



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE

Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων

Διπλωματική εργασία

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕ
ΧΡΗΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΥΠΡΟ**

Ανδρέας Ξενοφώντος

Εξεταστική επιτροπή

Δρ. Γεώργιος Χρηστίδης, Καθηγητής, Σχολή ΜΗΧΟΠ (Επιβλέπων)

Δρ. Γεώργιος Ξηρουδάκης, Επίκουρος Καθηγητής, Σχολή ΜΗΧΟΠ

Δρ. Γεώργιος Τριανταφύλλου, ΕΔΙΠ

Χανιά Απρίλιος, 2024

Η προπτυχιακός φοιτητής που εκπόνησε την παρούσα διπλωματική εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στη βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (μη-εμπορικός, μη-κερδοσκοπικός, αλλά εκπαιδευτικός και ερευνητικός), της φύσης του υλικού που χρησιμοποιεί (τμήμα κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες κλπ.), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή τη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου.

Κατά συνέπεια, δηλώνει ρητά ότι, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Η έγκριση της παρούσας διπλωματικής εργασίας από το Πολυτεχνείο Κρήτης, δε σημαίνει αποδοχή των απόψεων της/του συγγραφέα (Νόμος 5343/1932, άρθρο 202).

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κατ' αρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Δρ. Γεώργιο Τριανταφύλλου για την άριστη συνεργασία και σημαντική καθοδήγηση καθώς και τις συμβουλές του κατά τη διάρκεια της έρευνάς μου, τον καθηγητή Δρ. Γεώργιο Χρηστίδη για το χρόνο που διέθεσε για τη διόρθωση και αξιολόγηση της εργασίας, καθώς και για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή. Έπειτα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Στυλιανό Μαυριγιαννάκη (ΕΤΕΠ) όπου βοήθησε καθοριστικά σε εργαστηριακούς ελέγχους που εφάρμοσα κατά την διάρκεια της έρευνας μου, όπως επίσης και τον κύριο Γιώργο Ξηρουδάκη όπου βοήθησε καθοριστικά στην ανάλυση των διαγραμμάτων μονοαξονικής θλίψης των δοκιμίων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά και να αφιερώσω τη συγκεκριμένη εργασία στην οικογένεια μου για όλη την στήριξη τους και την συνεισφορά τους για την εισαγωγή των αδρανών από την Κύπρο.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων (ΜΗΧΟΠ) του Πολυτεχνείου Κρήτης. Στην εργασία αυτή έγινε αρχικά αξιολόγηση μέσω εργαστηριακών μεθόδων και σύμφωνα με όσο ορίζουν τα σχετικά πρότυπα αξιολόγησης (EN & BS), δυο δειγμάτων αδρανών υλικών με προέλευση την Κύπρο. Τα αδρανή αυτά αποτελούν υλικά τα οποία εξορύσσονται και διοχετεύονται στην αγορά από Λατομικές μονάδες του νησιού, κυρίως για την παρασκευή σκυροδέματος. Εν συνεχεία παρασκευάστηκαν εργαστηριακά δομικά στοιχεία τα οποία προσομοίαζαν τοιχοποιία αποτελούμενη από ασβεστολιθικά και διαβασικά αδρανή, τα οποία πληρώθηκαν και ενισχύθηκαν με την προσθήκη μια τριμερούς σύνθεσης ενέματος αποτελούμενη από φυσική υδραυλική άσβεστο, ποζολάνη και λευκό τσιμέντο. Αξιολογήθηκε η επίδραση των φυσικομηχανικών χαρακτηριστικών των αδρανών υλικών στην μηχανική συμπεριφορά των δομικών στοιχείων σε διαφορετικούς χρόνους ωρίμανσης (28, 56 και 90 ημέρες).

Το σχεδιασμό και την επίβλεψη της υλοποίησης του εργαστηριακού μέρους της εργασίας είχε ο ο Δρ. Γεώργιος Τριανταφύλλου (ΕΔΙΠ της Σχολής Μηχ.Ο.Π.), ενώ τη συνολική επίβλεψη αυτής ο Καθηγητής κ. Γεώργιος Χρηστίδης (Διευθυντής του Εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας της Σχολής Μηχ.Ο.Π.). Την τριμελή εξεταστική επιτροπή της παρούσας διπλωματικής, συμπληρώνει ο Επίκουρος Καθηγητής Δρ. Γεώργιος Ξηρουδάκης ο οποίος είχε την επίβλεψη της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της μηχανικής συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως κύριο στόχο τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση της μηχανικής αντοχής δομικών στοιχείων, τα οποία κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας αδρανή υλικά από Κύπρο. Η επιλογή κατάλληλων συνθέσεων υδραυλικών ενεμάτων για την ενίσχυση τοιχοποιίας και ιστορικών κατασκευών από λιθοδομή, αποτελεί πλέον μια συνήθη πρακτική για την επισκευή και ενίσχυση τοιχοποιίας, ρηγματωμένων και αποδιοργανωμένων αρχιτεκτονικών μελών ή κατασκευών από παλαιές λιθοδομές, ιδιαίτερα σε σεισμογενείς περιοχές.

Αρχικά αξιολογήθηκαν εργαστηριακά και σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα (EN & BS) δυο τύποι αδρανών υλικών. Τα υλικά αυτά προέρχονταν από δυο λατομικές μονάδες του νησιού στις οποίες γίνεται παραγωγή και διάθεση αδρανών υλικών για παραγωγή σκυροδέματος και ασφαλτομιγμάτων. Πιο συγκεκριμένα, ένα διαβασικό πέτρωμα της εταιρίας Skyra Vassa Ltd και ένα ασβεστολιθικό πέτρωμα της εταιρίας CHAPO Ltd. Οι εργαστηριακές αναλύσεις των αδρανών υλικών περιλάμβαναν ορυκτολογική και χημική ανάλυση, κοκκομετρική ανάλυση, προσδιορισμό του δείκτη πλακοειδούς, προσδιορισμό της αντίστασης σε φθορά (μέθοδος micro-Deval) και της αντίστασης σε κρούση (μέθοδος AIV). Τα αποτελέσματα των αναλύσεων επιβεβαίωσαν ότι τα υλικά αυτά πληρούν τις σχετικές προδιαγραφές για χρήση ως αδρανή υλικά για την παρασκευή σκυροδεμάτων και αποτελούν ένδειξη της υγείας των πετρωμάτων προέλευσης.

Μετά την αναγνώριση των πρώτων υλών, σχεδιάστηκε τριμερής σύνθεση υδραυλικού ενέματος στερέωσης με βάση μία εμπορική φυσική υδραυλική άσβεστο τύπου NHL 5, μία φυσική ποζολάνη και λευκό τσιμέντο, σε αναλογίες 80, 10 και 10% κ. β., αντίστοιχα. Το μείγμα αυτό χρησιμοποιήθηκε ως υλικό πλήρωσης των κενών κυλινδρικών δοκιμίων, τα οποία περιείχαν ποσότητα ασβεστολιθικών και διαβασικών αδρανών κοκκομετρικής διαβάθμισης από 8 έως 20 mm. Τα δοκίμια αυτά προσομοίωσαν τοιχοποιίες αποτελούμενες από ασβεστολιθικά και διαβασικά πετρώματα, για την δομητική στερέωση των οποίων απαιτείται η ενίσχυση με ένα συμβατό υδραυλικό ένεμα. Τα δομικά στοιχεία που παρασκευάστηκαν εργαστηριακά διατηρήθηκαν σε συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας εντός κλιματικού θαλάμου και ελέγχθηκαν ως προς την μηχανική τους συμπεριφορά με της δοκιμής ανεμπόδιστης μονοαξονικής θλίψης σε διαφορετικούς χρόνους ωρίμανσης (28, 56 και 90 ημέρες, αντίστοιχα). Τα πειραματικά αποτελέσματα από τις μηχανικές αντοχές στα κυλινδρικά δοκίμια έδειξαν την ικανότητα της σύνθεσης του ενέματος να ενισχύει σε ικανοποιητικό βαθμό την μηχανική συνοχή των δομικών στοιχείων.

Παρατηρήθηκε διαφοροποίηση στην εξέλιξη των τιμών της μηχανικής αντοχής των δοκιμίων, ανάλογα με τον τύπο του αδρανούς που αυτά περιείχαν. Πιο συγκεκριμένα, η μέση τιμή των αντοχών των δομικών των δομικών στοιχείων που περιείχαν διαβασικά αδρανή στις 90 ημέρες ωρίμανσης υπολογίσθηκε σε 2,53 MPa ενώ η αντίστοιχη τιμή εκείνων που περιείχαν ασβεστολιθικά αδρανή ανέρχεται σε 2,28 MPa. Η διαφοροποίηση αυτή σχετίστηκε με τις γεωμετρικές και φυσικομηχανικές ιδιότητες των αδρανών υλικών που εξετάστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

ABSTRACT

The main objective of this dissertation is the design and evaluation of the mechanical strength of structural elements constructed using inert materials from Cyprus. The selection of suitable compositions of hydraulic binders for the reinforcement of masonry and historical structures made of stone masonry has become a common practice for the repair and strengthening of masonry, fractured, and disorganized architectural members or constructions made of old masonry, especially in seismic areas.

Initially, two types of inert materials were evaluated in the laboratory according to European standards (EN & BS). These materials were sourced from two quarry units on the island where inert materials for the production of concrete and asphalt mixes are produced and distributed. Specifically, a diabase stone from Skyra Vassa Ltd and a limestone from CHAPO Ltd. Laboratory analyses of the inert materials included mineralogical and chemical analysis, grain size analysis, determination of the Los Angeles abrasion value (micro-Deval method), and determination of the resistance to impact (AIV method). The results of the analyses confirmed that these materials meet the relevant specifications for use as inert materials for concrete production and are indicative of the health of the origin rocks.

Following the identification of the primary materials, a ternary composition of hydraulic setting material was designed based on a commercial natural hydraulic lime type NHL 5, a natural pozzolan, and white cement, in proportions of 80, 10, and 10% by weight, respectively. This mixture was used as filling material for the voids of cylindrical specimens, which contained a quantity of limestone and diabase inert materials of grain size distribution from 8 to 20 mm. These specimens simulated masonry consisting of limestone and diabase rocks, for the structural reinforcement of which compatibility with a hydraulic binder is required. The structural elements prepared in the laboratory were kept under specific temperature and humidity conditions within a climate chamber and were tested for their mechanical behavior by unconfined compressive strength testing at different curing times (28, 56, and 90 days, respectively). The experimental results from the mechanical strengths of the cylindrical specimens showed the ability of the composition of the binder to reinforce the mechanical cohesion of the structural elements to a satisfactory degree.

Differentiation in the evolution of the mechanical strength values of the specimens was observed depending on the type of inert they contained. Specifically, the average strength value of the structural elements containing diabase inert materials at 90 days of curing was calculated at 2.53 MPa, while the corresponding value for those containing limestone inert materials was 2.28 MPa. This differentiation was related to the geometric and physico-mechanical properties of the inert materials examined in this dissertation.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	7
ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	7
1.1 Σκοπός και στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας	8
1.2 Έννοιες.....	9
1.2.1 Αδρανή υλικά	9
1.2.2 Κατηγοριοποίηση κονιών	10
1.2.3 Φυσική υδραυλική άσβεστος	10
1.2.4 Ενέματα.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	16
ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ.....	16
2.1 Γεωλογικό Υπόβαθρο	17
2.1.1 Γεωγραφική θέση της Κύπρου.....	17
2.1.2 Γεωλογική δομή της Κύπρου	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	21
ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ - ΣΥΝΘΕΣΗ.....	21
3.1 Δειγματοληψία.....	22
3.2 Μέθοδος περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – Χ (PXRD).....	24
3.3 Μέθοδος φασματομετρίας ακτίνων – Χ φθορισμού (XRF)	25
3.4 Μέθοδος προσδιορισμού του διαγράμματος κοκκομετρίας - Μέθοδος με κόσκινα EN933.01	25
3.5 Μέθοδος προσδιορισμού της μορφής των κόκκων - Δείκτης πλακοειδούς EN 933.03.....	28
3.6 Μέθοδος προσδιορισμού της αντίστασης σε φθορά (micro-Deval) EN 1097.01	30
3.7 Μέθοδος αντίστασης σε κρούση (AIV-Aggregate Impact Value) BS 812/75.....	33

3.8 Σύνθεση και μηχανική αντοχή δομικών στοιχείων	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	46
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	46
4.1 Αποτελέσματα μεθόδου περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – Χ (PXRD).....	47
4.2 Αποτελέσματα μεθόδου φασματομετρίας ακτίνων – Χ φθορισμού (XRF)	50
4.3 Αποτελέσματα μεθόδου προσδιορισμού διαγράμματος κοκκομετρίας - Μεθόδου με κόσκια EN933.01.....	53
4.4 Αποτελέσματα μεθόδου προσδιορισμού της μορφής των κόκκων - Δείκτης πλακοειδούς EN 933.0354	
4.5 Αποτελέσματα μεθόδου προσδιορισμού της αντίστασης σε φθορά (micro-Deval) EN 1097.01	56
4.6 Αποτελέσματα μεθόδου αντίστασης σε κρούση (AIV-Aggregate Impact Value) BS 812/75.....	58
4.7 Αποτελέσματα μεθόδου σύνθεσης και μηχανικής αντοχής δομικών στοιχείων	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	66
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	66
5.1 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων – συμπεράσματα.....	67
ΕΙΚΟΝΕΣ	69
ΠΙΝΑΚΕΣ	70
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	71
ΠΡΟΤΥΠΑ.....	72
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

1.1 Σκοπός και στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως κύριο στόχο τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση της μηχανικής αντοχής δομικών στοιχείων μέσω της δοκιμής ανεμπόδιστης μονοαξονικής θλίψης, τα οποία κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας αδρανή υλικά με προέλευση τη νήσο Κύπρο και τα οποία θα προσομοιάσουν τοιχοποιία.

Για τον λόγο αυτό αρχικά αξιολογήθηκαν εργαστηριακά και σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα (EN & BS) δυο τύποι αδρανών υλικών. Τα υλικά αυτά προέρχονταν από δυο λατομικές μονάδες του νησιού στις οποίες γίνεται παραγωγή και διάθεση αδρανών υλικών για παραγωγή σκυροδέματος.

Οι εργαστηριακές αναλύσεις των αδρανών υλικών περιλάμβαναν ορυκτολογική και χημική ανάλυση, κοκκομετρική ανάλυση, προσδιορισμό του δείκτη πλακοειδούς, προσδιορισμό της αντίστασης σε φθορά (μέθοδος micro-Deval) και της αντίστασης σε κρούση (μέθοδος AIV).

Μετά την αναγνώριση των πρώτων υλών, σχεδιάστηκε τριμερής σύνθεση υδραυλικού ενέματος στερέωσης με βάση μία εμπορική φυσική υδραυλική άσβεστο τύπου NHL 5, μία φυσική ποζολάνη και λευκό τσιμέντο, σε αναλογίες 80, 10 και 10% κ. β., αντίστοιχα. Το μείγμα αυτό χρησιμοποιήθηκε ως υλικό πλήρωσης των κενών κυλινδρικών δοκιμίων, τα οποία περιείχαν ποσότητα ασβεστολιθικών και διαβασικών αδρανών κοκκομετρικής διαβάθμισης από 8 έως 20 mm. Τα δοκίμια αυτά προσομοίασαν τοιχοποιίες αποτελούμενες από ασβεστολιθικά και διαβασικά πετρώματα, για την δομητική στερέωση των οποίων απαιτείται η ενίσχυση με ένα συμβατό υδραυλικό ένεμα.

Τέλος της εργασίας αποτελεί ο έλεγχος ως προς την μηχανική τους συμπεριφορά με της δοκιμής ανεμπόδιστης μονοαξονικής θλίψης σε διαφορετικούς χρόνους ωρίμανσης (28, 56 και 90 ημέρες, αντίστοιχα)

Λέξεις Κλειδιά (Ελληνικά): αδρανή, κονίες, δομικά στοιχεία, μηχανική αντοχή.

Λέξεις Κλειδιά (Αγγλικά): aggregates, binders, building units, mechanical strength

1.2 Έννοιες

1.2.1 Αδρανή υλικά

Αδρανή υλικά είναι τα διαβαθμισμένα υλικά που χρησιμοποιούνται είτε με κάποιο συγκολλητικό μέσο (για παρασκευή κονιαμάτων, σκυροδεμάτων ασφαλομιγμάτων κλπ.) είτε αυτούσια (έρμα σιδηροδρομικών γραμμών, επιχωμάτων κλπ.) σε διάφορα τεχνικά έργα. Ο Ν. 1428/1984 περί εκμετάλλευσης λατομείων δίνει ως ορισμό αδρανών, τα υλικά διαφόρων διαστάσεων που προέρχονται από την εξόρυξη κατάλληλων πετρωμάτων ή την απόληψη φυσικών αποθεμάτων θραυσμάτων τους και χρησιμοποιούνται όπως έχουν ή μετά την θραύση τους, λειοτρίβηση ή ταξινόμηση για την κατασκευή σκυροδεμάτων, κονιαμάτων ή με την μορφή σκύρων ή μεγαλύτερων κομματιών, στην οδοποιία ή σε λοιπά τεχνικά έργα ή οικοδομές (Ν 1428/1984 - εκμεταλλεύσεις λατομείων, 2018).

Σύμφωνα με την κλασική αντίληψη, δεν αντιδρούν χημικά με το συγκολλητικό μέσο παρά μόνο συγκρατούνται από αυτό. Στην πραγματικότητα όμως πρόκειται για υλικά χημικά ενεργά που ελέγχουν τις ιδιότητες και την συμπεριφορά της μάζας στην οποία συμμετέχουν (Ν 1428/1984 - εκμεταλλεύσεις λατομείων, 2018).

Με βάση την προέλευση τους χωρίζονται σε (Τριανταφύλλου, 2011):

- **Φυσικής προέλευσης:** προερχόμενο από ορυκτό πέτρωμα το οποίο έχει υποστεί μόνο μηχανική επεξεργασία (θραυστά πετρώματα, θαλάσσιες αποθέσεις κλπ.).
- **Τεχνητά ή Βιομηχανικά:** ορυκτής προέλευσης, το οποίο είναι αποτέλεσμα βιομηχανικής κατεργασίας θερμικής ή άλλης τροποποίησης (σκωρία υψικαμίνων, ιπτάμενη τέφρα κλπ.).
- **Ανακυκλωμένο:** προκύπτει από επεξεργασία ανόργανων υλικών που είχαν προηγουμένως χρησιμοποιηθεί σε κατασκευές (υλικά κατεδάφισης, σκυροδέματος, τοιχοποιίας κλπ.).

Ανάλογα με το μέγεθός τους τα θρυμματισμένα αδρανή υλικά διακρίνονται σε (Τριανταφύλλου, 2011):

- **Χονδρόκοκκα,** τα οποία αποτελούνται από κόκκους $> 4 \text{ mm}$.
- **Λεπτόκοκκα,** τα οποία αποτελούνται από κόκκους $4 - 0,063 \text{ mm}$.
- **Παιπάλη,** δηλαδή κόκκοι $< 0,063 \text{ mm}$.
- **Filler,** όπου η μεγαλύτερη ποσότητα διέρχεται από κόσκινο $0,063 \text{ mm}$.

1.2.2 Κατηγοριοποίηση κονιών

Σύμφωνα με τα πρότυπα τεύχη για τα περιφερειακά έργα, ως κονία νοείται η συνδετική ύλη με φυσική ή βιομηχανική προέλευση που έχει συγκολλητικές ιδιότητες (π.χ. άσβεστος, τσιμέντο κλπ.) (ΤΔ-Δ-180).

Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η σκλήρυνση των κονιών, αυτές διακρίνονται σε (Παπαγιάννη, 2018):

- **Αερικές κονίες** (άργιλος, πηλός, γύψος, υδράσβεστος, δολομιτική άσβεστος), οι οποίες πήζουν και αποχτούν αντοχή μέσω της επαφής με τον ατμοσφαιρικό αέρα, όπου αντιδρούν με το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και συντηρούνται μόνον στο περιβάλλον του αέρα.
- **Υδραυλικές κονίες** (τσιμέντα, φυσική υδραυλική άσβεστος, “ρωμαϊκό τσιμέντο”, ποζολανικές κονίες), οι οποίες αναπτύσσουν τις συγκολλητικές τους ιδιότητες μέσω της επαφής και της αντίδρασης ορισμένων συστατικών τους με το νερό, τα οποία αποτελούν τους υδραυλικούς παράγοντες. Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται υδραυλικότητα και οφείλεται στην ειδική χημική τους σύστασή, δηλαδή στο σχηματισμό με την επίδραση του νερού σταθερών ένυδρων ενώσεων που είναι ελάχιστα υδατοδιαλυτές και έχουν μεγάλη συνάφεια μεταξύ τους αλλά και με τα αδρανή σε ένα κονίαμα ή σε ένα σκυρόδεμα (Τριανταφύλλου, 2011).

Ανάλογα με την προέλευσή τους οι κονίες διακρίνονται σε (Παπαγιάννη, 2018):

- **Φυσικές κονίες**, οι οποίες χρησιμοποιούνται αυτούσιες όπως συναντώνται στη φύση, χωρίς να είναι αναγκαία κάποια ειδική κατεργασία (πχ. πηλός, ποζολανικές κονίες).
- **Τεχνητές κονίες**, οι οποίες παρασκευάζονται βιομηχανικά μέσω φυσικών ή χημικών μεθόδων κατεργασίας (πχ. διάφοροι τύποι τσιμέντων, άσβεστος, ασφαλτοκονίες κ.α.).

1.2.3 Φυσική υδραυλική άσβεστος

Η χρήση υδραυλικών κονιαμάτων είναι γνωστή από την αρχαιότητα και ιδιαίτερα από τους Ελληνικούς και Ρωμαϊκούς χρόνους. Ωστόσο, μόλις στα τέλη του 18^{ου} αιώνα ξεκίνησε η έρευνα που είχε ως αντικείμενο την υδραυλικότητα των κονιών. Ο Smeaton ανακάλυψε το 1756 τις υδραυλικές ιδιότητες υλικών που προήλθαν από την έψηση ανθρακικών πετρωμάτων που περιείχαν αργλικές προσμίξεις σε διαφορετικά ποσοστά (British Geological Survey, 2005). Η φυσική υδραυλική άσβεστος (NHL: Natural Hydraulic Lime) χρησιμοποιούνταν κυρίως κατά τη διάρκεια του 19^{ου} αιώνα και θεωρείται ο πρόδρομος του κοινού τσιμέντου τύπου Portland (Ordinary Portland Cement – OPC / Lea, 1976).

Η φυσική υδραυλική ασβέστος (NHL) παράγεται από έψηση ασβεστολιθικών πρώτων υλών που περιέχουν σημαντικά ποσοστά αργιλοπυριτικών προσμίξεων, οι οποίες είναι αναγκαίες για την παραγωγή των ασβεστοπυριτικών υδραυλικών φάσεων μετά από έψηση (Τριανταφύλλου 2011 και βιβλιογραφίες εντός) και σύμφωνα με τον ορισμό του δείκτη υδραυλικότητας (CI) όσο μεγαλύτερο είναι το εν λόγω ποσοστό, τόσο αυξημένος είναι ο CI (βλέπε κείμενο παρακάτω)- σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από εκείνες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενός τσιμέντου Portland (συνήθως >1200 °C). Κατά τη διαδικασία ενυδάτωσης το προϊόν μετατρέπεται σε σκόνη (slaking process), με ή χωρίς επιπλέον λειοτρίβηση (EN 459-1, 2001). Οι κονίες της φυσικής υδραυλικής ασβέστου έχουν το πλεονέκτημα σε σύγκριση με την αερική ασβέστο να ενυδατώνονται και να στερεοποιούνται με παρουσία νερού, δημιουργώντας ένυδρες ασβεστοπυριτικές ενώσεις, όπως αυτές που συναντώνται κατά την ενυδάτωση του κοινού τσιμέντου Portland (Τριανταφύλλου, 2011).

Από πλευράς χημισμού, η υδραυλική ασβέστος μπορεί να ταξινομηθεί σαν κάτι ενδιάμεσο μεταξύ της αερικής ασβέστου και του “φυσικού τσιμέντου” ή του τσιμέντου Portland. Το ποσοστό του αργιλικού ή/και του πυριτικού υλικού που ενεργοποιείται κατά τη διάρκεια της έψησης και δεσμεύεται από το παραγόμενο οξείδιο του ασβεστίου (CaO) σχηματίζοντας ασβεστοπυριτικές ενώσεις, καθορίζει και το βαθμό της υδραυλικότητας της κονιάς (Eckel, 1905, Μαρκόπουλος & Περδικάτσης, 2003). Έτσι, σε αντίθεση με ένα τσιμέντο τύπου Portland όπου η κύρια υδραυλική φάση είναι το πυριτικό τριασβέστιο (C₃S ή αλίτης), στις φυσικές υδραυλικές κονίες το πυριτικό διασβέστιο ή λαρνίτης/βελίτης (C₂S) είναι η υδραυλική φάση που κυριαρχεί. Ειδικότερα, στη σύσταση των κονιών φυσικής υδραυλικής ασβέστου υπάρχουν αξιόλογα ποσοστά αερικής φάσης, δηλαδή οξειδίου του ασβεστίου (CaO), το οποίο μετατρέπεται σε πορτλανδίτη Ca(OH)₂ κατά το στάδιο της ενυδάτωσης (Τριανταφύλλου, 2011).

