TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΛΙΘΩΝ ΑΠΟ ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΛΑΤΟΜΙΚΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

ΧΑΤΖΗΑΝΤΩΝΙΟΥ Γ. ΖΑΦΕΙΡΙΟΥ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ)

ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΒΑΦΕΙΔΗΣ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΕΞΑΔΑΚΤΥΛΟΣ

ΧΑΝΙΑ
ΙΟΥΛΙΟΣ 2021

Η έγκριση της παρούσας διπλωματικής εργασίας από το Πολυτεχνείο Κρήτης, δεν σημαίνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Νόμος 5343/1932, άρθρο 202). Ο 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 φύση του υλικού που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες κλπ.), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος που χρησιμοποιεί σε σχέση με όλο το κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή τη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με βαθύ αίσθημα ευθύνης απέναντι στο Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, θα ήθελα να ευχαριστήσω βαθύτατα την Εξεταστική Επιτροπή αποτελούμενη από τους καθηγητές μου κυρίους Α. Βαφείδη, Γ. Εξαδάκτυλο και κυρίως τον κοσμήτορα και επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Ε. Μανούτσογλου, για την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθεια που παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια της παρούσας διπλωματικής.

Επιπροσθέτως, θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω αφενός απέναντι στους κυρίους Δρ. Δ. Μαρινάκη και Δρ. Α. Στρατάκη (μέλη του Εργαστηριακού Διδακτικού Προσωπικού -ΕΔΙΠ) και αφετέρου απέναντι στον κύριο Msc. Στ. Μαυριγιαννάκη (μέλος του Ειδικού Τεχνικού Εργαστηριακού Προσωπικού - ΕΤΕΠ), χωρίς την αρωγή των οποίων η εκπόνηση της παρούσης θα ήταν δυσχερής. Θερμές ευχαριστίες στο εργαστήριο "Λίθος" της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (Ε.Α.Γ.Μ.Ε) στην Αθήνα και ιδιαίτερα στον Διευθυντή κ. Δρ. Κ. Λασκαρίδη που μερίμνησε ώστε να παρασκευαστούν έγκαιρα οι λεπτές τομές.

Αξιοσημείωτη είναι, επίσης, η γενικότερη κατάσταση, υπό την οποία κλήθηκα να διεκπεραιώσω την διπλωματική μου εργασία, αυτή της πανδημίας του Covid-19. Ως εκ τούτου, υπήρχαν αντικειμενικές δυσκολίες στην ανεύρεση ολοκληρωμένης βιβλιογραφίας και στην διενέργεια όλων των επιθυμητών εργαστηριακών μεθόδων. Ωστόσο, στο σημείο αυτό έγκειται και υπερτονίζεται η σπουδαιότητα της συνδρομής όλων των προαναφερόμενων καθηγητών μου και του εξειδικευμένου (τεχνικού) εργαστηριακού προσωπικού της Σχολής.

Χανιά, Ιούλιος 2021

Ζαφείριος Γ. Χατζηαντωνίου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά την ολοκλήρωση του κύκλου σπουδών της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Το θέμα της παρούσης είναι ο προσδιορισμός των φυσικοχημικών ιδιοτήτων δομικών λίθων από ιστορικά λατομικούς χώρους του Ν. Χανίων.

Πρώτο μέλημα της εργασίας αποτέλεσε η σύνδεση των εργαστηριακών μεθόδων με τις οποίες μπορούν να προσδιορίσουν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των δομικών λίθων με το θεωρητικό υπόβαθρο που προκύπτει από την εκτεταμένη σπουδή αφ΄ ενός της υφιστάμενης γενικής βιβλιογραφίας παλαιότερων ετών αλλά και παραπλήσιων εργασιών στο Τμήμα/Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.

