



**Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής**  
**University of West Attica**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΟΧΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΣ  
ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΗΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΑ ΑΔΡΑΝΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΗΚΗ  
ΠΟΖΟΛΑΝΗΣ**

**ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ:**

**ΗΛΙΑΝΑ ΒΑΡΕΛΑ Α.Μ: 41743**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΔΡΙΒΑΣ**

**ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΡΕΠΑΠΗΣ**

**-ΑΘΗΝΑ 2019-**



**Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής**  
**University of West Attica**

**UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERS**

**FINAL DISSERTATION**

**SUBJECT: RESEARCH ON THE ENDURANCE OF CEMENT MORTAR  
CONCOCTED WITH RECYCLABLE AGGREGATE AND THE ADDITION OF  
POZZOLANA**

**STUDENT:**

ILIANA VARELA

**SUPERVISOR:**

DIMITRIOS DRIVAS

**CO- SUPERVISOR:**

KONSTANTINOS REPAPIS

**- ATHENS 2019 -**

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα πτυχιακή θα μελετήσει τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τσιμεντοκονίας που είναι παρασκευασμένη με 100% ανακυκλωμένα αδρανή και με την προσθήκη ποζολάνης σε αντικατάσταση άμμου κατά 20% κ.β. Η σύγκριση θα γίνει με τσιμεντοκονία παρασκευασμένη με πρότυπη χαλαζιακή άμμο. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά είναι η αντοχή σε κάμψη (εφελκυσμό) και θλίψη.

## **SUMMARY**

In this dissertation we will study the mechanical properties of the cement mortar prepared with 100% recycled aggregates and the addition of 20% by weight polysol in sand substitution. The comparison will be made with cement mortar prepared with standard quartz sand. Mechanical features are bending and tension resistance.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
SUMMARY.....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	8
1.1 Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ .....	8
1.2 ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	8
1.3 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ .....	10
1.3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	10
1.3.2 ΕΙΔΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ .....	11
1.4 ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ .....	12
1.4.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ .....	12
1.4.2 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	13
1.5 ΤΣΙΜΕΝΤΟ .....	16
1.5.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ.....	16
1.5.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ .....	17
1.6 ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΙΞΗΣ.....	18
1.7 ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ.....	18
1.7.2 ΧΗΜΙΚΑ ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΠΗΞΗΣ .....	19
1.7.3 ΟΡΥΚΤΑ ΠΡΟΣΘΕΤΑ.....	20
1.7.4 ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΟΚΙΜΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ .....	23
2.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΩΝ.....	23
2.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΠΗΞΗΣ ΚΑΙ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΟΓΚΟΥ .....	23
2.2.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΠΗΞΗΣ .....	23
2.2.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΟΓΚΟΥ .....	25
2.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΛΕΠΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ .....	25
2.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΥΡΩΣΗ .....	26
2.5 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΘΕΙΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ .....	26
2.6 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΔΙΑΛΥΤΟΥ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΟΣ ΣΤΟ HCL ΚΑΙ ΣΤΟ Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....	26
2.7 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΧΛΩΡΙΟΝΤΩΝ .....	26
2.8 ΔΟΚΙΜΗ ΠΟΖΟΛΑΝΙΚΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΟΖΟΛΑΝΙΚΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ .....	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑ.....	28
3.1 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΑΝΤΟΧΩΝ .....	28
3.2 ΕΚΦΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	31
3.3 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΣ.....	31
3.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΗΣ- ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ .....	33
4.1 ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ (ΑΚΚ).....	33
4.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΛΑΦΙΣΕΙΣ.....	35
4.3 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΠΟ ΑΚΚ .....	37
4.3.1 ΟΦΕΛΗ.....	37
4.3.2 ΕΜΠΟΔΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΑΠΟ ΑΚΚ .....	38
4.4 ΑΔΡΑΝΗ ΑΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ .....	38
4.5 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΑΔΡΑΝΗ .....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	41
ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ.....	41
5.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΥΛΙΚΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΣ .....	41
5.2 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ .....	43
5.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΩΝ.....	45
ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ .....	45
5.4 ΘΡΑΥΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΓΙΑ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ.....	45
ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ.....	46
5.5 ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΜΕ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ 20% ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ ΜΕ ΠΟΖΟΛΑΝΗ.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	48
6.1 ΘΡΑΥΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΣ .....	48
6.2 ΘΡΑΥΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ 100% ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΣ.....	50
6.3 ΘΡΑΥΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΣ ΜΕ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ 20% ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ ΜΕ ΠΟΖΟΛΑΝΗ .....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	57

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη σημερινή εποχή, η περιβαλλοντική ρύπανση αποτελεί μείζων πρόβλημα για το μέλλον του πλανήτη. Για αυτό το λόγο, η ανακύκλωση των πόρων θεωρείται κρίσιμη.

Στον τομέα των κατασκευών, το τσιμέντο και κατ' επέκταση το σκυρόδεμα, αποτελεί το πλέον διαδεδομένο δομικό υλικό. Παράγοντες όπως η παγκόσμια αύξηση του πληθυσμού, απαιτούν την άμεση ανταπόκριση του κλάδου αυτού για στέγαση και υποδομές, οι οποίες προσπαθούν να σχεδιαστούν με αειφόρες προδιαγραφές (μείωση των ρύπων, εξοικονόμηση πόρων, ευκολία στην εφαρμογή κλπ.) για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Η παρασκευή του τσιμέντου είναι μια διαδικασία ρυπογόνος που απαιτεί μεγάλο κόστος και απώλεια ενέργειας. Το κυριότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα που δημιουργεί ο τομέας των κατασκευών είναι οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) κατά την παράγωγή του. Ετησίως, 2 δισεκατομμύρια τόνοι τσιμέντου καταναλώνονται σε παγκόσμια κλίμακα, ενώ περίπου το 4,5% των παγκόσμιων ανθρωπογενών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα παράγονται από την κατασκευή σκυροδέματος. Επίσης, τα οικοδομικά απορρίμματα τα οποία προκύπτουν από την κατεδάφιση κατασκευών, σε συνδυασμό με την όλο και αυξανόμενη μείωση του χώρου τοποθέτησης των αποβλήτων, αποτελούν μείζων περιβαλλοντικό πρόβλημα το οποίο χρήζει άμεσης λύσης. Επομένως, είναι αναγκαίο να εστιάσουμε στη σχέση <<περιβάλλοντος- σκυροδέματος>> ούτως ώστε να επιτευχθεί η αειφορία στην κατασκευή.

Με βάση τα παραπάνω δημιουργείται η ανάγκη επαναχρησιμοποίησης των οικοδομικών απορριμμάτων. Η ανακύκλωση των δομικών υλικών είναι εφικτή και πραγματοποιείται σε πολλές χώρες όπως η Αγγλία και η Σουηδία, όπου υπάρχει σχετική νομοθεσία, καθώς και προγράμματα προώθησης που ευνοούν την πρακτική αυτή. Στη χώρα μας, αυτό δεν εφαρμόζεται στον ίδιο βαθμό και τα οικοδομικά απορρίμματα μεταφέρονται σε χωματερές και παράνομα σημεία απόθεσης.

Στην Ελλάδα εξαιτίας της μεγάλης ποικιλότητας του ανάγλυφου, το κόστος εξόρυξης των πρωτογενών υλικών είναι πολύ μικρό, σε αντίθεση με το κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης που απαιτεί η ανακύκλωση, το οποίο είναι σχετικά μεγάλο. Το γεγονός αυτό την καθιστά ασύμφορη. Από μηχανικής άποψης, υπάρχουν μειονεκτήματα στις ιδιότητες του σκυροδέματος το οποίο παράγεται από ανακυκλωμένα αδρανή, τα οποία ακόμα δεν έχουν λυθεί, όπως υψηλό πορώδες, υψηλή συστολή ξήρανσης, μικρό μέτρο ελαστικότητας. Παρ' όλα αυτά έχει γίνει χρήση ανακυκλώσιμων αδρανών σε σκυροδέματα χαμηλότερης ποιότητας, κυρίως 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.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ**

### **1.1 Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ**

Ανακύκλωση ονομάζουμε την επαναχρησιμοποίηση στην παραγωγική διαδικασία, υλικών που θεωρούνται απορρίμματα. Δηλαδή υλικά τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί και πλέον αξιολογούνται ως σκουπίδια, αφού επαναεπεξεργαστούν, εισάγονται εκ νέου στη παραγωγή. Αυτή η διαδικασία αποτελεί σημαντική διέξοδο σε προβλήματα όπως η συσσώρευση όλων αυτών των απορριμμάτων, η ρύπανση των υδάτων και της ατμόσφαιρας, την 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, και μειώνει θεαματικά την κατανάλωση πρώτων υλών, αφού εξοικονομεί ενέργειες του πλανήτη μας, αλλά μειώνει και την ρύπανσή του.

Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός είναι απαραίτητο να υπάρξει ευαισθητοποίηση χωρών, βιομηχανιών, οργανισμών, δημόσιων φορέων αλλά και ατομικά ο καθένας να προσπαθεί. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την συνεχή ενημέρωση και διάδοση για τα οφέλη της ανακύκλωσης. Η οικολογική συνείδηση, η προστασία του περιβάλλοντος και η βελτίωση της ποιότητας ζωής πρέπει να γίνει πεποίθηση για όλους.

### **1.2 ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ**

Στην αρχαιότητα συναντάμε κάποιου είδους συνδετικό υλικό που χρησιμοποιούνταν για να κρατούν μαζί τούβλα ή πέτρες και να απλώνουν το φορτίο τους. Οι Αιγύπτιοι ήταν από τους πρώτους που χρησιμοποιούσαν μίγμα άσβεστου, αργίλου, άμμου και νερού πριν από 2600 χρόνια. Την ίδια περίπου χρονολογία, οι Κινέζοι χρησιμοποιούν τσιμεντοειδή υλικά για την κατασκευή του Σινικού Τείχους. Οι Έλληνες στα 800 π.Χ. χρησιμοποιούν ασβεστοκονιάματα. Ενδείξεις των υλικών αυτών απαντώνται στην Κρήτη και στην Κύπρο.

Κατά την Ρωμαϊκή περίοδο οι Ρωμαίοι τελειοποίησαν αυτό το «συνδετικό υλικό» δίνοντάς του την ονομασία opus caementicium, και προσέθεσαν ηφαιστειογενές υλικό από την περιοχή Pozzuoli, κοντά στη Νάπολη. Χρησιμοποιούσαν ήδη από το 300 π.Χ ποζολανικά υλικά, όπως και στα σημερινά τσιμέντα σε διάφορα μεγάλα έργα της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας. Παράλληλα χρησιμοποιούσαν ασβέστη ως υδραυλικό υλικό. Κατά την Βυζαντινή περίοδο το υλικό αυτό χρησιμοποιήθηκε πολύ και εξελίχθηκε περαιτέρω καθώς στο χτίσιμο της Αγίας Σοφίας, το 540 μ.Χ, χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα για την κατασκευή των κογχών και τόξων στα κατώτερα επίπεδα της. Το 1500 χρησιμοποιούνται για πρώτη φορά μετά από χρόνια ποζολανικές κονίες στην Παναγία των Παρισίων, στη Γαλλία.

Αργότερα, το 1793,ο John Smeaton ανακαλύπτει ότι η ασβεστοποίηση ασβεστολιθικών πετρωμάτων που περιέχουν άργιλο παράγει ασβέστη που σκληραίνει κάτω από την επιφάνεια του νερού (υδραυλικός ασβέστης). Το 1796, ο Άγγλος οικοδόμος James Parker, εφευρίσκει ένα φυσικό υδραυλικό τσιμέντο που παρασκευάζει θερμαίνοντας (ασβεστοποιώντας) ακάθαρτο ασβεστόλιθο που περιέχει άργιλο. Το ονομάζει τσιμέντο Parker ή Ρωμαϊκό τσιμέντο. Το 1816, χτίζεται η πρώτη γέφυρας από άοπλο σκυρόδεμα στο Σουϊγιάκ της Γαλλίας. Το 1817, ο νεαρός μηχανικός Louis Vicat μελετούσε τις υδραυλικές ιδιότητες ενός μίγματος «άσβεστου - ηφαιστειογενούς τέφρας» και προσδιόρισε με ακριβή, ελεγχόμενο και αναπαράξιμο τρόπο τις αναλογίες ασβεστόλιθου και πυριτίου που απαιτούνταν, για να δημιουργηθεί ένα μίγμα, το οποίο, μετά από ψήσιμο σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και άλεση, παρήγαγε ένα υδραυλικό



συνδετικό υλικό για βιομηχανικές εφαρμογές. Το προϊόν αυτό ήταν το γνωστό σε όλους σήμερα τσιμέντο. Το 1824, ο Άγγλος Joseph Aspdin επαναπροσδιόρισε τη σύνθεση του τσιμέντου που ανέπτυξε ο Louis Vicat με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός τσιμέντου βραδύτερης πήξης. Ο Aspdin το κατάφερε αυτό θερμαίνοντας λεπτά τριμμένη κιμωλία και άργιλο σε κλίβανο ασβεστοποιίας, ώσπου να φύγει το διοξείδιο του άνθρακα από το μίγμα. Στη συνέχεια άλεσε το κρυσταλλωμένο παράγωγο της διαδικασίας. Το προϊόν που προέκυψε εξέλαβε την ονομασία Portland Cement (Τσιμέντο Πόρτλαντ), επειδή έμοιαζε με τις εξαιρετικής ποιότητας πέτρες κτισίματος που εξορύσσονται στην περιοχή του Πόρτλαντ στη νότια Αγγλία.

Το 1836, εκτελούνται οι πρώτοι συστηματικοί έλεγχοι εφελκυστικής αντοχής οι οποίοι γίνονται στη Γερμανία. Το πρώτο εργοστάσιο τσιμέντου στη Γαλλία κατασκευάστηκε το 1846 στην πόλη Boulogne-sur-Mer. Το 1855-1860 εισάγεται η χρήση του σπλισμού για την κατασκευή δαπέδων από τον Γάλλο Francois Coignet. Από το 1859-1867 χρησιμοποιείται τσιμέντο Πόρτλαντ για την κατασκευή του δικτύου αποχέτευσης του Λονδίνου.

Το 1891 ο George Bartholomew κατασκευάζει το πρώτο δρόμο από σκυρόδεμα στις ΗΠΑ στο Bellefontaine στη πολιτεία του Οχάιο, όπου υπάρχει ακόμα και σήμερα. Στην εξέλιξη της κατοικίας, ο Γάλλος αρχιτέκτονας και πρωτοπόρος στο είδος του Auguste Perret, έχτισε το 1902 στο Παρίσι της Γαλλίας πολυκατοικία με χρήση σκυροδέματος και σπλισμού, που ο ίδιος ονόμασε "σύστημα σπλισμένου σκυροδέματος". Το κτίριο αυτό επηρέασε έκτοτε σημαντικά την αρχιτεκτονική και τις κατασκευές από σκυρόδεμα επί δεκαετίες. Δεν περιελάμβανε φέρουσες τοιχοποιίες και βασιζόταν εξ ολοκλήρου σε υποστυλώματα, δοκούς και πλάκες από σκυρόδεμα, ενώ ο ίδιος ένα χρόνο αργότερα το 1903 καθιστά το σκυρόδεμα αρχιτεκτονικά αποδεκτό υλικό και κατασκευάζει το κτίριο στο νούμερο 25 της Rue Franklin και το Θέατρο Champs- Elysees. Παράλληλα την ίδια χρονολογία στο Cincinnati του Οχάιο των ΗΠΑ κατασκευάζεται ο πρώτος ουρανοξύστης από σκυρόδεμα.



Εικόνα 1/ 2: Αριστερά- το κτίριο στο νούμερο 25 της Rue Franklin, Auguste Perret, Παρίσι / Δεξιά- πρώτος ουρανοξύστης από σκυρόδεμα, Cincinnati Οχάιο

Στην Ελλάδα η τσιμεντοβιομηχανία, η σπουδαιότερη βιομηχανική δραστηριότητα, ξεκίνησε το 1902 με το πρώτο εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου στην Ελευσίνα από την εταιρία ΤΙΤΑΝ Α.Ε. Το 1945, δημοσιεύονται για πρώτη φορά στην Ελλάδα τα μεταφρασμένα Γερμανικά DIN 1045. Το 1954 εκδίδεται ο πρώτος Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος και το 1985 Εκδίδεται ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ.-85) που δημοσιεύεται στον ΦΕΚ 266/Β/9.5.85. Σήμερα ισχύει ο Κ.Τ.Σ- 97 και ο Κ.Τ.Σ- 2016.



Εικόνα 3: Εξωτερική άποψη του εργοστασίου του ΤΙΤΑΝΑ στην Ελευσίνα από τη θάλασσα

## 1.3 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

### 1.3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Το σκυρόδεμα είναι κατεξοχήν το δομικό υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο τόσο στη χώρα μας όσο και διεθνώς. Η τόσο μεγάλη ζήτηση και χρήση του οφείλεται στον εξαιρετικά ευνοϊκό συνδυασμό ιδιοτήτων και κόστους. Συγκεκριμένα:

- στην εξαιρετική συμπεριφορά του υλικού στο νερό (όπως σε γέφυρες και υδραγωγεία) και γενικά στην μεγάλη ανθεκτικότητά του σε διάρκεια και περιβαλλοντικές επιδράσεις
- στο γεγονός ότι είναι τρομερά εύπλαστο υλικό αφού, όταν είναι νωπό, μπορεί να πάρει οποιαδήποτε μορφή δίνοντας την διαθεσιμότητα σε μια τεράστια ποικιλία σχημάτων και μεγεθών
- στη χαμηλή κοστολόγηση που έχει στη Ελλάδα, στη μεγάλη και άμεση διαθεσιμότητα των συστατικών του και την σχετικά χαμηλή ενέργεια που απαιτείται για την παρασκευή του.

Το σκυρόδεμα είναι ένα πολυσυστατικό μίγμα το οποίο παρασκευάζεται με την ανάμιξη αδρανών υλικών, τσιμέντου, νερού, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συστατικά και ορυκτά πρόσθετα, όπως φυσικές ποζολάνες και ιπτάμενες τέφρες, και ειδικά βελτιωτικά πρόσθετα, όπως ρευστοποιητές και επιβραδυντές ή επιταχυντές πήξης. Η δομή του σκυροδέματος (δηλαδή ο τύπος του, η ποσότητα, το μέγεθος, το σχήμα και η κατανομή των διαφόρων φάσεων) είναι ιδιαίτερα ανομοιογενής και περίπλοκη. Το τσιμέντο και τα αδρανή πρέπει να ικανοποιούν συγκεκριμένες απαιτήσεις σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς (για την Ελλάδα παλιότερα ο Κ.Τ. Σ.- 97 και τώρα ο Κ.Τ.Σ. - 2016). Το νερό πρέπει να μην περιέχει επιβλαβείς ουσίες οι οποίες θα προκαλούσαν προβλήματα στην πήξη

και σκλήρυνση, στην ανάπτυξη των μηχανικών αντοχών, ή θα μπορούσαν να επηρεάσουν δυσμενώς άλλες ιδιότητες του σκυροδέματος.

Το τσιμέντο δρα ως συνδετικό υλικό και τροποποιεί τα χαρακτηριστικά και τις χρήσεις του σκυροδέματος. Τα αδρανή διατηρούν τις εγγενείς ιδιότητες των πετρωμάτων από τα οποία προέρχονται. Τα τρία επιμέρους υλικά αναμιγνύονται με κατάλληλες αναλογίες και στη συνέχεια το νωπό σκυρόδεμα που προκύπτει συμπακνώνεται και συντηρείται ούτως ώστε να έρθει στην τελική του μορφή (στέρεο σώμα) και να αποκτήσει προδιαγεγραμμένες ιδιότητες αντοχής και ανθεκτικότητας.

Το ειδικό βάρος του άοπλου σκυροδέματος μπορεί να λαμβάνεται στους υπολογισμούς ίσο με  $24 \text{ kN/m}^3$ , ενώ το ειδικό βάρος του οπλισμένου ή του προεντεταμένου σκυροδέματος ίσο με  $25 \text{ kN/m}^3$ .