Η αξιολόγηση του χημισμού μιας πρώτης ύλης ως κριτήριο καταλληλότητας για την παραγωγή υδραυλικών κονιών, μπορεί να εκτιμηθεί εμμέσως από το δείκτη υδραυλικότητας (Cementation Index / CI), που πρόκειται για μια μαθηματική έκφραση που ανέπτυξε ο Eckel και η οποία επιτρέπει τη διάκριση των φυσικών υδραυλικών κονιών σε διαφορετικές κατηγορίες όσον αφορά στην υδραυλικότητα τους (Boynston, 1980): (i) χαμηλού βαθμού υδραυλικότητας (C.I. = 0,3 έως 0,5), (ii) μέσου βαθμού υδραυλικότητας (C.I. = 0,5 έως 0,7) και (iii) υψηλού βαθμού υδραυλικότητας (C.I. = 0,7 έως 1,1). Οι αντίστοιχες τιμές των “φυσικών τσιμέντων” κυμαίνονται από 1 έως 2. Η μαθηματική έκφραση του δείκτη υδραυλικότητας δίνεται από τη σχέση (Eckel, 1905):

$$CI = \frac{2.8\% SiO_2 + 1.1\% Al_2O_3 + 0.7\% Fe_2O_3}{\% CaO + 1.4\% MgO}$$

Ο δείκτης υδραυλικότητας (Cementation Index / CI) αναγνωρίζεται γενικά ως έκφραση της εκτιμώμενης υδραυλικής συμπεριφοράς του τελικού προϊόντος μετά την έψηση. Ωστόσο, η χημική σύσταση από μόνη της δεν επαρκεί για το χαρακτηρισμό της υδραυλικότητας μιας κονίας (Elsen *et al.* 2010). Η επιθυμία να προβλέψουμε τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος είναι προφανής, καθώς θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο για την επιλογή των πρώτων υλών, αλλά υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που τις επηρεάζουν καθοριστικά. Εκτός από τις τεχνολογικές μεθόδους που σχετίζονται με τις διαδικασίες της έψησης, το τελικό προϊόν εξαρτάται σημαντικά από την ορυκτολογική σύσταση και τις φυσικοχημικές ιδιότητες των πρώτων υλών (Valek *et al.* , 2014).

Με βάση την παραπάνω σχέση και το “ενεργό” αργιλικό περιεχόμενο των πρώτων υλών (αυτό δηλαδή που αντιδρά με οξείδιο του ασβεστίου για να δημιουργηθούν υδραυλικές φάσεις κατά την έψηση), οι διαφορετικοί τύποι ασβέστου έχουν τις ακόλουθες τιμές CI του παρακάτω **Πίνακα 1**.

Πίνακας 1: Δείκτης υδραυλικότητας (Cementation Index / CI) και διαφορετικοί τύποι κονιών (Holmes & Wingate 1997).

Τύπος ασβέστου	Τιμές CI	Ενεργό αργιλικό περιεχόμενο
Αερική άσβεστος	Σχεδόν μηδενικές	Πολύ μικρό
Ασθενώς υδραυλική	0,3 έως 0,5	Περίπου 8%
Μετρίως υδραυλική	0,5 έως 0,7	Περίπου 15%
Ισχυρά υδραυλική	0,7 έως 1,1	Περίπου 25%
Φυσικά τσιμέντα	>1,1	Έως και 45%

Όσο πιο υψηλός είναι ο CI, τόσο πιο μικρό είναι το ποσοστό της διαθέσιμης ελεύθερης ασβέστου (CaO) και το αντίστροφο. Το ποσοστό του ελεύθερου CaO είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για μια κονία φυσικής υδραυλικής ασβέστου υψηλού βαθμού υδραυλικότητας, αφού στις δυο άλλες μορφές μόνο ένα ποσοστό 20-60% του συνολικού CaO συνενώνεται χημικά, αφήνοντας έτσι αρκετές ποσότητες αερικής φάσης ελεύθερες για ενυδάτωση (Τριανταφύλλου, 2011 και βιβλιογραφίες εντός).

Η διάκριση μεταξύ των διάφορων τύπων φυσικών υδραυλικών ασβέστων πραγματοποιείται όχι μόνο σύμφωνα με το **βαθμό της υδραυλικότητας** (χαμηλής-μέσης-υψηλής), αλλά και σύμφωνα με το πώς η ιδιότητα αυτή εκφράζεται μέσω της **ανάπτυξης αντοχής** σε ένα πρότυπο κονιάμα. Τα κονιάματα που χρησιμοποιούνται για την κατάταξη έχουν επιλεγεί ώστε να αναπτύσσουν σημαντική αντοχή με μικρότερη δυνατή διακύμανση, εντός ενός περιορισμένου χρονικού ορίου (EN 459-1, 2010). Με τον τρόπο αυτό το

πρότυπο κονίαμα, ταξινομεί τις υδραυλικές ασβέστους σε τρεις ποιότητες NHL 2, NHL 3.5 και NHL 5. Ο αριθμός που έπεται της ονομασίας αναφέρεται στην ελάχιστη τιμή αντοχής σε δοκιμή ανεμπόδιστης μονοαξονικής θλίψης του κονιάματος μετά από την πάροδο 28 ημερών (τα όρια αντοχών που ορίζει το πρότυπο είναι $2 \div 7$, $3.5 \div 10$ και $5 \div 15$ N/mm², αντίστοιχα).

1.2.4 Ενέματα

Η λογική της μεθόδου των ενεμάτων δεν είναι καινούρια. Η λογική της εισαγωγής κάποιου ρευστού στα πρωτοτοποθετημένα υλικά της λιθοδομής, το οποίο διά της στερεοποιήσεως του θα συνδεθεί μεταξύ τους και θα δώσει ένα νέο υλικό με διαφορετικές φυσικομηχανικές ιδιότητες και συχνά καλύτερες αντοχές, είναι πολύ παλαιότερη. Η ίδια λογική είχε χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή πολλών Ρωμαϊκών μνημείων. Αυτή θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι η προϊστορία της μεθόδου των ενεμάτων (Μιλτιάδου, 2008).

Τα ενέματα αρχίζουν να εμφανίζονται για την επισκευή λιθοδομών από την αρχή του 19ου αιώνα όταν ο Γάλλος μηχανικός Charles Berigny τα χρησιμοποιεί για να στερεώσει τοίχους από λιθοδομή ης Dieppe. Λίγο αργότερα τα ενέματα εφαρμόζονται για την πλήρωση κενών στις λιθοδομές των θεμέλιων τριών βάθρων της γέφυρας της Tours στη Γαλλία. Γύρω στα μέσα του περασμένου αιώνα και μετά την εφεύρεση του τσιμέντου Portland, η ανάγκη για την επέκταση των σιδηροδρομικών δικτύων, με την εφεύρεση της ατμομηχανής, οδηγεί στην εκτεταμένη χρήση τσιμεντοενεμάτων για την επισκευή και ενίσχυση των γεφυρών. Τέλος μετά την εφεύρεση γύρω στο 1888 της πρώτης μηχανής ενεμάτων υπό πίεση από τον James Greathead στην Αγγλία, η χρήση της μεθόδου σε έργα εδάφους και υπεδάφους γίνεται συστηματική (Μιλτιάδου, 2008).

Τα ενέματα είναι μεγάλης ρευστότητας αναμίγματα συνδετικής κονίας και νερού (λόγος νερού / κονίας ≥ 1) με ή χωρίς την παρουσία πολύ λεπτόκοκκου αδρανούς υλικού (πούδρα ή λεπτή άμμος) τα οποία εισάγονται με πίεση (≤ 1 atm.) μέσα στις ρωγμές με κατάλληλο σύστημα. Εφαρμόζονται κυρίως για την πλήρωση και αποκατάσταση της συνέχειας ρηγματωμένου ιστού σκυροδέματος ή τοιχοποιίας με ρωγμές σχετικά μεγάλου βάθους και όχι επιφανειακές (Μιλτιάδου, 2008).

Διακρίνονται δύο κατηγορίες ενεμάτων (Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας - ΤΕΕ):

- **Τα τσιμεντενέματα** με τα οποία επισκευάζονται σχετικά μεγάλου εύρους ρωγμές φραγμάτων βαρύτητας ή άλλων μεγάλου πάχους τοίχων από σκυρόδεμα ή τοιχοποιία.
- **Τα ενέματα με βάση ρητίνες.** Εκτός των εποξειδικών ρητινών χρησιμοποιούνται οι πολυεστερικές ρητίνες καθώς και οι methyl methacrylate ρητίνες (MMA). Καλύτερη διείσδυση παρουσιάζουν οι

εποξειδικές, ακολουθούν οι πολυεστερικές και τέλος οι MMA (epoxy (best) >polyester>MMA (less good)).

Η σφράγιση των ρωγμών με ρητίνες μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο της διάβρωσης λόγω απανθράκωσης και διείσδυσης χλωριόντων μέσω των ρωγμών.

Το συνδετικό υλικό των τσιμεντενεμάτων μπορεί να είναι Portland τσιμέντο ή μίγμα τσιμέντου και ποζολανικών υλικών (π.χ. μηλαϊκή γη, ιπτάμενη τέφρα). Ο μέγιστος κόκκος του αδρανούς υλικού καθορίζεται από το άνοιγμα της ρωγμής. Χρησιμοποιούνται πρόσμικτα όπως είναι οι ρευστοποιητές για να ελαττωθεί η απαιτούμενη ποσότητα νερού και να αυξηθεί η αντοχή ή ακόμη και expanding agents (η χρήση no shrinkage cement) για να περιορισθεί η ρηγμάτωση κατά την σκλήρυνση του τσιμεντενέματος (Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας - ΤΕΕ).

Σε αποκατάσταση τοιχοποιιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί αραιωμένο με υδράσβεστο και ποζολάνη τσιμέντο Portland, ως κονία (Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας - ΤΕΕ).

Τα υλικά των εποξειδικών ενεμάτων αναμιγνύονται με αναλογίες που προτείνονται από τον προμηθευτή.

Η αποτελεσματικότητα των **τσιμεντενεμάτων** καθορίζεται από το σωστό σχεδιασμό του αναμίγματος και τη σωστή εφαρμογή του. Το ένεμα πρέπει να έχει ικανοποιητική ρευστότητα για όσο το δυνατό μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από την παρασκευή του ώστε να είναι δυνατή η διείσδυσή του στο πλέγμα των ρωγμών (άρα είναι επιθυμητή η επιβραδυντική δράση ενός πρόσμικτου) (Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας - ΤΕΕ).

Συγχρόνως πρέπει να παρουσιάζει συνεκτικότητα (μεγάλη συγκρατητική ικανότητα των στερεών συστατικών του με το νερό ώστε να παρουσιάζει την ελάχιστη δυνατή εξίδρωση η απόμιξη που οδηγεί στην ελλιπή πλήρωση των κενών / ρωγμών ή γενικότερα ασυνεχειών. Προς την κατεύθυνση αυτή της ελάττωσης της απόμιξης συνεισφέρει ουσιαστικά η χρήση πολύστροφου αναμικτήρα 3000 στροφών ανά min που δημιουργεί ομογενοποιημένα ενέματα. Πρόσθετα υλικά υψηλής φαινόμενης ειδικής πυκνότητας (π.χ. μπετονίτης) συντελούν στον αποχωρισμό των στερεών υλικών, κάτι που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Η επιλογή των κονιών εξαρτάται από το βαθμό αποκατάστασης που επιζητείται. Υψηλότερες αντοχές σε περιπτώσεις ενίσχυσης αποδίδουν τα τσιμεντενέματα με καθαρό Portland (Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας - ΤΕΕ).

Ο λόγος κονιών / νερό καθορίζεται βάσει της απαιτούμενης ρευστότητας (χρόνος εκροής κώνου Marshal).

Η εφαρμογή **τσιμεντενεμάτων** περιλαμβάνει καθαρισμό και αποκάλυψη των χειλέων της ρωγμής, εισαγωγή λεπτών διαφανών σωλήνων και σφράγισμα εξωτερικά των ρωγμών. Η έγχυση του ενέματος γίνεται με αντλία διαμέσου των σωληνίσκων από κάτω προς τα πάνω μέχρις ότου συμβεί υπερχειλίση του εισερχομένου ενέματος (Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας - ΤΕΕ).

Η εκτίμηση της πλήρωσης των ασυνεχειών της δομής από το τσιμεντενέματα ελέγχεται με δοσομέτρηση πριν και μετά τη σκλήρυνση του ενέματος.

Τα ενέματα με βάση τις υδραυλικές ασβέστους (σε συνδυασμό με ή χωρίς ποζολανικά υλικά) αποτελούν μια εναλλακτική λύση έναντι των σύνθετων ενεμάτων με βάση το τσιμέντο διότι οι υδραυλικές ασβέστοι είναι υλικά που μοιάζουν περισσότερο με αυτά που απαντώνται σε μια ιστορική κατασκευή, ενώ παράλληλα μπορούν να αναπτύξουν ικανοποιητικές πρώιμες αντοχές. Παρά την μεγάλη τους σπουδαιότητα, είναι λιγοστές οι εργασίες που έχουν μελετήσει συστηματικά τέτοια ενέματα, τόσο ως προς τα ρεολογικά τους χαρακτηριστικά, όσο και ως προς την επιτελεστικότητα τους στην δομητική στερέωση των τοιχοποιιών (Καλαγρή, Μιλτιάδου, Βιντζηλαίου, 2008).

Η μέθοδος τέτοιου είδους ενεμάτων για την επισκευή και ενίσχυση των λιθοδομών των μνημείων, εάν εφαρμοστεί σωστά παρουσιάζει σημαντικά προτερήματα καθώς (Καλαγρή, Μιλτιάδου, Βιντζηλαίου, 2008):

- Επιτυγχάνει την επισκευή και ενίσχυση του υπάρχοντος φορέα με τη μικρότερη δυνατή διατάραξη και χωρίς αλλαγή της αρχικής γεωμετρίας και του αρχικού στατικού μοντέλου.
- Είναι επέμβαση μη ορατή που επηρεάζει μόνο το συνδετικό κονίαμα της λιθοδομής και όχι την υπόλοιπη δομή της διατηρώντας έτσι στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό κάθε ιστορική πληροφορία και τα ίχνη ακόμα των βλαβών, αν αυτό είναι επιθυμητό. (Μιλτιάδου, 2008) Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας - ΤΕΕ).

Τα εποξειδικά ενέματα χρησιμοποιούνται για την σφράγιση μικρού εύρους ρωγμών (0,05 mm) με σύγχρονη αποκατάσταση της αντοχής και της ελαστικότητας του στοιχείου. Ανοίγονται κατά μήκος της ρωγμής οπές και εισάγεται το εποξειδικό υλικό με πίεση με τη βοήθεια ειδικών εισδοχέων. Προηγείται απαραίτητα καθαρισμός των ρωγμών, εισδοχή των υποδοχέων έγχυσης, σφράγιση της ρωγμής και εισαγωγή υπό πίεση του μίγματος των δύο συστατικών των εποξειδικών ρητινών με ή χωρίς πούδρα. Μετά τη σκλήρυνση της εποξειδικής ρητίνης αφαιρούνται τα σφραγίσματα (Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας - ΤΕΕ).

Η αποτελεσματικότητα των εποξειδικών ενεμάτων εξαρτάται από την καλή εφαρμογή τους. Η παρουσία υγρασίας μέσα στην ρωγμή μειώνει την πρόσφυση του εποξειδικού ενέματος.. Η εφαρμογή κενού κατά την έγχυση αυξάνει την πρόσφυση και την διεισδυτικότητα των ρητινών που θεωρείται καλύτερη από αυτή των τσιμεντενεμάτων (Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας - ΤΕΕ).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ

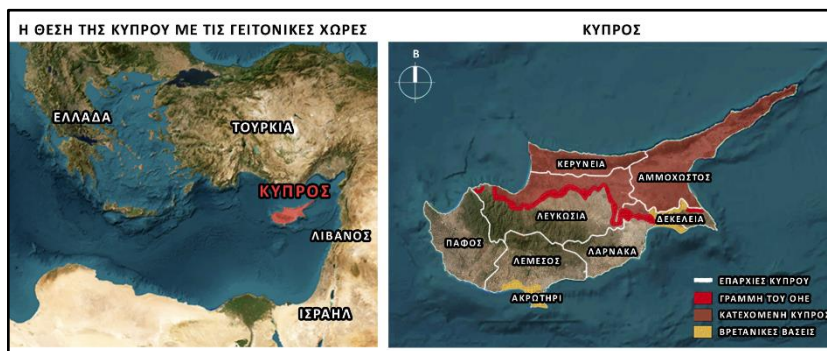
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ

2.1 Γεωλογικό Υπόβαθρο

2.1.1 Γεωγραφική θέση της Κύπρου

Η Κύπρος βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα της Μεσογείου θάλασσας, βρίσκεται 75 km νότια της Τουρκίας, 105 km δυτικά της Συρίας, 380 km βόρεια της Αιγύπτου καθώς και 360 km ανατολικά της Ρόδου. Πρόκειται για το τρίτο σε μέγεθος νησί της Μεσογείου, μετά την Σικελία και την Σαρδηνία. Η

συνολική έκταση του νησιού ανέρχεται στα 9251 km² εκ των οποίων τα 1733 km² περίπου είναι φυτοκαλυμμένα. Βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος από 34°37'. Η απόσταση του ανατολικότερου άκρου (Ακρωτήριο Αποστόλου Αντρέα) και δυτικότερου άκρου (Ακρωτήριο Αρναούτη – Ακάμας) είναι περίπου 221km ενώ η κάθετη απόσταση στην διεύθυνση αυτή είναι 95km και είναι μεταξύ των ακρωτηρίων Κορμακίτη και Γάτας (Γραφείο Τύπου και Πληροφοριών Κύπρου).



Εικόνα 1: Γεωγραφική θέση της Κύπρου.

2.1.2 Γεωλογική δομή της Κύπρου

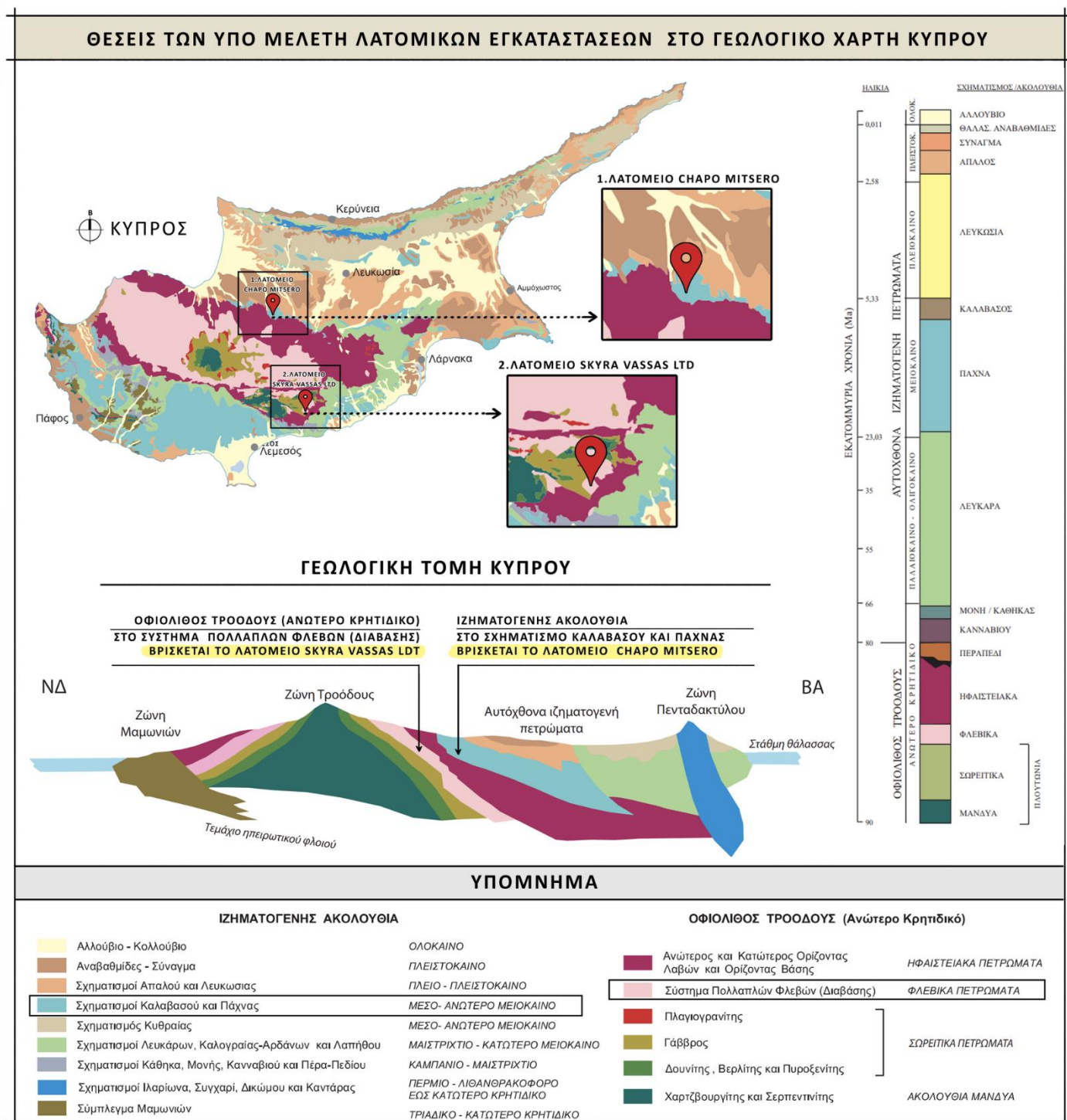
Η Κύπρος χωρίζεται σε τέσσερις γεωλογικές ζώνες (Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου):

- (α) Ζώνη Πενταδακτύλου (Κερύνειας).
- (β) Ζώνη Τροόδους.
- (γ) Ζώνη Μαμωνιών.
- (δ) Ζώνη των αυτόχθονων ιζηματογενών πετρωμάτων.



Εικόνα 2: Γεωλογικές ζώνες του χάρτη της Κύπρου και οι θέσεις των υπό μελέτη λατομικών εγκαταστάσεων.

Στην παρακάτω εικόνα 3 παρατηρούνται οι θέσεις των λατομικών εγκαταστάσεων δηλαδή του λατομείου SKYRA VASSAS LTD από το οποίο προμηθεύτηκε το διαβασικό πέτρωμα και το λατομείο CHAPO MITSERO από το οποίο προμηθεύτηκε το ασβεστολιθικό πέτρωμα.



Εικόνα 3: Θέσεις των υπό μελέτη λατομικών εγκαταστάσεων στον γεωλογικό χάρτη της Κύπρου. (Προσωπική επεξεργασία, τμήμα γεωλογικής επισκόπησης)

Με βάση την παραπάνω εικόνα 3 στην οποία απεικονίζεται η γεωλογική δομή και τομή της Κύπρου και αναφορικά με την γεωαναφορά των λατομικών εγκαταστάσεων, αντλούμε τα παρακάτω συμπεράσματα για την προέλευση των αδρανών που μου προμηθεύτηκαν:

➤ Το λατομείο SKYRA VASSAS LTD

- Αναφορικά με το διαβασικό φλεβικό πέτρωμα που εξορύσσεται και αποτελεί τα 2/3 της οροσειράς του Τρόδους, το λατομείο βρίσκεται στη ζώνη Τρόδους ή Οφιόλιθο του Τρόδους, η οποία αποτελεί τον γεωλογικό πυρήνα της Κύπρου. Στην περιοχή αυτή εμφανίζεται η οροσειρά του Τρόδους, η οποία έχει δημιουργηθεί πριν από 90 εκατομμύρια χρόνια. Η οροσειρά αυτή αποτελείται από πλουτώνια, φλεβικά, ηφαιστειακά πετρώματα και χημικά ιζήματα.

➤ Το λατομείο CHAPO MITSERO

- Αναφορικά με το ασβεστολιθικό πέτρωμα που εξορύσσεται, το λατομείο βρίσκεται στη ζώνη των αυτόχθονων ιζηματογενών πετρωμάτων του σχηματισμού Πάχνας, η οποία καλύπτει τον χώρο μεταξύ της ζώνης Πενταδακτύλου και Τρόδους, καθώς και το νότιο τμήμα του νησιού. Ο σχηματισμός αυτός αποτέθηκε στο Κατώτερο Μειόκαινο, πριν από 22 εκατομμύρια χρόνια.

2.1.3 Γεωλογία και αδρανή υλικά της Κύπρου



Εικόνα 4:Χάρτης Κύπρου με ενδεικτικές θέσεις ενεργών λατομείων

Διαβασικά αδρανή:

Διάφορες μελέτες, όπως αναφέρουν οι (Κωνσταντίνος και Παναγίδης, 2013) κατέδειξαν ότι τα διαβασικά πετρώματα του Συστήματος Πολλαπλών Φλεβών του Οφιολιθικού Συμπλέγματος του Τρόδους, πέραν του ότι παρουσιάζουν αρκετά καλές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην οικοδομική βιομηχανία και οδοποιία, διαθέτουν επίσης επαρκή αποθέματα για την μακροπρόθεσμη

παραγωγή θραυστών σκύρων και άμμου. Τα διαβασικά πετρώματα καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης του Τρόοδους, με πάχος που ξεπερνά τα 1000 μέτρα. Λόγω της γεωγραφικής τους κατανομής, διευκολύνθηκε η επιλογή των λατομικών περιοχών, ώστε να εξυπηρετούνται τα αστικά κέντρα με μειωμένο κόστος μεταφοράς. Για τη Λεμεσό και την Ανατολική Πάφο επιλέχθηκαν λατομικές ζώνες στην Παρεκκλησιά, στο Μοναγρούλι και στον Άγιο Μάμα. Για την Λευκωσία, Λάρνακα, και ελεύθερη Αμμόχωστο, στο Σταυροβούνι, στα Πυργά και στην Μοσφιλωτή. Για την δυτική Λευκωσία στο Φαρμακά και στην Πάφο στην Κανναβιού, η οποία όμως έκλεισε την προηγούμενη δεκαετία, όταν καταστράφηκε φράγμα στην περιοχή ((Κωνσταντίνος και Παναγίδης, 2013). Όπως αναφέρεται στην ιστοσελίδα της υπηρεσίας Μεταλλείων Κύπρου, στο παρόν χρονικό διάστημα λειτουργούν 10 λατομεία που παράγουν διαβασικά αδρανή. Τα οποία όπως φαίνεται στην εικόνα 4 βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή του Οφιολιθικού Συμπλέγματος του Τρόοδους (Ρεβέκκα, 2017).