Ο βασικός άξονας της διπλωματικής θέτει το ερώτημα της κατηγοριοποίησης/κατάταξης εξ ορισμού των πετρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν ως δομικοί λίθοι σε διάφορες κατασκευές του Ν. Χανίων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων κατασκευών αποτελούν ο φάρος της πόλης των Χανίων, ο λιμενοβραχίονας, τα Νεώρια εντός του λιμένα καθώς και το σύνολο των οχυρωματικών έργων, με επίφαση πάντα τα Νεώρια. Στα πλαίσια αυτά η αναζήτηση επεκτάθηκε στο ευρύτερο παραλιακό μέτωπο της πόλης των Χανίων συμπεριλαμβανομένων και των δυτικών ακτών του Ακρωτηρίου. Στις περιοχές αυτές παρατηρείται εκτεταμένη εμφάνιση πετρωμάτων παρόμοιων φυσικοχημικών και ορυκτολογικών χαρακτηριστικών. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει την αφθονία των κοιτασμάτων δομικών λίθων και την προσβασιμότητα σε αυτά από τη λατομική δραστηριότητα που αναπτύχθηκε όπως καταδεικνύεται από τους προϊστορικούς ακόμα χρόνους. Η δειγματοληψία επικεντρώθηκε στον κοντινότερο χώρο: εμπρός από τον λιμενοβραχίονα απέναντι από τα Νεώρια.

Η ιστορική εξέλιξη της πόλης αλλά και γενικότερα της περιοχής περιπλέκει το ζήτημα της καταγραφής της προέλευσης των δομικών λίθων που απαρτίζουν τις κατασκευές. Στο παραπάνω γεγονός εμπίπτει και η συνεισφορά των αποτελεσμάτων και των πορισμάτων της παρούσας στην υφιστάμενη βιβλιογραφία.

Η θέση αυτής της διπλωματικής αποτελεί μια αιτιοκρατική προσέγγιση αναφορικά με την επιρροή των γεωλογικών γεγονότων σε ιστορικές κατασκευές. Πιο συγκεκριμένα, αποτελεί κοινή γνώση πλέον ότι τα λατομεία που συνεισφέραν μέσω της εκμετάλλευσης των αποθεμάτων τους στις μεγάλες ιστορικές κατασκευές της πόλης των Χανίων αλλά και άλλων κατασκευών στην ευρύτερη περιοχή του Ακρωτηρίου, είναι τα ιστορικά, παραλιακά κυρίως λατομεία εκλατόμευσης ψαμμιτών/πωρόλιθων. Η σύσταση των κλαστικής προέλευσης λίθων είναι κυρίως ασβεστιτική και πιο συγκεκριμένα οι ψαμμίτες μπορούν να χαρακτηριστούν ως προς την σύστασή τους **βιοκλαστικοί ψαμμίτες ανθρακικής σύστασης**. Στα πλαίσια της απόθεσης, της κινητοποίησης και της διαγένεσης όλων αυτών των υλικών εντός ενός αποθετικού περιβάλλοντος που βρισκόταν είτε καθαρά στην ηπειρωτική είτε στην μεταβατική ηπειρωτική - θαλάσσια ζώνη δημιουργήθηκαν οι βιοκλαστικοί ψαμμίτες ασβεστιτικής σύστασης, που ως προς τον τρόπο (αιολικής προέλευσης συσσωρεύσεις) και το περιβάλλον δημιουργίας τους (κυρίως ηπειρωτικό) χαρακτηρίζονται **αιολιανίτες**, γνωστοί στην Ελλάδα από εκατοντάδες παραλιακές θέσεις ως **πωρόλιθοι**. Οι αιολιανίτες είναι ασβεστολιθικής σύστασης κλαστικά πετρώματα, μέσης

κοκκομετρίας, δηλαδή ψαμμίτες (**βιοκλαστικοί ασβεσταρενίτες**), που μέσω της αιολικής προέλευσης τους καταδεικνύουν την επανεπεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων ανθρακικών ιζημάτων, βιογενούς προέλευσης, δημιουργώντας σε ηπειρωτικά περιβάλλοντα τις γνωστές σε όλους μας **παραλιακές αμμοθίνες**. Τα συμπαγή, ασβεστιτικής σύστασης, **αιολικής προέλευσης grainstone ψαμμιτικά πετρώματα**, που δημιουργήθηκαν στην συνέχεια μέσω διαγενετικών διεργασιών από τις παραλιακές αμμοθίνες, οι **αιολιανίτες**, διαφέρουν από τους παραπλήσιους σε δομή και σύσταση grainstone ασβεστολίθους, που έχουν δημιουργηθεί σε καθαρά θαλάσσιο περιβάλλον.