### 1.3.2 ΕΙΔΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Υπάρχουν πολλά είδη σκυροδέματος, τα οποία είναι σχεδιασμένα για τις εκάστοτε ανάγκες. Οι κατηγορίες είναι οι εξής:

Ανάλογα με την κατάσταση της σκλήρυνσής του χωρίζεται σε:

- **Νωπό:** τις πρώτες 1-3 ώρες από την παράγωγη του.
- **Σκληρυμένο:** στις 6-12 ώρες από την παραγωγή του , καθώς και το τελικό προϊόν εντάσσεται σε αυτή την κατηγορία.

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

- **Βαρύ:** όπου το ξηρό φαινόμενο βάρος είναι μεγαλύτερο από  $28 \text{ kN/m}^3$ .
- **Σύνηθες:** όπου το ξηρό φαινόμενο βάρος κυμαίνεται από 20 έως  $28 \text{ kN/m}^3$ .
- **Ελαφρύ:** όπου το ξηρό φαινόμενο βάρος είναι μικρότερο από  $20 \text{ kN/m}^3$ .

Ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς του χωρίζεται σε:

- **Σύνηθες** όπου μεταφέρεται σε δοχεία και διαχύνεται σε καλούπια
- **Αντλούμενο** όπου μεταφέρεται με ειδικές σωληνώσεις.
- **Εκτοξευόμενο** όπου εκτοξεύεται με ειδικά μηχανήματα.

Ανάλογα με τη θέση ανάμιξης και χρήσης διακρίνονται σε:

- **Εργοταξιακό σκυρόδεμα:** η παρασκευή του γίνεται μέσα στο εργοτάξιο.
- **Έτοιμο σκυρόδεμα:** παραδίδεται νωπό αλλά αναμιγνύεται στο εργοτάξιο.
- **Προκατασκευασμένο σκυρόδεμα:** παραδίδεται σκληρυμένο με μορφή έτοιμων δομικών στοιχείων.

Ανάλογα με τον τρόπο ενίσχυσης του με οπλισμό χωρίζεται σε:

- **Άοπλο σκυρόδεμα:** το οποίο δεν είναι ενισχυμένο με ράβδους οπλισμού.
- **Οπλισμένο σκυρόδεμα:** το οποίο είναι ενισχυμένο με ράβδους από χάλυβα.
- **Προεντεταμένο σκυρόδεμα:** σκυρόδεμα του οποίου οι οπλισμοί έχουν προενταθεί με σκοπό την αύξηση της αντοχής του

## 1.4 ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ

Αδρανή καλούνται τα υλικά που αποτελούνται από λίθινους κόκκους. Τα αδρανή καθορίζουν κυρίως το βάρος, το μέτρο ελαστικότητας και τη μεταβολή όγκου του σκυροδέματος. Ονομάζονται έτσι γιατί είναι χημικά αδρανή προς οποιαδήποτε κονία (όπως τσιμέντο, ασβέστης, άσφαλτος κ.λπ.). Ο ρόλος των αδρανών είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος, του οποίου καταλαμβάνουν το 60% με 80% του όγκου. Δρουν ως πληρωτικά και δεν συμμετέχουν στην διαδικασία της ενυδάτωσης. Από τεχνικής άποψης, τα αδρανή προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα αφού αρχικά διατηρούν πολύ χαμηλό το κόστος του σκυροδέματος, καθώς είναι πολύ φθηνά υλικά, ενώ από την άλλη επηρεάζουν την στατική λειτουργία του, δίνοντας σταθερότητα όγκου και αυξάνοντας την διάρκεια ζωής των κατασκευών.

### 1.4.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ

Οι κατηγορίες των αδρανών δημιουργούνται με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους και τα χαρακτηριστικά των αντοχών τους.

#### Γεωμετρικά χαρακτηριστικά:

Με βάση το βάρος διακρίνονται σε αδρανή:

- **κανονικού βάρους:** με πυκνότητα κόκκων μεταξύ 2000- 3000 kg/m<sup>3</sup>
- **ελαφρά:** με πυκνότητα κόκκων που δεν ξεπερνά τα 2000 kg/m<sup>3</sup>
- **βαριά:** με πυκνότητα κόκκων πάνω από 3000 kg/m<sup>3</sup>

Με βάση την προέλευση χωρίζονται σε:

- **φυσικά:** που προέρχονται από την φύση . Τα φυσικά αδρανή μπορεί να είναι συλλεκτά όταν προέρχονται απευθείας από την φύση ή θραυστά όταν προέρχονται από την θραύση πετρωμάτων.
- **τεχνητά:** αδρανή που παρασκευάζονται με ειδική επεξεργασία ορισμένων υλικών (π.χ. διογκωμένη άργιλος), από βιομηχανικά παραπροϊόντα (π.χ. σκωρία καμίνου, ιπτάμενη τέφρα) ή από ανακύκλωση (π.χ. σκυροδέματος).

Με βάση το μέγεθος, τα αδρανή χωρίζονται σε:

- **γονδρά:** με μέγιστο μέγεθος κόκκου μεγαλύτερο των 4mm και ελάχιστο μέγεθος μεγαλύτερο των 2mm.
- **λεπτά:** με μέγιστο μέγεθος κόκκου 4mm.

Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN12620 τα αδρανή ανάλογα με το μέγεθος τους κατατάσσονται σε 4 βασικές κατηγορίες:

- Άμμος: (0- 4 mm)
- Ρυζάκι: (4- 8 mm)
- Γαρμπίλι: (8-16 mm)
- Χαλίκι: (16- 31 mm)

Τέλος με βάση το σχήμα τους, τα αδρανή χωρίζονται σε:

- στρογγυλά

- κυβοειδή
- γωνιώδη
- πλακοειδή
- επιμήκη.

#### **Χαρακτηριστικά αντοχών:**

- Αντοχή σε σύνθλιψη: Προσδιορίζεται η αντοχή στρώσης αδρανών σε θλιπτικά φορτία.
- Αντοχή σε κρούση: Προσδιορίζεται η αντοχή στρώσης αδρανών σε κρούση.
- Αντοχή των αδρανών σε τριβή και κρούση με την μηχανή Los Angeles και με την μηχανή Micro Deval: Προσδιορίζεται η αντίσταση στη φθορά από την τριβή και κρούση κατά την ανάμιξη, μεταφορά και διασταύρωση των αδρανών.

Η κύρια χρήση των αδρανών είναι στην παραγωγή σκυροδέματος. Λόγω γωνιώδους και ακανόνιστου σχήματος συνδέονται μεταξύ τους και συγκρατούνται στο σκυρόδεμα με τη βοήθεια του τσιμεντοπολτού (μείγμα τσιμέντου + νερού). Χρησιμοποιούνται επί το πλείστον φυσικά αδρανή κανονικού βάρους. Πρέπει να είναι καθαρά, χωρίς επιφανειακή σκόνη, άργιλο και οργανικές ύλες (συνήθως πλυμένα), σκληρά και μεγάλης αντοχής.

Οι απαιτούμενες ιδιότητες των αδρανών είναι η ικανή μηχανική αντοχή (100-300 MPa), η θλιπτική αντοχή, η αντοχή σε επιφανειακή φθορά και το μέτρο ελαστικότητας. Επίσης η κοκκομετρία και το σχήμα των κόκκων, η καθαρότητα, η πυκνότητα και η υδαταπορροφητικότητα, η αντίσταση σε θρυμματισμό και κρούση, η αντίσταση σε φθορά, η αντίσταση σε στίλβωση, η ανθεκτικότητα σε ψύξη και απόψυξη, η περιεκτικότητα χλωριόντων, η περιεκτικότητα κελυφών και η σταθερότητα όγκου. Επίσης, το πορώδες είναι μία πολύ σημαντική ιδιότητα και η τιμή του προσδιορίζεται με την μέτρηση της υδατοαπορροφητικότητάς τους. Επηρεάζει το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ικανότητα περιορισμού των παραμορφώσεων του τσιμεντοπολτού. Το μέτρο ελαστικότητάς τους κυμαίνεται από 25 GPa έως 85 GPa, μεγαλύτερο από το μέτρο ελαστικότητας του τσιμεντοπολτού. Για το λόγο αυτό η ροή του φορτίου γίνεται κυρίως μέσα από αυτά.

### **1.4.2 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

Κοκκομετρική ανάλυση είναι ο προσδιορισμός της σχέσης του μεγέθους του ανοίγματος των βροχίδων διαφόρων κοσκίνων και του ποσοστού κατά βάρος της εδαφικής ποσότητας που διέρχεται από τα κόσκινα αυτά. Στην πράξη, χρησιμοποιείται μια κατακόρυφη στήλη κοσκίνων με βαθμιαία μειούμενη βροχίδα από πάνω προς τα κάτω. Το προς έλεγχο υλικό, το οποίο έχει γίνει ξηρό από πριν στον κλίβανο, ρίχνεται στο υψηλότερο κόσκινο και ακολουθεί η κοσκίνηση.

Κατά τη χρησιμοποίηση της άμμου ή των σκύρων για την παρασκευή διαφόρων σύνθετων υλικών (κονιαμάτων ή σκυροδεμάτων), ενδιαφέρον παρουσιάζει όχι το μέγεθος των κόκκων, αλλά το ποσοστό των διαφορετικού μεγέθους κόκκων, που συνθέτουν την άμμο και τα σκύρα, δηλαδή η κοκκομετρική σύνθεση κατά την ανάμιξη αδρανών υλικών. Η ανάμιξη άμμου – χαλικιών δίδει ένα μίγμα που παρουσιάζει κενά. Τα μίγμα αδρανών θα πρέπει να είναι κατά το δυνατό χονδρόκοκκο και να παρουσιάζει το μικρότερο δυνατό ποσοστό κενών. Το τσιμέντο, εκτός της κάλυψης με κονίαμα των αδρανών, θα πρέπει να καλύψει και τα κενά των κόκκων τα οποία έχουν αρνητική επίδραση στην αντοχή του σκυροδέματος. Συνήθως τα κενά μεταξύ των αδρανών καλύπτονται με προσθήκη αλευρώδους άμμου. Η ανάμιξη αδρανών είναι

καθοριστική για την απαιτούμενη ποσότητα νερού κατά την παραγωγή του σκυροδέματος, και επομένως καθοριστική για την αντοχή του σκυροδέματος. Όταν τα αδρανή είναι χονδρόκοκκα απαιτείται λιγότερο νερό, ενώ όταν είναι λεπτόκοκκα, η ειδική επιφάνεια και η απαίτηση σε νερό αυξάνουν. Η περίσσεια νερού μετά την πήξη του σκυροδέματος εξατμίζεται και το σκυρόδεμα γίνεται πορώδες, άρα μικρότερης αντοχής.

Η κοκκομετρική διαβάθμιση καθορίζεται από ομάδα πρότυπων κοσκίνων, που κατά τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος μπορεί να είναι της Γερμανικής σειράς (των DIN 4187 και 4188) ή της Αμερικάνικης σειράς (της ASTM E11). Τα Γερμανικά κόσκινα έχουν τετράγωνες βροχίδες και συμβολίζονται με το σύμβολο □, και το ακολουθεί το νούμερο τις εκάστοτε βροχίδας σε mm. Τα Αμερικάνικα κόσκινα έχουν τετραγωνική οπή και συμβολίζονται με το σύμβολο No, που αναγράφεται πριν τον αριθμό του κόσκινου μέχρι και το κόσκινο No 4, ενώ τα μεγαλύτερου ανοίγματος κόσκινα συμβολίζονται με το μέγεθος της οπής σε ίντσες π.χ. 1/2".

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 Νο 4 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:

- Το 20% του ξηρού βάρους της άμμου, όταν πρόκειται για σκυρόδεμα χαρακτηριστικής αντοχής ίσης ή μεγαλύτερης από 30 MPa.
- Το 25% του ξηρού βάρους της άμμου, όταν πρόκειται για σκυρόδεμα χαρακτηριστικής αντοχής μικρότερης από 30 MPa.
- 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 με το πρώτο κόσκινο να είναι εκείνο με την μεγαλύτερη οπή και τον υποδοχέα συλλογής του λεπτότερου υλικού στο τέλος. Η Αμερικάνικη σειρά κοσκίνων συμπληρώνεται με το πρώτο κόσκινο της Γερμανικής, δηλαδή αυτό με το άνοιγμα 0.25 mm.

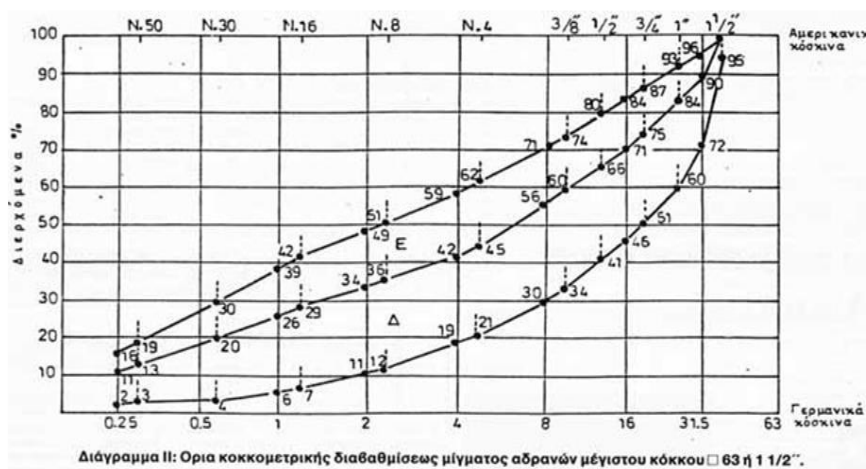


Εικόνα 4: Μηχανή κοσκίνισματος με τα κόσκινα ASTM

Η κοκκομετρική διαβάθμιση προσδιορίζεται με βάση την εξής διαδικασία: Η ποσότητα του υλικού που παραμένει σε κάθε κόσκινο καλείται συγκρατούμενο και αυτό που περνάει διερχόμενο. Από το ποσοστό (κ.β) των αδρανών που συγκρατεί κάθε κόσκινο υπολογίζεται το ποσοστό που περνάει. Το συγκρατούμενο υλικό ζυγίζεται και κατόπιν σχεδιάζεται η κοκκομετρική καμπύλη σε ημιλογαριθμικό χαρτί, με τις διαμέτρους των κοσκίνων στον οριζόντιο (λογαριθμικό) άξονα και το ποσοστό που περνάει από κάθε κόσκινο στον κατακόρυφο. Ο υπολογισμός του % διερχόμενου στο κόσκινο δίνεται από τη σχέση :

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

Σύμφωνα με τα ποσοστά διερχόμενου υλικού σχεδιάζεται η κοκκομετρική καμπύλη με τον τρόπο του παραδείγματος.



Πίνακας 1: Όρια κοκκομετρικής διαβαθμίσεως μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 1 1/2"

## 1.5 ΤΣΙΜΕΝΤΟ

**Ορισμός:** Το τσιμέντο (cement) είναι μία υδραυλική συνδετική ύλη, δηλαδή ένα λεπτότατα αλεσμένο ανόργανο υλικό το οποίο, όταν αναμειχθεί με νερό, σχηματίζει ένα πολτό που πήζει και σκληραίνει δια μέσου αντιδράσεων και μηχανισμών ενυδάτωσης και το οποίο, μετά τη σκλήρυνση, διατηρεί την αντοχή και τη σταθερότητά του ακόμη και μέσα στο νερό. Συνδυάζει μεγάλη υδραυλική ικανότητα και υψηλές αντοχές, γι' αυτό έχει ευρεία χρήση στις δομικές κατασκευές, όπως επίσης και στα υδραυλικά έργα.

Η χημική αντίδραση του τσιμέντου με το νερό (ενυδάτωση τσιμέντου) παράγει προϊόντα που έχουν χαρακτηριστικά πήξης και σκλήρυνσης. Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι όσο περισσότερο τσιμέντο (μέχρις ενός ορισμένου ορίου βέβαια) περιέχεται στην μονάδα όγκου του σκυροδέματος, εφόσον και οι λοιποί παράγοντες παραμένουν σταθεροί, τόσο μεγαλύτερη αντοχή εμφανίζει το σκυροδέμα. Φυσικά η αύξηση αυτής της αντοχής δεν είναι απεριόριστη, αλλά σταματά στην αντοχή του λιγότερο ανθεκτικού υλικού του σκυροδέματος.

### 1.5.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Το τσιμέντο είναι προϊόν βιομηχανικό που παρασκευάζεται από τη σύγχρονη όπτηση **ασβεστόλιθου** και **αργίλου**. Από την εξόρυξη των πρώτων υλών μέχρι το τελικό προϊόν ακολουθείται συγκεκριμένη διαδικασία. Αρχικά γίνεται εξόρυξη ασβεστολιθικών πετρωμάτων και αργιλικών εδαφών χωριστά με την χρήση εκρηκτικών υλών ή ισχυρών εκσκαπτικών μηχανημάτων. Τα πετρώματα αυτά περνούν από σπαστήρες ώστε να τεμαχιστούν και να αποκτήσουν διάμετρο μερικών εκατοστών (συνήθως μικρότερα των 30mm). Μετά την έξοδό τους από τους σπαστήρες γίνεται ανάμειξη των δύο υλικών. Η εργασία αυτή λέγεται **προομοιογενοποίηση**. Έπειτα αλέθονται σε τριβεία ώστε να αποκτήσουν διάμετρο λίγων χιλιοστών. Το προϊόν της αλέσεως, λεπτόκοκκο μείγμα ασβεστολιθικής και αργιλικής άμμου, αποθηκεύεται σε σιλό και ονομάζεται **φαρίνα**. Το μείγμα εισάγεται στο πάνω άκρο κυλινδρικής καμίνου η οποία περιστρέφεται αργά γύρω από τον άξονά της. Η θερμότητα παράγεται από καυστήρα πετρελαίου, τοποθετημένου στο κάτω άκρο της. Η θερμοκρασία μέσα στην κάμινο είναι περίπου 600°C στο πάνω άκρο και φτάνει στους 1500°C στο κάτω άκρο, που είναι και το σημείο εξόδου των προϊόντων. Τα προϊόντα της οπτήσεως ονομάζονται εκβολάδες ή διεθνώς Klinker. Έχουν διάμετρο λίγων εκατοστών, χρώμα μαυροπράσινο και αποτελούν τα πετρώματα του τσιμέντου. Τα προϊόντα αυτά της οπτήσεως, οι εκβολάδες, αλέθονται και αποκτούν τη γνωστή μορφή του τσιμέντου. Το υλικό αυτό χωρίς καμιά προσθήκη ή τροποποίηση ονομάζεται “τσιμέντο Πόρτλαντ”.

Κάθε χώρα παρασκευάζει τσιμέντο χρησιμοποιώντας τις πηγές πρώτων υλών που διαθέτει. Έτσι το πρότυπο προβλέπει μεγάλο αριθμό προϊόντων τσιμέντου περίπου 27 διαφορετικά προϊόντα. Τα τσιμέντα αυτά δεν παράγονται ούτε κυκλοφορούν όλα κατ' ανάγκη σε κάθε χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, λόγω των ιδιαιτεροτήτων τους στις πρώτες ύλες και στο κλίμα.

Τα συστατικά του τσιμέντου είναι: Κλίνκερ, ποζολάνη φυσική, ιπτάμενη τέφρα πυριτική, ποζολάνη φυσική ψημένη, ιπτάμενη τέφρα ασβεστόχου, ψημένος σχιστόλιθος, ασβεστόλιθος, σκωρία υψικαμίνου και πυριτική παιπάλη. Σε κάθε τύπου τσιμέντου τα συστατικά αυτά βρίσκονται σε διαφορετικό ποσοστό, άλλοτε μεγαλύτερο και άλλοτε μικρότερο, με το κλίνκερ να καθορίζει τις υποκατηγορίες του κάθε τύπου τσιμέντου.



Το κλίνκερ για τσιμέντο Πόρτλαντ παράγεται με επίτηξη ενός επακριβώς καθορισμένου μίγματος πρώτων υλών (ξηρό αλεσμένο υλικό, πολτός ή αραιή λάσπη) που περιέχει χημικά στοιχεία, που συνήθως εκφράζονται ως οξείδια  $\text{CaO}$  (οξείδιο του ασβεστίου),  $\text{SiO}_2$  (διοξείδιο του πυριτίου),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (οξείδιο του αργιλίου),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (τριοξείδιο του σιδήρου) και μικρές ποσότητες άλλων υλικών. Το ξηρό αλεσμένο υλικό, ο πολτός ή λάσπη είναι σε λεπτό καταμερισμό, επαρκώς αναμειγμένα και ως εκ τούτου ομοιογενή. Το κλίνκερ είναι ένα υδραυλικό υλικό, το οποίο πρέπει να απαρτίζεται κατά τα 2/3 τουλάχιστον κατά μάζα από ασβεστοπυριτικές ενώσεις αλίτη ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) και βελίτη ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), ενώ το υπόλοιπο να απαρτίζεται από φάσεις κλίνκερ που περιέχουν αργίλιο και σίδηρο, καθώς και άλλες ενώσεις. Η αναλογία κατά μάζα οξείδιο του ασβεστίου προς οξείδιο του πυριτίου πρέπει να μην είναι μικρότερη του 2,0. Η περιεκτικότητα  $\text{MgO}$  (οξείδιο του μαγνησίου) δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5% κατά μάζα.

