2010, η βιομηχανία σκυροδέματος, διεθνώς, θα αναλώνει 8-12 δις τόνους φυσικών αδρανών ετησίως. Αυτή η μεγάλη κατανάλωση θα προκαλέσει μεγάλες καταστροφές στο περιβάλλον. Επιπλέον, τα περισσότερα αδρανή λαμβάνονται με εξορύξεις, οι οποίες δημιουργούν περιβαλλοντικά προβλήματα καθώς και αλλοιώνουν το φυσικό περιβάλλον και δημιουργούν σκόνη και θόρυβο. Επομένως η εξεύρεση κατάλληλων υλικών προς αντικατάσταση των φυσικών αδρανών είναι επείγουσα.

Καθώς λοιπόν το σκυρόδεμα αποτελεί σχεδόν το 75% του βάρους όλων των δομικών υλικών είναι το σημαντικότερο ποσοστό των κατεδαφισμένων αποβλήτων. Αυτή η μεγάλη κατανάλωση θα προκαλέσει μεγάλες καταστροφές στο περιβάλλον. Επιπλέον, τα περισσότερα αδρανή λαμβάνονται με εξορύξεις, οι οποίες δημιουργούν περιβαλλοντικά προβλήματα καθώς και αλλοιώνουν το φυσικό περιβάλλον και δημιουργούν σκόνη και θόρυβο. Επομένως η εξεύρεση κατάλληλων υλικών προς αντικατάσταση των φυσικών αδρανών είναι επείγουσα.

Η μεγάλης κλίμακας ανακύκλωση του κατεδαφισμένου σκυροδέματος θα συμβάλει όχι μόνο στη λύση του προβλήματος διάθεσης των αποβλήτων, αλλά θα βοηθήσει και στη λογική και μειωμένη χρήση των φυσικών αδρανών, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ο μελλοντικός ανεφοδιασμός των νέων υπό ανέγερση κτιρίων και δρόμων σε μεγάλες αστικές περιοχές με ,φθηνότερα αδρανή.

6.4. Διαδικασία παραγωγής ανακυκλωμένου σκυροδέματος

Το χρησιμοποιημένο σκυρόδεμα που συλλέγεται από τοποθεσίες κατεδάφισης, τοποθετείται σε ένα μηχάνημα σύνθλιψης (θραυστήρα). Οι εγκαταστάσεις σύνθλιψης δέχονται μόνο αμόλυντο σκυρόδεμα, το οποίο πρέπει να είναι απαλλαγμένο από σκουπίδια, ξύλο, χαρτί και άλλα τέτοια υλικά. Μέταλλα όπως ο οπλισμός γίνονται δεκτά, δεδομένου ότι μπορούν να απομακρυνθούν με μαγνήτες και άλλες συσκευές διαλογής και αφού τηχθούν να μεταφερθούν για ανακύκλωση σε άλλο μέρος. Τα υπόλοιπα κομμάτια ταξινομούνται κατά μέγεθος. Μεγαλύτερα κομμάτια μπορεί να χρειαστεί να ξαναπεράσουν από το θραυστήρα. Μετά τη σύνθλιψη, τα κομμάτια φιλτράρονται για επιπλέον καθαρισμό μέσα από μια ποικιλία μεθόδων, συμπεριλαμβανομένων τον χειρονακτικό καθαρισμό και της επίπλευσης με νερό.

Η απευθείας σύνθλιψη στο εργοτάξιο χρησιμοποιώντας φορητούς θραυστήρες μειώνει το κόστος κατασκευής και τη ρύπανση που παράγεται σε σχέση με τη μεταφορά των υλικών προς και από ένα λατομείο.

Μεγάλα φορητά μεταφοράς φυτών μπορούν να συντρίψουν μέχρι και 600 τόνους μπάζα σκυροδέματος και ασφάλτου ανά ώρα ή και περισσότερο.

Τα συστήματα αυτά αποτελούνται συνήθως από έναν θραυστήρα, μονάδα διαλογής μπαζών, πλευρά μεταφορέα εκφόρτωσης, καθώς και έναν μεταφορέα επιστροφής στην είσοδο του θραυστήρα για επεξεργασία των υπερμεγεθών υλικών.

Συμπαγείς, αυτόνομοι μικροί θραυστήρες είναι επίσης διαθέσιμοι. Μπορούν να χειριστούν μέχρι 150 τόνους ανά ώρα και χωράνε σε μικρότερες περιοχές. Με την έλευση στην αγορά των εξαρτημάτων που συνδέονται στον εξοπλισμό του εργοταξίου και μπορούν να μεταμορφώσουν για παράδειγμα έναν εκσκαφέα σε θραυστήρα, η τάση της επιτόπου εργοταξιακής ανακύκλωσης αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς. Αυτά τα εξαρτήματα μπορούν να παραλάβουν σκυρόδεμα όγκου των 100 τόνων / ώρα και λιγότερο.

6.5. Η αναγκαιότητα της ανακύκλωσης

Η ανακύκλωση του σκυροδέματος είναι μία εξελισσόμενη μέθοδος, η οποία αξιοποιεί τα παλαιά σκυροδέματα, που προέρχονται από κατεδαφίσεις, σεισμούς ή άλλες καταστρεπτικές ενέργειες (σεισμοί, καταρρεύσεις). Είναι απαραίτητη από οικονομική αλλά και περιβαλλοντική άποψη. Συνήθως στο παρελθόν τα μάζα των οικοδομών μεταφερόντουσαν σε χωματερές ως υλικό πλήρωσεως, με τα γνωστά προβλήματα λόγω ελλείψεως χώρων αποθέσεως. Σε πολλές χώρες της Ευρώπης και Αμερικής η ανακύκλωση εφαρμόζεται με νόμο. Αν το ποσοστό των χρησιμοποιούμενων αδρανών υλικών από ανακύκλωση είναι μικρότερο από το νομοθετημένο ποσοστό σε σχέση με το συνολικό όγκο σκυροδέματος, η άδεια οικοδομήσεως αφαιρείται. Το ποσοστό αυτό κυμαίνεται σήμερα μεταξύ 20 και 30%, θα αυξηθεί όμως σύντομα.

Υπάρχουν μια ποικιλία από οφέλη στον τομέα της ανακύκλωσης σκυροδέματος της απόθεσής του για ταφή ή σε χώρο υγειονομικής ταφής:

- Κρατώντας συγκεκριμένα κομμάτια έξω από τους χώρους υγειονομικής ταφής εξοικονομείται χώρος 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 CO₂
- Χρήση ανακυκλωμένου σκυροδέματος ως το βασικό υλικό για οδοστρώματα μειώνει την ρύπανση που προέρχεται από τη μεταφορά με φορτηγά.

Η ανακύκλωση έχει πολλά πλεονεκτήματα, έτσι ώστε με την αυξημένη ευαισθησία για την προστασία του περιβάλλοντος, τους αυστηρότερους περιβαλλοντικούς νόμους και την προσπάθεια να ελαχιστοποιηθεί το κόστος των κατασκευών, να αποτελεί αναγκαιότητα και καθήκον. Ένα ακόμη πλεονέκτημα της ανακύκλωσης είναι η παραγωγή άμμου ελεγχόμενης κοκκομετρικής διαβάθμισης και ποσοστού παιπάλης, το οποίο οφείλεται στις σύγχρονες μεθόδους πλύσεως του λεπτόκοκκου υλικού. Τελευταία οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης προδιαγράφει ποσοστό ανακύκλωσης από διάφορες κατασκευές και κατεδαφίσεις μέχρι το 2020 της τάξεως του 70%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Πειραματικό μέρος

7.1.Σκοπός του πειράματος

Σκοπός του εργαστηριακού μέρους της εργασίας αυτής είναι η διερεύνηση και η σύγκριση των θλιπτικών αντοχών στις 7 και 28 ημέρες ωρίμανσης των δοκιμίων από ανακυκλωμένο σκυρόδεμα με προσθήκη ποζολάνης, με τα αντίστοιχα αρχικά δοκίμια από σκυρόδεμα C25/30.