Για το λόγο αυτό, πριν την παράθεση όλων των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δομικών αυτών λίθων θεωρήθηκε απαραίτητη η παράθεση όλων των παραγόντων που σχετίζονται με τις πολύπλοκες γεωλογικές διεργασίες της δημιουργίας των ιδιαίτερων από πολλές απόψεις αυτών δομικών λίθων. Σκοπός ήταν να εξαχθούν τα απαραίτητα τελικά συμπεράσματα και για τα υλικά από την περιοχή μελέτης.

Συγκεκριμένα, η παρουσίαση των κεφαλαίων γίνεται ως εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο που αποτελεί και την εισαγωγή στο θέμα της διπλωματικής εργασίας, παρουσιάζεται το γενικό πλαίσιο της εργασίας, η περιοχή μελέτης αλλά και ο σκοπός και τελικός στόχος της ανάλυσης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής επισκόπηση στο γεωλογικό υπόβαθρο της Ελλάδας, της Κρήτης αλλά και της περιοχής των Χανίων. Επιπλέον παρουσιάζονται όλα τα γεωτεκτονικά γεγονότα που έφεραν την ηπειρωτική μάζα αλλά και την Κρήτη στη σημερινή θέση. Παράλληλα παρουσιάζεται συγκεκριμένα και η γεωλογία του Ακρωτηρίου Χανίων, το οποίο αποτελεί μέρος της περιοχής μελέτης, αλλά και τα ιζήματα που συναντώνται κυρίως στη δυτική ακτή αυτού που αφορούν το θέμα των αιολιανιτών.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στις βασικές διεργασίες που δημιουργούν τα ιζηματογενή πετρώματα και στην κατηγοριοποίηση αυτών βάσει του τρόπου γένεσής τους. Το θέμα του κεφαλαίου συνεχίζει με την περιγραφή βασικών δομών που δημιουργούνται λόγω των φυσικών φαινομένων εντός ενός αιολικού αποθετικού περιβάλλοντος, ενώ παράλληλα αναλύονται και οι δυνάμεις που δέχονται τα τεμάχη εντός του περιβάλλοντος.

Βασικό άξονα του τέταρτου κεφαλαίου αποτελούν οι συνθήκες γένεσης των αιολιανιτών αλλά και οι παράγοντες που επηρεάζουν την έκταση και τον όγκο των εμφανίσεων των πετρωμάτων αυτών.

Το πέμπτο κεφάλαιο αναλύει τις διαγενετικές διεργασίες που λαμβάνουν μέρος στα υλικά των αμμοθινών που λιθοποιούνται και δημιουργούν τους αιολιανίτες αλλά και την εξέλιξη της τσιμεντοποίησης στο προς σχηματισμό πέτρωμα.

Το έκτο κεφάλαιο παραθέτονται τα ιστορικά γεγονότα που επηρέασαν την πόλη των Χανίων, πολλά από τα οποία είχαν σαν αποτέλεσμα την δημιουργία σημαντικών για την πόλη έργων. Τα έργα αυτά κατά συνέπεια παρακίνησαν τη ιστορική λατομική

δραστηριότητα. Για το λόγο αυτό παρουσιάζονται στο κεφάλαιο αυτό τα λατομεία αιολιανίτη της ευρύτερης περιοχής.

Το έβδομο κεφάλαιο είναι η βάση της εργαστηριακής επεξεργασίας των δειγμάτων της εργασίας, καθώς σε αυτό παρουσιάζονται οι θέσεις δειγματοληψίας τα δείγματα που ελήφθησαν και μια ακριβής καταγραφή των στοιχείων των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν περαιτέρω στις εργαστηριακές μεθόδους.