Η συντήρηση της τσιμεντοκονίας κατά την διαδικασία πήξης είναι αντίθετη από την διαδικασία αποθήκευσης της. Ειδικά, κατά την διαδικασία σκλήρυνσης του σκυροδέματος πολύ σημαντική είναι η παρουσία υγρασίας για την πλήρη ενυδάτωση των κόκκων του τσιμέντου. Κατά την αποθήκευση, το τσιμέντο διατίθεται σε σάκους ή ακόμα και χύμα. Τοποθετούνται σε ειδικά σιλό ή αποθήκες όπου προφυλάσσονται από τις καιρικές συνθήκες και αερίζονται κατάλληλα. 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.



Εικόνα 5: Κλίνκερ για τσιμέντο Πόρτλαντ

## 1.5.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

### Βασικοί τύποι τσιμέντου

- **CEM I: Τσιμέντο Πόρτλαντ**, με κλίνκερ σε ποσοστό μεγαλύτερο από 95%.
- **CEM II: Τσιμέντο Πόρτλαντ σύνθετο** με κλίνκερ, ποζολάνη φυσική, ποζολάνη φυσική ψημένη, ιπτάμενη τέφρα πυριτική, ιπτάμενη τέφρα ασβεστούχος, ψημένος σχιστόλιθος, ασβεστόλιθος, σκωρία υψικαμίνου και πυριτική παιπάλη. Η πρώτη υποκατηγορία περιέχει κλίνκερ σε ποσοστό από 80%-94% και η δεύτερη υποκατηγορία σε ποσοστό από 65%-79%.

- **CEM III: Σκωριοτσιμέντο** με κλίνκερ και σκωρία υψικαμίνου. Η πρώτη υποκατηγορία περιέχει κλίνκερ σε ποσοστό από 35%-65%, η δεύτερη σε ποσοστό 20%-34% και η τρίτη σε ποσοστό από 5%-19%.
- **CEM IV: Ποζολανικό** με κλίνκερ, ποζολάνη φυσική, ποζολάνη φυσική ψημένη, ιπτάμενη τέφρα πυριτική, ιπτάμενη τέφρα ασβεστούχος και πυριτική παιπάλη. Η πρώτη υποκατηγορία περιέχει κλίνκερ σε ποσοστό από 65%-89% και η δεύτερη από 45%-64%.
- **CEM V: Σύνθετο τσιμέντο** με κλίνκερ, ποζολάνη φυσική, ποζολάνη φυσική ψημένη, ιπτάμενη τέφρα πυριτική και σκωρία υψικαμίνου. Η πρώτη υποκατηγορία περιέχει κλίνκερ σε ποσοστό από 40%-64% και η δεύτερη υποκατηγορία σε ποσοστό από 20%-39%.

## 1.6 ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΙΞΗΣ

Το νερό που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι πόσιμο, καθαρό και απαλλαγμένο από βλαπτικές ουσίες (οργανικά ή ανόργανα στερεά, θειικά άλατα, οξέα) σε μεγάλο ποσοστό γιατί μπορούν να βλάψουν την ποιότητα του σκυροδέματος μειώνοντας την αντοχή του και να προκαλέσουν διάβρωση του οπλισμού. Νερά τα οποία περιέχουν βιομηχανικά ή αστικά λύματα, νερά που περιέχουν ίχνη οξέων και οργανικών ουσιών, αποφεύγονται και δεν χρησιμοποιούνται καθώς υπάρχει πιθανότητα να προκαλέσουν αρκετές ανεπιθύμητες παρενέργειες. Το θαλασσίνο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάμιξη άοπλου σκυροδέματος, αν η απαιτούμενη αντοχή αυξηθεί κατά 15%, αλλά σε οπλισμένο σκυρόδεμα δεν χρησιμοποιείται καθώς μπορεί να προκαλέσει διάβρωση του χάλυβα.

Σημαντικό ρόλο στην αντοχή του σκυροδέματος παίζει και ο λόγος του νερού προς το τσιμέντο (N/T). Από πειραματικές διαδικασίες έχει αποδειχθεί ότι όσο μικρότερος είναι ο λόγος αυτός, τόσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή του σκυροδέματος. Έχει παρατηρηθεί πως η καλύτερη αναλογία του λόγου N/T είναι 0,4 για σκυρόδεμα υψηλής αντοχής και 0,5 για σκυρόδεμα χαμηλότερης αντοχής.

## 1.7 ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

Πολλές φορές, κατά την σκυροδέτηση, ανάλογα με την ποσότητα του τσιμέντου, προστίθενται υλικά σε μικρές ποσότητες, με σκοπό την τροποποίηση ορισμένων χαρακτηριστικών του σκυροδέματος όσο είναι νωπό. Τα υλικά αυτά ονομάζονται πρόσμικτα.

Πολλές φορές επίσης προστίθενται λεπτόκοκκα ανόργανα υλικά τα οποία έχουν ως σκοπό την βελτίωση ή την επίτευξη συγκεκριμένων ιδιοτήτων. Αυτά ονομάζονται πρόσθετα.

### 1.7.1 ΧΗΜΙΚΑ ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ

Χωρίζονται στα αερακτικά, που χρησιμοποιούνται στο ανάμιγμα του σκυροδέματος για τον εγκλωβισμό αέρα και στα ρευστοποιητικά, που χρησιμοποιούνται για την μείωση του νερού.

#### Αερακτικά

Τα αερακτικά δημιουργούν φυσαλίδες εγκλωβίζοντας τον αέρα σε μια διάμετρο 10-1000 μm στη μάζα του τσιμεντοπολτού. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την βελτίωση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος σε εναλλαγές ψύξης- απόψυξης. Οι φυσαλίδες που δημιουργούνται λειτουργούν ως χώροι διαστολής του νερού κατά την πήξη και παρασκευάζεται το κυψελωτό σκυρόδεμα. Επίσης βοηθά στην βελτίωση της εργασιμότητας

καθώς μειώνει την εσωτερική τριβή μεταξύ των στερεών κόκκων.

Τα αερακτικά προέρχονται από άλατα ρητινών του ξύλου, από πετρελαϊκά οξέα και από ορισμένα συνθετικά απορρυπαντικά.

### **Ρευστοποιητικά**

Τα ρευστοποιητικά πρόσμικτα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορους λόγους όπως για την αύξηση της ρευστότητας χωρίς μεταβολή της αντοχής, για την αύξηση της αντοχής για δεδομένη ρευστότητα και για την μείωση του ποσοστού τσιμέντου για δεδομένη ρευστότητα και αντοχή. Τα ρευστοποιητικά χρησιμοποιούνται για την μείωση του λόγου N/T αλλά και ως επιβραδυντικά πήξης. Επίσης ορισμένες φορές προκαλούν αύξηση της αντοχής σε νεαρές ηλικίες.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως ρευστοποιητικά είναι ορισμένα άλατα, παράγωγα ενώσεων όπως η λιγνίνη, οι πολυσακχαρίδες και ορισμένα ανθρακοξυλικά οξέα.

### **Υπερρευστοποιητικά**

Τα υπερρευστοποιητικά αυξάνουν τη ρευστότητα μιγμάτων 3- 4 φορές περισσότερο απ' ότι τα συνηθισμένα ρευστοποιητικά, επιτρέποντας μείωση του νερού ανάμιξης χωρίς όμως απώλεια ρευστότητας και χωρίς να προκαλούν επιβράδυνση της πήξης. Αντιθέτως, επιφέρουν επιτάχυνση της ενυδάτωσης με αποτέλεσμα την ταχεία πήξη και σκλήρυνση. Άλλο ένα πλεονέκτημα είναι η αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος με τον ίδιο λόγο N/T. Τα υπερρευστοποιητικά αποτελούνται συνήθως από άλατα μελαμίνης ή ενώσεις φορμαλδεΐδης.

## **1.7.2 ΧΗΜΙΚΑ ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΠΗΞΗΣ**

Μια άλλη κατηγορία χημικών πρόσμικτων περιλαμβάνει αυτά που χρησιμοποιούνται ως επιταχυντικά της πήξης, αυτά που χρησιμοποιούνται ως επιβραδυντικά της πήξης και αυτά που ενώ σε μικρές ποσότητες δρουν ως επιταχυντικά, σε μεγαλύτερες ποσότητες δρουν ως επιβραδυντικά.

### **Επιταχυντικά της Πήξης**

Χρησιμοποιούνται συνήθως όταν η σκυροδέτηση γίνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες, οπότε η πήξη και σκλήρυνση του τσιμεντοπολτού γίνεται με αργούς ρυθμούς. Επίσης χρησιμοποιούνται όταν επιδιώκεται γρήγορη απομάκρυνση ξυλοτύπων, όταν είναι αναγκαία η ταχεία περάτωση του έργου ή όταν το στοιχείο πρόκειται να παραλάβει εξωτερικά φορτία σε μικρό χρόνο μετά την σκυροδέτηση. Το αποτέλεσμα της χρήσης τους είναι η αύξηση της θερμοκρασίας λίγο χρόνο μετά την σκυροδέτηση, η αύξηση της συστολής ξήρανσης και σε ορισμένες περιπτώσεις η μείωση της αντοχής του σκυροδέματος, γι' αυτό και η χρήση τους πρέπει να γίνεται μόνο όταν είναι τελείως απαραίτητο.

### **Επιβραδυντικά της Πήξης**

Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις σκυροδέτησης σε υψηλές θερμοκρασίες, για τον έλεγχο της πήξης ώστε να αποφεύγονται αρμοί διακοπής, όταν η σκυροδέτηση απαιτεί περισσότερο χρόνο απ' ότι συνήθως, όταν απαιτείται αύξηση του χρόνου μεταφοράς και γενικά όπου απαιτείται επιβράδυνση του ρυθμού ενυδάτωσης. Αποτέλεσμα της χρήσης τους μπορεί να είναι και η αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος, ιδιαίτερα κατά τις πρώτες ημέρες. Τα υλικά που εμφανίζουν επιβραδυντικές ιδιότητες είναι η γύψος, η ζάχαρη καθώς και ευδιάλυτα άλατα ψευδαργύρου.

### 1.7.3 ΟΡΥΚΤΑ ΠΡΟΣΘΕΤΑ

Είναι υλικά πυριτικής συνήθως σύστασης σε μορφή σκόνης. Χρησιμοποιούνται αρκετά συχνά και σε μεγάλες αναλογίες, είτε ως προσμίξεις για την παρασκευή τσιμέντου, είτε ως πρόσθετα κατά την ανάμιξη των συστατικών του σκυροδέματος. Κύριος σκοπός είναι η μείωση του κόστους και η βελτίωση ορισμένων χαρακτηριστικών του σκυροδέματος.

#### Φυσικά Υλικά

Προέρχονται κυρίως από κονιορτοποίηση ηφαιστειακών πετρωμάτων και ορυκτών που σχηματίστηκαν από την ταχεία ψύξη του μάγματος.

- **Ηφαιστειακές γαίες:** Η θηραϊκή γη και η ηφλαϊκή γη μπορούν να χρησιμοποιηθούν κυρίως ως πρόσθετα του τσιμέντου για την παρασκευή σκυροδέματος.
- **Διατομική γη:** Κύριο χαρακτηριστικό της ενυδάτωσής της είναι οι μεγάλες απαιτήσεις σε νερό, που μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα αντοχής και ανθεκτικότητας σε διάρκεια. Συναντάται κυρίως σε εναποθέσεις στις Η.Π.Α.

#### Παραπροϊόντα

- **Ιπτάμενες τέφρες :**

Η ιπτάμενη τέφρα μπορεί να είναι πυριτικής ή ασβεστούχου φύσης. Στην πρώτη περίπτωση έχει ποζολανικές ιδιότητες, στη δεύτερη μπορεί να έχει, επιπρόσθετα, υδραυλικές ιδιότητες. Τα πλεονεκτήματα είναι η μείωση των απαιτούμενων χώρων για την απόθεση της τέφρας, η διατήρηση των φυσικών πόρων, αντικαθιστώντας άλλα υλικά, η συμβολή στην δημιουργία καθαρότερου και ασφαλέστερου περιβάλλοντος, η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από την αντικατάσταση τσιμέντου σε διάφορες εφαρμογές, τα σημαντικά οικονομικά οφέλη για τους τελικούς χρήστες λόγω του χαμηλού της κόστους που συνεπάγεται συμβολή στην οικονομική ανάπτυξη, η μείωση του συνολικού κόστους παραγωγής ενέργειας από την εκμετάλλευσή της.

- **Σκωρία υψικαμίνου :**

Η σκωρία υψικαμίνου παράγεται από ταχεία ψύξη τηγμένης σκωρίας κατάλληλης σύνθεσης, και διαθέτει υδραυλικές ιδιότητες όταν ενεργοποιηθεί κατάλληλα. Τα τσιμέντα με πρόσθετο σκωρία υψικαμίνου έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα σε θειικά αραιά ή μέσης συγκέντρωσης διαλύματα. Επίσης είναι ανθεκτικά σε μαλακά νερά. Τέλος, η ταχύτητα ανθρακοποίησης είναι μικρότερη από αυτή του τσιμέντου Πόρτλαντ. Μειονεκτήματα των τσιμέντων με σκωρία υψικαμίνου είναι ότι σε θερμοκρασίες μικρότερες των 10οC καθυστερεί η ανάπτυξη αντοχών και ότι σε περιβάλλον πλούσιο σε χλωριόντα η ταχύτητα διάβρωσης του σιδηροπλισμού είναι μεγαλύτερη από αυτή του τσιμέντου Πόρτλαντ.

- **Πυριτική παιπάλη :**

Η πυριτική παιπάλη προέρχεται από την αναγωγή χαλαζία υψηλής καθαρότητας με άνθρακα σε κλιβάνους ηλεκτρικού τόξου κατά την παραγωγή πυριτίου και κραμάτων σιδηροπυριτίου και συνίσταται από πολύ λεπτά σφαιρικά σωματίδια με περιεκτικότητα τουλάχιστον 85 % κατά μάζα σε άμορφο διοξειδίου του πυριτίου.

#### 1.7.4 ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ

Έχουν σκοπό τη μείωση της διέλευσης του νερού μέσα από το σκυρόδεμα. Η δράση τους βασικά αποσκοπεί στη μείωση του πορώδους, στην αποφυγή μεγάλων κοιλοτήτων και ρηγματώσεων και στη μείωση της συνάφειας ή την ανάπτυξη υδραπωθητικών δυνάμεων μεταξύ τσιμεντοκονίας και νερού. Ως στεγανοποιητικά πρόσμικτα του σκυροδέματος μπορεί να χρησιμοποιηθούν:

- λεπτόκοκκα αδρανή,
- ανόργανα υλικά,
- αδιάλυτοι σάπωνες σε μορφή σκόνης ή γαλακτώματος,
- ρητινικά ή στεατικά άλατα του αμμωνίου σε μορφή πολτού ή γαλακτώματος
- υγροί υδρογονάνθρακες ή ελαιώδη προϊόντα του πετρελαίου σε μορφή γαλακτώματος.

Πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή, διότι μερικά από αυτά ενδέχεται να μειώσουν την αντοχή του σκυροδέματος.

#### Ποζολανικά υλικά (P, Q)

Τα ποζολανικά υλικά είναι φυσικές κονίες ηφαιστειογενούς προέλευσης. Οι ποζολάνες αποτελούνται κυρίως από δραστικό διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) και οξείδιο του αργιλίου ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Το υπόλοιπο περιέχει οξείδιο του σιδήρου ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) και άλλα οξείδια. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που δημιουργήθηκαν κατά τις ηφαιστειακές δράσεις, τα οξείδια υπέστησαν φυσική όπτηση και μετατράπηκαν σε δραστικές κονίες που εκτινάχθηκαν έξω από τους κρατήρες σε μορφή ηφαιστειακής γης (τόφος) καλύπτοντας μεγάλες εκτάσεις. Η ελληνική παραγωγή του 2012 έφτασε τους 285.000 τόνους. Όμως, η αποκλειστική χρήση του υλικού αυτού ως πρόσμικτο στο τσιμέντο αναγκάζει την παραγωγή του σε συνεχή πτώση ενώ, λόγω της τεράστιας εσωτερικής οικονομικής κρίσης που έχει, δεν δημιουργεί πια μεγάλη ζήτηση.

Φυσική ποζολάνη (P): Οι φυσικές ποζολάνες είναι συνήθως υλικά ηφαιστειογενούς προέλευσης, ή ιζηματογενή πετρώματα με κατάλληλη χημική και ορυκτολογική σύνθεση.

Φυσική ψημένη ποζολάνη (Q): Οι φυσικές ψημένες ποζολάνες είναι υλικά ηφαιστειογενούς προέλευσης, άργιλοι, σχιστόλιθοι ή ιζηματογενή πετρώματα που έχουν ενεργοποιηθεί με θερμική κατεργασία.

Οι ποζολάνες προστίθενται στα τσιμέντα για να μειώσουν την θερμότητα ενυδάτωσης, να αυξήσουν την αντοχή τους σε διάβρωση και για να καθυστερήσουν την ανάπτυξη αντοχών. Ειδικότερα, τα ποζολανικά υλικά δεν σκληραίνουν από μόνα τους όταν αναμειχθούν με νερό, αλλά, όταν λεπτοαλεστούν και με την παρουσία νερού, αντιδρούν σε κανονική θερμοκρασία περιβάλλοντος με διαλυμένο υδροξείδιο του ασβεστίου  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  για να σχηματίσουν ενυδατωμένες ασβεστοπυριτικές και ασβεστοαργιλικές ενώσεις που αναπτύσσουν αντοχή.

Κατά την ενυδάτωση του κλίνκερ, η υδράσβεστος που απελευθερώνεται αντιδρά με τα δραστικά συστατικά της ποζολάνης. Η αντίδραση αυτή είναι βραδεία, και έτσι επιβραδύνεται ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας αλλά και η ανάπτυξη μηχανικών αντοχών.

Καθώς η ποζολανική αντίδραση είναι βραδεία και συνεχίζεται όσο υπάρχει ελεύθερο υδροξείδιο του ασβεστίου παρουσιάζεται το φαινόμενο της «αυτοϊάσης», δηλαδή της παραγωγής C-S-H στις ρηγματώσεις σκυροδέματος, όπως στις περιπτώσεις ιστορικών κατασκευών όπου χρησιμοποιείται κονίαμα με ποζολάνη. Η αντίδραση της υδρασβέστου με τα δραστικά συστατικά της ποζολάνας γίνεται μέσα στους πόρους της γέλης τσιμέντου και τα προϊόντα περιορίζουν το πορώδες, το οποίο με τη σειρά του ελαχιστοποιεί τις επιδράσεις του φαινομένου «παγώματος -απόψυξης», μειώνει την περατότητα και την απώλεια νερού μέσω εξίδρωσης (bleeding), αυξάνει την αντοχή στην τριβή και σε θλίψη και παρέχεται μειωμένη διαπερατότητα στο θαλασσινό νερό. Οι ποζολάνες δεσμεύουν το ελεύθερο υδροξείδιο του ασβεστίου, το οποίο διαφορετικά θα μπορούσε να αντιδράσει με τα θειικά και να προκαλέσει καταστροφική διόγκωση (εττρινγκίτης). Η δέσμευση της υδρασβέστου συντελεί στην αύξηση της ανθεκτικότητας σε όξινο περιβάλλον.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΟΚΙΜΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

### 2.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΩΝ

Η μέθοδος περιλαμβάνει τον προσδιορισμό αντοχών σε θλίψη και προαιρετικά σε κάμψη, πρισματικών δοκιμών διαστάσεων 40\*40\*160 mm. Το δοκίμια αυτά κατασκευάζονται από μία ποσότητα τσιμεντοκονίας, που περιέχει κατά μάζα ένα μέρος τσιμέντο και τρία μέρη πρότυπη άμμο και έχει λόγο νερού προς τσιμέντο  $N/T = 1/2 = 0,5$ . Το κονίαμα παρασκευάζεται με μηχανική ανάμιξη και συμπυκνώνεται με κρούσεις μέσα σε καλούπια με την χρήση πρότυπης συσκευής. Τα δοκίμια παραμένουν μέσα στα καλούπια και διατηρούνται σε υγρή ατμόσφαιρα για 24 ώρες. Μετά το ξεκαλούπωμα διατηρούνται μέσα σε νερό έως την στιγμή ελέγχου των αντοχών τους. Στην απαιτούμενη ηλικία, τα δοκίμια απομακρύνονται από τον χώρο που αποθηκεύονται, σπάζουν σε κάμψη και για κάθε πρίσμα ελέγχεται η αντοχή του σε θλίψη.