Ασβεστολιθικά αδρανή:

Πέραν των διαβασικών αδρανών, για την Παρασκευή σκυροδέματος στην Κύπρο παράγονται και ανθρακικά (ασβεστολιθικά και ασβεσταρενιτικά) αδρανή, τα οποία προέρχονται από ιζηματογενές Σύμπλεγμα της Ακολουθίας του Τρόοδους. Από το σχηματισμό Πάχνας και συγκεκριμένα από τα μέλη Τέρρα και Κορωνιά, προκύπτουν τα ασβεστολιθικά αδρανή.

Οι υφαλογενείς αβεστόλιθοι του Σχηματισμού Πάχνα εξορύσσονται από τις λατομικές ζώνες Μιτσερού , Ανδρολύκου και Ξυλοφάγου, για την ικανοποίηση των αναγκών της οικοδομικής βιομηχανίας του νησιού σε ασβεστολιθικά αδρανή, αυτή τη στιγμή λειτουργούν 12 σκυροθραυστικές μονάδες (Ρεβέκκα, 2017).

Σημαντικό να αναφερθεί ότι όπως και στην περίπτωση των διαβασικών αδρανών, έτσι και για τα ασβεστολιθικά, οι διαβαθμίσεις που χρησιμοποιούνται στο σκυρόδεμα είναι , όσον αφορά τα σκύρα d/D 8/20mm και 4/10mm και όσον αφορά την άμμο 0/4mm.

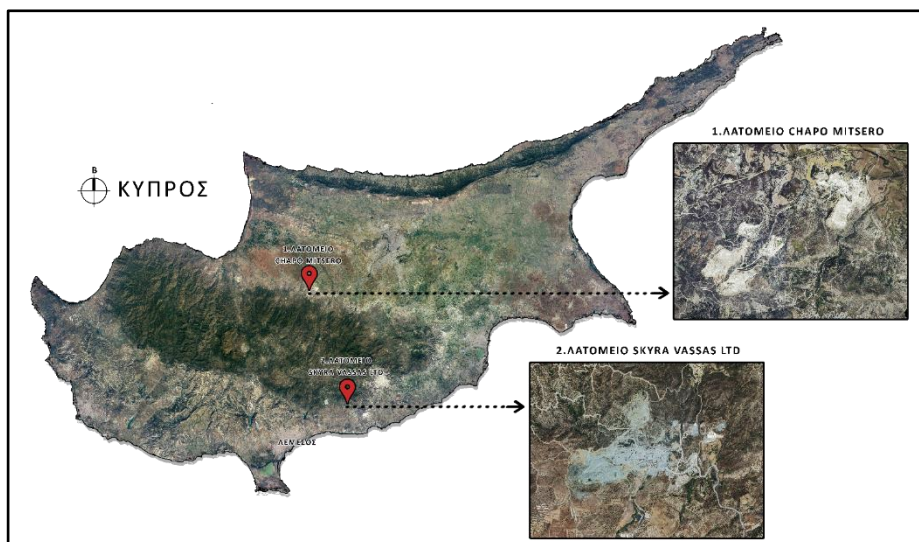
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ - ΣΥΝΘΕΣΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ - ΣΥΝΘΕΣΗ

3.1 Δειγματοληψία

Στην παρούσα διπλωματική εργασία λήφθηκαν δείγματα διαβασικού πετρώματος των 5 κιλών τα οποία εξορύσσονται από το λατομείο της Κύπρου Skyra Vassas Ltd (Δ.Ε Μοναγρούλι) και αντίστοιχα δείγματα ασβεστολιθικού πετρώματος των 5 κιλών τα οποία εξορύσσονται από το λατομείο CHAPO Ltd (Δ.Ε Μιτσερού). Ο κάθε σάκος περιείχε αδρόκκοκα αδρανή κοκκομετρίας 8 έως 20 mm.



Εικόνα 5: Θέσεις δειγματοληψίας των λατομείων της Κύπρου. Προσωπικό αρχείο – επεξεργασία.

ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΤΩΝ ΛΑΤΟΜΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ:

A) Οι λατομικές εγκαταστάσεις της εταιρίας Skyra Vassas Ltd εδράζονται στο Μοναγρούλι 30 χιλιόμετρα βορειοανατολικά της Λεμεσού και 19 χιλιόμετρα από τις ιδιόκτητες εγκαταστάσεις στον κόλπο βασιλικού. Το λατομείο είναι το μεγαλύτερο στην Κύπρο με 750.000 τ.μ. αποθέματα.

Το λατομείο αποτελείται από σκυροθραυστική μονάδα, τελευταίας τεχνολογίας με παραγωγή 1.300 τόννων την ώρα.

Το λατομείο εξορύσσει διαβασικό πέτρωμα, το σκληρό αυτό πέτρωμα καταστρέφεται και ταξινομείται σε μέγεθος μέσω ταξινόμησης φιλτραρίσματος, πλύσης, αέρα (Μ.Σ Σκύρα Βάσας official site).



Εικόνες 6: Φωτογραφίες από την σκυροθραυστική μονάδα του λατομείου Σκύρα Βάσας;

Εικόνα 7: Διαβασικό πέτρωμα 5 κιλών και κοκκομετρίας 8-20mm από το λατομείο Skyra Vassas Ltd.

Β) Οι λατομικές εγκαταστάσεις CHAPO Ltd βρίσκονται στα βόρεια όρια του χωριού Μιτσερού της επαρχίας Λευκωσίας και σ' αυτή λειτουργούν σήμερα 6 λατομεία με τις αντίστοιχες σκυροθραυστικές τους μονάδες. Το πέτρωμα που εξορύσσετε στην εν λόγω Λατομική Ζώνη είναι ο υφαλογενής ασβεστόλιθος του γεωλογικού σχηματισμού Κορωνίας, ηλικίας 6,5 εκ. χρόνων περίπου (Ανώτερο Μειόκαινο).

Από τη λειτουργία των πιο πάνω λατομείων παράγονται γύρω στους 1.200.000 τόνους αδρανών υλικών ετησίως και κατά κύριο λόγο άμμος για χρήση στην οικοδομική βιομηχανία.

Η εκμετάλλευση πραγματοποιείται επιφανειακά και η εξόρυξη του πετρώματος γίνεται με τη βοήθεια μηχανικών μέσων και τη χρήση εκρηκτικών υλών όπου αυτό είναι απαραίτητο.

Η επεξεργασία του υλικού γίνεται σε σκυροθραυστικές μονάδες, όπου πραγματοποιείται θραύση, έπειτα κοσκίνιση και πλύσιμο του υλικού, για να παραχθούν σκύρα και άμμος κατάλληλα για να χρησιμοποιηθούν στην οικοδομική βιομηχανία και οδοποιία και διαβαθμισμένο μείγμα από σκύρα και άμμο για χρήση στην οδοποιία (Γεωπάρκο Τρόοδους, 2013).



Εικόνα 8 : Φωτογραφίες από μονάδα του λατομείου Chapo Mitsero: (google maps).



Εικόνα 9: Ασβεστολιθικό πέτρωμα 5 κιλών και κοκκομετρίας 8-20mm από το οποίο εξορύσσετε από το λατομείο Chapo Mitsero και προμηθεύεται από το λατομείο Skyra Vassas Ltd.

3.2 Μέθοδος περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – X (PXRD)

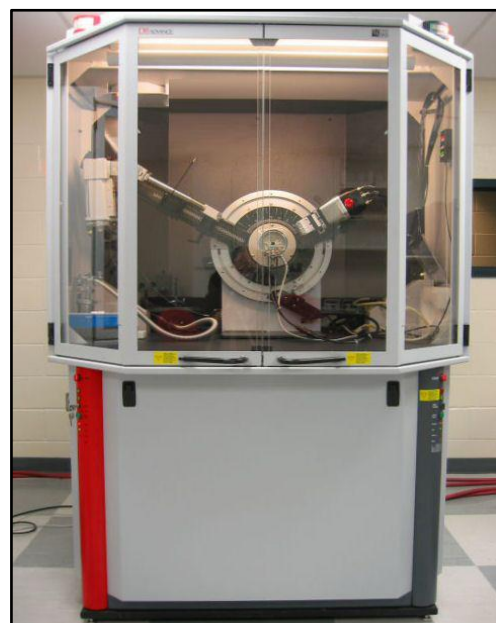
Η μέθοδος της περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων-X (PXRD) έχει ως σκοπό τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης και της κρυσταλλικής δομής των φάσεων που συνυπάρχουν στα υπό εξέταση δείγματα με χρήση αντιπροσωπευτικού κονιοποιημένου αρχικού δείγματος.

Το προς ανάλυση δείγμα βρίσκεται υπό μορφή κόνεως μέσα στην κοιλότητα ενός πλαστικού ή μεταλλικού πλακιδίου. Η κοιλότητα αυτή έχει βάθος περίπου 1 mm και έκταση μερικών cm και προσφέρει χώρο για μάζα του δείγματος της τάξης του 1 g, η οποία κατανέμεται με τέτοιο τρόπο στην κοιλότητα του πλακιδίου ώστε να σχηματίζει επίπεδη επιφάνεια (Γκαμαλέτσος, 2022).

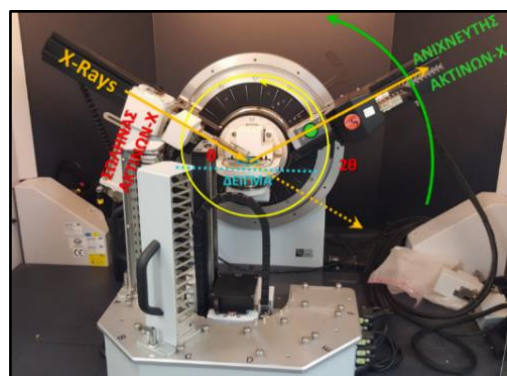
Με τη μέθοδο αυτή πραγματοποιείται απευθείας μέτρηση τόσο των γωνιών όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων-X που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως.

Για την πραγματοποίηση των αναλύσεων χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο τύπου AXS D8 ADVANCE της εταιρείας Bruker, που ανήκει στο Εργαστήριο Γενικής & Τεχνικής Ορυκτολογίας της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων (εικόνα 10). Για την ακριβέστερη ανάλυση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν ειδικές συνθήκες ακτινοσκόπησης που περιλάμβαναν: χρήση λυχνίας Cu, μονοχρωματιστή με φίλτρο Ni, τάση λυχνίας $U=35\text{kV}$ και ένταση ρεύματος $I=35\text{mA}$ στην περιοχή των γωνιών 2θ μεταξύ 4° - 70° , με βήμα $0,05^\circ$ και χρόνο $198,8\text{ s/ανά βήμα}$.

Για τον ημιποσοτικό προσδιορισμό των ορυκτολογικών φάσεων των δειγμάτων, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό AutoQuan (Rayflex) που λειτουργεί με τη μέθοδο εκλέπτυνσης της κρυσταλλικής δομής Rietveld.



Εικόνα 10: : Περιθλασίμετρο ακτίνων - X (XRD).



Εικόνα 11: Περιθλασίμετρο ακτίνων - X (XRD).

3.3 Μέθοδος φασματομετρίας ακτίνων – Χ φθορισμού (XRF)

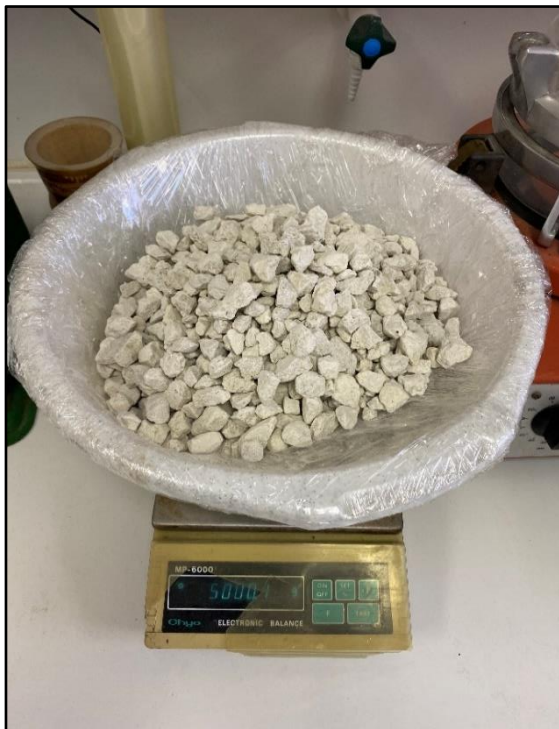
Η μέθοδος της φασματομετρίας ακτίνων-Χ φθορισμού (X-ray Fluorescence / XRF) χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των δειγμάτων και βασίζεται στη μέτρηση της εκλυόμενης ακτινοβολίας ακτίνων-Χ κατά το «βομβαρδισμό» του δείγματος με ακτίνες-Χ.

Παρασκευάστηκαν υάλινα δισκία με σύντηξη δείγματος και τετραβορικού λιθίου. Για την υαλοποίηση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε 1,5 gr ξηρού και καλά λειοτριβημένου δείγματος, το οποίο αναμίχθηκε με τη βοήθεια αχάτη με 7,5 gr συντηκτικού τετραβορικού λιθίου ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$). Στη συνέχεια το μίγμα τοποθετήθηκε σε χωνευτήριο πλατίνας, στο οποίο προστέθηκαν τρεις σταγόνες βρωμιούχου λιθίου (LiBr), για να αυξηθεί η ικανότητα του μίγματος να ρέει.

Έπειτα από την παρασκευή των υάλινων δισκίων (fusion beads) των δειγμάτων με τη συσκευή M4 Gas Fusion πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση των δειγμάτων με τη μέθοδο φασματομετρίας ακτίνων-Χ φθορισμού με φασματόμετρο Energy Dispersive (ED) S2 Ranger της Bruker AXS, με χρήση λυχνίας Παλλαδίου (Pd), που ανήκει στο Εργαστήριο Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας & Οργανικής Πετρογραφίας της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.

3.4 Μέθοδος προσδιορισμού του διαγράμματος κοκκομετρίας - Μέθοδος με κόσκινα EN933.01

Η μέθοδος αυτή αποτελεί γεωμετρική μέθοδο αδρανών υλικών και εφαρμόστηκε με σκοπό τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών. Για την μελέτη ποσότητας 5 κιλών δείγματος ασβεστολιθικού πετρώματος και 5 κιλών διαβασικού, ξαναζυγίστηκαν τα δείγματα από τους σάκους που είχαν ληφθεί, ώστε να επαληθευτούν και να καταγραφτούν οι ακριβείς ποσότητες τους, έχοντας επαληθευτεί τα 5 κιλά για τα δυο πετρώματα κλάσματος 8 έως 20 mm ακολούθησε η πλύση των δειγμάτων και έπειτα η ξήρανση του σε ειδικούς φούρνους στους 110°C για τα τέσσερα κλάσματα κάθε υλικού διαδοχικά πριν την επεξεργασία τους. Εν' συνεχεία τετραμερίστηκαν οι δυο κατηγορίες αδρανών πετρωμάτων στο έδαφος, τοποθετώντας το μεικτό δείγμα στην επίπεδη σκληρή επιφάνεια εργασίας και ανακατεύθηκαν προσεκτικά με το φτυάρι για να σχηματιστεί ένας κώνος. Επαναλήφθηκε η διαδικασία αυτή 3 φορές με σκοπό να σχηματιστούν στο πάνω μέρος κώνοι, έτσι ώστε το αδρανές να κυλά προς τα κάτω από όλες τις πλευρές του κώνου και να επιτευχθεί καλύτερη ομογενοποίηση των αδρανών. Τέλος για την λήξη του τετραμερισμού επιπεδώθηκε ο τελευταίος κώνος βάζοντας το φτυάρι κάθετα στην κορυφή του κώνου πολλές φορές μέχρι να σχηματιστεί ένας επίπεδος σωρός ομοιόμορφου πάχους και διαμέτρου. Διαιρώντας τον σε τέσσερα μέρη με την βοήθεια δυο γωνιών καθέτων μεταξύ τους (εικόνα 13 και 15) επιτεύχθηκε η βέλτιστη κοκκομετρική διαβάθμιση.



Εικόνα 12: Ζύγιση αδρανών ασβεστόλιθου.



Εικόνα 13: Τετραμερισμός του πετρώματος.



Εικόνα 14: Ζύγιση αδρανών διαβασικού πετρώματος.

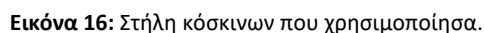


Εικόνα15: Τετραμερισμός του πετρώματος.

Αναλυτικότερα τα βήματα που εφαρμόστηκαν διαδοχικά για τις δυο κατηγορίες αδρανών δειγμάτων ήταν τα εξής:

Αναλυτικότερα τα βήματα που εφαρμόστηκαν διαδοχικά για τις δυο κατηγορίες αδρανών δειγμάτων ήταν τα εξής:

- Καταγραφή του ανοίγματος και του βάρους των κοσκίνων (στήλες 1 και 2). Τα κόσκινα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 8, 10, 12.5, 14, & 16 mm (πίνακας 2).
- Καταγραφή, βάρους ξηρού εδάφους με δοχείο και βάρους δοχείου (στήλες 9,10).
- Ακολουθεί η διαδικασία της κοσκίνισης, όπου τοποθετείται το υλικό στα κόσκινα και εφαρμόζεται χειρόπρακτα η κοσκίνιση.
- Καταγραφή στο εργαστηριακό έντυπο του βάρους κάθε κόσκινου με το υλικό που έχει συγκρατήσει (στήλη 4).
- Έχει πλέον ολοκληρωθεί η εργαστηριακή διαδικασία ανάλυσης με κόσκινα και έχουν καταγραφτεί όλα τα πρωτογενή δεδομένα του εντύπου για τους απαιτούμενους υπολογισμούς της μεθόδου (στήλες 5,6,7,8).

[illegible]

3.5 Μέθοδος προσδιορισμού της μορφής των κόκκων - Δείκτης πλακοειδούς EN 933.03

Η μέθοδος προσδιορισμού της μορφής των κόκκων ή αλλιώς δείκτης πλακοειδούς είναι μια **μέθοδος προσδιορισμού των γεωμετρικών χαρακτηριστικών** των κόκκων του αδρανούς και πιο συγκεκριμένα του ποσοστού των πεπλατυσμένων και επιμηκών κόκκων που υπάρχουν στο δείγμα (Pavetest, 2024). Ο προσδιορισμός του δείκτη γίνεται μέσω ειδικών πλακοειδών κοσκίνων (παράλληλων σχισμών με πλάτος όσο το μισό της μεγαλύτερης διαμέτρου ($D_i/2$)) και είναι η αναλογία των κόκκων που διέρχονται από τα ειδικά πλακοειδή κόσκινα, προς τη συνολική μάζα του δείγματος. Τα ειδικά κόσκινα έχουν διαμετρήματα αντίστοιχα με τις διάφορες κλάσεις που προκύπτουν από την κοκκομετρική ανάλυση του υλικού. Η δοκιμή θα πρέπει να ανταποκρίνεται στις Ευρωπαϊκές (EN) προδιαγραφές και συγκεκριμένα στις EN 932-2, EN 932-5, EN 933-1 και EN 933-2. Ιδανικό υλικό για αξιοποίηση ως αδρανές είναι το υλικό που έχει χαμηλό δείκτη πλακοειδούς. Κάθε κοκκομετρικό κλάσμα d_i/D_i κοσκινίζεται χρησιμοποιώντας κόσκινα με μπάρες που έχουν παράλληλα διάκενα πλάτους $D_i/2$ (εικόνα 17) [(8/10), (10/12.5), (12.5/16), (16/20)mm].



Εικόνα 17: Στήλη κόσκινων με μπάρες.

Στη συνέχεια της επεξεργασίας χρησιμοποιήθηκε εργαστηριακό έντυπο για την καταγραφή και πιο οργανωμένη εφαρμογή της διαδικασίας στον πίνακα 3.

Φύλλο δεδομένων δοκιμής δείκτη πλακοειδούς				
Δείκτης Πλακοειδούς				
EN 933-3		Χειριστής:	Ξενοφώντος Ανδρέας	
Δείγμα:	Ασβεστολιθικό ΙΙ	Ημερομηνία:		
Συνολικό βάρος δείγματος δοκιμής ΜΟ = TIMH 1 γρ.		Μάζα υλικού που παραμένει στο κόσκινο 20mm = TIMH 2 γρ.		
		Μάζα υλικού που διέρχεται από το κόσκινο 8 mm = TIMH 3 γρ.		
		Άθροισμα απορριφθέντος υλικού = TIMH 4 γρ.		
Κόσκινα κοκκομετρικής ανάλυσης		Κόσκινα δείκτη πλακοειδούς		
di/Di (mm)	Βάρος (Ri) υλικού (γρ.)	Ονομαστικό πλάτος σχισμής κοσκίνου (mm)	Βάρος (mi) υλικού (γρ.)	Fli = (mi/Ri) * 100
16/20		10		
12,5/16		8		
10/12,5		6,3		
8/10		5		
M1 = ΣRi	TIMH 5	M2 = Σmi	TIMH 6	TIMH 7
FI = (M2/M1) * 100 = TIMH 8				

Πίνακας 3: Πίνακας επεξεργασίας μεθόδου δείκτη πλακοειδούς.

Επεξηγήσεις του παραπάνω πίνακα :

- MO: Συνολικό βάρος δείγματος δοκιμής.
- $M1 = \sum R_i$: Το άθροισμα βάρους του υλικού που προέκυψε από τα κλάσματα d_i/D_i (mm) τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα από την προηγούμενη μέθοδο κοκκομετρικής ανάλυσης.
- $M2 = \sum m_i$: Το άθροισμα του παραμένον υλικού που προέκυψε από την δοκιμή των κοσκίνων πλακοειδούς.
- FL: «Flakiness Index»: Τελική τιμή δείκτη πλακοειδούς.

Αναλυτικότερα για την εφαρμογή της διαδικασίας καταγράφηκαν τα στοιχεία των παρακάτω τιμών που λήφθηκαν στις 4 δοκιμές (2 για κάθε κατηγορία αδρανών δειγμάτων): ενώ τα βήματα που ακολούθησαν κατά την πειραματική διαδικασία ήταν τα εξής:

- **Τιμή 1:** Είναι το βάρος δείγματος που χρησιμοποιήθηκε για την μέθοδο και είναι το βάρος των 5 κιλών που αρχικά παρέλαβα εκτός του δείγματος που παραμένει στο κόσκινο των 20 mm και του δείγματος που διέρχεται από το κόσκινο των 8 mm.
- **Τιμή 2:** Είναι το βάρος του δείγματος το οποίο παραμένει στο κόσκινο των 20 mm και το οποίο δεν χρησιμοποιήθηκε στην μέθοδο (στα δείγματα μου, κοκκομετρίας 8 έως 20 η τιμή ήταν 0 g).
- **Τιμή 3:** Είναι το βάρος του δείγματος το οποίο διαπερνά το κόσκινο των 8 mm και το οποίο δεν θα χρησιμοποιήσω στην μέθοδο.
- **Τιμή 4:** Είναι το άθροισμα απορριφθέντος υλικού το οποίο προκύπτει από τις Τιμές 3 και 4.
- **Τιμή 5:** Είναι ουσιαστικά ίδια με την Τιμή 1 και αναλυτικότερα είναι το άθροισμα των επιμέρους μαζών ανά κατηγορία κλάσματος.
- **Τιμή 6:** Είναι το άθροισμα των μαζών του πεπλατυσμένου υλικού που διέρχεται από τα κόσκινα της μεθόδου δείκτη πλακοειδούς, εφαρμοσμένα με βάση την προηγούμενη μέθοδο της κοκκομετρικής ανάλυσης ανά συγκεκριμένη κοκκομετρία.
- **Τιμή 7:** Είναι το ποσοστό που προκύπτει από την στήλη της οποίας αναγράφεται ο δείκτης πλακοειδούς για κάθε κόσκινο.
- **Τιμή 8:** Είναι ο λόγος των τιμών $M2/M1 \cdot 100$ και είναι η τιμή που θα μας δώσει το ποσοστό «FL» για το δείκτη πλακοειδούς του υλικού.

3.6 Μέθοδος προσδιορισμού της αντίστασης σε φθορά (micro-Deval) EN 1097.01

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μηχανική μέθοδο αδρανών υλικών όπου προσδιορίζεται η αντοχή των αδρανών σε τριβή και κρούση. Η δοκιμή πραγματοποιείται με παρουσία νερού. Για το λόγο αυτό, πολλές φορές η Δοκιμή Micro-Deval προτιμάται έναντι της Los Angeles η οποία εφαρμόζεται χωρίς παρουσία νερού, καθώς στις φυσικές δράσεις τριβής και κρούσης σχεδόν πάντα συνυπάρχει και φυσική υγρασία (Pavetest, 2024).