7.2.Μελέτη σύνθεσης και παρασκευή σκυροδέματος C25/30 S3 με προσθήκη υπερρυστοποιητή

Η σύνθεση που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή του αρχικού σκυροδέματος είναι η παρακάτω και αφορά όγκο 1 m³.

ΝΕΡΟ	ΤΣΙΜΕΝΤΟ	ΑΜΜΟΣ	ΓΑΡΜΠΙΛΙ	ΧΑΛΙΚΙ
189kg	330kg	920kg	210kg	740kg

Μετά την αναγωγή των παραπάνω σε όγκο 18 κυβικών και 9 κυλινδρικών δοκιμίων (0,109m²) έχουμε:

ΝΕΡΟ	ΤΣΙΜΕΝΤΟ	ΑΜΜΟΣ	ΓΑΡΜΠΙΛΙ	ΧΑΛΙΚΙ
20.601kg	35.97kg	100.28kg	22.89kg	80.66kg

Στη συνέχεια αυτές οι ποσότητες αυξήθηκαν κατά 10%, οπότε η τελική σύνθεση έχει ως εξής:

ΝΕΡΟ	ΤΣΙΜΕΝΤΟ	ΑΜΜΟΣ	ΓΑΡΜΠΙΛΙ	ΧΑΛΙΚΙ
22.66kg	39.367kg	110.308kg	25.179kg	88.726kg

Στη παρασκευή του σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκε υπερρυστοποιητής με αναλογία 0.8% ως προς το τσιμέντο, οπότε λαμβάνοντας υπόψη και την αύξηση των υλικών κατά 10% χρησιμοποιήθηκαν **0.319kg υπερρυστοποιητή**.

Πρέπει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο πως το τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των αρχικών καθώς και των ανακυκλωμένων δοκιμίων είναι **ενισχυμένο** και έχει ως βάση κλίνκερ τύπου Πόρτλαντ με πρόσθετα (συνδετικά). Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1, αυτό είναι ένα Σύνθετο Πόρτλαντ Τσιμέντο CEM II/B-M (P-W-L) 42,5N κατηγορίας αντοχής 42,5. Αυτό αναφέρεται γιατί σε σύγκριση με το Τσιμέντο CEM I είναι ανθεκτικότερο στην προσβολή θεικών και έχει χαμηλότερη

θερμότητα ενυδάτωσης, ιδιότητες που πιθανόν να επηρεάσουν την τελική αντοχή του παρασκευασμένου σκυροδέματος.

Φωτογραφία.7.1

Ανάμειξη σκυροδέματος με ηλεκτρική μπετονιέρα



Κατά σειρά ανάμειξης, τοποθετήθηκαν αρχικά στην μπετονιέρα η μισή ποσότητα νερού και χαλικιού, και σταδιακά τα υπόλοιπα υλικά χωρισμένα σε κλάσματα με σκοπό την καλύτερη δυνατή ανάμειξή τους. Στο τελευταίο στάδιο της ανάμειξης προστέθηκε και η απαιτούμενη ποσότητα υπερρρευστοποιητή.

Την ανάμειξη του νωπού σκυροδέματος ακολούθησε η δοκιμή κάθισης με την πρότυπη διαδικασία, ώστε να επιβεβαιωθεί πως το δείγμα ήταν κατηγορίας S3, όπου διαπιστώθηκε **κάθιση της τάξης των 11cm**, που επιβεβαιώνει τη μελέτη σύνθεσης

Φωτογραφία.7.2

Δοκιμή κάθισης



Ακολούθησε η διάστρωση του σκυροδέματος στις κυβικές (15x15x15) και στις κυλινδρικές (30x15) μήτρες αρχικά μέχρι το μέσο τους.

Στη συνέχεια οι μήτρες τοποθετήθηκαν στη μηχανή δόνησης και δονήθηκαν για περίπου 30 δευτερόλεπτα, έως ότου δηλαδή να δραπετεύσει το μεγαλύτερο μέρος του αέρα που υπήρχε μέσα τους. Μετά από την πρώτη δόνηση, οι μήτρες γέμισαν έως την άνω ακμή τους και τοποθετήθηκαν ξανά στη μηχανή δόνησης για την δεύτερη φάση της δόνησης..

Τέλος, η άνω επιφάνεια των μητρών επιπεδώθηκε και καθαρίστηκε με μυστρί.

Φωτογραφία.7.3

Δόνηση μητρών στη μηχανή δόνησης



Για την σωστή πήξη του σκυροδέματος και την αποφυγή ρωγμών από τη συστολή ξήρανσης ,οι μήτρες τοποθετήθηκαν στον εσωτερικό χώρο του εργαστηρίου και καλύφθηκαν με υγρά πανιά σε όλη τους την ελεύθερη επιφάνεια

Φωτογραφίες.7.4 & 7.5

Κυβικές και κυλινδρικές μήτρες σκυροδέματος



7.2.1. Ξεκαλούπωμα δοκιμίων, μέτρηση διαστάσεων, και συντήρηση σε νερό

Την επόμενη μέρα της σκυροδέτησης τα δοκίμια ξεκαλονπώθηκαν από τις μήτρες μετρήθηκαν οι διαστάσεις τους με τη χρήση ηλεκτρονικού μικρομέτρου και τοποθετήθηκαν στην πισίνα του εργαστηρίου, όπου θα ωριμάσουν βυθισμένα σε νερό για 28 μέρες. Στην συνέχεια οι μήτρες καθαρίστηκαν και λιπάνθηκαν με ορυκτέλαιο ώστε να είναι έτοιμες για την επόμενη σκυροδέτηση.

Φωτογραφίες.7.6 & 7.7

Ξεκαλούπωμα δοκιμίων



Ακολούθησε η συντήρηση των δοκιμίων μέσα σε νερό (όπως βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα), ώστε να εξασφαλιστούν η παροχή υγρασίας στα δοκίμια στις επιφάνειες μέσω αποφυγής της εξάτμισης και/ή προσθήκη υγρασίας για αντικατάσταση του απολεσθέντος νερού, η κατάλληλη θερμοκρασία και η προφύλαξη του σκυροδέματος από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Φωτογραφία.7.8

Δοκίμια βυθισμένα σε νερό



7.2.2. Δοκιμή αντοχών 7 ημερών

Μετά την πάροδο των 7 ημερών από την μέρα της σκυροδέτησης, δυο κυβικά δοκίμια τοποθετήθηκαν στην υδραυλική πρέσα του εργαστηρίου για να θραυστούν, ώστε να υπολογιστεί η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος στις 7 μέρες, και να υπάρξει μια αρχική εικόνα για τις αντοχές των 28 ημερών.

Πρέπει επίσης να αναφερθεί, πως η δοκιμή θλιπτικής αντοχής 7 ημερών θεωρητικά αντιπροσωπεύει το 60-80% της πραγματικής αντοχής των 28 ημερών, γεγονός όμως που επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, με αποτέλεσμα ο υπολογισμός των αντοχών των 28 ημερών με βάση τις αντοχές των 7, να στερείται μεγάλης αξιοπιστίας.

Τα δύο κυβικά δοκίμια βγήκαν από το υγρό περιβάλλον όπου ωρίμαζαν για 7 ημέρες και αφήθηκαν σε κλειστό περιβάλλον για να στεγνώσουν επιφανειακά και ξανά μετρήθηκαν οι διαστάσεις τους με τη χρήση ηλεκτρονικού μικρομέτρου.

Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν στην υδραυλική πρέσα και πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές θλίψης, όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία:

Φωτογραφία.7.9

Διαδικασία δοκιμής θλίψης στην υδραυλική πρέσα. Δοκίμιο τοποθετημένο στο κέντρο των κυκλικών επιφανειών



Τα αποτελέσματα των δοκιμών θλίψης έχουν ως εξής:

7 ημέρες	Κύβος Νο 16	Κύβος Νο 12
Δύναμη θραύσης (KN)	800.65	806.87
Επιφάνεια (m ²)	0.0225	0.0225
Τάση θραύσης (MPa)	35.58	35.86

-Μέσος όρος τάσης θραύσης κυβικών δοκιμίων για τις 7 μέρες: **35,72 MPa**

-**Παρατηρούμε**, πως οι αντοχές των δοκιμίων είναι ήδη αρκετά υψηλές ως προς το όριο ασφάλειας των 30MPa, γεγονός που σημαίνει πως στις 28 ημέρες ακόμα μεγαλύτερη αντοχή σε θλίψη.

-Τα θραύσματα από τις δοκιμές θλίψης αποθηκεύτηκαν με σκοπό την χρησιμοποίησή τους στην ανακυκλωμένη σύνθεση σκυροδέματος.

7.2.3. Δοκιμή αντοχών 28 ημερών

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία και στις 28 ημέρες ωρίμανσης τα δοκίμια αφέθηκαν να στεγνώσουν επιφανειακά και ξανά μετρήθηκαν οι διαστάσεις τους. Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν στην υδραυλική πρέσα και πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές θλίψης.

Φωτογραφίες.7.10 & 7.11

Α) Διαδικασία δοκιμής θλίψης σε κυβικό δοκίμιο Β) Διαδικασία δοκιμής θλίψης σε κυλινδρικό δοκίμιο



Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα της δοκιμής θλίψης των **28 ημερών**:

<i>Δοκίμιο 28 μέρες</i>	<i>Δύναμη θραύσης (KN)</i>	<i>Επιφάνεια (m²)</i>	<i>Τάση θραύσης (MPa)</i>
<i>Κύβος 1</i>	1008.56	0.0225	44.82
<i>Κύβος 2</i>	1014.96	0.0225	45.11
<i>Κύβος 3</i>	1006.98	0.0226	44.56
<i>Κύβος 4</i>	985.46	0.0225	43.79
<i>Κύβος 5</i>	969.46	0.0225	43.09
<i>Κύβος 6</i>	964.21	0.0226	42.66
<i>Κύβος 7</i>	988.73	0.0226	43.75
<i>Κύβος 8</i>	983.43	0.0225	43.71
<i>Κύβος 9</i>	956.74	0.0226	42.33
<i>Κύβος 11</i>	1052.30	0.0227	46.36
<i>Κύβος 13</i>	976.15	0.0225	43.84
<i>Κύβος 14</i>	1030.86	0.0225	45.82
<i>Κύβος 15</i>	967.47	0.0225	42.99
<i>Κύλινδρος 17</i>	411.84	0.0177	23.27
<i>Κύλινδρος 24</i>	463.29	0.0178	26.03
<i>Κύλινδρος 25</i>	350.89	0.0175	20.05

-Μέσος όρος τάσης θραύσης κυβικών δοκιμίων για τις 28 μέρες: **44.06MPa**

-Μέσος όρος τάσης θραύσης κυλινδρικών δοκιμίων για τις 28 μέρες: **23.12MPa**

-**Παρατηρούμε**, ότι η θλιπτική αντοχή των κυβικών δοκιμίων ξεπερνά κατά πολύ το όριο ασφάλειας που είναι τα 30MPa και είναι μια πάρα πολύ ικανοποιητική τιμή. Σε αντίθεση με την θλιπτική αντοχή των κυλινδρικών δοκιμίων που δεν πληροί τις απαιτούμενες προϋποθέσεις.

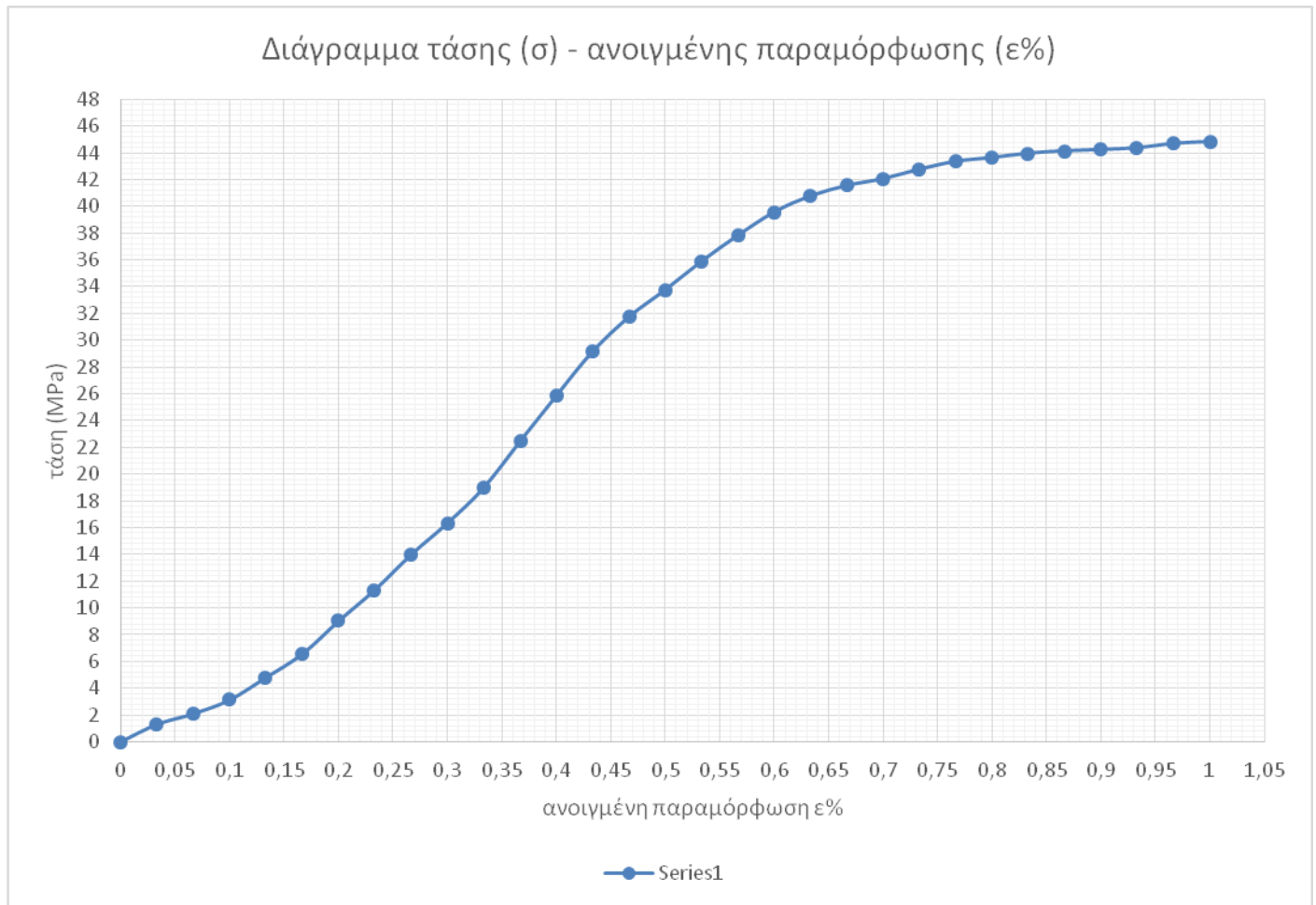
-**Αντιπροσωπευτικό διάγραμμα τάσης σ(MPa)-ανοιγμένης παραμόρφωσης ε% για τα κυβικά δοκίμια των 28 ημερών.**