Κατηγορία Αντοχών (ονομαστική)	Αντοχή σε θλίψη σε N/mm <sup>2</sup>				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	-		

Πίνακας 2: Κατηγορίες Αντοχών Τσιμέντου

Υπάρχουν δύο είδη αντοχής που η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να προσδιορίσει, την πρώιμη και την τυπική. Η πρώιμη αντοχή ενός τσιμέντου είναι η αντοχή σε θλίψη που προσδιορίζεται από τον ΕΛΟΤ EN 196- 1 σε ηλικία είτε 2 είτε 7 ημερών. Η τυπική αντοχή ενός τσιμέντου είναι η αντοχή σε θλίψη που προσδιορίζεται με τον ΕΛΟΤ EN 196- 1 στην ηλικία των 28 ημερών. Για κάθε κατηγορία τυπικής αντοχής, περιλαμβάνονται δύο κατηγορίες πρώιμης αντοχής, μια κατηγορία με κανονική πρώιμη αντοχή, που σημειώνεται με N, και μια κατηγορία με υψηλή πρώιμη αντοχή, που σημειώνεται με R.

### 2.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΠΗΞΗΣ ΚΑΙ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΟΓΚΟΥ

#### 2.2.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΠΗΞΗΣ

Ο χρόνος πήξης προσδιορίζεται μετρώντας την διείδυση μιας βελόνας σε τσιμεντοπολλτό κανονικής συνεκτικότητας με την συσκευή VICAT. Η συσκευή αποτελείται από ένα πλαίσιο που φέρει δύο δακτυλίους μέσα στους οποίους κινείται κατακόρυφα και χωρίς τριβές ένας χαλύβδινος κύλινδρος. Στο άνω μέρος προσαρμόζεται ένας δίσκος που

μπορεί να δέχεται πρόσθετα βάρη, για την διόρθωση του συνολικού βάρους του κυλίνδρου, στο κάτω άκρο του οποίου προσαρμύζονται το έμβολο της κανονικής συνεκτικότητας και οι βελόνες VICAT. Στο κάτω μέρος της, η συσκευή φέρει γυάλινη πλάκα, στην οποία τοποθετείται κολουροκωνικός δακτύλιος με το δείγμα τσιμέντου. Υπάρχει επίσης δείκτης, ο οποίος είναι προσαρμοσμένος, ο οποίος κινείται σε κατακόρυφη κλίμακα και γίνεται αμέσως ανάγνωση σε mm της αποστάσεως ανάμεσα στο κατώτερο άκρο του εμβόλου αποστάσεως (ή του εμβόλου συνεκτικότητας ή της βελόνας VICAT) και της πλάκας στηρίξεως του κολουροκωνικού δακτύλιου. Το έμβολο κανονικής συνεκτικότητας είναι κατασκευασμένο από ανοξείδωτο, λείο μέταλλο, σε μορφή τέλειου κυλίνδρου. Η κολουροκωνική μήτρα αποτελείται από ένα κολουροκωνικό δακτύλιο και μία πλάκα στηρίξεως. Ο δακτύλιος πρέπει να είναι κατασκευασμένος από σκληρό ελαστικό, με λεία την εσωτερική του επιφάνεια. Η πλάκα στήριξης πρέπει να είναι από γυαλί με παράλληλες τέλειες επίπεδες έδρες.



Εικόνα 6: Συσκευή VICAT

Ο τσιμεντοπολτός κανονικής συνεκτικότητας παρασκευάζεται με τέτοια αναλογία τσιμέντου – νερού, ώστε κατά τον έλεγχο του δοκιμίου με τη συσκευή VICAT το έμβολο κανονικής συνεκτικότητας, που εισέρχεται στη μάζα του μετά από κατάλληλη διαδικασία, να απέχει από την πλάκα στήριξης 6 mm. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις αλλάζουμε τις αναλογίες νερού- τσιμέντου. Κατά τη δοκιμασία αυτή το κινητό μέρος της συσκευής VICAT πρέπει να έχει ολικό βάρος 300g.

Η διαδικασία χωρίζεται σε δύο μέρη: στον προσδιορισμό της αρχής πήξης και στο προσδιορισμό τέλους πήξης. Χρόνος αρχής της πήξης είναι ο χρόνος που πέρασε από την παρασκευή του τσιμεντοπολτού μέχρι τη στιγμή που το άκρο της ειδικής βελόνας στη συσκευή VICAT απέχει 5 mm από την πλάκα στήριξης. Η βελόνα που χρησιμοποιείται είναι χαλύβδινος κύλινδρος  $L=50$  mm και διατομής  $1\text{mm}^2$ . Χρόνος τέλους πήξης είναι ο χρόνος που πέρασε από το χρόνο μηδέν της παρασκευής του κανονικού τσιμεντοπολτού, μέχρι την

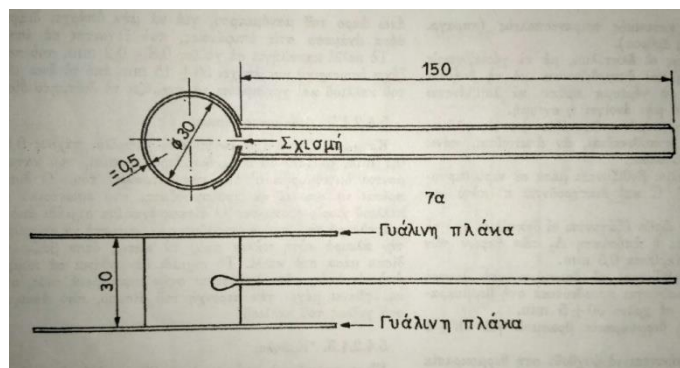


στιγμή που η βελόνα βυθίζεται 0,5 mm από την επιφάνεια του τσιμεντοπολτού. Σημειώνεται ότι για να προσδιοριστεί ο χρόνος τέλους πήξης, μετά τη δοκιμή αρχής πήξης, ο κολουροκωνικός δακτύλιος αναποδογυρίζεται και οι δοκιμές για το τέλος πήξης γίνονται στη νέα άνω επιφάνεια του τσιμεντοπολτού.

## 2.2.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΟΓΚΟΥ

Η σταθερότητα όγκου προσδιορίζεται μετρώντας την διόγκωση του τσιμεντοπολτού κανονικής συνεκτικότητας, όπως καθορίζεται από την σχετική κίνηση δύο βελόνων, με τη βοήθεια της συσκευής Le Chatelier. Ο κύριος σκοπός της δοκιμής σταθερότητας όγκου είναι να εκτιμήσει τον πιθανό κίνδυνο μελλοντικής διαστολής η οποία οφείλεται στην ενυδάτωση του ελεύθερου οξειδίου του ασβεστίου ή και του οξειδίου του μαγνησίου.

Η συσκευή Le Chatelier, είναι κυλινδρικός δακτύλιος με εσωτερική διάμετρο και ύψος 30mm. Έχει μία σχισμή σε κάθε μία πλευρά αυτής, κάθετα τοποθετημένες, είναι συγκολλημένες δύο βελόνες μήκους 15cm. Η μήτρα τοποθετείται σε τμήμα γυάλινου φύλλου και τοποθετείται σε αυτή η πάστα τσιμέντου που είναι προς εξέταση. Καλύπτεται με δεύτερο κομμάτι γυαλί, τοποθετείται πάνω του μικρό βάρος. Στη συνέχεια, όλη η διάταξη βυθίζεται σε δοχείο νερού σε συγκεκριμένη θερμοκρασία για 24 ώρες. Μετά τις 24 ώρες μετράται το άνοιγμα μεταξύ των δύο βελόνων. Η διάταξη βυθίζεται ξανά μέσα στο νερό, το οποίο θερμαίνεται για 30 λεπτά σε σημείο βρασμού και διατηρείται εκεί για 3 ώρες. Η διάταξη απομακρύνεται από το δοχείο νερού, αφήνεται να κρυώσει και μετράται η απόσταση μεταξύ των ενδεικτικών βελόνων. Η διαφορά μεταξύ των δύο μετρήσεων αντιπροσωπεύει την σταθερότητα του τσιμέντου και δεν πρέπει να ξεπερνά τα 10mm.



Εικόνα 7: Συσκευή Le Chatelier

## 2.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΛΕΠΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Για την δοκιμή αυτή χρησιμοποιείται η συσκευή αεροδιαπερατότητας Blaine. Η λεπτότητα του τσιμέντου εκφράζεται ως ειδική επιφάνεια (επιφάνεια κόκκων του τσιμέντου σε  $\text{cm}^2$  ανά g τσιμέντου ).

Όσο λεπτότερο είναι το τσιμέντο τόσο υψηλότερη είναι η θερμότητα ενυδατώσεως και η επακόλουθη ανάπτυξη της αντοχής. Η αντοχή που αποκτάται και οφείλεται στην λεπτότητα είναι σημαντική κατά τη διάρκεια των πρώτων 7 ημερών. Λεπτά αλεσμένα τσιμέντα βελτιώνουν γενικά τη συνάφεια του νωπού σκυροδέματος και δρουν αποτελεσματικά στη μείωση του κινδύνου της εξίδρωσης, αν και αυξάνουν την τάση δημιουργίας ρωγμών λόγω συστολής.

Η συσκευή αεροδιαπερατότητας Blaine δίνει, ουσιαστικά, τη δυνατότητα διέλευσης καθορισμένης ποσότητας αέρα από στρώμα τσιμέντου με καθορισμένο πορώδες. Η υγεία του τσιμέντου είναι η ικανότητά του να διατηρεί ένα σταθερό όγκο μετά την πήξη. Ένα μη υγιές τσιμέντο θα παρουσιάσει μικρορωγμές και σχισίματα στη μάζα του, που δημιουργούνται από την περίσσεια ποσότητα ελεύθερων οξειδίων ασβεστίου ή μαγνησίου. Το ελεύθερο οξείδιο του ασβεστίου παραμένει στο εσωτερικό των σωματιδίων του τσιμέντου και τελικά η υγρασία αντιδρά με τα ελεύθερα οξείδια μετά την πήξη του τσιμέντου, με αποτέλεσμα τη διόγκωση που προκαλεί τη ρηγμάτωση.



Εικόνα 8: Συσκευή αεροδιαπερατότητας Blaine

## 2.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΥΡΩΣΗ

Ο προσδιορισμός γίνεται σε οξειδωτική ατμόσφαιρα (αέρα). Εάν, για κάποιο λόγο η όπτηση του τσιμέντου δεν γίνει σωστά, τότε με την πύρωση κοντά στους 1000 °C, θα χάσει βάρος λόγω αποβολής του CO<sub>2</sub>. Επίσης, αν λόγω κακής αποθήκευσης, το τσιμέντο προσλάβει υγρασία, η οποία θα υποβαθμίσει την ποιότητα του, με την μέθοδο αυτή θα έχουμε απώλεια βάρους λόγω αποβολής του ελεύθερου και δεσμευμένου νερού.

## 2.5 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΘΕΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ

Τα θειικά ιόντα, που διαλύονται διασπώντας το τσιμέντο με υδροχλώριο, καταβυθίζονται σε pH μεταξύ 1 και 1,5 με διάλυμα χλωριούχου βαρίου. Η καταβύθιση γίνεται στο σημείο βρασμού και το ποσοστό εκφράζεται ως τριοξείδιο του θείου.

## 2.6 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΔΙΑΛΥΤΟΥ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΟΣ ΣΤΟ HCL ΚΑΙ ΣΤΟ Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

Το αδιάλυτο υπόλειμμα τσιμέντων προσδιορίζεται κατόπιν κατεργασίας με αραιό διάλυμα υδροχλωρίου, έτσι ώστε να αποφεύγεται, όσο γίνεται περισσότερο, η καταβύθιση του οξειδίου του πυριτίου. Στη συνέχεια, κατεργάζεται με βραστό διάλυμα ανθρακικού νατρίου, για να επαναδιαλυθούν ίχνη διοξειδίου του πυριτίου που έχουν τυχόν καταβυθιστεί. Το υπόλειμμα προσδιορίζεται μετά από πύρωση.

## 2.7 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΧΛΩΡΙΟΝΤΩΝ

Η μέθοδος προσδιορίζει την ολική περιεκτικότητα των αλογόνων, εκτός του φθορίου, και εκφράζει το αποτέλεσμα σαν χλωριούχο. Το δείγμα του τσιμέντου διασπάται με βραστό αραιό νιτρικό οξύ. Τα θειούχα οξειδώνονται σε θειικά και δεν παρεμποδίζουν τον προσδιορισμό. Τα χλωριόντα του διαλύματος καταβυθίζονται με πρότυπο διάλυμα νιτρικού

αργύρου, γνωστού όγκου. Μετά από βρασμό, το ίζημα πλένεται με αραιό νιτρικό οξύ και απορρίπτεται. Το διήθημα και τα υγρά έκπλυσης ψύχονται σε θερμοκρασία μικρότερη των 25°C και η περίσσεια του νιτρικού αργύρου ογκομετρείται με πρότυπο διάλυμα θειοκυανιούχου αμμωνίου χρησιμοποιώντας ως δείκτη διάλυμα άλατος τρισθενούς σιδήρου.

## **2.8 ΔΟΚΙΜΗ ΠΟΖΟΛΑΝΙΚΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΟΖΟΛΑΝΙΚΑ ΤΣΙΜΕΝΤΑ**

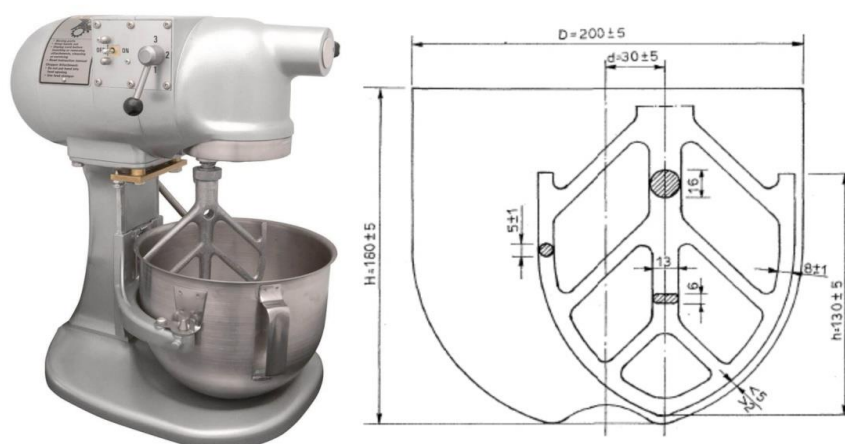
Η ποζολανικότητα εκτιμάται συγκρίνοντας την ποσότητα του υδροξειδίου του ασβεστίου που περιέχεται σε υδατικό διάλυμα, το οποίο είναι σε επαφή με το ενυδατωμένο τσιμέντο για καθορισμένο χρονικό διάστημα, με την ποσότητα του υδροξειδίου του ασβεστίου που απαιτείται για να κορέσει διάλυμα της ίδιας αλκαλικότητας. Η δοκιμή θεωρείται θετική αν η συγκέντρωση του υδροξειδίου του ασβεστίου στο διάλυμα είναι μικρότερη της συγκέντρωσης κορεσμού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑ

### 3.1 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΑΝΤΟΧΩΝ

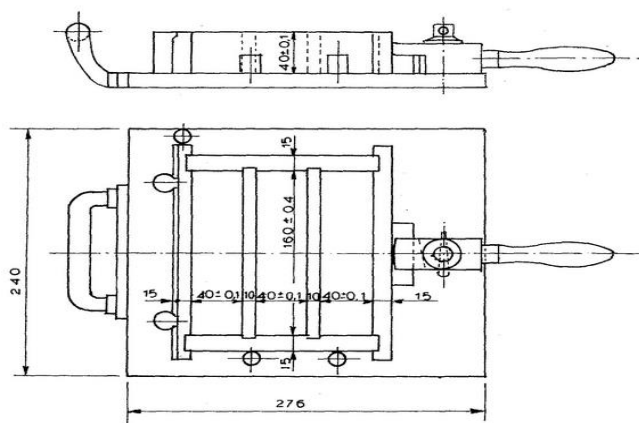
**Μηχανικός αναμικτήρας:** Αποτελείται από:

- **Υποδοχέα από ανοξείδωτο χάλυβα** χωρητικότητας περίπου 4,5- 4,7. Ο υποδοχέας φέρνει κατάλληλη διάταξη, με την οποία προσαρμόζεται σταθερά στο πλαίσιο του αναμικτήρα, όταν γίνεται η ανάμιξη.
- **Μίκτρο** από ανοξείδωτο χάλυβα, το οποίο εκτελεί δύο κινήσεις, μία γύρω από τον άξονά του και μία πλανητική στην περιφέρεια του υποδοχέα, με την βοήθεια ενός κινητήρα με ελεγχόμενη ταχύτητα. Οι δυο φορές περιστροφής πρέπει να είναι αντίθετες και ο λόγος μεταξύ των δύο ταχυτήτων να μην είναι ακέραιος αριθμός.



Εικόνα 9: Αριστερά- μηχανικός αναμικτήρας/ Δεξιά- μίκτρο από ανοξείδωτο χάλυβα

**Μήτρες (Καλούπια):** Κατασκευάζονται από σκληρό χάλυβα σκληρότητας τουλάχιστον HV200 κατά Vickers και πρέπει να είναι τρίδυμες για να είναι δυνατή η κατασκευή τριών δοκιμών ταυτόχρονα. Οι εσωτερικές τους διαστάσεις σε mm πρέπει να είναι μήκος 160 mm πλάτος 40 mm και ύψος 40 mm με μια ελάχιστη απόκλιση του 0,1 mm. Τα τοιχώματα της μήτρας πρέπει να έχουν ελάχιστο πάχος 10 mm. Οι δυο απέναντι εσωτερικές (πλευρικές) επιφάνειες πρέπει να είναι επίπεδες και η γωνία μεταξύ αυτών και της βάσης της μήτρας να είναι 90°. Όταν οι διαστάσεις και το σχήμα των μητρών διαφέρουν από τα προδιαγραφόμενα τότε αντικαθίστανται άμεσα. Η μήτρα τοποθετείται πάνω σε χαλύβδινη βάση, η οποία έχει κατεργαστεί μηχανουργικά και στερεώνεται καλά με σύσφιξη.



Εικόνα 10: Μήτρα (καλούπι).

**Συσκευή συμπυκνώσεως με κρούση:** Η συσκευή αποτελείται βασικά από μια ορθογώνια πλάκα, στερεά συνδεδεμένη με δύο ελαφρούς βραχίονες (μπράτσα) σε ένα άξονα και σε μία οριζόντια απόσταση 80 cm από το κέντρο της πλάκας. Στην κατώτερη επιφάνεια της πλάκας είναι ενσωματωμένη και προεξέχει μία διάταξη προσκρούσεως, με επίπεδη όψη, κάτω από την οποία υπάρχει ένα μικρό στοπ με στρογγυλεμένη την άνω επιφάνειά του. Όταν η διάταξη προσκρούσεως εφάπτεται στο στοπ, η επίπεδη επιφάνειά της και εκείνη της πλάκας πρέπει να είναι οριζόντιες. Με τη βοήθεια ενός έκκεντρου κατασκευασμένου από σκληρό χάλυβα, η πλάκα ανυψώνεται και στη συνέχεια αφήνεται να πέσει ελεύθερα από ύψος 15 mm και χτυπάει με τη διάταξη προσκρούσεως στο στοπ. Η συσκευή επίσης διαθέτει και έναν ηλεκτρικό κινητήρα, ο οποίος έχει την δυνατότητα να κάνει το έκκεντρο να κινείται με ταχύτητα 1 στροφή/ sec.

