ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

**ΘΕΜΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

# ΜΕΛΕΤΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΙΑΒΑΣΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΠΑΡΕΚΚΛΗΣΙΑΣ ΚΥΠΡΟΥ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥΣ ΩΣ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΣΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ

**ΣΤΕΦΑΝΟΥ ΙΑΚΩΒΟΣ**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Θ. ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)**

**ΕΠΙΚ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ. ΑΛΕΒΙΖΟΣ**

**ΔΡ. Ε. ΡΕΠΟΥΣΚΟΥ**

**ΧΑΝΙΑ 2009**

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελετήθηκαν δείγματα διαβασικών πετρωμάτων από την περιοχή Παρεκκλησιάς, ως προς την ορυκτολογική και χημική τους σύσταση. Προσδιορίστηκαν οι μηχανικές ιδιότητες των αδρανών υλικών και παρασκευάστηκαν κυβικά δοκίμια σκυροδέματος. Επιπλέον, μελετήθηκε η συμπεριφορά των δοκιμίων αυτών μετά από παραμονή 28 ημερών μέσα σε θαλασσινό και πόσιμο νερό και προσδιορίστηκε η αντοχή τους σε μονοαξονική θλίψη.

Για τον προσδιορισμό του βαθμού καταλληλότητας των διαβασικών πετρωμάτων ως αδρανών υλικών, πραγματοποιήθηκαν οι εξής εργαστηριακές δοκιμές: αντοχή σε φθορά και κρούση κατά Los Angeles, αντοχή σε φθορά με τη δοκιμή Micro-Deval και αντοχή σε κρουστικό φορτίο AIV. Τα αποτελέσματα των διάφορων δοκιμών βρίσκονται εντός των ευρωπαϊκών προδιαγραφών. Επίσης, προσδιορίστηκε η κοκκομετρική κατανομή του υλικού συνολικά, αλλά και ξεχωριστά στις δύο συνθέσεις σκυροδέματος που πραγματοποιήθηκαν.

Οι αντοχές των κυβικών δοκιμίων σκυροδέματος για διάστημα 28 ημερών σε πόσιμο νερό έδωσαν τιμές από 28,63 έως 36,50MPa, ενώ για τα δοκίμια που ήταν εμποτισμένα σε θαλασσινό νερό, για το ίδιο διάστημα ημερών,έδωσαν τιμές από 29,97 έως 32,69MPa. Επίσης στην περίπτωση που η αναλογία τσιμέντου – αδρανών ήταν 1:5,6 παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες αντοχές απ' ότι στην αναλογία τσιμέντου – αδρανών 1:3.

Η ορυκτολογική ανάλυση που έγινε με μεθόδους περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD), πετρογραφίας και ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης (SEM), έδειξε ότι τα διαβασικά πετρώματα αποτελούνται κυρίως από πλαγιόκλαστα, αμφιβόλους, χλωρίτες, ζεόλιθους και σε μικρές αναλογίες χαλαζία, μαγνητίτη και σιδηροπυρίτη.

Συνεκτιμώντας την ορυκτολογική σύσταση και το βαθμό εξαλλοίωσης των ορυκτών φάσεων των διαβασικών πετρωμάτων Παρεκκλησιάς Κύπρου, τις τιμές δείκτη L.A. και A.I.V., καθώς και τα αποτελέσματα των αντοχών των δοκιμίων σκυροδέματος σε μονοαξονική θλίψη, συμπεραίνεται ότι τα αδρανή υλικά των διαβασικών πετρωμάτων θεωρούνται κατάλληλα για την παραγωγή υψηλής ποιότητας θραυστών αδρανών υλικών για την κατασκευή σκυροδεμάτων.

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το θέμα της διπλωματικής μου εργασίας έχει τίτλο «Μελέτη ποιοτικών χαρακτηριστικών διαβασικών πετρωμάτων από το οφιολιθικό σύμπλεγμα Τροόδους της Κύπρου για χρήση τους ως αδρανών υλικών στο σκυρόδεμα». Μου ανατέθηκε από τον καθηγητή Θεόδωρο Μαρκόπουλο ο οποίος εστήριξε την επιθυμία μου σε ένα θέμα που να έχει άμεση σχέση, με το πολύ γνωστό στον κύκλο των γεωεπιστημόνων όλου του κόσμου, οφιολιθικό σύμπλεγμα του Τροόδους της Κύπρου, απ' όπου και κατάγομαι. Το συγκεκριμένο σύμπλεγμα είναι προικισμένο με ορυκτό πλούτο και τον παρείχε τόσο κατά την αρχαιότητα όσο και κατά τα νεότερα χρόνια στους κατοίκους του νησιού, συνδέοντας την ιστορική, την πολιτιστική, και την κοινωνικοοικονομική εξέλιξη του τόπου μου με την γεωλογία. Το οφιολιθικό σύμπλεγμα του Τροόδους αποτελεί πρότυπο για την καλά διατηρημένη και πλήρη στρωματογραφική δομή του και συνέβαλε στην κατανόηση της εξέλιξης των ωκεανών.

Η διπλωματική μου εργασία, λοιπόν, έχει να κάνει με τα διαβασικά πετρώματα της περιοχής Παρεκκλησιάς, τα οποία αποτελούν μέρος αυτού του οφιολιθικού συμπλέγματος και αξιολογούνται για την καταλληλότητά τους ως αδρανή υλικά και για την χρήση τους με το σκυρόδεμα.

Η οικοδομική βιομηχανία είναι μια από τις πιο βασικές βιομηχανίες της Κύπρου που απασχολεί ένα μεγάλο ποσοστό του εργατικού δυναμικού και σε αυτήν επενδύονται μεγάλα χρηματικά ποσά. Το κυριότερο υλικό όλων των κατασκευών είναι το σκυρόδεμα, με βασικά συστατικά του τα αδρανή υλικά. Έτσι, γίνεται αντιληπτό το γεγονός ότι τα αδρανή υλικά και το σκυρόδεμα, το οποίο στην εργασία μου διαπραγματεύομαι, αποτελούν ένα μεγάλο και σημαντικό κεφάλαιο στον κύκλο των επιστημόνων και των βιομηχανιών, πράγμα το οποίο μου έδωσε επιπλέον κίνητρο να ασχοληθώ με το αντικείμενο αυτό.

# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας έγινε με τη βοήθεια και την συμπαράσταση ορισμένων ανθρώπων, τους οποίους θα ήθελα να ευχαριστήσω. Συγκεκριμένα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου Θ. Μαρκόπουλο για την ουσιαστική βοήθειά του, την υπομονή και κατανόηση που υπέδειξε κατά την εκπόνηση τούτης της εργασίας, καθώς και τις συμβουλές του που ήταν κάτι παραπάνω από σημαντικές. Επίσης, ευχαριστώ τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον Επίκουρο Καθηγητή Γ. Αλεβίζο και την Δρ Ε. Ρεπούσκου για τις καθοδηγήσεις τους, τις υποδείξεις τους και την συμπαράστασή τους. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ακόμα τον Μηχανικό Ορυκτών Πόρων Θρασυβούλου Χαράλαμπο διευθυντή της εταιρείας «Skyramont Ltd» ο οποίος μου παραχώρησε το υλικό προς εξέταση, με βοήθησε στη βιβλιογραφία και γενικά σε ότι και αν τον χρειάστηκα ήταν πρόθυμος να με στηρίξει και να με συμβουλεύσει. Ακόμα, ευχαριστώ τον Μεταλλειολόγο Μηχανικό Δημητρίου Ανδρέα προϊστάμενο ελέγχου ποιότητας της «Τσιμεντοβιομηχανίας Βασιλικού ΛΤΔ» και τον Μεταλλειολόγο Μηχανικό Βαττή Δημήτρη προϊστάμενο λατομείων της ίδιας εταιρείας, οι οποίοι, εκτός από τις χρήσιμες συμβουλές τους, μου παραχώρησαν το τσιμέντο που πραγματεύομαι στην εργασία και με βοήθησαν στη μελέτη σύνθεσης. Επιπλέον, ευχαριστώ την διοίκηση της «Τσιμεντοβιομηχανίας Βασιλικού ΛΤΔ» για την ηθική και υλική υποστήριξή τους στις σπουδές μου όλα αυτά τα χρόνια. Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Παναγιώτα Θεοχάρους.

# Περιεχόμενα

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1** ..... **5**

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ** ..... **5**

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2** ..... **7**

**ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ** ..... **7**

2.1. ΟΡΙΣΜΌΣ ΑΔΡΑΝΏΝ ΥΛΙΚΏΝ ..... 7
2.2. ΤΑ ΑΔΡΑΝΉ ΥΛΙΚΆ ΔΙΑΚΡΊΝΟΝΤΑΙ ΣΕ ΟΙΚΟΓΈΝΕΙΕΣ ΩΣ ΕΞΉΣ: ..... 7
2.3. ΠΟΙΌΤΗΤΑ ΑΔΡΑΝΏΝ ΥΛΙΚΏΝ ..... 8
2.4. ΑΔΡΑΝΉ ΥΛΙΚΆ ΣΤΟ ΣΚΥΡΌΔΕΜΑ ..... 9
2.5. ΤΑ ΑΔΡΑΝΉ ΥΛΙΚΆ ΣΤΗΝ ΚΎΠΡΟ ..... 10
2.6. ΜΈΘΟΔΟΣ ΕΞΌΡΥΞΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΊΑΣ ΔΙΑΒΑΣΙΚΏΝ ΑΔΡΑΝΏΝ ΥΛΙΚΏΝ ΣΤΗΝ ΚΎΠΡΟ ..... 12

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3** ..... **14**

**ΤΣΙΜΕΝΤΟ** ..... **14**

3.1. ΟΡΙΣΜΌΣ ΤΣΙΜΈΝΤΟΥ ..... 14
3.2. ΙΣΤΟΡΙΚΉ ΑΝΑΔΡΟΜΉ ..... 14
3.3. ΠΡΏΤΕΣ ΎΛΕΣ ΤΣΙΜΈΝΤΟΥ ..... 15
3.4. ΣΥΣΤΑΤΙΚΆ ΚΛΊΝΚΕΡ ..... 16
3.5. Η ΠΟΡΕΊΑ ΤΗΣ ΕΝΥΔΆΤΩΣΗΣ ΕΠΗΡΕΆΖΕΤΑΙ ΑΠΌ ΠΟΛΛΟΎΣ ΠΑΡΆΓΟΝΤΕΣ, ΟΙ ΚΥΡΙΌΤΕΡΟΙ ΤΩΝ ΟΠΟΊΩΝ ΕΊΝΑΙ: ..... 18
3.6. ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΉ ΔΙΑΔΙΚΑΣΊΑ ..... 19
3.7. ΠΡΌΤΥΠΑ ΤΣΙΜΈΝΤΟΥ – ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΈΣ ..... 22
3.8. ΤΣΙΜΈΝΤΟ ΠΌΡΤΛΑΝΤ ΧΑΜΗΛΏΝ ΑΛΚΑΛΊΩΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΌ ΣΤΑ ΘΕΙΙΚΆ ..... 25

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4** ..... **26**

**ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ** ..... **26**

4.1. ΓΕΝΙΚΆ ΓΙΑ ΤΟ ΣΚΥΡΌΔΕΜΑ ..... 26
4.2. ΕΊΔΗ ΣΚΥΡΟΔΈΜΑΤΟΣ ..... 27
4.3. ΚΑΤΗΓΟΡΊΕΣ ΣΚΥΡΟΔΈΜΑΤΟΣ ..... 28
4.4. ΠΡΏΤΕΣ ΎΛΕΣ ΣΚΥΡΟΔΈΜΑΤΟΣ ..... 30

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5** ..... **32**

**ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ** ..... **32**

5.1. ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΌ ΣΎΜΠΛΕΓΜΑ ΤΟΥ ΤΡΟΌΔΟΥΣ ..... 32
5.2. ΔΙΑΒΆΣΗΣ ..... 36
5.3. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΉ ΘΈΣΗ ..... 37
5.4. ΓΕΩΛΟΓΊΑ ..... 39

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6** ..... **44**

**ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ** ..... **44**

6.1. ΠΕΡΙΘΛΑΣΊΜΕΤΡΟ ΑΚΤΊΝΩΝ-Χ (X.R.D.) ..... 44
6.2. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΌ ΜΙΚΡΟΣΚΌΠΙΟ ΣΆΡΩΣΗΣ (S.E.M.) ..... 45
6.3. ΧΗΜΙΚΈΣ ΑΝΑΛΎΣΕΙΣ ..... 46
6.4. ΑΠΟΤΕΛΈΣΜΑΤΑ ..... 47

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7** ..... **53**

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ** ..... **53**

7.1. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΉ ΑΝΆΛΥΣΗ - ΣΎΝΘΕΣΗ ΑΔΡΑΝΏΝ ΥΛΙΚΏΝ ..... 53
*7.1.1. Διαδικασία εκτέλεσης* ..... *55*
*7.1.2. Υπολογισμοί - παρουσίαση των αποτελεσμάτων:* ..... *56*
*7.1.3. Σύνθεση αδρανών υλικών* ..... *57*
*7.1.4. Επιτρεπτά όρια* ..... *58*
*7.1.5. Υπολογισμός ποσοστών συμμετοχής κλασμάτων αδρανών υλικών στο μείγμα* ..... *59*
7.2. ΔΟΚΙΜΉ LOS ANGELES ..... 62
*7.2.1. Υπολογισμοί* ..... *64*
*7.2.2. Αποτελέσματα* ..... *64*
*7.2.3. Επιτρεπτά όρια* ..... *64*
7.3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΌΣ ΠΑΙΠΆΛΗΣ ..... 65
*7.3.1. Ορισμός* ..... *65*
*7.3.2. Μεθοδολογία εκτέλεσης* ..... *65*
*7.3.3. Αποτελέσματα* ..... *65*
*7.3.4. Επιτρεπτά όρια* ..... *66*
7.4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΌΣ ΤΟΥ ΔΕΊΚΤΗ ΑΝΤΟΧΉΣ ΚΡΟΥΣΤΙΚΟΎ ΦΟΡΤΊΟΥ (AIV) ..... 66
*7.4.1. Ορισμός* ..... *66*
*7.4.2. Συσκευές* ..... *67*
*7.4.3. Προετοιμασία του δείγματος* ..... *68*
*7.4.4. Διεξαγωγή δοκιμής* ..... *68*
*7.4.5. Υπολογισμοί - παρουσίαση αποτελεσμάτων* ..... *68*
*7.4.6. Επιτρεπτά όρια* ..... *69*
7.5. ΔΟΚΙΜΉ MICRO DEVAL ..... 69
*7.5.1. Μηχανή MICRO DEVAL* ..... *69*
*7.5.2. Διεξαγωγή δοκιμής* ..... *70*
*7.5.3. Υπολογισμοί - παρουσίαση αποτελεσμάτων* ..... *71*
7.6. ΣΥΝΟΠΤΙΚΆ ΑΠΟΤΕΛΈΣΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΏΝ ΙΔΙΟΤΉΤΩΝ ..... 74

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ..... 76**

**ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΚΥΒΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥΣ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ..... 76**

8.1. ΑΝΆΜΕΙΞΗ ΥΛΙΚΏΝ ..... 76
8.2. ΤΟΠΟΘΈΤΗΣΗ ΣΚΥΡΟΔΈΜΑΤΟΣ ΣΤΙΣ ΜΉΤΡΕΣ (ΚΑΛΟΎΠΙΑ) ..... 77
8.3. ΞΕΚΑΛΟΎΠΩΜΑ - ΦΎΛΑΞΗ ΔΟΚΙΜΊΩΝ ..... 78
8.4. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΌΣ ΑΝΤΟΧΉΣ ΚΥΒΙΚΏΝ ΔΟΚΙΜΊΩΝ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΉ ΘΛΊΨΗ ..... 79
8.5. ΕΞΟΠΛΙΣΜΌΣ ..... 80
8.6. ΔΙΑΔΙΚΑΣΊΑ ΘΡΆΥΣΗΣ ..... 82
8.7. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΊ - ΠΑΡΟΥΣΊΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΆΤΩΝ ..... 83
8.8. ΕΠΙΤΡΕΠΤΆ ΌΡΙΑ ..... 90

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 ..... 91**

**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ..... 91**

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ..... 88**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ..... 92**

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξέλιξη της έρευνας των οφιολιθικών συμπλεγμάτων, από τη σκοπιά των βιομηχανικών εφαρμογών των πετρολογικών τύπων που περιλαμβάνουν, ακολουθεί σε παγκόσμιο επίπεδο μία συνεχώς ανερχόμενη πορεία. Οι βασικοί και υπερβασικοί λιθότυποι χρησιμοποιούνται ευρέως ως αντιολισθηρά αδρανή οδοποιίας, αδρανή σκυροδεμάτων, σκύρα σιδηροτροχιών κ.ά. (π.χ. French & Crammond 1980, Ρηγόπουλος κ.ά. 2005, Τσικούρας κ.ά. 2005). Σκοπός της μελέτης αυτής είναι η αξιολόγηση της ορυκτολογικής σύστασης και των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των διαβασικών πετρωμάτων της περιοχής Παρεκκλησιάς για την καταλληλότητά τους ως αδρανή υλικά στο σκυρόδεμα.

Μια από τις κυριότερες χρήσεις των αδρανών είναι στην παραγωγή σκυροδέματος. Τα αδρανή, εκτός των άλλων, προσφέρουν αξιόλογα πλεονεκτήματα και από τεχνικής άποψης στο σκυρόδεμα. Επηρεάζουν θετικά τη στατική συμπεριφορά των κατασκευών από σκυρόδεμα, εξασφαλίζουν μεγάλη σταθερότητα όγκου και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των κατασκευών σε σχέση με την περίπτωση χρήσης μόνο τσιμεντοκονιάματος. Το 70-80% του σκυροδέματος αποτελείται από αδρανή, γεγονός που συμβάλλει στο να διατηρείται χαμηλό το κόστος του σκυροδέματος, επειδή τα αδρανή είναι σχετικώς φθηνά υλικά, τόσο ως πρώτη ύλη όσο και ως διαδικασία παραγωγής. Οι ισχύουσες προδιαγραφές για τα αδρανή στο σκυρόδεμα είναι ο ΚΤΣ-97 (Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος) και το Σχέδιο Ελληνικού Προτύπου ΕΛΟΤ 408 (Θραυστά αδρανή για συνήθη σκυροδέματα). Σύμφωνα με το νέο Ευρωπαϊκό Πρότυπο Αδρανών Σκυροδέματος ΕΛΟΤ ΕΝ 12620 ως αδρανή μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνητά και ανακυκλωμένα αδρανή. Επιπλέον, το νέο πρότυπο εισάγει την ονοματολογία του αδρανούς, την ορυκτολογική και πετρογραφική εξέταση. (Τσούτσικα Π., Σολδάτος Τ., Τσιραμπίδης Α., Κορωναίος Α., Τ.Ε.Ε., Οκτώβριος 2005).

Η εργασία αυτή χωρίζεται σε δύο ενότητες, στη θεωρητική και στην πειραματική. Στην πρώτη ενότητα αναπτύσουμε με λίγα λόγια τα αδρανή υλικά, το τσιμέντο και το σκυρόδεμα, καθώς επίσης αναλύουμε το οφιολοθικό σύμπλεγμα του Τροόδους και προσδιορίζουμε την ταυτότητα του προς εξέταση υλικού. Η δεύτερη ενότητα, η πειραματική, χωρίζεται σε τρία στάδια, το πρώτο, που περιλαμβάνει την ορυκτολογική – πετρογραφική ανάλυση, στο δεύτερο εξετάζουμε τις ιδιότητες του υλικού μέσω εργαστηριακών μετρήσεων και τέλος το τρίτο περιλαμβάνει την παρασκευή δοκιμίων σκυροδέματος και τον προσδιορισμό της αντοχής τους σε μονοαξονική θλίψη.

Τέσσερα αντιπροσωπευτικά δείγματα αδρανών υλικών συλλέχτηκαν από διαφορετικές θέσεις της λατομικής περιοχής Παρεκκλησιάς συνολικού βάρους

200kg. Ένα μέρος του κάθε δείγματος λειοτριβήθηκε, σε κοκκομετρία - 200mesh, προκειμένου να γίνει η εξέταση με την μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων – Χ (XRD), όπου χρησιμοποιήθηκε το περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ τύπου D8 Advance της Bruker AXS. Επίσης έγιναν λεπτές και στιλπνές τομές, προκειμένου να εξετασθούν μικροσκοπικά με το πολωτικό μικροσκόπιο και το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (S.E.M). Τα δείγματά μας εξετάστηκαν στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης JEOL 5400 συνδεδεμένο με σύστημα μικροανάλυσης E.D.S INCA ENERGY 300 της εταιρείας OXFORD.

Για τον προσδιορισμό του βαθμού καταλληλότητας των διαβασικών πετρωμάτων ως αδρανών υλικών, πραγματοποιήθηκαν οι εργαστηριακές δοκιμές:

1.Αντοχή σε φθορά και κρούση κατά Los Angeles. Για παρασκευή σκυροδέματος ανθεκτικού σε επιφανειακή φθορά ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος ορίζει τιμή Los Angeles όχι μεγαλύτερη από 40.(Los Angeles, ASTM C 131,ΣΚ-345,ΕΛΟΤ EN 1097-2).

2.Δείκτης αντοχής σε κρουστικό φορτίο (ΔΑΚΦ). Οι προδιαγραφές της δοκιμής είναι για υλικά που περνούν από κόσκινο 14mm κατά BS και παραμένουν σε ένα κόσκινο των 10mm. (AIV, BS 812: Part 112).

3.Δοκιμή φθοράς από τριβή κατά Micro-Deval εκτελείται σε υγρές συνθήκες και σύμφωνα με τον (Micro-Deval, ΕΛΟΤ EN 1097-01).

4.Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη σε κυβικά δοκίμια σκυροδέματος σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ. και τσιμέντο χαμηλών αλκαλίων ανθεκτικό στα θειικά (EN 197-1 CEM1 52,5N). Το συγκεκριμένο τσιμέντο είναι προϊόν της «Τσιμεντοβιομηχανίας Βασιλικού ΛΤΔ» που δραστηριοποιείται στην Κύπρο.

Επίσης, οι τιμές δεικτών πλακοειδούς, Flakiness Index (ΕΛΟΤ EN 933-3, BS 812), δείκτες αποσάθρωσης Magnesium Sulfate Value (ΕΛΟΤ 1367-2, ACTM C88), τιμές υδαταπορροφηκότητας (Water Absorption), φαινόμενο ειδικό βάρος και τιμές παιπάλης με τη μέθοδο μπλε του μεθυλενίου Methylene Blue Value (ΕΛΟΤ 933-9), παραχωρήθηκαν από την εταιρεία «Skyramont Ltd», και συνεκτιμήθηκαν.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

# ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ

## 2.1. Ορισμός αδρανών υλικών

Τα αδρανή υλικά (αγγλόφωνα aggregates, γαλλόφωνα aggregat) πήραν την ονομασία τους από το γεγονός ότι δεν έχουν καμία συμμετοχή στις χημικές αντιδράσεις και γενικότερα, στις διεργασίες που συμβαίνουν κατά την ενυδάτωση του σκυροδέματος, από την ώρα δηλαδή που θα έρθει το τσιμέντο σε επαφή με το νερό. Βέβαια, αυτό δεν ανταποκρίνεται εντελώς στην πραγματικότητα διότι η χημική αδράνεια των υλικών αυτών εξαρτάται από της ορυκτολογική τους σύσταση και τα υλικά με τα οποία έρχονται σε επαφή. Τα αδρανή υλικά είναι τα κύρια συστατικά παραγωγής σκυροδεμάτων και ασφαλτικών σκυροδεμάτων, ενώ έχουν και πληθώρα άλλων εφαρμογών, όπως την οδοστροποϊία, την πλήρωση χανδάκων, τη διάστρωση δωματίων (π.χ για προστασία της θερμομόνωσης), την αμμοβολή κλπ.(www.latomiki.gr).

## 2.2. Τα αδρανή υλικά διακρίνονται σε οικογένειες ως εξής:

1. Με βάση την προέλευσή τους:

- Φυσικής προέλευσης: είναι τα αδρανή τα οποία έχουν ληφθεί από το φυσικό περιβάλλον και έχουν υποστεί μόνο μηχανική επεξεργασία θραύσης, πλυσίματος και ταξινόμησης κατά μέγεθος.
- Τεχνητά ή βιομηχανικά: είναι τα αδρανή που έχουν προκύψει ως προϊόντα ή παραπροϊόντα βιομηχανικής δραστηριότητας από χημική ή θερμική επεξεργασία πρώτων υλών ορυκτής ή άλλης προέλευσης.
- Ανακυκλωμένα: είναι τα αδρανή που προκύπτουν από την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση δομικών υλικών από υφιστάμενες κατασκευές.

2. Με βάση το μέγεθος των κόκκων:

Τα αδρανή υλικά ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους τα διακρίνουμε στις παρακάτω βασικές κατηγορίες σύμφωνα με τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς Αδρανών Υλικών:

- Παιπάλη: Είναι το διαβαθμισμένο λεπτομερές αδρανές υλικό με μέγεθος κόκκων μικρότερο από 0,1 mm.
- Άμμος: Είναι το αδρανές με μέγεθος κόκκων μέχρι 7 mm.
- Σκύρα: Είναι το αδρανές με μέγεθος κόκκων μέχρι 7-70 mm.

3. Με βάση την πηγή απόληψης:

- Φυσικά ή συλλεκτά αδρανή: ονομάζονται τα αδρανή που η λήψη τους γίνεται από φυσικές αποθέσεις.
- Θραυστά αδρανή: ονομάζονται αδρανή που προκύπτουν από εξόρυξη και θραύση όγκων πετρωμάτων.

4. Με βάση τη χρήση τους:

- Αδρανή για παρασκευή σκυροδέματος (aggregates for concrete)
- Αδρανή για παρασκευή ασφαλτομιγμάτων
- Αδρανή κονιαμάτων (aggregates for mortar)
- Αδρανή για ογκόλιθους για υδραυλικά και λιμενικά έργα
- Αδρανή για έρμα σιδηροδρομικής γραμμής
- Αδρανή υλικά για βάσεις και υποβάσεις

(Τσούτσικα Π., Σολδάτος Τ., Τσιραμπίδης Α., Κορωναίος Α., Τ.Ε.Ε., Οκτώβριος 2005).

## 2.3. Ποιότητα αδρανών υλικών

Η καταλληλότητα των αδρανών υλικών προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στα δομικά έργα, εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

-Μηχανική αντοχή

Τα αδρανή υλικά, ανάλογα με το σκυρόδεμα που πρόκειται να παρασκευαστεί, πρέπει να έχουν την κατάλληλη μηχανική αντοχή η οποία καθορίζεται από τον αντίστοιχο κανονισμό.

-Ανθεκτικότητα σε τριβή και κρούση

Τα αδρανή υλικά πρέπει να παρουσιάζουν ικανοποιητική αντοχή στην καταπόνηση σε τριβή και σε κρούση.

-Ανθεκτικότητα στην αποσάθρωση

Τα αδρανή υλικά πρέπει να παρουσιάζουν σταθερότητα ως προς την αποσάθρωση από το νερό, τον αέρα και τον παγετό. Ο έλεγχος των αδρανών

ως προς την αποσάθρωση γίνεται κατά τη δοκιμή «υγείας πετρώματος». Κατά τη δοκιμή αυτή η άμμος πρέπει να παρουσιάζει απώλεια μικρότερη από 10% και τα αδρανή με μεγαλύτερους κόκκους απώλεια μικρότερη από 12%.

-Σχήμα των κόκκων

Ένας κόκκος αδρανούς θεωρείται ότι έχει δυσμενή μορφή, όταν η σχέση της μεγαλύτερης προς τη μικρότερη διάστασή του ξεπερνά το 3:1. Το ποσοστό των κόκκων με δυσμενή μορφή δεν πρέπει να ξεπερνά το 50%. Ο περιορισμός αυτός επιβάλλεται, ώστε να μειωθεί η ολική επιφάνεια των κόκκων που θα πρέπει να καλύψει ο τσιμεντοπολτός κατά την παρασκευή του σκυροδέματος. Ο έλεγχος της μορφής των κόκκων γίνεται σε αντιπροσωπευτικό δείγμα του αδρανούς με ελάχιστο βάρος 500gr με τη μέτρηση των διαστάσεων κάθε κόκκου με ειδικό παχύμετρο. Ως επιβλαβείς προσμείξεις των αδρανών υλικών χαρακτηρίζονται οι οργανικές και ανόργανες ουσίες, οι οποίες είναι δυνατόν να επηρεάσουν δυσμενώς την πήξη και τη σκλήρυνση των κονιαμάτων και των σκυροδεμάτων, να προκαλέσουν μείωση των αντοχών τους, της σταθερότητας του όγκου τους και της προστασίας του οπλισμού του σκυροδέματος ως προς τη διάβρωση.

## 2.4. Αδρανή υλικά στο σκυρόδεμα

Η κύρια χρήση των αδρανών είναι στην παραγωγή σκυροδέματος. Τα αδρανή λόγω γωνιώδους και ακανόνιστου σχήματος συνδέονται μεταξύ τους και συγκρατούνται στο σκυρόδεμα με τη βοήθεια της τσιμεντόπαστας (μείγμα τσιμέντου+νερού). Όμως, επειδή το τσιμέντο είναι πολύ ακριβό ως υλικό (μεγάλο κόστος παραγωγής), η περιεχόμενη ποσότητά του στο σκυρόδεμα πρέπει να ελαχιστοποιείται υπό την προϋπόθεση βέβαια της διατήρησης της αντοχής του. Το 70-80% του σκυροδέματος αποτελείται από αδρανή, γεγονός που συμβάλλει στο να διατηρείται χαμηλό το κόστος του σκυροδέματος, επειδή τα αδρανή είναι σχετικώς φθηνά υλικά, τόσο ως πρώτη ύλη όσο και ως διαδικασία παραγωγής. Αυτό δεν είναι το μοναδικό πλεονέκτημα από τη χρήση αδρανών. Τα αδρανή, εκτός των άλλων, όπως έχει ήδη προαναφερθεί, προσφέρουν αξιόλογα πλεονεκτήματα και από τεχνικής άποψης στο σκυρόδεμα. Επηρεάζουν θετικά τη στατική συμπεριφορά των κατασκευών από σκυρόδεμα, εξασφαλίζουν μεγάλη σταθερότητα όγκου και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των κατασκευών σε σχέση με την περίπτωση χρήσης μόνο τσιμεντοκονιάματος.

Τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά (προδιαγραφές αντοχής και χρήσης) του σκυροδέματος καθορίζουν τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά των αδρανών που πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Είναι γνωστό ότι χαμηλής πυκνότητας αδρανή με μεγάλο πορώδες παράγουν ασθενές (χαμηλής αντοχής) σκυρόδεμα με μικρή αντίσταση σε φθορά, ενώ μεγάλης πυκνότητας και σκληρά αδρανή συμβάλλουν στην παραγωγή σκυροδέματος μεγάλης αντοχής (σε θλίψη και εκτριβή). Τα αδρανή του σκυροδέματος πρέπει να είναι καθαρά, χωρίς επιφανειακή σκόνη,

άργιλο και οργανικές ύλες (συνήθως πλυμένα), σκληρά και μεγάλης αντοχής. Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή σκυροδέματος έχουν διάφορα μεγέθη και ακανόνιστο σχήμα.

Οι ισχύουσες προδιαγραφές για τα αδρανή στο σκυρόδεμα είναι ο ΚΤΣ-97 (Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος) και το Σχέδιο Ελληνικού Προτύπου ΕΛΟΤ 408 (Θραυστά αδρανή για συνήθη σκυροδέματα). Σύμφωνα με το νέο Ευρωπαϊκό Πρότυπο Αδρανών Σκυροδέματος ΕΛΟΤ ΕΝ 12620 ως αδρανή μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνητά και ανακυκλωμένα αδρανή. Επιπλέον, το νέο πρότυπο εισάγει την ονοματολογία του αδρανούς, την ορυκτολογική και πετρογραφική εξέταση. (Τσούτσικα Π., Σολδάτος Τ., Τσιραμπίδης Α., Κορωναίος Α., Τ.Ε.Ε., Οκτώβριος 2005).

## 2.5. Τα αδρανή υλικά στην Κύπρο

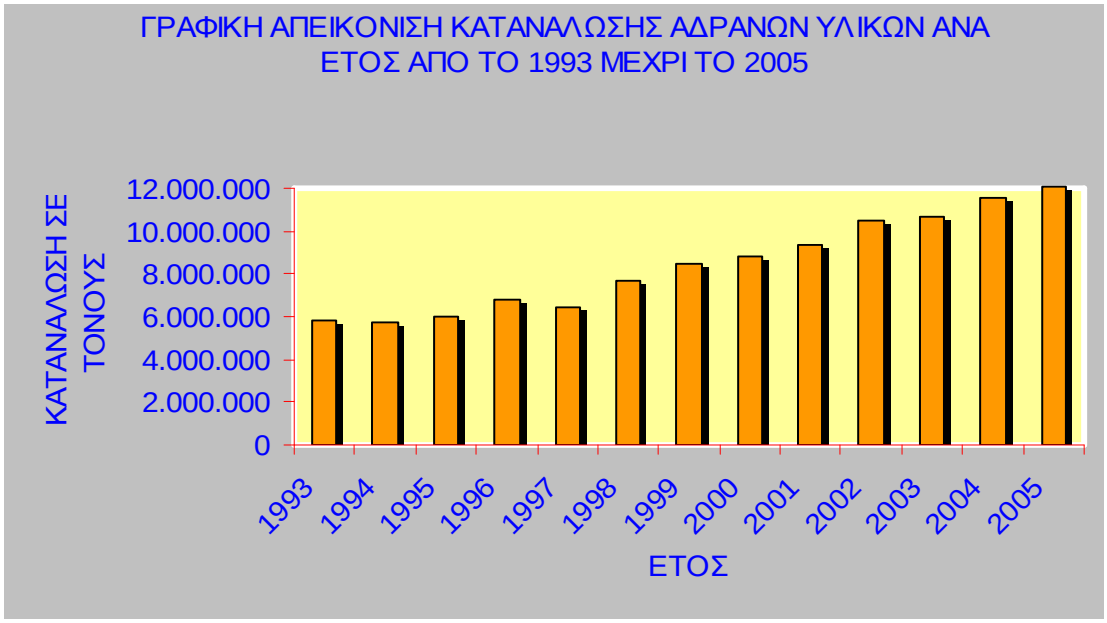
Όταν άρχισε η χρήση του σκυροδέματος στην Κύπρο χρησιμοποιήθηκαν ως αδρανή υλικά αμμοχάλικα από τις παραλίες, κυρίως κοντά στις εκβολές ποταμών, τις κοίτες των ποταμών και τις θαλάσσιες και ποτάμιες αναβαθμίδες. Τα υλικά αυτά είναι προϊόντα διάβρωσης των πετρωμάτων από τα οποία διέρχονται οι ποταμοί. Ως εκ τούτου, είναι ανομοιογενή και αντανακλούν τη σύσταση των πετρωμάτων στις λεκάνες απορροής των ποταμών. Επειδή οι ποταμοί της Κύπρου πηγάζουν από το Τρόοδος, κύρια συστατικά των φυσικών αμμοχάλικων είναι τα πετρώματα του οφιολιθικού συμπλέγματος του Τροόδους. Τα περισσότερα από αυτά τα πετρώματα αν εξετασθούν ξεχωριστά δεν ικανοποιούν τις τεχνικές προδιαγραφές για παραγωγή σκυροδέματος, γιατί οι φυσικές και χημικές ιδιότητες τους είναι τέτοιες που τα καθιστούν ακατάλληλα για χρήση στο σκυρόδεμα.

Για τον λόγο αυτό και για σκοπούς προστασίας του περιβάλλοντος, η χρήση φυσικών αμμοχάλικων στο σκυρόδεμα έχει εγκαταλειφθεί. Το 1981, το Υπουργικό Συμβούλιο με απόφασή του απαγορεύει την λατόμευση ποτάμιων και παράκτιων αποθέσεων και, παράλληλα, ενθαρρύνει την λατόμευση συμπαγών πετρωμάτων ασβεστόλιθου και διάβαση. Το 1994 δε, το Υπουργικό Συμβούλιο με απόφασή του απαγορεύει την θραύση των χαλικιών με σκοπό την περαιτέρω προώθηση της λατόμευσης διαβασικών και ασβεστολιθικών πετρωμάτων.