Η συσκευή διαθέτει κυλίνδρους από ανοξείδωτο ατσάλι (εικόνες 18 και 19). Αυτοί περιστρέφονται με σταθερή ταχύτητα σε δύο μεταλλικές περιστρεφόμενες ράβδους, οι οποίες φέρουν αντιολισθητικές επικαλύψεις. Ο πίνακας ελέγχου βρίσκεται στην άκρη της συσκευής και δύναται να προγραμματίσει τον αριθμό των περιστροφών (εικόνα 20). Μετά το πέρας τους, η συσκευή σταματάει αυτόματα (Pavetest, 2024).

Η συσκευή συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις ασφαλείας. Για το λόγο αυτό φέρει προστατευτική διάταξη η οποία απομονώνει το χρήστη από τα κινούμενα μέρη ενώ ταυτόχρονα μειώνει τον παραγόμενο θόρυβο κάτω από τα 75 db (εικόνα 21). Μικροδιακόπτης ασφαλείας δεν αφήνει τη συσκευή να εκκινήσει αν δεν είναι κλειστή η διάταξη ασφαλείας (Pavetest, 2024).

Η συσκευή διατίθεται πλήρης με τα ακόλουθα αξεσουάρ:

- 2 ανοξείδωτοι κύλινδροι διαμέτρου 200 mm και μήκους 154 mm (εικόνες 18 και 19).
- Φορτίο σφαιρών αποτελούμενο από χαλύβδινες σφαίρες 5 kg (εικόνα 20).



Εικόνα 18: Κύλινδροι από ανοξείδωτο ατσάλι.



Εικόνα 19: Κύλινδροι από ανοξείδωτο ατσάλι.



Εικόνα 20: Χαλύβδινες σφαίρες.



Εικόνα 21: Συσκευή micro-Deval όπου απεικονίζεται η ρύθμιση των στροφών.

Με βάση το πρότυπο EN 1097.01 που εφαρμόστηκε η ταξινόμηση αδρανών του δείγματος πρέπει να τηρούνται μια από τις παρακάτω απαιτήσεις (κατά EN 933.03).

A) Μεταξύ 30% και 40% να διέρχεται από το κόσκινο 11,2mm ή

B) Μεταξύ 60% και του 70% να διέρχονται από το κόσκινο 12,5mm

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εφαρμόστηκε η «**B**» κατηγορία.

Αναλυτικότερα για την εφαρμογή της διαδικασίας καταγράφηκαν τα στοιχεία των παρακάτω τιμών που λήφθηκαν στις 6 δοκιμές (3 για κάθε κατηγορία αδρανών δειγμάτων) ενώ τα βήματα που ακολούθησαν κατά την πειραματική διαδικασία ήταν τα εξής:

- Κοσκίνισμα του δείγματος σε δυο κοκκομετρικά κλάσματα (10/12,5mm και 12,5/14mm). Έπειτα πλύση κάθε κλάσματος ξεχωριστά και τέλος ξήρανση στο φούρνο σε θερμοκρασία $110 \pm 5^\circ\text{C}$ μέχρι σταθερού βάρους.
- Εφόσον πάρει θερμοκρασία περιβάλλοντος γίνεται ανάμειξη ώστε να γίνει ένα κοκκομετρικό κλάσμα 10/14mm, παίρνοντας ως τελικό δείγμα 500g.

Όταν δεν είναι δυνατό να διαβαθμιστεί με τις παραπάνω απαιτήσεις τότε εναλλακτικά χρησιμοποιούνται οι παρακάτω διαβαθμίσεις με τον αντίστοιχο συνολικό βάρος χαλύβδινων σφαιρών όπως αναγράφεται στον πίνακα 4 (κατά EN 933.03).

Το τελικό βάρος του τελικού δείγματος θα πρέπει να είναι σε όλες τις περιπτώσεις $500 \pm 2\text{g}$.

Πίνακας 4: Εναλλακτική ταξινόμηση αδρανών με την αντίστοιχη μάζα σφαιρών κατά τη δοκιμή micro-Deval.

Διαβάθμιση Αδρανών (mm)	Ενδιάμεσο μέγεθος κόσκινου(mm)	Ποσοστιαίο διερχόμενο ενδιάμεσου κόσκινου (%)	Συνολικό Βάρος Σφαιρών (g)
4/6,3	5	30-40	2000±5g
4/8	6,3	60-70	2800±5g
6,3/10	8	30-40	4000±5g
8/11,2	10	60-70	4400±5g
<u>10/14</u>	11,2 ή <u>12,5</u>	30- <u>40</u> ή <u>60</u> -70	<u>5000±5g</u>
11,2/16	14	60/70	5400±5g

- Έλεγχος του κυλίνδρου ώστε να είναι καθαρός και απαλλαγμένος από απορρίμματα προηγούμενης δοκιμής και εισαγωγή του ξηρού δείγματος ποσοστού 60-40% δηλαδή 300g κοκκομετρίας 10-12,5mm και 200g κοκκομετρίας 12,5-14mm μαζί με 5kg από χαλύβδινες σφαίρες και 2,5 L νερό και τοποθέτηση του στο μηχάνημα.
- Ρύθμιση του μηχανήματος στις 12000 περιστροφές όπως απεικονίζεται στην (εικόνα 21) με ταχύτητα 120 rev./min. Η διαδικασία ολοκληρώνεται στα 100min
- Υπολογισμός της ποσότητας του υλικού που συγκρατείται ανάμεσα στα κόσκινα των 1,6-8mm το οποίο πρακτικά μας ενδιαφέρει για τον υπολογισμό του τελικού συντελεστή που θέλουμε.
- Πλύση και ξήρανση του παραμένον υλικού στο κόσκινο των 1,6mm στους $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Υπολογισμός Συντελεστή micro-Deval από την σχέση $M_{de} = [500 - (\text{βάρους που διαμένει ανάμεσα στα κόσκινα } 1,6-8\text{mm})/5]\%$, όπου η προδιαγραφή επιτρέπει $M_{de} \leq 35\%$.

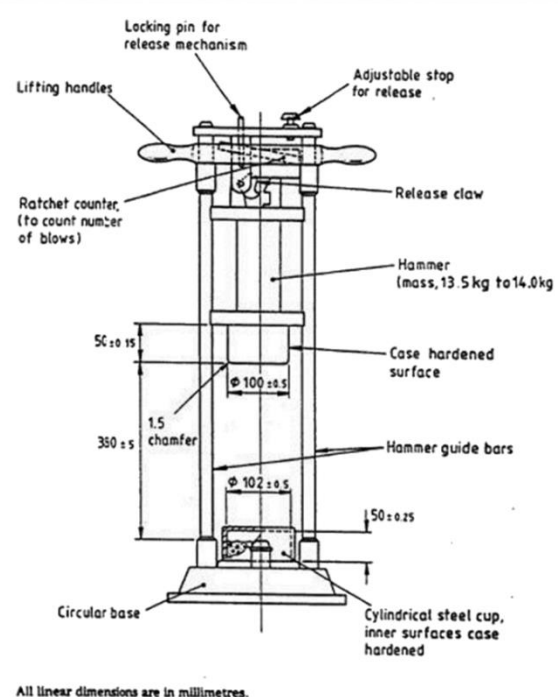
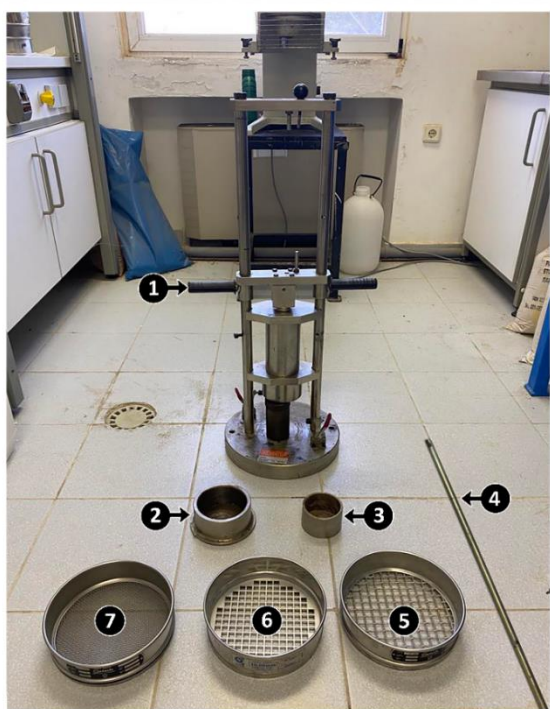
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ 1 ^{ης} ΔΟΚΙΜΗΣ MICRO-DEVAL ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΒΑΣΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ		
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑ ΤΟ ΠΕΡΑΣ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟ	 <p>πλύση - ξύραση παραμένον δείγματος</p> <p>→</p>	
ΔΙΑΒΑΣΙΚΟ	 <p>πλύση - ξύραση παραμένον δείγματος</p> <p>→</p>	

* Όμοια εφαρμόζεται η διαδικασία για τις δοκιμές micro-Deval 2 και 3 των δειγμάτων.

Εικόνα 22: Παράδειγμα δοκιμής ασβεστολιθικού και διαβασικού δείγματος.
(Προσωπικό αρχείο – επεξεργασία.)

3.7 Μέθοδος αντίστασης σε κρούση (AIV-Aggregate Impact Value) BS 812/75

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μηχανική μέθοδο αδρανών υλικών όπου προσδιορίζεται η αντοχή χονδρόκοκκων αδρανών υλικών σε απότομους κραδασμούς ή κρούσεις. Ο σκοπός της δοκιμής είναι να υπολογιστεί η φθορά σε ποσοστό, ώστε να ταξινομηθεί αναλόγως η αντοχή του υλικού σε αυτούς τους τύπους μηχανικής φόρτισης. Η μέτρηση του Aggregate Impact Value είναι σημαντική για πολλούς σκοπούς με κυριότερο της κατασκευής (Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας - ΤΕΕ).

ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΚΡΟΥΣΗ AIV	
ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ AIV	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΘΟΔΟΥ AIV
	
ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	
<ol style="list-style-type: none"> ❶ ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ ❷ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ ΧΑΛΥΒΔΙΝΟ ΚΥΠΕΛΛΟ ΠΟΥ ΤΟΠΟΘΕΤΕΙΤΕ ΣΤΗΝ ΒΑΣΗ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟ ΔΕΙΓΜΑ ❸ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ ΧΑΛΥΒΔΙΝΟ ΚΥΠΕΛΛΟ, ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΩΣ ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΘΕ ΔΟΚΙΜΗ ❹ ΡΑΒΔΟΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ❺ ΚΟΣΚΙΝΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗΣ ΟΠΗΣ ΜΕΓΕΘΟΥΣ 14,0mm ❻ ΚΟΣΚΙΝΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗΣ ΟΠΗΣ ΜΕΓΕΘΟΥΣ 10,0mm ❼ ΚΟΣΚΙΝΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗΣ ΟΠΗΣ ΜΕΓΕΘΟΥΣ 2,36mm 	

Εικόνα 23: Σχηματική αναπαράσταση και εξοπλισμός μεθόδου (AIV) .(Προσωπικό αρχείο – επεξεργασία.)

Αναλυτικότερα ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε καθώς και οι χρήσεις τους αναγράφονται παρακάτω με την αντίστοιχη αρίθμηση του πίνακα 22:

1. **Μηχανή δοκιμής πρόσκρουσης.** Η μηχανή πρέπει να είναι γενικής μορφής, να έχει συνολική μάζα 45 έως 60 kg και να αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη (**εικόνα 23, Ν^ο 1**) :
 - Α)** Κυκλική μεταλλική βάση, μάζας μεταξύ 22 έως 30 kg, με επίπεδη κατώτερη επιφάνεια διαμέτρου τουλάχιστον 300 mm και να στηρίζεται σε επίπεδο δάπεδο από σκυρόδεμα ή ογκόλιθο πάχους τουλάχιστον 450 mm. Το μηχάνημα πρέπει να εμποδίζεται να ταλαντεύεται κατά τη λειτουργία του μηχανήματος.
 - Β)** Μεταλλική σφύρα, μάζας μεταξύ 13,5 kg και 14,0 kg, της οποίας το κατώτερο άκρο πρέπει να έχει κυλινδρικό σχήμα, διάμετρο 100,0 mm συν ή πλην 0,5 mm και μήκος 50 mm συν ή πλην 0,15 mm, με λοξότμηση 1,5 mm στο κάτω άκρο και περίβλημα σκληρυμένο. Η σφύρα πρέπει να ολισθαίνει ελεύθερα μεταξύ κατακόρυφων οδηγών διατεταγμένων έτσι ώστε το κάτω μέρος της σφύρας να είναι άνωθεν και ομόκεντρο με το κύπελλο.
 - Γ)** Μέσα ανύψωσης της σφύρας και ελεύθερης πτώσης της μεταξύ των κατακόρυφων οδηγών από ύψος 380 mm συν ή πλην 5 mm στο δείγμα δοκιμής του κυπέλλου και μέσα ρύθμισης του ύψους πτώσης εντός 5 mm.
 - Δ)** Μέσα στήριξης του σφυριού κατά τη στερέωση ή την αφαίρεση του κυπέλλου.
2. **Κυλινδρικό χαλύβδινο κύπελλο**, εσωτερικής διαμέτρου 102 mm συν ή πλην 0,5 mm και εσωτερικού βάθους 50 mm συν ή πλην 0,25 mm. Τα τοιχώματα πρέπει να έχουν πάχος τουλάχιστον 6 mm. Το κύπελλο πρέπει να στερεώνεται σταθερά στο κέντρο της βάσης και να αφαιρείται εύκολα για άδειασμα (**εικόνα 23, Ν^ο 2**).
3. **Κυλινδρικό χαλύβδινο κύπελλο**, εσωτερικής διαμέτρου 70 mm συν ή πλην 0,5 mm και εσωτερικού βάθους 50 mm συν ή πλην 0,25 mm, στο οποίο εισάχθηκε η ποσότητα του υλικού ως το ανώτερο σημείο ώστε να υπολογιστεί η ποσότητα υλικού που θα χρησιμοποιηθεί για την δοκιμή και θα τοποθετηθεί στο παραπάνω κύπελλο που θα πραγματοποιηθεί η δοκιμή (**εικόνα 23, Ν^ο 3**).
4. **Ράβδος συμπίεσης**, κατασκευασμένη από ευθεία σιδερένια ή χαλύβδινη ράβδο κυκλικής διατομής, διαμέτρου 16 mm συν ή πλην 1 mm και μήκους 600 mm συν ή πλην 5 mm, με ημισφαιρικά και τα δύο άκρα (**εικόνα 23, Ν^ο 4**).
5. **Κόσκινα** δοκιμής διάτρητης πλάκας τετράγωνης οπής, μεγέθους **14,0 mm** (**εικόνα 23, Ν^ο 5**).
6. **Κόσκινα** δοκιμής διάτρητης πλάκας τετράγωνης οπής, μεγέθους **10,0 mm** (**εικόνα 23, Ν^ο 6**).
7. **Κόσκινα** δοκιμής διάτρητης πλάκας τετράγωνης οπής, μεγέθους **2,36 mm** (**εικόνα 23, Ν^ο 7**).

Αναλυτικότερα για την εφαρμογή της διαδικασίας καταγράφηκαν τα στοιχεία των παρακάτω τιμών που λήφθηκαν στις 6 δοκιμές (3 για κάθε κατηγορία αδρανών δειγμάτων) ενώ τα βήματα που ακολούθησαν κατά την πειραματική διαδικασία ήταν τα εξής:

- Κοσκίνισμα του υλικού μέσα από κόσκινα 14 mm και 10 mm. Τα αδρανή που διέρχονται από το κόσκινο των 14 mm αποτελούν το υλικό δοκιμής.
- Ακολουθεί η χρήση του κυλινδρικού χαλύβδινου κυπέλλου, όπως απεικονίζεται στην (εικόνα 23) με αρίθμηση «3» όπου το γέμισμα του αποτελεί το 1/3 του βάθους του κυλινδρικού κυπέλλου που θα χρησιμοποιηθεί για την δοκιμή όπως αριθμείται με το νούμερο «2».
- Συμπύκνωση του υλικού δίνοντας 25 απαλά χτυπήματα με το στρογγυλεμένο άκρο της ράβδου συμπίεσης στον κύλινδρο.
- Επαναλαμβάνεται η μέθοδος της πλήρωσης του κυλίνδρου δυο ακόμα φορές με παρόμοιο τρόπο.
- Έλεγχος για τυχόν πλεονάζουσα αδρανή που προεξέχουν από τον κύλινδρο.
- Προσδιορισμός του καθαρού βάρους των αδρανών στο πλησιέστερο γραμμάριο (M_1) (**ΤΙΜΗ 1**, του πίνακα 5).
- Επανάληψη της διαδικασίας συμπίεσης με ακόμα 25 απαλές κινήσεις με την ράβδο και στερέωση του κυπέλλου σταθερά στην βάση του μηχανήματος, τοποθετώντας ολόκληρο το δείγμα δοκιμής σε αυτό.
- Ακολουθεί η έναρξη της δοκιμής, σηκώνοντας το σφυρί έως ότου η κάτω όψη του να είναι 380 mm πάνω από την επιφάνεια του αδρανούς στο κυλινδρικό κύπελλο και αφήνοντας το να πέσει ελεύθερα στο συνολικό δείγμα. 15 τέτοια χτυπήματα σε διάστημα όχι μικρότερο του ενός δευτερολέπτου μεταξύ διαδοχικών πτώσεων γίνονται σε αυτό.
- Αφαίρεση του θρυμματισμένου αδρανούς από το κυλινδρικό κύπελλο και κοσκίνισμα από το κόσκινο των 2,36 mm. Ζύγισμα του κλάσματος που περνά από το κόσκινο με ακρίβεια 1g (M_2) (**ΤΙΜΗ 2**, του πίνακα 5).
- Τέλος ακολουθεί ο υπολογισμός του ποσοστού φθοράς από την σχέση $(M_2/M_1 * 100)\%$ (**ΤΙΜΗ 3**, του πίνακα 5).

Πίνακας 5: Πίνακας επεξεργασίας μεθόδου αντίστασης σε κρούση (AIV).

ΔΟΚΙΜΗ AIV (AGGREGATE IMPACT VALUE)			
ΔΙΑΒΑΣΙΚΟ ή ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟ ΠΕΤΡΩΜΑ			
Αριθμός δείγματος	Βάρος ξηρού δείγματος M_1 (g)	Βάρος δείγματος που περνά το κόσκινο ων 2,36 mm M_2 (g)	Ποσοστό φθοράς (%) ($M_2/M_1 * 100$)
1	ΤΙΜΗ 1	ΤΙΜΗ 2	ΤΙΜΗ 3
2	//	//	//
3	//	//	//

3.8 Σύνθεση και μηχανική αντοχή δομικών στοιχείων

Μετά την αναγνώριση των πρώτων υλών, σχεδιάστηκε τριμερής σύνθεση υδραυλικού ενέματος στερέωσης με βάση μία εμπορική φυσική υδραυλική άσβεστο τύπου NHL 5, μία φυσική ποζολάνη από τη Μήλο και λευκό τσιμέντο, σε αναλογίες 80, 10 και 10% κ. β., αντίστοιχα. Το μείγμα αυτό χρησιμοποιήθηκε ως υλικό πλήρωσης των κενών κυλινδρικών δοκιμίων τα οποία δημιουργήθηκαν και περιείχαν ποσότητα ασβεστολιθικών και διαβασικών αδρανών κοκκομετρικής διαβάθμισης από 8 έως 20 mm. Τα δοκίμια αυτά προσομοίωσαν τοιχοποιίες αποτελούμενες από ασβεστολιθικά και διαβασικά πετρώματα. Τα δομικά στοιχεία που παρασκευάστηκαν εργαστηριακά διατηρήθηκαν σε συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας εντός κλιματικού θαλάμου και ελέγχθηκαν ως προς την μηχανική τους συμπεριφορά εφαρμόζοντας σε αυτά δοκιμή ανεμπόδιστης μονοαξονικής θλίψης σε διαφορετικούς χρόνους ωρίμανσης (28, 56 και 90 ημέρες, αντίστοιχα).

Αρχικά δημιουργήθηκαν συνολικά 44 πλαστικά καλούπια κυλινδρικής διατομής για την παρασκευή των δοκιμίων. Για την δημιουργία τους χρειάστηκε σωλήνας 6 μέτρων Φ60 δηλαδή διαμέτρου 60 mm.

Μετά την παραλαβή τους μαζί με 44 πλαστικά πώματα (εικόνα 24), έπρεπε να καλυφθούν ένα προς ένα στο κάτω μέρος τους, ώστε να γεμίσουν με ρευστό υλικό.



Εικόνα 24: Κυλινδρικά καλούπια με τις βάσεις (πώματα) τους, κονία (μπλε σακούλα), ποζολάνη (άσπρη σακούλα).



Εικόνα 25: Όψη κυλινδρικού καλουπιού με την βάση (πώμα) του.

Εικόνα 26: Όψη κυλινδρικού καλουπιού με την βάση του.

Έπειτα ακολούθησε ο υπολογισμός της ποσότητας των αδρανών υλικών (ασβεστολιθικά διαβασικά) που θα χρησιμοποιηθούν για το πείραμα. Κάθε κυλινδρικό καλούπι χωρίς την βάση του ζύγιζε 100g και τοποθετούνταν εσωτερικά σε αυτό οι παρακάτω ποσότητες υλικού:

1^η Κατηγορία Υλικού: **Διαβασικό Αδρανές**, αναλυτική ποσότητα δείγματος,

- 50 g κοκκομετρίας 8 έως 10mm
- 100 g κοκκομετρίας 12,5 έως 16mm
- 300 g κοκκομετρίας 16 έως 20mm

Αναλυτικότερα στα 22 καλούπια χρειάστηκαν [1100 g (8-10mm), 2200g (12,5-16mm), 6600g (16-20mm)].

Συνολική ποσότητα ασβεστολιθικών αδρανών 10kg , δυο σάκοι αποτελούμενοι από 5 kg κοκκομετρίας 8 έως 20mm.

2^η Κατηγορία Υλικού: **Ασβεστολιθικό Αδρανές**, αναλυτική ποσότητα δείγματος,

Χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες ποσότητες υλικού με την 1^η Κατηγορία.

Αναλυτικότερα στα 22 καλούπια χρειάστηκαν [1100g (8-10mm), 2200g (12,5-16mm), 6600g (16-20mm)].

Συνολική ποσότητα διαβασικών αδρανών 10kg , δυο σάκοι αποτελούμενοι από 5kg κοκκομετρίας 8 έως 20mm

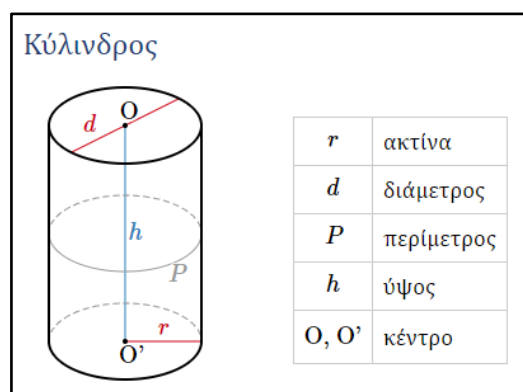
Παρακάτω ακολουθεί διαδικασία υπολογισμού του ποσοστού των κενών μετά την προσθήκη σταθερής ποσότητας 450g, ασβεστολιθικών και διαβασικών αδρανών για κάθε κυλινδρικό καλούπι.

Από από μετρήσεις που αναγράφονται στο παρακάτω βήμα προκύπτουν ως δεδομένα:

- Η διάμετρος $d=5,9\text{cm}$.
- Το ύψος των δοκιμών $h=12\text{cm}$.

Από τα παραπάνω δεδομένα υπολογίσθηκαν:

- Ακτίνα του κυλίνδρου $r=2,95\text{cm}$, όπου ($r=d/2$).
- Όγκος $V=328,1\text{ cm}^3$, όπου ($V=\pi r^2 h$).
- Εμβαδόν βάσης κυλίνδρου $E_b=27,3\text{ cm}^2$, όπου ($E_b= \pi r^2$).
- Εμβαδόν κυρτής επιφάνειας $E_k=222,4\text{ cm}^2$, όπου ($E_k=2\pi r h$).
- Εμβαδόν επιφάνειας $E=277,1\text{ cm}^2$, όπου ($E=E_b + E_k$).
- Περίμετρος $P=18,5\text{ cm}$, όπου ($P=2\pi r$).



Εικόνα 27: Γεωμετρικά στοιχεία κυλίνδρου.

Από τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτουν σημαντικές πληροφορίες για τα γενικά χαρακτηριστικά των κυλινδρικών δοκιμίων. Για τον υπολογισμό του ποσοστού των κενών που προκύπτουν έπειτα της προσθήκης των αδρανών στα κυλινδρικά καλούπια απαιτείται ο προηγούμενος υπολογισμός του όγκου του δοκιμίου ο οποίος υπολογίσθηκε **$V=328,1 \text{ cm}^3$** .

Σύμφωνα με τον (Alden, 2024), οι πυκνότητες πετρωμάτων εκτιμήθηκαν:

- Η πυκνότητα ασβεστολιθικού πετρώματος κυμαίνεται από **$2,3-2,7 \text{ g/cm}^3$** .
- Η πυκνότητα διαβασικού πετρώματος κυμαίνεται από **$2,6-3 \text{ g/cm}^3$** .