Η μήτρα τοποθετείται πάνω στην πλάκα με τέτοιο τρόπο, ώστε το μήκος της να είναι κάθετο στον άξονα περιστροφής του έκκεντρου. Με τη βοήθεια κατάλληλων σημείων αναφοράς το κεντρικό σημείο της μήτρας τοποθετείται ακριβώς πάνω από το σημείο κρούσεως. Η μήτρα συνδέεται σταθερά στην πλάκα με κατάλληλους κοχλίες.

**Μηχανή ελέγχου αντοχής σε κάμψη:** Η μηχανή ελέγχου της αντοχής σε κάμψη πρέπει να έχει τη δυνατότητα εφαρμογής φορτίων μικρότερων των 10KN με ακρίβεια 1%. Η μηχανή θα είναι εφοδιασμένη με διάταξη κάμψεως, η οποία φέρει δύο κυλινδρικά στηρίγματα διαμέτρου 10 mm σε απόσταση μεταξύ των 100 mm και τρίτο κύλινδρο φορτίσεως της ίδιας διαμέτρου τοποθετημένο κεντρικά μεταξύ των δύο άλλων.

Τα τρία κατακόρυφα επίπεδα που διέρχονται από τους άξονες των τριών κυλίνδρων, πρέπει να είναι και να παραμένουν παράλληλα και σε ίσες αποστάσεις σε όλη την διάρκεια της δοκιμής. Ένας από τους κυλίνδρους στηρίξεως όπως και ο κύλινδρος αποφορτίσεως πρέπει να έχουν την δυνατότητα της ελαφριάς περιστροφής, σε σχέση με τα κέντρα ανυψώσεως τους, που να επιτρέπει την ομοιόμορφη κατανομή του φορτίου κατά πλάτος του πρίσματος χωρίς το δοκίμιο να υπόκειται σε καταπόνηση στρέψεως.



Εικόνα 11: Μηχάνημα κάμψης

**Μηχανή ελέγχου αντοχής σε θλίψη:** Για τον έλεγχο αντοχών σε θλίψη, κάθε μισό πρίσμα μήκους μεγαλύτερου των 40 mm, που λαμβάνεται από τον έλεγχο σε κάμψη, τοποθετείται ανάμεσα σε δύο τετράγωνες πλάκες από σκληρό μέταλλο, τουλάχιστον 10 mm πάχους, πλευράς 40 mm και επίπεδες. Οι πλάκες αυτές έχουν σκληρότητα κατά Vickers τουλάχιστον 600.



Εικόνα 12: Μηχάνημα θλίψης

Η μηχανή αυτή πρέπει να είναι εφοδιασμένη τουλάχιστον με δύο κλίμακες φορτίσεως, μία των 4 μέχρι 5 τόνων και άλλης μίας των 15 μέχρι 25 τόνων. Η κάτω πλάκα θραύσεως των δοκιμίων μπορεί να ενσωματωθεί στο κάτω μέρος της διατάξεως, ενώ η άνω πλάκα δέχεται το φορτίο από την άνω πλάκα της μηχανής θλίψεως με σφαιρική άρθρωση. Η διάταξη θραύσεως πρέπει να διατηρείται καθαρή και η σφαιρική άρθρωσή της να μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα, κατά τέτοιο τρόπο, ώστε η άνω πλάκα θραύσεως να προσαρμόζεται από μόνη της στην επιφάνεια του δοκιμίου και να παραμένει σταθερή κατά την διάρκεια της δοκιμής.

Η μηχανή θλίψης είναι κατάλληλα εξοπλισμένη για την εφαρμογή, τον έλεγχο και την μέτρηση του απαιτούμενου αξονικού φορτίου. Η μηχανή περιέχει δυο 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.

### 3.2 ΕΚΦΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Οι αντοχές σε κάμψη και θλίψη εκφράζονται σε N/ mm<sup>2</sup>. Κάθε ένα από τα τρία δοκίμια που παράγει μια μήτρα σπάει σε ηλικία 2, 7 και 28 ημερών αντίστοιχα. Σαν αντοχή σε κάμψη και θλίψη του κονιάματος λαμβάνεται ο μέσος όρος αντοχών των δοκιμών για κάθε ηλικία. Σε περίπτωση που οι τιμές διαφέρουν του μέσου όρου των αντοχών περισσότερο του 10%, η δοκιμή επαναλαμβάνεται.

Παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή σε θλίψη είναι:

- Λόγος νερού τσιμέντο N/T
- ο τύπος του τσιμέντου
- ο εγκλωβισμένος αέρας
- η κοκκομετρία των αδρανών
- το νερό ανάμιξης
- τα πρόσμικτα και πρόσθετα
- η μέθοδος παρασκευής ,συμπύκνωσης και συντήρησης
- οι περιβαλλοντικές συνθήκες
- το σχήμα το μέγεθος και η υγρασία των δοκιμών
- οι συνθήκες φόρτισης.

### 3.3 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΣ

Το μέτρο ελαστικότητας E εκφράζει τη δυνατότητα που έχει ένα σώμα να μένει ανεπηρέαστο στην παραμόρφωση. Ο λόγος της τάσης προς την παραμόρφωση στο σημείο θραύσης του δοκιμίου ονομάζεται μέτρο ελαστικότητας και εκφράζεται από τον τύπο:

$$E = \sigma / \varepsilon$$

Όπου: E= το μέτρο ελαστικότητας  
σ= τάση  
ε= ανηγμένη παραμόρφωση

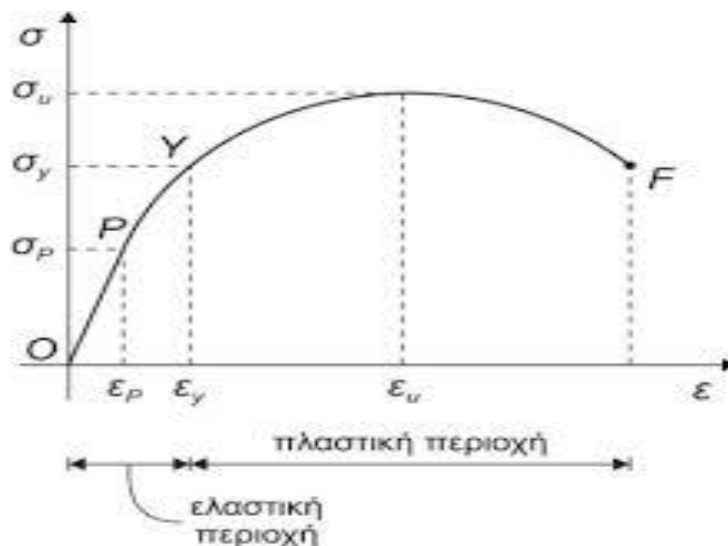
Η σχέση μεταξύ εντάσεως και παραμορφώσεως χαρακτηρίζει την ελαστική ή πλαστική συμπεριφορά του υλικού. Ορίζεται, για κάθε υλικό, πειραματικώς και αποτυπώνεται σε διάγραμμα, το οποίον καταγράφεται αυτομάτως από τη μηχανή που εκτελεί τη δοκιμασία.

**Ελαστική Παραμόρφωση** : Η παραμόρφωση αυτή δεν είναι μόνιμη, το σώμα δηλαδή, επανέρχεται στο αρχικό του σχήμα όταν πάψει να ενεργεί η δύναμη που την προκάλεσε. Η ελαστική παραμόρφωση είναι ανάλογη του φορτίου.

**Πλαστική Παραμόρφωση:** Είναι η παραμόρφωση η οποία είναι μόνιμη, δηλαδή το σώμα δεν επανέρχεται στο αρχικό του σχήμα μόλις πάψει να ενεργεί η δύναμη που την προκάλεσε.

### 3.4 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΣΗΣ- ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Σε ένα σώμα που ασκείται μία συνεχώς αυξανόμενη δύναμη, αρχικά εμφανίζεται ελαστική παραμόρφωση. Όταν ξεπεραστεί το λεγόμενο όριο ελαστικότητας το σώμα χάνει την ικανότητα να επανέρχεται πλήρως στο αρχικό του σχήμα. Αν η δύναμη συνεχίσει να αυξάνεται, το σώμα θα φτάσει στο όριο θραύσης του και θα σπάσει.



Εικόνα 13: Ιδανικό διάγραμμα τάσης ( $\sigma$ )- ανηγμένης παραμόρφωσης ( $\epsilon$ )

Η σχεδίαση της καμπύλης μεταβολής της τάσης  $\sigma$  σε συνάρτηση με την ανηγμένη επιμήκυνση  $\epsilon$  οδηγεί στην εξαγωγή συμπερασμάτων. Από το διάγραμμα μπορούμε να βρούμε το μέτρο ελαστικότητας, καθώς και την πλαστιμότητα. Στην τυπική μορφή του διαγράμματος παρουσιάζεται καθαρά η αντοχή της κονιάς σε θλίψη.

**Λόγος Poisson:** αποτελεί τον λόγο της εγκάρσιας προς την αξονική παραμόρφωση. Στην περιοχή των ελαστικών παραμορφώσεων είναι ίσος με 0,20. Ο λόγος Poisson είναι γενικά χαμηλότερος σε υψηλής αντοχής τσιμέντα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

### 4.1 ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ (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 απορρίμματα αποτελούν μεγάλο μέρος του συνόλου των στερεών απορριμμάτων στις περισσότερες αστικές περιοχές. Τα οικοδομικά απόβλητα προέρχονται από διάφορες οικοδομικές εργασίες όπως η ανέγερση κτηρίων ή η κατασκευή δημόσιων υποδομών, ενώ ακόμη μπορούν να προκύψουν από την κατεδάφισή τους. Χωρίζονται ανάλογα με την προέλευσή τους σε απόβλητα από κατασκευές και σε απόβλητα από κατεδαφίσεις. Επίσης θεωρούνται απόβλητα, υλικά που έχουν προκύψει από εκσκαφή τμήματος εδάφους.

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
- υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για συσκευασία.

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 στους 6 με 7 τόνους το χρόνο. Παρόλα αυτά, παρατηρείται μείωση της παραγωγής ΑΚΚ, γεγονός που οφείλεται στη μείωση της οικοδομικής δραστηριότητας λόγω της οικονομικής κρίσης.

<b>17 00 00</b>	<b>ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΙΣ(ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ ΚΑΙ ΤΑ ΧΩΜΑΤΑ ΕΚΣΚΑΦΩΝ ΑΠΟ ΡΥΠΑΣΜΕΝΑ ΕΛΔΑΦΗ)</b>
<b>17</b>	<b>ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΙΣ(ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΡΟΜΩΝ)</b>
<b>17 01</b>	<b>Σκυρόδεμα , τούβλα, πλακάκια και κεραμικά</b>
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
<b>17 02</b>	<b>Ξύλο, γυαλί και πλαστικό</b>
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
<b>17 03</b>	<b>Μίγματα βιτουμενίου, ανθρακόπισσα και άλλα προϊόντα πίσσας</b>
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 αμίαντο
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

Πίνακας 3: ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ (ΑΚΚ) [Τα απόβλητα που θεωρούνται επικίνδυνα σημειώνονται με αστερίσκο όπως ορίζει η Απόφαση 2000/532/ΕΚ.]

## 4.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΙΣ

Υπάρχουν πολλές επιλογές για την διαχείριση των αποβλήτων και παρουσιάζονται με βάση την κατάταξη που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή οδηγία για τον έλεγχο των απορριμμάτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις. Από τις λύσεις που είναι δυνατές, η λιγότερο αποδεκτή και επιθυμητή είναι η διάθεση- απόρριψη των αποβλήτων και επιβάλλεται να χρησιμοποιείται σε έσχατες περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει η δυνατότητα να υπάρξουν άλλες επιλογές. Στην περίπτωση αυτή τα υλικά τα οποία δεν δύναται να υποστούν οποιαδήποτε άλλη επεξεργασία, προωθούνται σε χώρους υγειονομικής ταφής ή σε χωματερές.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή οδηγία - πλαίσιο, η ιεράρχηση για την αξιοποίηση των αποβλήτων είναι η εξής:

- Πρόληψη
- Προετοιμασία και επαναχρησιμοποίηση
- Ανακύκλωση
- Αλλού είδους ανάκτηση
- Διάθεση

### **Ορισμοί**

**Απόβλητα:** Κάθε ουσία ή αντικείμενο το οποίο ο κάτοχός του απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να απορρίψει.

**Αδρανή απόβλητα:** τα μη επικίνδυνα απόβλητα που δεν υφίστανται καμία σημαντική φυσική, χημική ή βιολογική μετατροπή. Τα αδρανή απόβλητα δε διαλύονται, δεν καίγονται ούτε συμμετέχουν σε άλλες φυσικές ή χημικές αντιδράσεις, δε βιοδιασπώνται, ούτε επιδρούν δυσμενώς σε άλλα υλικά με τα οποία έρχονται σε επαφή κατά τρόπο ικανό να προκαλέσει ρύπανση του περιβάλλοντος ή να βλάψει την υγεία του ανθρώπου. Η συνολική αποπλυσιμότητα και περιεκτικότητα σε ρύπους των αποβλήτων και η οικοτοξικότητα των στραγγισμάτων πρέπει να είναι αμελητέες και ειδικότερα να μη θέτουν σε κίνδυνο την ποιότητα των επιφανειακών ή και των υπογείων υδάτων.

**Έργα τεχνικών υποδομών:** κατεδαφίσεις, κατασκευές ή/και επιδιορθώσεις δρόμων, γεφυρών, σηράγγων, αποχετευτικών δικτύων, πεζοδρομίων και αναπλάσεις χώρων κ.ά.

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

- την ποσότητα των αποβλήτων, μέσω της επαναχρησιμοποίησης ή της παράτασης της διάρκειας ζωής των προϊόντων
- τις αρνητικές επιπτώσεις των παραγόμενων αποβλήτων στο περιβάλλον και τη ανθρώπινη υγεία
- την περιεκτικότητα των υλικών και προϊόντων σε επικίνδυνες ουσίες

**Διαχείριση ΑΕΚΚ:** η συλλογή, μεταφορά, μεταφόρτωση, προσωρινή αποθήκευση, αξιοποίηση και διάθεση των ΑΕΚΚ, συμπεριλαμβανομένης της εποπτείας των εργασιών αυτών και της αποκατάστασης των χώρων αποθήκευσης, μεταφόρτωσης, αξιοποίησης και διάθεσης των ΑΕΚΚ μετά την παύση λειτουργίας τους.

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

**Σύστημα εναλλακτικής διαχείρισης:** η οργάνωση σε ατομική ή συλλογική βάση με οποιαδήποτε νομική μορφή των εργασιών συλλογής, μεταφοράς, προσωρινής αποθήκευσης, επαναχρησιμοποίησης, επεξεργασίας και αξιοποίησης των ΑΕΚΚ .

**Επαναγερσιμοποίηση:** οποιαδήποτε ενέργεια μέσω της οποίας τα υλικά που προέρχονται από κατεδαφίσεις, ανεγέρσεις οικοδομών, φυσικές ή άλλες καταστροφές, χρησιμοποιούνται για τους σκοπούς που σχεδιάστηκαν, με ή χωρίς την υποστήριξη βοηθητικών προϊόντων που υπάρχουν στην αγορά.

**Επεξεργασία:** οποιαδήποτε δραστηριότητα, συμπεριλαμβανομένης της διαλογής, αφότου τα απόβλητα παραδοθούν σε εγκεκριμένη εγκατάσταση προκειμένου να περιορισθούν ο όγκος ή οι επικίνδυνες ιδιότητές τους, να διευκολυνθεί η διακίνησή τους και να βελτιωθεί η ανάκτηση των περιεχομένων χρήσιμων υλών.

**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:** 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.

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

### **4.3 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΑΠΟ ΑΚΚ**

Η ανακύκλωση των αποβλήτων από κατασκευές- κατεδαφίσεις γίνεται εντός ή εκτός εργοταξίου. Η επεξεργασία πραγματοποιείται με τρόπο τέτοιο ώστε τα υλικά να φτάσουν το αρχικό επίπεδο ποιότητας τους και όχι κατώτερο από αυτό.

#### **4.3.1 ΟΦΕΛΗ**

Τα οφέλη που προκύπτουν από την ανακύκλωση αποβλήτων από κατασκευές-κατεδαφίσεις είναι:

- Μείωση της παραγωγής εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου λόγω του ότι μειώνει την ανάγκη για εξαγωγή και μεταφορά πρώτων υλών
- εξοικονόμηση ενέργειας από την παραγωγή νέων υλικών καθώς και την εξόρυξη
- μείωση του κόστους του έργου
- μείωση του κόστους μεταφοράς
- μείωση του κόστους ορισμένων νέων οικοδομικών υλικών
- εξοικονόμηση χώρου στις χωματερές
- 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 >>

### **4.3.2 ΕΜΠΟΔΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΑΠΟ ΑΚΚ**

#### **Οικονομικής φύσεως εμπόδια**

Τα συνήθη υλικά από τα οποία συντίθενται τα ΑΚΚ είναι σκυρόδεμα, τούβλα, πέτρες, άμμος και χαλίκι. Τα υλικά αυτά είναι σχετικά άμεσα διαθέσιμα, γεγονός το οποίο τα καθιστά φθηνότερα λόγω του χαμηλού κόστους παραγωγής τους. Είναι πιθανότερο σε περιπτώσεις μεγάλων πόλεων, οι οποίες βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από κάποιο λατομείο, 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**

Παρόλα τα οφέλη της ΑΚΚ, 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.

### **4.4 ΑΔΡΑΝΗ ΑΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ**

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.

Οι διαθέσιμες τεχνολογίες ανακύκλωσης πρακτικά χωρίζονται σε τρία επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο αναφέρεται κυρίως σε μονάδες φορητές, μικρής δυναμικότητας, οι οποίες είτε εγκαθίστανται επί τόπου του έργου για την απευθείας ανακύκλωση των υλικών είτε εγκαθίστανται σε σταθερή βάση σε ΧΥΤΑ. Το τελικό προϊόν περιέχει αρκετές προσμείξεις και είναι χαμηλών προδιαγραφών. Το επίπεδο αυτό ανταποκρίνεται κυρίως στις μεσογειακές χώρες, στις οποίες το τέλος ταφής είναι ακόμα χαμηλό.

Το δεύτερο επίπεδο αποτελεί μια ενδιάμεση κατάσταση και αναφέρεται σε μονάδες με ελαφρώς πιο πολύπλοκο εξοπλισμό χωρίς ιδιαίτερα μεγάλη αύξηση στο κόστος, ο οποίος επιτυγχάνει και κάποιο βασικό διαχωρισμό (π.χ. μαγνητικός διαχωρισμός, απομάκρυνση ανεπιθύμητων προσμείξεων). Η βιωσιμότητα των μονάδων σχετίζεται κυρίως με τα κόστη διάθεσης, μεταφοράς και πρώτων υλών.

Τέλος το τρίτο επίπεδο εφαρμόζεται σε κράτη, τα οποία έχουν απαγορεύσει τη διάθεση των αδρανών προς ταφή ή τα τέλη είναι σχεδόν απαγορευτικά, με αποτέλεσμα η ανακύκλωση να αποτελεί τη βασική οδό διαχείρισης. Η αγορά περιλαμβάνει μονάδες επεξεργασίας μεγάλης κλίμακας με εξεζητημένα συστήματα διαχωρισμού, όπως αεροδιαχωριστές. Υπάρχουν ακόμα συστήματα διαλογής στην πηγή, στα οποία χρήσιμα υλικά απομακρύνονται και ταξινομούνται σε σωρούς πριν την κατεδάφιση. Με αυτό τον τρόπο, παράγονται υλικά υψηλής προστιθέμενης αξίας και κάποιες χώρες (Αυστρία, Γερμανία και Ολλανδία) έχουν αυξήσει τα ποσοστά ανακύκλωσης που φτάνουν μέχρι 85-90%.

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

Αδρανή προέρχονται και από άλλες διαδικασίες και είναι δυνατόν να αντικαταστήσουν τα αδρανή τα οποία προέρχονται από εξόρυξη σε διάφορες εφαρμογές όπως την 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 γης που χρησιμοποιείται για λατόμευση και την εξοικονόμηση μη ανανεώσιμων πόρων.

#### **4.5 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΑΔΡΑΝΗ**

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 μαζών 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.