Σήμερα, η παραγωγή αδρανών υλικών, σκύρων και άμμου, προέρχεται στη συντριπτική της πλειοψηφία από τη θραύση διαβασικών και ασβεστολιθικών πετρωμάτων. Για το σκοπό αυτό έχουν εγκατασταθεί σύγχρονες σκυροθραυστικές μονάδες. Στις ελεύθερες περιοχές της Κύπρου λειτουργούν σήμερα 27 λατομεία αδρανών υλικών με συνολική παραγωγή 12.100.000 τόνους ετησίως.

| Επαρχία | Αρ. Λατομείων | Παραγωγή-2005 (tn) |
|---|---|---|
| Λευκωσία | 12 | 4.200.000 |
| Λάρνακα | 7 | 3.800.000 |
| Λεμεσός | 5 | 2.800.000 |
| Πάφος | 3 | 1.300.000 |

*Πίνακας 2.5.1: Στατιστικά στοιχεία αδρανών υλικών στη Κύπρο*
*Πηγή: Υπηρεσία Μεταλλείων*




*Γραφική απεικόνιση 2.5.2: Κατανάλωση αδρανών υλικών στη Κύπρο*
*Πηγή: Υπηρεσία Μεταλλείων*

Τα κυριότερα λατομεία παραγωγής αδρανών υλικών βρίσκονται στις περιοχές:

Παρεκκλησιά, Φαρμακάς, Μοσφιλωτή, Σιά, Πυργά, Μοναγρούλλι: ΛΑΤΟΜΕΙΑ ΔΙΑΒΑΣΗ

Μιτσερό, Ξυλοφάγου, Ανδρολίκου: ΛΑΤΟΜΕΙΑ ΥΦΑΛΟΓΕΝΟΥΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΥ

## 2.6. Μέθοδος εξόρυξης και επεξεργασίας διαβασικών αδρανών υλικών στην Κύπρο

Ο διαβάσης εξορύσσεται στην Κύπρο με υπαίθρια εκμετάλλευση με την μέθοδο ασυνεχούς λειτουργίας και αυτό λόγω του ότι είναι πιο οικονομική μέθοδος απ' ότι η υπόγεια και εφαρμόζεται σε σκληρούς σχηματισμούς. Όλη η επεξεργασία χωρίζεται σε τρία κυρίως στάδια, την εξόρυξη, τη φορτοεκφόρτωση και τέλος τη θραύση και ταξινόμηση. Στις εικόνες παρουσιάζονται οι εργασίες διάτρησης μετώπων (Εικ. 2.6.1 και 2.6.2), θραύσης υλικού με κρουστική σφύρα (Εικ. 2.6.3 και 2.6.4), φορτοεκφόρτωσης (Εικ. 2.6.5 και 2.6.6), πρωτογενούς θραύσης (Εικ. 2.6.7 και 2.6.8), εγκαταστάσεως σκυροθραυστικής μονάδας και τελικού προϊόντος (Εικ. 2.6.9 και 2.6.10).

1. Μέθοδος εξόρυξης με συμβατικές μεθόδους διάτρησης και ανατίναξης.

*Εικόνες 2.6.1 και 2.6.2: Διάτρηση μετώπων*

2. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται σφύρες που μειώνουν το μέγεθος του πετρώματος, μετά από την ανατίναξη, για να μην υπάρχει πρόβλημα στο σπαστήρα.

*Εικόνες 2.6.3 και 2.6.4: Μείωση μεγέθους υλικού με κρουστική σφύρα*

3. Στη συνέχεια γίνεται η φόρτωση και η μεταφορά μέχρι τη μονάδα θραύσης.

*Εικόνες 2.6.5 και 2.6.6: Διαδικασία φορτοεκφόρτωσης*

4. Ανάλογα με τη μείωση του μεγέθους του υλικού που θέλουμε, περνάει από τους κατάλληλους σπαστήρες και κόσκινα.

*Εικόνες 2.6.7 και 2.6.8: Πρωτογενής θραύση*

5. Τέλος το υλικό ταξινομείται σε σωρούς σύμφωνα με το μέγεθός τους.

*Εικόνες 2.6.9 και 2.6.10: Τελικό προϊόν σκυροθραυστικής μονάδας*

***Πηγή φωτογραφιών παραγωγικής διαδικασίας 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10*** **:Αρχεία«Skyramont Ltd».**

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

# ΤΣΙΜΕΝΤΟ

## 3.1. Ορισμός τσιμέντου

Το τσιμέντο είναι μία υδραυλική συνδετική ύλη, δηλαδή, ένα λεπτότατα αλεσμένο ανόργανο υλικό το οποίο, όταν αναμειχθεί με νερό, σχηματίζει ένα πολτό που πήζει και σκληραίνει διαμέσου αντιδράσεων και μηχανισμών ενυδάτωσης και το οποίο, μετά τη σκλήρυνση, διατηρεί την αντοχή και τη σταθερότητά του ακόμη και μέσα στο νερό. Αποτελείται από οξείδια του ασβεστίου, πυριτίου, αργιλίου και σιδήρου που είναι ενωμένα μεταξύ τους και αποτελούν το 90% του βάρους του. Το υπόλοιπο μέρος είναι γύψος και μικρές ποσότητες αλάτων μαγνησίου, καλίου, νατρίου και άλλων στοιχείων.

## 3.2. Ιστορική αναδρομή

Η συστηματικότερη παρασκευή τσιμέντου αποδίδεται στον Άγγλο μηχανικό Joseph Aspdin, ο οποίος έδωσε στο υλικό (για το οποίο πήρε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας) το όνομα που και σήμερα χρησιμοποιείται ως "τσιμέντο Portland". Το όνομα αυτό δόθηκε γιατί το χρώμα του σκληρυμένου τσιμέντου ήταν πολύ κοντά στο χρώμα των πετρωμάτων στο Portland. Το τσιμέντο του Πόρτλαντ, όπως ήταν τότε, είχε τις εξής αναλογίες: 65-70% CaO, 18-24% $SiO_2$, 3-8% $Fe_2O_3$, 3-8% $Al_2O_3$. Έκτοτε, η παραγωγή του τσιμέντου εξαπλώθηκε σε όλο τον κόσμο και παρουσίασε σημαντικές εξελίξεις για να φθάσει στο σημερινό επίπεδο εξέλιξης.

Σήμερα παράγονται ετησίως σε όλο τον κόσμο πάνω από 1,5 δισεκατομμύρια τόνοι τσιμέντου και το σκυρόδεμα που παρασκευάζεται από το τσιμέντο αυτό υπερβαίνει τα 10 δισεκατομμύρια τόνους. Το γεγονός αυτό καθιστά το τσιμέντο και το σκυρόδεμα από τα σπουδαιότερα δομικά υλικά της εποχής μας. Για να επιτευχθεί όμως αυτό χρειάστηκε να γίνουν σημαντικές πρόοδοι, κυρίως τα τελευταία 80 - 100 χρόνια, όπως ο συνδυασμός του σκυροδέματος με χάλυβα για να παραλαμβάνει τις εφελκυστικές τάσεις, η χρήση προεντεταμένων χαλύβων, η χρήση ινών, μη μεταλλικού οπλισμού, χημικών πρόσθετων και πολύ λεπτόκκοκων υλικών (ποζολανών).

## 3.3. Πρώτες ύλες τσιμέντου

Ο λόγος τιμή (αξία) προς βάρος είναι πολύ μικρός για το τσιμέντο γεγονός που το κάνει να είναι πολύ ακριβό για μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις. Οι πρώτες ύλες, επίσης, για την παραγωγή τσιμέντου είναι ακόμη χαμηλότερης αξίας και για την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς των πρώτων υλών, οι μονάδες παραγωγής τσιμέντου χωροθετούνται πολύ κοντά στις πηγές πρώτων υλών. Οι πρώτες ύλες για την παραγωγή τσιμέντου είναι ο ασβεστόλιθος και η άργιλος. Τα διάφορα άλλα πρόσθετα ανάλογα με τον τύπο του τσιμέντου τις ανάγκες και τα προϊόντα της κάθε χώρας, αλλάζουν. Ενδεικτικά πιο κάτω παρουσιάζονται τα κυριότερα συστατικά του τσιμέντου.

- Ασβεστόλιθος
- Αργιλικό πέτρωμα
- Πυριτική άμμος
- Σιδηρομετάλλευμα

*Εικόνα 3.3.1: Πρώτες ύλες, ενδιάμεσα προϊόντα και τελικό προϊόν στη διεργασία παραγωγής τσιμέντου*

*Πηγή: Κορωναίος Γ. Αιμ., Πουλάκος Ι. Γ., «Τεχνικά Υλικά», Τόμος 4, Αθήνα, 2006*

## 3.4. Συστατικά Κλίνκερ

Η κυριότερη πρώτη ύλη για την παραγωγή του κλίνκερ είναι τα ασβεστολιθικά πετρώματα που εξορύσσονται επιφανειακά κοντά στη μονάδα παραγωγής του τσιμέντου. Επειδή, ποσοστό περίπου 80% από τους 1,65 τόνους πρώτων υλών, που απαιτούνται για την παραγωγή ενός τόνου κλίνκερ, είναι ασβεστολιθικό υλικό, είναι προφανής η αναγκαιότητα γειτνίασης της θέσης εξόρυξης ασβεστολιθικών πετρωμάτων και της μονάδας παραγωγής τσιμέντου.

### 1. Πυριτικό τριασβέστιο - $C_3S$

Το πυριτικό τριασβέστιο είναι το κυριότερο συστατικό του κλίνκερ και αυτό που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την πορεία της πήξης και της σκλήρυνσης. Δεν έχει σταθερή σύσταση και δραστικότητα σε όλα τα τσιμέντα, καθώς κατά τον σχηματισμό του ενσωματώνει στο πλέγμα του και άλλα ιόντα, δίνοντας ένα στερεό διάλυμα που ονομάζεται αλίτης. Το προϊόν της ενυδάτωσης σε θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι μια άμορφη φάση, το ένυδρο πυριτικό ασβέστιο ο σχηματισμός του οποίου μπορεί να αποδοθεί ως εξής:

$$2C_3S + 6\ H_2O \ \text{-->}\ C_3S_2H_3 + 3\ Ca(OH)_2$$

Το υδροξείδιο του ασβεστίου $Ca(OH)_2$ είναι υπεύθυνο για την αλκαλικότητα του πολτού (pH=12.5) και συνεπώς την προστασία που αυτή προσφέρει στον σιδηροπλισμό του σκυροδέματος. Το πυριτικό τριασβέστιο προσδίδει στο τσιμέντο πρώιμες και μακροχρόνιες αντοχές.

### 2. Πυριτικό διασβέστιο - $C_2S$

Η δραστικότητα του πυριτικού διασβεστίου είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή του πυριτικού τριασβεστίου, ενώ από τις υπάρχουσες μορφές του η β- C 2 S, που καλείται μπελίτης είναι η πλέον σημαντική. Η μορφή αυτή είναι μετασταθής σε όλες τις θερμοκρασίες αλλά με την είσοδο ξένων ιόντων στο πλέγμα επιτυγχάνεται σταθεροποίησή της σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η ενυδάτωση του πυριτικού διασβεστίου μπορεί να αποδοθεί ως εξής:

$$C2S + 4\ H2O \ \text{-->}\ C3S2H3 + Ca(OH)2$$

Τα προϊόντα ενυδάτωσης είναι παρόμοια με αυτά του πυριτικού τριασβεστίου με μόνη διαφορά τα μικρότερα ποσοστά υδροξειδίου του ασβεστίου $Ca(OH)_2$. Το πυριτικό διασβέστιο προσδίδει στο τσιμέντο μακροχρόνιες αντοχές.

### 3. Αργιλικό τριασβέστιο - $C_3A$

Η αντίδραση του αργιλικού τριασβεστίου με το νερό θα ήταν ταχύτατη και θα προκαλούσε γρήγορο πήξιμο όλου του τσιμέντου, όμως, λόγω της γύψου που υπάρχει στο τσιμέντο ενυδατώνεται διαφορετικά από το καθαρό συστατικό. Η αντίδραση του αργιλικού τριασβεστίου με τη γύψο δίνει βελονοειδείς κρυστάλλους ενός ένυδρου θειικού αργιλικού τριασβεστίου που ονομάζεται εττριγγίτης:

$$C_3A + 3CaSO_4.2H_2O + 26\ H_2O \ \text{-->}\ C_6AS_3H_{32}$$

Η επιβραδυντική επίδραση της γύψου αποδίδεται στο σχηματισμό μιας στοιβάδας εττριγγίτη πάνω στην επιφάνεια των κόκκων του αργιλικού τριασβεστίου, η οποία καθυστερεί την ενυδάτωσή του, με αποτέλεσμα το πήξιμο του τσιμέντου να εξαρτάται κυρίως από την ενυδάτωση του πυριτικού τριασβεστίου. Όταν καταναλωθεί η γύψος πραγματοποιείται η αντίδραση του $C_3A$ με τον εττριγγίτη και παράγεται μονοθεϊικό ενυδατωμένο άλας ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται αύξηση του ρυθμού της ενυδάτωσης.

$$2C_3A + C_6AS_3H_{32} + 4\ H_2O \ \text{-->}\ 3\ C_4ASH_{12}$$

Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος η ενυδάτωση του αργιλικού τριασβεστίου μπορεί να ολοκληρωθεί μετά από διάστημα αρκετών μηνών. Το αργιλικό τριασβέστιο προσδίδει στο τσιμέντο πρώιμες αντοχές.

### 4. Αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο

Η ενυδάτωση της φάσης του φερίτη επιβραδύνεται σημαντικά παρουσία γύψου και παριστάνεται κατά προσέγγιση με την αντίδραση:

$$C_4AF+CaSO_4.2H_2O+Ca(OH)_2 \text{-->} C_3(AF).3CaSO_4(aq)$$

Το στερεό διάλυμα που προέκυψε με την εξάντληση των θειικών μετατρέπεται σε:

$$C_3(AF).CaSO_4\ (aq) \text{ and } C_3(AF).Ca(SO_4(OH)_2)\ (aq)$$

Γενικότερα με την προσθήκη νερού στο τσιμέντο τα συστατικά του ενυδατώνονται κυρίως προς ένυδρο πυριτικό ασβέστιο (CSH gel) και υδροξείδιο του ασβεστίου $Ca(OH)_2$ , με τα υπόλοιπα προϊόντα να είναι αργιλικά και φερίτες.

*Εικόνα 3.4.1: Πυρητικό τριασβέστιο και Εικόνα 3.4.2: Πυρητικό διασβέστιο*

*Εικόνα 3.4.3: Αργιλικό τριασβέστιο και Εικόνα 3.4.4: Αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο*

*Πηγή εικόνων 1 – 4: «Τσιμεντοβιομηχανία Βασιλικού Λτδ»*

## 3.5. Η πορεία της ενυδάτωσης επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι των οποίων είναι:

**Α. Ηλικία:** Η ταχύτητα ενυδάτωσης αρχικά είναι μέγιστη και βαθμιαία μειώνεται με το χρόνο, ώσπου να ολοκληρωθεί.

**Β. Σύσταση τσιμέντου:** Στα πρώτα στάδια η ταχύτητα ενυδάτωσης είναι μεγαλύτερη σε τσιμέντα πλούσια σε $C_3S$ και $C_3A$.

**Γ. Λεπτότητα:** Ο τελικός βαθμός ενυδάτωσης δεν επηρεάζεται, όμως στα πρώτα στάδια αυξάνεται με τη λεπτότητα.

**Δ. Θερμοκρασία:** Η ταχύτητα ενυδάτωσης αρχικά αυξάνει με τη θερμοκρασία του τσιμεντοπολτού, χωρίς όμως να επηρεάζεται ο τελικός βαθμός ενυδάτωσης.

## 3.6. Παραγωγική διαδικασία

**Στάδια παραγωγής:**

- **1ο στάδιο - Εξόρυξη Α' υλών:**

Οι πρώτες ύλες εξορύσσονται με τη χρήση ισχυρών εκσκαπτικών μηχανημάτων ή με τη χρήση εκρηκτικών υλών.

*Εικόνα 3.6.1:Εκρηκτικό και Εικόνα 3.6.2:Σκαπτικό μηχάνημα*

- **2ο στάδιο - Θραύση Α' υλών:**

Τα υλικά θραύονται σε μεγάλους θραυστήρες σε τεμάχια, συνήθως μικρότερα των 30 χιλιοστών.

*Εικόνες 3.6.3 και 3.6.4: Εκφόρτωση στο σπαστήρα*

- **3ο στάδιο - Αποθήκευση και προομοιογένεια Α' υλών:**

Οι θραυσμένες πρώτες ύλες αποθηκεύονται (με σύγχρονη ανάμειξη) χωριστά κατά κατηγορία και από εκεί οδεύουν προς τους μύλους συνάλεσης σε αυστηρά καθορισμένη και συνεχώς ελεγχόμενη δοσολογία.

*Εικόνες 3.6.5 και 3.6.6: Αποθήκευση πρώτων υλών*

- **4ο στάδιο - Ξήρανση και άλεση πρώτων υλών:**

Οι μύλοι είναι μεταλλικοί κύλινδροι, με ισχυρή εσωτερική μεταλλική θωράκιση και περιέχουν πολλούς τόνους από σφαιρικά χαλύβδινα αλεστικά σώματα. Κατά την περιστροφική κίνηση των μύλων οι σφαίρες κονιοποιούν τις προθραυσμένες πρώτες ύλες σε κόκκους μέσης διαμέτρου. Το προϊόν αυτό ονομάζεται φαρίνα.

*Εικόνες 3.6.7 και 3.6.8: Μύλος άλεσης φαρίνας*

- **5ο στάδιο - Ομοιογενοποίηση και αποθήκευση φαρίνας:**

Η φαρίνα οδηγείται στα ειδικά σιλό όπου συντελείται η ομοιογενοποίηση.

*Εικόνα 3.6.9: Πανοραμική άποψη εργοστασίου και Εικόνα 3.6.10: Σιλό*

- **6ο στάδιο - Έψηση:**

Μετά την ομοιογενοποίηση, η φαρίνα περνάει από ένα σύστημα κυκλώνων που ονομάζεται προθερμαντής και υφίσταται μια προοδευτική θερμική κατεργασία σε θερμοκρασία μέχρι 900℃. Στη συνέχεια οι περιστροφικοί κλίβανοι αναλαμβάνουν την έψηση. Οι περιστροφικοί κλίβανοι είναι μεταλλικοί κύλινδροι μήκους 50-150 μέτρων και διαμέτρου 3-5 μέτρων με εσωτερική επένδυση από ειδικά πυρότουβλα. Η περιστροφική κίνηση του κλιβάνου και η κλίση του εξωθούν τη φαρίνα προς την έξοδο. Στην πορεία της συναντάει θερμοκρασίες που φτάνουν τους 1400℃. Μέσα στον κλίβανο χάρη στις φυσικοχημικές διεργασίες, η φαρίνα μετατρέπεται σε ένα κοκκώδες προϊόν που λέγεται κλίνκερ.

*Εικόνες 3.6.11 και 3.6.12: Περιστροφικοί κλίβανοι*

- **7ο στάδιο - Άλεση τσιμέντου:**

Το τσιμέντο ως τελικό προϊόν είναι μία πολύ λεπτή σκόνη και για τη δημιουργία του απαιτείται συνάλεση κλίνκερ γύψου και ορισμένων φυσικών ή τεχνητών υλικών, που προσδίδουν στο τσιμέντο ωφέλιμες ιδιότητες. Οι μύλοι τσιμέντου μοιάζουν με τους μύλους φαρίνας.

*Εικόνες 3.6.13 και 3.6.14: Μύλος άλεσης κλίνκερ*

- **8ο στάδιο - Σιλό τσιμέντου:**

Το τσιμέντο αποθηκεύεται σε σιλό, που αποτελούν χώρους αποθήκευσης μέσης χρονικής διάρκειας.

*Εικόνες 3.6.15 και 3.6.16: Σιλό τσιμέντου*

- **9ο στάδιο - Κατανάλωση:**

  Το τσιμέντο διατίθεται στην κατανάλωση χύμα ή σε σάκους. Η μεγαλύτερες ποσότητες διατίθενται χύμα με ειδικά σιλοφόρα αυτοκίνητα ή πλοία.

*Εικόνα 3.6.17: Λιμάνι εργοστασίου και Εικόνα 3.6.18: Τσιμέντο σε σάκους*

***Πηγή φωτογραφιών παραγωγικής διαδικασίας 1 έως 18:*** *Προσωπικό αρχείο-Στεφάνου Ιάκωβος*

## 3.7. Πρότυπα τσιμέντου – Προδιαγραφές

Κάθε χώρα παγκοσμίως παρασκευάζει τσιμέντο, χρησιμοποιώντας τις πηγές πρώτων υλών που διαθέτει. Έτσι, ανάλογα με τις υπάρχουσες και χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες, δημιουργήθηκαν οι διάφοροι τύποι τσιμέντων που παράγονται παγκοσμίως. Γι' αυτό το λόγο, το πρότυπο προβλέπει μεγάλο αριθμό προϊόντων τσιμέντου όπως φαίνεται στον πίνακα 3.7.1, τα οποία όμως δεν κυκλοφορούν κατ' ανάγκη σε κάθε χώρα, λόγω των ιδιαιτεροτήτων στις πρώτες ύλες και στο κλίμα αυτών.

**Πίνακας 2: Αναλυτικός πίνακας των τύπων τσιμέντου* που θα κυκλοφορούν στην Ευρωπαική Ένωση και στις χώρες που ακολουθούν τα πρότυπα CEN.**

| Κύριοι τύποι | Ονομασία των 27 προϊόντων (τύποι κοινών τσιμέντων) | | Σύνθεση (επί της % κατά μάζα) α) | | | | | | | | | | Δευτερεύοντα συστατικά |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Κύρια συστατικά | | | | | | | | | | |
| | | | Κλίνκερ | Σκωρία υψικα-μίνου | Πυριτική παιπάλη β) | Ποζολάνη | | Ιπτάμενες τέφρες | | Ψημένος σχιστόλιθος | Ασβεστό-λιθος | | |
| | | | | | | Φυσική | Φυσική ψημένη | Πυριτική | Ασβε-στούχος | | | | |
| | | | K | S | D | P | Q | V | W | T | L | LL | |
| CEM I | Τσιμέντο Πόρτλαντ | CEM I | 95-100 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0-5 |
| CEM II | Τσιμέντο Πόρτλαντ με Σκωρία Υψικαμίνων | CEM II/A-S | 80-94 | 6-20 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0-5 |
| | | CEM II/B-S | 65-79 | 21-35 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0-5 |
| | Τσιμέντο Πόρτλαντ με πυριτική παιπάλη | CEM II/A-D | 90-94 | — | 6-10 | — | — | — | — | — | — | — | 0-5 |
| | Τσιμέντο Πόρτλαντ με ποζολάνη | CEM II/A-P | 80-94 | — | — | 6-20 | — | — | — | — | — | — | 0-5 |
| | | CEM II/B-P | 65-79 | — | — | 21-35 | — | — | — | — | — | — | 0-5 |
| | | CEM II/A-Q | 80-94 | — | — | — | 6-20 | — | — | — | — | — | 0-5 |
| | | CEM II/B-Q | 65-79 | — | — | — | 21-35 | — | — | — | — | — | 0-5 |
| | Τσιμέντο Πόρτλαντ με ιπτάμενη τέφρα | CEM II/A-V | 80-94 | — | — | — | — | 6-20 | — | — | — | — | 0-5 |
| | | CEM II/B-V | 65-79 | — | — | — | — | 21-35 | — | — | — | — | 0-5 |
| | | CEM II/A-W | 80-94 | — | — | — | — | — | 6-20 | — | — | — | 0-5 |
| | | CEM II/B-W | 65-79 | — | — | — | — | — | 21-35 | — | — | — | 0-5 |
| | Τσιμέντο Πόρτλαντ με ψημένο σχιστόλιθο | CEM II/A-T | 80-94 | — | — | — | — | — | — | 6-20 | — | — | 0-5 |
| | | CEM II/B-T | 65-79 | — | — | — | — | — | — | 21-35 | — | — | 0-5 |
| | Τσιμέντο Πόρτλαντ με ασβεστόλιθο | CEM II/A-L | 80-94 | — | — | — | — | — | — | — | 6-20 | — | 0-5 |
| | | CEM II/B-L | 65-79 | — | — | — | — | — | — | — | 21-35 | — | 0-5 |
| | | CEM II/A-LL | 80-94 | — | — | — | — | — | — | — | — | 6-20 | 0-5 |
| | | CEM II/B-LL | 65-79 | — | — | — | — | — | — | — | — | 21-35 | 0-5 |
| | Τσιμέντο Πόρτλαντ-σύνθετο γ) | CEM II/A-M | 80-94 | <----------6-20----------> | | | | | | | | | 0-5 |
| | | CEM II/B-M | 65-79 | <----------21-35----------> | | | | | | | | | 0-5 |
| CEM III | Σκωριοτσιμέντο | CEM III/A | 35-64 | 36-65 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0-5 |
| | | CEM III/B | 20-34 | 66-80 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0-5 |
| | | CEM III/C | 5-19 | 81-95 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0-5 |
| CEM IV | Ποζολανικό τσιμέντο γ) | CEM IV/A | 65-89 | - | <----------11-35----------> | | | | | — | — | — | 0-5 |
| | | CEM IV/B | 45-64 | - | <----------36-55----------> | | | | | — | — | — | 0-5 |
| CEM V | Σύνθετο τσιμέντο γ) | CEM V/A | 40-64 | 18-30 | — | <----------18-30----------> | | | — | — | — | — | 0-5 |
| | | CEM V/B | 20-39 | 31-50 | — | <--------31-50----------> | | | — | — | — | — | 0-5 |

α) Οι τιμές του πίνακα αναφέρονται στο σύνολο των κυρίων και δευτερευόντων συστατικών
β) Το ποσοστό της πυριτικής παιπάλης περιορίζεται στο 10%
γ) Στα τσιμέντα Πόρτλαντ-σύνθετα CEM II/A-M και CEM II/B-M, στα ποζολανικά τσιμέντα CEM IV/A και CEM IV/B και στα σύνθετα τσιμέντα CEM V/A και CEM V/B τα κύρια συστατικά δεξί του κλίνκερ πρέπει να δηλώνονται στην ονομασία του τσιμέντου (για παράδειγμα βλέπε κεφάλαιο 8).

* Οι τύποι τσιμέντου που κυρίως θα παράγονται σε κάθε χώρα εξαρτώνται από τις διαθέσιμες πρώτες ύλες.

*Πίνακας 3.7.1: Τύποι τσιμέντων που κυκλοφορούν στην Ε.Ε και στις χώρες που ακολουθούν τα πρότυπα CEN*

*Πηγή: www.tee.gr*

Σύμφωνα με απόφαση της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε), από 01/04/01 τα τσιμέντα που κυκλοφορούν σε όλες τις χώρες κράτη μέλη πρέπει να είναι πιστοποιημένα, να φέρουν σήμανση CE και να είναι σύμφωνα με τα νέα

Ευρωπαϊκά Πρότυπα, τα οποία έχουν υιοθετηθεί σαν Ελληνικά Πρότυπα από τον ΕΛΟΤ:

**ΕΝ 197-1 : Τσιμέντο Μέρος - 1 :** " *Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για κοινά τσιμέντα* "

**ΕΝ 197-2 : Τσιμέντο Μέρος - 2 :** *" Αξιολόγηση συμμόρφωσης "*

Το πρότυπο ΕΝ 197-1 προδιαγράφει σε γενική μορφή τους εξής τύπους τσιμέντου:

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

*Πίνακας 3.7.2: Βασικοί τύποι τσιμέντου*

*Πηγή: www.tee.gr*

Επίσης, το πρότυπο προδιαγράφει και έξι κατηγορίες αντοχών, στις οποίες τα τσιμέντα κατατάσσονται ανάλογα με την αντοχή τους σε θλίψη σε κονίαμα πρότυπης σύνθεσης και τρόπου παρασκευής, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ ΕΝ 196-1 *Μέθοδοι δοκιμών τσιμέντου - Μέρος 1 : Προσδιορισμός αντοχών.* Κάθε κατηγορία αντοχής ορίζεται από ένα κατώτερο και ένα ανώτερο όριο αντοχής. Το κατώτερο όριο αντοχής των 28 ημερών χαρακτηρίζει την συγκεκριμένη κατηγορία. Κάθε μία από τις παραπάνω περιλαμβάνει δύο υποκατηγορίες πρώιμης αντοχής N , R (Βλέπε πίνακα 3.7.3).

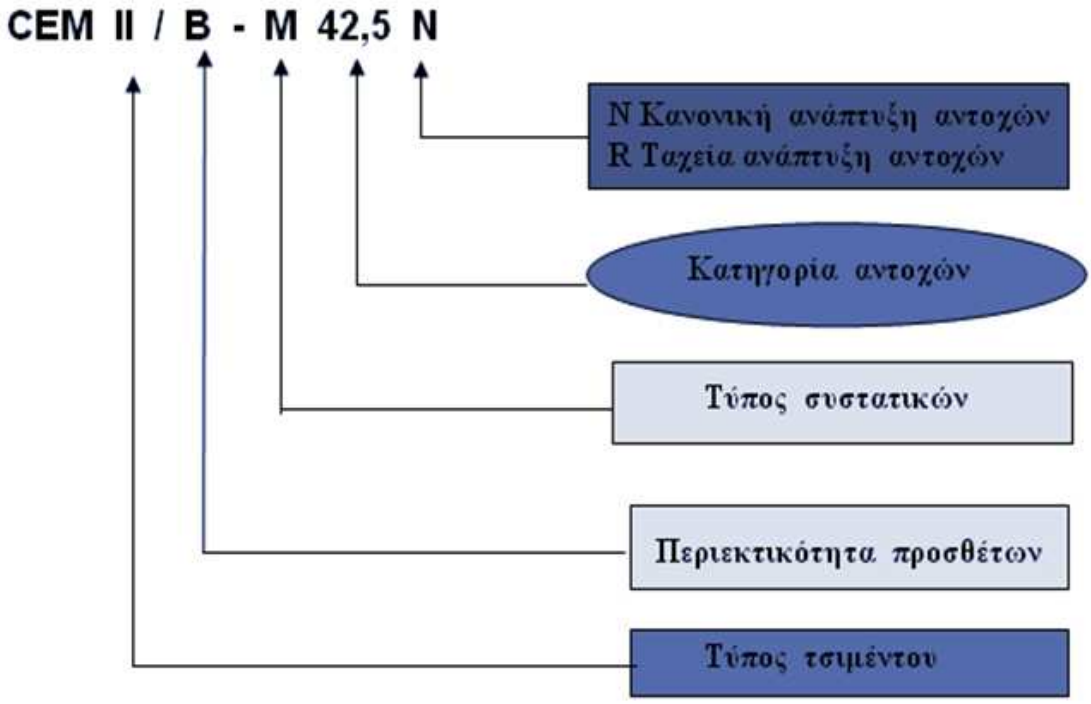
| Κατηγορία Αντοχής | Αντοχή στη θλίψη MPa | | | | Αρχικός χρόνος πήξης | Διόγκωση (Διαστολή) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Αρχική αντοχή | | Τυπική αντοχή | | | |
| | 2 ημέρες | 7 ημέρες | 28 ημέρες | | min | mm |
| 32,5 N | - | ≥16.0 | ≥ 32,5 | ≤ 52,5 | ≥ 75 | ≤ 10 |
| 32,5 R | ≥10.0 | - | | | | |
| 42,5 N | ≥10.0 | - | ≥ 42,5 | ≤ 62,5 | ≥ 60 | |
| 42,5 R | ≥20.0 | - | | | | |
| 52,5 N | ≥20.0 | - | ≥ 52,5 | -- | ≥ 45 | |
| 52,5 R | ≥30.0 | - | | | | |

*Πίνακας 3.7.3: Απαιτήσεις μηχανικές και φυσικές οριζόμενες ως χαρακτηριστικές τιμές*
*Πηγή: www.tee.gr*

Η συμμόρφωση των τσιμέντων ως προς τα όρια αντοχών είναι στατιστική και περιγράφεται στο πρότυπο. Ο συμβολισμός των διαφόρων τσιμέντων, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ ΕΝ 197-1, καθορίζεται από:

- τον κύριο τύπο τσιμέντου
- το ποσοστό clinker
- τον τύπο του δεύτερου κύριου συστατικού
- την κατηγορία αντοχής
- το επίπεδο της πρώιμης αντοχής

όπως παραστατικά φαίνεται στο Σχήμα 3.7.4.




*Σχήμα 3.7.4: Ονοματολογία τσιμέντων ΕΛΟΤ ΕΝ 197-1*
*Πηγή: ΕΛΟΤ ΕΝ 197-1*

## 3.8. Τσιμέντο πόρτλαντ χαμηλών αλκαλίων ανθεκτικό στα θειικά

Το τσιμέντο ανθεκτικό στα θειικά και χαμηλών αλκαλίων είναι τύπος τσιμέντου Πόρτλαν που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των δοκιμίων. Η περιεκτικότητα σε tricalcium aluminate (C3A) περιορίζεται κάτω από το 3 – 5% και η περιεκτικότητά του σε αλκάλια κάτω από 0.60%. Η χρήση του SRC/LA είναι ιδιαίτερα ευεργετική στις περιπτώσεις που το σκυρόδεμα εκτίθεται στον κίνδυνο να καταστραφεί από προσβολή θειικών αλάτων. Για παράδειγμα, η επαφή του σκυροδέματος με εδάφη και υπόγεια νερά που περιέχουν υπερβολικές ποσότητες θειικών, όπως επίσης και κατασκευές από σκυρόδεμα που βρίσκονται στο θαλασσινό νερό ή εκτίθενται απευθείας στις ατμοσφαιρικές συνθήκες σε παράκτιες περιοχές. Συνίστανται, ακόμη, όταν χρησιμοποιούνται δραστικά αδρανή, τα οποία περιέχουν ενεργό πυρίτιο για να ελαχιστοποιήσουν ή να μειώσουν την καταστροφική αντίδραση μεταξύ αλκαλίων του τσιμέντου και ενεργού πυριτίου των αδρανών υλικών.

Το πιο πάνω τσιμέντο συνίσταται να χρησιμοποιείται στις ακόλουθες εφαρμογές:

- Θεμέλια σκυροδέματος
- Πυλώνες στήριξης φορτίων
- Υπόγειες και υποθαλάσσιες κατασκευές
- Υπονόμους, βιολογικούς σταθμούς επεξεργασίας λυμάτων και δεξαμενές αποβλήτων
- Εργοστάσια χημικών και λιπασμάτων
- Βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων και πετροχημικά έργα
- Έργα σε παράκτιες περιοχές
- Προκατασκευασμένα στοιχεία όπως, τσιμεντοσωλήνες, πλάκες και λίνιες πεζοδρομίων, ιδιαίτερα στις παραλίες
- Στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται δραστικά αδρανή για σκυρόδεμα
- Όπου χρησιμοποιείται το κοινό τσιμέντο για κανονικές κατασκευές για να βελτιωθεί η μακροχρόνια αντοχή του σκυροδέματος

(http://www.vassiliko.com, Αρχεία «Τσιμεντοποιίας Βασιλικού ΛΤΔ»)

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

# ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

## 4.1. Γενικά για το σκυρόδεμα

Η λέξη σκυρόδεμα προέρχεται από τη σύνδεση δύο λέξεων: «σκύρα» (μικρά κομμάτια σπασμένης πέτρας, χαλίκια) και «δένω». Το έτοιμο σκυρόδεμα είναι δομικό υλικό που παράγεται με την ανάμειξη αδρανών υλικών, τσιμέντου, νερού και πρόσθετων (για βελτίωση των ιδιοτήτων του κατά τη παραγωγή και χύτευση αλλά και όταν σκληρυνθεί). Με τη σημερινή του μορφή χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά στις αρχές του 20ου αιώνα, ενώ μετά το 1950 η χρήση του γενικεύτηκε, καθιστώντας το σήμερα το κυριότερο, παγκοσμίως, υλικό κατασκευών μαζί με το χάλυβα, ως οπλισμένο σκυρόδεμα.

Το σκυρόδεμα είναι μείγμα «πάστας» και αδρανών υλικών. Η πάστα αποτελείται από τσιμέντο και νερό και καλύπτει την επιφάνεια των λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων αδρανών. Μια χημική αντίδραση η «ενυδάτωση» προκαλεί τη στερεοποίηση της πάστας που αποκτά έτσι υψηλές αντοχές, δημιουργώντας μια συμπαγή μάζα, το σκυρόδεμα. Αυτή η διαδικασία αποτελεί και το μεγάλο πλεονέκτημα του σκυροδέματος, είναι εύπλαστο όταν αναμειγνύεται και ανθεκτικό όταν σκληραίνει. Αυτό το χαρακτηριστικό εξηγεί γιατί ένα απλό υλικό μπορεί να είναι ιδανικό για το κτίσιμο ουρανοξυστών, γεφυριών, σπιτιών κ.λ.π.

Θεωρείται το οικονομικότερο και ασφαλέστερο οικοδομικό υλικό, με εξαιρετική σχέση κόστους - παρεχόμενων ιδιοτήτων και για το λόγο αυτό είναι αναντικατάστατο. Είναι εξαιρετικά εύπλαστο υλικό, αφού μπορεί, όταν είναι νωπό, να λάβει οποιαδήποτε μορφή, χαρακτηρίζεται δε από ιδιαίτερες ιδιότητες που προσφέρουν ανθεκτικότητα και προστασία από διάφορα επιθετικά περιβάλλοντα έκθεσης. Χάρη στη μεγάλη ευελιξία του είναι το πιο εύχρηστο δομικό υλικό, αλλά ταυτόχρονα με τη μικρότερη διάρκεια ζωής, καθώς πρέπει να χρησιμοποιηθεί το αργότερο εντός μίας ώρας και τριάντα λεπτών από την ώρα παραγωγής του.

Οι διαφορετικές ιδιότητες των πρώτων υλών που αναμειγνύονται στη παραγωγή του σκυροδέματος (μάζα, όγκος, φυσικοχημικά χαρακτηριστικά) ανάγουν την παραγωγή σκυροδέματος σε μια εξαιρετικά πολύπλοκη και σύνθετη διαδικασία. Οι αυστηρές διατάξεις του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος του 1997 (Κ.Τ.Σ. 97) προβλέπουν τις ελάχιστες δοσολογίες των πρώτων υλών ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της προβλεπόμενης εφαρμογής του σκυροδέματος, όπως η εργασιμότητα, η αντοχή, η πλαστικότητα, το περιβάλλον στο οποίο

εκτίθεται, η απόδοση και διάρκεια ζωής της κατασκευής. Εξαιτίας της έντονης σεισμικής δραστηριότητας που σημειώνονται στην Ελλάδα, τόσο η διαδικασία παραγωγής όσο και η τελική ενσωμάτωση του σκυροδέματος στις κατασκευές διέπονται από τον εξαιρετικά απαιτητικό Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ. 97), ο οποίος ισχύει σήμερα καλύπτοντας τις απαιτήσεις για σύγχρονες ασφαλείς και αντισεισμικές κατασκευές.