Θα κατασκευαστεί διάγραμμα τάσης-ανοιγμένης παραμόρφωσης του **κύβου 1** με **εμβαδό=0.0225m²**, **δύναμη θραύσης=1008.56KN** και **τάση θραύσης=44.82MPa**

Όπου, **ΔL** μετατόπιση ανά **0.05mm** και **L=0.15m** (μήκος ακμής κύβου), **ε=(ΔL/L)*100**(ανοιγμένη παραμόρφωση)

Ανοιγμένη παραμόρφωση ε%	Δύναμη (KN)	Τάση (MPa)
0	0	0
0,033	29,25	1,3
0,067	47,25	2,1
0,1	70,43	3,13
0,133	107,75	4,79
0,167	148,05	6,58
0,2	203,17	9,03
0,233	254,92	11,33
0,267	315,22	14,01
0,3	367,65	16,34
0,333	426,6	18,96
0,367	506,02	22,49
0,4	581,85	25,86
0,433	655,65	29,14
0,467	714,72	31,76
0,5	759,60	33,76
0,533	807,07	35,87
0,567	851,62	37,85
0,6	890	39,56
0,633	917,10	40,76
0,667	935	41,55
0,7	946,08	42,05

Ανοιγμένη παραμόρφωση ε%	Δύναμη (KN)	Τάση (MPa)
0,733	961,87	42,75
0,767	975,38	43,35
0,8	981,67	43,63
0,833	988,87	43,95
0,867	992,92	44,13
0,9	995,17	44,23
0,933	998	44,36
0,967	1005,52	44,69
1,00	1008,56	44,82



-Μέτρο ελαστικότητας E(GPa)

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{3,13 \text{ MPa}}{0,1\%} = 31,3 \text{ GPa}$$

-Άρα το σκυρόδεμα είναι όντως κατηγορίας C25/30

7.3.Θραύση δοκιμίων και επαναχρησιμοποίηση στο ανακυκλωμένο σκυρόδεμα

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν στις αντοχές θλίψης αρχικά αποθηκεύτηκαν και στη συνέχεια θραύστηκαν με χρησιμοποίηση χαλύβδινης βαριοπούλας, όπως φαίνεται στις φωτογραφίες που ακολουθούν:

Φωτογραφίες 7.12 & 7.13

Θραύση δοκιμίων χειρωνακτικά



Η πειραματική αυτή διαδικασία θραύσης των δοκιμίων είχε ως σκοπό τα μεγαλύτερα σε κόκκο θραύσματα να έχουν μέγεθος ελάχιστα μεγαλύτερο από τον μέγιστο αποδεκτό κόκκο του χαλικιού.

Αυτό συνέβη διότι το επόμενο βήμα του εργαστηριακού μέρους ήταν η τοποθέτηση των θραυσμάτων στην μηχανή **Los Angeles**, όπου μειώθηκε το μέγεθος των κόκκων του δείγματος, ώστε να ικανοποιεί τα απαιτούμενα μεγέθη κόκκων για σκυροδέτηση.

Τα θραύσματα του σκυροδέματος στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στη μηχανή Los Angeles, ανά 10 κιλά κάθε φορά (λόγω της χωρητικότητάς της), και αλέστηκαν για 200 στροφές.

Φωτογραφία.7.14

Δοκιμή Los Angeles σε λειτουργία



Διαπιστώθηκε κατά τη διαδικασία ότι η μηχανή Los Angeles αύξησε σημαντικά την ποσότητα **παιπάλης** στο δείγμα μας, λόγω της κονιορτοποίησης του τσιμέντου που περιείχε το δείγμα, γεγονός που όμως ήταν αναμενόμενο.

Φωτογραφία.7.15

Κοσκίνισμα υλικού



Επίσης, διαπιστώθηκε πως μερικά από τα εξερχόμενα από την μηχανή Los Angeles θραύσματα χαλκικών είχαν μεγαλύτερο κόκκο από τον επιθυμητό, και για τον λόγο αυτό το υλικό κοσκινίστηκε χειρωνακτικά με το κόσκινο της μιάμισης **ίντσας 1 ½'**, ώστε οι μη αποδεκτοί κόκκοι να αφαιρεθούν από το δείγμα.

7.3.1. Διαχωρισμός των αδρανών με κοσκίνισμα στη μηχανή κοσκίνισματος

Για να επαναχρησιμοποιηθεί το υλικό μας στην παρασκευή του ανακυκλωμένου σκυροδέματος, απαιτούνταν να χωριστεί σε χαλίκι, γαρμπίλι και άμμο.

Για να γίνει ο διαχωρισμός αυτός, ολόκληρο το υλικό κοσκινίστηκε στη μηχανή κοσκίνισματος, χρησιμοποιώντας μόνο τα ονομαστικά μεγέθη κοσκίνων για το κάθε αδρανές, ώστε να ικανοποιούνται τα προβλεπόμενα όρια μεγέθους για το καθένα.

-Τοποθετήθηκαν κατά σειρά τα κόσκινα:

3/4 ′′, 3/8 ′′, Νο4, Νο200

Η διαδικασία κοσκίνισματος διήρκεσε 5 λεπτά ανά φορά και είχε ως αποτέλεσμα το διαχωρισμό των αδρανών με αρκετά μεγάλη ακρίβεια.

Πρέπει επίσης να σημειωθεί πως κατά τη διαδικασία αυτή, η παιπάλη που συγκεντρώθηκε στον υποδοχέα της μηχανής αφαιρέθηκε από το δείγμα των αδρανών διότι όπως αναφέρθηκε νωρίτερα το ποσοστό της ήταν υπερβολικά υψηλό.

Φωτογραφίες, 7.16 & 7.17

α) Κοσκίνισμα υλικού στη μηχανή κοσκίνισματος β) Παιπάλη που αφαιρέθηκε από το δείγμα



7.3.2.Κοκκομετρική ανάλυση κανονικών αδρανών για παρασκευή σκυροδέματος C25/30 S3

Στην συνέχεια, κάναμε μια κοκκομετρική ανάλυση στα **κανονικά αδρανή** που είχαν χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή του αρχικού σκυροδέματος C25/30 με κάθιση S3 με σκοπό να υπάρξει μια εικόνα για την κοκκομετρική διαβάθμισή τους, που θα βοηθούσε καλύτερα στην κοκκομετρική ανάλυση των ανακυκλωμένων αδρανών που θα κάναμε στη συνέχεια.