#### **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.

**Οφέλη:** Αρχικά, εξοικονομείται χώρος σε περιοχές υγειονομικής ταφής. Επίσης χρησιμοποιώντας ανακυκλωμένα υλικά, όπως χαλίκια, μειώνεται η απαίτηση για εξόρυξη αμμοχάλικου. Είναι αναγκαίο να σημειωθεί πως, η ανακύκλωση ενός τόνου τσιμέντου είναι δυνατόν να εξοικονομήσει 1.360 γαλόνια ( $5,14 \text{ m}^3$ ) νερό και 900 κιλά διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Στην παρούσα εργασία η πειραματική διαδικασία χωρίζεται σε τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος παρασκευάζεται τσιμεντοκονία με λόγο νερού προς τσιμέντο= 1/2 από πρότυπη χαλαζιακή άμμο. Στο δεύτερο μέρος παράγεται τσιμεντοκονία από 100 % ανακυκλώσιμα αδρανή υλικά ενώ το τρίτο μέρος είναι ίδιο με το δεύτερο, αλλά γίνεται αντικατάσταση του 20% της συνολικής άμμου με ποζολάνη. Στόχος είναι η διερεύνηση της αντοχής των παραγόμενων δοκιμίων σε θλίψη και κάμψη μετά από συντήρηση 7 και 28 ημερών και η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

### ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

#### 5.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΥΛΙΚΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΣ

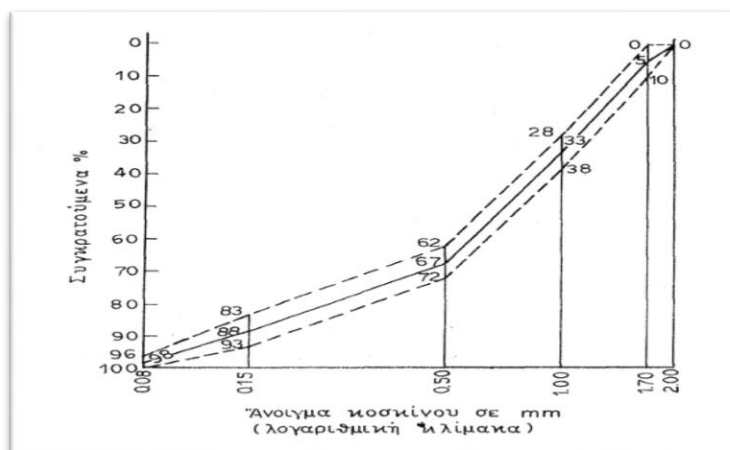
Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν είναι :

- Τσιμέντο τύπου Portland [CEM II]
- Πρότυπη χαλαζιακή άμμος με μέγεθος κόκκου 0.01- 1.45 mm

#### Κοκκομετρική ανάλυση αδρανών υλικών

Με σκοπό να γίνει έλεγχος καταλληλότητας των αδρανών υλικών με βάση τα όρια του ΚΤΣ 97 και να δημιουργηθεί κοκκομετρική καμπύλη, πραγματοποιήσαμε κοκκομετρική ανάλυση ενός δείγματος των αδρανών υλικών, που χρησιμοποιήθηκαν για την πρώτη σκυροδέτηση.

Η πρότυπη άμμος, που χρησιμοποιήθηκε για την σύνθεση του κονιάματος, πρέπει να είναι φυσική, στρογγυλεμένη, πυριτική άμμος της μέγιστης δυνατής περιεκτικότητας σε χαλαζία, ιδίως στο λεπτό της κλάσμα. Η άμμος πρέπει να αποτελείται από τρία κλάσματα: λεπτό (0/0,5 mm), μεσαίο (0,5/1 mm) και χονδρό (1/2 mm) που διαχωρίζονται με κόσκινα των 0,5 mm και 1,0 mm. Η κοκκομετρική διαβάθμιση πρέπει να είναι τέτοια ώστε όταν αναμιγνύονται ίσα βάρη των κλασμάτων να επιτυγχάνεται σύνθεση της άμμου που να βρίσκεται μέσα στα απαιτούμενα όρια. Το κόσκινισμα συνεχίζεται μέχρις ότου το διερχόμενο ποσό της άμμου από κάθε κόσκινο να είναι μικρότερο από 0,5 gr. στο λεπτό. Τα αποτελέσματα δίνονται υπό μορφή καμπύλης σε λογαριθμική κλίμακα.



Εικόνα 14: Κοκκομετρική καμπύλη μέτρησης της άμμου.

Στο συγκεκριμένο πείραμα, για τον διαχωρισμό χρησιμοποιήθηκαν τα ASTM κόσκινα Νο 16, Νο 30, Νο 100 και Νο 200. Αφού τοποθετήθηκαν σε σειρά τα κόσκινα, κοσκινίστηκαν 75 kg χαλαζιακής άμμου. Η απαίτηση που προέκυψε ήταν να μην ξεπεραστούν τα όρια της πρότυπης κοκκομετρικής καμπύλης. Τα αποτελέσματα της κοσκίνησης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Κόσκινο ASTM	Άνοιγμα Βροχίδας (mm)	Συγκρατούμενο Ποσοστό (%)	Υπολογισμός	Συγκρατούμενο Υλικό (gr)
No 16	1,18	37	370*39 kgr	14430
No 30	0,60	71	(710-370)* 39 kgr	13260
No 100	0,15	92	(920-710)* 39 kgr	8190
No 200	0,075	100	(1000-920)* 39 kgr	3120

Πίνακας 4: Κατανομή μεγέθους κόκκων για την εξαγωγή της κοκκομετρικής καμπύλης.

Για τη σύνθεση του κονιάματος οι κατά βάρος αναλογίες πρέπει να είναι: ένα μέρος του υπό δοκιμή τσιμέντου, τρία μέρη τελείως στεγνής χαλαζιακής άμμου και μισό μέρος πόσιμου νερού.

NEPO [gr]	ΤΣΙΜΕΝΤΟ [gr]	ΑΜΜΟΣ [gr]
225	450	1350

Πίνακας 5: Σύνθεση του κονιάματος με κατά βάρος αναλογίες

Η ζύγιση έχει ένα περιθώριο σφάλματος 0,5%. Η ποσότητα άμμου που απαιτείται να πάρουμε από το κάθε κόσκινο, φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Κόσκινο ASTM	Ποσότητα Άμμου (gr)
No 16	499,50
No 30	459,00
No 100	283,50
No 200	108,00

Πίνακας 6: Απαιτούμενες ποσότητες άμμου από το κάθε κόσκινο για την δημιουργία κοκκομετρικής καμπύλης

## 5.2 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Η ανάμιξη κάθε παρτίδας έγινε χρησιμοποιώντας τον αναμικτήρα. Για την παρασκευή του κονιάματος, η θερμοκρασία του τσιμέντου, του νερού, της άμμου, του περιβάλλοντος, καθώς και των συσκευών πρέπει να είναι περίπου 20 °C. Η σχετική υγρασία του αέρος στην αίθουσα που πραγματοποιείται η δοκιμή πρέπει να είναι μικρότερη από 65%. Αναλυτικότερα, για την παραγωγή της τσιμεντοκονίας:

1. Ρίξαμε το νερό στο δοχείο ανάμιξης και προσθέσαμε το τσιμέντο. Η στιγμή που ρίχθηκε το τσιμέντο είναι και ο χρόνος μηδέν, οπότε αρχίζουν να μετρώνται οι χρόνοι που χρειάζονται.
2. Θέσαμε αμέσως σε λειτουργία το μίκτρο σε χαμηλή ταχύτητα και αφού πέρασαν 30 sec προσθέσαμε την άμμο με σταθερό ρυθμό για τα επόμενα 30 sec. Στη συνέχεια αυξήσαμε την ταχύτητα στη μέτρια σκάλα και η ανάμιξη συνεχίστηκε για τα επόμενα 30 sec.
3. Για το επόμενο 1 min και 30 sec ο αναμικτήρας σταμάτησε και καθαρίσαμε τα τοιχώματα και το κάτω μέρος του δοχείου από το κονίαμα που είχε κολλήσει, με την βοήθεια ενός ελαστικού ξέστρου.
4. Θέσαμε ξανά σε λειτουργία ο αναμικτήρας για 1 min στην υψηλή ταχύτητα.



Εικόνα 15: Διαδικασία σύνθεσης κονιάματος. Από την κοσκίνιση της άμμου, στην σύνθεση της πρότυπης χαλαζιακής άμμου, την παρασκευή των δοκιμίων και την τοποθέτηση του κονιάματος στην μήτρα (καλούπι)

Αφού ετοιμάστηκε η τσιμεντοκονία, μόλις έκλεισε ο αναμικτήρας, γεμίσαμε τα καλούπια. Οι μήτρες, πριν το γέμισμα, λαδώνονται ελαφρά εσωτερικά και στεγανοποιούνται οι εξωτερικές συνδέσεις με μίγμα που αποτελείται από τρία μέρη στερεής παραφίνης και ένα μέρος ρητίνης. Στερεώσαμε την μήτρα πάνω στην πλάκα της συσκευής συμπυκνώσεως και τοποθετήσαμε μέσα σε αυτή, κατευθείαν από τον αναμικτήρα, το πρώτο στρώμα κονιάματος, περίπου μέχρι τη μέση του κάθε ένα διαμερίσματος. Απλώσαμε αυτό το στρώμα με χαλύβδινη σπάτουλα και την σύραμε δυο φορές μπρος πίσω κατά μήκος κάθε διαμερίσματος της μήτρας. Το πρώτο στρώμα του κονιάματος υποβλήθηκε σε 60 κρούσεις σε χρόνο 60 sec (μία κρούση ανά sec). Κατόπιν διαστρώσαμε και δεύτερο στρώμα κονιάματος, μέχρι που γέμισαν και τα τρία διαμερίσματα της μήτρας. Ισοπεδώθηκε και συμπυκνώθηκε, όπως το προηγούμενο. Στη συνέχεια η μήτρα απομακρύνθηκε από την μηχανή συμπύκνωσης. Η περίσσεια του κονιάματος αφαιρέθηκε με μεταλλικό κανόνα, που φέρεται κάθετα και κινείται αργά κατά μήκος της μήτρας με πριονοειδή εγκάρδια κίνηση. Στη συνέχεια, φτιάχτηκε η επιφάνεια με τον ίδιο ακριβός κανόνα, χρησιμοποιώντας τον σε σχεδόν επίπεδη θέση. Τέλος, αναγράφηκαν πάνω στις μήτρες τα στοιχεία των δοκιμίων.

Για την αποφυγή της εξάτμισης του νερού οι μήτρες σκεπάζονται με γυάλινη, μεταλλική ή ελαστική πλάκα και τοποθετούνται μέχρι το ξεκαλούπωμα σε θάλαμο με θερμοκρασία 20 °C και σχετικής υγρασίας όχι μικρότερης του 90%. Στο συγκεκριμένο πείραμα, τα καλούπια καλύφθηκαν με βρεγμένα πανιά σε όλη τους την επιφάνεια, έτσι ώστε να υπάρξει αποφυγή εξατμίσεως του νερού και έμειναν έτσι για 24 ώρες.

Το ξεκαλούπωμα πρέπει να γίνεται με τις απαιτούμενες προφυλάξεις. Κάθε δοκίμιο, μετά την αφαίρεση από την μήτρα, ζυγίζεται και η μάζα του αναγράφεται στην κάτω επιφάνειά του. Είναι αναγκαίο να συντηρούνται σε νερό μέχρι την ημέρα της δοκιμασίας. Το νερό πρέπει να καλύπτει όλες τις πλευρές και κάθε δεκαπέντε μέρες να ανανεώνεται. Τα δοκίμια πρέπει να βγουν από το νερό το πολύ 15 min πριν την δοκιμασία, και πρέπει να σκουπίζονται με καθαρό ύφασμα, έτσι ώστε να αφαιρεθούν τυχόν επικαθίσεις που έχουν συσσωρευτεί πάνω σε αυτά. Η παραπάνω διαδικασία ακολουθήθηκε για την παραγωγή όλων των δοκιμίων.



Εικόνα 16: Μήτρες με δοκίμια έτοιμα για ξεκαλούπωμα

### 5.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΩΝ

**Αντοχή σε κάμψη:** Το δοκίμιο τοποθετείται στη μηχανή κάμψεως, έτσι ώστε μία από τις πλάγιες λείες έδρες του, να πατάει πάνω στους κυλίνδρους στηρίξεως και ο επιμήκης άξονάς του να είναι κάθετος σε αυτούς. Το φορτίο P πρέπει να εφαρμόζεται κατακόρυφα, με τον κύλινδρο φορτίσεως πάνω στην απέναντι παράπλευρη έδρα του πρίσματος και πρέπει να αυξάνει προοδευτικά κατά 50 N/sec ( +/- 10 N/sec).

Η αντοχή σε κάμψη R δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$R_f = \frac{1.5 * F_f * L}{b^3} [N/mm^2]$$

Όπου:

- Ff: το φορτίο που εφαρμόσθηκε στη μέση του πρίσματος σε N
- L: η απόσταση μεταξύ των στηριγμάτων σε mm
- b: η πλευρά της τετραγωνικής διατομής σε mm

**Αντοχή σε θλίψη:** Το δοκίμιο μετά την δοκιμασία αντοχής σε κάμψη χωρίζεται σε δύο μέρη. Κάθε μισό πρίσμα τοποθετείται ανάμεσα στις πλάκες θραύσεως του μηχανήματος θλίψης, έτσι ώστε το φορτίο να εφαρμόζεται πάνω στις παράλληλες έδρες, που σχηματίστηκαν από τα επιμήκη τοιχώματα της μήτρας. Ο βαθμός φόρτισης είναι 2 KN/ sec.

Η αντοχή σε θλίψη Rc δίνεται από την σχέση:

$$R_c = \frac{F_c}{A} [N/mm^2]$$

Όπου:

- A: η επιφάνεια των πλακών σε mm<sup>2</sup>
- Fc: μέγιστο φορτίο στο σημείο θραύσης που δίνεται από τον τύπο:

$$F_c = \frac{(F_{c1} + F_{c2}) * 1000}{2} [N]$$

## ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

### 5.4 ΘΡΑΥΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΓΙΑ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ

Τα δοκίμια που αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση των αντοχών κάμψης και θλίψης, αποθηκεύτηκαν και στη συνέχεια θραύτηκαν με τη χρήση χαλύβδινου σφυριού. Η κονιορτοποίηση των ήδη υπαρχόντων δοκιμίων και η επαναφορά τους σε άμμο έχει σκοπό την χρησιμοποίησή τους στα καινούρια δοκίμια. Με αυτό τον τρόπο θα παραχθούν δοκίμια από 100% ανακυκλώσιμο υλικό. Αφού το υλικό θραυτεί, περνάει την ίδια διαδικασία κοσκίνησης και ζύγισης και δημιουργείται κοκκομετρική καμπύλη με τον ίδιο τρόπο όπως και πριν.

### Σύνθεση κονιάματος από 100% ανακυκλωμένο υλικό

Η σύνθεση της τσιμεντοκονίας είναι η ίδια με πριν, με την μόνη διαφορά ότι αυτή την φορά προσθέσαμε και 3 gr ρευστοποιητή, για την καλύτερη συνοχή του μίγματος.

## ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

### 5.5 ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΜΕ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ 20% ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ ΜΕ ΠΟΖΟΛΑΝΗ

#### Σύνθεση Δοκιμίων

Από το υλικό το οποίο μας απέμεινε προχωρήσαμε στην παρασκευή άλλων τεσσάρων μητρών, με αντικατάσταση της συνολικής άμμου που χρειάζεται για αυτές με 20% ποζολάνη και προσθέσαμε ρευστοποιητή για την καλύτερη συνοχή της τσιμεντοκονίας.

Για την κατασκευή των καινούριων δοκιμίων, είναι αναγκαίο η ποζολάνη να κοσκινιστεί. Χρησιμοποιούμε τα ίδια ποσοστά, όπως και πριν, τα οποία είναι πολύ κοντά στα ιδανικά ποσοστά της πρότυπης κοκκομετρικής καμπύλης. Ακολουθεί η παρασκευή των δοκιμίων. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει αναλυτικά τα βάρη της άμμου και της ποζολάνης που χρειάζονται από κάθε κόσκινο (όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο), καθώς και το συνολικό τελικό βάρος που θα χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή των δοκιμίων.

Ποσοστά	Συνολικό Βάρος (gr)	Βάρος Άμμου (gr)	Βάρος Ποζολάνης (gr)	Τελικό Συνολικό Βάρος (gr)	
				Άμμος	Ποζολάνη
37%	499,5*80%	399,60	99,90	399,50	100,00
71%	459*80%	367,20	91,80	367,00	92,00
92%	283,5*80%	226,80	56,70	226,50	57,00
100%	108*80%	86,40	21,60	86,50	21,50

Πίνακας 7: Απαιτούμενες ποσότητες άμμου και ποζολάνης από το κάθε κόσκινο για την δημιουργία κοκκομετρικής καμπύλης.

Η αρχική πρόθεση ήταν να προστεθεί ρευστοποιητής, που υπολογίσαμε πως πρέπει να είναι 3,5gr. Κατά την παρασκευή της πρώτης μήτρας και αφού προστέθηκε ο ρευστοποιητής στον αναμικτήρα, παρατηρήθηκε πως το μίγμα δεν ήταν ομογενοποιημένο οπότε τοποθετήθηκαν άλλα 3,5gr ρευστοποιητής (συνολικά 7gr).



Εικόνα 17: Το μίγμα με την αντικατάσταση της άμμου με ποζολάνη και την προσθήκη 7 gr ρευστοποιητή

Για ακόμα μια φορά το μίγμα δεν διορθώθηκε, με το τσιμέντο να κολλάει πάνω στην άμμο και να φτιάχνει μικρά μπαλάκια μίγματος και όχι μία αποδεκτή τσιμεντοκονία. Αφού το μίγμα δεν ήταν σε θέση να τοποθετηθεί στο μηχάνημα κρούσεων, τοποθετήθηκαν άλλα 8gr ρευστοποιητή ανεβάζοντας το σύνολο στα 15gr. Η σύσταση του μίγματος καλυτέρευσε και με αυτό τον τρόπο τοποθετήθηκε στο μηχάνημα κρούσεων. Στις επόμενες τρεις μήτρες που φτιάξαμε, τοποθετήσαμε 17gr, 19gr και 20gr ρευστοποιητή αντίστοιχα, με τα δύο τελευταία να έχουν την καλύτερη σύσταση και να μοιάζουν περισσότερο στα πρώτα μη ανακυκλώσιμα δοκίμια.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για κάθε μία μήτρα που παρασκευάστηκε πήραμε ένα δοκίμιο στις 7 και δύο στις 28 μέρες για να τα δοκιμάσουμε σε κάμψη και θλίψη.