Για να επιτευχθεί η ανθεκτικότητα σκυροδέματος απαιτείται προσεκτική ανάμειξη μελετημένων αναλογιών των συστατικών του. Για παράδειγμα, μια σύνθεση σκυροδέματος, η οποία δεν έχει αρκετή πάστα, ώστε να καλύψει επαρκώς τα αδρανή, θα είναι εξαιρετικά δύσκολη στη διάστρωσή της και θα προκαλέσει κενά και πόρους στην επιφάνεια και στη μάζα της μειώνοντας την ανθεκτικότητα. Αντίθετα, μια σύνθεση με υπερβολική πάστα διαστρώνεται εύκολα και δημιουργεί στρωτή τελική επιφάνεια, αλλά καταλήγει να δημιουργεί ένα σκυρόδεμα που συρρικνώνεται και ρηγματώνεται. Ένα σωστά σχεδιασμένο σκυρόδεμα διαθέτει καλή εργασιμότητα όταν είναι φρέσκο και εξαιρετική ανθεκτικότητα και αντοχή όταν σκληρύνεται. Ο λόγος νερού προς τσιμέντο στο σκυρόδεμα καθορίζει την ποιότητα της πάστας και κατ'επέκταση την αντοχή. Σκυρόδεμα υψηλής ποιότητας παρασκευάζεται με τη χρήση λιγότερου νερού, αρκεί να μπορεί να διαστρωθεί, να συμπυκνωθεί και να συντηρηθεί κατάλληλα.

Η αντοχή του δεν ορίζεται πια ως μέσος όρος της θλιπτικής αντοχής τριών δοκιμίων σκυροδέματος αλλά με χρήση της έννοιας της χαρακτηριστικής αντοχής : $f_{ck}$ (characteristic strength), όπως αυτή ορίζεται στην παράγραφο 3.2 του ΚΤΣ-97 και στην παράγραφο 2.3.1 του ΕΚΩΣ 2000 (ΦΕΚ 1329/Β/06.11.2000). «Χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου $f_{ck,cyl}$ ή κυβικού δοκιμίου $f_{ck,cube}$, ή γενικώς $f_{ck}$ , θεωρείται εκείνη η τιμή αντοχής κάτω της οποίας υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου». Ο προσδιορισμός της αντοχής γίνεται με συμβατικά δοκίμια που παρασκευάζονται, συντηρούνται και ελέγχονται σε θλίψη σε ηλικία 28 ημερών, σύμφωνα με τις Μεθόδους Ελέγχου ΣΚ-350, ΣΚ-303 και ΣΚ-304 που έχει εκδώσει το ΚΕΔΕ/ ΥΠΕΧΩΔΕ (παράγραφος 3.1 του ΚΤΣ-97). Το φαινόμενο βάρος του άοπλου σκυροδέματος μπορεί να ληφθεί ίσο με 24 kN/m$^3$ (2400 kp/m$^3$).(www.tee.gr).

## 4.2. Είδη Σκυροδέματος

Εργοταξιακό σκυρόδεμα

Εργοστασιακό σκυρόδεμα

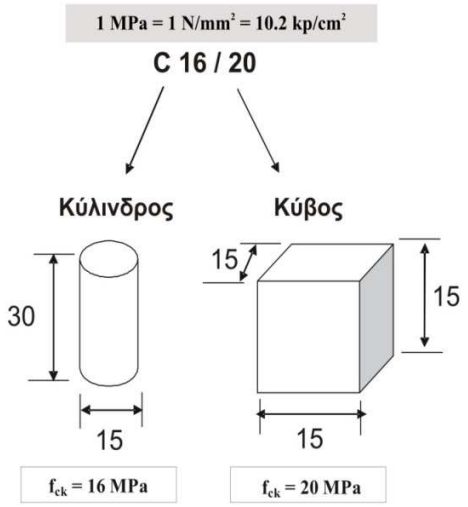
Έτοιμο σκυρόδεμα

## 4.3. Κατηγορίες σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα διακρίνεται σε διάφορες κατηγορίες αναλόγως της αντοχής του σε θλίψη, σε ηλικία 28 ημερών, της εργασιμότητάς του, της ανθεκτικότητάς (διάρκεια στο χρόνο) και της κατηγορίας έκθεσης σε διάφορα περιβάλλοντα, σύμφωνα με τα επόμενα:

### 1. Κατηγορίες αντοχής (strength classes)

Για τη μελέτη και κατασκευή των έργων χρησιμοποιούνται οι κατηγορίες σκυροδέματος σύμφωνα με το ΚΤΣ-97, όπου ο πρώτος αριθμός κάθε κατηγορίας ορίζει την χαρακτηριστική αντοχή εκφραζόμενη σε MPa που διαπιστώνεται όταν ο έλεγχος γίνεται με κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 15 και ύψους 30 cm και ο δεύτερος την χαρακτηριστική αντοχή όταν ο έλεγχος γίνεται με κυβικά δοκίμια ακμής 15 cm (σχήμα 4.3.1).




*Σχήμα 4.3.1 : Κατηγορίες σκυροδέματος (π.χ. C16/20)*

*Πηγή: ΚΤΣ-97*

| **Κατηγορία σκυροδέματος** | **$f_{ck}$, κυλ. (MPa)** | **$f_{ck}$, κύβου (MPa)** |
|---|---|---|
| C8/10 | 8 | 10 |
| C12/15 | 12 | 15 |
| C16/20 | 16 | 20 |
| C20/25 | 20 | 25 |
| C25/30 | 25 | 30 |
| C30/37 | 30 | 37 |
| C35/45 | 35 | 45 |
| C40/50 | 40 | 50 |
| C45/55 | 45 | 55 |
| C50/60 | 50 | 60 |

*Πίνακας4.3.2 : Κατηγορίες σκυροδέματος*
*Πηγή: ΚΤΣ-97*

## 2. Κατηγορίες κάθισης (workability classes)

*Πίνακας 4.3.3: Κατηγορίες κάθισης*
*Πηγή: ΚΤΣ-97*

| **Κατηγορία** | **Κάθιση σε mm** |
|---|---|
| $S_1$ | 10 – 40 |
| $S_2$ | 50 – 90 |
| $S_3$ | 100 – 150 |
| $S_4$ | 160 – 210 |
| $S_5$ | > 220 |
| Η μετρούμενη κάθιση πρέπει να στρογγυλεύεται στα πλησιέστερα 10mm | |

Η κατάταξη αυτή επιβλήθηκε από το ΕΛΟΤ ΕΝ 206-1 που όρισε να ισχύσουν οι κατηγορίες κάθισης $S_4$ (κάθιση 16 έως 21cm) και $S_5$ (κάθιση άνω των 22cm). Παράλληλα προβλέπονται κατηγορίες εξάπλωσης (flow) από $F_1$ (□ 34cm), $F_2$, $F_3$, $F_4$, $F_5$ έως $F_6$ (□ 63cm εξάπλωση σκυροδέματος).

## 3. Κατηγορίες ανθεκτικότητας (durability classes)

Οι κατηγορίες ανθεκτικότητας, δηλαδή εκείνες οι κατηγορίες που εκφράζουν την αντοχή του σκυροδέματος στην διάρκεια του χρόνου και την ικανότητά του να αντεπεξέρχεται ικανοποιητικά στην έκθεσή του σε εξωτερικό περιβάλλον (exposure classes), περισσότερο ή λιγότερο βλαπτικό ή διαβρωτικό, περιλαμβάνονται στον ΚΤΣ-97 και στις συστάσεις του ΕΛΟΤ ΕΝ 206-1 και απαιτούν συνήθως προσοχή σε πέντε παράγοντες:

- Cement content (ελάχιστη περιεκτικότητα τσιμέντου)
- Water / Cement ratio (λόγος Νερού προς Τσιμέντο)
- Compaction (συμπύκνωση / δόνηση σκυροδέματος)
- Curing (συντήρηση σκυροδέματος)
- Cover (πάχος της στρώσεως της επικάλυψης οπλισμού)

Το σκυρόδεμα διακρίνεται αν είναι σε :

- Εσωτερικό / εξωτερικό χώρο
- Περιβάλλον διαβρωτικό με χλωριόντα, σε θαλάσσιο περιβάλλον
- Περιβάλλον με κίνδυνο παγοπληξίας
- Περιβάλλον με κίνδυνο από ενανθράκωση
- Περιβάλλον με κίνδυνο από δράση θειικών
- Επιχρισμένο ή ανεπίχριστο

## 4.4. Πρώτες ύλες σκυροδέματος

### 1. Αδρανή

Τα αδρανή υλικά των σκυροδεμάτων πρέπει να είναι φυσικά ή θραυστά, υγιή και καθαρά, προερχόμενα από υγιή, ανθεκτικά και σκληρά πετρώματα, που παρουσιάζουν επαρκή σταθερότητα έναντι αποσαθρώσεως από τον ατμοσφαιρικό αέρα, το νερό ή τον παγετό και που πληρούν τους όρους και ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του Πρότυπου ΕΛΟΤ-408 και του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος.

### 2. Τσιμέντο

Το τσιμέντο που θα χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή του σκυροδέματος πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των προτύπων ΕΛΟΤ ΕΝ 197-1:2000, ΕΛΟΤ ΕΝ 197-2:2000 και της Κ.Υ.Α. αρ. 16462/29 ΦΕΚ/917/Β/17.07.2001 (τσιμέντα για την κατασκευή έργων από σκυρόδεμα). Από 1/1/2002 χρησιμοποιείται αποκλειστικά τσιμέντο σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ ΕΝ 197-1, εκτός από το τσιμέντο «Πόρτλαντ ανθεκτικό στα θειικά» (τύπος IV), για το οποίο εξακολουθεί να ισχύει το ΠΔ 244/80.

### 3. Νερό

Το νερό που χρησιμοποιείται, τόσο για την παρασκευή όσο και για τη συντήρηση του σκυροδέματος, πρέπει να πληρεί τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ-345 και του άρθρου 4.4 και ΚΤΣ-97, και να μην περιέχει ελεύθερα

οργανικά ή ανόργανα οξέα, οργανικές ουσίες και άργιλο εν αιωρήσεις, διαλυτά σάκχαρα σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη του 0,25%, θειικά και χλωριούχα άλατα κ.λπ. Η χρήση θαλασσινού νερού απαγορεύεται. Το πόσιμο νερό είναι γενικώς κατάλληλο για την παρασκευή του συνήθους οπλισμένου ή αόπλου σκυροδέματος, χωρίς ιδιαίτερο έλεγχο.

## 1. Πρόσθετα

Τα πρόσθετα σκυροδέματος χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων του σκυροδέματος και η χρήση τους πρέπει γίνεται σύμφωνα με το άρθρο 4.5 του ΚΤΣ-97 και των ειδικών προδιαγραφών ΣΚ-307, ΣΚ-308, ΣΚ-316 του ΚΕΔΕ/ΥΠΕΧΩΔΕ. Πρόσθετα που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν κατά την κατασκευή του σκυροδέματος είναι τα ακόλουθα :

- Αερακτικό, σύμφωνα με την προδιαγραφή ΣΚ-307.
- Υπερρευστοποιητικό, σύμφωνα με τις προδιαγραφές ΣΚ-308 και ΣΚ-316.
- Επιταχυντικό για σκυρόδεμα σύμφωνα με την προδιαγραφή ΣΚ-308.
- Επιβραδυντικό - μειωτικό νερού σύμφωνα με την προδιαγραφή ΣΚ-308.

*Εικόνα 4.4.1: Κυβικά δοκίμια σκυροδέματος*

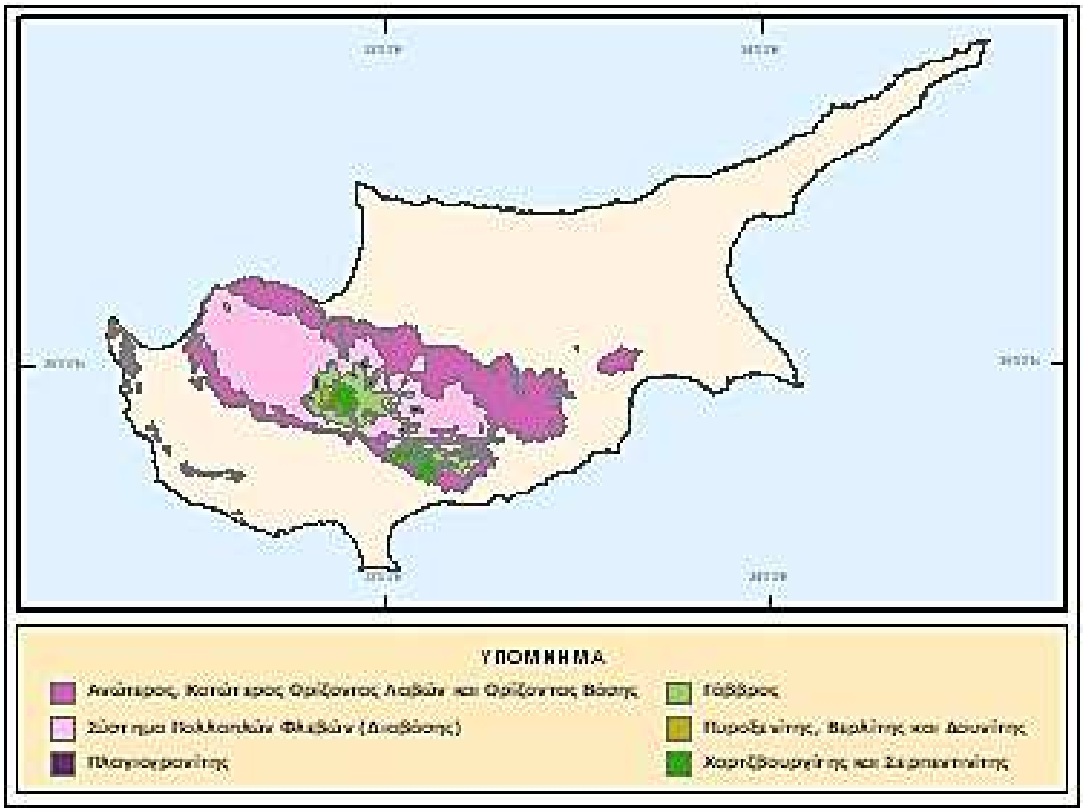
*Πηγή: Προσωπικό αρχείο – Στεφάνου Ιάκωβος*

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

# ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΟΥ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ

## 5.1. Οφιολιθικό σύμπλεγμα του Τροόδους

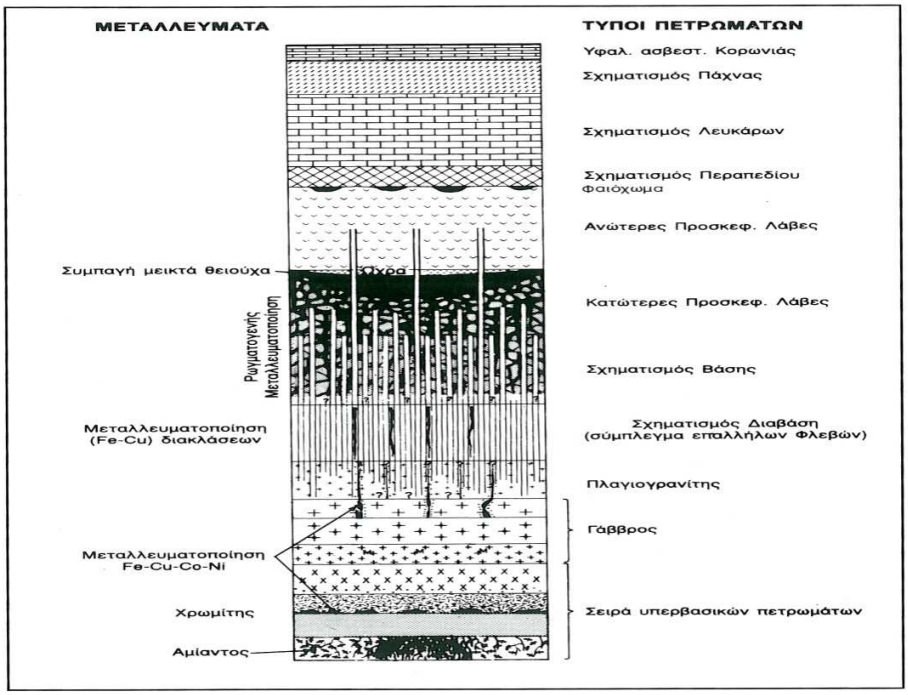
Το οφιολιθικό σύμπλεγμα του Τροόδους δεσπόζει του κεντρικού τμήματος του νησιού και αποτελεί το γεωλογικό πυρήνα της Κύπρου. Εμφανίζεται βασικά σε δύο περιοχές, στην κύρια μάζα της οροσειράς Τροόδους και στην περιοχή του Δάσους Λεμεσού και Ακαπνούς στα νότια της οροσειράς με χαρακτηριστικό επίμηκες και θολωτό σχήμα. Μικρότερες εμφανίσεις του υπάρχουν επίσης στην χερσόνησο του Ακάμα και στην περιοχή του χωριού Τρούλλοι.




*Χάρτης 5.1.1: Οφιολιθικό Σύμπλεγμα του Τροόδους*
*Πηγή: Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης*

Δημιουργήθηκε κατά το Ανώτερο Κρητιδικό (90 εκ. χρόνια) στο βυθό της Τηθύος θάλασσας, που τότε εκτεινόταν από τα σημερινά Πυρηναία (μέσω των Άλπεων) μέχρι τα Ιμαλάια. Θεωρείται ως ο πιο πλήρες και καλά μελετημένο οφιολιθικό σύμπλεγμα στον κόσμο. Πρόκειται για κομμάτι του ωκεάνιου φλοιού, πλήρως αναπτυγμένου με σειρά από πλουτώνια, φλεβικά, ηφαιστειακά πετρώματα και χημικά ιζήματα, γεγονός που συνιστά και τη μοναδικότητά του. Δημιουργήθηκε κατά την πολύπλοκη διαδικασία της διεύρυνσης των ωκεανών και της δημιουργίας του ωκεάνιου φλοιού και στη συνέχεια αναδύθηκε και τοποθετήθηκε στη σημερινή του θέση μέσα από πολυσύνθετες τεκτονικές διεργασίες, που καθορίζονταν από τις δύο συγκλίνουσες λιθοσφαιρικές πλάκες: της Ευρασιατικής στο βορρά και της Αφρικανικής στο νότο.

Η στρωματογραφία του παρουσιάζει τοπογραφική αναστροφή, δηλαδή, τα στρωματογραφικά κατώτερα πετρώματα εμφανίζονται στην κορυφή του, ενώ τα στρωματογραφικά ανώτερα στις παρυφές του. Αυτή η φαινόμενη αναστροφή οφείλεται στον τρόπο ανύψωσης του αλλά και στη διαφορική του διάβρωση. Η ανοδική διαπειρική πορεία του πυρήνα του Τροόδους έγινε διαχρονικά κυρίως όμως με επεισόδια απότομης ανύψωσης μέχρι το Πλειστόκαινο (2 εκ. χρόνια). Η στρωματογραφική σειρά του Οφιόλιθου Τροόδους αποτελείται, ακολουθώντας τη σειρά από τα στρωματογραφικά κατώτερα προς τα ανώτερα, από τα εξής πετρώματα: πλουτώνια (ακολουθία μανδύα, σωρειτικά), φλεβικά, ηφαιστειακά και χημικά ιζήματα.



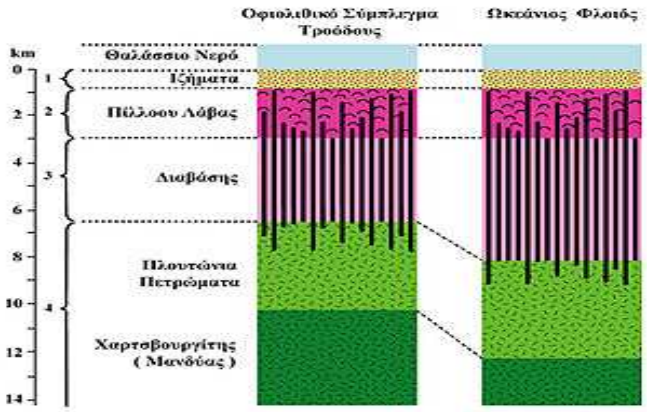

*Σχήμα 5.1.2: Στρωματογραφική στήλη του οφιόλιθου του Τροόδους*
*Πηγή: Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης«Δελτίο Αρ.10, Η Γεωλογία της Κύπρου»*

Η ακολουθία του Μανδύα ονομάζεται έτσι γιατί τα πετρώματα που την αποτελούν θεωρούνται το δύστηκτο υλικό, που παρέμεινε μετά τη μερική τήξη του ανώτερου Μανδύα και το σχηματισμό μάγματος βασαλτικής σύστασης, από το οποίο προήλθαν τα υπόλοιπα πετρώματα του οφιολιθικού συμπλέγματος. Αποτελούνται κυρίως από χαρτζβουργίτη και δουνίτη (με ποσοστό 50 - 80% των αρχικών ορυκτών, δηλαδή του ολιβίνη, να έχουν εξαλλοιωθεί σε σερπεντίνη), και τον σερπεντινίτη (με ή χωρίς συγκεντρώσεις αμιάντου), όπου η αλλοίωση είναι σχεδόν πλήρης.

Τα σωρειτικά πετρώματα είναι τα προϊόντα της κρυστάλλωσης και της συγκέντρωσης των κρυστάλλων των ορυκτών στον πυθμένα των μαγματικών θαλάμων, κάτω από τις ζώνες διεύρυνσης των λιθοσφαιρικών πλακών. Τα κύρια σωρειτικά πετρώματα είναι ο δουνίτης (με ή χωρίς συγκεντρώσεις χρωμίτη), ο βερλίτης, ο πυροξενίτης, ο γάββρος και ο πλαγιογρανίτης, που απαντάται σε μικρές και ασυνεχείς εμφανίσεις.

Τα φλεβικά διαβασικά πετρώματα (σύστημα πολλαπλών φλεβών) είναι βασαλτικής έως δολεριτικής σύστασης και προήλθαν από τη στερεοποίηση του μάγματος στις διόδους διείσδυσης και μεταφοράς του από τους μαγματικούς θαλάμους στη βάση του ωκεάνιου φλοιού, τροφοδοτώντας ταυτόχρονα τις υποθαλάσσιες εκχύσεις λαβών στον ωκεάνιο πυθμένα.

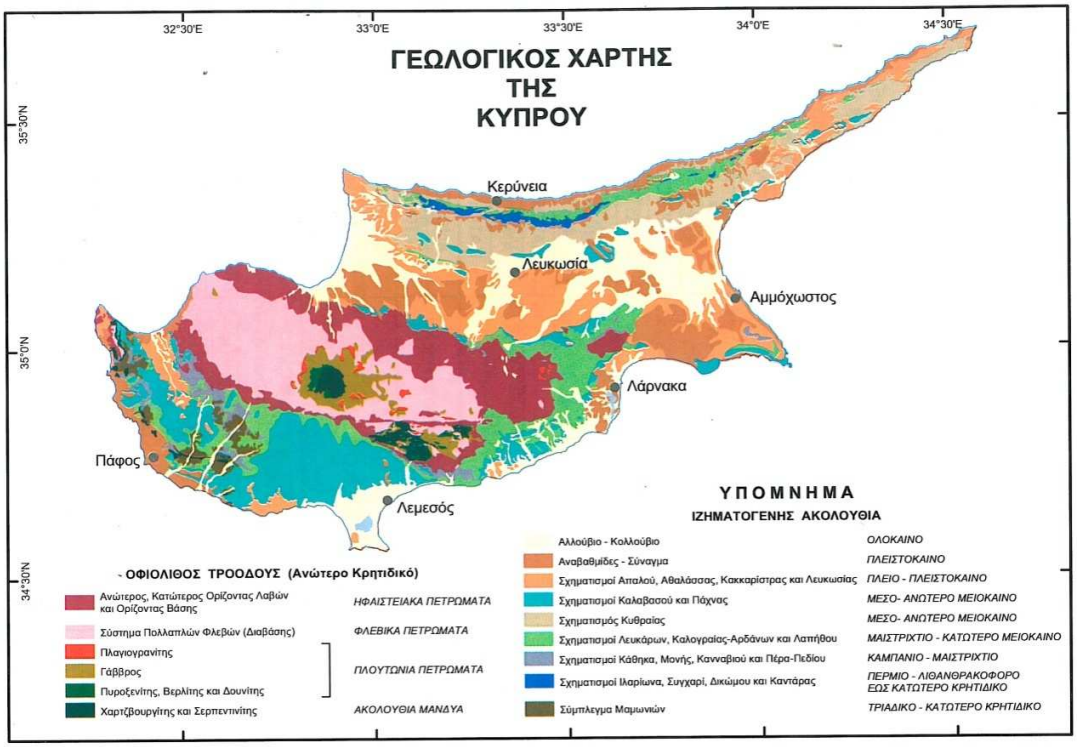
Στην συνέχεια ακολουθούν τα ηφαιστειακά πετρώματα, που αποτελούνται από δύο ορίζοντες λαβών και ροές λαβών, βασαλτικής κυρίως σύστασης. Οι λάβες αυτές έχουν χαρακτηριστικό προσκεφαλοειδές σχήμα με διάμετρο 30 έως 70 cm, που είναι αποτέλεσμα υποθαλάσσιας ηφαιστειακής έκχυσης. Μεταξύ των φλεβικών πετρωμάτων και των προσκεφαλοειδών λαβών υπάρχει μεταβατική ζώνη γνωστή ως Ορίζοντας Βάσης.




*Σχήμα 5.1.3: Συγκριτική στρωματογραφία συμπλέγματος και ωκεάνιου φλοιού*
*Πηγή: Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης*

Τα Χημικά Ιζήματα (ή Σχηματισμός Πέρα Πέδι) αποτελούνται από φαιόχωμα (ούμπρα), ραδιολαρίτες και ραδιολαριτικούς πηλίτες, και είναι τα πρώτα χημικά και πελαγικά ιζήματα, που αποτέθηκαν πάνω στα οφιολιθικά πετρώματα, ως αποτέλεσμα υδροθερμικής δραστηριότητας (θερμά διαλύματα πλούσια σε Fe και Mn) και ιζηματογένεσης στο θαλάσσιο πυθμένα.

Άμεσα συνδεδεμένα με τον Οφιόλιθο Τροόδους είναι τα κοιτάσματα μεικτών θειούχων, χρωμίτη και αμιάντου. Τα κοιτάσματα αυτά σχηματίσθηκαν σε διάφορες στρωματογραφικές ενότητες του οφιολιθικού συμπλέγματος (λάβες, δουνίτη, σερπεντινίτη, αντίστοιχα) και ήλθαν στην επιφάνεια ως αποτέλεσμα της ανύψωσής του. Η επιφανειακή αποκάλυψή τους, κυρίως του χαλκού είχε ως αποτέλεσμα την ανακάλυψη και εκμετάλλευση του από τους αρχαίους κατοίκους του νησιού. Το ανάγλυφο και η τοπογραφία του Τροόδους είναι οι ρυθμιστές των κλιματολογικών συνθηκών και ειδικότερα της βροχόπτωσης. Συνεπώς, μαζί με τις πιο πάνω γεωλογικές συνθήκες, ρυθμίζουν άμεσα και τους υδατικούς πόρους, επιφανειακούς και υπόγειους του νησιού. Οι ποταμοί που ρέουν από την κορυφή του Τροόδους τροφοδοτούν τους υδροφορείς που αναπτύσσονται στην περιφέρειά του και τις πεδιάδες.(Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης«Δελτίο Αρ.10 *Η Γεωλογία της Κύπρου*», Λευκωσία, 2002).




*Εικόνα 5.1.4: Γεωλογικός χάρτης της Κύπρου*
*Πηγή: Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης«Δελτίο Αρ.10, Η Γεωλογία της Κύπρου»*

## 5.2. Διαβάσης

Σύμφωνα με τους Bates and Jackson (1980), Hyndman (1985), και Δερμιτζάκη Θεοδώρου (1994), ο όρος Διαβάσης αναφέρεται σε φλεβικό πέτρωμα το οποίο έχει σαν κύρια ορυκτά τους πυρόξενους και τα πλαγιόκλαστα. Ο ίδιος όρος καλύπτει και ελαφρά μεταμορφωμένα πυριγενή βασικά πετρώματα όπου οι πυρόξενοι έχουν εξαλλοιωθεί σε αμφίβολους. Γενικά ο διαβάσης στην Κύπρο έχει ελαφρά μεταμορφωθεί. Τα φλεβικά πετρώματα του σχηματισμού πολλαπλών φλεβών του Οφιόλιθου Τροόδους διαχωρίζονται στους ακόλουθους τύπους: δολεριτικά, διοριτικά, διαβασικά, και σε μικρό ποσοστό βασαλτικά.

*Εικόνες 5.2.1 και 5.2.2.: Φωτογραφίες διαβάση*
*Πηγή: Προσωπικό αρχείο – Στεφάνου Ιάκωβος*

Το σύστημα πολλαπλών φλεβών σχηματίστηκε με την στερεοποίηση του μάγματος στα κανάλια διείσδυσης και μεταφοράς από τους μαγματικούς θαλάμους στη βάση του ωκεάνιου φλοιού, τροφοδοτώντας ταυτόχρονα τις υποθαλάσσιες εκχύσεις λαβών στον ωκεάνιο πυθμένα. Ως εκ τούτου πρόκειται για μια επάλληλη σειρά φλεβών που αντιπροσωπεύει το γέμισμα του κενού χώρου, ο οποίος δημιουργείται με την απομάκρυνση των τεκτονικών πλακών στα αποκλίνοντα όρια. Η συνεχής τροφοδοσία μάγματος στο δημιουργούμενο χώρο και μεταξύ των φλεβών που σχηματίστηκαν έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία του σχηματισμού αυτού, που αποτελείται μέχρι και 100% από φλέβες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου γεωλογικού φαινομένου παρατηρείται σήμερα στην Ισλανδία, η οποία διασχίζεται από τα όρια των πλακών της Αμερικής και της Ευρασίας, που αποκλίνουν μεταξύ τους.

Στην περίπτωση του Τροόδους το σύστημα πολλαπλών φλεβών εμφανίζεται σε ολόκληρη σχεδόν την έκταση της οροσειράς, σχηματίζοντας ένα ελλειπτικό δακτύλιο που περιβάλλει τα πλουτώνια πετρώματα του Ολύμπου και περιβάλλεται από τα έκχυτα ηφαιστειακά πετρώματα. Τα πετρώματα του συστήματος πολλαπλών φλεβών είναι λεπτοκρυσταλλικά έως μεσοκρυσταλλικά.

Η σύσταση των φλεβών είναι βασαλτική έως δολεριτική, η διεύθυνση τους είναι βορειοδυτική – νοτιοανατολική και η διάταξη τους είναι σχεδόν κατακόρυφη, εκτός από τις περιοχές που έχουν επηρεαστεί μεταγενέστερα από τεκτονισμό.

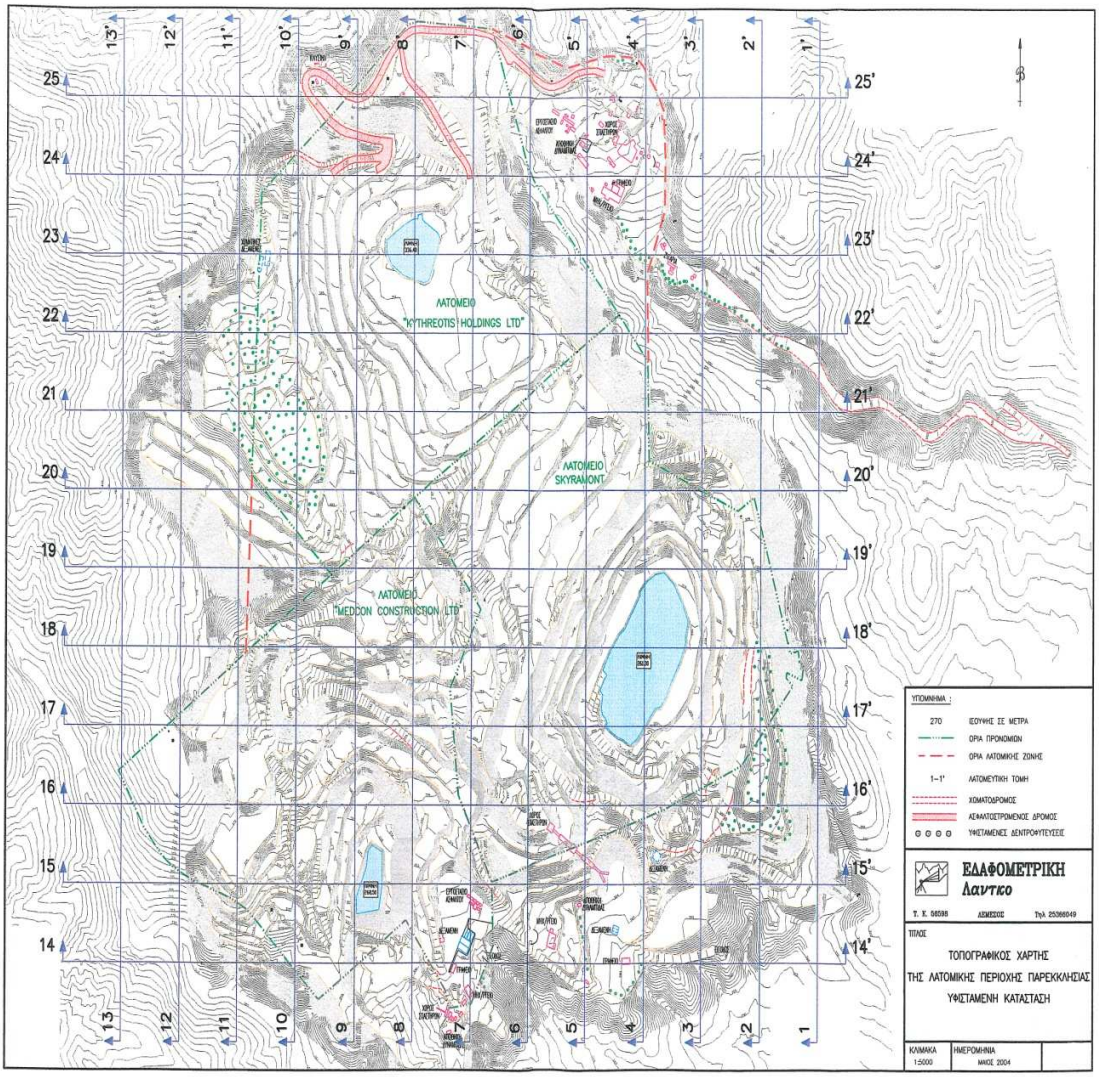
Μεταξύ του σχηματισμού αυτού και τον προσκεφαλοειδών λαβών υπάρχει μεταβατική ζώνη γνωστή ως Ορίζοντας Βάσης. Ο Ορίζοντας Βάσης έχει πάχος από μερικές δεκάδες μέτρα μέχρι 2,3 χιλιόμετρα και αποτελείται από φλέβες με ποσοστό 95 – 100% και προσκεφαλοειδείς λάβες μέχρι 5%. (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης: Η Γεωλογία της Κύπρου, *Δελτίο Αρ.10*, Λευκωσία, 2002)

## 5.3. Γεωγραφική θέση

Η λατομική περιοχή από όπου προέρχεται το προς εξέταση πέτρωμα απέχει 15 χιλιόμετρα βορειοανατολικά της πόλης της Λεμεσού, λιγότερο από 3 χιλιόμετρα από το όριο της οικιστικής ζώνης της κοινότητας Παρεκκλησιάς δυτικά του δρόμου που οδηγεί προς το χωριό Κελλάκι, 3 χιλιόμετρα νότια του Πραστειού Κελλακίου και ανήκει διοικητικά στην επαρχία Λεμεσού.

*Εικόνα 5.3.1: Γεωγραφική θέση Λατομικής Περιοχής Παρεκκλησιάς*

Η γη ανήκει εν μέρει στην Παρεκκλησιά και εν μέρει στο Πραστειό Κελλακίου, που αποτελεί όμως δασική γη. Στην περιοχή αυτή λειτουργούν τρεις λατομικές μονάδες: «Kythreotis Holdings Ltd», «Medcon Constructions Ltd» και «Skyramont Ltd». Η περιοχή των λατομείων μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ημιορεινή, με χαμηλότερα υψόμετρα γύρω στα 250 μέτρα στα νότια, και ψηλότερα γύρω στα 450 μέτρα προς τα βόρεια.