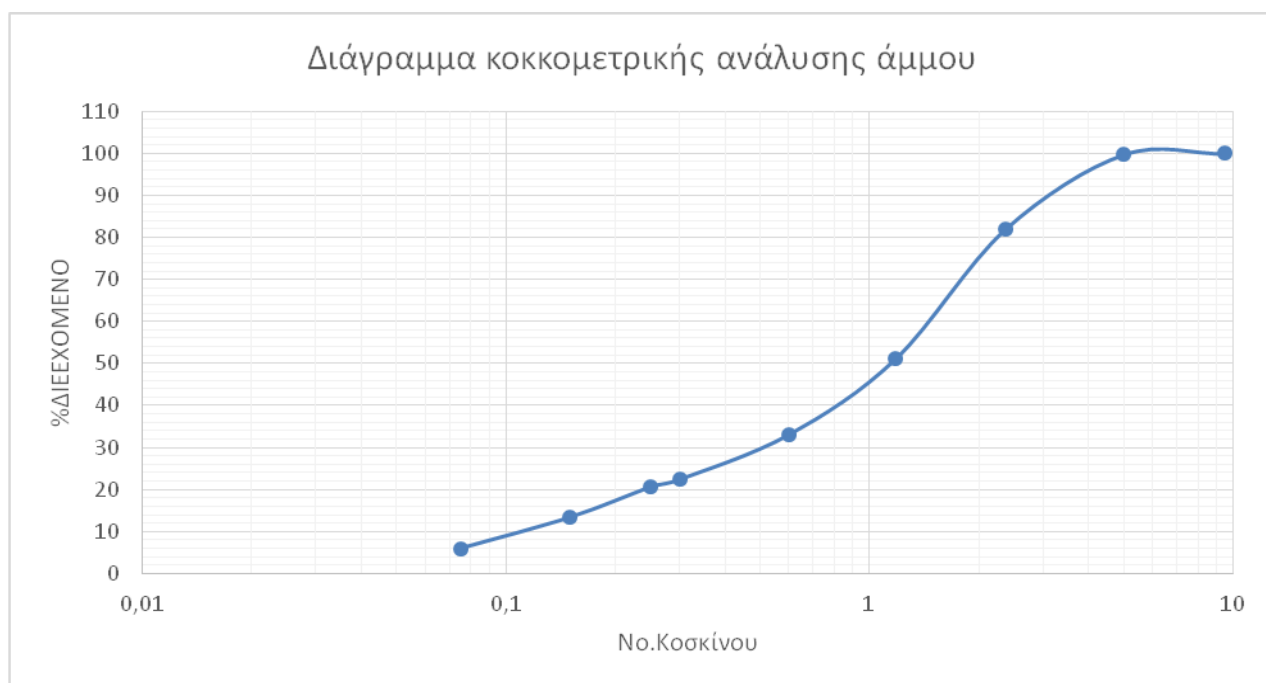
-Για να γίνει η κοκκομετρική πήραμε ποσότητα για 2 κύβους(15x15x15) = 0.00675 m³

Άμμος (kg)	Χαλίκι (kg)	Γαρμπίλι (kg)
6,21	4.995	1.4175

Τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων φαίνονται στους παρακάτω πίνακες και τα αντίστοιχα διαγράμματα:

Πίνακας 1.Κοκκομετρική ανάλυση άμμου

Κόσκινο ASTM E11 (in)	Άνοιγμα βροχίδας (mm)	Μερικό συγκρατούμενο <i>r</i> (g)	Ολικό συγκρατούμενο <i>R</i> (g)	%Ολικό συγκρατούμενο % <i>R</i>	%Ολικό διερχόμενο % <i>P</i>
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100
No4	5.00	11.5	11.5	0.19	99.81
No8	2.36	1073	1084.5	18.04	81.96
No16	1.18	1854	2938.5	48.89	51.11
No30	0.6	1086.5	4025	66.97	33.03
No50	0.3	642.5	4667.5	77.66	22.34
No60	0.25	65.5	4773	79.42	20.58
No100	0.15	474.5	5207.5	86.65	13.35
No200	0.075	446	5653.5	94.07	5.93
Υποδοχέας Περ.	356.5				
Ολικό βάρος	200				
	6010				



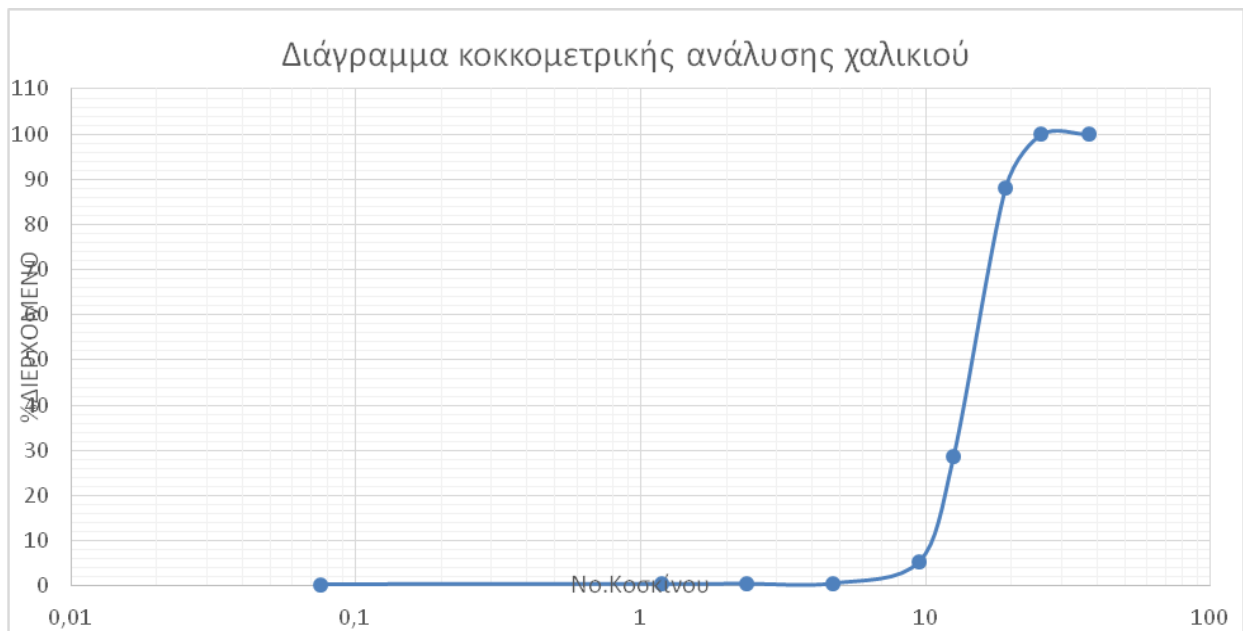
Πίνακας 2.Κοκκομετρική ανάλυση γαρμπιλιού

<i>Κόσκινο ASTM E11 (in)</i>	<i>Άνοιγμα βροχίδας (mm)</i>	<i>Μερικό συγκρατούμενο r(g)</i>	<i>Ολικό συγκρατούμενο R(g)</i>	<i>%Ολικό συγκρατούμενο %R</i>	<i>%Ολικό διερχόμενο %P</i>
1 ½"	37.5	0	0	0	100
1"	25.4	0	0	0	100
¾"	19	13	13	0.92	99.08
½"	12.5	298.5	311.5	21.98	78.02
3/8"	9.5	1026.5	1338	94.42	5.58
No4	4.75	53	1391	98.16	1.84
No8	2.36	13	1404	99.08	0.92
No16	1.18	2	1406	99.22	0.78
No200	0.075	3	1409	99.43	0.57
Υποδοχέας Περ.	8 0.5				
Ολικό βάρος	1417				



Πίνακας 3.Κοκκομετρική ανάλυση χαλκιού

Κόσκινο ASTM E11 (in)	Άνοιγμα βροχίδας (mm)	Μερικό συγκρατούμενο r(g)	Ολικό συγκρατούμενο R(g)	%Ολικό συγκρατούμενο %R	%Ολικό διερχόμενο %P
1 1/2"	37.5	0	0	0	100
1"	25.4	0	0	0	100
3/4"	19	595.5	595.5	11.92	88.07
1/2"	12.5	2965.5	3561	71.30	28.69
3/8"	9.5	1161	4722	94.55	5.44
No4	4.75	245	4967	99.46	0.54
No8	2.36	6	4973	99.58	0.42
No16	1.18	1	4974	99.59	0.41
No200	0.075	3.5	4977.5	99.67	0.33
Υποδοχέας Περ.	16.5 1				
Ολικό βάρος	4994				



7.3.3.Κοκκομετρική ανάλυση των ανακυκλωμένων αδρανών

Επόμενο βήμα, ήταν η **πειραματική** διαδικασία κοκκομετρικής των αδρανών με σκοπό να υπάρξει μια εικόνα για την κοκκομετρική διαβάθμισή τους.

Το χαλίκι, το γαρμπίλι και η άμμος ζυγίστηκαν στην ηλεκτρονική ζυγαριά του εργαστηρίου και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στην μηχανή κοσκινίσματος όπου κοσκινίστηκαν για 10 λεπτά το καθένα.