### 6.1 ΘΡΑΥΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΣ

Οι ημερομηνίες οι οποίες παρασκευάστηκαν τα δοκίμια αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΗΤΡΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΔΟΚΙΜΙΩΝ
31/05/2016	2	6
01/06/2016	2	6
02/06/2016	3	9
06/06/2016	4	12
07/06/2016	2	6
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΔΟΚΙΜΙΩΝ</b>		<b>39</b>

Πίνακας 8: Ημερομηνίες παραγωγής αρχικών δοκιμίων και ο συνολικός αριθμός που παράχθηκε

**7η Ημέρα:** Τα γενικά στοιχεία των δοκιμίων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα .

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜΗΚΟΣ*ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (gr)	Η/ΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	Η/ΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ	Ff (N)	Rf (N/mm <sup>2</sup> )	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ Rf	Fc (N)	Rc (N/mm <sup>2</sup> )	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ Rc	
A1	40,00*40,44	587,00	31/05/16	07/06/16	2540	6,55	6,95	73550	45,47	44,53	
Δ1	40,18*39,11	569,00	31/05/16	07/06/16	2890	7,35		68500	43,59		
A2	40,07*39,91	573,50	01/06/16	08/06/16	2485	6,37	6,37	72750	45,49	44,15	
Δ2	40,09*40,70	591,00	01/06/16	08/06/16	2490	6,38		69850	42,81		
A3	39,98*40,47	577,00	02/06/16	09/06/16	2720	7,02	7,03	69450	42,92	42,76	
Δ3	40,09*39,71	577,50	02/06/16	09/06/16	2690	6,89		66050	41,49		
H3	40,14*40,67	585,50	02/06/16	09/06/16	2810	7,17		71600	43,86		
A4	40,09*39,78	572,00	06/06/16	13/06/16	2520	6,45	6,49	69800	43,77	42,80	
Δ4	40,07*39,77	574,50	06/06/16	13/06/16	2650	6,80		69850	43,83		
H4	40,04*40,23	582,00	06/06/16	13/06/16	2570	6,60		67950	42,18		
K4	40,21*39,94	583,00	06/06/16	13/06/16	2400	6,09		66500	41,41		
A5	40,44*39,34	577,00	07/06/16	14/06/16	2570	6,41	6,45	70150	44,09	44,16	
Δ5	40,07*39,89	574,50	07/06/16	14/06/16	2530	6,49		70700	44,23		
							<b>Γενικός Μ.Ο</b>	6,66			43,68

Πίνακας 9: Γενικά στοιχεία των δοκιμίων που πάρθηκαν για δοκιμασία κάμψης και θλίψης στις 7 ημέρες. Στον πίνακα περιλαμβάνεται η αντοχή σε κάμψη Rf και η αντοχή σε θλίψη Rc

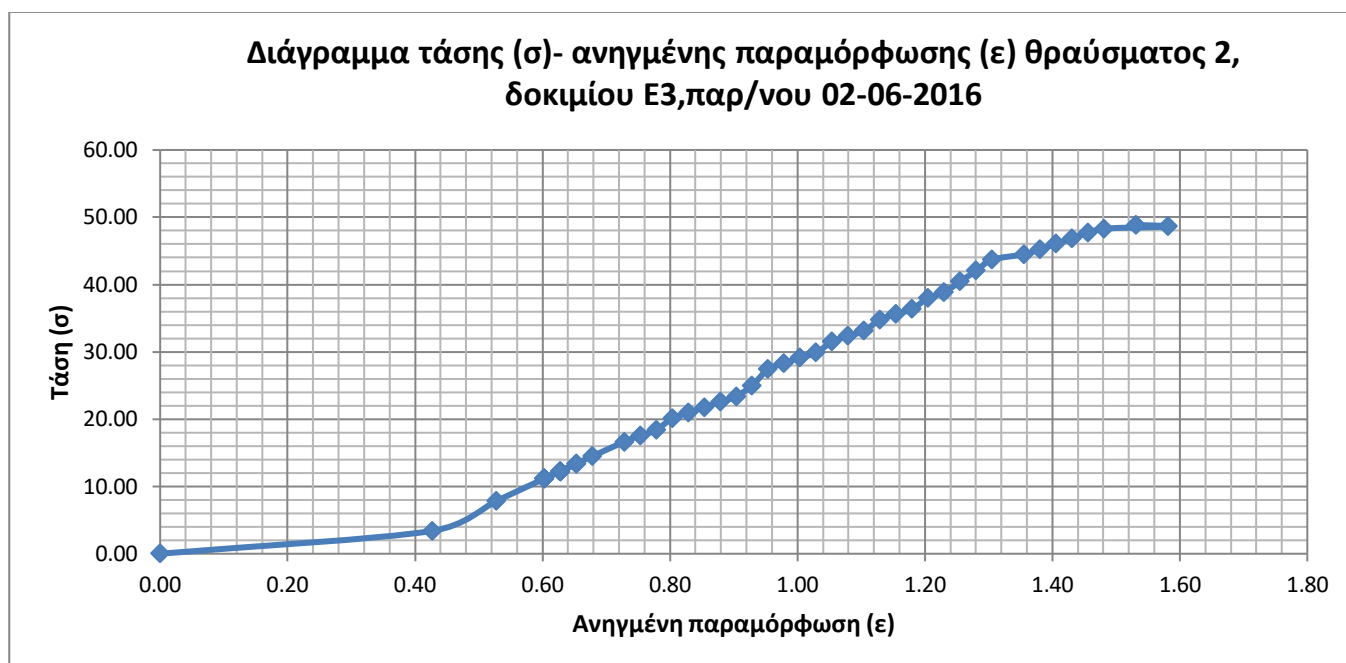


**28η Ημέρα:** Τα υπόλοιπα δοκίμια που φτιάχτηκαν στις ημερομηνίες που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπόκεινται σε δοκιμασία θραύσης μετά από 28 ημέρες. Αναλυτικές πληροφορίες για τα δοκίμια φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜΗΚΟΣ*ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (gr)	Η/ΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	Η/ΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ	Ff (N)	Rf (N/mm <sup>2</sup> )	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ Rf	Fc (N)	Rc (N/mm <sup>2</sup> )	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ Rc
B1	40,24*39,32	563,50	31/05/16	28/06/16	2770	7,01	7,17	84600	53,47	54,04
Γ1	40,01*40,04	581,00	31/05/16	28/06/16	2710	6,98		91100	56,87	
E1	40,05*39,91	580,50	31/05/16	28/06/16	2780	7,14		87400	54,68	
Z1	40,25*41,35	604,00	31/05/16	28/06/16	2980	7,54		91000	54,68	
B2	40,29*40,00	573,00	01/06/16	29/06/16	3060	7,72	7,28	89950	55,81	55,04
Γ2	40,16*39,84	583,50	01/06/16	29/06/16	2770	7,06		90600	56,62	
E2	39,98*40,56	584,50	01/06/16	29/06/16	2740	7,07		87100	53,71	
Z2	40,37*39,40	571,50	01/06/16	29/06/16	2900	7,27		85900	54,00	
B3	40,04*39,92	573,50	02/06/16	30/06/16	2900	7,45	7,46	86050	53,84	53,74
Γ3	40,04*39,78	579,50	02/06/16	30/06/16	2830	7,27		86050	54,02	
E3	39,83*39,16	572,00	02/06/16	30/06/16	2970	7,76		80700	51,74	
Z3	40,07*40,01	591,00	02/06/16	30/06/16	2870	7,36		84000	52,40	
Θ3	39,90*39,91	582,00	02/06/16	30/06/16	3170	8,23		88150	55,36	
I3	40,50*39,94	589,50	02/06/16	30/06/16	2700	6,71		89150	55,11	
B4	39,92*39,39	576,50	06/06/16	04/07/16	2950	7,65	7,62	81100	51,58	51,65
Γ4	39,91*39,19	574,00	06/06/16	04/07/16	3040	7,89		77400	49,49	
E4	39,83*40,06	579,50	06/06/16	04/07/16	2920	7,62		81700	51,20	
Z4	39,83*39,41	573,50	06/06/16	04/07/16	2810	7,34		86050	54,82	
Θ4	40,02*40,12	578,50	06/06/16	04/07/16	3110	8,00		82300	51,26	
I4	40,29*39,92	584,00	06/06/16	04/07/16	3000	7,57		84550	52,57	
Λ4	40,47*39,24	581,50	06/06/16	04/07/16	2930	7,16		81250	51,16	
M4	40,00*40,13	576,50	06/06/16	04/07/16	3000	7,73		82100	51,15	
B5	40,16*39,25	568,00	07/06/16	05/07/16	3100	7,90	7,86	86400	54,81	54,28
Γ5	40,16*39,63	576,50	07/06/16	05/07/16	3100	7,90		86300	54,22	
E5	40,28*40,00	582,00	07/06/16	05/07/16	3270	8,26		86500	53,69	
Z5	40,18*39,58	578,50	07/06/16	05/07/16	2900	7,38		86500	54,39	
						<b>ΓΕΝΙΚΟΣ Μ.Ο</b>	<b>7,48</b>			<b>53,93</b>

Πίνακας 10: Γενικά στοιχεία των δοκιμών που πάρθηκαν για δοκιμασία κάμψης και θλίψης στις 28 ημέρες. Στον πίνακα περιλαμβάνεται η αντοχή σε κάμψη Rf και η αντοχή σε θλίψη Rc.

Κατασκευάζουμε τυπικό διάγραμμα τάσης- ανηγμένης παραμόρφωσης για το θραύσμα 2 του δοκιμίου Ε3, κατασκευασμένου στις 02/06/2016, με εμβαδόν  $A= 1600\text{mm}^2$  και φορτίο θραύσης  $P= 78,8\text{KN}=78800\text{ N}$



Διάγραμμα τάσης ( $\sigma$ )- ανηγμένης παραμόρφωσης ( $\epsilon$ ) συμβατικού δοκιμίου Ε3. Θραύση στις 28 ημέρες.

## 6.2 ΘΡΑΥΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ 100% ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΣ

**7η ημέρα:** Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η ίδια με πριν. Ο σκοπός είναι να μετρήσουμε τις αντοχές της ανακυκλωμένης τσιμεντοκονίας και να την συγκρίνουμε με την αρχική. Παρά την προσθήκη ρευστοποιητή και στις 4 μήτρες που παρασκευάσαμε, λόγω της καθυστερημένης προσθήκης του στην πρώτη μήτρα, το μίγμα δεν ήταν ομογενοποιημένο, με αποτέλεσμα τα δοκίμια να υποστούν απόμιξη. Για το λόγο αυτό, δεν μας ήταν χρήσιμα στην μέτρηση της αντοχής σε κάμψη και θλίψη των δοκιμίων στις 7 ημέρες και δεν τα χρησιμοποιήσαμε λόγω του μεγάλου τους σφάλματος.

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜΗΚΟΣ*ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (gr)	Η/ΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	Η/ΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ	Ff (N)	Rf (N/mm <sup>2</sup> )	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ Rf	Fc (N)	Rc (N/mm <sup>2</sup> )	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ Rc
Δ	40,29*42,59	550,00	08/11/16	15/11/16	3160	7,97	7,92	78250	45,60	46,59
Η	40,25*40,04	546,00	08/11/16	15/11/16	3160	7,80		77250	47,93	
Κ	40,00*39,69	544,50	08/11/16	15/11/16	3020	7,78		73400	46,23	

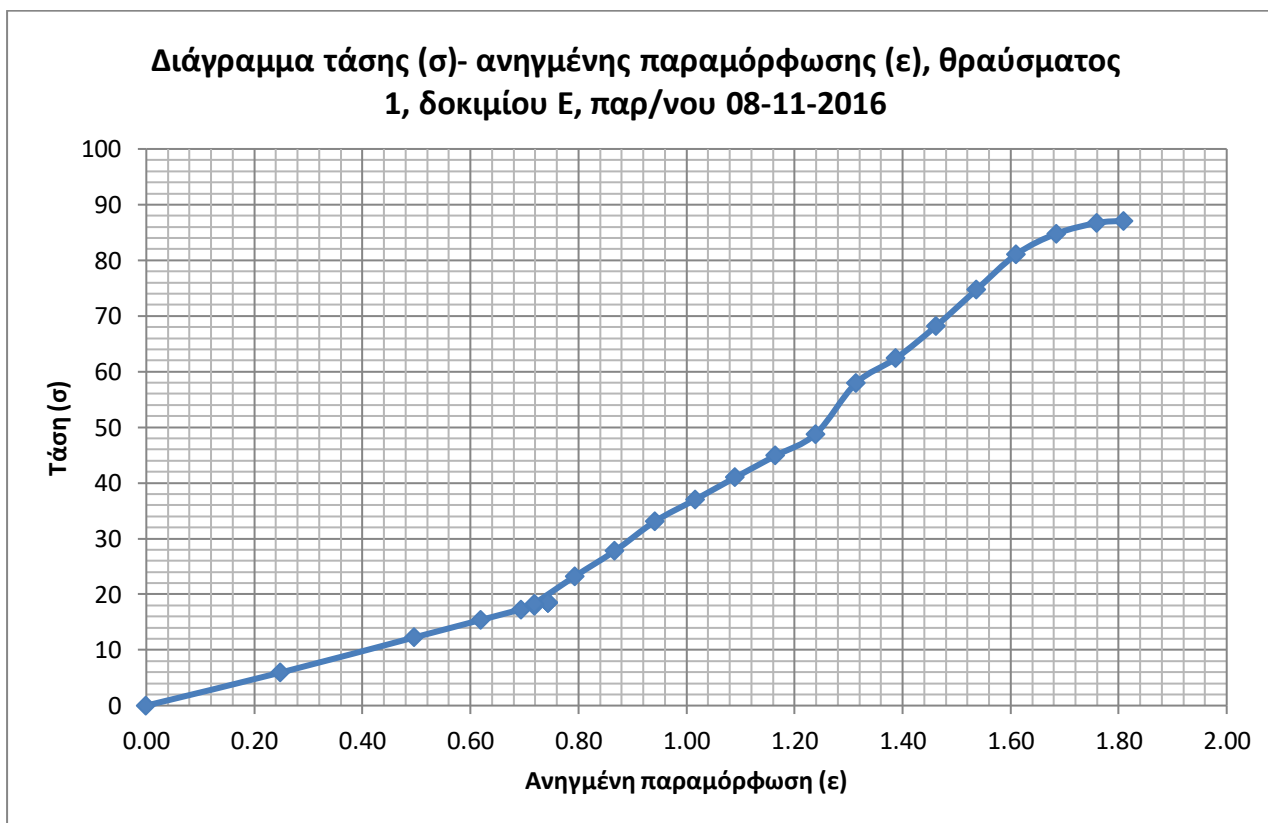
Πίνακας 11: Γενικά στοιχεία των ανακυκλωμένων δοκιμίων που πάρθηκαν για δοκιμασία κάμψης και θλίψης στις 7 ημέρες. Στον πίνακα περιλαμβάνεται η αντοχή σε κάμψη Rf και η αντοχή σε θλίψη Rc.

**28η ημέρα:** Τα υπόλοιπα δοκίμια που φτιάχτηκαν, υπόκεινται σε δοκιμασία θραύσης μετά από 28 ημέρες. Για τα δοκίμια Β και Γ ισχύει και εδώ ότι και για το δοκίμιο Α της πρώτης μήτρας, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Αναλυτικές πληροφορίες για τα δοκίμια φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜΗΚΟΣ*ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (gr)	Η/ΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	Η/ΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ	Ff (N)	Rf (N/mm <sup>2</sup> )	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ Rf	Fc (N)	Rc (N/mm <sup>2</sup> )	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ Rc
Ε	40,35*42,85	561,00	08/11/16	06/12/16	3340	8,39	7,51	88150	50,98	51,84
Ζ	40,25*41,33	543,00	08/11/16	06/12/16	3080	7,79		83550	50,22	
Θ	40,70*40,64	555,50	08/11/16	06/12/16	2800	6,85		90050	54,44	
Ι	40,46*40,57	553,00	08/11/16	06/12/16	2850	7,10		89300	54,40	
Λ	40,84*41,35	560,50	08/11/16	06/12/16	3150	7,63		83650	49,53	
Μ	40,11*40,18	544,00	08/11/16	06/12/16	2850	7,29		82950	51,47	

Πίνακας 12: Γενικά στοιχεία των ανακυκλωμένων δοκιμίων που πάρθηκαν για δοκιμασία κάμψης και θλίψης στις 28 ημέρες.

Κατασκευάζουμε τυπικό διάγραμμα τάσης- ανηγμένης παραμόρφωσης για το θραύσμα 1 του δοκιμίου Ε με εμβαδόν  $A = 1729 \text{ mm}^2$  και φορτίο θραύσης  $P = 87,7 \text{ KN} = 87700 \text{ N}$ .



Διάγραμμα τάσης ( $\sigma$ )- ανηγμένης παραμόρφωσης ( $\epsilon$ ) δοκιμίου Ε, 100% ανακυκλώσιμης τσιμεντοκονίας. Θραύση στις 28 ημέρες.

### 6.3 ΘΡΑΥΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑΣ ΜΕ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ 20% ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ ΜΕ ΠΟΖΟΛΑΝΗ

**7η Ημέρα:** Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά οι πληροφορίες του κάθε δοκιμίου καθώς και το πόσα γραμμάρια ρευστοποιητή έχει το καθένα. Εξαιτίας του γεγονότος που αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, στον παρακάτω πίνακα στοιχείων των δοκιμίων, παραλήφθηκε το δοκίμιο Α της πρώτης μήτρας.



Εικόνα 18: Τα δοκίμια, ένα από κάθε μήτρα, που φτιάχτηκαν με αντικατάσταση άμμου με ποζολάνη.

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΗΣ (gr)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜΗΚΟΣ*ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (gr)	Η/ΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	Η/ΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ	Ff (N)	Rf (N/mm <sup>2</sup> )	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ Rf	Fc (N)	Rc (N/mm <sup>2</sup> )	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ Rc
Δ	17,00	40,24*40,15	529,00	22/11/16	29/11/16	2570,00	6,51	6,41	45750,00	28,32	27,96
Η	19,00	40,32*40,89	536,50	22/11/16	29/11/16	2580,00	6,49		50200,00	30,45	
Κ	20,00	40,11*40,33	525,00	22/11/16	29/11/16	2440,00	6,24		40650,00	25,13	

Πίνακας 13: Γενικά στοιχεία των ανακυκλωμένων δοκιμίων που πάρθηκαν για δοκιμασία κάμψης και θλίψης στις 7 ημέρες και η ποσότητα ρευστοποιητή που χρησιμοποιήθηκε στο κάθε ένα.



Εικόνα 19: Τα δοκίμια, ένα από κάθε μήτρα, που φτιάχτηκαν με αντικατάσταση άμμου με ποζολάνη. Από αριστερά προς τα δεξιά- Από την πρώτη μήτρα με προσθήκη 15 gr ρευστοποιητή, από την δεύτερη με προσθήκη 17 gr ρευστοποιητή, από την τρίτη με προσθήκη 19 gr ρευστοποιητή και τέλος από την τέταρτη με προσθήκη 20gr ρευστοποιητή.

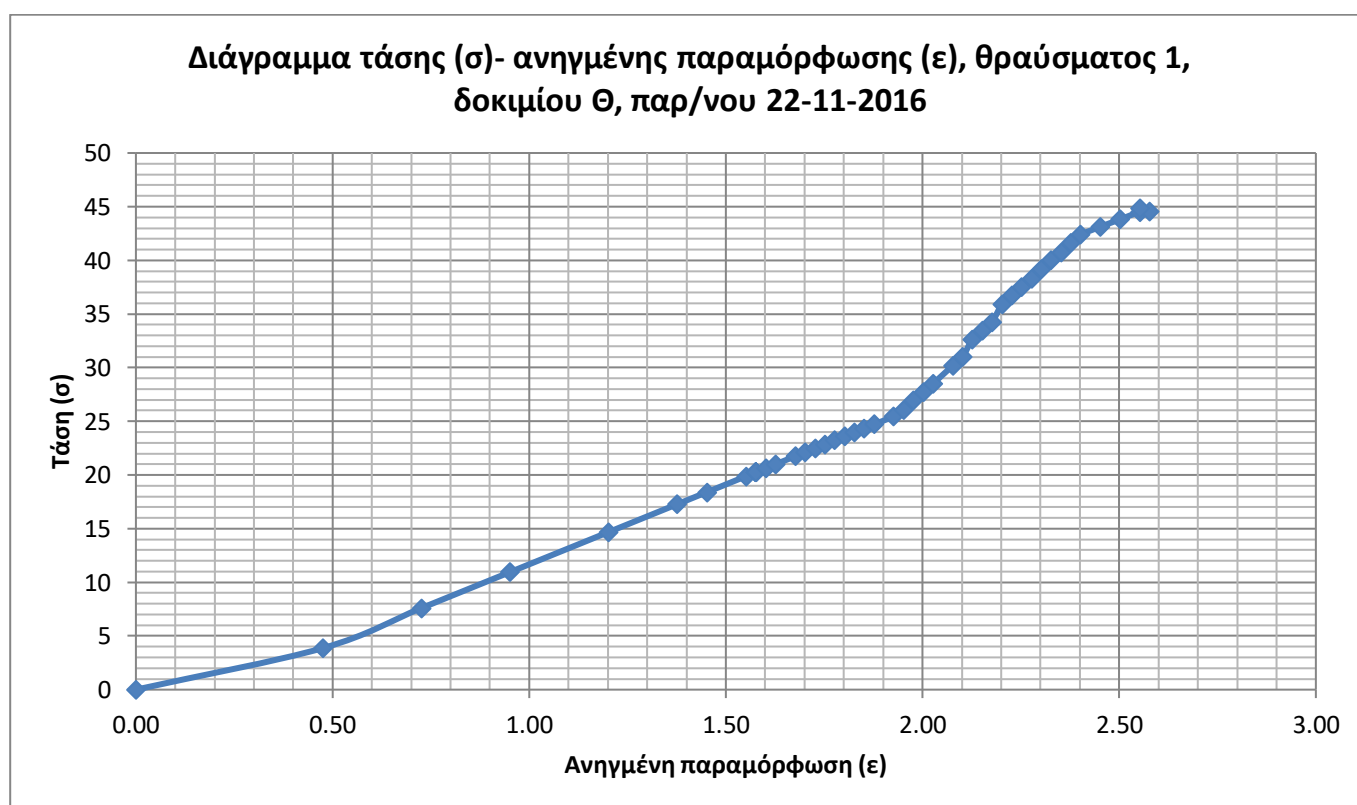
**28η Ημέρα:** Τα υπόλοιπα δοκίμια που φτιάχτηκαν, υπόκεινται σε δοκιμασία θραύσης μετά από 28 ημέρες. Εξαιτίας του γεγονότος που αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, στον παρακάτω πίνακα στοιχείων των δοκιμίων, παραλήφθηκαν τα δοκίμια Β,Γ,Ε και Ζ της πρώτης και δεύτερης μήτρας, καθώς δεν κατάφεραν να πάρουν καλές αντοχές.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά οι πληροφορίες του κάθε δοκιμίου καθώς και το πόσα γραμμάρια ρευστοποιητή έχει το καθένα.