Από την σχέση της πυκνότητας $\rho=m/v$, όπου m = μάζα και v = όγκος, και με βάση ως δεδομένο τα **450g** υλικού ανά κυλινδρικό καλούπι και όγκο κυλινδρικού καλουπιού **$V=328,1 \text{ cm}^3$** , θα υπολογιστούν οι όγκοι που θα καλύπτουν τα αδρανή υλικά στα καλούπια για τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές πυκνότητας των πετρωμάτων, από υπολογισμούς προκύπτουν:

- Για τα ασβεστολιθικά δοκίμια : Για $\rho=2,3 \text{ g/cm}^3$, **$V=195,65 \text{ cm}^3$** , για $\rho=2,7 \text{ g/cm}^3$, **$V=166,66 \text{ cm}^3$** .
- Για τα διαβασικά δοκίμια : Για $\rho=2,6 \text{ g/cm}^3$, **$V=173 \text{ cm}^3$** , για $\rho=3 \text{ g/cm}^3$, **$V=150 \text{ cm}^3$**

Τέλος για τον υπολογισμό του ποσοστού του όγκου κενών για τα δυο διαφορετικά αδρανή ακολούθησαν οι τελικοί υπολογισμοί όπου:

- Για τα ασβεστολιθικά δοκίμια : Για $v=195,65 \text{ cm}^3$ τότε $328,1-195,65=\mathbf{132,43 \text{ cm}^3}$ ή **40%**, ομοίως για $v=166,66 \text{ cm}^3$ τότε **$161,44 \text{ cm}^3$ ή 49,2%**
- Για τα διαβασικά δοκίμια : Για $v=173 \text{ cm}^3$ τότε **$155,1 \text{ cm}^3$ ή 47,27%**, για $v=150 \text{ cm}^3$ τότε **$178,1 \text{ cm}^3$ ή 54,28%**

Συνοπτικά από τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτει ότι ο όγκος κενών για:

- Καλούπια με **ασβεστολιθικό** πέτρωμα έχουν ποσοστό κενών να κυμαίνεται από **40-49,2%**.
- Καλούπια με **διαβασικό** πέτρωμα έχουν ποσοστό κενών να κυμαίνεται από **47,27-54,28%**.

Διαδικασία επεξεργασίας

Βήμα 1°: Επάλειψη των κυλινδρικών καλούπιών και των βάσεων τους με μείγμα σπορέλαιου και σαπουνιού (εικόνες 25 και 26). Στόχος του βήματος ήταν η απομάκρυνση του δοκιμίου από το πλαστικό περίβλημα στο πέρας της διαδικασίας.

Βήμα 2°: Τοποθέτηση του υπολογισθέντος υλικού στα επαλειμμένα καλούπια. Σκοπός ήταν να κατανεμηθεί ομοιόμορφα στο εσωτερικό των κυλίνδρων. Το υλικό που τοποθετήθηκε βρισκόταν 1-2 cm κάτω από το άνω άκρο της κυλινδρικής επιφάνειας. Το τελικό αποτέλεσμα απεικονίζεται παρακάτω (εικόνες 28 και 29).



Εικόνα 28: Κάτοψη τοποθέτησης ασβεστολιθικού πετρώματος στα καλούπια.



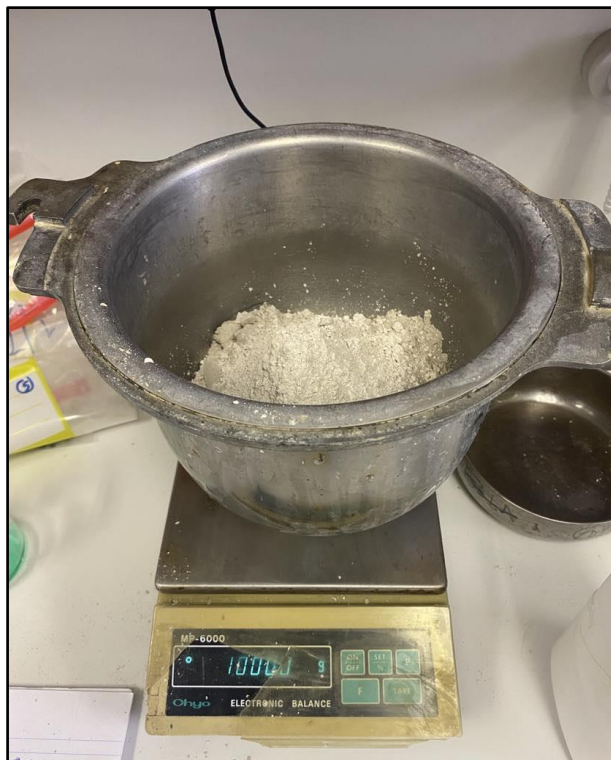
Εικόνα 29: Όψη τοποθέτησης ασβεστολιθικού πετρώματος στα καλούπια.

Βήμα 3^ο: Δημιουργία μιας τριμερής σύνθεσης φυσικής υδραυλικής ασβέστου NHL 5, φυσικής ποζολάνης από την Μήλο και λευκού τσιμέντου αναλογίας 80, 10 και 10% κ. β., αντίστοιχα. Προστέθηκαν σε ατσάλινο ασημένιο δοχείο 800 g κονιάς, 100 g φυσικής ποζολάνης και 100g λευκού τσιμέντου και έπειτα την πραγματοποίηση πειραματικών δοκιμών προστέθηκαν 3 g ρευστοποιητή και 800 ml νερό για την επιτυχή δημιουργία των δομικών στοιχείων.

Η διαδικασία που ακολούθησε στο παραπάνω βήμα, ολοκληρώθηκε σε διάστημα 2 ημερών όπου:

- A) Το ατσάλινο δοχείο τοποθετήθηκε σε ζυγαριά (εικόνα 30), όπου προστέθηκαν με ακρίβεια 800 g NHL 5.0, 100g φυσικής ποζολάνης και 100 g λευκού τσιμέντου.
- B) Έπειτα το ατσάλινο δοχείο τοποθετήθηκε σε μηχανήμα ανάδευσης (εικόνα 31), όπου αναδεύτηκαν τα υλικά μεταξύ τους για τουλάχιστον 5 λεπτά ώστε να ομογενοποιηθούν όσο το δυνατόν καλύτερα γίνεται.
- Γ) Ακολούθησε η διαδικασία προσθήκης νερού ποσότητας 800ml σταδιακά, κατά την διάρκεια της ανάδευσης έως το πέρας του 4^{ου} λεπτού.
- Δ) Τελικό βήμα αποτέλεσε η προσθήκη του ρευστοποιητή EM bond ποσότητας 3 g, ενώ παράλληλα αυξήθηκε η ταχύτητα ανάδευσης από το ένα που ήταν αρχικά στο νούμερο 3 (μέγιστη ταχύτητα ανάδευσης). Η διαδικασία συνεχίστηκε για ακόμα 2 λεπτά.

Η διαδικασία επαναλήφθηκε 5 φορές συνολικά για την παρασκευή των 44 δοκιμών ,22 και 22.



Εικόνα 30: Ατσάλινο δοχείο με την προσθήκη της σύνθεσης.



Εικόνα 31: Μηχάνημα ανάδευσης.

Βήμα 4^ο: Έχοντας το τελικό αποτέλεσμα της σύνθεσης, επόμενο βήμα αποτέλεσε το γέμισμα των πλαστικών κυλινδρικών καλουπιών που περιείχαν τα πετρώματα. Τα 22 καλούπια με το ασβεστολιθικό πέτρωμα συμβολίστηκαν με το γράμμα «Α» ενώ τα 22 που περιείχαν διαβασικό πέτρωμα με το γράμμα «Β».

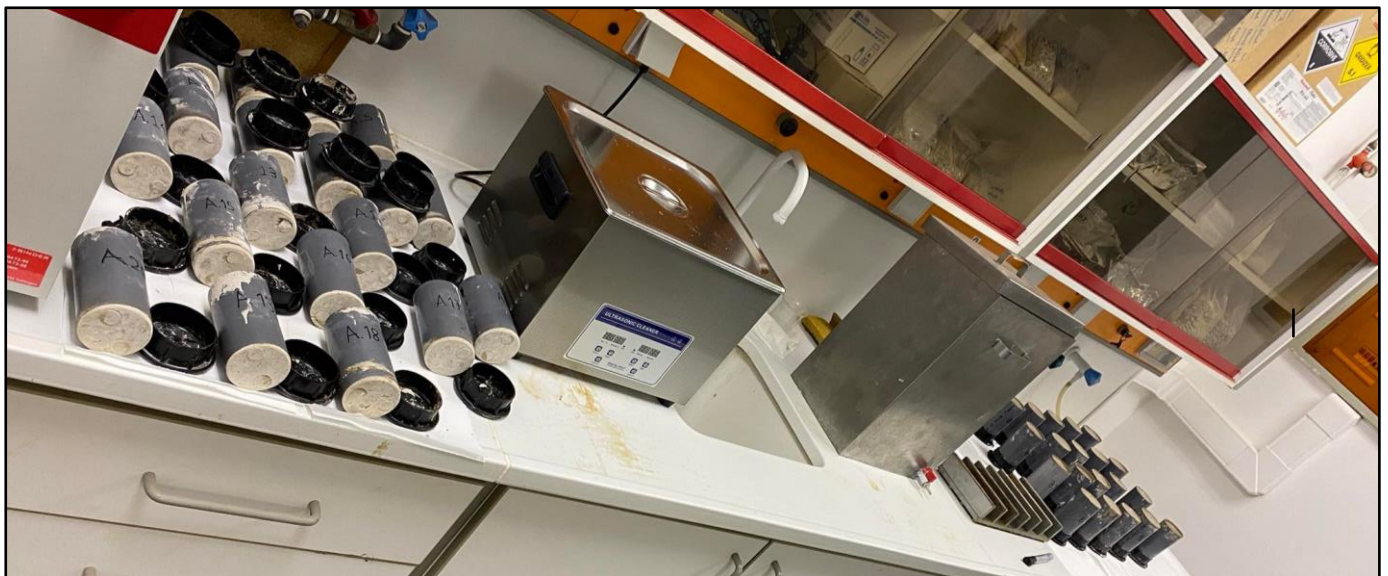
Μετά το γέμισμα κάθε πεντάδας καλουπιών, ήταν απαραίτητο να χτυπηθούν στο κάτω μέρος χειρόπρακτα (εφόσον δεν υπήρχε ο εξοπλισμός) για την απομάκρυνση του εγκλωβισμένου αέρα υπό μορφή φυσαλίδας. Αυτό επιτεύχθηκε με την βοήθεια 2^{ου} ατόμου καθώς η διαδικασία απαιτούσε ταχύτητα. Η διαδικασία στερεοποίησης διήρκεσε 2 ημέρες .



Εικόνα 32: Ασβεστολιθικά δείγματα με την ένδειξη «Α»



Εικόνα 33: Διαβασικά δείγματα με την ένδειξη «Β»



Εικόνα 34: Χώρος αποθήκευσης δειγμάτων.

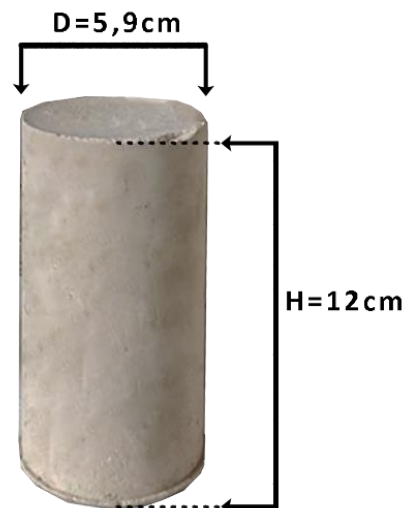
Βήμα 5°: Το παρόν βήμα αποτέλεσε την διαδικασία του ξεκαλουπώματος των δοκιμίων και έπειτα την εισαγωγή τους σε μηχανήμα παραγωγής φυσικής υγρασίας, όπου τα δοκίμια παρέμειναν έως το πέρας των 28, 56 και 90 ημερών, όπου θα ακολουθούσαν οι δοκιμές ανεμπόδιστης μονοαξονικής θλίψης με σκοπό τον υπολογισμό της τελικής τους αντοχής. Στον θάλαμο συντήρησης που παρουσιάζεται στην παρακάτω (εικόνα 35) τα δοκίμια διατηρήθηκαν σε σταθερή υγρασία ποσοστού 90% και θερμοκρασία 18,50C.



Εικόνα 35: Θάλαμος συντήρησης ελεγχόμενων συνθηκών υγρασίας-θερμοκρασίας ασβεστολιθικών και διαβασικών δοκιμίων.

Βήμα 6^ο: Το βήμα αυτό αποτέλεσε τα τρία τελευταία επιμέρους βήματα της πειραματικής διαδικασίας, όπου στο πέρας των 28, 56 και 90 ημερών επιλέχθηκαν (4 για τις 28 και 56 ημέρες και 5 για τις 90 ημέρες) δοκίμια για τις κατηγορίες «Α»(ασβεστολιθικά) και «Β»(διαβασικά) και εκτελέσθηκε σε αυτά ανεμπόδιστη μονοαξονική θλίψη, με σκοπό να υπολογιστεί η αντοχή τους. Προτού εφαρμοστεί η διαδικασία τα δοκίμια μετρήθηκαν (εικόνα 36) με σκοπό να υπολογιστούν τα παρακάτω δεδομένα και έπειτα αριθμήθηκαν στο επάνω μέρος τους:

- Τη διάμετρο των δοκιμίων (**D=5,9cm**)
- Το ύψος των δοκιμίων (**H=12cm**)
- Το εμβαδόν τους μέσω της σχέσης εμβαδού κυλίνδρου ($(3,14 \cdot D^2)/4$) (**E=27,33 cm²**)










Εικόνα 36: Διαστασιολόγηση δοκιμίου.

* Τα παραπάνω δεδομένα **απαιτούνται** για την διαδικασία επεξεργασίας στο excel, ώστε να υπολογισθεί η τελική αντοχή.

Έπειτα ακολούθησε η λείανση με γυαλόχαρτο στην πάνω και κάτω επιφάνεια των δοκιμίων πριν από κάθε δοκιμή.

Στο τέλος των δοκιμών, συλλέγονται τα απομένοντα θραύσματα του εκάστοτε δοκιμίου σε σακουλάκι και αναγράφεται πάνω ο αριθμός του δείγματος και η κατηγορία του ασβεστολιθικό ή διαβασικό (εικόνα 37), ώστε να υπάρχουν στο αρχείο για μελλοντικές δοκιμές.

ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ	
ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	ΠΟΡΕΙΑ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ
	<p>1^ο ΣΤΑΔΙΟ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</p> 
	<p>2^ο ΣΤΑΔΙΟ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ ΣΤΑΔΙΟ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ</p> 
	<p>3^ο ΣΤΑΔΙΟ ΤΕΛΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ -ΘΛΙΨΗ</p> 
ΘΡΑΥΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟ	ΔΙΑΒΑΣΙΚΟ
	

Εικόνα 37: Δοκιμή μονοαξονικής θλίψης. (Προσωπικό αρχείο – επεξεργασία.)

Τα αποτελέσματα που λήφθηκαν από τις δοκιμές μονοαξονικής θλίψης ήταν σε αρχείο excel και περιείχαν πληροφορίες σχετικά με το φορτίο και την παραμόρφωση που δεχόταν το δοκίμιο για κάθε χρονική στιγμή.

Σκοπός της υπολογιστικής επεξεργασίας ήταν ο υπολογισμός της τάσης - παραμόρφωσης με σκοπό την δημιουργία καμπύλης τάσης - παραμόρφωσης και τελικά τον υπολογισμό της αντοχής.

Αναλυτικότερα τα βήματα που ακολουθήθηκαν ήταν τα εξής:

- Πρώτο βήμα αποτέλεσε η διαστασιολόγηση των δοκιμών με βασική προϋπόθεση να υπολογισθούν το ύψος (H), η διάμετρος (D) και εν τέλη να υπολογισθεί το εμβαδόν (A) των δοκιμών (εικόνα 36).
- Υπολογισμός του $\Delta L/H$ σε (mm) από το οποίο προκύπτει η **παραμόρφωση «ε» (strain)**, με ΔL η διαφορά της αρχικής τιμής σε (mm) με την εκάστοτε τιμή. Οι τιμές αυτές λήφθηκαν ως δεδομένα προς επεξεργασία.
- Υπολογισμός του $F/A \cdot 10$, όπου F είναι το φορτίο (kN) και το (A) το εμβαδό που έχω ήδη υπολογίσει προηγούμενος και έτσι προκύπτει η **Τάση «σ» (Stress σε MPa)**.
- Τελικό στάδιο επεξεργασίας αποτέλεσε η δημιουργία του διαγράμματος τάσης - παραμόρφωσης ή stress - strain.
- Η μέγιστη αντοχή υπολογίζεται με την εντολή max μέσω του excel όπου είναι η μέγιστη τιμή που προκύπτει από τους υπολογισμούς της Τάσης.

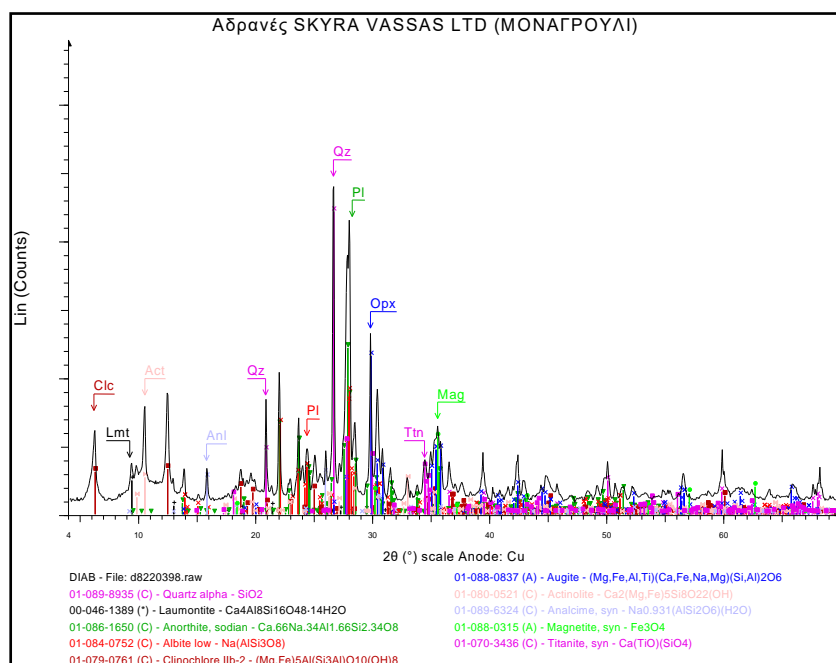
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Αποτελέσματα μεθόδου περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων – Χ (PXRD)

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ποιοτικής ορυκτολογικής ανάλυσης των δειγμάτων, η οποία πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο της περιθλασιμετρίας κόνεως ακτίνων -Χ (PXRD).



Διάγραμμα 1: Ορυκτολογική ανάλυση διαβασικού πετρώματος

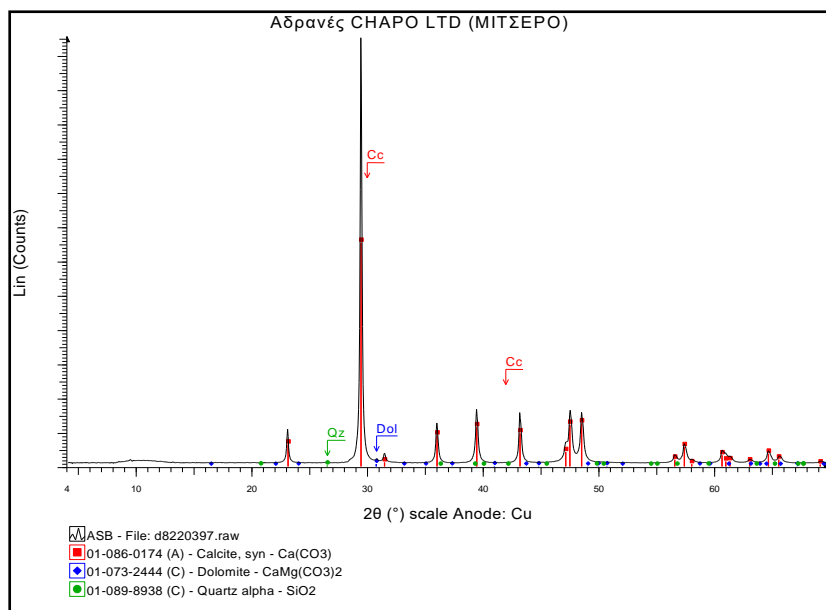
Διαβασικά αδρανή:

Οι κύριες ορυκτολογικές φάσεις που ανιχνεύθηκαν στο δείγμα του διαβασικού αδρανές της εταιρίας Skyra Vassas Ltd είναι χαλαζία, φάσεις πλαγιόκλαστων, αυγίτης, χλωρίτης και ακτινόλιθος. Συμμετέχουν επίσης σε μικρότερη αναλογία και επουσιώδη ορυκτά όπως λωμοντίτης, ανάλκιμο μαγνητίτης και τιτανίτης.

Η παρουσία χλωρίτη και λωμοντίτη (ζεόλιθος) είναι εμφανής στα διαβασικά αδρανή τα οποία υπέστησαν

υδροθερμική εξαλλοίωση μετά τη στερεοποίηση των φλεβών και όταν το οφιολιθικό σύμπλεγμα του Τρόδους που ήταν κάτω από το βυθό της θάλασσας (Κωνσταντίνος & Παναγίδης), (2013). Όπως αναφέρει ο Wilson (1997), στις περισσότερες περιπτώσεις η παρουσία λωμοντίτη είναι αποτέλεσμα της υδροθερμικής εξαλλοίωσης των πλούσιων σε ασβέστιο πλαγιόκλαστων. Σύμφωνα με τους Richardson et al. (1987) και Gillis (2002), ο χλωρίτης επίσης αποτελεί δευτερογενές ορυκτό που προέκυψε από υδροθερμική εξαλλοίωση κλινοπυρόξενου (αυγίτη).

Αρκετοί είναι οι ερευνητές που αναφέρουν ότι ο χλωρίτης και ο λωμοντίτης επηρεάζουν την απόδοση αδρανών. Για παράδειγμα, οι Anghamelu & Okolgbue (2003) θεωρούν υπεύθυνο τον χλωρίτη για την κακή απόδοση των πυροκλαστικών αδρανών που εξέτασαν. Επίσης οι Wikizaka et al. (2001) αναφέρουν ότι ο λωμοντίτης προκαλεί θρυμματισμό στα επιφανειακά αδρανή, απολέπιση και μικρορωγμές στην επιφάνεια του κονιάματος και του σκυροδέματος και τα δυο αυτά ορυκτά έχουν μεγάλη ειδική επιφάνεια, οπότε έχουν την ικανότητα να απορροφούν νερό. Η έκθεση των αδρανών που περιέχουν χλωρίτη και λωμοντίτη σε επαναλαμβανόμενους κύκλους ύγρανσης/ξήρανσης οδηγεί στη ρηγμάτωση τους, με συνεπακόλουθο αποτέλεσμα τη ρηγμάτωση του σκυροδέματος και του κονιάματος (Fookes & Walker, 2011)



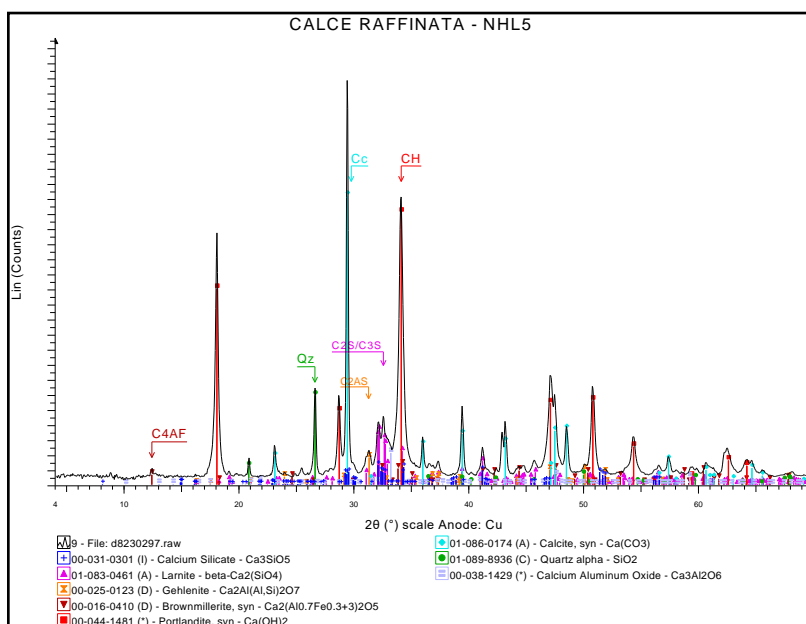
Διάγραμμα 2: Ορυκτολογική ανάλυση ασβεστολιθικού πετρώματος.

Ασβεστολιθικά αδρανή:

Εξετάζοντας την ορυκτολογία των ασβεστολιθικών δειγμάτων προέκυψε πως το αδρανές από την εταιρία CHAPO Ltd πρόκειται για ένα ασβεστόλιθο πολύ υψηλής καθαρότητας μιας και στο ακτινοδιάγραμμα 2 κυριαρχεί η φάση του ασβεστίτη και υπάρχουν μικρές προσμίξεις χαλαζία και δολομίτη.