Το όγδοο κεφάλαιο περιέχει όλες τις εργαστηριακές μεθόδους που έγιναν με σκοπό των προσδιορισμό των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των δειγμάτων. Τα πειράματα αυτά παρουσιάζονται στις παραγράφους του κεφαλαίου τόσο με το θεωρητικό υπόβαθρο που τα πλαισιώνει, όσο και με τη πρακτική εφαρμογή και τα αποτελέσματα που έφεραν. Το σύνολο της μεθοδολογίας που προσδιόρισε τις ορυκτολογικές και φυσικοχημικές παραμέτρους των πετρωμάτων είναι: η ορυκτολογική ανάλυση ακτίνων-Χ, η δοκιμή μονοαξονικής θλίψης, η ποροσιμετρία, η μέτρηση διαπερατότητας και η μικροσκοπική εξέταση των δειγμάτων.

Στο ένατο κεφάλαιο γίνεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας με σχετικά αποτελέσματα παλαιότερων διπλωματικών εργασιών του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Συγκεκριμένα αυτή του Στεφανογιάννη (1995) « Μελέτη των δομικών λίθων του λιμενοβραχίονα Χανίων και αναζήτηση των χώρων εκλατόμευσης τους» και του Παππά (1996) «Μελέτη φυσικών και χημικών ιδιοτήτων δομικών λίθων των Νεωρίων Χανίων και αναζήτηση των χώρων εκλατόμευσης των».

Τέλος στο δέκατο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από με την μελέτη και σύγκριση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η θέση αυτής της διπλωματικής αποτελεί μια αιτιοκρατική προσέγγιση αναφορικά με την επιρροή των γεωλογικών γεγονότων σε ιστορικές κατασκευές. Πιο συγκεκριμένα, αποτελεί κοινή γνώση πλέον ότι τα λατομεία που συνεισφέραν μέσω της εκμετάλλευσης των αποθεμάτων τους στις μεγάλες ιστορικές κατασκευές της πόλης των Χανίων αλλά και άλλων κατασκευών στην ευρύτερη περιοχή του Ακρωτηρίου, είναι τα ιστορικά, παραλιακά κυρίως λατομεία εκλατόμευσης ψαμμιτών/πωρόλιθων. Η σύσταση των κλαστικής προέλευσης λίθων είναι κυρίως ασβεστιτική και πιο συγκεκριμένα οι ψαμμίτες μπορούν να χαρακτηριστούν ως προς την σύστασή τους βιοκλαστικοί ψαμμίτες ασβεστιτικής σύστασης. Στα πλαίσια της απόθεσης, της κινητοποίησης και της διαγένεσης όλων αυτών των υλικών εντός ενός αποθετικού περιβάλλοντος που βρισκόταν είτε καθαρά στην ηπειρωτική είτε στην μεταβατική ηπειρωτική - θαλάσσια ζώνη δημιουργήθηκαν οι βιοκλαστικοί ψαμμίτες ασβεστιτικής σύστασης, που ως προς τον τρόπο (αιολικής προέλευσης συσσωρεύσεις) και το περιβάλλον δημιουργίας τους (κυρίως ηπειρωτικό) χαρακτηρίζονται αιολιανίτες, γνωστοί στην Ελλάδα από εκατοντάδες παραλιακές θέσεις ως πωρόλιθοι. Οι αιολιανίτες είναι ασβεστολιθικής σύστασης κλαστικά πετρώματα, μέσης κοκκομετρίας, δηλαδή ψαμμίτες (βιοκλαστικοί ασβεσταρενίτες), που μέσω της αιολικής προέλευσης τους καταδεικνύουν την επανεπεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων ανθρακικών ιζημάτων, βιογενούς προέλευσης, δημιουργώντας σε ηπειρωτικά περιβάλλοντα τις γνωστές σε όλους μας παραλιακές αμμοθίνες. Τα συμπαγή, ασβεστιτικής σύστασης, αιολικής προέλευσης grainstone ψαμμιτικά πετρώματα, που δημιουργήθηκαν στην συνέχεια μέσω διαγενετικών διεργασιών από τις παραλιακές αμμοθίνες, οι αιολιανίτες, διαφέρουν από τους παραπλήσιους σε δομή και σύσταση grainstone ασβεστολίθους, που έχουν δημιουργηθεί σε καθαρά θαλάσσιο περιβάλλον.