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΡΕΥΣΤΟ ΠΟΙΗΤΗΣ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜΗΚΟΣ*ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (gr)	Η/ΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	Η/ΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ	Ff (N)	Rf (N/mm <sup>2</sup> )	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ Rf	Fc (N)	Rc (N/mm <sup>2</sup> )	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ Rc
Θ	19,00	39,97*40,94	536,00	22/11/16	20/12/16	3270,00	8,45	7,92	71400,00	43,63	43,10
Ι	19,00	40,53*40,16	530,00	22/11/16	20/12/16	3040,00	7,53		70650,00	43,41	
Λ	20,00	40,11*40,52	533,00	22/11/16	20/12/16	3190,00	8,16		68950,00	42,42	
Μ	20,00	40,17*39,67	524,00	22/11/16	20/12/16	2960,00	7,53		68400,00	42,92	

Πίνακας 14: Γενικά στοιχεία των ανακυκλωμένων δοκιμίων που πάρθηκαν για δοκιμασία κάμψης και θλίψης στις 7 ημέρες και η ποσότητα ρευστοποιητή που χρησιμοποιήθηκε στο κάθε ένα.

Στη συνέχεια κατασκευάζουμε διάγραμμα τάσης- ανηγμένης παραμόρφωσης για το κομμάτι 1 του δοκιμίου Θ με εμβαδόν  $A=1636,37 \text{ mm}^2$  και φορτίο θραύσης  $P=71,9 \text{ KN}=71900 \text{ N}$ .



Διάγραμμα τάσης ( $\sigma$ )- ανηγμένης παραμόρφωσης ( $\epsilon$ ) δοκιμίου Θ, ανακυκλώσιμης τσιμεντοκονίας με αντικατάσταση 20% κ.β. της άμμου με ποζολάνη. Θραύση στις 28 ημέρες.

Αριθμός δοκιμίων που σπάστηκαν συνολικά		Συμβατικό κονίαμα	100% Ανακυκλωμένο υλικό	100% Ανακυκλωμένο υλικό+ 20% προσθήκη ποζολάνης
		39	9	12
Μ.Ο αντοχής σε κάμψη (Μρα)	7 ημέρες	6,66	7,92	6,41
	28 ημέρες	7,48	7,51	7,92
Μ.Ο αντοχής σε θλίψη (Μρα)	7 ημέρες	43,68	46,59	27,96
	28 ημέρες	53,93	51,84	43,10

Πίνακας 15: Πίνακας αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι συγκρίνοντας τις τιμές των αντοχών μεταξύ του συμβατικού, του 100% ανακυκλώσιμου και της τσιμεντοκονίας με αντικατάσταση 20% της άμμου με ποζολάνη παρατηρούνται τα εξής:

- η αντοχή σε κάμψη στις 7 ημέρες συνολικά 13 δοκιμίων συμβατικού κονιάματος και 3 δοκιμίων ανακυκλώσιμης τσιμεντοκονίας με αντικατάσταση 20% άμμου με ποζολάνη είναι σχεδόν ίση. Η διαφορά παρουσιάζεται στο 100% ανακυκλωμένο κονίαμα, όπου βλέπουμε πως είναι κατά 15,91% και κατά 19,07% πιο αυξημένο από το συμβατικό και από την τσιμεντοκονία με ποζολάνη, αντίστοιχα.
- η αντοχή σε κάμψη στις 28 ημέρες συνολικά 26 δοκιμίων συμβατικού κονιάματος, 6 δοκιμίων 100% ανακυκλωμένου κονιάματος και 4 δοκιμίων ανακυκλώσιμης τσιμεντοκονίας με αντικατάσταση 20% της άμμου με ποζολάνη είναι σχεδόν ίση.
- η αντοχή σε θλίψη στις 7 ημέρες συνολικά 13 δοκιμίων από συμβατικό κονίαμα και 3 δοκιμίων από 100% ανακυκλώσιμη τσιμεντοκονία παρουσιάζει μια μικρή διαφορά της τάξης του 6,25%, με το πρώτο να είναι το πιο μειωμένο από τα δύο. Μεγάλη διαφορά παρατηρείται στα συνολικά 3 δοκίμια ανακυκλώσιμης τσιμεντοκονίας με αντικατάσταση 20% άμμου με ποζολάνη καθώς είναι κατά 35,99% και κατά 39,99% πιο μειωμένο από το συμβατικό κονίαμα και το 100% ανακυκλώσιμο αντίστοιχα.
- η αντοχή σε θλίψη στις 28 ημέρες συνολικά 26 δοκιμίων συμβατικού κονιάματος και 6 δοκιμίων 100% ανακυκλώσιμης τσιμεντοκονίας παρουσιάζουν μια μικρή διαφορά της τάξεως του 3,87%, με το δεύτερο να είναι πιο μειωμένο. Το ανακυκλώσιμο κονίαμα με αντικατάσταση 20% της άμμου με ποζολάνη είναι κατά 20,08% και κατά 16,86% πιο μειωμένο από το συμβατικό και από το 100% ανακυκλώσιμο κονίαμα, αντίστοιχα.

Παρατηρήθηκε ότι η αντικατάσταση της άμμου με ποζολάνη, απέφερε χαμηλά αποτελέσματα στη θλιπτική αντοχή των 7 και των 28 ημερών από ότι το συμβατικό κονίαμα και το 100% ανακυκλωμένο.

Επίσης παρατηρήθηκε πως στα ανακυκλωμένα δοκίμια με αντικατάσταση 20% άμμου με ποζολάνη χρησιμοποιήθηκε μεγάλη ποσότητα ρευστοποιητή, καθώς δεν μπορούσε να επιτευχθεί ομογενοποίηση του μίγματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

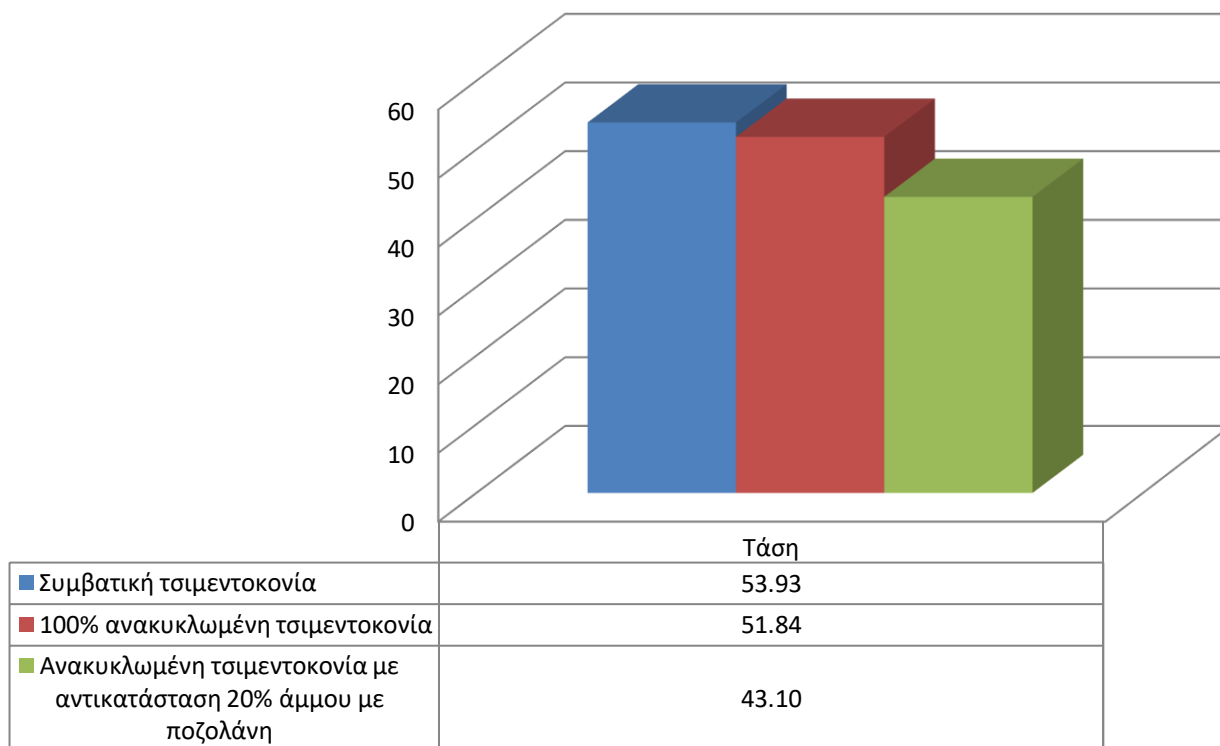
Στην παρούσα πτυχιακή μελετήθηκε εκτενέστατα η συμπεριφορά τριών κονιαμάτων: του συμβατικού, του 100% ανακυκλώσιμου και του ανακυκλώσιμου με αντικατάσταση 20% της άμμου με ποζολάνη.

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.

Σημειώνεται πως το πείραμα έγινε στο ιδανικό περιβάλλον του εργαστηρίου και η προέλευση των ανακυκλωμένων αδρανών είναι ομοιογενής αφού προήρθε από τα συμβατικά δοκίμια. Στην πραγματικότητα, τα ανακυκλωμένα αδρανή προέρχονται κάποιες φορές από κατεδαφίσεις και συνήθως δεν είναι καθαρά.

Τα πρόσθετα που περιέχονται στο τσιμέντο και η αντικατάσταση της άμμου από ποζολάνη προκάλεσαν μείωση της θλιπτικής αντοχής στις 7 και στις 28 ημέρες παρόλο που ο λόγος νερού προς τσιμέντο δεν άλλαξε στο συγκεκριμένο πείραμα. Λόγω αυτών η τσιμεντοκονία δεν είχε εργάσιμο, συνεπώς δεν συμπακνώθηκε καλά, παρότι τηρήσαμε τις διαδικασίες παραγωγής.

**Ραβδόγραμμα Τάσεων δοκιμίων που σπαστηκαν στις 28 ημέρες**



**Πίνακας 22: Ραβδόγραμμα Τάσεων 28 ημερών**

### **Πρώτο συμπέρασμα πειραματικής διαδικασίας:**

Η θλιπτική αντοχή των δοκιμίων της 100% ανακυκλώσιμης τσιμεντοκονίας που σπάστηκαν την 28<sup>η</sup> ημέρα παρουσίασαν μείωση **3,88%** από τα δοκίμια με πρότυπα αδρανή.

### **Δεύτερο συμπέρασμα πειραματικής διαδικασίας:**

Η θλιπτική αντοχή των δοκιμίων της ανακυκλώσιμης τσιμεντοκονίας με αντικατάσταση του 20% της άμμου με ποζολάνη που σπάστηκαν την 28<sup>η</sup> ημέρα, παρουσίασαν μείωση **20,08%** από τα δοκίμια με πρότυπα αδρανή και μείωση **16,86%** από τα δοκίμια της 100% ανακυκλώσιμης τσιμεντοκονίας.

Μπορούμε, λοιπόν, να χρησιμοποιήσουμε τα ανακυκλώσιμα αδρανή τροποποιώντας την σύσταση λόγου N/T ως προς την αύξηση των αντοχών, κρίνεται όμως σκόπιμη η πειραματική διερεύνηση της επίδρασης του είδους του τσιμέντου για την προσθήκη ποζολάνης.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Κ. Κολοβός, Βελτίωση εψησιμότητας μίγματος πρώτων υλών παραγωγής κλίνκερ, Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ (2003)
- [2] Ηλεκτρονικό Μουσείο Πολιτικού Μηχανικού
- [3] Αθ. Ρούτουλας, Επίδραση ορυκτών προσθέτων και αναστολέων διάβρωσης στην αντιδιαβρωτική προστασία οπλισμών σκυροδέματος, 15ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Αλεξανδρούπολη, 25-27 Οκτωβρίου (2006)
- [4] Ε. Κανιτάκη, Οι κατασκευές από σκυρόδεμα είναι και αιεφόρες και πράσινες Concrete structures are both sustainable and green, 16ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, 21-23/10/ 2009, Πάφος, Κύπρος (2009)
- [5] Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΕ-97), 3η έκδοση, Ιανουάριος 2000, Αθήνα, Νοέμβριος (1997)
- [6] Κ. Τσακαλάκης, Τεχνολογία Παραγωγής Τσιμέντου και Σκυροδέματος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2010
- [7] European Committee for Standardization EN 197-1, 2000
- [8] Σ. Τσίμας, Σ. Τσιβιλής, Επιστήμη και τεχνολογία τσιμέντου, 1η εκδ., Ε.Μ.Π., Αθήνα, (1999)
- [9] Χ. Τ. Γκαλμπένης, Διερεύνηση της δυνατότητας αξιοποίησης οικοδομικών απορριμμάτων στην παραγωγή κλίνκερ τσιμέντου, Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ (2008)
- [10] Bye G.C., Portland Cement, 2nd Edition, (1999)
- [11] Γ. Παρισάκης, Β. Κασελούρη, Σ. Τσίμας, Χ. Φτίκος, “Χημεία και Τεχνολογία Τσιμέντου”, Εκδ. Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1992
- [12] Τριανταφύλλου Αθ., Δομικά Υλικά, Πάτρα 2008, 8<sup>η</sup> έκδοση
- [13] Π. Τσούτσικα, Τ. Σολδάτος, Α. Τσιραμπίδης, Α. Κορωναίος, Συσχέτιση Πετρογραφικών και Φυσικομηχανικών ιδιοτήτων αδρανών πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται στην οδοποιία, 2ο Συνέδριο της επιτροπής οικονομικής γεωλογίας, ορυκτολογίας & γεωχημείας, Θεσσαλονίκη (2005)
- [14] ΤΕΕ, Οδηγοί Δομικών Υλικών
- [15] Πλαστήρα Β., Σημειώσεις Εδαφομηχανικής Εργαστηριακές Δοκιμές, ΤΕΙ Πειραιά, Αιγάλεω 2011
- [16] Δρ. Αθ. Ρούτουλας, Έλεγχος ποιότητας και τεχνολογία δομήσιμων υλικών, ΤΕΙ Πειραιά, Φεβρουάριος 2012
- [17] Κ. Γεωργίου, Ανθεκτικότητα σκυροδέματος και ελληνικές πρακτικές κατασκευής (2004)
- [18] Σ. Νταμπίζιας, Π. Χρυσοστομίδης, Φ. Μάλτζαρης, Ε. Καρατάσου. Σκληρά αδρανή στον Ελληνικό χώρο. Πετρολογικοί τύποι και ορυκτολογικά-ιστολογικά χαρακτηριστικά. Ημερίδα «Αδρανή πετρώματα και δομικοί λίθοι», Θεσσαλονίκη, (2003) 76
- [19] Π.Α. Μιχάλης Σωτήρης, Χ. Δημητρίου, Μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος, Θεσσαλονίκη, Δεκέμβριος (2007)
- [20] Α. Κορωναίος, Γ. Πουλάκος, Τεχνικά Υλικά, Εκδόσεις Συμμετρία, ISBN: 978-960-266-346-2, Ενημέρωση 05/2015

- [21] Ε. Δημητρακοπούλου, Μ. Μπασδεκη, Υπερρευστο Σκυρόδεμα: Ιδιότητες και Εφαρμογή αυτού ως μέσο ενίσχυσης “ 13ο Φοιτητικό Συνέδριο : Επισκευές Κατασκευών ” Πάτρα, Φεβρουάριος 2007
- [22] Ν. Διαμαντώνης, «Ιδιότητες Πάστας Τσιμέντου σε Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα», Διπλωματική εργασία, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Χημικών Επιστημών, ΕΜΠ, Αθήνα, (2008)
- [23] Α.Ε. Σάββα, Ε. Β. Σκαρλάτος, Σκυροδέματα με Ανακυκλωμένα Αδρανή, Μηχανικές ιδιότητες και ανθεκτικότητα σε Cl-
- [24] Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων
- [25] Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων ΠΙΕΤΕΠ, [www.ggde.gr](http://www.ggde.gr)
- [26] SIKA, <http://grc.sika.com/>
- [27] Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Προεδρικών Διάταγμα 244, 1980
- [28] Πτυχιακή εργασία Διερεύνηση αντοχών σκυροδέματος παρασκευασμένου με ανακυκλώσιμα αδρανή και προσθήκη τέφρας σε αντικατάσταση της άμμου.  
Σοφία Δημάκα  
Στεφανία Καλλιόπη Μανωλάκη Βαρθολόμου
- [29] Ελληνικός οργανισμός Ανακύκλωσης
- [30] Απόβλητα Εκσκαφών Κατασκευών & Κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ)
- [31] <http://www.greekarchitects.gr> Σκυρόδεμα από Ανακυκλώσιμα αδρανή
- [32] [www.skyrodemanet.gr](http://www.skyrodemanet.gr) Σκυρόδεμα με ανακυκλωμένα αδρανή
- [33] Διπλωματική εργασία Ανακύκλωση και Διαχείριση αδρανών υλικών Κακλόπουλος Σωτήριος, Πολυτεχνείο Κρήτης
- [34] Πτυχιακή εργασία Διερεύνηση αντοχών κονιάματος παρασκευασμένο με ανακυκλώσιμα αδρανή.  
Κωσταράς- Κωνσταντίνου Άγγελος
- [35] Σκυροδέματα με Ανακυκλώσιμα Αδρανή (Μηχανικές Ιδιότητες και ανθεκτικότητα σε Cl- ) Α.Ε.. ΣΑΒΒΑ , Ε.Β. ΣΚΑΡΛΑΤΟΣ
- [36] Τσιμέντο & Σκυρόδεμα, Καθ. Α. Μοροπούλου, ΕΔΙΠ Κ . Λαμπρόπουλος, Ntua Academic Open Courses.
- [37] <http://www.thrakon.gr/> Δελτίο Ιδιοτήτων Προϊόντος Έκδοση Δ΄- 01/11/2012, Thrakon, Χαλαζιακή άμμος.
- [38] Χ. Ζέρης Επίκουρος Καθηγητής Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Δομική Μηχανική ΙΙΙ, Δεκέμβριος 2013
- [39] [courses.arch.ntua.gr/fsr/128319/Adranh\\_Skyrodema.pdf](http://courses.arch.ntua.gr/fsr/128319/Adranh_Skyrodema.pdf)
- [40] Αναγνωστόπουλος Παν., Ιστορία του Τσιμέντου και του Σκυροδέματος
- [41] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006180800264X>
- [42] Μαρίνος Καττής Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ, Τεχνική Μηχανική (Αντοχή Υλικών) Σημειώσεις Διαλέξεων, Αθήνα 2012
- [43] Δρ Κωνσταντίνος Δημάκος, Εργαστηριακές Ασκήσεις (Μέρος βιβλίου υπό έκδοση), ΑΕΙ Πειραιά Τ.Τ, Αθήνα 2017
- [44] Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π., Σημειώσεις Διαλέξεων Μαθήματος "Τεχνική Γεωλογία ΙΙ", Ακαδημαϊκού έτους 2013-2014

Οι εικόνες πάρθηκαν από:

- [44] [https://en.wikipedia.org/wiki/Auguste\\_Perret](https://en.wikipedia.org/wiki/Auguste_Perret)
- [45] <http://www.titan.gr/el/titan-group/100-years/historic-archive/>
- [46] <http://www.lafarge.gr>
- [47] <http://www.thrakon.gr/>
- [48] Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Προεδρικών Διάταγμα 244, 1980