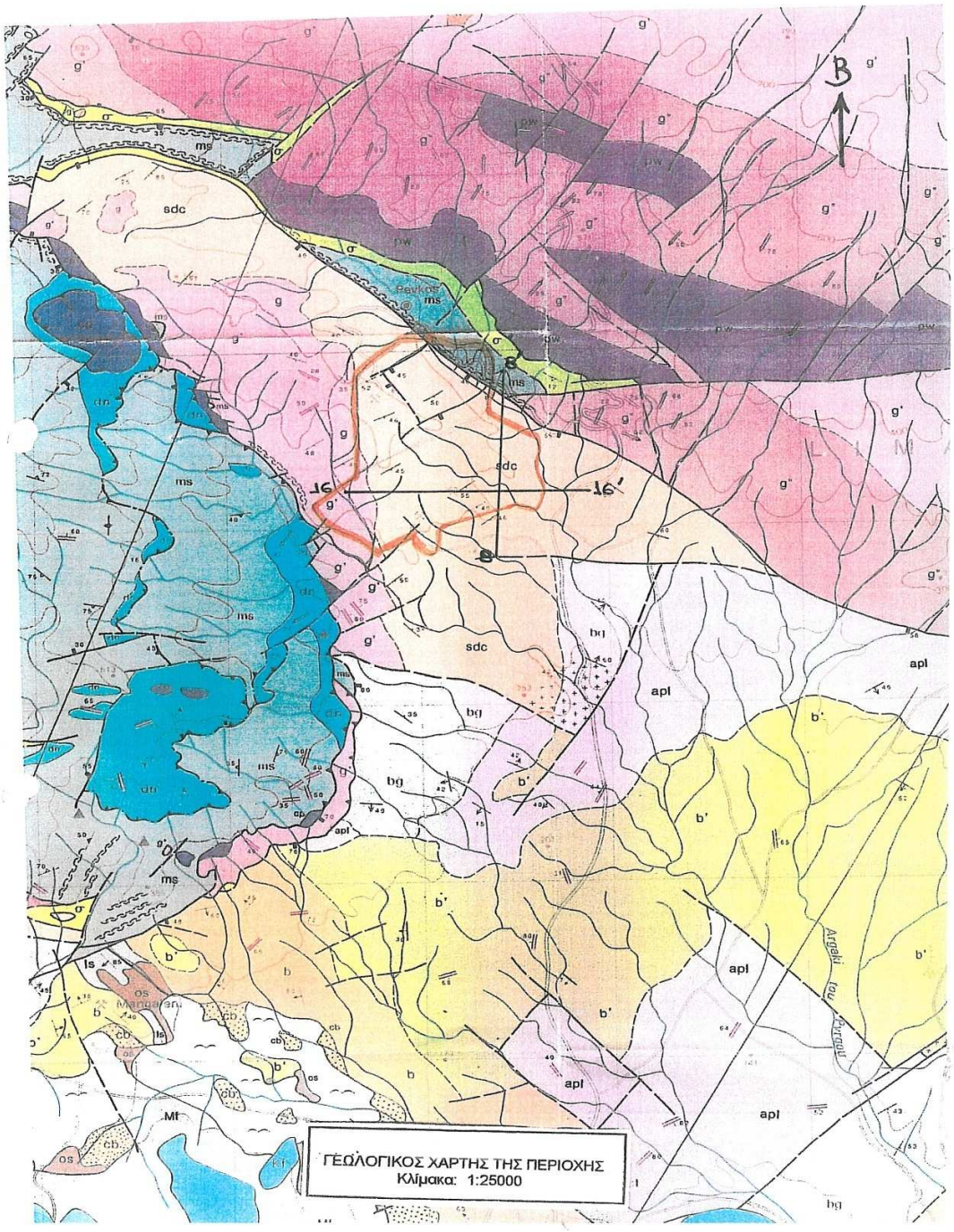

*Εικόνα 5.3.2: Όρια της λατομικής ζώνης Παρεκκλησιάς*
*Πηγή: «Εδαφομετρική Λάντκο»*

## 5.4. Γεωλογία

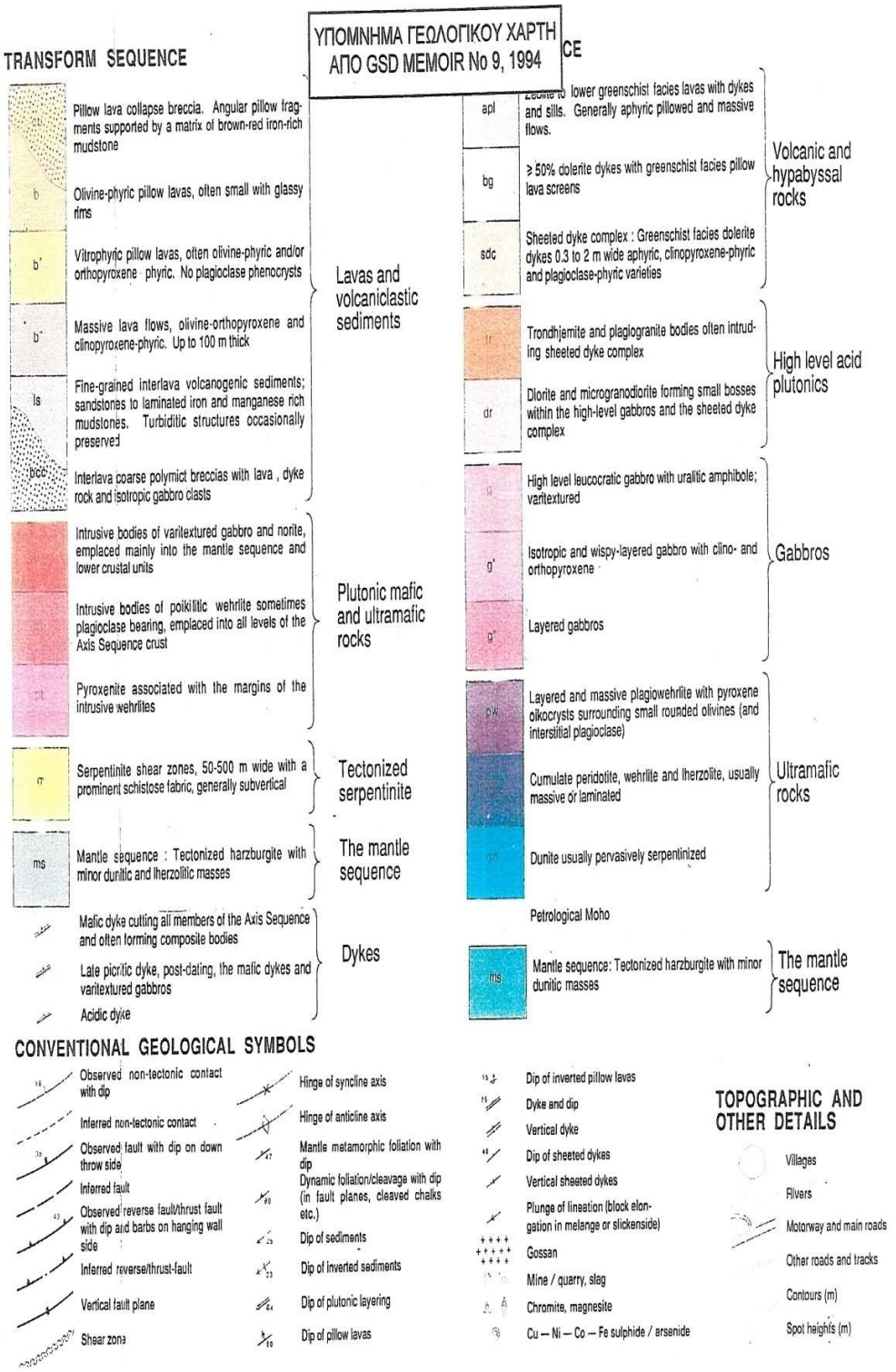
Η περιοχή δομείται από υπερβασικά και βασικά εκρηξιγενή πετρώματα του οφιολιθικό σύμπλεγμα του Τροόδους και συγκεκριμένα από σερπεντίνες και χαρτζβουργίτες, γάββρους, διαβάση. Η περιοχή της λατομικής ζώνης καλύπτεται από το σύστημα πολλαπλών φλεβών, που αποτελείται κυρίως από δολερίτη, διαβάση, και μικρογάββρο (εικόνες 5.4.1 και 5.4.2). Όλοι οι πετρογραφικοί τύποι του συστήματος είναι ελαφρά εξαλλοιωμένοι – μεταμορφωμένοι. Τα πετρώματα σε γενικές γραμμές θα μπορούσαν να διαχωριστούν σε 2-3 ποιοτικούς τύπους, οι διαφορές όμως μεταξύ τους αλλά και ο επί χάρτου διαχωρισμός είναι δύσκολος.

*Εικόνα 5.4.1: Φωτογραφία της λατομικής περιοχής*
*Πηγή: «Skyramont Ltd»*

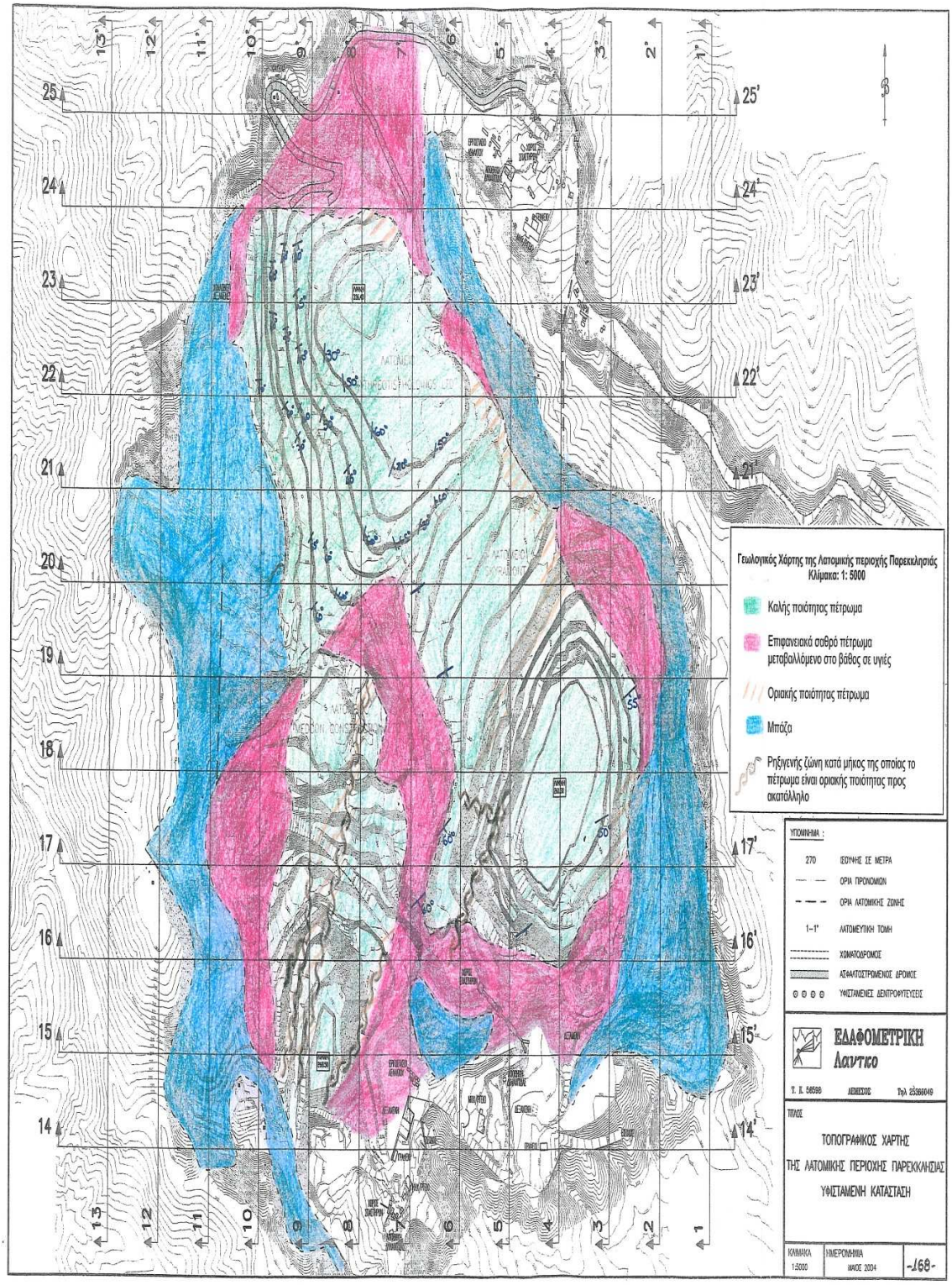
Στις εικόνες 5.4.3 και 5.4.4 παρουσιάζονται υπόμνημα του γεωλογικού χάρτη περιοχής ενδιαφέροντος και ο αντίστοιχος γεωλογικός χάρτης της λατομικής ζώνης.




*Εικόνα 5.4.2: Γεωλογικός χάρτης περιοχής*
*Πηγή: «Skyramont Ltd»*




*Εικόνα 5.4.3: Υπόμνημα γεωλογικού χάρτη*
*Πηγή: «Skyramont Ltd»*




*Εικόνα 5.4.4: Γεωλογικός χάρτης λατομικής ζώνης*
*Πηγή: «Εδαφομετρική Λάντκο»*

# ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

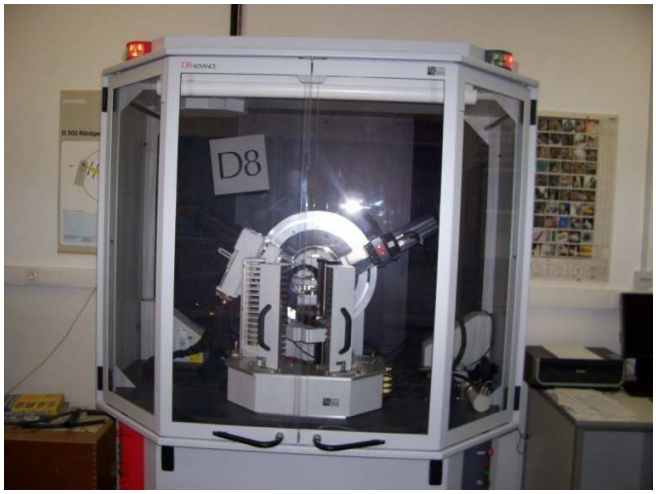
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

# ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

## 6.1. Περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ (X.R.D.)

Η ποιοτική ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων έγινε με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (X.R.D.). Χρησιμοποιήθηκε το περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ τύπου D8 Advane της Bruker AXS του εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης. Χρησιμοποιήθηκε τάση 35KV και ένταση 35mA, άνοδος CuKa, ταχύτητα γωνιομέτρου 1 μοίρα ανά λεπτό και φίλτρο νικελίου. Οι βασικές μονάδες που συνθέτουν ένα σύγχρονο περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ είναι:

- Μονάδα παραγωγής υψηλής τάσης
- Λυχνία των ακτίνων-Χ
- Το γωνιόμετρο
- Απαριθμητής των ακτίνων-Χ με την ηλεκτρική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής των κρούσεων
- Μονάδα του μικροϋπολογιστή




*Εικόνα 6.1.1: Περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ του εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης*

*Πηγή: Προσωπικό αρχείο – Στεφάνου Ιάκωβος*

.

Το προς ανάλυση δείγμα λειοτριβήθηκε σε κοκκομετρία -200mesh και τοποθετήθηκε στην κοιλότητα ενός μεταλλικού πλακιδίου. Η κοιλότητα αυτή έχει βάθος περίπου 1mm και διαμέτρο μερικών cm έτσι που να προσφέρει χώρο για μάζα του δείγματος της τάξεως του 1gr, την οποία κατανέμουμε έτσι στην κοιλότητα του πλακιδίου ώστε να σχηματίζει επίπεδη επιφάνεια. Το επίπεδο αυτό παρασκεύασμα τοποθετείται στο δειγματοφορέα του γωνιομέτρου του περιθλασιμέτρου ο οποίος βρίσκεται σε τέτοια θέση ώστε να παραμένει πάντα στο κέντρο ενός κύκλου που διαγράφει ο απαριθμιτής των ακτίνων-Χ.

Ταυτόχρονα, ως προς τον ίδιο άξονα γύρω από τον οποίο διαγράφει τον κύκλο, περιστρέφεται ο απαριθμιτής με κάποια σταθερή γωνιακή ταχύτητα 2θ /min και το επίπεδο του δείγματος με γωνιακή ταχύτητα θ/min ίση προς το ήμισυ εκείνης του απαριθμιτή έτσι ώστε, με τη σύγχρονη αυτή μετατόπιση του απαριθμιτή και περιστροφή του δείγματος, ο απαριθμιτής να σχηματίζει την ίδια γωνία ως προς το επίπεδο του δείγματος όπως και το σημείο εξόδου των ακτίνων-Χ της λυχνίας.

Με το τρόπο αυτό είναι δυνατή η καταγραφή της ακτινοβολίας που περιθλάται στους κρυσταλλικούς κόκκους του δείγματος που βρίσκεται σε τέτοια γωνία ως προς τη κατεύθυνση της δέσμης των ακτίνων-Χ των προερχομένων από τη λυχνία, ώστε να πληρούται για κάποια ομάδα πλεγματικών επιπέδων hkl η εξίσωση του BRAGG. Κατά την περιφορά του απαριθμητή των ακτίνων-Χ με σταθερή ταχύτητα είναι δυνατή η ακριβής καταγραφή των ανακλάσεων και των εντάσεων αυτών που προέρχονται από τα πλεγματικά επίπεδα διαφόρων d και προκύπτει μια συνολική εικόνα ανάλογη εκείνης που απεικονίζεται σε ένα φιλμ.

## 6.2. Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (S.E.M.)

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Scanning Electron Microscope) επιτρέπει την παρατήρηση επιφάνειας στερεών, με υψηλή ευκρίνεια και σε συγκεκριμένα σημεία εστίασης. Σε συνδυασμό με το E.D.S (Emergy Dispersive Spectromenty) παρέχει στοιχειομετρική ανάλυση της εξεταζόμενης περιοχής. Το SEM έχει τη δυνατότητα μικροανάλυσης, μπορεί να δώσει στοιχειακή μικροανάλυση των συστατικών στο σημείο εστίασης. Για τη δημιουργία της εικόνας, δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας (1-50 KeV) εστιάζεται στο δείγμα με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών φακών. Ειδικά συστήματα επιτρέπουν την κίνηση της δέσμης πάνω στο δείγμα. Ο βομβαρδισμός με ηλεκτρόνια προκαλεί, εκτός από άλλα φαινόμενα, την διέγερση των ατόμων στη περιοχή εστίασης και την επακόλουθη εκπομπή δευτερογενών ηλεκτρονίων χαμηλής ενέργειας και ακτίνων Χ που είναι χαρακτηριστικές για κάθε στοιχείο.

Συγκεκριμένα, αναλύει την ένταση και το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, επιτρέποντας την στοιχειακή ανάλυση στο

εξεταζόμενο τμήμα. Τα δευτερογενή ηλεκτρόνια ενισχύονται και χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία εικόνας με τρόπο παρόμοιο με τις τηλεοράσεις. Η παρατήρηση της μορφής των κρυστάλλων μπορεί να δώσει πολύτιμες πληροφορίες για την ταυτοποίηση των ορυκτών ιδιαίτερα των δευτερογενών ή και αυτών που υπάρχουν σε πολύ μικρή ποσότητα.

Τα δείγματα εξετάστηκαν στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης JEOL 5400 συνδεδεμένο με σύστημα μικροανάλυσης E.D.S INCA ENERGY 300 της εταιρίας OXFORD στο εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.

*Εικόνα 6.2.1: Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωση στο εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων*

*Πηγή: Προσωπικό αρχείο - Στεφάνου Ιάκωβος*

## 6.3. Χημικές αναλύσεις

Οι χημικές αναλύσεις έγιναν με την βοήθεια του αυτοματοποιημένου συστήματος φασματοσκοπίας τύπου S2 Ranger της εταιρίας Bruker AXS στο εργαστήριο Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας, και Οργανικής Πετρογραφίας στο Πολυτεχνείο Κρήτης. Το αναλυόμενο δείγμα αφού είχε κονιοποιηθεί και διαμορφωθεί με ειδική πρέσα σε δισκίο τοποθετήθηκε στο ειδικό μηχάνημα.

Η αρχή της μεθόδου πολύ περιληπτικά βασίζεται στα εξής:

Το δείγμα βομβαρδίζεται με ακτίνες – Χ ειδικής λυχνίας όπως W, Rh, Au, Mo με συνηθέστερη λυχνία αυτής του Rh. Έπειτα το δείγμα διεγείρεται και εκπέμπει ακτίνες – Χ των στοιχείων που το αποτελούν. Σαρώνοντας μία

συγκεκριμένη περιοχή 2Θ με το γωνιόμετρο του φασματομέτρου παρατηρούμε ανακλάσεις εφ' όσον πληρούται η εξίσωση του Bragg, n.λ=2d ημ Θ. Λύνοντας την εξίσωση του Bragg ως προς λ (2d= σταθερό, Θ μετράται) προσδιορίζουμε το αντίστοιχο χημικό στοιχείο.

*Εικόνα.6.3.1: Σύστημα φασματοσκοπίας τύπου S2 Ranger της εταιρίας Bruker AXS στο εργαστήριο Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας, και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης*

## 6.4. Αποτελέσματα

Από τη μακροσκοπική εξέταση που έγινε διαπιστώθηκε ότι πρόκειται για ένα συμπαγές ολοκρυσταλλικό μικροκοκκώδες πέτρωμα χρώματος σκούρο πράσινου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της περιθλασιμμετρίας ακτίνων-Χ, τα κύρια ορυκτά είναι: αλβίτης, ακτινόλιθος, λωμοντίτης, κλινόχλωρο και τα επιμέρους σιδηροπυρίτης, μαγνητίτης, χαλκοπυρίτης και χαλαζίας. Η περιεκτικότητα, τόσο των κυρίων όσο και των επιμέρους ορυκτολογικών συστατικών, δίνεται στον πίνακα 6.4.1. Από την εξέταση στο πολωτικό μικροσκόπιο προέκυψε ότι πρόκειται για τυπικούς διαβάσες, όπου παρουσιάζουν οφειτικό ιστό, καθ'όσον τα επιμήκη πλαγιόκλαστα παρουσιάζουν πλέγμα όπου τα διάκενα πληρούνται από ακτινόλιθο (εικόνα 6.4.1.Α back scattering).

Η επί τοις εκατό σύσταση των τεσσάρων δειγμάτων ποικίλει. Η περιεκτικότητα του αλβίτη κυμαίνεται από 39-42,2%, του ακτινόλιθου από 9,4-24,5%, του λωμοντίτη από 15-20,7% και του κλινόχλωρου από 6,1-17,2%. Σε μικρότερες αναλογίες κυμαίνονται τα ποσοστά των επιμέρους ορυκτολογικών συστατικών. Ο σιδηροπυρίτης συμμετέχει σε ποσοστά μεταξύ 2-3,2%, ο μαγνητίτης από 1,7-4,2%, ο χαλκοπυρίτης από 0,9-5,1%, και ο χαλαζίας από 0,7-7,1%. Η εικόνα 6.4.1.Β μικροφωτογραφία λεπτής τομής από το πολωτικό μικροσκόπιο διερχομένου φωτός διακρίνονται οι κύριες ορυκτολογικές φάσεις ακτινόλιθος και αλβίτης.

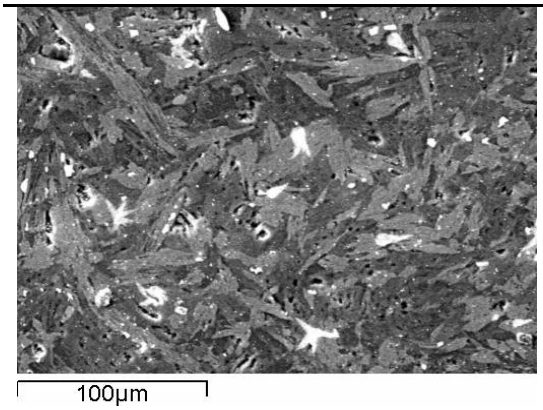
*Πίνακας 6.4.1 : Ημιποσοτική ορυκτολογική ανάλυση*

| Ορυκτά (%) | Δείγμα1 | Δείγμα2 | Δείγμα3 | Δείγμα4 |
|---|---|---|---|---|
| Αλβίτης | 42.2 | 39.1 | 39.1 | 39.0 |
| Ακτινόλιθος | 24.5 | 9.4 | 10.7 | 14.8 |
| Λωμοντίτης | 20.7 | 17.7 | 20.6 | 15.0 |
| Κλινόχλωρο | 6.1 | 17.2 | 15.6 | 15.4 |
| Σιδηροπυρίτης | 3.2 | 2.8 | 2.8 | 2.0 |
| Μαγνητίτης | 1.7 | 3.9 | 3.5 | 4.2 |
| Χαλκοπυρίτης | 0.9 | 5.1 | 3.2 | 2.3 |
| Χαλαζίας | 0.7 | 4.8 | 4.4 | 7.1 |

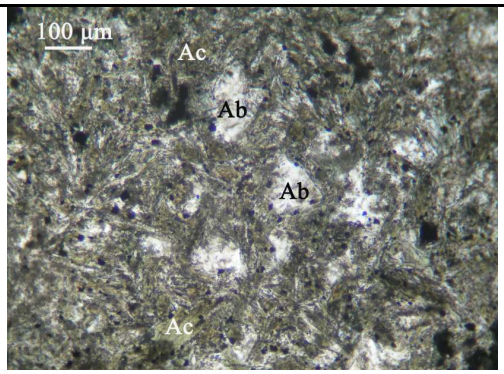
Λόγω του πολύ μικροκοκκώδους ιστού και της εξαλλοίωσης που έχουν υποστεί τα κυρίως ορυκτολογικά συστατικά των δειγμάτων, έγινε παρατήρηση στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Scanning Electron Microscope), όπου με συνδυασμό στοιχειομετρικής ανάλυσης με E.D.S έγινε πιστοποίηση όλων των ορυκτολογικών φάσεων. Για το σκοπό αυτό στιλπνές τομές των δειγμάτων μας επιγραφιτώθηκαν και εξετάστηκαν με οπισκεδαζόμενη εικόνα (back scattering image).

***Εικόνα 6.4.1.Α:*** *Οφειτικός ιστό. Τα επιμήκη πλαγιόκλαστα παρουσιάζουν πλέγμα όπου τα διάκενα πληρούνται από ακτινόλιθο.*

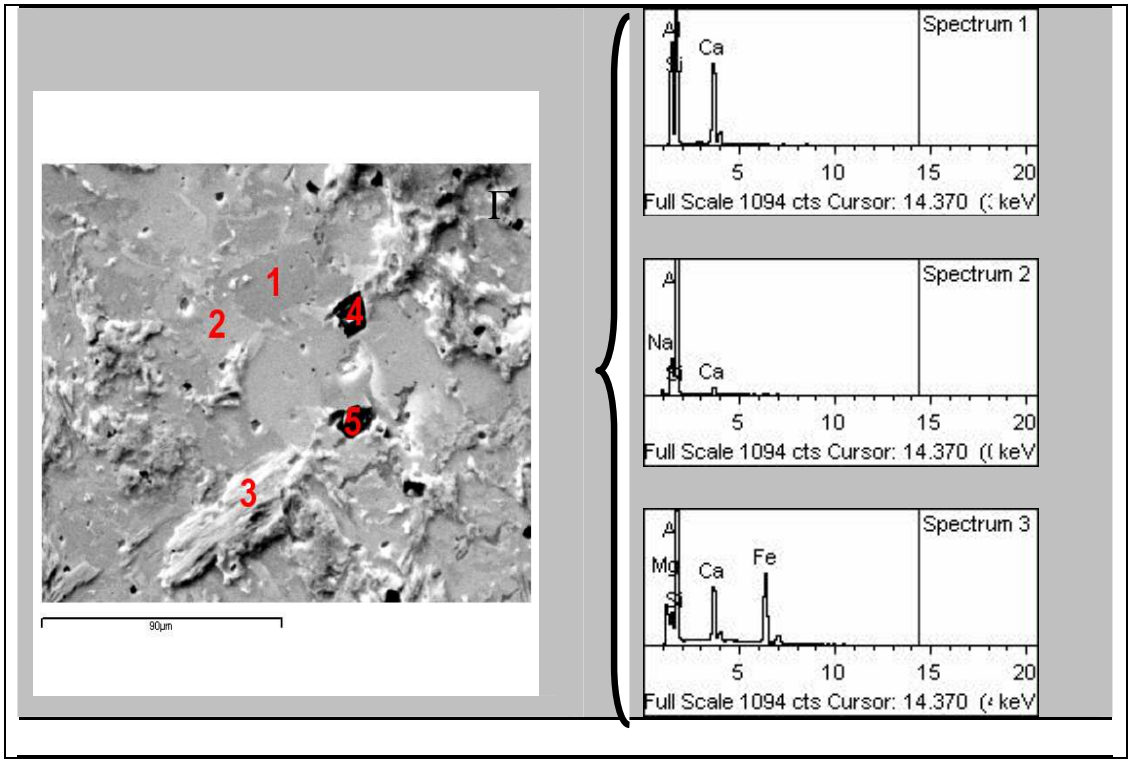
***Εικόνα 6.4.1.Β:*** *Μικροφωτογραφία λεπτής τομής από το πολωτικό μικροσκόπιο διερχομένου φωτός, // Nic, διακρίνονται οι κύριες ορυκτολογικές φάσεις ακτινόλιθος (Ac) και αλβίτης (Ab).*



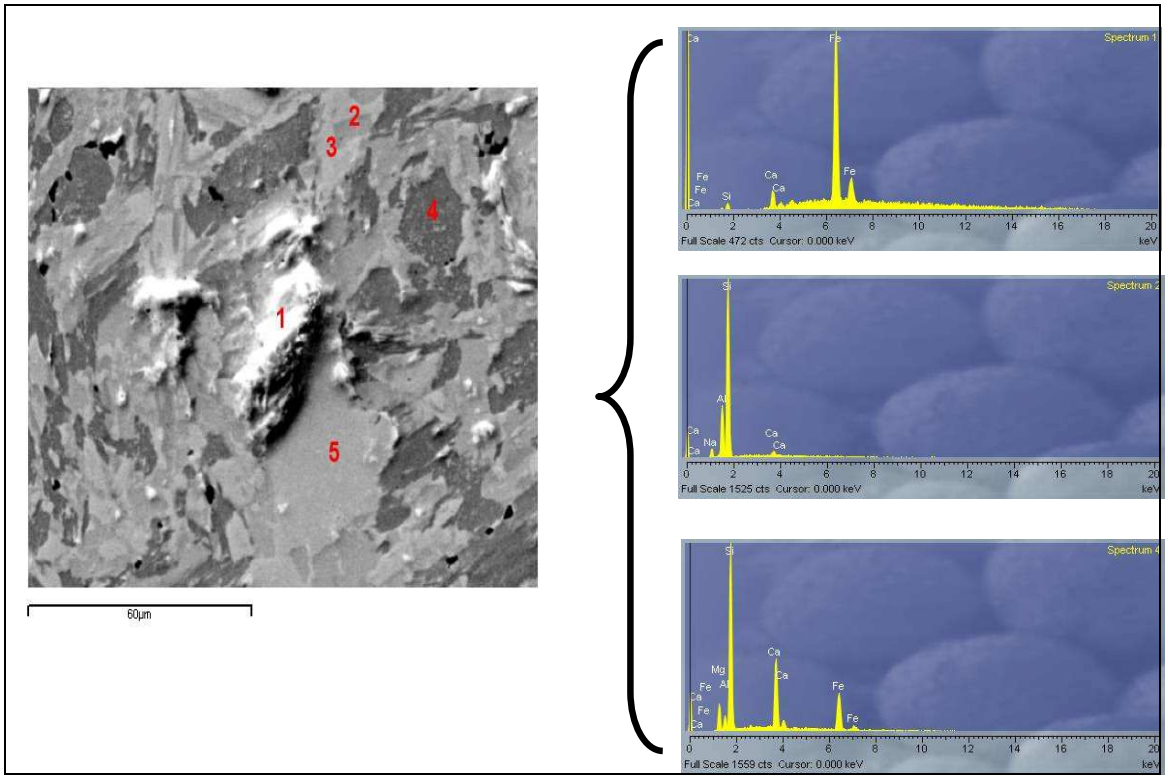

***Εικόνα6.4.1.Α***



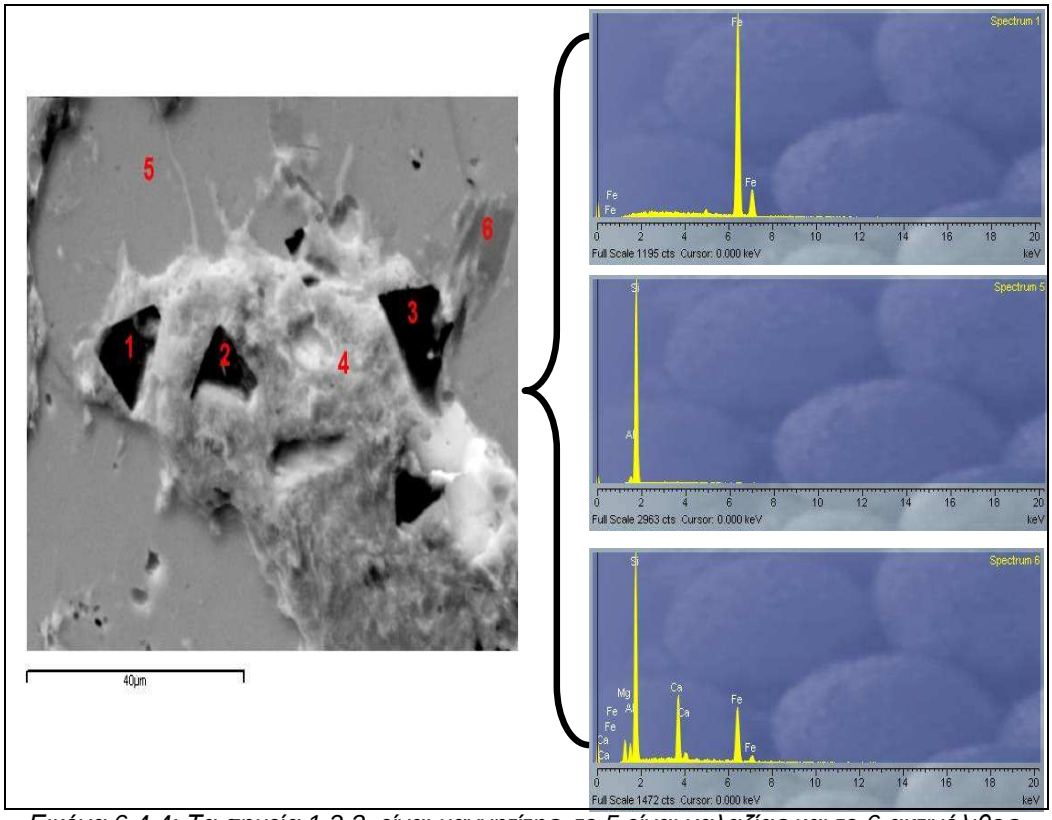

***Εικόνα 6.4.1.Β***



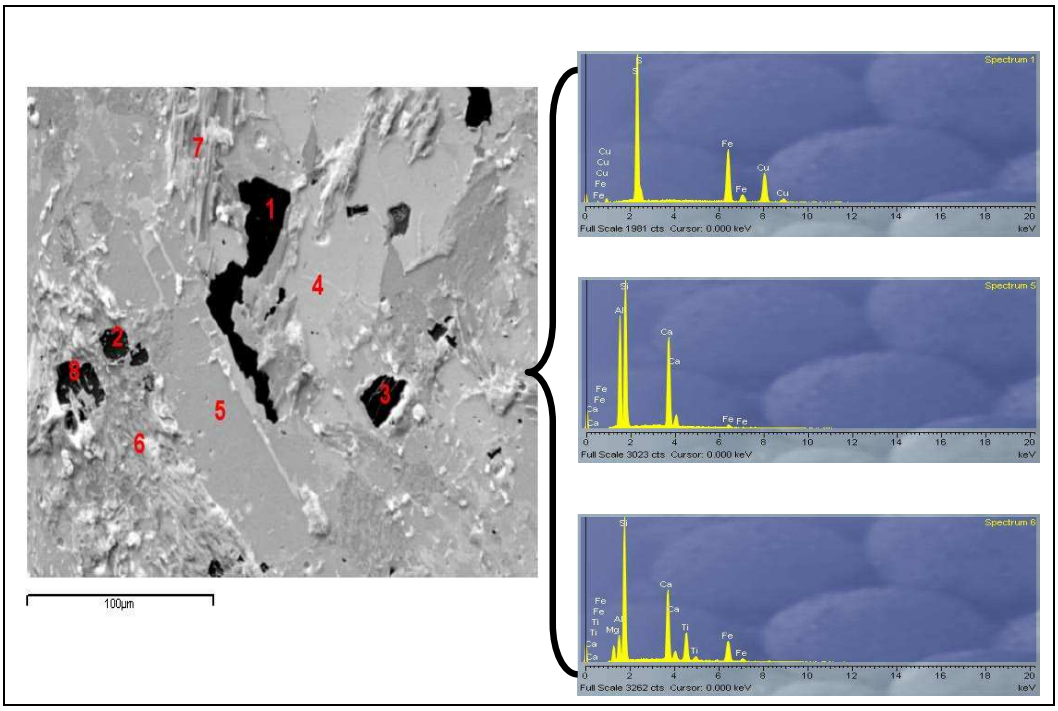

*Εικόνα 6.4.2:Το σημείο 1 είναι λωμοντίτης, το 2 αλβίτης, το 3 ακτινόλιθος και το 4,5 σιδηροπυρίτης*