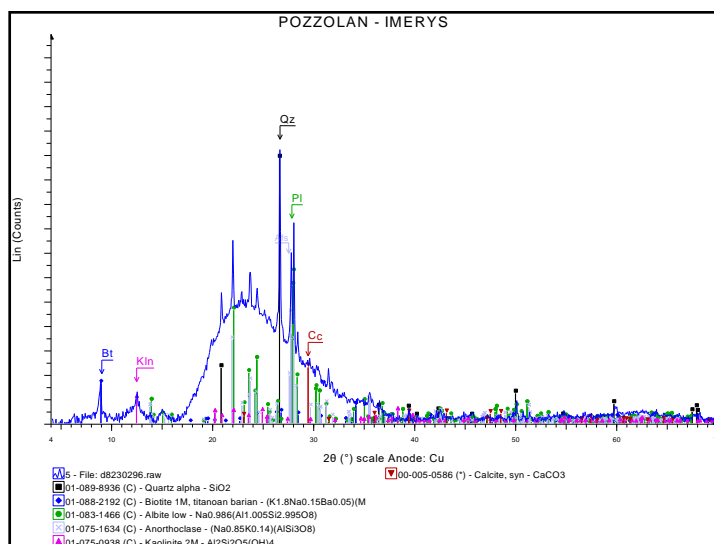
Φυσική υδραυλική ασβέστος (NHL 5):

Η ορυκτολογική ανάλυση του δείγματος της φυσικής υδραυλικής ασβέστου CALCE RAFFINATA – NHL 5, φανέρωσε την παρουσία των υδραυλικών φάσεων του πυριτικού διασβέστιο (βελίτη – C_2S) και του πυριτικού τριασβεστίου (αλίτη – C_3S). Ενώ χαρακτηριστικές είναι και οι εντάσεις των ανακλάσεων της φάσης του πορτλανδίτη CH ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), αυτό ήταν αναμενόμενο μιας και οι ανωτέρω φάσεις είναι αυτές που κυριαρχούν σε εμπορικά



Διάγραμμα 3: Ορυκτολογική ανάλυση φυσικής υδραυλικής ασβέστου.

προϊόντα φυσικής υδραυλικής ασβέστου τύπου NHL 5, σε μικρότερα ποσοστά συμμετέχουν οι φάσεις του γκελενίτη (C_2AS), φερρίτη (C_4AF) και χαλαζίας (Qz).



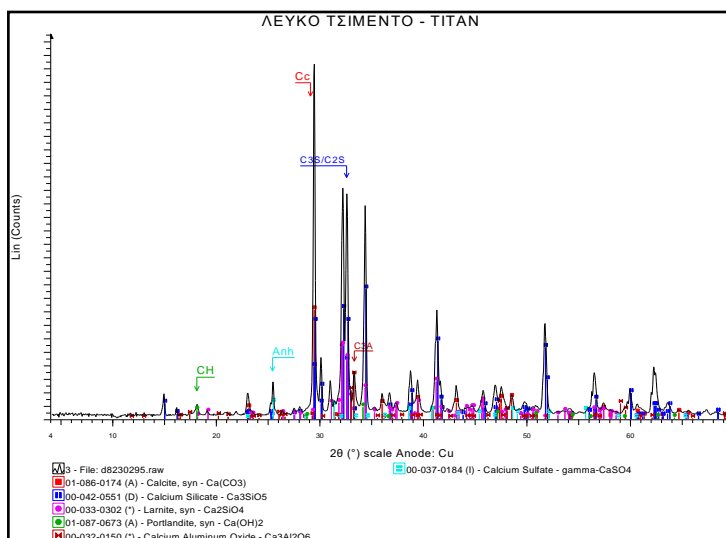
Διάγραμμα 4: Ορυκτολογική ανάλυση ποζολάνης.

Ποζολάνη IMERYS:

Από την ορυκτολογική ανάλυση της ποζολάνης IMERYS που χρησιμοποιήθηκε είναι χαρακτηριστική η πλατυκυρτή ανάκλαση μεταξύ 15° και 35° 2θ που οφείλεται στην ύπαρξη σημαντικής ποσότητας άμορφου υλικού στο δείγμα το οποίο είναι αναμενόμενο, ενώ ανιχνεύθηκαν και κρυσταλλικές φάσεις χαλαζία (Qz), βιοτίτης (Bt), φάσεις πλαγιόκλαστων, ασβεστίτης (Cc (CaCO₃)), και καολινίτης (Kln).

Λευκό τσιμέντο - TITAN:

Η ορυκτολογική ανάλυση δείγματος λευκού τσιμέντου – TITAN όπως ήταν αναμενόμενο κυριαρχούν φάσεις του αλίτη (C₃S), βελίτη (C₂S) ενώ ανιχνεύθηκε επίσης σημαντική ποσότητα ασβεστίτη.



Διάγραμμα 5: Ορυκτολογική ανάλυση λευκού τσιμέντου.

Πίνακας 6: Κύριες ορυκτολογικές φάσεις κλίνκερ του τσιμέντου

ΚΥΡΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΤ' ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	Φάση	ΕΝΩΣΕΙΣ	Συντμήσεις	Ονομασία
• Ασβεστολιθικές πρώτες ύλες : CaO + CO ₂	Πυριτικό διασβέστιο	3CaO.SiO ₂	C3S	Αλίτης
	Πυριτικό διασβέστιο	2CaO.SiO ₂	C2S	Βελίτης
• Αργιλοπυριτικές πρώτες ύλες : SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ +H ₂ O	Αργυλικό τριασβέστιο	3CaO.Al ₂ O ₃	C3A	Αργυλική φάση
	Σιδηροαργυλικό τερασβέστιο	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C4AF	Φάση φερρίτη

Οι τέσσερις κύριες ορυκτολογικές φάσεις του κλίνκερ παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα. Ο αλίτης αποτελεί το κύριο συστατικό του κοινού τσιμέντου Portland που περιέχεται σε υψηλό ποσοστό, αντιδρά σχετικά γρήγορα με το νερό και αποτελεί τη σημαντικότερη φάση για την ανάπτυξη αντοχών κονιάματος.

4.2 Αποτελέσματα μεθόδου φασματομετρίας ακτίνων – Χ φθορισμού (XRF)

Πίνακας 7: Χημική σύσταση (% κ.β.) των δειγμάτων (αδρανή και κονίες), που εξετάστηκαν εργαστηριακά (κύρια στοιχεία), όπου: L.O.I.: απώλεια πύρωσης.

Δείγμα	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	TiO ₂	L.O.I.	Σύνολο
ΑΔΡΑΝΕΣ CHAPO LTD	0,17	δ.α.	0,02	55,76	0,21	0,03	0,02	0,01	δ.α.	δ.α.	43,75	99,97
ΑΔΡΑΝΕΣ SKYRA VASSAS LTD	46,88	11,51	13,80	8,62	9,09	0,05	4,22	0,95	0,60	0,91	3,10	99,73
CALCE RAFFINATA NHL5	17,90	4,88	1,59	53,95	1,29	0,19	0,07	0,32	0,45	0,14	19,06	99,84
ΛΕΥΚΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ TITAN	21,60	4,05	0,16	59,96	1,30	0,12	0,30	0,35	3,30	0,02	8,93	100,09
ΠΟΖΟΛΑΝΗ IMERYS	73,33	12,50	1,69	1,33	0,34	0,02	3,21	4,40	0,20	0,04	4,55	99,92

Οι χημικές αναλύσεις XRF πραγματοποιήθηκαν σε κονιορτοποιημένο υλικό για όλα τα δείγματα που εξετάστηκαν. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα, σημειώνεται ότι το πυρίτιο (Si) περιέχεται στα πυριτικά ορυκτά και κυρίως στον χαλαζία, το αργίλιο (Al) στους αστρίους, μαρμαρυγίες και στα αργιλικά. Το κάλιο (K) και το νάτριο (Na) βρίσκονται συνήθως σε καλιούχους αστρίους, στα πλαγιόκλαστα, στον ιλλίτη σε ζεόλιθους και σε αργιλικά ορυκτά. Το ασβέστιο (Ca) συμμετέχει στα πλαγιόκλαστα αλλά και ως συνδετικό υλικό. Το μαγνήσιο (Mg) περιέχεται στον χλωρίτη, στα αργιλικά, στα ανθρακικά και ως συνδετικό υλικό. Το τιτάνιο (Ti) βρίσκεται σε μερικά αργιλικά και το μαγγάνιο (Mn) συνήθως σε οξειδία (Τσιπούρα – Βλάχου, (2005)).

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των **διαβασικών αδρανών** συμφωνούν με τα αποτελέσματα των ορυκτολογικών αναλύσεων. Το ποσοστό του διοξειδίου του πυριτίου (SiO₂) κυμαίνεται μέσα στα όρια που καθορίζονται για τα βασικά πετρώματα (45-54%) (Gill, 2010). Τα ορυκτά που περιέχουν πυρίτιο στα διαβασικά αδρανή είναι τα ακόλουθα, πλαγιόκλαστα (αλβίτης, ανορθίτης) χλωρίτης, αργιλικά (νοντρονίτης, ιλλίτης, μοντμοριλλονίτης), χαλαζίας, κλινοπυρόξενος (αυγίτης), αμφίβολος (ακτινόλιθος), ζεόλιθοι (λωμοντίτης, χαβαζίτης, νατρόλιθος, ανάλκιμο), επίδοτο, τιτανίτης, αστριοειδή (σοδάλιθος)

Ο σίδηρος (Fe) είναι επίσης συνηθισμένο συστατικό πολλών ορυκτών. Το ποσοστό συμμετοχής σε Fe₂O₃ αντικατοπτρίζει κυρίως την περιεκτικότητα των αδρανών σε χλωρίτη, αυγίτη ακτινόλιθο, χαλκοπυρίτη,

πυρίτη, μαγνητίτη, αιματίτη, επίδοτο και αργιλικά. Το αργίλιο (Al) βρίσκεται κυρίως στα αργιλικά ορυκτά, στα πλαγιόκλαστα, στους ζεόλιθους και στους αυγίτη, επίδοτο, σοδάλιθο. Το μαγνήσιο (Mg) περιέχεται στο χλωρίτη στα αργιλικά στον ακτινόλιθο, στον αυγίτη. Το ασβέστιο (Ca) συμμετέχει στον ανορθίτη, στο επίδοτο, στους ζεόλιθους και στα αργιλικά. Το τιτάνιο (Ti) συμμετέχει κυρίως στον τιτανίτη, στο ρουτίλιο, στον ιλμενίτη και στον αυγίτη. Το κάλιο (K) περιέχεται στους χαβαζίτη και ιλλίτη. Το θείο (S) περιέχεται στον χαλκοπυρίτη και στον πυρίτη (Ρεβεκκα, 2017).

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των **ασβεστολιθικών αδρανών** επίσης φαίνεται ότι συσχετίζονται με τα αποτελέσματα των ορυκτολογικών αναλύσεων. Το κύριο συστατικό των ασβεστόλιθων είναι το ανθρακικό ασβέστιο, το οποίο βρίσκεται στα δείγματα που εξετάστηκαν με τη μορφή ασβεστίτη. Επειδή συνήθως ο ασβεστίτης δεν είναι τελείως καθαρός, παρατηρούνται και μικρές συγκεντρώσεις άλλων στοιχείων, όπως για παράδειγμα σιδήρου, οι οποίες όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω προέκυψαν από τη διάβρωση παλιότερων πετρωμάτων του οφειολιθικού συμπλέγματος. Συγκεντρώσεις $MgO > 1\%$ υποδηλώνουν την παρουσία δολομίτη (Κελεπερτζής & Μητρόπουλος, 1995). Η παρουσία του σιδήρου (Fe) οφείλεται κατά κύριο λόγο στα αργιλικά. Το περιεχόμενο σε νάτριο (Na) οφείλεται στα αργιλικά και στον αλίτη. Η συγκέντρωση του καλίου (K) οφείλεται στους ιλλίτη και μοσχοβίτη.

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων της **φυσικής υδραυλικής ασβέστου (NHL 5)** που αναγράφονται στον παραπάνω πίνακα φανερώνουν ότι ποσοστό του αργιλικού και του πυριτικού υλικού που ενεργοποιείται κατά την διάρκεια της έψησης και δεσμεύεται από το οξείδιο του ασβεστίου σχηματίζοντας ασβεστοπυριτικές ενώσεις, καθορίζει και τον βαθμό της υδραυλικότητας της κονίας. Επιπλέον σε αντίθεση με το τσιμέντο, περιέχει αξιόλογο ποσοστό ελεύθερης ασβέστου ($CaO + MgO$), το οποίο και ενυδατώνεται παρουσία νερού. Το πέτρωμα από το οποίο είναι δυνατό να προέλθει ένα τέτοιο υλικό περιέχει πολύ περισσότερο διοξείδιο του πυριτίου (καθώς και οξείδια αργιλίου και σιδήρου) από ένα ασβεστόλιθο που προορίζεται για την παραγωγή άνυδρης ασβέστου, αλλά και μικρότερο ποσοστό προσμίξεων που περιέχονται στο μίγμα τροφοδοσίας των πρώτων υλών για την παραγωγή τσιμέντου, επίσης η παρουσία MgO στην σύνθεση της, συντελεί στην αύξηση της πλαστικότητας της λόγω της ιδιότητας του MgO να συγκρατεί ποσότητα νερού.

$$\text{Δείκτης υδραυλικότητας: } CI = \frac{2.8\% SiO_2 + 1.1\% Al_2O_3 + 0.7\% Fe_2O_3}{\% CaO + 1.4\% MgO} = 1.015$$

Από την τιμή με βάση τον πίνακα 1 συμπεραίνουμε ότι το υλικό έχει **ισχυρή υδραυλικότητα**.

Ως τσιμέντο Portland ορίζεται το προϊόν που προκύπτει από την έψηση σε θερμοκρασία κλινκεροποίησης ($1389 - 1420^{\circ}\text{C}$) ενός κατάλληλα αλεσμένου και πλήρως ομογενοποιημένου μίγματος που αποτελείται κυρίως από ασβεστολιθικά και αργιλοπυριτικά υλικά και συνάλεση του προϊόντος του προκύπτοντας προϊόντος που καλείται κλίνκερ με την κατάλληλη ποσότητα γύψου (Ρεβεκκα, 2017).

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων του **λευκού τσιμέντου TITAN** το οποίο πρόκειται για λευκό τσιμέντο Portland, είναι το CaO και SiO_2 , με μία σχέση βάρους 3:1 ενώ το άθροισμα των κύριων συστατικών C_3C_2 και C_2S ανέρχεται στο 80% περίπου του τσιμέντου. Παράλληλα με τα τέσσερα βασικά συστατικά στο τσιμέντο Portland υπάρχουν σε μικρά αλλά καθοριστικά ποσοστά:

- Μαγνησία (οξείδιο του μαγνησίου, MgO).
- Οξείδια αλκαλίων (K_2O και Na_2O).
- Γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, συμβολισμός: CSH_2 όπου C: CaO , S: SO_3 και H: H_2O) που συνυπάρχει σε ποσοστό 2-3% περίπου, ως ρυθμιστής του χρόνου πήξης του τσιμέντου.

Η ποζολάνη είναι ένα πυριτικό ή αργιλικό υλικό το οποίο αν και μόνο του δεν έχει υδραυλικές ιδιότητες όταν αλεσθεί και παρουσία νερού αντιδρά με την υδράσβεστο που προκύπτει από τις αντιδράσεις ενυδάτωσης των κύριων συστατικών του τσιμέντου σε συνήθη θερμοκρασία και σχηματίζει ενώσεις που έχουν υδραυλικές ιδιότητες (Ρεβεκκα, 2017).

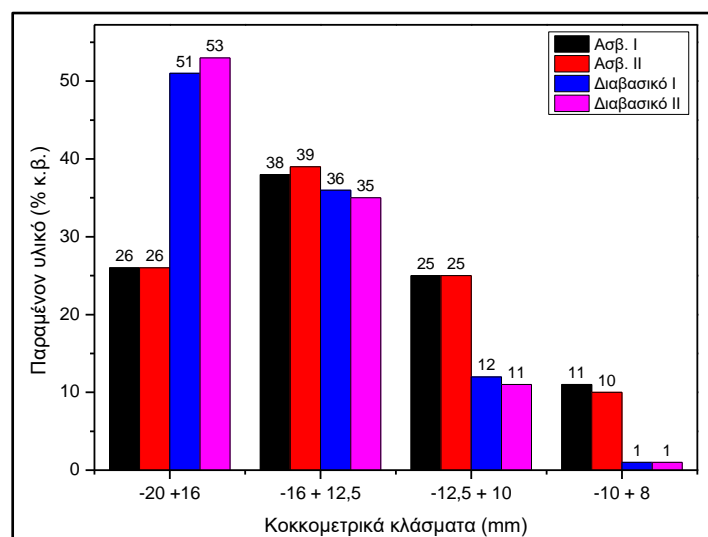
Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων της **ποζολάνης IMERYS** από τον παραπάνω ορισμό και εφόσον είναι βιομηχανικό ορυκτό ηφαιστειακής προέλευσης δικαιολογούν το υψηλό ποσοστό ενεργού διοξειδίου του πυριτίου SiO_2 και οξειδίου αργιλίου Al_2O_3 . Παράλυτά γίνεται παρουσία και οξειδίου του καλίου, οξειδίου του νατρίου, οξειδίου του σιδήρου, οξειδίου μαγνησίου και οξειδίου του ασβεστίου.

4.3 Αποτελέσματα μεθόδου προσδιορισμού διαγράμματος κοκκομετρίας - Μεθόδου με κόσκινα EN933.01

Η μέθοδος με κόσκινα ως γεωμετρική μέθοδος είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για τον χωρισμό ή την κατανομή σωματιδίων σε διαφορετικά μεγέθη με βάση το μέγεθος τους. Στην παρούσα εργασία η χρήση της μεθόδου βοήθησε να αναγνωριστούν οι ακριβείς ποσότητες κατανομής των κόκκων στα διάφορα κλάσματα ώστε να γίνει η καταγραφή τους και να επιτευχθεί καλύτερη οργάνωση των ακόλουθων πειραματικών δοκιμών αδρανών υλικών. Η παρούσα μέθοδος σε συνδυασμό με τους δείκτες πλακοειδούς καθορίζει ο ποσοστό του όγκου των κενών μεταξύ των κόκκων του συμπυκνωμένου αδρανούς. Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας των αποτελεσμάτων της μεθόδου (Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας - ΤΕΕ).

Πίνακας 8: Πίνακας αποτελεσμάτων μεθόδου με κόσκινα.

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟ I (γρ)	ΠΟΣΟΣΤΑ (%) ¹	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟ II (γρ)	ΠΟΣΟΣΤΑ (%) ²
(-20+16)	1286.1	26.2	1125.7	26.0
(-16+12,5)	1865.6	38.0	1696.6	39.1
(-12,5+10)	1227.4	25.0	1098.3	25.3
(-10+8)	540.1	11.0	414.1	9.6
ΣΥΝΟΛΟ	4919.2	100.0	4334.7	100.0
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ (mm)	ΔΙΑΒΑΣΙΚΟ I (γρ)	ΠΟΣΟΣΤΑ (%) ³	ΔΙΑΒΑΣΙΚΟ II (γρ)	ΠΟΣΟΣΤΑ (%) ⁴
(-20+16)	2641.1	52.8	2255.5	51.3
(-16+12,5)	1730.3	34.7	1567.0	35.7
(-12,5+10)	569.1	11.4	511.7	11.6
(-10+8)	57.1	1.1	59.3	1.3
ΣΥΝΟΛΟ	4997.6	100.0	4393.5	100.0



Διάγραμμα 4: Κατανομή μεγέθους κόκκων των ασβεστολιθικών και διαβασικών αδρανών υλικών.

Από το παραπάνω διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι:

- Τα διαβασικά αδρανή κοκκομετρίας 8 – 20 mm, είναι πιο αδρόκκοκα εφόσον το μεγαλύτερο ποσοστό κατανέμεται σε κοκκομετρία 16 – 20 mm.
- Τα ασβεστολιθικά αδρανή είναι πιο εμπλουτισμένα σε κοκκομετρία 12,5 – 16 mm.

4.4 Αποτελέσματα μεθόδου προσδιορισμού της μορφής των κόκκων - Δείκτης πλακοειδούς EN 933.03

Οι επιμήκεις και πεπλατυσμένοι κόκκοι πρέπει να αποφεύγονται επειδή είναι δυνατόν να υπάρχει ανομοιόμορφη κατανομή τάσεων λόγω σχήματος με αποτέλεσμα τον κίνδυνο θραύσης των αδρανών ενώ το κυβικό σχήμα επιτυγχάνει τη βέλτιστη κατανομή κόκκων με αποτέλεσμα την μέγιστη δυνατή συμπύκνωση (Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας - ΤΕΕ). Σύμφωνα με το πρότυπο EN 933.03 που εφαρμόστηκε το ποσοστό των πεπλατυσμένων τεμαχίων που συμμετέχουν στο σκυρόδεμα πρέπει να είναι μικρότερο από 20% κατά βάρος των αδρανών

Πίνακας 9: Τιμές δείκτη πλακοειδούς για το ασβεστολιθικό αδρανές (πρώτο δείγμα δοκιμής).

ΦΥΛΛΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΟΚΙΜΗΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΛΑΚΟΕΙΔΟΥΣ				
EN 933-3	Ασβεστολιθικό Ι	Χειριστής:		Ξενοφώντος Ανδρέας
Δείγμα:		Ημερομηνία:		
Συνολικό βάρος δείγματος δοκιμής MO = 4919,2 γρ.		Μάζα υλικού που παραμένει στο κόσκινο 20mm = 0 γρ.		
		Μάζα υλικού που διέρχεται από το κόσκινο 8 mm = 90γρ.		
		Άθροισμα απορριφθέντος υλικού =90 γρ.		
Κόσκινα κοκκομετρικής ανάλυσης		Κόσκινα δείκτη πλακοειδούς		
di/Di (mm)	Βάρος (Ri) υλικού (γρ.)	Ονομαστικό πλάτος σχισμής κοσκίνου (mm)	Βάρος (mi) υλικού (γρ.)	Fli = (mi/Ri) * 100
16/20	1286,1	10	62,9	4,9
12,5/16	1865,6	8	60,1	3,2
10/12,5	1227,4	6,3	64,3	5,2
8/10	540,1	5	23,4	4,3
M1 = ΣRi	4919,2	M2 = Σmi	210,7	
FL = (M2/M1) * 100 = (4,28) ≈4.5				

Πίνακας 10: Αποτελέσματα δοκιμής Ασβεστολιθικού ΙΙ της μεθόδου δείκτη πλακοειδούς.

ΦΥΛΛΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΟΚΙΜΗΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΛΑΚΟΕΙΔΟΥΣ				
EN 933-3	Ασβεστολιθικό ΙΙ	Χειριστής:		Ξενοφώντος Ανδρέας
Δείγμα:		Ημερομηνία:		
Συνολικό βάρος δείγματος δοκιμής MO = 4334,7 γρ.		Μάζα υλικού που παραμένει στο κόσκινο 20mm = 0 γρ.		
		Μάζα υλικού που διέρχεται από το κόσκινο 8 mm = 88,3 γρ.		
		Άθροισμα απορριφθέντος υλικού =88,3 γρ.		
Κόσκινα κοκκομετρικής ανάλυσης		Κόσκινα δείκτη πλακοειδούς		
di/Di (mm)	Βάρος (Ri) υλικού (γρ.)	Ονομαστικό πλάτος σχισμής κοσκίνου (mm)	Βάρος (mi) υλικού (γρ.)	Fli = (mi/Ri) * 100
16/20	1125,7	10	40,8	3,6
12,5/16	1696,6	8	72,7	4,3
10/12,5	1098,3	6,3	53,2	4,8
8/10	414,1	5	28,4	6,9
M1 = ΣRi	4334,7	M2 = Σmi	195,1	
FL = (M2/M1) * 100 = 4,5				

Από τους πίνακες 9 και 10 οι τιμές του ποσοστού δείκτη πλακοειδούς «FL» για τα δυο δείγματα ασβεστολιθικών πετρωμάτων που προέκυψαν ήταν 4,28 και 4,5% ποσοστό πεπλατυσμένων κόκκων υλικού. Ενώ για τους παρακάτω πίνακες 11 και 12 οι τιμές ου προέκυψαν για το διαβασικό πέτρωμα ήταν 5,19 και 5,97% αντίστοιχα.

Πίνακας 11: Αποτελέσματα δοκιμής Διαβαστικού Ι της μεθόδου δείκτη πλακοειδούς.

ΦΥΛΛΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΟΚΙΜΗΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΛΑΚΟΕΙΔΟΥΣ				
EN 933-3	Διαβαστικό Ι	Χειριστής:		Ξενοφώντος Ανδρέας
Δείγμα:		Ημερομηνία:		
Συνολικό βάρος δείγματος δοκιμής MO = 4997,6 γρ.		Μάζα υλικού που παραμένει στο κόσκινο 20mm = 0 γρ.		
		Μάζα υλικού που διέρχεται από το κόσκινο 8 mm = 33 γρ.		
		Άθροισμα απορριφθέντος υλικού =33 γρ.		
Κόσκινα κοκκομετρικής ανάλυσης		Κόσκινα δείκτη πλακοειδούς		
di/Di (mm)	Βάρος (Ri) υλικού (γρ.)	Ονομαστικό πλάτος σχισμής κοσκίνου (mm)	Βάρος (mi) υλικού (γρ.)	Fli = (mi/Ri) * 100
16/20	2641,1	10	94,9	3,6
12,5/16	1730,3	8	119,4	6,9
10/12,5	569,1	6,3	40,4	7,1
8/10	57,1	5	4,6	8,1
M1 = ΣRi	4997,6	M2 = Σmi	259,3	
FL = (M2/M1) * 100 =(5,19)≈5				

Πίνακας 12: Αποτελέσματα δοκιμής Διαβαστικού ΙΙ της μεθόδου δείκτη πλακοειδούς.