Φωτογραφίες.7.18 & 7.19

Διαδικασία κοκκομετρικής ανάλυσης



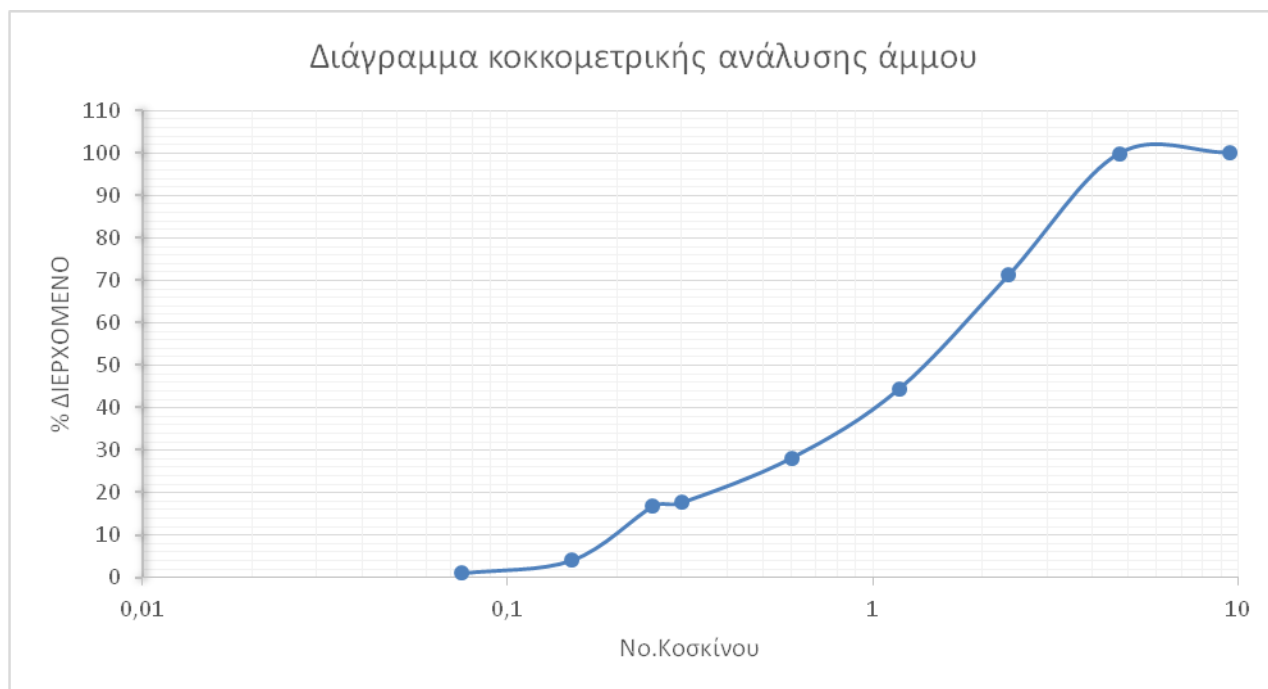
Φωτογραφίες.7.20 & 7.21



Τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων φαίνονται στους παρακάτω πίνακες και τα αντίστοιχα διαγράμματα:

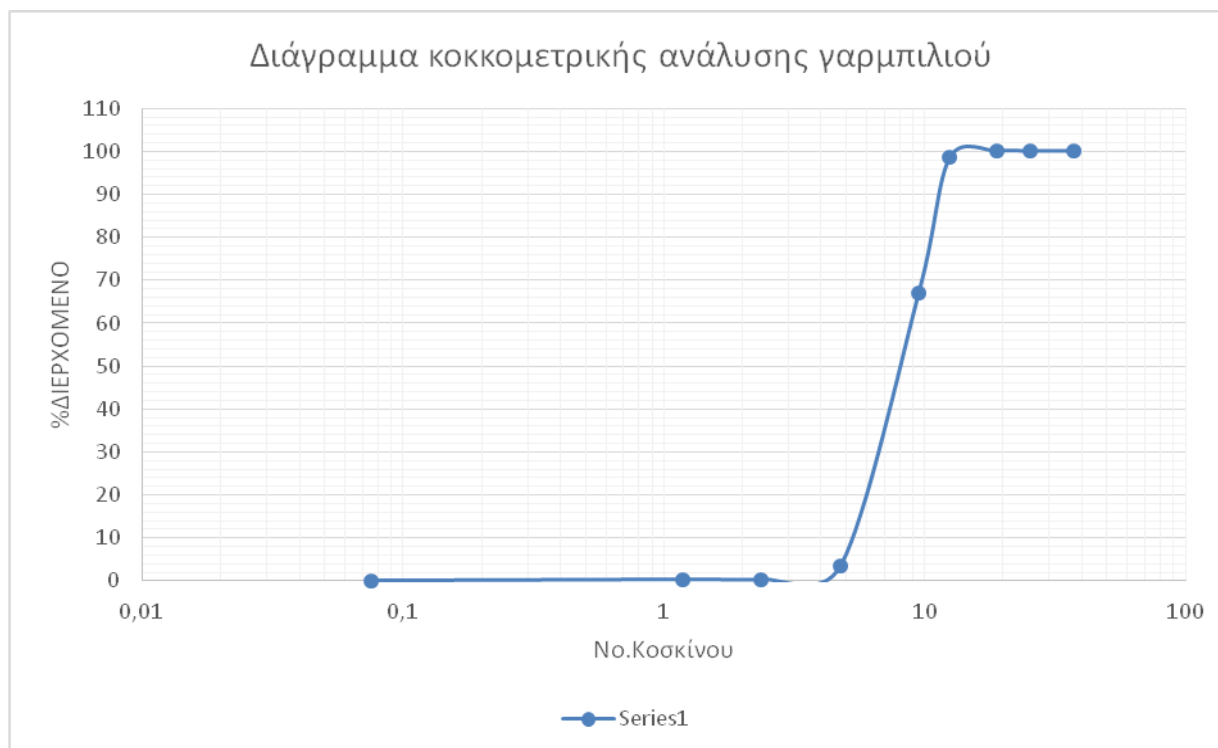
Πίνακας 1.Κοκκομετρική ανάλυση άμμου

Κόσκινο ASTM E11 (in)	Άνοιγμα βροχίδας (mm)	Μερικό συγκρατούμενο $r(g)$	Ολικό συγκρατούμενο $R(g)$	%Ολικό συγκρατούμενο %R	%Ολικό διερχόμενο %P
3/8"	9.5	0	0	0	100
	5.00	7	7	0.11	99.89
No4					
No8	2.36	1772	1779	28.75	71.25
No16	1.18	1661	3440	55.6	44.4
No30	0.6	1001.5	4441.5	71.79	28.21
No50	0.3	648	5089.5	82.26	17.74
No60	0.25	55	5144.5	83.15	16.85
No100	0.15	787	5931.5	95.87	4.13
No200	0.075	189.5	6121	98.93	1.07
Υποδοχέας Περ.	66 0.15				
Ολικό βάρος	6187				



Πίνακας 2.Κοκκομετρική ανάλυση γαρμπιλιού

<i>Κόσκινο ASTM E11(in)</i>	<i>Άνοιγμα βροχίδας (mm)</i>	<i>Μερικό συγκρατούμενο r(g)</i>	<i>Ολικό συγκρατούμενο R(g)</i>	<i>%Ολικό συγκρατούμενο %R</i>	<i>%Ολικό διερχόμενο %P</i>
1 ½"	37.5	0	0	0	100
1"	25.4	0	0	0	100
¾"	19	0	0	0	100
½"	12.5	20.5	20.5	1.45	98.55
3/8"	9.5	445	465.5	32.85	67.15
No4	4.75	902.5	1368	96.54	3.46
No8	2.36	43.5	1411.5	99.61	0.39
No16	1.18	0.5	1412	99.65	0.35
No200	0.075	4	1416	99.93	0.07
Υποδοχέας	1				
Περ.	1.5				
Ολικό βάρος	1417				