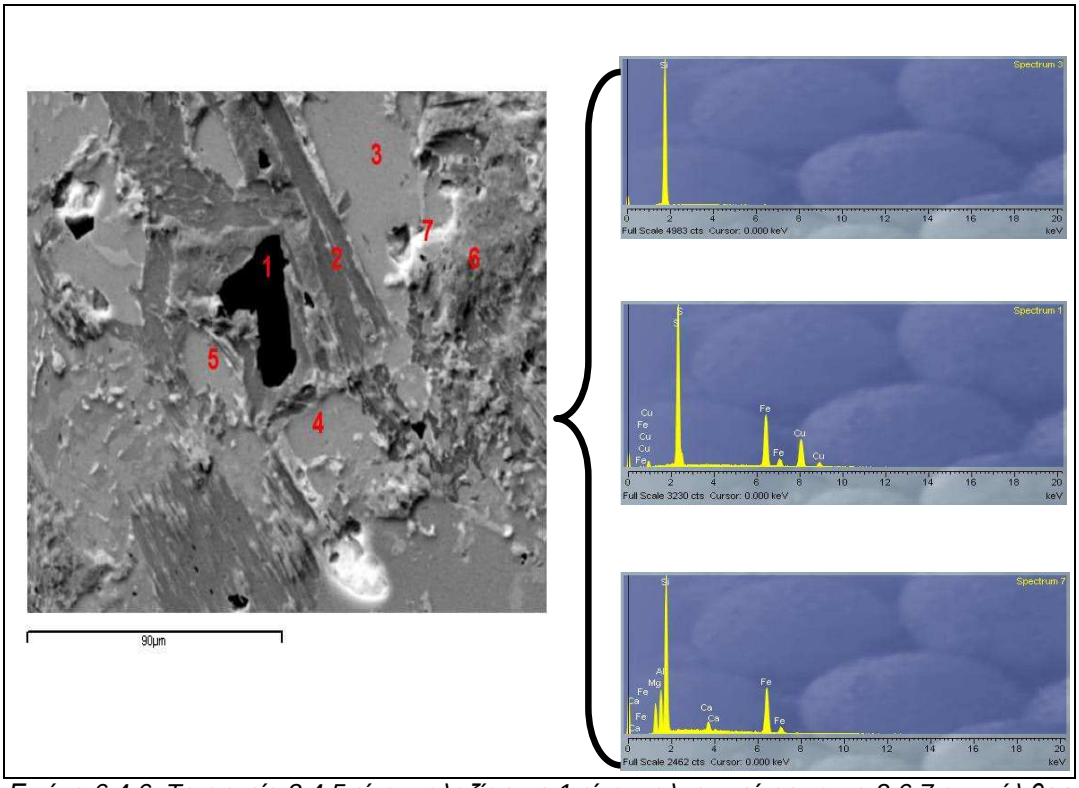

*Εικόνα 6.4.3: Τα σημεία 2,3,5 είναι αλβίτης, το 1 είναι μαγνητίτης και το 4 είναι ακτινόλιθος*



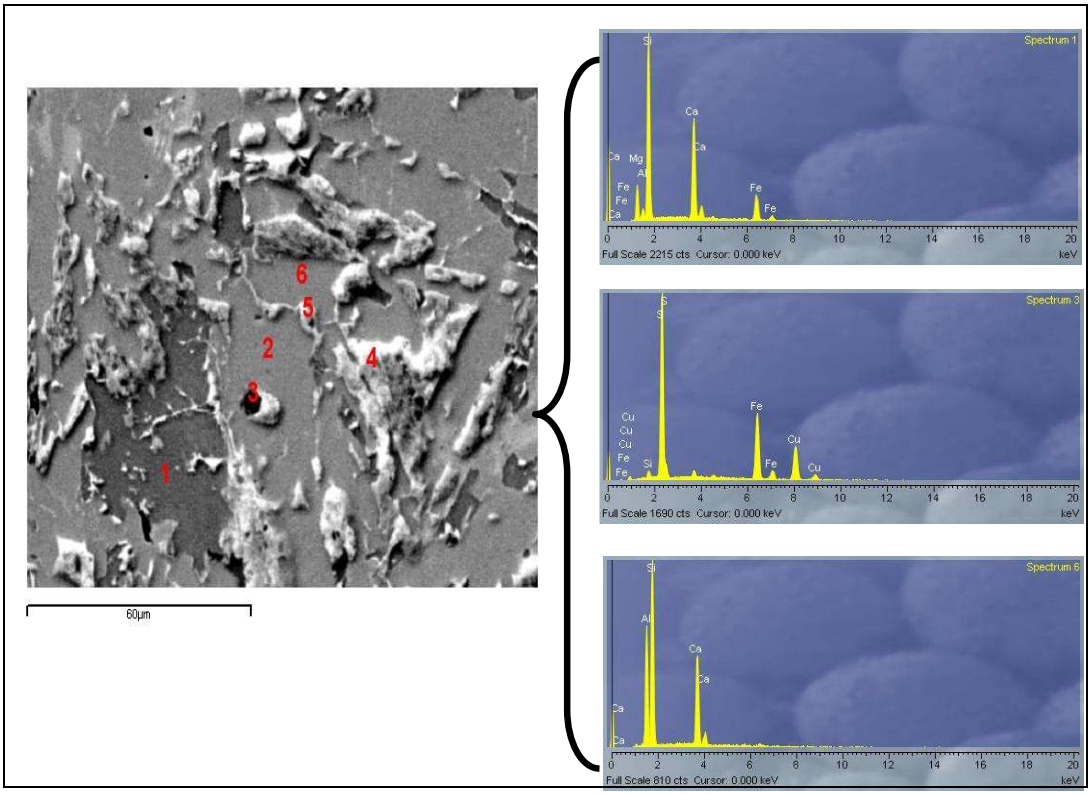

*Εικόνα 6.4.4: Τα σημεία 1,2,3, είναι μαγνητίτης, το 5 είναι χαλαζίας και το 6 ακτινόλιθος.*




*Εικόνα 6.4.5: Τα σημεία 1,2,3 χαλκοπυρίτης, το 5 είναι λωμοντίτης και τα 6,7 είναι ακτινόλιθος*




*Εικόνα 6.4.6: Τα σημεία 3,4,5 είναι χαλαζίας, το 1 είναι χαλκοπυρίτης και τα 2,6,7 ακτινόλιθος*




*Εικόνα 6.4.7: Τα σημεία 1,4 είναι ακτινόλιθος,το 3 είναι χαλκοπυρίτης και τα 6,2 είναι λωμοντίτης*

Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης παρουσιάζονται στο πίνακα 6.4.2 και αντιστοιχούν στις στοιχειομετρικές αναλογίες των ορυκτών που προσδιορίστηκαν στα επιμέρους δείγματα με τα στοιχεία που αποτελούν τα ορυκτά των δειγμάτων:

| | **Δείγμα 1** | **Δείγμα 2** | **Δείγμα 3** | **Δείγμα 4** |
|---|---|---|---|---|
| **$SiO_2$%** | 52.48 | 52.94 | 54.82 | 53.16 |
| **$Fe_2O_3$%** | 11.96 | 14.2 | 15.63 | 15.01 |
| **CaO%** | 8.98 | 8.26 | 8.83 | 8.34 |
| **$Al_2O_3$%** | 7.43 | 7.16 | 7.45 | 8.09 |
| **$Na_2O$%** | 6.42 | 5.92 | --- | 3.68 |
| **MgO%** | 5.86 | 6.15 | 6.03 | 5.58 |
| **$TiO_2$%** | 0.9 | 0.71 | 0.78 | 0.72 |
| **MnO%** | 0.16 | 0.2 | 0.15 | 0.16 |
| **$K_2O$%** | 0.09 | --- | 0.05 | 0.32 |
| **L.O.I%** | 5.2 | 4.9 | 5.4 | 4.3 |

*Πίνακας 6.4.2: Αποτελέσματα χημικής ανάλυσης*

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

# ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

## 7.1. Κοκκομετρική ανάλυση - Σύνθεση αδρανών υλικών

Η κοκκομετρική ανάλυση είναι η ανάλυση που γίνεται στα αδρανή υλικά και η οποία μας παρέχει το ποσοστό επί τοις εκατό της σύνθεσης του αδρανούς σε κόκκους διαφόρων μεγεθών. Επειδή στο εργαστήριο η εξέταση μιας μεγάλης ποσότητας δείγματος είναι πρακτικά δύσκολη, από το δείγμα των αδρανών που προσκομίστηκε στο εργαστήριο, επιλέγεται μια μικρότερη ποσότητα, αντιπροσωπευτική όμως, του όλου δείγματος. Η διαδικασία που χρησιμοποιήσαμε για να επιλέξουμε την αντιπροσωπευτική ποσότητα του υλικού μας ονομάζεται τετραμερισμός. Για τον σκοπό αυτό εργαστήκαμε ως εξής: Το προς εξέταση δείγμα αδειάζεται προσεκτικά σε μια επίπεδη επιφάνεια ώστε να σχηματιστεί ένας κώνος. Στη συνέχεια, με ένα φτυάρι ή μία σπάτουλα, ανακατεύεται το δείγμα παίρνοντας υλικό από τη βάση του κώνου και ρίχνοντάς το στην κορυφή του. Με το φτυάρι ή την σπάτουλα επιπεδώνεται η κορυφή του κώνου και χωρίζεται το υλικό σε τέσσερα τεταρτημόρια. Απομακρύνονται τα δύο κατά κορυφή τεταρτημόρια και κρατάμε το υλικό των δύο άλλων. Στη συνέχεια επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία άλλη μία φορά έτσι που το τελικό, προς εξέταση δείγμα, να είναι το ένα τέταρτο περίπου του αρχικού δείγματος.

Πρακτικά η ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα δείγματος για την κοκκομετρική ανάλυση είναι 500gr για την άμμο και 5kg για τα σκύρα μεγίστου κόκκου 30mm. Στη συνέχεια ακολουθεί ξήρανση του δείγματος. Η ξήρανση μπορεί να γίνει είτε σε φούρνο είτε σε ρεύμα θερμού αέρα. Πρακτικά η έκθεση του δείγματος στον ήλιο είναι αρκετή για την ξήρανση.

Απαιτούμενα Όργανα:

- Δοχεία (πλαστικά ή μεταλλικά).
- Ζυγός ακριβείας 1/1000 (0,1%) του βάρους του προς εξέταση δείγματος.
- Εργαστηριακά κόσκινα. Τα κόσκινα αυτά είναι κατασκευασμένα από κυλινδρικό μεταλλικό (ατσάλινο ή ορειχάλκινο) πλαίσιο διαμέτρου 200, 203mm ( 8 in ) ή 300mm. Η επιφάνεια κοσκινίσματος είναι κατασκευασμένη από συρμάτινο πλέγμα με οπές τετραγωνικής μορφής. Ο αριθμός και ο τύπος που θα χρησιμοποιηθούν καθορίζεται από τους ισχύοντες κανονισμούς σε κάθε κράτος.

Στη χώρα μας τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα κόσκινα, αυτά που υιοθετούν και οι σχετικοί κανονισμοί, είναι :

- Η σειρά των αμερικανικών κόσκινων ή αμερικάνικα κόσκινα, όπως αυτά περιγράφονται στο πρότυπο ASTM E11. Τα κόσκινα αυτά φέρουν οπές τετραγωνικής μορφής από πλέγμα και συμβολίζονται, είτε με τον αριθμό των οπών που φέρουν ανά γραμμική ίντσα για τα πιο λεπτά (μέχρι το No.4), είτε με βάση το άνοιγμα της οπής σε ίντσες για τα μεγαλυτέρου ανοίγματος. Έτσι το κόσκινο 3/4 in ή 3/4" δηλώνει αμερικάνικο κόσκινο οπής 3/4 της ίντσας (19mm περίπου). Αντίστοιχα, η ονομασία No.12 δηλώνει αμερικάνικο κόσκινο που φέρει 12 οπές ανά γραμμική ίντσα (1 in=2,54cm).

- Η σειρά των γερμανικών κόσκινων ή γερμανικά κόσκινα, όπως αυτά περιγράφονται στα DIN 4187 και 4188, φέρουν οπές τετραγωνικής μορφής και συμβολίζονται με το σύμβολο π, που ακολουθείται από ένα αριθμό, που δηλώνει το άνοιγμα της οπής σε mm. Τα γερμανικά κόσκινα που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής: πλέγματος: 0.25 , 0.50 , 1 , 2mm και ελάσματος: 4 , 8 , 16 , 31.5 , 63 mm.

*Εικόνα 7.1: Συσκευή κοσκινίσματος αδρανών υλικών και κόσκινα*

### 7.1.1. Διαδικασία εκτέλεσης

Το προς εξέταση δείγμα τοποθετείται στο κόσκινο με τη μεγαλύτερη οπή, από το οποίο, ανάλογα με το είδος του δείγματος, να διέρχεται όλη η ποσότητα. Στη συνέχεια, με οριζόντιες και κάθετες κινήσεις, που περιοδικά συνοδεύονται με προσεκτικές ανατινάξεις του δείγματος, γίνεται το κοσκίνισμα του υλικού. Το υλικό που διέρχεται από το κόσκινο συλλέγεται σε κατάλληλες πλατύστομες λεκάνες. Το κοσκίνισμα θεωρείται ότι έληξε όταν, τοποθετώντας ένα άσπρο χαρτί κάτω από το κόσκινο, διαπιστώσουμε ότι δεν διέρχεται άλλο υλικό. Η διαδικασία του κοσκινίσματος, όπως αυτή περιγράφτηκε παραπάνω, μπορεί να γίνει και με ειδικές μηχανές κοσκινίσματος (sieve shaker). Στις συσκευές αυτές τα κόσκινα τοποθετούνται το ένα επάνω στο άλλο με το κόσκινο μεγαλύτερης οπής στην κορυφή και υποδοχέα συλλογής του λεπτότερου υλικού στο τέλος. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτεί η χρήση των μηχανών αυτών για την διαπίστωση της λήξης του κοσκινίσματος.

Η ποσότητα του υλικού που παρέμεινε σε κάθε κόσκινο καλείται συγκρατούμενο και αυτή που πέρασε διερχόμενο. Τα συγκρατούμενα σε κάθε κόσκινο ζυγίζονται με ακρίβεια και το βάρος τους καταγράφεται. Στη συνέχεια, με υπολογισμούς βρίσκουμε το διερχόμενο βάρος και το % ποσοστό του διερχόμενου. Ο υπολογισμός του % διερχόμενου στο κόσκινο i δίνεται από τη σχέση:

$$\text{διερχόμενο \% στο κόσκινο } i = \frac{\text{διερχόμενο κόσκινο } i}{\text{αρχικό βάρος δείγματος}} * 100$$

Η διαδικασία αυτή ακολουθείται και στα επόμενα κόσκινα. Τέλος, τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης αποτυπώνονται στο κοκκομετρικό διάγραμμα. Στο διάγραμμα αυτό στον οριζόντιο άξονα τοποθετείται η διάμετρος της οπής των κόσκινων και στον κατακόρυφο το ποσοστό του διερχόμενου υλικού. Ο οριζόντιος άξονας είναι σε λογαριθμική κλίμακα για τον λόγο ότι είναι επιθυμητή η ανάπτυξη της περιοχής των μικρών διαμέτρων. Η συνένωση των σημείων του διαγράμματος δίνει μια πολυγωνική γραμμή που καλείται κοκκομετρική καμπύλη.

## 7.1.2. Υπολογισμοί - παρουσίαση των αποτελεσμάτων:

Κοσκινίστηκαν 59 κιλά αδρανών υλικών, με σειρά κοσκίνων: 0.25, 1, 2, 4, 8, 16 και 31.5 mm. Μετά το τέλος του κοσκινίσματος ζυγίζονται αθροιστικά το υλικό που συγκρατήθηκε σε κάθε κόσκινο. Τα αποτελέσματα των ζυγίσεων καταγράφονται στο πιο κάτω πίνακα. Στον ίδιο πίνακα, δε, γράφουμε το % συγκρατούμενο ποσοστό, καθώς και το % διερχόμενο ποσοστό. Τα % ποσοστά στρογγυλοποιούνται σε ακέραιους αριθμούς.

Το % συγκρατούμενο υπολογίζεται ως ακολούθως:

Π.χ: Κόσκινο 16mm

Στα 58,896kg συγκρατήθηκαν 10,5 kg

Στα 100kg x kg

$$x = \frac{10{,}5x100}{58{,}896} \approx 18$$

Το % διερχόμενο ποσοστό υπολογίζεται ως ακολούθως: % διερχόμενο = 100 - % συγκρατούμενο π.χ: Κόσκινο 16mm % διερχόμενο = 100 – 18 = 82

| **Κόσκινα ∅ (mm)** | **Συγκρατούμενο υλικό (kg)** | **Αθροιστικά Συγκρατούμενο(kg)** | **Συγκρατούμενο (%)** | **Διερχόμενο (%)** |
|---|---|---|---|---|
| 31,5 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 16 | 10,5 | 10,5 | 18 | 82 |
| 8 | 16,1 | 26,6 | 45 | 55 |
| 4 | 11,097 | 37,697 | 64 | 36 |
| 2 | 10,062 | 47,759 | 81 | 19 |
| 1 | 5,109 | 52,868 | 89 | 11 |
| 0,25 | 3,528 | 56,396 | 96 | 4 |
| βάση | 2,500 | 58,896 | 100 | 0 |

*Πίνακας 7.1.2: Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης*

Αρχικό βάρος αδρανών υλικών = 59kg

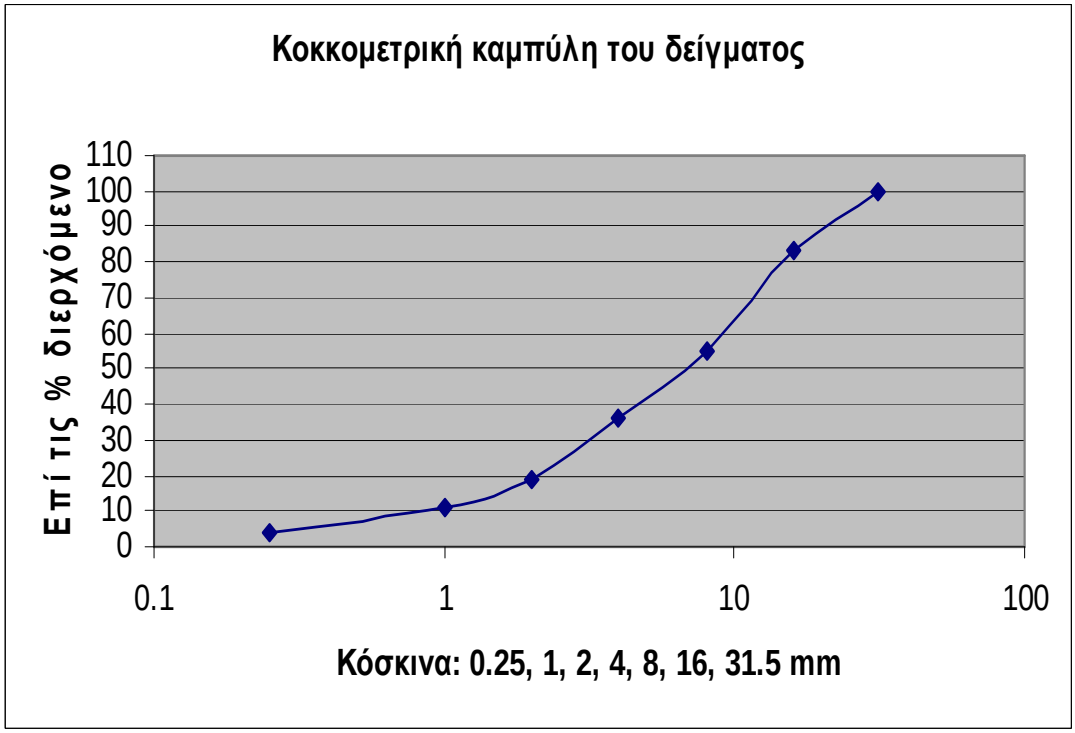
Τελικό βάρος αδρανών υλικών = 58,896kg

Απώλειες αδρανών υλικών = $\frac{59{,}00 - 58{,}896}{59{,}00} x100 = 0{,}2\%(< 2\%)$

Ο κοκκομετρικός αριθμός (κ) του δείγματος υπολογίζεται ως εξής:

$$k = \frac{\sum \%\sigma\upsilon\gamma\rho\alpha\tau o\acute{\upsilon}\mu\varepsilon\nu\omega\nu}{100} = \frac{0+18+45+64+81+89+96+100}{100} = \frac{493}{100} = 4{,}93$$

Μεγάλος δείκτης Κ σημαίνει χοντρόκοκκο υλικό και αντίστροφα. Πιο κάτω παρατίθεται η κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος μας.




*Διάγραμμα 7.1.2.1: Κοκκομετρική καμπύλη*

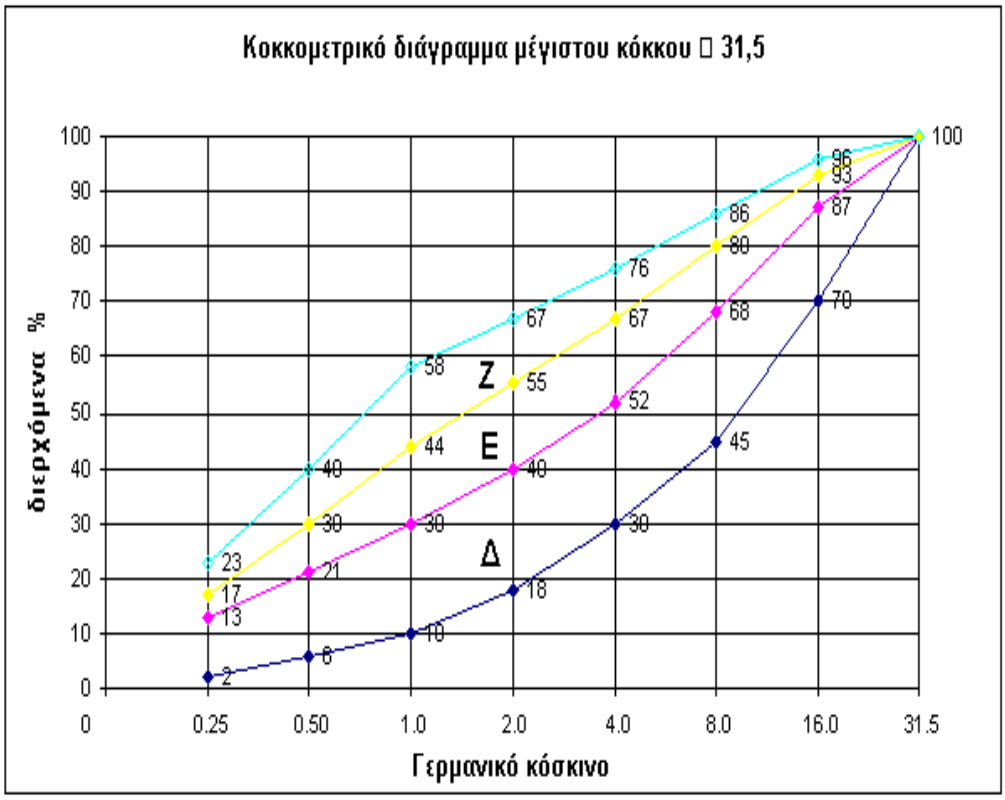
## 7.1.3. Σύνθεση αδρανών υλικών

Οι συνηθέστερες εφαρμογές των αδρανών υλικών απαιτούν την ανάμειξη υλικών διαφορετικής κοκκομετρικής σύστασης. Για παράδειγμα, ο Κ.Τ.Σ. προβλέπει την ανάμειξη 3 τουλάχιστον κλασμάτων αδρανών για παρασκευή σκυροδέματος κατηγορίας C20/25 ή μεγαλύτερης. Γνωρίζοντας την κοκκομετρική διαβάθμιση των επί μέρους κλασμάτων μπορεί να υπολογιστεί αυτή του μείγματος, που θα προκύψει αν αναμειχθούν σε μία γνωστή αναλογία. Έτσι, για να υπολογιστεί το ποσοστό διερχομένου του μείγματος σε κάποιο κόσκινο, αθροίζονται τα γινόμενα του ποσοστού διερχομένου κάθε κλάσματος

στο συγκεκριμένο κόσκινο επί το ποσοστό συμμετοχής του στο δείγμα. Στην πλειοψηφία των εφαρμογών η διάταξη των κόκκων των αδρανών υλικών πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο που το μείγμα να διαθέτει τα λιγότερα κενά, να παρουσιάζει δηλαδή μεγάλη συνεκτικότητα. Παράλληλα, όμως, υψηλή τιμή της συνεκτικότητας μεταβάλλει δυσμενώς άλλες ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

### 7.1.4. Επιτρεπτά όρια

Για τους παραπάνω λόγους, με βάση τα πειραματικά δεδομένα και την εμπειρία, οι κανονισμοί καθορίζουν περιοχές μέσα στις οποίες πρέπει να βρίσκονται οι καμπύλες κοκκομετρικής διαβάθμισης των υλικών, ανάλογα με τις ζητούμενες ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Στο σχήμα 7.1.4.1 παρατίθεται το κοκκομετρικό διάγραμμα αδρανών υλικών μεγίστου κόκκου 31.5mm του Κ.Τ.Σ




*Διάγραμμα 7.1.4.1: Πρότυπο κοκκομετρικό διάγραμμα Κ.Τ.Σ*

Τα όρια της κοκκομετρικής διαβάθμισης μείγματος θραυστών αδρανών μέγιστου κόκκου 31.5 mm για τη σειρά των Γερμανικών κόσκινων παρατίθεται πιο κάτω:

| **Κόσκινα (mm)** | **Διερχόμενα % - όρια υποζώνης Δ** |
|---|---|
| 0,25 | 2-13 |
| 1 | 10-30 |
| 2 | 18-40 |
| 4 | 30-52 |
| 8 | 45-68 |
| 16 | 70-87 |
| 31,5 | 100 |

*Πίνακας 7.1.4.1: Όρια της κοκκομετρικής διαβάθμισης*

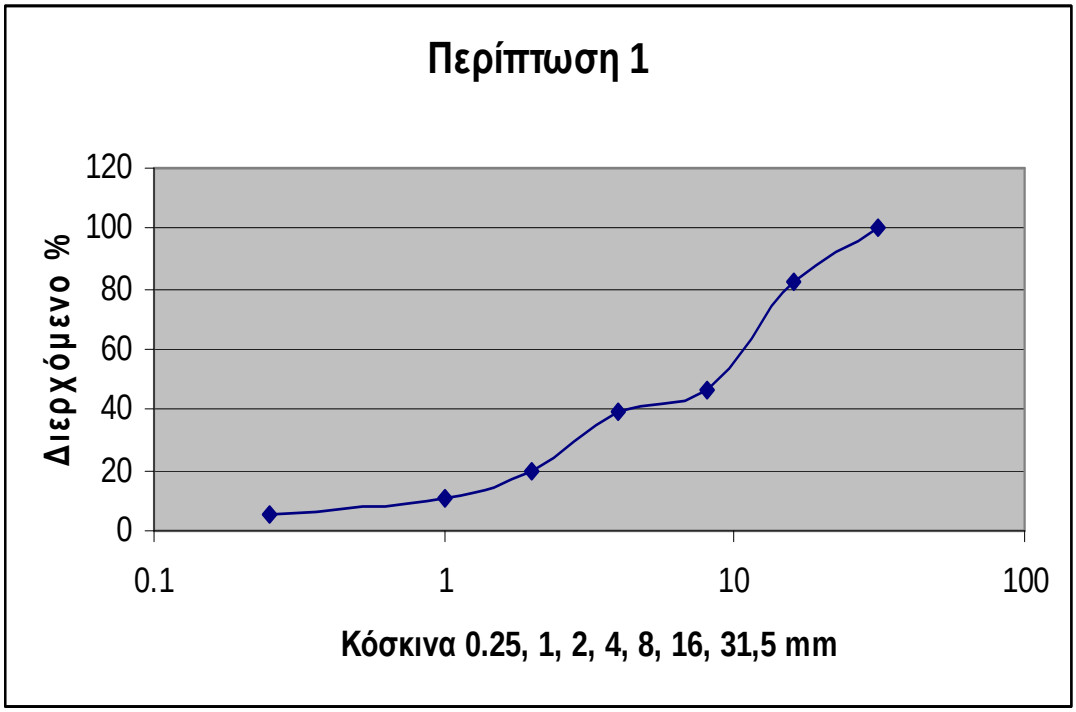
## 7.1.5. Υπολογισμός ποσοστών συμμετοχής κλασμάτων αδρανών υλικών στο μείγμα

Ένα σύνηθες πρόβλημα ανάμειξης αδρανών υλικών είναι εκείνο του υπολογισμού των ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων κλασμάτων, ώστε το μείγμα που θα προκύψει να έχει κοκκομετρική διαβάθμιση εντός συγκεκριμένων ορίων. Η επίλυση του προβλήματος έγινε με την μέθοδο διαδοχικών προσεγγίσεων. Ορίζονται αυθαίρετα τα ποσοστά συμμετοχής κάθε κλάσματος και με βάση αυτά υπολογίζεται η κοκκομετρική καμπύλη του μείγματος. Συγκρίνεται η καμπύλη αυτή με τα όρια που θεσπίζουν οι κανονισμοί. Εάν η καμπύλη βρίσκεται μέσα στα όρια έχει καλώς, διαφορετικά γίνεται διόρθωση της αναλογίας αυξάνοντας ή μειώνοντας το ποσοστό κάποιου κλάσματος. Η κατεύθυνση προς την οποία θα γίνει η διόρθωση φαίνεται από την θέση της καμπύλης σε σχέση με τα όρια. Αν κάποιο ή κάποια σημεία της καμπύλης εξέρχονται προς τα πάνω των ορίων της περιοχής σημαίνει ότι η αναλογία που επιλέχθηκε είναι πλούσια σε λεπτόκοκκο υλικό, συνεπώς η διόρθωση πρέπει να γίνει μειώνοντας το λεπτόκοκκο υλικό και αυξάνοντας το χονδρόκοκκο. Φυσικά αν η κοκκομετρική καμπύλη εξέρχεται των κάτω ορίων εργαζόμαστε αντίστροφα. Αν με τη νέα αναλογία βρισκόμαστε εντός της επιθυμητής περιοχής έχει καλώς, διαφορετικά επαναλαμβάνεται η διαδικασία. Σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος η κοκκομετρική διαβάθμιση του μείγματος πρέπει να είναι τέτοια που η κοκκομετρική καμπύλη του να βρίσκεται εντός της υποζώνης Δ του διαγράμματος (βλέπε διάγραμμα 7.1.4.1) και κατά το δυνατόν στο μέσον αυτής. Για την παρασκευή των κυβικών δοκιμίων χρησιμοποιήθηκαν δύο συνθέσεις σκυροδέματος, έτσι κρίθηκε επιτακτική ανάγκη η ξεχωριστή κοκκομετρική διαβάθμιση για τις δύο αυτές συνθέσεις, για να είμαστε μέσα στη ζώνη Δ. Παρακάτω παρατίθονται σε πίνακες τα δεδομένα και οι κοκκομετρικές καμπύλες των δύο διαφορετικών συνθέσεων.

**Περίπτωση 1: Λόγος τσιμέντου – αδρανών 1:5,6**

| Κόσκινα (mm) | Συγκρατούμενο υλικό (kg) | Αθροιστικά συγκρατούμενο (kg) | Συγκρατούμενο (%) | Διερχόμενο (%) |
|---|---|---|---|---|
| 31,5 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 16 | 5,125 | 5,125 | 18 | 82 |
| 8 | 9,775 | 14,9 | 53 | 47 |
| 4 | 2,49 | 17,39 | 61 | 39 |
| 2 | 5,0 | 22,39 | 80 | 20 |
| 1 | 2,55 | 24,94 | 89 | 11 |
| 0,25 | 1,76 | 26,7 | 95 | 5 |
| Βάση | 1,4 | 28 ,1 | 100 | 0 |
| | **Σύνολο:** 28,1 | | | |

*Πίνακας 7.1.5.1: Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης*

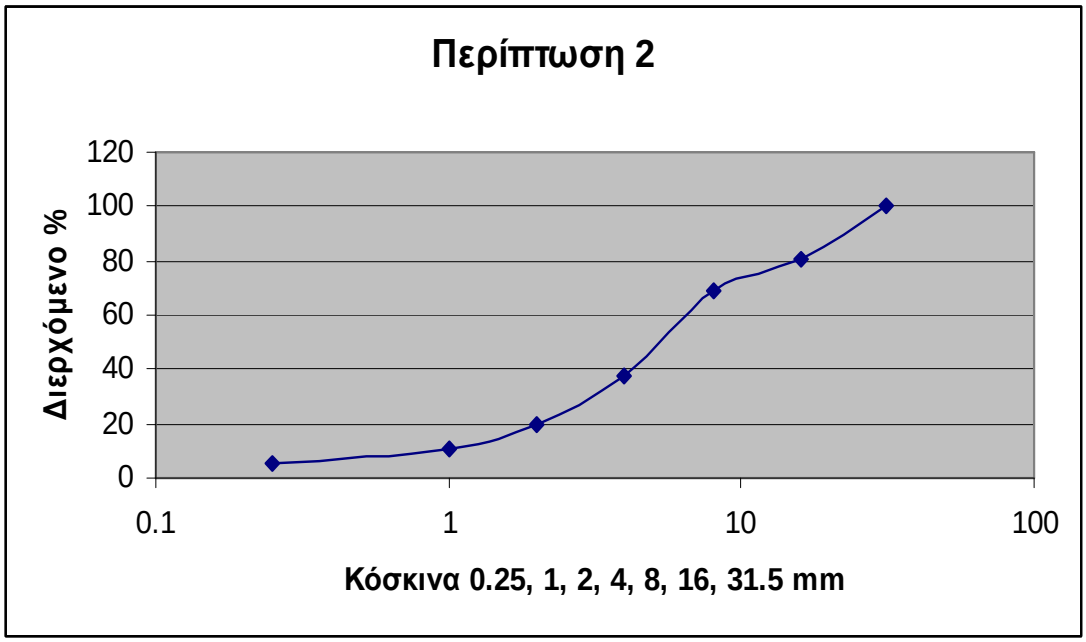



*Διάγραμμα 7.1.5.1: Κοκκομετρική καμπύλη*

**Περίπτωση 2: Λόγος τσιμέντου – αδρανών 1:3**

| Κόσκινα (mm) | Συγκρατούμενο υλικό (kg) | Αθροιστικά συγκρατούμενο (kg) | Συγκρατούμενο (%) | Διερχόμενο (%) |
|---|---|---|---|---|
| 31,5 | 0 | 0 | 0 | 100 |
| 16 | 3,12 | 3,12 | 11 | 81 |
| 8 | 5,68 | 8,808 | 32 | 69 |
| 4 | 8,51 | 17,318 | 62 | 38 |
| 2 | 5,062 | 22,38 | 80 | 20 |
| 1 | 2,56 | 24,94 | 89 | 11 |
| 0,25 | 1,76 | 26,7 | 95 | 5 |
| Βάση | 1,4 | 28,1 | 100 | 0 |
| | **Σύνολο:** 28,1 | | | |

*Πίνακας 7.1.5.2: Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης*




*Διάγραμμα 7.1.5.2: Κοκκομετρική καμπύλη*

## 7.2. Δοκιμή LOS ANGELES

Η μέθοδος αυτή δεν πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο για το λόγο ότι το πολυτεχνείο δεν διαθέτει αυτό το μηχάνημα. Τα αποτελέσματα, έτσι, δόθηκαν, από την εταιρεία «Skyramont Ltd, Cyprus» που δραστηριοποιείται στην προς εξέταση λατομική περιοχή.

Σκοπός της δοκιμής Los Angeles είναι ο προσδιορισμός της αντοχής των αδρανών υλικών σε τριβή και κρούση. Η δοκιμή αυτή, που επινοήθηκε και σχεδιάστηκε στο Εργαστήριο Δομικών της πόλης Los Angeles, θεωρείται η πιο κατάλληλη για τον προσδιορισμό της σκληρότητας, δυσθραυστότητας και ποσοστού μαλακών τεμαχίων των αδρανών υλικών από οποιαδήποτε άλλη δοκιμή για τους παρακάτω λόγους:

- Η δράση επί των αδρανών είναι πολύ ισχυρή, ώστε να αποκαλύπτεται οποιαδήποτε αδυναμία του υλικού.
- Είναι κατάλληλη τόσο για τα θραυστά όσο και για τα φυσικά αδρανή.
- Η δοκιμή είναι αρκετά σύντομη.
- Δεν επηρεάζεται από τη μεταβολή του ειδικού βάρους των αδρανών, εξαιτίας της μεγάλης χωρητικότητας του κυλίνδρου της μηχανής.
- Περιορίζεται σημαντικά η επίδραση αυτού που εκτελεί τη δοκιμή. Η δοκιμή που περιγράφεται παρακάτω είναι σύμφωνη με το πρότυπο A.S.T.M C 131, πρότυπο στο οποίο παραπέμπουν οι ισχύοντες ελληνικοί κανονισμοί.

Η μηχανή Los Angeles αποτελείται από ένα χαλύβδινο κύλινδρο, κλειστό στις βάσεις του, εσωτερικής διαμέτρου 710mm και μήκους 510mm. Η μηχανή στηρίζεται κατάλληλα ώστε να μπορεί να περιστρέφεται οριζόντια. Στην πλευρική επιφάνεια του κυλίνδρου υπάρχει θυρίδα από την οποία εισάγεται το δείγμα και η οποία κλείνει αεροστεγώς. Η θυρίδα είναι σχεδιασμένη έτσι που να διατηρεί την ίδια καμπυλότητα του κυλίνδρου. Στην εσωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου υπάρχει χαλύβδινη προεξοχή μήκους όσο και αυτό του κυλίνδρου, πλάτους 89mm η οποία έχει την διεύθυνση της ακτίνας του κυλίνδρου.

*Εικόνα 7.2.1: Μηχανή Los Angeles*

*Εικόνα 7.2.2.: Σφαίρες μηχανής Los Angeles*

### 7.2.1. Υπολογισμοί

Το προς δοκιμή δείγμα επιλέγεται από καθαρό αδρανές υλικό, αφού ξηραθεί αυτό στους 105 - 110 ℃ μέχρι σταθερού βάρους. Η ποσότητα του δείγματος όπως και η κατάλληλη διαβάθμιση επιλέγεται από πίνακα. Η διαφορά μεταξύ του αρχικού και του τελικού βάρους του δείγματος εκφρασμένη σε ποσοστό % του αρχικού βάρους δίνει το ποσοστό φθοράς του υπό εξέταση αδρανούς υλικού.