ΦΥΛΛΟ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΟΚΙΜΗΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΛΑΚΟΕΙΔΟΥΣ				
EN 933-3	Διαβαστικό II	Χειριστής:		Ξενοφώντος Ανδρέας
Δείγμα:		Ημερομηνία:		
Συνολικό βάρος δείγματος δοκιμής MO = 4393,5 γρ.		Μάζα υλικού που παραμένει στο κόσκινο 20mm = 0 γρ.		
		Μάζα υλικού που διέρχεται από το κόσκινο 8 mm = 23 γρ.		
		Άθροισμα απορριφθέντος υλικού =23 γρ.		
Κόσκινα κοκκομετρικής ανάλυσης		Κόσκινα δείκτη πλακοειδούς		
di/Di (mm)	Βάρος (Ri) υλικού (γρ.)	Ονομαστικό πλάτος σχισμής κοσκίνου (mm)	Βάρος (mi) υλικού (γρ.)	Fli = (mi/Ri) * 100
16/20	2255,5	10	85,7	3,8
12,5/16	1567	8	143,3	9,1
10/12,5	511,7	6,3	28,7	5,6
8/10	59,3	5	4,6	7,8
M1 = ΣRi	4393,5	M2 = Σmi	262,3	
FL = (M2/M1) * 100 =(5,97)≈6				

Πίνακας 13: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων της μεθόδου δείκτη πλακοειδούς.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ						
Δείγματα	Αποτελέσματα FL (%)		Ποσοστά κατάλληλων αδρανών (%)		Κατηγοριοποίηση καταλληλότητας αδρανών με ποσοστά (%)	Χαρακτηρισμός
Ασβεστολιθικό Ι	4,28		95,72		Ποσοστό κατάλληλων αδρανών:90-100 →(Πολύ κατάλληλα)	Πολύ κατάλληλα
Ασβεστολιθικό ΙΙ	4,5		95,5		Ποσοστό κατάλληλων αδρανών:70-89→(Κατάλληλα)	Πολύ κατάλληλα
Διαβαστικό Ι		5,19		94,81	Ποσοστό κατάλληλων αδρανών:50-69→(Ενδιάμεσα)	Πολύ κατάλληλα
Διαβαστικό ΙΙ		5,97		94,03	Ποσοστό κατάλληλων αδρανών:30-49→(Πολύ μη κατάλληλα)	Πολύ κατάλληλα
Μέσος όρος	4,39	5,58	95,61	94,42		

Από τον παραπάνω συγκεντρωτικό πίνακα 13 συμπεραίνουμε τα εξής:

- Και οι δυο κατηγορίες αδρανών υλικών (ασβεστολιθικά/διαβασικά) εμφανίζουν πολύ μικρό ποσοστό στο ποσοστό «FL» του δείκτη πλακοειδούς χωρίς σημαντικές διακυμάνσεις για τις δυο κατηγορίες, με αποτέλεσμα να συμπεριενεται ο χαρακτηρισμός τους κατηγορίας Α, ως πολύ κατάλληλα για την χρήση τους εφόσον τα ποσοστά πεπλατισμένων κόκκων υλικού δεν ήταν σημαντικά.
- Σύμφωνα με τους μέσους όρους των ποσοστών «FL» για τις δυο κατηγορίες αδρανών συμπεραίνεται ότι κατά μέσο όρο το ποσοστό «FL» (%) για αδρανή διαβαστικού πετρώματος είναι μεγαλύτερο συγκριτικά με τα αδρανή ασβεστολιθικού πετρώματος το οποίο δηλώνει μεγαλύτερη ποσότητα πεπλατισμένων κόκκων για τα διαβασικά αδρανή.

4.5 Αποτελέσματα μεθόδου προσδιορισμού της αντίστασης σε φθορά (micro-Deval) EN 1097.01

Ο συντελεστής $M_{de}(\%)$ είναι ένας δείκτης που προκύπτει από την δοκιμή Micro-Deval, η οποία αξιολογεί την αντοχή των αδρανών υλικών σε μηχανικές καταπονήσεις όπως η διάβρωση και η φθορά. Αυτή η μέθοδος είναι συχνά χρήσιμη για την εκτίμηση της αντοχής των υλικών που χρησιμοποιούνται σε κατασκευαστικές εφαρμογές.

Ο συντελεστής M_{de} υπολογίζεται ως το ποσοστό απώλειας μάζας του υλικού κατά τη δοκιμή Micro-Deval. Συνήθως, αυτό το ποσοστό απώλειας μάζας εκφράζεται ως το ποσοστό του αρχικού βάρους του δείγματος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογηθεί η αποσταθεροποίηση των αδρανών υλικών

Ένα υλικό με μεγαλύτερο ποσοστό απώλειας μάζας έχει την τάση να υποστεί περισσότερη αποσταθεροποίηση κατά την έκθεση του σε μηχανικές διαταραχές. Ως εκ τούτου, ο συντελεστής Micro-Deval μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο της αντοχής του υλικού σε συνθήκες όπου απαιτείται ανθεκτικότητα (Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας - ΤΕΕ).

Κατά το πρότυπο EN 1097.01 η προδιαγραφή ορίζει ο συντελεστής M_{de} να είναι $\leq 35\%$.

Πίνακας 14: Αποτελέσματα δοκιμής Ασβεστολιθικού I της μεθόδου micro-Deval.

ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΦΘΟΡΑ CYS EN 1097-1	
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟ I	
Βάρος του δείγματος πριν την πλύση-ξύραση (g)	X1,X2
8>X1>1,6 (mm)	373,1
1,6>X2 (mm)	9,6
Βάρος του δείγματος μετά την πλύση-ξύραση (g)	M1,X2
8>m1>1,6 (mm)	368,8
1,6>X2 (mm)	9,4
Συντελεστής micro-Deval $\{(500-m1)/5\}$ (%)	26,24
Προδιαγραφή	$M_{de} \leq 35\%$

Πίνακας 15: Αποτελέσματα δοκιμής Ασβεστολιθικού II της μεθόδου micro-Deval.

ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΦΘΟΡΑ CYS EN 1097-1	
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟ II	
Βάρος του δείγματος πριν την πλύση-ξύραση (g)	X1,X2
8>X1>1,6 (mm)	378,4
1,6>X2 (mm)	16,9
Βάρος του δείγματος μετά την πλύση-ξύραση (g)	M1,X2
8>m1>1,6 (mm)	374,7
1,6>X2 (mm)	15,5
Συντελεστής micro-Deval $\{(500-m1)/5\}$ (%)	25,06
Προδιαγραφή	$M_{de} \leq 35\%$

Πίνακας 16: Αποτελέσματα δοκιμής Ασβεστολιθικού III της μεθόδου micro-Deval.

ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΦΘΟΡΑ CYS EN 1097-1	
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟ III	
Βάρος του δείγματος πριν την πλύση-ξύραση (g)	X1,X2
8>X1>1,6 (mm)	376,6
1,6>X2 (mm)	16,6
Βάρος του δείγματος μετά την πλύση-ξύραση (g)	M1,X2
8>m1>1,6 (mm)	372,2
1,6>X2 (mm)	15,6
Συντελεστής micro-Deval $\{(500-m1)/5\}$ (%)	25,56
Προδιαγραφή	$M_{de} \leq 35\%$

Από τους πίνακες 14, 15 και 16 προκύπτουν οι τιμές των τριών δοκιμών του συντελεστή micro-Deval για τα ασβεστολιθικά αδρανή οι τιμές που προέκυψαν ήταν 26,24 , 25,06 και 25,56%.

Πίνακας 17: Αποτελέσματα δοκιμής Διαβασικού I της μεθόδου micro-Deval.

ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΦΘΟΡΑ CYS EN 1097-1	
ΔΙΑΒΑΣΙΚΟ I	
Βάρος του δείγματος πριν την πλύση-ξύραση (g)	X1,X2
8>X1>1,6 (mm)	390
1,6>X2 (mm)	12,3
Βάρος του δείγματος μετά την πλύση-ξύραση (g)	M1,X2
8>m1>1,6 (mm)	385,9
1,6>X2 (mm)	10,1
Συντελεστής micro-Deval $\{(500-m1)/5\}$ (%)	22,82
Προδιαγραφή	M _{de} ≤ 35%

Πίνακας 18: Αποτελέσματα δοκιμής Διαβασικού II της μεθόδου micro-Deval.

ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΦΘΟΡΑ CYS EN 1097-1	
ΔΙΑΒΑΣΙΚΟ II	
Βάρος του δείγματος πριν την πλύση-ξύραση (g)	X1,X2
8>X1>1,6 (mm)	395
1,6>X2 (mm)	13
Βάρος του δείγματος μετά την πλύση-ξύραση (g)	M1,X2
8>m1>1,6 (mm)	390,6
1,6>X2 (mm)	12,7
Συντελεστής micro-Deval $\{(500-m1)/5\}$ (%)	21,88
Προδιαγραφή	M _{de} ≤ 35%

Πίνακας 19: Αποτελέσματα δοκιμής Διαβασικού III της μεθόδου micro-Deval.

ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΦΘΟΡΑ CYS EN 1097-1	
ΔΙΑΒΑΣΙΚΟ III	
Βάρος του δείγματος πριν την πλύση-ξύραση (g)	X1,X2
8>X1>1,6 (mm)	391,5
1,6>X2 (mm)	11,2
Βάρος του δείγματος μετά την πλύση-ξύραση (g)	M1,X2
8>m1>1,6 (mm)	386,7
1,6>X2 (mm)	10,8
Συντελεστής micro-Deval $\{(500-m1)/5\}$ (%)	22,66
Προδιαγραφή	M _{de} ≤ 35%

Από τους πίνακες 17, 18 και 19 προκύπτουν οι τιμές των τριών δοκιμών του συντελεστή micro-Deval για τα διαβασικά αδρανή οι τιμές που προέκυψαν ήταν 22,82 , 21,88 και 22,66%.

Πίνακας 20: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων της μεθόδου micro-Deval.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ EN 1097.01				
Δείγματα	Αποτελέσματα συντελεστή Micro-Deval (%)		Προδιαγραφή βάση προτύπου EN 1097.01	Αποδεκτή/μη αποδεκτή τιμή
Ασβεστολιθικό I	26,24		≤35%	Αποδεκτή τιμή
Ασβεστολιθικό II	25,06		≤35%	Αποδεκτή τιμή
Ασβεστολιθικό III	25,56		≤35%	Αποδεκτή τιμή
Διαβασικό I		22,82	≤35%	Αποδεκτή τιμή
Διαβασικό II		21,88	≤35%	Αποδεκτή τιμή
Διαβασικό III		22,66	≤35%	Αποδεκτή τιμή
Μέσος όρος	25,62	22,45	-	-

Από τον παραπάνω συγκεντρωτικό πίνακα 20 συμπεραίνουμε τα εξής:

- Και οι δυο κατηγορίες αδρανών πετρωμάτων παρουσιάζουν αποτελέσματα αποδεκτά σύμφωνα με την προδιαγραφή της μεθόδου EN 1097.01
- Σύμφωνα με τους μέσους όρους για τις δυο κατηγορίες παρατηρείται ότι τα διαβασικά αδρανή έχουν μεγαλύτερη αντοχή στις μηχανικές καταπονήσεις όπως η διάβρωση και η φθορά, έναντι των ασβεστολιθικών αδρανών όπως παρατηρείται στα χαμηλότερα ποσοστά απώλειας υλικού.

Συμπέρασμα το οποίο περιμέναμε καθώς το διαβασικό πέτρωμα έχει μεγαλύτερη σκληρότητα από ασβεστολιθικό πέτρωμα

4.6 Αποτελέσματα μεθόδου αντίστασης σε κρούση (AIV-Aggregate Impact Value) BS 812/75

Ο συντελεστής AIV(%) αναφέρεται στον ανθεκτικό δείκτη κρούσης (Aggregate Impact Value) και χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της αντοχής χονδρόκοκκων αδρανών υλικών σε κρούση. Ο AIV μετρά το ποσοστό μάζας που απομένει μετά από μια σειρά από κρούσεις που ασκούνται σε ένα δείγμα αδρανούς υλικού.

Συνήθως, χαμηλότερες τιμές του AIV υποδηλώνουν υψηλότερη αντοχή του αδρανούς υλικού στις κρούσεις, ενώ υψηλότερες τιμές υποδηλώνουν μειωμένη αντοχή (Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας - ΤΕΕ).

Πίνακας 21: Αποτελέσματα δοκιμής Ασβεστολιθικού I-II-III της μεθόδου AIV.

ΔΟΚΙΜΗ AIV ΚΑΤΑ BS 812/75			
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟ ΠΕΤΡΩΜΑ			
	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟ I	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟ II	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟ III
Βάρος δείγματος πριν την δοκιμή (g)	305,3	305,5	305,6
Βάρος δείγματος μετά την δοκιμή (g)	303,9	304,8	304,3
Βάρος δείγματος (g) που διαπερνά το κόσκινο των 2,36 (mm)	53,8	55,1	56,1
Συντελεστής AIV (%)	17,7	18	18,4

Πίνακας 22: Αποτελέσματα δοκιμής Ασβεστολιθικού I-II-III της μεθόδου AIV.

ΔΟΚΙΜΗ AIV ΚΑΤΑ BS 812/75			
ΔΙΑΒΑΣΙΚΟ ΠΕΤΡΩΜΑ			
	ΔΙΑΒΑΣΙΚΟ I	ΔΙΑΒΑΣΙΚΟ II	ΔΙΑΒΑΣΙΚΟ III
Βάρος δείγματος πριν την δοκιμή (g)	310,7	310,1	308,5
Βάρος δείγματος μετά την δοκιμή (g)	310,2	309,3	308
Βάρος δείγματος (g) που διαπερνά το κόσκινο των 2,36 (mm)	31,6	32,9	34,1
Συντελεστής AIV (%)	10,18	10,6	11,07

Πίνακας 23: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων της AIV.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ AIV ΚΑΤΑ BS 812/75				
Δείγματα	Αποτελέσματα συντελεστή AIV (Aggregate Impact Value %)		Προδιαγραφή βάση προτύπου κατά BS 812/75	Αποδεκτή/μη αποδεκτή τιμή
Ασβεστολιθικό I	17.7		≤24%	Αποδεκτή τιμή
Ασβεστολιθικό II	18		≤24%	Αποδεκτή τιμή
Ασβεστολιθικό III	18.4		≤24%	Αποδεκτή τιμή
Διαβασικό I		10,18	≤24%	Αποδεκτή τιμή
Διαβασικό II		10,6	≤24%	Αποδεκτή τιμή
Διαβασικό III		11,7	≤24%	Αποδεκτή τιμή
Μέσος όρος	18	10,83	-	-

Σύμφωνα με το βρετανικό πρότυπο BS 812/75 η προδιαγραφή ορίζει τα εξής :

- Συντελεστή AIV ≤24% για ειδικές χρήσεις.
- Συντελεστή AIV ≤30% για όχι ειδικές χρήσεις.

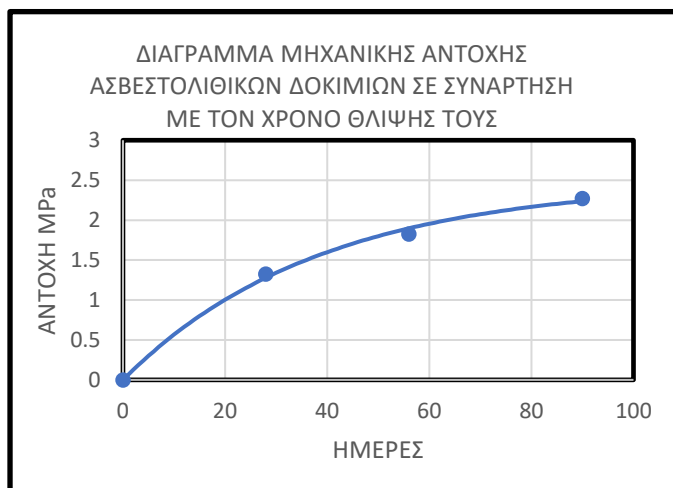
Από τους μέσους όρους των ποσοστών AIV που αναγράφεται στον πίνακα 23 (**18%** απώλεια για τα ασβεστολιθικά αδρανή) και (**10,83%** απώλεια για τα διαβασικά αδρανή) που προκύπτει αναλυτικότερα από τους πίνακες 21 και 22 για τις δυο κατηγορίες αδρανών, συμπεραίνουμε τα εξής:

- Πολύ υψηλό δείκτη κρούσης και για τα δυο πετρώματα
- Σημαντική διαφορά στο ποσοστό της τιμής AIV, γεγονός το οποίο ήταν επόμενο εφόσον το διαβασικό πέτρωμα είναι πιο σκληρό πέτρωμα.

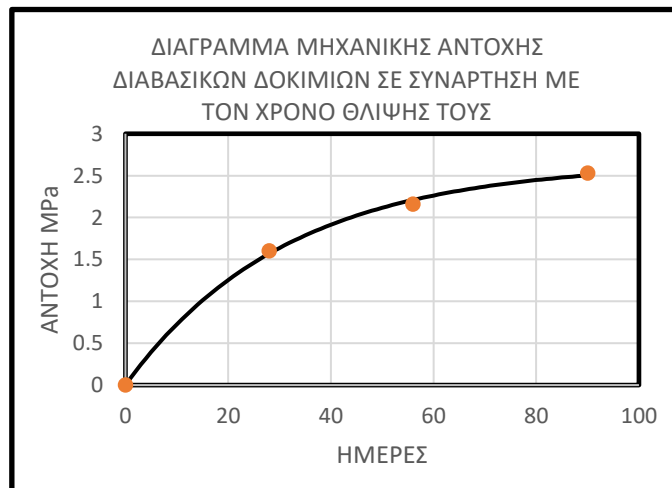
4.7 Αποτελέσματα μεθόδου σύνθεσης και μηχανικής αντοχής δομικών στοιχείων

Πίνακας 24: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων αντοχής και μέτρου ελαστικότητας ασβεστολιθικών και διαβασικών δοκιμών.

ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ (MPa)										
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΠΕΤΡΩΜΑ	ΗΜΕΡΕΣ								
		28		56		90				
		ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΤΟΧΗ (MPa)								
1	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟ	1.29		1.79		2.24				
2		1.3		1.79		2.24				
3		1.33		1.81		2.28				
4		1.34		1.84		2.29				
5		1.37		1.9		2.3				
6		-		-		2.33				
Μέσος όρος		1.33		1.83		2.28				
ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (MPa)		E50(Τέμνον)	E50(Μέσον)	E50(Τέμνον)-E50(Μέσον)	E50(Μέσον)	E50(Μέσον)	E50(Τέμνον)-E50(Μέσον)	E50(Τέμνον)	E50(Μέσον)	E50(Τέμνον)-E50(Μέσον)
		475.02	435.68	39.34	62.38	63.64	1.26	204.05	209.19	5.14
		151.94	129.72	22.22	188.06	175.71	12.35	163.59	127.81	35.78
		138.32	184.34	46.02	173.49	166.79	6.7	160.08	140.1	19.98
		211.98	172.37	39.61	145.5	131.27	14.23	277.04	291.39	14.35
		240.24	211.22	29.02	773.91	768.76	5.15	44.03	45.998	1.97
Μέσος όρος		-		35.24		-		7.94		13.59
										15.13
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΠΕΤΡΩΜΑ	ΗΜΕΡΕΣ								
		28		56		90				
		ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΤΟΧΗ (MPa)								
1	ΔΙΑΒΑΣΙΚΟ	1.57		2.13		2.41				
2		1.6		2.15		2.62				
3		1.62		2.15		2.42				
4		1.63		2.16		2.44				
5		1.58		2.2		2.76				
6		-		-		2.55				
Μέσος όρος		1.6		2.16		2.53				
ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (MPa)		E50(Τέμνον)	E50(Μέσον)	E50(Τέμνον)-E50(Μέσον)	E50(Τέμνον)	E50(Μέσον)	E50(Τέμνον)-E50(Μέσον)	E50(Τέμνον)	E50(Μέσον)	E50(Τέμνον)-E50(Μέσον)
		431.01	348.51	82.50	191.34	139.71	51.63	118.25	145.66	27.41
		103.63	87.03	16.60	109.97	110.41	0.44	63.6	61.5	2.1
		171.40	167.93	3.47	90.3	91.635	1.335	83.91	77.974	5.936
		142.02	137.75	4.27	140.63	148.98	8.35	127.67	132.22	4.55
		55.79	58.55	2.76	72.73	82.979	10.249	119.52	123.57	4.05
Μέσος όρος		-		-		204.87		180.15		24.72
Μέσος όρος		-		21.92		-		14.40		11.46



Διάγραμμα 7 : Διάγραμμα μηχανικής αντοχής ασβεστολιθικών δοκιμών σε συνάρτηση με τον χρόνο θλίψης τους.



Διάγραμμα 8 : Διάγραμμα μηχανικής αντοχής διαβασικών δοκιμών σε συνάρτηση με τον χρόνο θλίψης τους.



Εικόνα 38 : Αναφορά και επεξήγηση των τιμών αντοχών του πίνακα 24 για τα ασβεστολιθικά & διαβασικά δοκίμια.

Στην εικόνα 38 απεικονίζονται τα αποτελέσματα των αντοχών των ασβεστολιθικών και διαβασικών δοκιμών για τις 28, 56 και 90 ημέρες.

Στα αποτελέσματα μηχανικής αντοχής ασβεστολιθικών δομικών στοιχείων της (εικόνα 37) χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα επεξεργασίας «box and whisper» σε υπολογιστικό φύλλο excel, όπου με μπλε χρώμα επεξηγούνται οι τιμές αποτελεσμάτων των αντοχών για τις 28 ημέρες, με πορτοκαλί χρώμα για τις 56 και με γκρι για τις 90 ημέρες. Το διάγραμμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν κατάλληλο ώστε να μας δώσει πληροφορίες όχι μόνο για το μέσο όρο των αντοχών κάθε περιόδου μονοαξονικής θλίψης, τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές αλλά και πληροφορίες για την περιοχή εμπιστοσύνης που προκύπτει από τις τιμές αποτελεσμάτων των αντοχών. Πέρα από τις πληροφορίες που προαναφέρθηκαν μας δίνει και πληροφορίες για την διακύμανση των τιμών των αντοχών σε συνάρτηση με τον χρόνο. Όμοιες πληροφορίες αντλούμε και από τα αποτελέσματα μηχανικής αντοχής διαβασικών στοιχείων της εικόνας 37.

Τα συμπεράσματα που αντλούμε από την εικόνα 37 συγκεντρωτικά είναι τα εξής:

- Οι τιμές των αντοχών για τα δομικά στοιχεία όπου έγινε χρήση διαβασικών αδρανών είχαν υψηλότερες αντοχές έναντι των δομικών στοιχείων όπου έγινε χρήση ασβεστολιθικών αδρανών όπως παρατηρείται από τους μέσους όρους που προκύπτουν.
- Παρατηρείτε αύξηση των τιμών της αντοχής των ασβεστολιθικών δοκιμών στο πέρας του χρόνου, με μέση τιμή αντοχών για τις 28 ημέρες 1,326 MPa ενώ στις 90 ημέρες φτάνει τα 2,28 MPa.
- Παρατηρείτε αύξηση των τιμών της αντοχής των διαβασικών δοκιμών στο πέρας του χρόνου, η μέση τιμή αντοχών για τις 28 ημέρες είναι 1,6 MPa ενώ στις 90 ημέρες φτάνει τα 2,53 MPa.



Εικόνα 39 : Αναφορά και επεξήγηση των διαγραμμάτων που προκύπτουν για τα ασβεστολιθικά και διαβασικά δοκίμια συγκεντρωτικά.

Στην εικόνα 39 απεικονίζονται ενδεικτικά κάποια από τα **διαγράμματα τάσης – παραμόρφωσης των ασβεστολιθικών δοκιμίων** για τις 28 56 και 90 ημέρες μονοαξονικής θλίψης.