Πίνακας 3.Κοκκομετρική ανάλυση χαλκιού

Κόσκινο ASTM E11(in)	Ανοιγμα βροχίδας (mm)	Μερικό συγκρατούμενο <i>r</i> (g)	Ολικό συγκρατούμενο <i>R</i> (g)	%Ολικό συγκρατούμενο % <i>R</i>	%Ολικό διερχόμενο % <i>P</i>
1 1/2"	37.5	0	0	0	100
1"	25.4	370.5	370.5	7.42	92.58
3/4"	19	1337	1707.5	34.22	65.78
1/2"	12.5	2988.5	4696	94.09	5.91
3/8"	9.5	280.5	4976.5	99.72	0.28
No4	4.75	2.5	4979	99.77	0.23
No8	2.36	1	4980	99.79	0.21
No16	1.18	0.5	4980.5	99.80	0.20
No200	0.075	7.5	4988	99.95	0.05
Υποδοχέας Περ.	2.5 5				
Ολικό βάρος	4990.5				



7.4.Παρασκευή ανακυκλωμένου σκυροδέματος με προσθήκη ποζολάνης σε αντικατάσταση άμμου κατά 20%

Χρησιμοποιώντας την ίδια σύνθεση και την ίδια διαδικασία με το απλό σκυρόδεμα C25/30 S3,πραγματοποιήθηκε η νέα σκυροδέτηση του ανακυκλωμένου σκυροδέματος με αντικατάσταση ποσότητας 20% της άμμου με **ποζολάνη** και προσθήκη **υπερρρευστοποιητή** παρασκευάστηκαν **10 κύβοι**.

Φωτογραφία.7.22

Ποζολάνη στη φυσική της μορφή



Λόγω της φύσης της ποζολάνης, η κοκκομετρική της διαβάθμιση διαφέρει κατά πολύ με εκείνη της άμμου(όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα).Για τον λόγο αυτό, πριν προστεθεί στο μείγμα του σκυροδέματος ,κοσκινίστηκε χρησιμοποιώντας το κόσκινο Νο4,το ονομαστικό κόσκινο δηλαδή της άμμου, ώστε να έχουν την ίδια κοκκομετρική διαβάθμιση.

Όπως και στην πρώτη διαδικασία σκυροδέτησης, οι μήτρες γεμίστηκαν σε δυο φάσεις, δονήθηκαν και αφήθηκαν να πήξουν στον εσωτερικό χώρο του εργαστηρίου καλυμμένα με υγρά πανιά.

Την επόμενη ημέρα τα δοκίμια ξεκαλουπώθηκαν και βυθίστηκαν σε νερό. Οι μήτρες καθαρίστηκαν και λιπάνθηκαν με ορυκτέλαιο.

7.4.1.Αντοχή δοκιμίων 7 ημερών

Τηρώντας την ίδια διαδικασία με το απλό σκυρόδεμα, δυο κυβικά δοκίμια θραύστηκαν στη μηχανή θλίψης και οι αντοχές τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

7 ημέρες	Κύβος Νο8	Κύβος Νο10
Δύναμη θραύσης (KN)	657.75	626.41
Επιφάνεια (mm ²)	0.0225	0.0225
Τάση θραύσης (MPa)	29.23	27.84

-Μέσος όρος τάσης θραύσης κυβικών δοκιμίων από ανακυκλώσιμο σκυρόδεμα για τις 7 μέρες:

28,53MPa

-**Παρατηρούμε**, πως οι αντοχές των δοκιμίων του ανακυκλωμένου σκυροδέματος δεν είναι ήδη αρκετά υψηλές ως προς το όριο ασφάλειας των 30MPa,σε σχέση με το κανονικό σκυρόδεμα που το ξεπερνούσαν.

Οπότε, σε πρώτη φάση διαπιστώνουμε ότι το ανακυκλωμένο σκυρόδεμα υστερεί σε αντοχές από το κανονικό.

7.4.2. Αντοχή δοκιμών 28 ημερών

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία και στις 28 ημέρες ωρίμανσης, τα δοκίμια αφέθηκαν να στεγνώσουν επιφανειακά και ξανά μετρήθηκαν οι διαστάσεις τους. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές θλίψης.

Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα της δοκιμής θλίψης των **28 ημερών**:

Δοκίμιο 28 μέρες	Δύναμη θραύσης(KN)	Επιφάνεια(mm ²)	Τάση θραύσης(MPa)
Κύβος 1	852.72	0.0225	37.89
Κύβος 2	883.99	0.0225	39.29
Κύβος 3	838.62	0.0226	37.11
Κύβος 4	886.66	0.0226	39.23
Κύβος 5	852.54	0.0225	37.89
Κύβος 6	820.04	0.0225	36.44
Κύβος 7	858.53	0.0226	37.99
Κύβος 9	832.43	0.0226	36.83

-Μέσος όρος τάσης θραύσης για τα κυβικά δοκίμια του ανακυκλώσιμου σκυροδέματος των 28 ημερών: **37.83MPa**

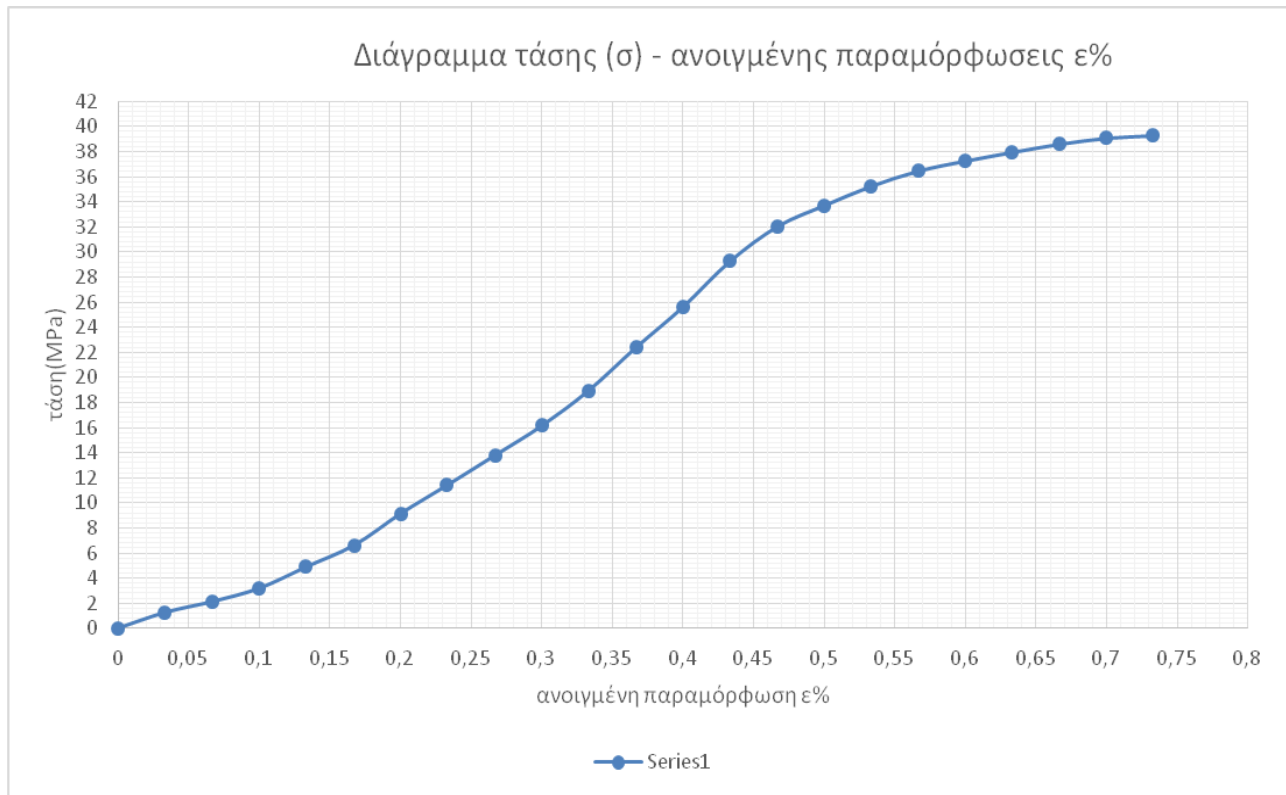
-Παρατηρούμε, ότι η θλιπτική αντοχή των κυβικών δοκιμών στις 28 μέρες είναι αρκετά ικανοποιητική για ανακυκλώσιμο σκυρόδεμα.