Η % φθορά υπολογίζεται από τον τύπο:

$$W = \frac{A - B}{A} * 100$$

όπου:
W = η ζητούμενη φθορά
A = αρχικό βάρος του δείγματος
B = συγκρατούμενο βάρος στο κόσκινο No.12

### 7.2.2. Αποτελέσματα

Δείκτης Los Angeles για μέγεθος υλικού 8 - 20mm σε έξι δείγματα με μέσο όρο ($LA_{30}$=15)

$LA_{30}$=16

$LA_{30}$=14

$LA_{30}$=16

$LA_{30}$=15

$LA_{30}$=15

$LA_{30}$=14

### 7.2.3. Επιτρεπτά όρια

Με βάση τα αποτελέσματα της δοκιμής μπορεί να χαρακτηριστεί ένα αδρανές υλικό ως σκληρό, μαλακό ή ενδιάμεσης σκληρότητας. Για παρασκευή σκυροδέματος ανθεκτικού σε επιφανειακή φθορά (βιομηχανικά δάπεδα, σκυρόδεμα οδοποιίας) ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος ορίζει τιμή Los Angeles όχι μεγαλύτερη από 40%. Για παρασκευή ασφαλτικού σκυροδέματος οι

προδιαγραφές (Π.Τ.Π. Α 265) ορίζουν την χρήση αδρανών με % φθορά μικρότερη του 40%. Για τα αδρανή υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή βάσεων και υποβάσεων στην οδοποιία, οι ελληνικές προδιαγραφές (Π.Τ.Π. Α155 και 150) ορίζουν τιμή Los Angeles όχι μεγαλύτερη του 50. Στην δική μας περίπτωση το υλικό, ικανοποιεί όλες τις πιο πάνω προδιαγραφές.

## 7.3. Προσδιορισμός παιπάλης

### 7.3.1. Ορισμός

Παιπάλη ή φίλλερ χαρακτηρίζεται το λεπτόκοκκο υλικό που διέρχεται από το κόσκινο τετραγωνικής οπής No.200 (0,074mm). Η παιπάλη μπορεί να είναι άργιλος ή σκόνη από το ίδιο υλικό. Βρίσκεται είτε προσκολλημένη στους κόκκους του υλικού εμποδίζοντας την πρόσφυση των αδρανών με το κονίαμα, είτε σχηματίζοντας συσσωματώματα δημιουργώντας αδύνατα σημεία στην μάζα του σκυροδέματος, ή ακόμη διασκορπισμένη ομοιόμορφα μέσα στην μάζα του αδρανούς.

### 7.3.2. Μεθοδολογία εκτέλεσης

Ξηραίνεται σε φούρνο στους 105℃ περίπου 500gr άμμος. Στη συνέχεια, αφού ζυγιστεί με ακρίβεια 1gr το δείγμα, μεταφέρονται σε δοχείο βρασμού τα 800ml και αυτό γεμίζεται κατά τα 2/3 με νερό. Το νερό πρέπει οπωσδήποτε να καλύπτει το δείγμα. Με γυάλινη ράβδο ανακατεύεται δυνατά και μεταφέρεται το θολό νερό σε άλλο ποτήρι, αφού εξαναγκάσουμε πρώτα να περάσει το αιώρημα από δύο διαδοχικά κόσκινα. Πρώτα από κόσκινο ανοίγματος περίπου 1mm και στη συνέχεια από το κόσκινο No.200. Προστίθεται στο πρώτο ποτήρι πάλι νερό και επαναλαμβάνεται η διαδικασία μέχρι να απαλλαγεί τελείως το υλικό από την παιπάλη. Ένδειξη ότι το δείγμα έχει πλήρως απαλλαγεί από την παιπάλη είναι ότι το υπερκείμενο νερό πρέπει να είναι εντελώς διαυγές. Στη συνέχεια, συλλέγεται με προσοχή το υλικό που παρέμεινε στο πρώτο ποτήρι και στα δύο κόσκινα και ξηραίνεται στο φούρνο. Μετά την ξήρανση, γίνεται ζύγισμα με ακρίβεια.

### 7.3.3. Αποτελέσματα

Το ποσοστό της παιπάλης στο δείγμα δίνεται από τη σχέση:

$$\textbf{παιπάλη } \% = \frac{B_1 - B_2}{B_1} * 100$$

όπου: B1 : βάρος ξηρού δείγματος πριν το πλύσιμο

B2 : βάρος ξηρού δείγματος μετά τη δοκιμή

Για επιβεβαίωση των υπολογισμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί η παρακάτω σχέση, αφού διηθεί το περιεχόμενο του δεύτερου δοχείου σε προζυγισμένο ηθμό και ξηραθεί σε φούρνο.

$$\text{παιπάλη } \% = \frac{B3}{B1} * 100$$

όπου: B3: ξηρό βάρος υπολείμματος (παιπάλη).

### 7.3.4. Επιτρεπτά όρια

Η παιπάλη έχει γενικά την ιδιότητα να αυξάνει την αναγκαία ποσότητα του νερού στο σκυρόδεμα και να ελαττώνει αντίστοιχα την αντοχή του. Παράλληλα, συντελεί στην αύξηση της πλαστικότητας του μείγματος αδρανών - κονιάματος. Για τον παραπάνω λόγο, σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ., για τα αδρανή που χρησιμοποιούνται στο σκυρόδεμα το μέγιστο επιτρεπτό ποσοστό παιπάλης δεν πρέπει να υπερβαίνει το 16% για την άμμο και το 1% για τα χονδρόκοκκα υλικά (σκύρα, γαρμπίλι, ρυζάκι). Ειδικότερα για άοπλα σκυροδέματα, το ποσοστό παιπάλης στη άμμο μπορεί να φτάσει το 20%. Η παιπάλη της φυσικής άμμου δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5%. Τα δικά μας δείγματα βρίσκονταν μέσα στα πιο πάνω επιτρεπτά όρια.

Στο ασφαλτικό σκυρόδεμα και για την στρώση κυκλοφορίας το ποσοστό παιπάλης των αδρανών πρέπει να βρίσκεται μεταξύ 5 - 12%. Μεγάλο ποσοστό παιπάλης δίδει στο ασφαλτικό σκυρόδεμα μεγάλη πλαστικότητα. Επειδή η παιπάλη έχει την ιδιότητα να προσκολλάται πάνω στο χονδρόκοκκο υλικό, ο διαχωρισμός της από αυτό, με τον συνήθη τρόπο κοσκινίσματος, είναι αρκετά δύσκολος και όχι πλήρης. Γι' αυτό και ο προσδιορισμός της γίνεται με πλύσιμο.

## 7.4. Προσδιορισμός του δείκτη αντοχής κρουστικού φορτίου (AIV)

### 7.4.1. Ορισμός

Ο δείκτης αντοχής σε κρουστικό φορτίο (ΔΑΚΦ) ενός υλικού αποτελεί μέτρο της αντοχής του σε κρουστικό φορτίο και διαφέρει από την αντοχή σε σταδιακά εφαρμοζόμενη δύναμη.

## 7.4.2. Συσκευές

1. Μηχανή αντοχής σε κρουστικό φορτίο που αποτελείται από:

   - Μεταλλική κυκλική βάση, βάρους 22 - 30kg, με μια χαμηλότερη επίπεδη επιφάνεια διαμέτρου όχι μικρότερης των 300mm, που εδράζεται σε ένα επίπεδο πάτωμα.
   - Κυλινδρικό ατσάλινο δοχείο με εσωτερική διάμετρο 102mm και εσωτερικό βάθος 50mm. Τα τοιχώματα έχουν πάχος μεγαλύτερο από 6mm και οι εσωτερικές επιφάνειες έχουν σκληρυνθεί. Το δοχείο είναι σταθερά πακτωμένο στο κέντρο της βάσης με ειδικό μηχανισμό και μπορεί να μετακινηθεί όταν χαλαρώσει ο μηχανισμός για να αδειάσει.
   - Μεταλλικό σφυρί βάρους 13,50 ως 14kg του οποίου το κάτω άκρο είναι κυλινδρικό με διάμετρο 100mm και μήκος 50mm με μια εγκοπή 1,5mm. Το σφυρί γλιστρά ελεύθερα μεταξύ κάθετων οδηγών.
   - Μηχανισμός ανύψωσης του σφυριού που του επιτρέπει να πέφτει ελεύθερα μεταξύ των κατακόρυφων οδηγών, από ένα ύψος 380 ± 5mm, πάνω στο δείγμα του περιέχεται στο μεταλλικό δοχείο και μηχανισμό για ρύθμιση του ύψους πτώσης έως και ± 5mm.
   - Μηχανισμός για στήριξη του σφυριού, καθώς πακτώνεται ή μετακινείται το δοχείο.

2. Σειρά κόσκινων κατά BS με μεγέθη οπών 14mm, 10mm, 2,36mm.

3. Μεταλλική ράβδος συμπύκνωσης του δείγματος.

4. Ζυγαριά ακριβείας 0,1gr.

*Εικόνα 7.4.2.1: Μηχανή αντοχής σε κρουστικό φορτίο*

### 7.4.3. Προετοιμασία του δείγματος

Το υλικό μας αποτελείτο από το κλάσμα που περνά από το κόσκινο των 14mm και παραμένει στο κόσκινο των 10mm. Πρώτα, τοποθετείται το υλικό στο φούρνο για 4 ώρες σε θερμοκρασία 100℃ και πριν τη δοκιμή, τοποθετείται σε θερμοκρασία δωματίου.

Στη συνέχεια, γεμίστηκε το δοχείο μέτρησης περί το ένα τρίτο από ένα ύψος που δεν ξεπερνούσε τα 50mm. Το υλικό συμπυκνώνεται με την στρογγυλεμένη άκρη της μεταλλικής ράβδου χτυπώντας το 25 φορές. Έπειτα, προστέθηκε άλλη μια ίδια ποσότητα από το υλικό μας και συμπυκνώθηκε χτυπώντας το πάλι 25 φορές. Το δοχείο μέτρησης τελικά γεμίζεται μέχρι επάνω, με την ίδια διαδικασία. Η καθαρή μάζα του υλικού στο δοχείο μέτρησης καταχωρείται ως μάζα Α.

### 7.4.4. Διεξαγωγή δοκιμής

Τοποθετείται η μηχανή κρούσης χωρίς σφήνες ή στηρίγματα, πάνω στο επίπεδο πλαίσιο ή στο πάτωμα έτσι ώστε να είναι σταθερή και οι οδηγοί του σφυριού να είναι κάθετοι. Τοποθετείται το δοχείο με το δείγμα στη βάση της μηχανής, με τη βοήθεια του αντίστοιχου μηχανισμού.

Το ύψος του σφυριού ρυθμίζεται, έτσι ώστε η κάτω επιφάνειά του να είναι 380 ± 5mm, πάνω από την επιφάνεια του υλικού μέσα στο δοχείο και μετά αφήνεται να πέσει ελεύθερα πάνω στο υλικό. Το δείγμα δέχεται 15 τέτοια χτυπήματα με διαφορά το ένα από το άλλο τουλάχιστο 1sec.

Κατόπιν, αδειάζεται το θραυσμένο υλικό, κρατώντας το δοχείο πάνω από ένα καθαρό δίσκο. Κοσκινίζεται η ποσότητα του υλικού που βρίσκεται μέσα στο δίσκο με κόσκινο των 2,36mm, μέχρις ώστε να μην γίνεται αντιληπτή η διέλευση ποσότητας υλικού για 1min.

Τόσο τα τεμάχια που περνούν από το κόσκινο, όσο και αυτά που παραμένουν σε αυτό ζυγίζονται με ακρίβεια 0,1gr και καταγράφονται ως μάζα Β και μάζα C, αντίστοιχα. Το άθροισμα των μαζών αυτών πρέπει να είναι μικρότερο από την αρχική μάζα Α περισσότερο από 1 γραμμάριο τότε το αποτέλεσμα απορρίπτεται και το αποτέλεσμα επαναλαμβάνεται γιατί οι απώλειες του υλικού κατά την εκτέλεση της δοκιμής είναι σημαντικές.

### 7.4.5. Υπολογισμοί - παρουσίαση αποτελεσμάτων

Η σχέση της μάζας του λεπτομερούς υλικού που προκύπτει προς τη συνολική μάζα του δείγματος, για κάθε δοκιμή, εκφράζεται σαν ποσοστό (%) και το αποτέλεσμα καταγράφεται μέχρι και το πρώτο δεκαδικό ψηφίο. Το ποσοστό (%) των λεπτομερών δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Ποσοστό λεπτομερών} = \frac{B}{A}x100 = \frac{47,6}{644}x100 = 7,39 \approx 7,4$$

όπου Α: η μάζα του αρχικού ξηρού δείγματος (gr)

Β: η μάζα του λεπτομερούς υλικού που περνά από το κόσκινο μετά τη δοκιμή (gr)

Το παραπάνω αποτέλεσμα στρογγυλοποιείται στον πλησιέστερο ακέραιο και αποτελεί το δείκτη αντοχής σε κρουστικό φορτίο (AIV).

### 7.4.6. Επιτρεπτά όρια

Για υλικό με δείκτη ΔΑΚΦ μεγαλύτερο από 30, η δοκιμή δεν δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα. Επίσης, μεγέθη μεγαλύτερα από 14mm δεν επιδεικνύονται για την δοκιμή αυτή. Οι προδιαγραφές της δοκιμής είναι για υλικά που περνούν από κόσκινο 14mm κατά BS και παραμένουν σε ένα κόσκινο των 10mm (BS 812, Part 3, 1975). Αν εξετάζεται υλικό που το μέγεθος των τεμαχίων του δεν είναι το πρότυπο μέγεθος, τότε πρέπει μαζί με το δείκτη αντοχής σε κρουστικό φορτίο (AIV) να αναγράφεται και το κοκκομετρικό κλάσμα στο οποίο αναφέρεται.

## 7.5. Δοκιμή MICRO DEVAL

Η δοκιμή φθοράς από τριβή κατά MICRO DEVAL εκτελείται σε υγρές συνθήκες και σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα EN 1097-1. Στην Ελλάδα και στην Κύπρο δεν έχει ευρεία εφαρμογή και αυτό γιατί επιλέγεται η δοκιμή Los Angeles.

### 7.5.1. Μηχανή MICRO DEVAL

Η μηχανή MICRO DEVAL αποτελείται από τέσσερις χαλύβδινους κυλίνδρους, που είναι κλειστοί από την μια πλευρά, και από την άλλη ξεβιδώνουν για να μπορούν να δέχονται το υλικό, και η οποία κλείνει αεροστεγώς. Η μηχανή στηρίζεται κατάλληλα ώστε να μπορεί να περιστρέφεται οριζόντια. Στην εσωτερική επιφάνεια των κυλίνδρων τοποθετούνται μικρές σφαίρες με ποσότητα νερού μαζί με το υλικό προς εξέταση. Οι ποσότητες των σφαιρών, του νερού και του δείγματος είναι προκαθορισμένες από τους κατασκευαστές και τα πρότυπα που διέπουν την δοκιμή αυτή, καθώς επίσης οι

προδιαγραφές της μηχανής MICRO DEVAL καθορίζουν τον χρόνο που το υλικό δοκιμάζεται και τις στροφές των κυλίνδρων.

*Εικόνα 7.5.1.1. Μηχανή Micro Deval*

## 7.5.2. Διεξαγωγή δοκιμής

Αφού πλύθηκε το υλικό μας τοποθετήθηκε για στέγνωμα στο φούρνο στους 100℃ και παραμένει μετά σε θερμοκρασία δωματίου μέχρι να επανέλθει στις κανονικές συνθήκες. Στη συνέχεια, ζυγίστηκαν 500gr από το υλικό μας και τοποθετήθηκαν μέσα στο κύλινδρο, μαζί με την προκαθορισμένη δοσολογία νερού (2,5 λίτρα), ενώ, λίγο μετά τοποθετήθηκαν 5000gr σφαιρών. Η μηχανή έχει την δυνατότητα να διεξάγει τέσσερις δοκιμές ταυτόχρονα. Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε για τους τρεις κυλίνδρους. Έπειτα, τέθηκε η μηχανή σε λειτουργία στις προκαθορισμένες στροφές (100 στροφές το λεπτό). Όταν τελείωσε ο χρόνος περιστροφής και σταμάτησε η μηχανή, αφαιρείται προσεκτικά το υλικό μας και αφού κοσκινιστεί, στεγνώνεται πάλι στους 100℃ και τέλος, ζυγίζεται.

*Εικόνες 7.5.2.1 και 7.5.2.2: Σφαίρες και κύλινδρος Μηχανής Micro Deval*

## 7.5.3. Υπολογισμοί - παρουσίαση αποτελεσμάτων

Αφού ζυγίστηκαν τα δείγματα, μετά το πέρας της καταπόνησης που δέχθηκαν, παρατηρήθηκε απώλεια υλικού και αυτό εκφράζεται σαν φθορά από τριβή. Ο δείκτης Micro Deval ($M_{DE}$) υπολογίζεται από τον πιο κάτω τύπο, και όπου m είναι το υλικό μετά την καταπόνηση και αφού πρώτα στεγνώσει και κοσκινιστεί:

$$M_{DE} = \frac{500 - m}{5}$$

Προσδιορίστηκε η δοκιμή φθοράς από τριβή κατά Micro Deval για τρία δείγματα και τα οποία, ενώ το αρχικό τους βάρος ήταν 500gr, μετά το πέρας της δοκιμής είχαν μειωθεί στα 404.8 , 410.7 , και 407.1, πιο κάτω φαίνονται οι τρεις δείκτες:

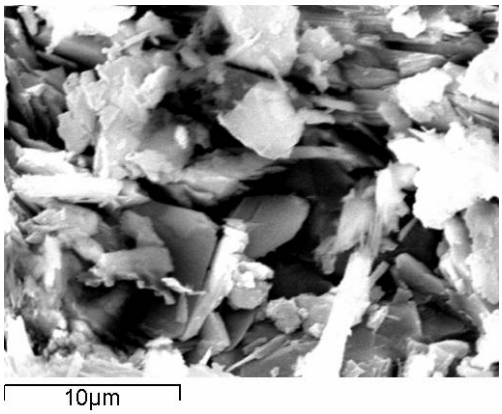
$$M_{DE} = \frac{500 - m}{5} \frac{500 - 404{,}8}{5} = 19{,}04$$

$$M_{DE} = \frac{500 - m}{5} = \frac{500 - 410{,}7}{5} = 17{,}86$$

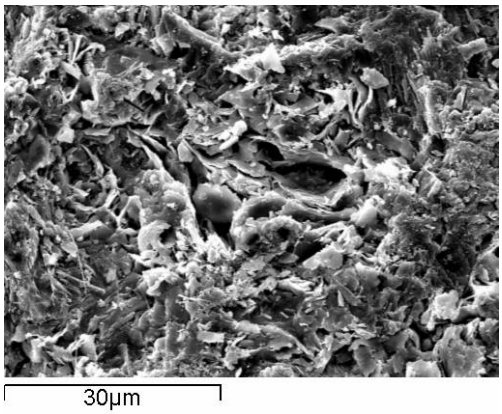
$$M_{DE} = \frac{500 - m}{5} = \frac{500 - 407{,}1}{5} = 18{,}58$$

*Εικόνα 7.5.3.1: Υλικό πριν(αριστερά) και μετά(δεξιά) την δοκιμή Micro Deval*

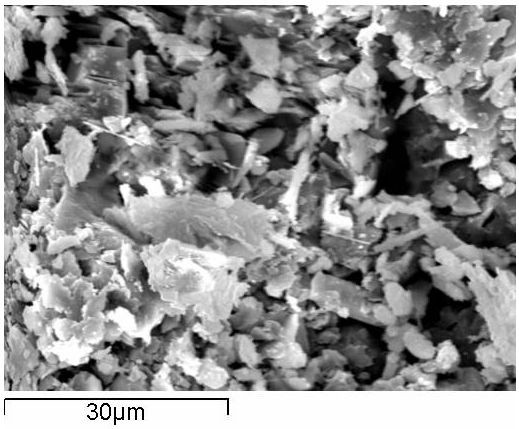
Αν και οι πιο πάνω δείκτες ήταν υψηλοί, όχι όμως εκτός των επιτρεπτών ορίων, μελετήθηκε η μικροτραχήτητα με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (S.E.M.), πως αλλάζει, δηλαδή, η μικροτραχήτητα πριν τη δοκιμή Micro Deval και πως μετά.



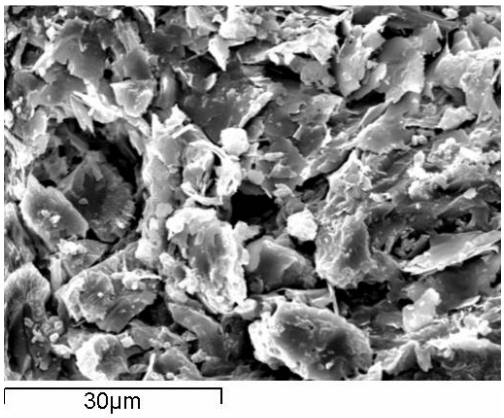

*Εικόνα:7.5.3.2*




*Εικόνα:7.5.3.3*




*Εικόνα:7.5.3.4*




*Εικόνα:7.5.3.5*

Οι εικόνες 7.5.3.2 και 7.5.3.4 δείχνουν τη μικροτραχύτητα πριν την δοκιμή Micro Deval, ενώ οι εικόνες 7.5.3.3 και 7.5.3.5 λήφθηκαν αφού το υλικό μας υπέστη την δοκιμή. Από τις εικόνες συμπεραίνουμε ότι η μικροτραχύτητα δεν αλλάζει πολύ. Άρα το υλικό προς εξέταση, αν και έχει υψηλό δείκτη Micro Deval, αυτό αντισταθμίζεται από το γεγονός ότι στο υλικό η μικροτραχύτητα πριν και μετά τη δοκιμή δεν αλλάζει σημαντικά.

## 7.6. Συνοπτικά αποτελέσματα φυσικομηχανικών ιδιοτήτων

Οι μηχανικές παράμετροι του πετρώματος προσδιορίστηκαν με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών: αντοχή σε φθορά από τριβή και κρούση Los Angeles (ASTM C 131), αντοχή σε φθορά Micro-Deval, (EN 1097-01), αντίσταση σε κρούση AIV, (BS 812: Part 112). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δίδονται στον πίνακα 7.6.1.

*Πίνακας 7.6.1:* Αποτελέσματα μηχανικών ιδιοτήτων πετρώματος

| Δείγμα | Δείκτης Los Angeles ($LA_{30}$%) | Δείκτης αντίσταση σε κρούση (AIV%) | Δείκτης Micro-Deval ($M_{DE}$%) |
|---|---|---|---|
| **1** | 16 | 7,4 | 19,04 |
| **2** | 15 | 7,1 | 17,86 |
| **3** | 14 | 8,2 | 18,58 |
| **4** | 15 | 7,9 | 18,34 |

Τα αδρανή στην δοκιμή Los Angeles υφίστανται συγχρόνως φθορά από τριβή και κρούση με σημαντικότερη αυτής της κρούσης. Σύμφωνα με το ASTM C 131, αδρανή με τιμές Los Angeles μικρότερες από 30% μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σκυρόδεμα. Οι τιμές των διαβασικών πετρωμάτων κυμαίνονται από 14% έως 16%.

Οι τιμές A.I.V. επηρεάζονται από τα εγγενή χαρακτηριστικά των πετρωμάτων όπως ιστός, πετρογραφία, γεωλογικοί παράγοντες (Raimsaget al 1974). Ο Fookes (1984) αναφέρει ότι οι τιμές A.I.V. πρέπει να είναι μικρότερες από 20%, ενώ οι προδιαγραφές BS 812 (1992) αναφέρουν ότι μέγιστη τιμή A.I.V. για χρήση αδρανών σε σκυρόδεμα είναι 50%. Οι τιμές των δειγμάτων μας κυμαίνονται από 7,1 έως 8,2, πράγμα που δείχνει ότι πληρούν κατά πολύ όλες τις προδιαγραφές.

Όπως αναφέρεται από τους Johnson and DeGraff (1988), η υφή ενός πετρώματος είναι ένας σύνθετος παράγοντας που επηρεάζει την τριβή και το θρυμματισμό του. Το πορώδες, η μικροϋφή και η εξαλλοίωση ελαττώνουν την ανθεκτικότητα των αδρανών. Η επιφανειακή, δε, υφή των αδρανών επηρεάζει σημαντικά την συνοχή των αδρανών με το τσιμέντο (French, 1991). Μια τραχεία επιφάνεια επιτρέπει καλύτερη συνοχή από μια λεία επιφάνεια (Bell, 1998). Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο της επιφάνειας των αδρανών, τα δείγματά μας παρουσιάζουν μια ιδιαίτερα τραχεία επιφάνεια. Οι τιμές της δοκιμής Micro Deval κυμαίνονται από 17,86% έως 19,04% και είναι αρκετά υψηλές. Εν τούτοις, παρατηρώντας, την μικροτραχύτητα του υλικού μας μετά τη δοκιμή Micro Deval παρατηρείται ότι η επιφάνεια εξακολουθεί να είναι

ιδιαίτερα τραχεία. Σύμφωνα, δε, με το ΤΕΕ τιμές της δοκιμής Micro Deval άνω των 35% είναι απαγορευτικές.

Δείκτες πλακοειδούς, Flakiness Index (ΕΛΟΤ EN 933-3, BS 812), δείκτες αποσάθρωσης Magnesium Sulfate Value (ΕΛΟΤ 1367-2, ACTM C88), τιμές υδαταπορροφηκότητας (Water Absorption), φαινόμενο ειδικό βάρος και τιμές παιπάλης με τη μέθοδο μπλε του μεθυλενίου Methylene Blue Value (ΕΛΟΤ 933-9), παραχωρήθηκαν από την εταιρεία «Skyramont Ltd» και σύμφωνα με τα πρότυπα CYS EN12620, EN13043 και δίδονται στον πίνακα 7.6.2.

*Πίνακας 7.6.2: Φυσικομηχανικές ιδιότητες, δεδομένα εταιρείας «Skyramont Ltd»*

| A/A | Δείκτης πλακοειδούς FL< 20 | Υδαταπορροφηκότητα $WA_4$ (%) | Φαινόμενο ειδικό βάρος (gr/cm3) | Αποσάθρωση $MS_{25}$ (%) | Παιπάλη $MB_{10}$(g/kg) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 11 | 3,1 | 2,6 | 18 | 1,6 |
| 2 | 9 | 3 | 2,5 | 14 | 1,9 |
| 3 | 12 | 2,9 | 2,6 | 12 | 2,4 |
| 4 | 9,6 | 3 | 2,7 | 23 | 2,5 |
| 5 | 11 | 2,7 | 2,5 | 16 | 2,6 |
| 6 | 9,1 | 2,9 | 2,5 | 23,4 | 1,7 |
| 7 | 8,8 | 3,2 | 2,6 | 17 | 1,5 |

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

# ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΚΥΒΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥΣ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ

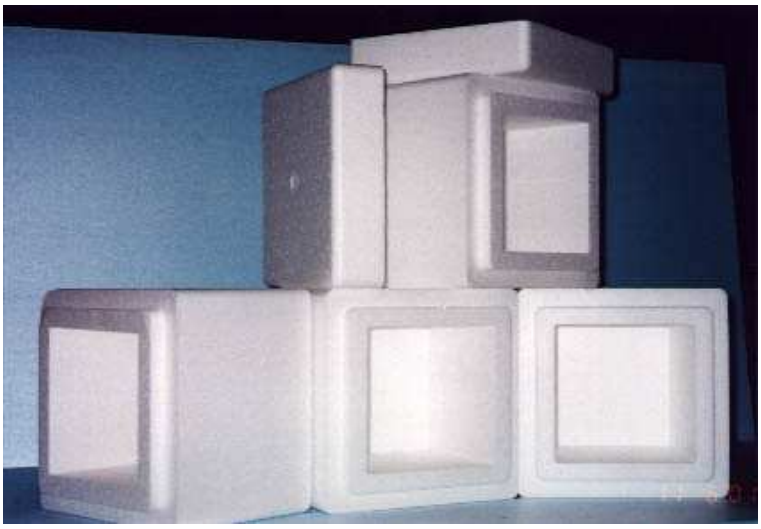
Παρακάτω γίνεται μια λεπτομερής περιγραφή της μεθοδολογίας παρασκευής των κυβικών δοκιμίων και στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα από την αντοχή τους σε θλίψη. Παρασκευάστηκαν συνολικά 9 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 15Χ15Χ15cm, εκ των οποίων τα 5 είχαν λόγο τσιμέντου – αδρανών 1:3 και τα υπόλοιπα 4 είχαν λόγο τσιμέντου – αδρανών 1:5,6. Για την πρώτη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν 9,36kg τσιμέντο, 5,9L νερό και 28,1kg αδρανών υλικών, ενώ στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν 5kg τσιμέντο, 3,15L νερό και 28,1kg αδρανών υλικών. Η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών υλικών για τις πιο πάνω περιπτώσεις παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 7, και η διαβάθμιση του υλικού μας βρισκόταν στην υποζώνη Δ. Χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο χαμηλών αλκαλίων ανθεκτικό στα θειικά, όπου το συγκεκριμένο τσιμέντο είναι προϊόν της «Τσιμεντοβιομηχανίας Βασιλικού» που δραστηριοποιείται στην Κύπρο. Η επιλογή του έγινε για να παρατηρηθεί η συμπεριφορά των δοκιμίων και μέσα σε θαλασσινό νερό.

## 8.1. Ανάμειξη υλικών

Για την ανάμειξη των υλικών χρησιμοποιήθηκε μπετονιέρα: τοποθετήθηκαν ένα – ένα τα υλικά, με τη σειρά που αναφέρονται στις δυο συνταγές που χρησιμοποιήθηκαν. Κάθε φορά που προστήθεντο ένα υλικό, γινόταν ανάμειξη με το προηγούμενο υλικό μέχρι να τοποθετηθεί και το επόμενο· αυτή η διαδικασία συνεχιζότανε μέχρι να τοποθετηθούν όλα τα υλικά μέσα στη μπετονιέρα. Αφού τοποθετήθηκε και το τελευταίο υλικό, το νερό, η μπετονιέρα «ανέλαβε» την ανάμειξη, πέντε λεπτά από τη μία πλευρά και πέντε από την άλλη· σύνολο χρόνου δηλαδή δέκα λεπτά. Ο χρόνος αυτός είναι ο ιδανικός για να γίνει το μείγμα ομοιογενές. Εφόσον, λοιπόν, το μείγμα γίνει ομοιογενές, η μπετονιέρα σταματάει και αφαιρείται το μείγμα πάνω σε νάιλον που τοποθετήθηκε προηγουμένως κάτω από το στόμιο της μπετονιέρας. Το μείγμα είναι έτοιμο να τοποθετηθεί μέσα στις μήτρες - καλούπια. Συγκεκριμένα, στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν καλούπια από πολυεστέρα, με πλευρές 15cm.

## 8.2. Τοποθέτηση σκυροδέματος στις μήτρες (καλούπια)

Κάθε μήτρα γεμίζεται προσεκτικά με μυστρί, ώστε να μη διαφεύγει το λεπτόκοκκο υλικό, σε τρεις στρώσεις, για να μπορεί να συμπυκνωθεί ιδιαίτερα η κάθε στρώση, με τη βοήθεια ειδικής ράβδου.



*Εικόνα 8.2.1: Καλούπια - Μήτρες για την παρασκευή κυβικών δοκιμίων*

Η συμπύκνωση κάθε στρώσης απαιτεί 25 χτυπήματα με την ειδική ράβδο, τα οποία κατανέμονται κατά το δυνατόν ομοιόμορφα στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Τα χτυπήματα αυτά ξεκινούν από την περίμετρο της μήτρας και με σπειροειδή κίνηση φτάνουν στο κέντρο. Κατά τη συμπύκνωση της κατώτερης (πρώτης) στρώσης, η ράβδος βυθίζεται σε όλο το βάθος του σκυροδέματος, και κατά την έμπηξή της, έχει στην αρχή μία μικρή κλίση που βαθμιαία ελαττώνεται, τείνοντας προς την κατακόρυφο. Στη δεύτερη και τρίτη στρώση η ράβδος βυθίζεται σε όλη τη στρώση, εισερχόμενη λίγο (περίπου 1 - 2cm) και στην αμέσως από κάτω της, με σκοπό να πάψουν να εμφανίζονται μεγάλες φυσαλίδες αέρα. Η ράβδος συμπύκνωσης είναι Φ16, μήκους 60cm, με στρογγυλεμένα άκρα. Κατά την συμπύκνωση της κατώτερης στρώσης, συνίσταται προσοχή ώστε το υλικό να στρωθεί ομοιόμορφα και να πιάσει όλη την επιφάνεια του πυθμένα της μήτρας και ιδιαίτερα τις γωνίες για να μην σχηματιστούν κενά. Η συμπύκνωση γίνεται αμέσως μετά την τοποθέτηση του σκυροδέματος στη μήτρα και χωρίς καθυστέρηση. Όταν τοποθετηθεί και η τελευταία στρώση του

σκυροδέματος, και πραγματοποιηθεί και η αντίστοιχη συμπύκνωση, επιπεδώνεται η τελική επιφάνεια με παλινδρομική κύλιση της ράβδου συμπυκνώσεως στα χείλη της μήτρας και αριθμείται το δοκίμιο.

*Εικόνα 8.2.2: Κυβικό δοκίμιο*

*Πηγή: Προσωπικό αρχείο – Στεφάνου Ιάκωβος*

## 8.3. Ξεκαλούπωμα - Φύλαξη δοκιμίων

Τα δοκίμια μεταφέρθηκαν προσεκτικά, χωρίς να κινούνται ιδιαίτερα για να μην προκαλούνται κρούσεις και δονήσεις, σε χώρο με σκιά και σταθερή υγρασία, όπου και θα παραμείνουν για δύο μέρες μέχρι να αφαιρεθούν από τις μήτρες. Ένας τέτοιος χώρος, που ενδείκνυται για τη σκιά και την σταθερότητα στην υγρασία, ήταν το εργαστήριο αδρανών υλικών του τμήματος των Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, το οποίο και χρησιμοποιήθηκε.

Εκεί, λοιπόν, παρέμειναν τα δοκίμια για δυο μέρες, μέχρι την ξεκαλούπωσή τους. Έτσι, με την πραγματοποίηση της ξήρανσης, αφαιρέθηκαν από τις μήτρες και τοποθετήθηκαν μέσα σε δυο δεξαμενές με νερό για 28 ημέρες μέχρι τη θραύση τους. Η μια περιείχε θαλασσινό νερό και η άλλη πόσιμο νερό.

Όταν τα δοκίμια προορίζονται για δοκιμές ποιοτικού ελέγχου πρέπει να φυλάσσονται αμέσως μετά την παρασκευή τους σε κλειστό χώρο, προφυλαγμένο από ρεύματα, και σε θερμοκρασία μεταξύ +15 και +22 $^{\circ}$C. Επίσης, πρέπει να προστατεύονται από απώλειες υγρασίας και μετά την αφαίρεση των τύπων να τοποθετούνται πάνω σε ξύλινη σχάρα, στη θερμοκρασία που αναφέρεται πιο

πάνω και να διατηρούνται συνεχώς υγρά μέσα στο νερό. Η διατήρηση των δοκιμίων σε υγρό περιβάλλον διακόπτεται την ημέρα της θραύσης τους, λίγες ώρες πριν, οπότε τα δοκίμια υποβάλλονται σε έλεγχο της θλιπτικής τους αντοχής.

## 8.4. Προσδιορισμός αντοχής κυβικών δοκιμίων σε μονοαξονική θλίψη

Το αντικείμενο της μεθοδολογίας είναι ο προσδιορισμός της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη σκυροδέματος, χρησιμοποιώντας δοκίμια κανονικής γεωμετρίας. Τα αποτελέσματα των δοκιμίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση και τον χαρακτηρισμό του σκυροδέματος από πλευράς αντοχής.

*Εικόνα 8.4.1:Κυβικό δοκίμιο μετά την αφαίρεση του καλουπιού*

*Πηγή: Προσωπικό αρχείο – Στεφάνου Ιάκωβος*

## 8.5. Εξοπλισμός

Τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιούνται είναι η μηχανή θλίψεως (πρέσα), της οποίας η ακρίβεια και η αξιοπιστία πρέπει να πιστοποιείται τουλάχιστον κάθε δυο χρόνια από μια εγκεκριμένη για τον σκοπό αυτό υπηρεσία, συμπεριλαμβανομένου και του αυτόματου συστήματος καταγραφής.

*Εικόνα 8.5.1 και 8.5.2: Ολοκληρωμένο σύστημα καταγραφής μονοαξονικής θλίψης*

**Η μηχανή θλίψης αποτελείται από**:

1. Συσκευή δοκιμής: η συσκευή πρέπει να μπορεί να επιβάλλει σταθερό ρυθμό φόρτισης στο δοκίμιο και συγχρόνως να έχει τη δυνατότητα να μετρήσει ή και να καταγράψει το επιβαλλόμενο φορτίο.

2. Πλάκες φόρτισης: οι πλάκες φόρτισης χρησιμεύουν στο να μεταφέρουν το φορτίο στο δοκίμιο και πρέπει να είναι παράλληλες μεταξύ τους.

3. Χαλύβδινοι δίσκοι: οι δίσκοι (platens) τοποθετούνται ανάμεσα στις πλάκες φόρτισης και στο δοκίμιο και αποσκοπούν στο να ελαττώσουν την υπερβολική πλευρική παραμόρφωση του δοκιμίου λόγω δυνάμεων τριβής στα σημεία επαφής. Η σκληρότητα των δίσκων (στην κλίμακα Rockwell) πρέπει να είναι μεγαλύτερη από HRC58 και η διάμετρός τους πρέπει να είναι μεταξύ D και D+2mm, όπου D η διάμετρος του δοκιμίου. Το πάχος των δίσκων πρέπει να είναι τουλάχιστον 15mm ή D/3 και οι παράλληλες επιφάνειές τους πρέπει να έχουν αντοχή μικρότερη από 0.005mm.