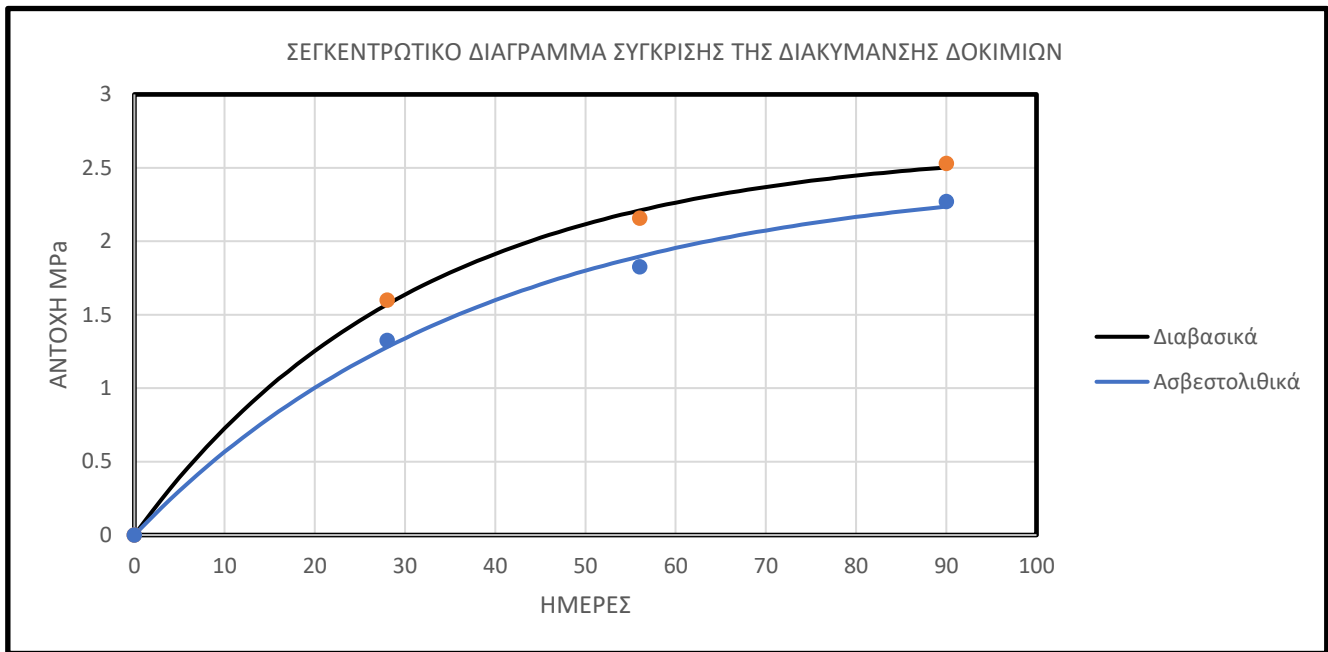
Από αυτά αντλούμε τις εξής πληροφορίες:

- Για τις 28 ημέρες τα 2 από τα 5 διαγράμματα είχαν συμπεριφορά όμοια με αυτήν που απεικονίζεται στο πρώτο διάγραμμα των 28 ημερών ενώ τα υπόλοιπα 3 από τα 5 όμοια με το δεύτερο διάγραμμα, αυτό πιθανότατα οφείλετε διότι η σύνθεση δεν πραγματοποιήθηκε σε ίδιο χρόνο εφόσον κάθε σύνθεση πλήρωνε 4 δοκίμια κάθε φορά.
- Για τις 56 ημέρες τα δοκίμια είχαν παρόμοια συμπεριφορά με αύξηση της αντοχής τους.
- Για τις 90 ημέρες ομοίως με των 28 ημερών τα 3 από τα 6 διαγράμματα είχαν συμπεριφορά όμοια με αυτήν που απεικονίζεται στο πρώτο διάγραμμα των 56 ημερών ενώ τα υπόλοιπα 3 από τα 6 όμοια με το δεύτερο διάγραμμα, αυτό πιθανότατα οφείλετε διότι η σύνθεση δεν πραγματοποιήθηκε σε ίδιο χρόνο εφόσον κάθε σύνθεση πλήρωνε 4 δοκίμια κάθε φορά. Επίσης παρατηρούμε αύξηση της αντοχής των δοκιμίων κατά μέσο όρο.
- Επιπλέον συμπέρασμα αποτελεί η συμπεριφορά των δοκιμίων κατά την δοκιμή μονοαξονικής θλίψης εφόσον όπως παρατηρείται στις 28 ημέρες η συνοχή δεν είναι σημαντική σε σχέση με την τριβή, διότι έχουμε ολίσθηση των κόκκων (“τρεμούλιασμα στο διάγραμμα”).
Ενώ στις 90 ημέρες το δοκίμιο έχει αποκτήσει αντοχή καθώς επίσης και συνοχή και οι κόκκοι αδρανών δεν ολισθαίνουν.
- Μια επιπλέον σημαντική αναφορά είναι ότι όπως φαίνεται και στον πίνακα 22 σχετικά με το μέτρο ελαστικότητας, με το πέρασ των ημερών το δοκίμιο γίνεται πιο γραμμικά ελαστικό όπως μπορεί να παρατηρηθεί και από τα διαγράμματα των 90 ημερών και συγκεκριμένα από την ευθεία με την πράσινη ένδειξη αναφορικά με την μαύρη καμπύλη η οποία εφαρμόζει ικανοποιητικά στο διάγραμμα.

Στην παραπάνω πίνακα 39 απεικονίζονται ενδεικτικά κάποια από τα **διαγράμματα τάσης – παραμόρφωσης των διαβασικών δοκιμών** για τις 28 56 και 90 ημέρες μονοαξονικής θλίψης.

Από αυτά αντλούμε τις εξής πληροφορίες:

- Για τις 28 ημέρες τα 2 από τα 5 διαγράμματα είχαν συμπεριφορά όμοια με αυτήν που απεικονίζεται στο πρώτο διάγραμμα των 28 ημερών ενώ τα υπόλοιπα 3 από τα 5 όμοια με το δεύτερο διάγραμμα, αυτό πιθανότατα οφείλετε διότι η σύνθεση δεν πραγματοποιήθηκε σε ίδιο χρόνο εφόσον κάθε σύνθεση πλήρωνε 4 δοκίμια κάθε φορά.
- Για τις 56 ημέρες τα 2 από τα 5 διαγράμματα είχαν συμπεριφορά όμοια με αυτήν που απεικονίζεται στο πρώτο διάγραμμα των 28 ημερών ενώ τα υπόλοιπα 3 από τα 5 όμοια με το δεύτερο διάγραμμα, αυτό πιθανότατα οφείλετε διότι η σύνθεση δεν πραγματοποιήθηκε σε ίδιο χρόνο εφόσον κάθε σύνθεση πλήρωνε 4 δοκίμια κάθε φορά είχαν παρόμοια συμπεριφορά ενώ παράλληλα είχαν αύξηση της αντοχής τους
- Για τις 90 ημέρες ομοίως με των 28 ημερών τα 3 από τα 6 διαγράμματα είχαν συμπεριφορά όμοια με αυτήν που απεικονίζεται στο πρώτο διάγραμμα των 56 ημερών ενώ τα υπόλοιπα 3 από τα 6 όμοια με το δεύτερο διάγραμμα, αυτό πιθανότατα οφείλετε διότι η σύνθεση δεν πραγματοποιήθηκε σε ίδιο χρόνο εφόσον κάθε σύνθεση πλήρωνε 4 δοκίμια κάθε φορά. Επίσης παρατηρούμε αύξηση της αντοχής των δοκιμών κατά μέσο όρο.
- Επιπλέον συμπέρασμα αποτελεί η συμπεριφορά των δοκιμών κατά την δοκιμή μονοαξονικής θλίψης εφόσον όπως παρατηρείτε στις 28 ημέρες η συνοχή δεν είναι σημαντική σε σχέση με την τριβή, διότι έχουμε ολίσθηση των κόκκων (“τρεμούλιασμα στο διάγραμμα”) Ενώ στις 90 ημέρες το δοκίμιο έχει αποκτήσει αντοχή καθώς επίσης και συνοχή και οι κόκκοι αδρανών δεν ολισθαίνουν
- Μια επιπλέον σημαντική αναφορά είναι ότι όπως φαίνεται και στον πίνακα 22 σχετικά με το μέτρο ελαστικότητας με το πέρας των ημερών ο δοκίμιο γίνεται πιο γραμμικά ελαστικό όπως μπορεί να παρατηρηθεί και από τα διαγράμματα των 90 ημερών και συγκεκριμένα από την ευθεία με την πράσινη ένδειξη αναφορικά με την μαύρη καμπύλη η οποία εφαρμόζει ικανοποιητικά στο διάγραμμα.



Διάγραμμα 9: Συγκεντρωτικό διάγραμμα σύγκρισης διακύμανσης δοκιμών.

Στο παραπάνω **συγκεντρωτικό διάγραμμα 9** πραγματοποιείται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της διακύμανσης τιμών των αντοχών των ασβεστολιθικών και διαβασικών δομικών στοιχείων στο πέρας των 28, 56 και 90 ημερών αντίστοιχα τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

- Η μαύρη καμπύλη διατυπώνει τη διακύμανση του μέσου όρου των αντοχών των διαβασικών δοκιμών για τις 28, 56 και 90 ημέρες
- Η μπλε καμπύλη διατυπώνει τη διακύμανση του μέσου όρου των αντοχών των ασβεστολιθικών δοκιμών για τις 28, 56 και 90 ημέρες
- Παρατηρείται λοιπόν ότι τα δομικά στοιχεία στα οποία έγινε χρήση διαβασικού πετρώματος υπερίσχυαν σε θέμα αντοχής έναντι των δομικών στοιχείων στα οποία χρησιμοποιήθηκε ασβεστολιθικό πέτρωμα.
- Επιπλέον συμπέρασμα αποτελεί το εκθετικό μοντέλο για τα δυο διαγράμματα στα οποία έδειξαν ότι η αντοχή τους θα αυξάνεται έως και τις 115 ημέρες με ποσοστό 95% της μέγιστης αντοχής που μπορούν να φτάσουν, όπως φαίνεται και στις καμπύλες του πίνακα 27 όπου συνεχίζουν να αυξάνονται.

Εκθετικό μοντέλο: $UCS(t) = UCS_{max} \cdot (1 - e^{-t/t_0})$ $UCSt = UCS_{max} \cdot 1 - e^{-t/t_0}$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων – συμπεράσματα

Από την εργαστηριακή αξιολόγηση των δυο δειγμάτων αδρανών υλικών ως προς τις γεωμετρικές και φυσικομηχανικές τους ιδιότητες και σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα (EN & BS) που αναλύθηκαν σε προηγούμενη κεφάλαιο, όπως επίσης και από τον σχεδιασμό – χημική και ορυκτολογική ανάλυση των πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν για τη τριμερή σύνθεση προέκυψαν σημαντικά συμπεράσματα που αιτιολογούν την συμπεριφορά, τις ιδιότητες και τα γενικότερα χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων που παρασκευάστηκαν και προσομοίασαν τοιχοποιία, τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας συνοψίζονται ακολούθως:

- Από τις ορυκτολογικές και χημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στα αδρανή υλικά που χρησιμοποιήθηκαν προκύπτει ότι το ασβεστολιθικό πέτρωμα είχε ελάχιστες προσμίξεις με αποτέλεσμα να το καθιστά καθαρό πέτρωμα με βασική παρουσία ασβεστίτη, ενώ το διαβασικό πέτρωμα αποτελεί κλασικό διαβασικό πέτρωμα προέλευσης οφειολιθικού συμπλέγματος της Κύπρου με κυριότερες ορυκτολογικές φάσεις χαλαζία και πλαγιόκλαστων ενώ η παρουσία λωμοντίτη και χλωρίτη δικαιολογεί τις τιμές που προκύπτουν στην μηχανικές ιδιότητες τους.
- Η κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων από τα δυο λατομεία εμπίπτει στα όρια εκείνα που καθορίζουν την χρήση αδρανών υλικών για σκυρόδεμα, οι τιμές του δείκτη πλακοειδούς βρίσκονται εντός ορίου και συνηγορούν στις προδιαγραφές χρήσης με βάση το πρότυπο EN 12620.
- Από τον προσδιορισμό της αντίστασης σε φθορά (μέθοδος micro-Deval) και της αντίστασης σε κρούση (μέθοδος AIV) κατά EN 1097-1 και BS 812, τα αποτελέσματα των αναλύσεων επιβεβαίωσαν ότι τα υλικά αυτά πληρούν τις σχετικές προδιαγραφές για τη χρήση τους ως αδρανή υλικά για την παρασκευή σκυροδεμάτων όπως ορίζει το πρότυπο EN 12620 και αποτελούν ένδειξη της υγείας των πετρωμάτων προέλευσης.
- Η ορυκτολογική σύσταση των δυο αδρανών υλικών επηρεάζει άμεσα τα αποτελέσματα που προέκυψαν στις εργαστηριακές αναλύσεις προσδιορισμού της αντίστασης σε φθορά (μέθοδος micro-Deval) και της αντίστασης σε κρούση (μέθοδος AIV). Πιο συγκεκριμένα η χαμηλή αντοχή του ασβεστολίθου οφείλεται στο ότι είναι υφαλογενής, χωρίς σημαντική διαγένεση. Τα διαβασικά αδρανή είναι εξαλλοιωμένα, όπως αυτό φαίνεται από τη χημική και ορυκτολογική ανάλυση (σπιλιτίωση), αλλά το πέτρωμα παραμένει συμπαγές.

- Οι μέσες τιμές αντοχών για τα δομικά στοιχεία που παρασκευάστηκαν που περιείχαν ασβεστολιθικά αδρανή στις 28, 56 και 90 ημέρες ωρίμανσης ήταν 1,326, 1,83 και 2,28 MPa ενώ για εκείνα που περιείχαν διαβασικά αδρανή ήταν 1,6 , 2,16 και 2,53 MPa. Άρα εκείνα που δημιουργήθηκαν με διαβασικά αδρανή υπερτερούν σε θέμα αντοχής και έχουν καλύτερη συμπεριφορά.
- Συνοπτικά η αντοχή των δομικών στοιχείων που παρασκευάστηκαν με χρήση διαβασικών αδρανών - αναφορικά με τις γεωμετρικές και μηχανικές μεθόδους που πραγματοποιήθηκαν στα αδρανή- υπερτερεί και αυτό οφείλεται πιο συγκριμένα στις μικρότερες τιμές ποσοστού απώλειας υλικού κατά τις μεθόδους προσδιορισμού της αντίστασης σε φθορά (μέθοδος micro-Deval) και της αντίστασης σε κρούση (μέθοδος AIV).
- Όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας η υφή, το μέγεθος το σχήμα , η ορυκτολογική και χημική σύσταση των αδρανών επηρεάζει τις μηχανικές και φυσικές τους ιδιότητες.

Προτείνεται η συνέχιση της έρευνας με διαφοροποίηση του μείγματος όσον αφορά το ποσοστό συμμετοχής των κονιών στο μείγμα καθώς επίσης και την προσθήκη λεπτόκοκκων αδρανών υλικών για την καλύτερη συνοχή όπως επίσης και του ελέγχου διαφορετικής μορφής και μεγέθους δοκιμίων (μεγαλύτερο κυλινδρικό δοκίμιο ή κυβικό).

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1: Γεωγραφική θέση της Κύπρου.....	17
Εικόνα 2: Γεωλογικές ζώνες του χάρτη της Κύπρου και οι θέσεις των υπό μελέτη λατομικών εγκαταστάσεων.....	17
Εικόνα 3: Θέσεις των υπό μελέτη λαιμικών εγκαταστάσεων στον γεωλογικό χάρτη της Κύπρου.....	18
Εικόνα 4: Χάρτης Κύπρου με ενδεικτικές θέσεις ενεργών λατομείων.....	19
Εικόνα 5: Θέσεις δειγματοληψίας των λατομείων της Κύπρου.....	22
Εικόνες 6: Φωτογραφίες από την σκυροθραυστική μονάδα του λατομείου Σκύρα Βάσας.....	22
Εικόνα 7: Διαβασικό πέτρωμα 5 κιλών και κοκκομετρίας 8-20mm από το λατομείο Skyra Vassas Ltd.....	22
Εικόνα 8: Φωτογραφίες από μονάδα του λατομείου Charo Mitsero.....	23
Εικόνα 9: Ασβεστολιθικό πέτρωμα 5 κιλών και κοκκομετρίας 8-20mm από το οποίο εξορύσσετε από το λατομείο Charo Mitsero και προμηθεύεται από το λατομείο Skyra Vassas Ltd.....	23
Εικόνα 10: Περιθλασίμετρο ακτίνων - X (XRD)	24
Εικόνα 11: Περιθλασίμετρο ακτίνων - X (XRD)	24
Εικόνα 12: Ζύγιση αδρανών ασβεστόλιθου.....	26
Εικόνα 13: Τετραμερισμός του πετρώματος.....	26
Εικόνα 14: Ζύγιση αδρανών διαβασικού πετρώματος.....	26
Εικόνα 15: Τετραμερισμός του πετρώματος.....	26
Εικόνα 16: Στήλη κοσκίνων που χρησιμοποίησα.....	27
Εικόνα 17: Στήλη κοσκίνων με μπάρες.....	28
Εικόνα 18: Κύλινδροι από ανοξείδωτο ατσάλι.....	30
Εικόνα 19: Κύλινδροι από ανοξείδωτο ατσάλι.....	30
Εικόνα 20: Χαλύβδινες σφαίρες.....	30
Εικόνα 21: Συσκευή micro-Deval όπου απεικονίζεται η ρύθμιση των στροφών.....	30
Εικόνα 22: Παράδειγμα δοκιμής ασβεστολιθικού και διαβασικού δείγματος.....	32
Εικόνα 23: Σχηματική αναπαράσταση και εξοπλισμός μεθόδου (AIV).....	33
Εικόνα 24: Κυλινδρικά καλούπια με τις βάσεις τους, κονία(μπλε σακούλα), ποζολάνη (άσπρη σακούλα).....	36
Εικόνα 25: Όψη κυλινδρικού καλουπιού με την βάση του.....	36
Εικόνα 26: Όψη κυλινδρικού καλουπιού με την βάση του.....	36
Εικόνα 27: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κυλίνδρου.....	37
Εικόνα 28: Κάτοψη τοποθέτησης ασβεστολιθικού πετρώματος στα καλούπια.....	39
Εικόνα 29: Όψη τοποθέτησης ασβεστολιθικού πετρώματος στα καλούπια.....	39

Εικόνα 30: Ατσάλινο δοχείο με την προσθήκη της σύνθεσης.....	40
Εικόνα 31: Μηχάνημα ανάδευσης.....	40
Εικόνα 32: Ασβεστολιθικά δείγματα με την ένδειξη "Α".....	41
Εικόνα 33: Διαβασικά δείγματα με την ένδειξη "Β".....	41
Εικόνα 34: Χώρος αποθήκευσης δειγμάτων.....	41
Εικόνα 35: Θάλαμος συντήρησης ελεγχόμενης υγρασίας - θερμοκρασίας ασβεστολιθικών και διαβασικών δοκιμίων.....	42
Εικόνα 36: Διαστασιολόγηση δοκιμίου.....	43
Εικόνα 37: Δοκιμή μονοαξονικής θλίψης.....	44
Εικόνα 38: Αναφορά και επεξήγηση των τιμών αντοχών του πίνακα 24 για τα ασβεστολιθικά & διαβασικά δοκίμια.....	60
Εικόνα 39: Αναφορά και επεξήγηση των διαγραμμάτων που προκύπτουν για τα ασβεστολιθικά και διαβασικά δοκίμια.....	62

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1: Δείκτης υδραυλικότητας (<i>Cementation Index / CI</i>) και διαφορετικοί τύποι κονιών (<i>Holmes & Wingate 1997</i>).....	32
Πίνακας 2: Πίνακας επεξεργασίας μεθόδου κοκκομετρικής ανάλυσης με κόσκινα.....	27
Πίνακας 3: Πίνακας επεξεργασίας μεθόδου δείκτη πλακοειδούς.....	28
Πίνακας 4: Εναλλακτική ταξινόμηση αδρανών με την αντίστοιχη μάζα σφαιρών κατά τη δοκιμή <i>micro-Deval</i>	31
Πίνακας 5: Πίνακας επεξεργασίας μεθόδου αντίστασης σε κρούση (<i>AIV</i>).....	35
Πίνακας 6: Κύριες ορυκτολογικές φάσεις κλίνκερ του τσιμέντου.....	49
Πίνακας 7: Χημική σύσταση (% κ.β.) των δειγμάτων (αδρανή και κονίες), που εξετάστηκαν εργαστηριακά (κύρια στοιχεία), όπου: <i>L.O.I.</i> : απώλεια πύρωσης.....	50
Πίνακας 8: Πίνακας αποτελεσμάτων μεθόδου με κόσκινα.....	53
Πίνακας 9: Αποτελέσματα δοκιμής Ασβεστολιθικού I της μεθόδου δείκτη πλακοειδούς.....	54
Πίνακας 10: Αποτελέσματα δοκιμής Ασβεστολιθικού II της μεθόδου δείκτη πλακοειδούς.....	54
Πίνακας 11: Αποτελέσματα δοκιμής Διαβασικού I της μεθόδου δείκτη πλακοειδούς.....	55
Πίνακας 12: Αποτελέσματα δοκιμής Διαβασικού II της μεθόδου δείκτη πλακοειδούς.....	55
Πίνακας 13: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων της μεθόδου δείκτη πλακοειδούς.....	55

Πίνακας 14: Αποτελέσματα δοκιμής Ασβεστολιθικού I της μεθόδου micro-Deval.....	56
Πίνακας 15: Αποτελέσματα δοκιμής Ασβεστολιθικού II της μεθόδου micro-Deval.....	56
Πίνακας 16: Αποτελέσματα δοκιμής Ασβεστολιθικού III της μεθόδου micro-Deval.....	56
Πίνακας 17: Αποτελέσματα δοκιμής Διαβασικού I της μεθόδου micro-Deval.....	57
Πίνακας 18: Αποτελέσματα δοκιμής Διαβασικού II της μεθόδου micro-Deval.....	57
Πίνακας 19: Αποτελέσματα δοκιμής Διαβασικού III της μεθόδου micro-Deval.....	57
Πίνακας 20: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων της μεθόδου micro-Deval.....	57
Πίνακας 21: Αποτελέσματα δοκιμής Ασβεστολιθικού I-II-III της μεθόδου AIV.....	58
Πίνακας 22: Αποτελέσματα δοκιμής Ασβεστολιθικού I-II-III της μεθόδου AIV.....	58
Πίνακας 23: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων της AIV.....	58
Πίνακας 24: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων αντοχής και μέτρου ελαστικότητας ασβεστολιθικών και διαβασικών δοκιμών.....	59

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 1: :Ορυκτολογική ανάλυση διαβασικού πετρώματος	47
Διάγραμμα 2: :Ορυκτολογική ανάλυση ασβεστολιθικού πετρώματος	48
Διάγραμμα 3: Ορυκτολογική ανάλυση φυσικής υδραυλικής ασβέστου.....	48
Διάγραμμα 4: :Ορυκτολογική ανάλυση ποζολάνης.....	49
Διάγραμμα 5: Ορυκτολογική ανάλυση λευκού τσιμέντου.	49
Διάγραμμα 6: : Κατανομή μεγέθους κόκκων των ασβεστολιθικών και διαβασικών αδρανών υλικών.....	53
Διάγραμμα 7: Διάγραμμα μηχανικής αντοχής ασβεστολιθικών δοκιμών σε συνάρτηση με τον χρόνο θλίψης τους.....	59
Διάγραμμα 8: : Διάγραμμα μηχανικής αντοχής διαβασικών δοκιμών σε συνάρτηση με τον χρόνο θλίψης τους.....	59
Διάγραμμα 9: Συγκεντρωτικό διάγραμμα σύγκρισης διακύμανσης δοκιμών.....	65

ΠΡΟΤΥΠΑ

- ΕΛΟΤ EN 933-1:1997 E. Test for geometrical properties of aggregates – Part 1: Determination of particle size distribution – Sieving method.
- ΕΛΟΤ EN 933-3:1997 E. Test for geometrical properties of aggregates – Part 3: Determination of particle shape – Flakiness index.
- ΕΛΟΤ EN 1097-1:2011 E. Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Part 1: Determination of the resistance to wear (micro-Deval).
- BS 812: Testing aggregates – Part 112: Methods for determination of aggregate impact value (AIV).
- EN 12620:2008 Aggregates for concrete

***ΕΛΟΤ: Ελληνικό πρότυπο, Ελληνικός οργανισμός τυποποίησης Α.Ε**

***ΕΛΟΤ EN: Εθνικό πρότυπο, υιοθετημένο από αντίστοιχο ευρωπαϊκό πρότυπο (EN)**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ψάλλης Μάριος, (2018), Διερεύνηση πρότυπων αξιολόγησης αδρανών υλικών, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων και Τεχνολογίας Υλικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Μαρκόπουλος Θεόδωρος, (2009), Στεφάνου Ιάκωβος, Ρεπούσκου Ευτυχία, Αλεβίζος Γεώργιος, Μελέτη ποιοτικών χαρακτηριστικών διαβασικών πετρωμάτων Παρεκκλησιάς Κύπρου για εφαρμογές σε σκυρόδεμα, Συνέδριο Σκυροδέματος ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Πάφος, Κύπρος.

Στεφάνου Ιάκωβος, (2009), Μελέτη ποιοτικών χαρακτηριστικών διαβασικών πετρωμάτων Κύπρου για χρήση τους ως αδρανή υλικά στα σκυροδέματα, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Φούρναρη Ρεβεκκα, (2017), Μελέτη φυσικό-μηχανικών ιδιοτήτων λεπτόκοκκων αδρανών υλικών και διερεύνηση της επίδρασης τους στις ιδιότητες των κονιαμάτων και του σκυροδέματος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος, Κύπρος.

Κωνσταντίνος Χρήστος, (2010), Η γεωλογική εξέλιξη της Κύπρου, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα

Καλαγρή Άννα, Ενέματα υδραυλικής ασβέστου για την επισκευή ιστορικών κατασκευών.

Τουμπακάρη Ελένη-Εύα, (2007), Ενίσχυση τρίστρωσης τοιχοποιίας με ενέματα, ΤΕΕ, Αθήνα.

Γκενάκος Ιωάννης, Τσιφουτίδης Γεώργιος, (2006), Αδρανή υψηλής ποιότητας, ΕΕΤΓ-ΣΕΓ-ΓΕΩΤΕΕ, Αθήνα.

Μιχάλης Παναγιώτης Α., Δημητρίου Σωτήρης Χ., (2007), Μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος, Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής Τομέας Τεχνικών Έργων, Θεσσαλονίκη.

Κυπριακή Δημοκρατία, (2019), Σχηματική απεικόνιση της δημιουργίας του οφιόλιθου του Τρόοδους και της γεωλογικής εξέλιξης της Κύπρου.

Σερεμετάκης Θεόδωρος, (2017), Αναζήτηση, επεξεργασία και αποθήκευση πειραματικών δεδομένων τριαξονικών δοκιμών πετρωμάτων, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.

Κωνσταντοπούλου Αιμιλία, (2022), Αξιολόγηση μαργαικών ιζημάτων από νεογενείς λεκάνες της Κρήτης για την παραγωγή φυσικού Τσιμέντου, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.

Τριανταφύλλου Γ, (2011), Αξιολόγηση νεογενών ασβεστολιθικών πετρωμάτων Κρήτης για τη διερεύνηση δυνατότητας παραγωγής φυσικών υδραυλικών κονιών. Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.

Ελένη – Εύα Τουμπακάρη, (2008), Τριμερείς Συνθέσεις Υδρασβέστου – Ποζολάνης – Τσιμέντου ως βάση για το σχεδιασμό κονιαμάτων & ενεμάτων για την επισκευή ιστορικών τοιχοποιιών, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Διεύθυνση Αναστήλωσης Αρχαίων Μνημείων, ΥΠ.ΠΟ, Αθήνα.