-Αντιπροσωπευτικό διάγραμμα τάσης σ (MPa)-ανοιγμένης παραμόρφωσης $\epsilon\%$ για τα κυβικά δοκίμια του ανακυκλώσιμου σκυροδέματος των 28 ημερών

Θα κατασκευαστεί διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης του **κύβου 2** με **εμβαδό = 0.0225m²**, **δύναμη θραύσης = 883.99KN** και **τάση θραύσης = 39.29MPa**

Όπου, ΔL μετατόπιση ανά 0.05mm και $L=0.15m$ (μήκος ακμής κύβου), $\epsilon=(\Delta L/L)*100$ (ανοιγμένη παραμόρφωση)

Ανοιγμένη παραμόρφωση ε%	Δύναμη (KN)	Τάση (MPa)
0	0	0
0,033	28,21	1,25
0,067	47,94	2,13
0,1	71,78	3,19
0,133	110,04	4,89
0,167	148,96	6,62
0,2	205,84	9,15
0,233	257,02	11,42
0,267	310,82	13,81
0,3	363,61	16,16
0,333	426,54	18,96
0,367	504,83	22,44
0,4	576,90	25,64
0,433	658,45	29,26
0,467	721,38	32,06
0,5	758,77	33,72
0,533	793,13	35,25
0,567	820,74	36,48
0.6	838,67	37,27
0.633	854,01	37,96
0.667	868,86	38,62
0.7	879,46	39,09
0.733	883,99	39,29



-Μέτρο ελαστικότητας E(GPa)

$$E = \epsilon\phi\phi = 3,19\text{MPa} / 0,1 \% = 31,9\text{GPa}$$

-Άρα, το ανακυκλωμένο σκυρόδεμα είναι κατηγορίας C25/30,όπως το αρχικό σκυρόδεμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8.1.Συμπεράσματα

Το ανακυκλωμένο σκυροδέμα όντως αποτελεί μια καινοτομία στην σημερινή εποχή που λέγεται ότι θα είναι η εποχή της οικολογίας, της ανακύκλωσης και της αειφόρου ανάπτυξης.

Έχοντας μελετήσει τη συμπεριφορά του ανακυκλωμένου σκυροδέματος στην αντοχή θλίψης παρατηρούμε ότι πληροί τις προϋποθέσεις, αφού η αντοχή του ξεπερνά τα 30MPa, μπορεί να πάρει σιγά-σιγά την θέση του κανονικού σκυροδέματος τουλάχιστον για απλά έργα.

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τα μηχανικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων η προσθήκη ανακυκλωμένων αδρανών έχει ως συνέπεια τη μείωση των χαρακτηριστικών αλλά την επίτευξη της κατηγορίας αντοχής σχεδιασμού.

Επίσης, το κόστος αντοχής της σύνθεσης των ανακυκλωμένων αδρανών ήταν πολύ πιο μικρό από εκείνο της αρχικής.

Συνοψίζοντας, η χρήση του ανακυκλωμένου σκυροδέματος θα βελτιώσει το περιβάλλον και θα βρει λύση για τα 200 εκ. τόνους το χρόνο των κατασκευαστικών μπαζών της Ευρώπης. Όμως, αν και η χρήση ανακυκλωμένων αδρανών γίνεται στις αναπτυγμένες χώρες εδώ και αρκετά χρόνια, η προώθηση αυτού του ανακυκλωμένου υλικού σαν εναλλακτικό αδρανές δεν είναι εύκολη. Έχει ήδη χρησιμοποιηθεί, λόγω της υψηλής απορροφητικότητας και του γωνιάδους σχήματός του, σε οδοστρώματα και υποστρώματα, σε υπόγειες κατασκευές και σκυροδέματα μάζας, αλλά η εφαρμογή σε σκυροδέματα υψηλότερης αντοχής δεν είναι συνηθισμένη καθώς υπάρχουν ακόμα πολλά άλυτα προβλήματα. Τα ανακυκλωμένα αδρανή παρουσιάζουν α) **χαμηλή αντοχή**, β) **υψηλότερο πορώδες**, γ) **μεγάλη διακύμανση ποιότητας**, δ) **υψηλή συστολή ξήρανσης**, ε) **μεγάλο ερπυσμό** και στ) **χαμηλό μέτρο ελαστικότητας**, που κάνουν δύσκολη την εφαρμογή τους.

Το τελικό συμπέρασμα είναι, ότι με τη τεχνολογία ανακύκλωσης εξασφαλίζονται οικονομικά οφέλη και προστασία του περιβάλλοντος, έτσι ώστε να μην αποτελεί πλέον υποχρέωση προς τη φύση αλλά και μια κερδοφόρο επιχείρηση. Το μέλλον των ανακυκλωμένων αδρανών υλικών θα εξαρτηθεί από τη βαθμιαία μείωση της ικανότητας απορρόφησης των χώρων απόθεσης, από την αυξανόμενη ζήτηση υλικών, από τους συνεχείς περιορισμούς της διοίκησης και ακόμη από τις απαιτήσεις της εθνικής οικονομίας, αφού πρόκειται για εθνικό υλικό, το οποίο σύντομα θα χαρακτηριστεί ως υλικό σε ανεπάρκεια.

8.2.Αποτελέσματα

	Σκυρόδεμα C25/30 S3	Ανακυκλώσιμο σκυρόδεμα
<i>Μέσος όρος τάσης θραύσης κυβικών δοκιμίων στις 7 μέρες (MPa)</i>	35,72 MPa	28,53 MPa
<i>Μέσος όρος τάσης θραύσης κυβικών δοκιμίων στις 28 μέρες(MPa)</i>	44,06 MPa	37,83 MPa
<i>Μέσος όρος τάσης θραύσης κυλινδρικών δοκιμίων στις 28 μέρες(MPa)</i>	23,12	-
<i>Μέτρο ελαστικότητας E(GPa)</i>	31,3 GPa	31,9 GPa

8.3.Βιβλιογραφία

1. Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΕ – 97), 3η έκδοση, Ιανουάριος 2000, Αθήνα, Νοέμβριος 1997.
2. Ο Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, έκδοση 99 – 05 – έκδοση 1η
3. Οπλισμένο σκυρόδεμα κατά τον Ελληνικό κανονισμό 2000, εκδόσεις 2000, εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2004, Γεωργίου Ρ. Γκρος
4. ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΟ ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ Δομικά υλικά και Οικολογία.
5. Κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος, σύμφωνα με τον ΕΚΟΣ 2000, Ι.Γ. Χουλιάρας
6. Ανακύκλωση (επιμέλεια: Καθηγητής Ν. Μουσιόπουλος), Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
7. Καλδέλλης Ι.Κ. και Π. Κωνσταντινίδης (2003) «Σύγχρονες εξελίξεις στον τομέα ανακύκλωσης οικοδομικών υλικών στην Ευρωπαϊκή Ένωση», Πρακτικά συνεδρίου HELECO '03, σελ. 255-263, Αθήνα
8. Τσίμας Σ. και Σ. Τσιβιλής (2004) «Επιστήμη και τεχνολογία τσιμέντου», Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.