4. Σφαιρική κεφαλή έδρασης: η σφαιρική κεφαλή έδρασης θα πρέπει να βρίσκεται στο πάνω μέρος του δοκιμίου και ο άξονάς της πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένος με τον άξονα του δοκιμίου και το κέντρο της πλάκας φόρτισης. Αν η μηχανή δοκιμής δεν διαθέτει σφαιρική κεφαλή έδρασης (η οποία συνήθως είναι ενσωματωμένη στην επάνω πλάκα φόρτισης), τότε ο ένας από τους δύο χαλύβδινους δίσκους πρέπει να έχει αυτή τη δυνατότητα. Η κεφαλή πρέπει να λιπανθεί με ελαφρό ορυκτέλαιο.

*Εικόνα 8.5.3: Μηχανή θλίψης*

Πριν από κάθε έλεγχο πρέπει να εξετάζεται αν οι δυο επιφάνειες, επί των οποίων θα ασκηθεί η θλίψη, είναι επίπεδες και ακριβώς παράλληλες, με ανοχές της τάξεως του 0,1mm. Το δοκίμιο καθαρίζεται και απομακρύνεται κάθε ξένο σωματίδιο που είναι επικολλημένο πάνω του, όπως επίσης και οποιοδήποτε ίχνος νερού που υπάρχει στην επιφάνειά του. Στη συνέχεια, ζυγίζεται με ακρίβεια 0,25% του βάρους του.

*Εικόνα 8.5.4: Διαδικασία θραύσης*

## 8.6. Διαδικασία θραύσης

Το δοκίμιο τοποθετείται στο κέντρο των πλακών φόρτισης έτσι ώστε το σφάλμα κεντρώσεως να μην είναι μεγαλύτερο από 1/100 της ακμής του δοκιμίου. Η θλίψη ασκείται συνεχώς και αυξάνει με καθορισμένη ταχύτητα μέχρι της μεγίστης τιμής. Ξεκινάει η μηχανή θραύσης και παρακολουθείται η ένδειξη της μηχανής, μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή, με τον οποίο είναι συνδεδεμένη, ώσπου να επέλθει η αστοχία, οπότε και σταματάει η δοκιμή Οι δοκιμές αυτές πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο μηχανικής πετρωμάτων στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

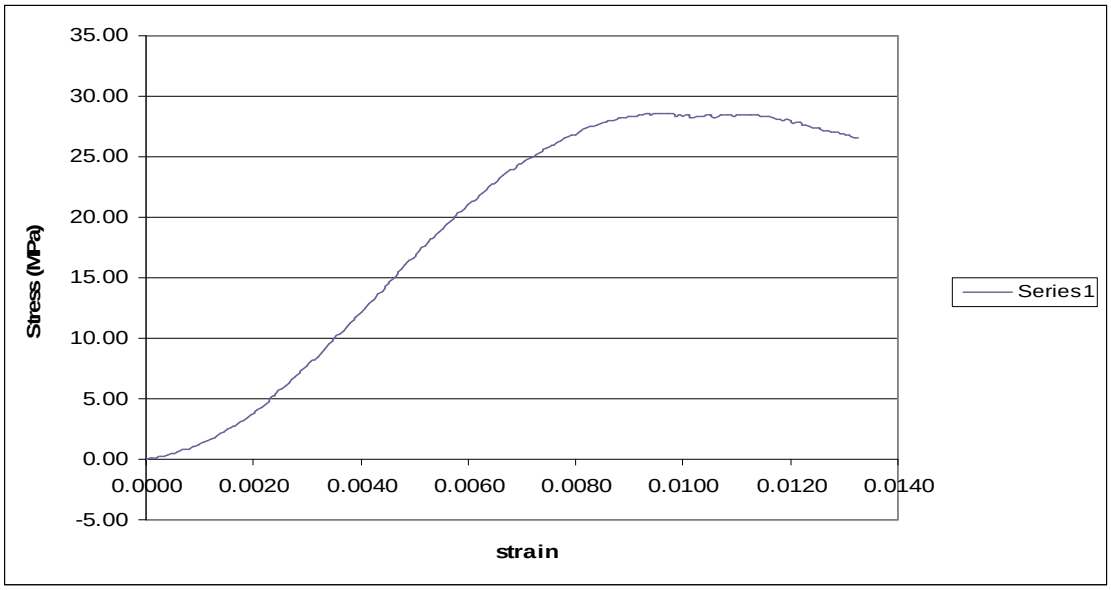
*Εικόνα 8.6.1: Δοκίμιο μετά από καταπόνηση σε θλίψη*

Για να ληφθούν οι μετρήσεις που παρατίθενται στο παράρτημα, περάστηκαν στα ζητούμενα του υπολογιστή οι διαστάσεις των τριών πλευρών του δοκιμίου (σε mm) που θέλουμε να θραύσουμε, όπως επίσης και το βάρος του (σε kg). Έπειτα, σημειώνεται ο αριθμός του δοκιμίου, για να μπορεί έτσι να αναγνωριστεί αργότερα σε ποιο δοκίμιο απευθύνεται το φύλλο εργασίας μας, και τις ημερομηνίες παρασκευής και θραύσης. Εφόσον, λοιπόν, συμπληρωθούν όλα αυτά τα ζητούμενα, το δοκίμιο είναι έτοιμο για τη δοκιμή σε μονοαξονική θλίψη. Πατώντας το κουμπί αποδοχής των δεδομένων που δόθηκαν, ξεκινάει η θραύση του δοκιμίου. Σε διάγραμμα χρόνου – φορτίου, το οποίο εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή, παρατηρείται η θραύση του δοκιμίου. Φαίνεται ότι όσο περνάει ο χρόνος αυξάνεται το φορτίο που ασκείται στο δοκίμιο. Στο μέγιστο της καμπύλης (κορυφή) είναι το σημείο στο οποίο αστοχεί το δοκίμιο.

## 8.7. Υπολογισμοί - παρουσίαση των αποτελεσμάτων

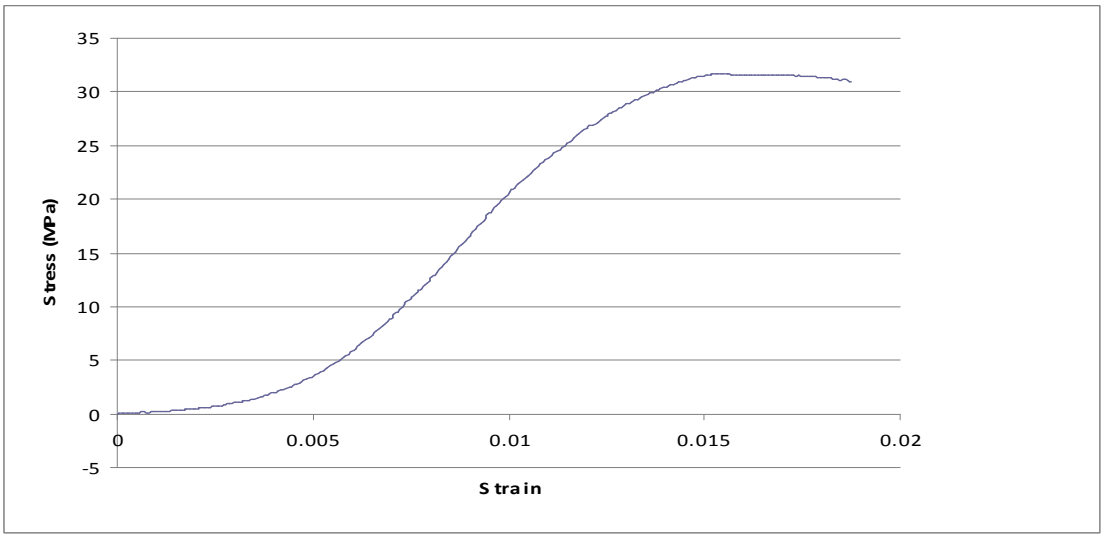
Ακολουθεί μία σειρά από γραφικές παραστάσεις με σκοπό να παρατηρηθεί το σημείο αστοχίας του κάθε δοκιμίου ξεχωριστά, ποια δοκίμια παρουσίασαν το μέγιστο και ποια το ελάχιστο φορτίο θραύσης, που οφείλονται τυχών μη ικανοποιητικές αντοχές και τέλος να εξάγουμε τα συμπεράσματά μας. Αφού έγιναν οι μετρήσεις, που παρατίθενται στο παράρτημα, και μετά από κατάλληλη επεξεργασία αυτών, πραγματοποιήθηκαν οι πιο κάτω γραφικές παραστάσεις. Τα πρώτα τέσσερα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε πόσιμο νερό για 28 ημέρες, εκ των οποίων τα δύο (δοκίμια 1 και 2) έχουν αναλογία τσιμέντου – αδρανώ 1:3, ενώ τα άλλα δύο (δοκίμια 3 και 4) έχουν αναλογία τσιμέντου - αδρανών 1:5,6. Τα υπόλοιπα πέντε δοκίμια τοποθετήθηκαν σε θαλασσινό νερό για 28 ημέρες, εκ των οποίων τα τρία (δοκίμια 5,6 και 7) έχουν αναλογία τσιμέντου - αδρανών 1:3, ενώ τα άλλα δύο (δοκίμια 8 και 9) έχουν αναλογία τσιμέντου - αδρανών 1:5,6.

**Δοκίμιο 1:**



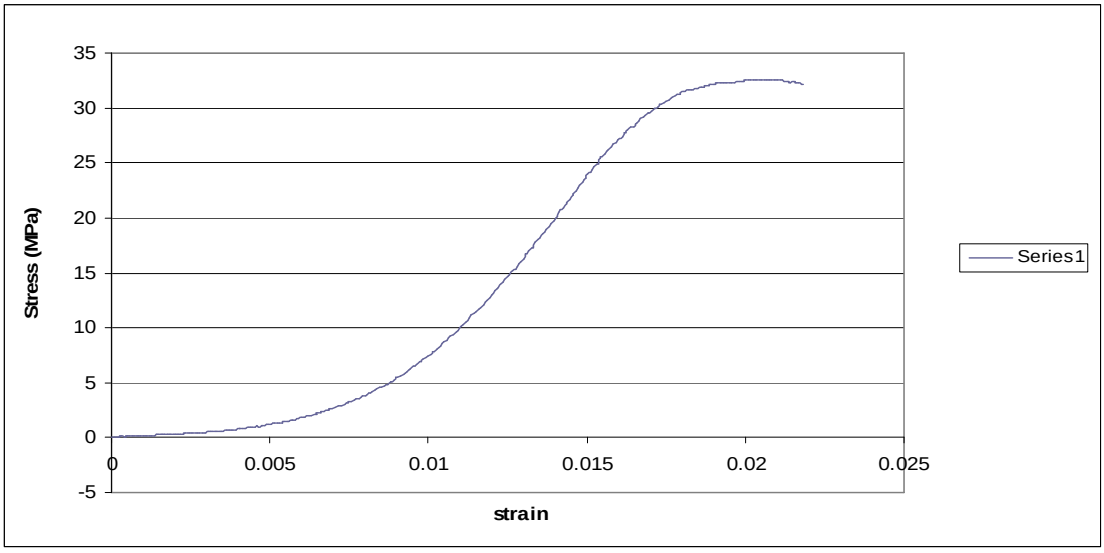

*Διάγραμμα 8.7.1: Αναλογία τσιμέντου - αδρανών 1:3, σε πόσιμο νερό για 28 ημέρες*

**Δοκίμιο 2:**



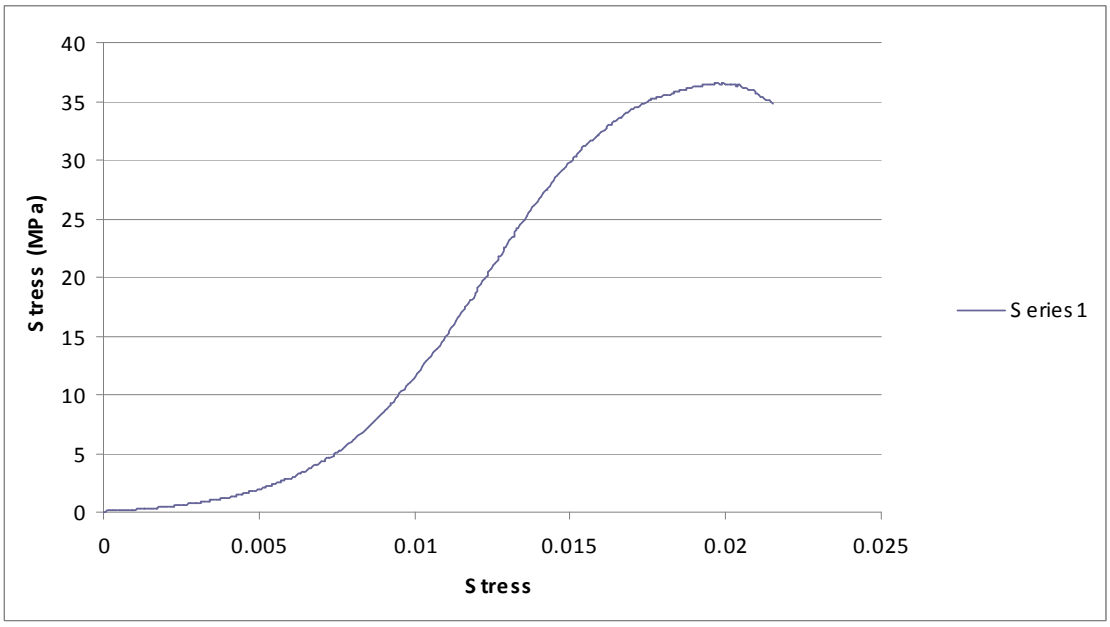

*Διάγραμμα 8.7.2: Αναλογία τσιμέντου - αδρανών 1:3, σε πόσιμο νερό για 28 ημέρες*

**Δοκίμιο 3:**



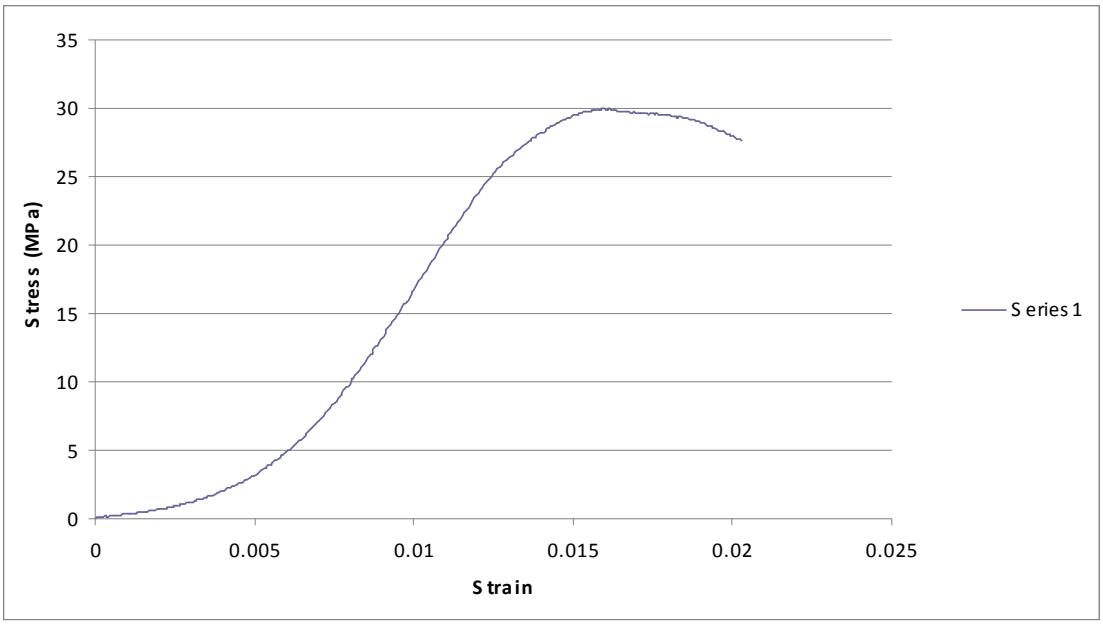

*Διάγραμμα 8.7.3: Αναλογία τσιμέντου - αδρανών 1:5,6, σε πόσιμο νερό για 28 ημέρες*

**Δοκίμιο 4:**



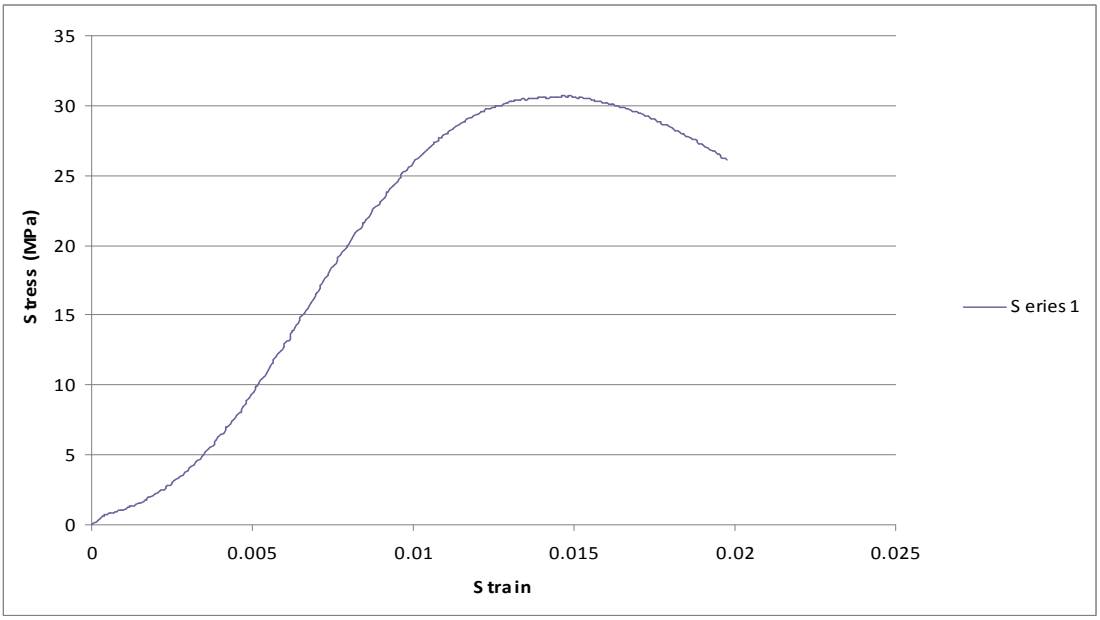

*Διάγραμμα 8.7.4: Αναλογία τσιμέντου - αδρανών 1:5,6, σε πόσιμο νερό για 28 ημέρες*

## Δοκίμιο 5:



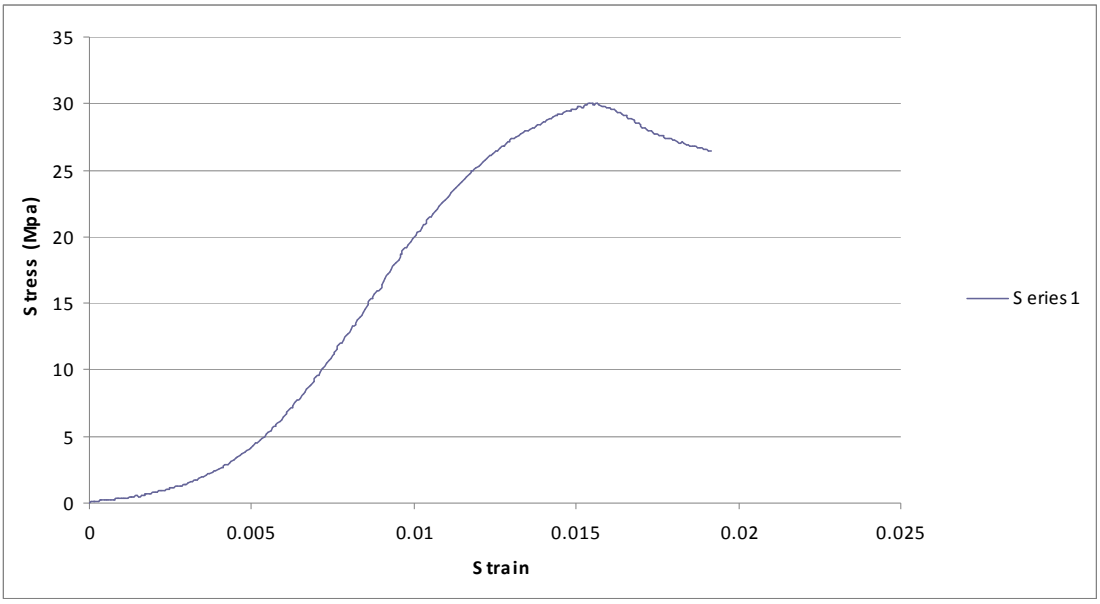

*Διάγραμμα 8.7.5: Αναλογία τσιμέντου - αδρανών 1:3, σε θαλασσινό νερό για 28 ημέρες*

## Δοκίμιο 6:



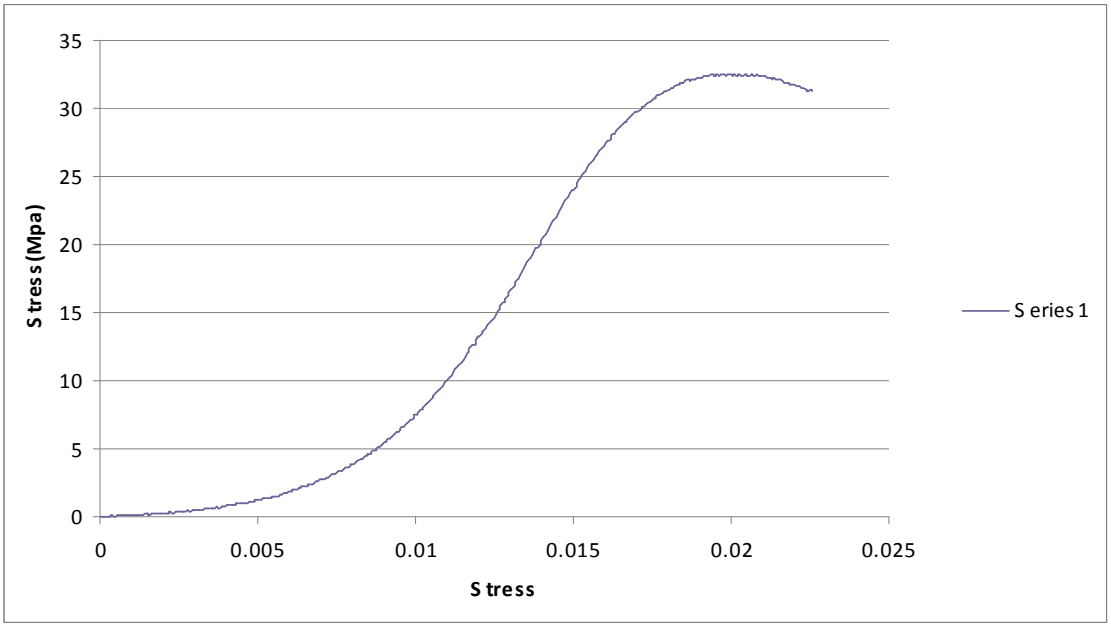

*Διάγραμμα 8.7.6: Αναλογία τσιμέντου - αδρανών 1:3, σε θαλασσινό νερό για 28 ημέρες*

## Δοκίμιο 7:



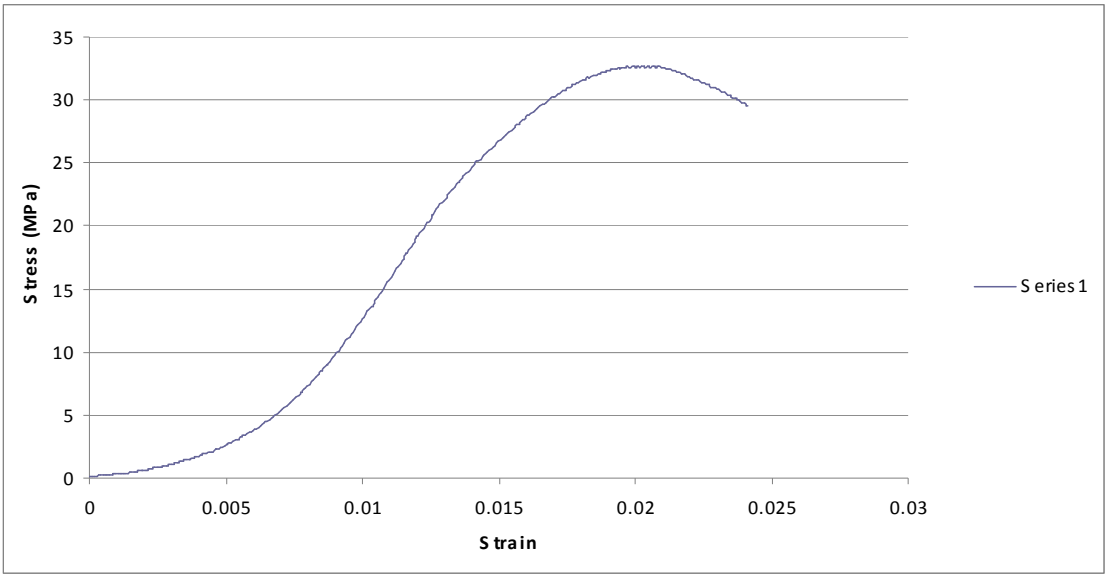

*Διάγραμμα 8.7.7: Αναλογία τσιμέντου - αδρανών 1:3, σε θαλασσινό νερό για 28 ημέρες*

## Δοκίμιο 8:




*Διάγραμμα 8.7.8: Αναλογία τσιμέντου - αδρανών 1:5,6, σε θαλασσινό νερό για 28 ημέρες*

**Δοκίμιο 9:**




*Διάγραμμα 8.7.9: Αναλογία τσιμέντου - αδρανών 1:5,6, σε θαλασσινό νερό για 28 ημέρες*

Στους πίνακες 8.7.10 και 8.7.11 δίνονται οι αντοχές των κυβικών δοκιμίων σε μονοαξονική θλίψη:

**Για 28 ημέρες σε πόσιμο νερό:**

| Δοκίμιο | Αναλογία Τσιμέντου-Αδρανών Υλικών | Αντοχές (Mpa) |
|---|---|---|
| 1 | 1:3 | 28,63 |
| 2 | 1:3 | 31,74 |
| 3 | 1:5,6 | 32,58 |
| 4 | 1:5,6 | 36,50 |

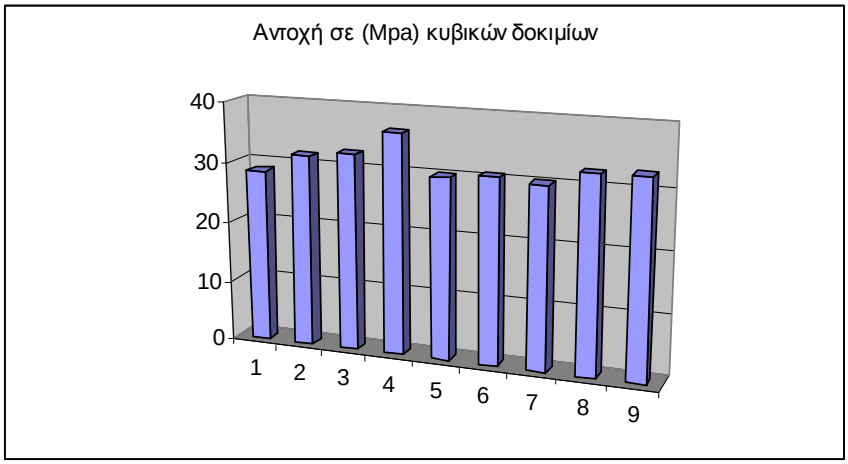
*Πίνακας 8.7.10: Αντοχές των δοκιμίων σε μονοαξονική θλίψη για 28 ημέρες σε πόσιμο νερό*

**Για 28 ημέρες σε θαλασσινό νερό:**

| Δοκίμιο | Αναλογία Τσιμέντου-Αδρανών Υλικών | Αντοχές (Mpa) |
|---|---|---|
| 5 | 1:3 | 29,97 |
| 6 | 1:3 | 30,67 |
| 7 | 1:3 | 30,00 |
| 8 | 1:5,6 | 32,49 |
| 9 | 1:5,6 | 32,69 |

*Πίνακας 8.7.11: Αντοχές των δοκιμίων σε μονοαξονική θλίψη για 28 ημέρες σε θαλασσινό νερό*

Το δοκίμιο 4 φέρει την πιο μεγάλη αντοχή (36,50 Mpa), έχει σχεδόν 4 Mpa διαφορά από το αμέσως επόμενο που είναι το δοκίμιο 9, ενώ το δοκίμιο με την μικρότερη αντοχή είναι το πρώτο. Παρατηρείται, επίσης, ότι υπάρχουν διαφορές μεταξύ των δοκιμίων της ίδιας σειράς. Αυτές οι διαφορές στην αντοχή θραύσης των δοκιμίων της ίδιας σειράς είναι αναμενόμενες και λογικές, δεν μπορεί δηλαδή να δίνουν όλα τα δοκίμια την ίδια ακριβώς αντοχή, αλλά αναμένεται να είναι παρόμοιες. Οι διαφορές στις τιμές μπορεί να οφείλονται σε αρκετούς παράγοντες όπως στο ότι σε κάποια δοκίμια ίσως να δόθηκε περισσότερη προσοχή κατά την παρασκευή τους, μπορεί επίσης να δέχτηκαν περισσότερες δονήσεις κατά τη μεταφορά τους, να μην συμπυκνώθηκαν καλά, να οφείλεται στην ποιότητα των αδρανών υλικών, στην μικρή διαφορά της ορυκτολογίας από δείγμα σε δείγμα, κ.ά.




*Πίνακας 8.7.12: Σύγκριση αποτελεσμάτων αντοχής των δοκιμίων*

## 8.8. Επιτρεπτά όρια

Για τη μελέτη και κατασκευή των έργων χρησιμοποιούνται οι κατηγορίες σκυροδέματος σύμφωνα με το ΚΤΣ-97, όπου ο πρώτος αριθμός κάθε κατηγορίας ορίζει την χαρακτηριστική αντοχή εκφραζόμενη σε MPa που διαπιστώνεται όταν ο έλεγχος γίνεται με κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 15 και ύψους 30cm και ο δεύτερος την χαρακτηριστική αντοχή όταν ο έλεγχος γίνεται με κυβικά δοκίμια ακμής 15cm.

| **Κατηγορία σκυροδέματος** | **$f_{ck}$, κυλ. (MPa)** | **$f_{ck}$, κύβου (MPa)** |
|---|---|---|
| C8/10 | 8 | 10 |
| C12/15 | 12 | 15 |
| C16/20 | 16 | 20 |
| C20/25 | 20 | 25 |
| C25/30 | 25 | 30 |
| C30/37 | 30 | 37 |
| C35/45 | 35 | 45 |
| C40/50 | 40 | 50 |
| C45/55 | 45 | 55 |
| C50/60 | 50 | 60 |

*Πίνακας 8.8.1 : Κατηγορίες σκυροδέματος*

*Πηγή: ΚΤΣ-97*

Στην προκειμένη περίπτωση, τα υπό μελέτη δείγματα βρίσκονται εντός των επιτρεπτών ορίων σύμφωνα με τα ελληνικά, κυπριακά και ευρωπαϊκά πρότυπα, με εξαίρεση το πρώτο δοκίμιο, το οποίο έχει αντοχή 28,63 MPa.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

# ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Η ορυκτολογική σύσταση, τα ιστολογικά χαρακτηριστικά, ο βαθμός εξαλλοίωσης, αποσάθρωσης και παραμόρφωσης, αποτελούν τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν τις φυσικομηχανικές ιδιότητες και συνεπώς την καταλληλότητα των αδρανών υλικών για χρήση τους σε διάφορες εφαρμογές (π.χ. Hartley 1974, Brattli 1992, Smith & Collis 2001, Rigopoulos et al. 2007).

Τα διαβασικά πετρώματα Παρεκκλησιάς είναι ελαφρά μεταμορφωμένα και έχουν υποστεί υδροθερμική εξαλλοίωση. Τα ανωτέρω τεκμηριώνονται από την κοινή παρουσία των ορυκτών ακτινόλιθου και χλωρίτη. Όπως φαίνεται στον πίνακα 6.4.1, σε δείγματα με υψηλή περιεκτικότητα σε ακτινόλιθο παρατηρείται μικρή συγκέντρωση σε χλωρίτη ενώ αντίθετα σε δείγματα με μεγάλες περιεκτικότητες σε χλωρίτη μειώνονται αντίστοιχα οι περιεκτικότητες σε ακτινόλιθο. Η παρουσία του ασβεστούχου ζεολίθου λωμοντίτη είναι αποτέλεσμα της υδροθερμικής εξαλλοίωσης των πλούσιων σε ασβέστιο πλαγιόκλαστων όπως είναι ο ανδεσίνης και το λαβραδόριο, τα οποία εξαλλοιώθηκαν σε αλβίτη έως ολιγόκλαστο, που είναι πλούσια σε νάτριο και φτωχότερα σε ασβέστιο, πλαγιόκλαστα. Το ασβέστιο που απελευθερώθηκε κατά τη διαδικασία αυτή οδήγησε στο σχηματισμό του ασβεστούχου ζεολίθου λωμοντίτη.

Οι αντοχές των κυβικών δοκιμίων σκυροδέματος κυμαίνονται από 28,63 – 36,5 MPa για διάστημα 28 ημερών. Επιπρόσθετα, το γεγονός ότι για την παραμονή των δοκιμίων μας το ίδιο χρονικό διάστημα, σε θαλασσινό νερό, δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες διαφορές στις αντοχές τους, από αυτές των δοκιμίων που βρίσκονταν για το ίδιο διάστημα, σε πόσιμο νερό.

Οι αντοχές των δοκιμίων με την αναλογία τσιμέντου - αδρανών 1:5,6 είναι υψηλότερες από αυτές που έχουν αναλογία 1:3. Από τα αποτελέσματά μας συμπεραίνουμε ότι η μελέτη σύνθεσης που έγινε από την «Τσιμεντοβιομηχανία Βασιλικού» με αναλογία τσιμέντου - αδρανών 1:5,6 και έχει καλύτερα αποτελέσματα από την μελέτη σύνθεσης με αναλογίες τσιμέντου - αδρανών 1:3.

Συνεκτιμώντας την ορυκτολογική σύσταση και το βαθμό εξαλλοίωσης των ορυκτών φάσεων των διαβασικών πετρωμάτων Παρεκκλησιάς Κύπρου, τις τιμές δείκτη L.A. και A.I.V., καθώς και τα αποτελέσματα των αντοχών των δοκιμίων σκυροδέματος σε μονοαξονική θλίψη, συμπεραίνεται ότι τα αδρανή υλικά των διαβασικών πετρωμάτων θεωρούνται κατάλληλα για την παραγωγή υψηλής ποιότητας θραυστών αδρανών υλικών για την κατασκευή σκυροδεμάτων.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ


1. Αλεβίζος Γ., «Σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος *Μικροσκοπία Ορυκτών Πρώτων Υλών Και Τεχνητών Προϊόντων»,* Χανιά, 2005

2. Αγιουτάντης Ζ., «Στοιχεία Γεωμηχανικής – Μηχανική Πετρωμάτων» Εκδόσεις ΙΩΝ, Χανιά, 2002

3. Βιάζης Γ. Α., «Σκυρόδεμα», Θεσσαλονίκη, 2000

4. Βιδάκης Ε., Παπατρέχας Χ., «Για την καταλληλότητα των πετρωμάτων ως αδρανών υλικών ειδικών χρήσεων (αντιολισθηρά υλικά – σκύρα υλικά σιδηροδρομικών γραμμών) στην περιοχή *Ντριμάρι* κοινότητας Καλαμακίου του Ν. Φθιώτιδας», ΙΓΜΕ, Αθήνα, 1998

5. ΕΛΟΤ 408, *Σχέδιο Ελληνικού Προτύπου ΕΛΟΤ 408,* «Θραυστά αδρανή για συνήθη σκυροδέματα»

6. ΕΛΟΤ ΕΝ 12620, «Αδρανή για Παρασκευή τσιμεντοσκυροδέματος συμπεριλαμβανομένων αυτών που χρησιμοποιούνται σε οδούς και οδοστρώματα», 2002

7. ΕΛΟΤ ΕΝ 13242, «Αδρανή για βάσεις και υποβάσεις σταθεροποιημένες ή με μη υδραυλικές κονίες για χρήση σε έργα πολιτικού μηχανικού και την κατασκευή δρόμων», 2003

8. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, «Γνωμάτευση υπ. αρ. 6480», *Ορυκτολογική – Πετρογραφική μελέτη τριών προσκομισθέντων* δειγμάτων, Αθήνα, 2007

9. Καζακόπουλος Α., «Ολισθηρότητα οδών και αντιολισθηρών κατασκευών», Συν. ΤΕΕ Κεντρικής Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, 1992

10. Κορωναίος Γ. Αιμ., Πουλάκος Ι. Γ., «Τεχνικά Υλικά», Τόμος 4, Αθήνα, 2006

11. Λοϊζος Α., Πραπίδης Μ., Σταμουλάκης Γ., Σιαμόπουλος Γ., «Συμβολή για την αξιοποίηση νέων πηγών σκληρών αδρανών στο πλαίσιο της κατασκευής αντιολισθηρών ασφαλτικών οδοστρωμάτων», 2$^{o}$ Πανελλήνιο Συνέδριο Ασφαλτικών Μιγμάτων και Οδοστρωμάτων, 1996

*12.* Μαρσέλλο Ν., «Νέος κανονισμός τεχνολογίας σκυροδέματος (ΚΤΣ – 97)», *Εκπαιδευτικά Σεμινάρια*, Εκδόσεις Π Systems International ΑΕ, Αθήνα, 1997

13. Μουρατίδης Α., Πραπίδης Μ., Παπαβασιλείου & Καζακόπουλος Α., «Σύνταξη οδηγιών χρήσης σκληρών αδρανών για κατασκευή ασφαλτοταπήτων», *Προσδιορισμός θέσεων λατομείων σκληρών και μη αδρανών υλικών*, Εγνατία Α.Ε., Θεσσαλονίκη, 1998

*14.* Μπούμπα Κ., «Η επίδραση της παιπάλης στην ποιότητα του σκυροδέματος», *Διπλωματική Εργασία*, Χανιά, 2008

*15.* Νικολαϊδης Α., Colwill D., Woodside A., Lafon J. F., «Αντιολισθηρές στρώσεις για την Εγνατία Οδό Α.Ε.», Εγνατία Α.Ε., Θεσσαλονίκη, 1999

*16.* Νικολαϊδης Α., Colwill D., Woodside A., Lafon J. F., «Αντιολισθηρές στρώσεις για την Εγνατία Οδό Α.Ε.», Εγνατία Α.Ε., Θεσσαλονίκη, 1999

*17.* Νταμπίτζιας Σ., Χρυσοστομίδης Π., Μάλτζαρης Φ., Νυμφόπουλος Μ., Σταϊκόπουλος Γ., Απόστολου Ν., Κουγκούλης Χ., Ηλιάδης Α., «Εντοπισμός και αξιολόγηση των σκληρών αδρανών πετρωμάτων την Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας», ΠΜΚΜ – ΙΓΜΕ, Θεσσαλονίκη, 1999

*18.* Νταμπίτζιας Σ., Βεράνης Ν., Χρυσοστομίδης Π., Νυμφόπουλος Μ., Θεοδωρούσης Α., Ηλιάδης Α., Επιτρόπου Ν., Βουγιούκας Δ., Ράσσιου Α., Παλαιόκωστας Γ., Καραντάση Σ., «Έρευνα λατομικών περιοχών σκληρών αδρανών κατά μήκος της Εγνατίας Οδού, ΠΜΚΜ – ΙΓΜΕ, Θεσσαλονίκη, 2001

19. Νταμπίτζιας Σ., Χρυσοστομίδης Π., Μάλτζαρης Φ., Καρατάσου Ε., «Σκληρά αδρανή στον Ελληνικό χώρο – Πετρολογικοί τύποι και ορυκτολογικά ιστολογικά χαρακτηριστικά», *Ημερίδα: Αδρανή πετρώματα και δομικοί λίθοι*, Επιτροπή Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας, Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη, 2003

*20.* Παλαιόκωστας Γ., Βεράνης Ν., «Πρόδρομη έκθεση για τα σκληρά αδρανή πετρώματα για τους αντιολισθηρούς τάπητες και σκύρα σιδηροδρομικής γραμμής – Το κοίτασμα σκληρών αδρανών από βασάλτη – διάβαση στην περιοχή Λυκοπήγαδα Λαγκαδακίων του Ν. Γρεβενών», ΙΓΜΕ – ΠΜΔΜ, Κοζάνη, 1998

21. Παπαγιάννη Ι., «Σημειώσεις τεχνολογίας σκυροδέματος», Θεσσαλονίκη, 1990

*22.* Πενέλης Γ., Στυλιανίδης Κ., Κάππος Α., Ιγνατάκης Χ., «Κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα», Θεσσαλονίκη, 1995

*23.* Ρηγόπουλος Ι., Πομώνης Π., Τσικούρας Β., Χατζηπαναγιώτου Κ., «Διερεύνηση καταλληλότητας βασικών οφιολιθικών πετρωμάτων της περιοχής Μικροκλεισούρας Γρεβενών για χρήση τους ως αντιολισθηρών αδρανών και σκύρων βάσης σιδηροτροχιών», *2$^{ο}$ Συνέδριο της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας & Γεωχημείας*, Θεσσαλονίκη, 2005

*24.* Στεφάνου Ιάκωβος, Εργασία «Τσιμέντο» που εκπονήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος *Τεχνολογία Δομικών και Αδρανών Υλικών*, Χανιά, 2008

25. Τσακαλάκης Κ., «Σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος *Τεχνολογία Παραγωγής Τσιμέντου Και Σκυροδέματος*», Αθήνα, 2007

26. Τσούτσικα Π., Σολδάτος Τ., Τσιραμπίδης Α., Κορωναίος Α., *Τ.Ε.Ε.*, Οκτώβριος, 2005

*27.* Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης, «Δελτίο Αρ.10 *Η Γεωλογία της Κύπρου*», Λευκωσία, 2002

*28.* Χρυσοβελίδου Δ., «Το νέο Ευρωπαϊκό Πρότυπο αδρανών σκυροδέματος ΕΝ 12620», Αθήνα, 2004

*29.* Graf O., «Η σύνθεσις του κονιάσματος και του σκυροδέματος», Εκδόσεις Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Αθήνα, 1934

*30.* Hubert R., «Οπλισμένον και προεντεταμένον σκυρόδεμα», Εκδόσεις Γκιούρδας Μ. (1$^{η}$ γερμανική έκδοση), *Ιδιότητες των υλικών και μέθοδοι διαστασιολογήσεως*, Μετάφραση Δ. Πέντζας

*31.* Wendehorst, «Δομικά Υλικά», Εκδόσεις Μ. Γκιούρδας (2$^{η}$ Έκδοση), Αθήνα, 2003

*32.* William D. Callister, «Επιστήμη και Τεχνολογία Των Υλικών», Εκδόσεις Τζιόλα (5$^{η}$ Έκδοση), Αθήνα, 2004

# Ιστογραφία


- http://www.vassiliko.com
- http://www.ntua.gr
- http://www.tee.gr
- http://www.titan.com
- http://www.hcia.com
- http://papadiotis.8m.com
- http://www.skyrodemanet.gr/Tefxos4/Subject4 8.htm
- http://www.civil.auth.gr
- http://www.latomiki.gr
- http://www.ypodomi.gr
- http://www. ekepy.gr
- http://www.teithe.gr
- http://www.moa.gov.cy/mines

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## Α. Δοκιμές που απαιτούνται για τον καθορισμό των επιπέδων ορισμένων προϊόντων δομικών κατασκευών

| Α/Α | ΙΔΙΟΤΗΤΑ | ΔΟΚΙΜΗ | ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ-ΠΡΟΤΥΠΟ CYS EN | ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ-ΠΡΟΤΥΠΟ CYS EN | ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Σχήμα αδρανών | Flakiness index | 933-3:1997 | 12620:2002 | Μια φορά το μήνα |
| | | | | 13043:2002 | Μια φορά το μήνα |
| | | | | 13139:2002 | — |
| | | | | 13242:2002 | Μια φορά το μήνα για χοντρά αδρανή |
| 2 | Μέγεθος αδρανών | Κοκκομετρική ανάλυση | 933-1:1997 | 12620:2002 | Μια φορά τη βδομάδα |
| | | | | 13043:2002 | Μια φορά τη βδομάδα |
| | | | | 13139:2002 | Μια φορά τη βδομάδα |
| | | | | 13242:2002 | Μια φορά τη βδομάδα |
| 3 | Πυκνότητα αδρανών | Πυκνότητα μορίων και απορρόφηση ύδατος | 1097-6:2000 | 12620:2002 | Μια φορά το χρόνο |
| | | | | 13043:2002 | Μια φορά στα δύο χρόνια |
| | | | | 13139:2002 | Όταν απαιτείται ή σε περίπτωση αμφιβολίας |
| | | | | 13242:2002 | Μια φορά το χρόνο |
| 4 | Περιεκτικότητα σε παιπάλη | Κοκκομετρική ανάλυση | 933-1:1997 | 12620:2002 | Μια φορά τη βδομάδα |
| | | | | 13043:2002 | Μια φορά τη βδομάδα |
| | | | | 13139:2002 | Μια φορά τη βδομάδα εάν είναι απαραίτητο |
| | | | | 13242:2002 | Μια φορά τη βδομάδα |
| 5 | Ποιότητα παιπάλης | Ισοδύναμο άμμου Methylene blue | 933-8:1999<br>933-9:1999 | 12620:2002 | Όταν απαιτείται μια φορά τη βδομάδα |
| | | | | 13043:2002 | Δύο το χρόνο |
| | | | | 13139:2002 | Μια φορά τη βδομάδα εάν είναι απαραίτητο |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 13242:2002 | Μια φορά τη βδομάδα |
| **6** | Αντοχή σε κατακερματισμό | Los Angeles | 1097-2:1997 | 12620:2002 | Μόνο για σκυρόδεμα υψηλής αντοχής, μια φορά το χρόνο |
| | | | | 13043:2002 | Μια φορά το χρόνο |
| | | | | 13139:2002 | — |
| | | | | 13242:2002 | Δύο φορές το χρόνο |
| **7** | Αντοχή σε ολισθηρότητα | | 1097-8:2000 | 12620:2002 | Εάν τοποθετείται ως επιφάνεια κύλισης μια φορά στα δυο χρόνια |
| | | | | 13043:2002 | Μία φορά το χρόνο μόνο υλικά της στρώσης κύλισης |
| | | | | 13139:2002 | — |
| | | | | 13242:2002 | — |
| **8** | Περιεκτικότητα σε χλώριο | | 1744-1:1998 | 12620:2002 | Μια φορά στα δύο χρόνια |
| | | | | 13043:2002 | — |
| | | | | 13139:2002 | Μια φορά στα δύο χρόνια |
| | | | | 13242:2002 | — |
| **9** | Θειικά διαλυτά σε οξύ | | 1744-1:1998 | 12620:2002 | — |
| | | | | 13043: 2002 | — |
| | | | | 13139:2002 | Μία φορά το χρόνο ή σε περίπτωση αμφιβολίας |
| | | | | 13242:2002 | — |
| **10** | Συνολική περιεκτικότητα θείου | | 1744-1:1998 | 12620:2002 | — |
| | | | | 13043: 2002 | — |
| | | | | 13139:2002 | Μία φορά το χρόνο ή σε περίπτωση αμφιβολίας |
| | | | | 13242:2002 | — |
| **11** | Απορροφητικότητα σε νερό | Πυκνότητα μορίων και απορρόφηση ύδατος | 1097-6:2000 | 12620:2002 | Μια φορά το χρόνο |
| | | | | 13043: 2002 | Μια φορά στα δύο χρόνια |
| | | | | 13139:2002 | Όταν απαιτείται ή σε περίπτωση αμφιβολίας |
| | | | | 13242:2002 | Μια φορά το χρόνο |
| **12** | Αντοχή σε ψύξη απόψυξη | SOUNDNESS | 1367-2:2000 | 12620:2002 | Μια φορά στα δύο χρόνια |
| | | | | 13043: 2002 | Μια φορά στα δύο χρόνια |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 13139:2002 | Όταν απαιτείται ή σε περίπτωση αμφιβολίας |
| | | | | 13242:2002 | Μια φορά στα δύο χρόνια |
| **13** | Ποσοστό θραυστών επιφανειών χονδρών αδρανών | | 933-5:1998 | 12620:2002 | — |
| | | | | 13043: 2002 | Μια φορά το μήνα |
| | | | | 13139:2002 | — |
| | | | | 13242:2002 | Μια φορά το μήνα |

## Β. Ευρωπαϊκά Πρότυπα για έλεγχο ιδιοτήτων των αδρανών

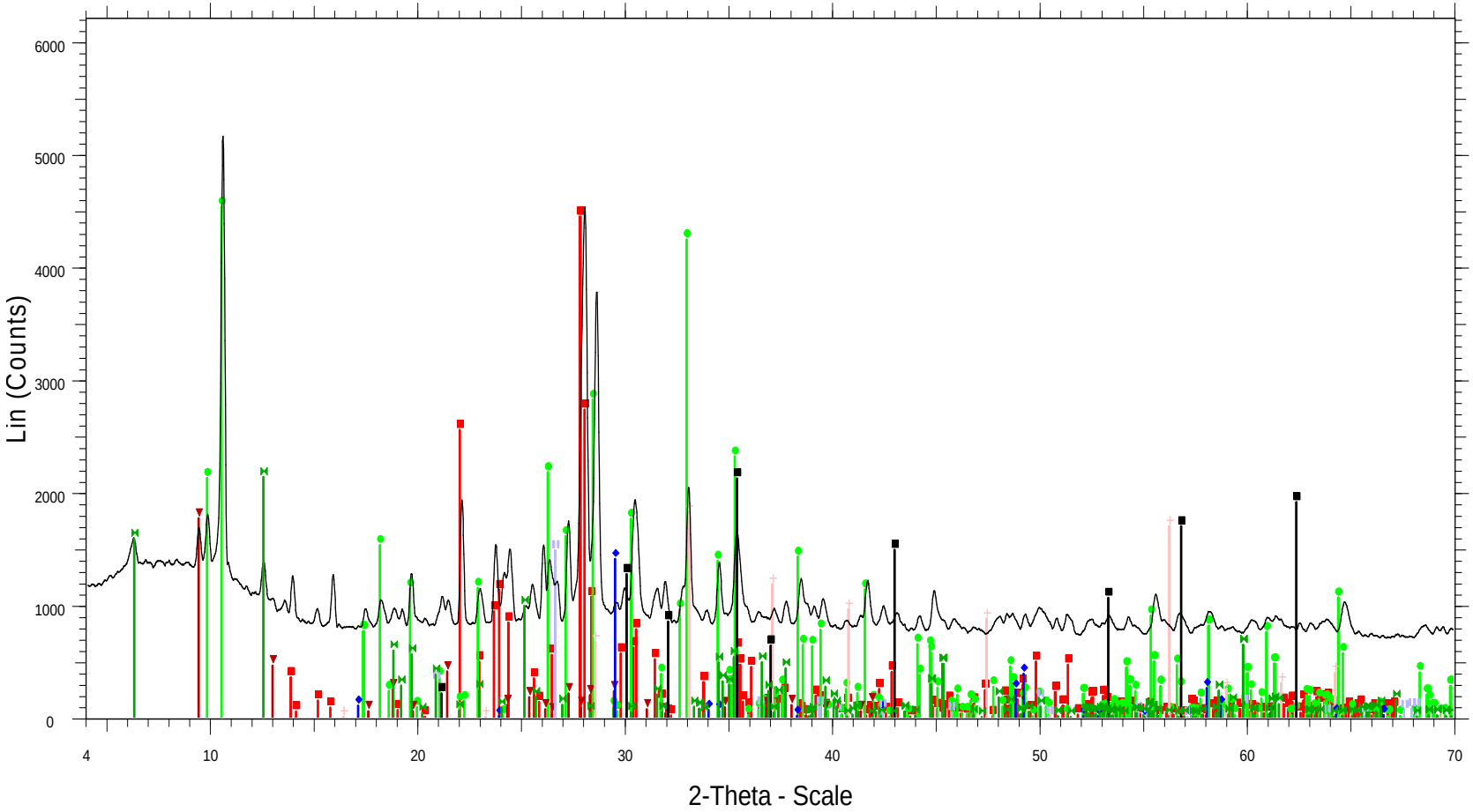
**EN 932-1:1996**
Tests for general properties of aggregates - Part 1: Methods for sampling
**EN 932-2:1999**
Tests for general properties of aggregates - Part 2: Methods for reducing laboratory samples
**EN 932-3:1996**
Tests for general properties of aggregates - Part 3: Procedure and terminology for simplified petrographic description
**EN 932- 5: 1999**
Tests for general properties of aggregates - Part 5: Common equipment and calibration
**EN 932- 6: 1999**
Tests for general properties of aggregates - Part 6: Definitions of repeatability and reproducibility
**EN 933-1:1997**
Tests for geometrical properties of aggregates - Part 1: Determination of particle size distribution - Sieving method
**EN 933-2:1995**
Tests for geometrical properties of aggregates - Part 2: Determination of particle size distribution - Test sieves, nominal size of apterures
**EN 933-3:1997**
Tests for geometrical properties of aggregates - Part 3: Determination of particle shape - Flakiness index
**EN 933- 4: 1999**
Tests for geometrical properties of aggregates - Part 4: Determination of particle shape - Shape index
**EN 933-5:1998**
Tests for geometrical properties of aggregates - Part 5: Determination of percentage of crushed and broken surfaces in coarse aggregate particles
**EN 933-6:2001**
Tests for geometrical properties of aggregates - Part 6: Assessment of surface characteristics - Flow coefficient of aggregates
**EN 933- 7: 1999**
Tests for geometrical properties of aggregates - Part 7: Determination of shell content - Percentage of shells in coarse aggregates
**EN 933- 8: 1999**
Test for geometrical properties of aggregates - Part 8: Assessment of fines – Sand equivalent test
**EN 933-9:1998**
Tests for geometrical properties of aggregates - Part 9: Assessment of fines - Methylene blue test
**EN 933-10:2001**
Tests for geometrical properties of aggregates - Part 10: Assessment of fines -

Grading of fillers (air jet sieving)
**EN 1097-1:1996**
Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 1: Determination of the resistance to water (micro-Deval)
**EN 1097-2:1998**
Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation
**EN 1097-3:1998**
Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 3: Determination of loose bulk density and voids
**EN 1097- 4: 1999**
Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 4: Determination of the voids of dry compacted filler
**EN 1097- 5: 1999**
Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 5: Determination of the water content by drying in a ventilated oven 99
**EN 1097-6: 2000**
Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 6: Determination of particle density and water absorption
**EN 1097- 7: 1999**
Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 7: Determination of the particle density of filler - Pyknometer method
**EN 1097- 8: 1999**
Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 8: Determination of the polished stone value
**EN 1097-9:1998**
Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 9: Determination of the resistance to wear by abrasion from studded tyres - Nordic test
**EN 1367- 1: 1999**
Tests for thermal and weathering properties of aggregates - Part 1: Determination of resistance to freezing and thawing
**EN 1367-2:1998**
Tests for thermal and weathering properties of aggregates - Part 2: Magnesium sulfate test
**EN 1367-3:2001**
Tests for thermal and weathering properties of aggregates - Part 3: Boiling test for "Sonnenbrand basalt"
**EN 1367-4:1998**
Tests for thermal and weathering properties of aggregates - Part 4: Determination of drying shrinkage
**EN 1744-1:1998** Tests for chemical properties of aggregates - Part 1: Chemical analysis

## Γ. Κανονισμοί – Πρότυπα για το Σκυρόδεμα

- Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος ΚΤΣ-97 (ΦΕΚ 315/Β/17-4-97), καθώς και τα σχέδια προτύπων ΕΛΟΤ και οι ειδικές προδιαγραφές ΣΚ του ΚΕΔΕ/ΥΠΕΧΩΔΕ στις οποίες αυτός παραπέμπει.
- Κανονισμός Τσιμέντων (Π.Δ. 244/29-2-80 ΦΕΚ 69Α/23-3-80).
- ΕΛΟΤ ΕΝ 197-1:2000 Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για τα κοινά τσιμέντα.
- Τσιμέντα για την κατασκευή έργων από σκυρόδεμα ΦΕΚ 917/Β/17-7-01.
- Ελληνικός Κανονισμός για τη Μελέτη και Κατασκευή Έργων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα ΕΚΩΣ 2000 (ΦΕΚ Β’1329/6-11-2000).
- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός ΕΑΚ 2000 (ΦΕΚ 2184/Β/20-12-99).
- Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμένου Σκυροδέματος ΚΤΧ 2000 (ΦΕΚ 381/Β/24-3-2000).
- Κανονισμός διενέργειας ελέγχου ποιότητας υλικών και έργων (ΦΕΚ 332/Β/28-03-01).
- DIN 1045/ DIN 1048 για οπλισμένο σκυρόδεμα
- DIN 1045/ DIN 1047 για άοπλο σκυρόδεμα.
- DIN 4226 για τα αδρανή.

# Δ. Ακτινοδιαγράμματα ορυκτολογικής ανάλυσης




ARXIKO - File: d8080427.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 °- End: 70.006 °- Step: 0.019 °- S t 01-070-2517 (U) - Quartz low - theoretical - SiO2

01-076-0926 (C) - Albite calcian low - (Na0.75Ca0.25)(Al1.26Si2.74O8)

01-080-0521 (C) - Actinolite - Ca2(Mg,Fe)5Si8O22(OH)

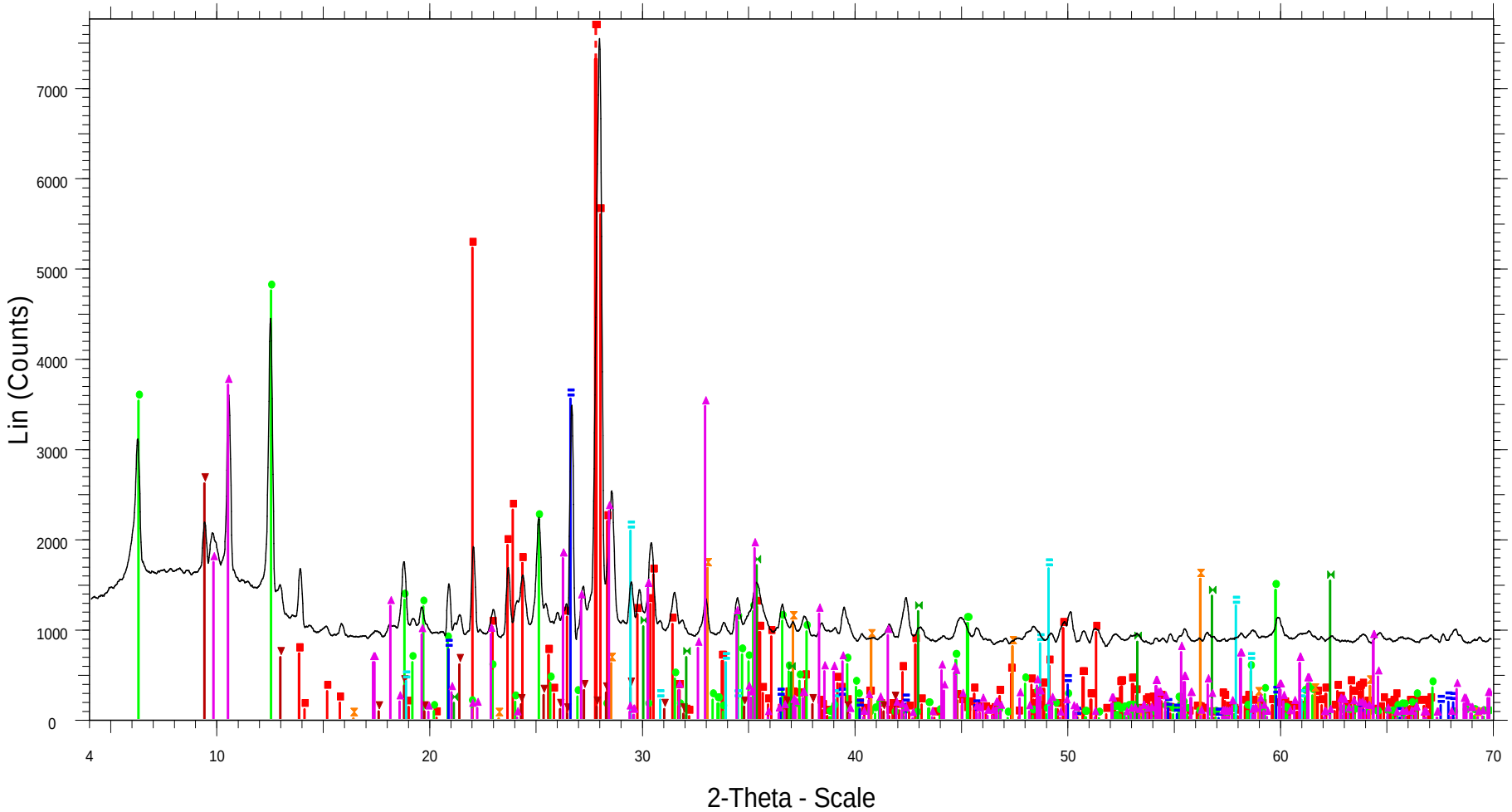
00-046-1389 (*) - Laumontite - Ca4Al8Si16O48·14H2O

01-079-1270 (C) - Clinochlore - (Mg2.96Fe1.55Fe.136Al1.275)(Si2.622Al1.376O10)(OH)8

01-071-1680 (C) - Pyrite - FeS2

00-002-1035 (D) - Magnetite - Fe3O4

01-074-1737 (C) - Chalcopyrite - CuFeS2




4-10 - File: d8080429.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 °- End: 70.006 °- Step: 0.019 °- Ste p t

01-070-2517 (U) - Quartz low - theoretical - SiO2

01-076-0926 (C) - Albite calcian low - (Na0.75Ca0.25)(Al1.26Si2.74O8)

01-079-1270 (C) - Clinochlore - (Mg2.96Fe1.55Fe.136Al1.275)(Si2.622Al1.376O10)(OH)8

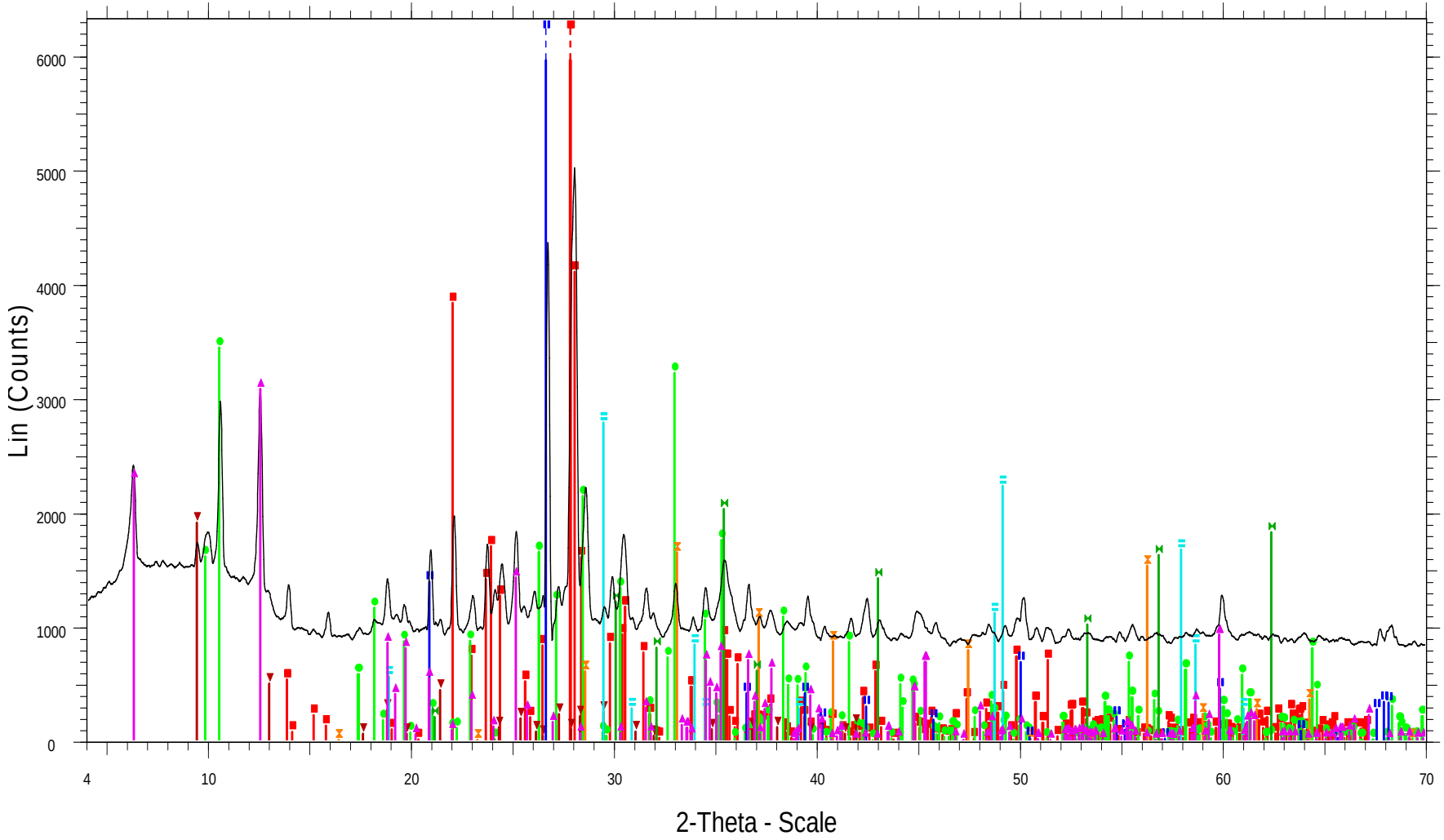
01-080-0521 (C) - Actinolite - Ca2(Mg,Fe)5Si8O22(OH)

00-046-1389 (*) - Laumontite - Ca4Al8Si16O48·14H2O

01-071-1680 (C) - Pyrite - FeS2

00-002-1035 (D) - Magnetite - Fe3O4

00-025-0288 (D) - Chalcopyrite - CuFeS2




8-20 - File: d8080428.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 °- End: 70.006 °- Step: 0.019 °- Ste p t 01-070-2517 (U) - Quartz low - theoretical - SiO2

01-076-0926 (C) - Albite calcian low - (Na0.75Ca0.25)(Al1.26Si2.74O8)

01-080-0521 (C) - Actinolite - Ca2(Mg,Fe)5Si8O22(OH)

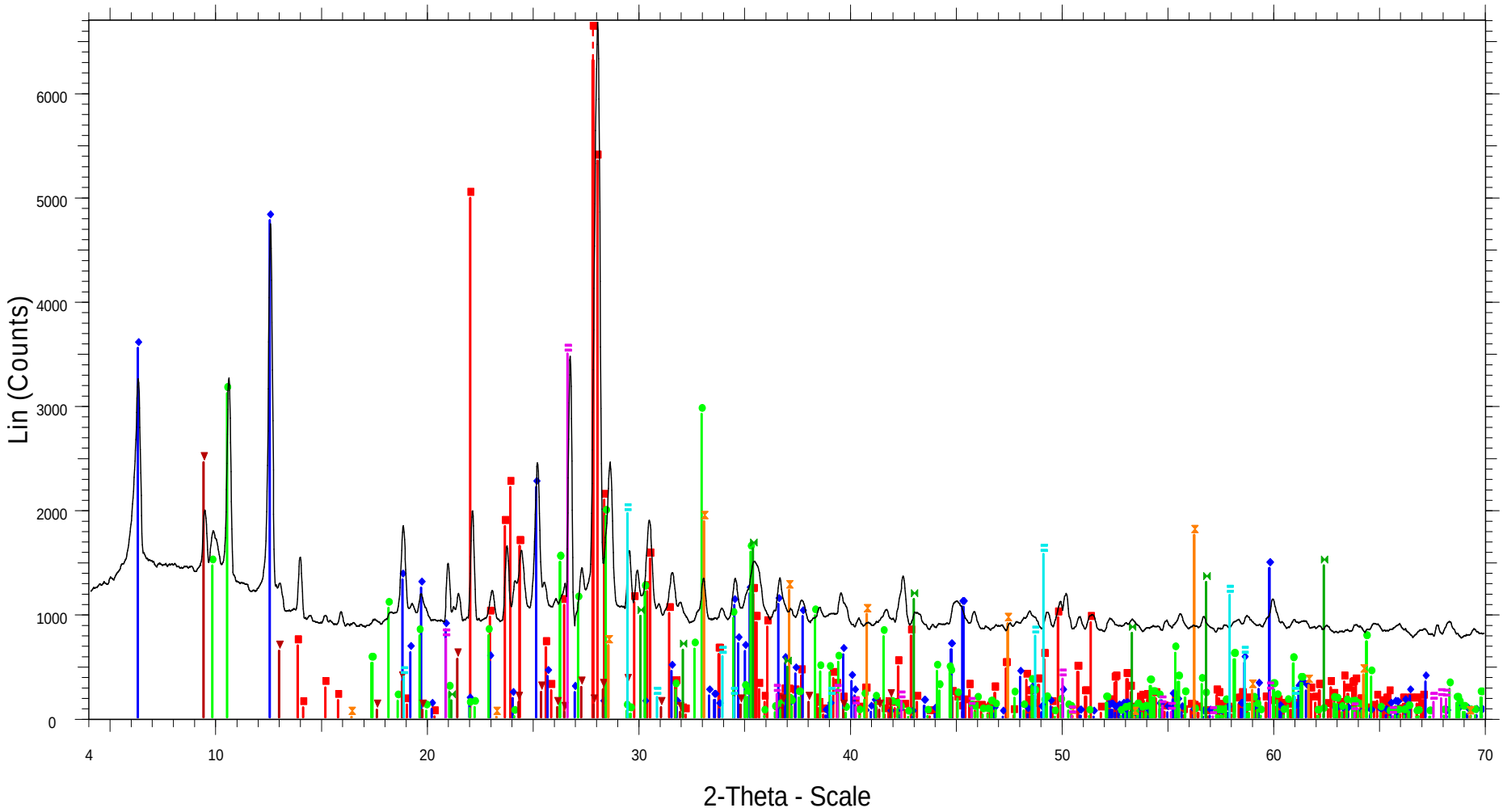
01-079-1270 (C) - Clinochlore - (Mg2.96Fe1.55Fe.136Al1.275)(Si2.622Al1.376O10)(OH)8

00-046-1389 (*) - Laumontite - Ca4Al8Si16O48·14H2O

01-071-1680 (C) - Pyrite - FeS2

00-002-1035 (D) - Magnetite - Fe3O4

00-025-0288 (D) - Chalcopyrite - CuFeS2




0-4 - File: d8080430.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 °- End: 70.006 °- Step: 0.019 °- Step ti

01-070-2517 (U) - Quartz low - theoretical - SiO2

01-076-0926 (C) - Albite calcian low - (Na0.75Ca0.25)(Al1.26Si2.74O8)

01-079-1270 (C) - Clinochlore - (Mg2.96Fe1.55Fe.136Al1.275)(Si2.622Al1.376O10)(OH)8

01-080-0521 (C) - Actinolite - Ca2(Mg,Fe)5Si8O22(OH)

00-046-1389 (*) - Laumontite - Ca4Al8Si16O48·14H2O

01-071-1680 (C) - Pyrite - FeS2

00-002-1035 (D) - Magnetite - Fe3O4

00-025-0288 (D) - Chalcopyrite - CuFeS2

# ΛΕΞΙΚΟ ΟΡΩΝ - GLOSSARY

| | |
|---|---|
| Αδρανή | Aggregates |
| Τσιμέντο | Cements |
| Πρόσθετα | Admixtures |
| Σκυρόδεμα | Concrete |
| Τεχνολογία Σκυροδέματος | Concrete technology |
| Κανονισμός | Regulation |
| Παραγωγή | Production |
| Μεταφορά | Transportation |
| Άντληση | Pumping |
| Διάστρωση | Placement |
| Συμπύκνωση | Consolidation |
| Δόνηση | Vibration |
| Συντήρηση | Curing |
| Αφαίρεση Ξυλοτύπων | Forms stricking off |
| Ξυλότυπος | Forms, shuttering |
| Δοκιμή | Test |
| Προδιαγραφή | Specification |
| Δοκίμιο | Specimen |
| Δείγμα | Sample |
| Κάθιση | Slump |
| Εργασιμότητα | Workability |
| Εξάπλωση | Flow |
| Συνεκτικότητα | Consistency |
| Υπερ – ρευστοποιητικό | Super plasticizer |
| Επιβραδυντικό | Retarder |
| Αερακτικό | Air entraining agent |
| Μεμβράνη συντήρησης | Curing membrane |
| Επισκευή | Repair |
| Κυψελωτό (σκυρόδεμα) | Honey combing (concrete) |
| Αντοχή | Strength |
| Θλιπτική αντοχή | Compressive strength |
| Εφελκυστική αντοχή | Tensile strength |
| Καμητική αντοχή | Flexural strength |
| Ανθεκτικότητα | Durability |
| Αναμικτήρας | Mixer |
| Αναμικτήρας σε Αυτοκίνητο | Truck mixer |
| Δυναμοκυψέλες | Load cells |
| Μελέτη συνθέσεως | Mix Design |
| Περιεκτικότητα σε τσιμέντο | Cement content |
| Ποινές | Penalties |
| Κινούμενος μέσος όρος | Moving average |

| | |
|---|---|
| Ρωγμές | Cracks |
| Ρευστοποιημένο σκυρόδεμα | Flowing concrete |
| Αυτοεπιπεδούμενο σκυρόδεμα | Self leveling concrete |
| Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα | Self compacting concrete |
| Κυλινδρούμενο σκυρόδεμα | Roller compacted concrete |
| Οδοστρώματα από σκυρόδεμα | Concrete pavement |
| Άκαμπτα οδοστρώματα | Rigid pavements |
| Εργαστήριο | Laboratory |
| Έλεγχος ποιότητος | Quality control |
| Διασφάλιση ποιότητος | Quality Assurance |
| Διαχείριση ποιότητος | Quality Management |
| Διακρίβωση | Calibration |
| Τυποποίηση | Standardization |
| Πιστοποίηση | Certification |
| Διαπίστευση | Accreditation |
| Επιθεώρηση | Inspection, Audit |
| Αξιολόγηση | Assessment |
| Πρώτες ύλες | Raw materials |
| Καρωτά | Cores |
| Έμμεσες Μέθοδοι (μη καταστροφικές) | Non destructive indirect methods |
| Συγκρότημα παραγωγής σκυροδέματος | Concrete Batching Plant |