Για το λόγο αυτό, πριν την παράθεση όλων των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δομικών αυτών λίθων θεωρήθηκε στην εργασία αυτή απαραίτητη η παράθεση όλων των παραγόντων που σχετίζονται με τις πολύπλοκες γεωλογικές διεργασίες της δημιουργίας των ιδιαίτερων, από πολλές απόψεις, δομικών αυτών λίθων, των αιολιανιτών.

Στην συνέχεια προσδιορίστηκαν οι φυσικοχημικές ιδιότητες δειγμάτων από μια νέα ιστορικά λατομική θέση: από τον χωρικά διευρυμένο λατομικό χώρο στην εξωτερική πλευρά του λιμενοβραχίονα Χανίων. Από τα συνολικά έξι (6) ογκώδη δείγματα της εργασίας δύο (2) συλλέχθηκαν στην ανατολική πλευρά του Ενετικού λιμενοβραχίονα (κοντά στο Νεώριο Μόρο) και τέσσερα (4) στη δυτική πλευρά αυτού (εμπρός από τον Προμαχώνα Αγίου Νικολάου του Μώλου). Στα δείγματα αυτά αρχικά προσδιορίστηκε η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη δοκιμίων που παρήχθησαν από τα αρχικά δείγματα. Παράλληλα προσδιορίστηκε το μέσο μέτρο ελαστικότητας των δοκιμίων και οι τιμές της αντοχής των δοκιμίων ανήχθησαν σε λόγους μήκους/διαμέτρου 1:1 και 2:1.

Πέραν των ανωτέρω προσδιορίστηκε το πορώδες των δειγμάτων και η διαπερατότητα αυτών κατά Klinkenberg. Τα δοκίμια που παρήχθησαν σε αυτό το στάδιο εξυπηρέτησαν και τις δύο εργαστηριακές μεθόδους. Το πορώδες προσδιορίστηκε με τη βοήθεια ποροσίμετρου τύπου Boyle, ενώ η διαπερατότητα με διαπερατόμετρο Hassler.

Για τον προσδιορισμό της δομής και της ορυκτολογικής σύστασης των δειγμάτων αυτών χρησιμοποιήθηκαν λεπτές τομές, και περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (X-ray diffraction, XRD). Επιπλέον με αυτά τα δείγματα εξετάσθηκαν και λεπτές τομές από δείγματα των Νεωρίων για να συγκριθούν με τους υπό εξέταση λίθους της δειγματοληψίας.

Τέλος όλα τα αποτελέσματα των δειγμάτων που ελήφθησαν από τον ιστορικό λατομικό χώρο εμπρός από τον λιμενοβραχίονα συγκρίθηκαν με αποτελέσματα παλαιότερων σχετικών μελετών δειγμάτων με την πιθανή προέλευση τους να ανάγεται στα ιστορικά λατομεία των περιοχών του Σταυρού Ακρωτηρίου και των Αγίων Αποστόλων, στο παραλιακό μέτωπο της πόλης των Χανίων.

Λέξεις-Κλειδιά: ψαμμίτης, πωρόλιθος, αιολιανίτης, δομικά υλικά, Νεώρια

ABSTRACT

This diploma thesis is a deterministic approach of the influence of geological events upon historical structures. More specifically; it is now common knowledge that quarries which contributed through the exploitation of their reserves to large historical structures of the city of Chania and other structures in the wider area of Akrotiri are the historical; mainly coastal quarries of sandstone/porolithos. The composition of clastic stones is mainly calcareous and more specifically the sandstones can be characterized in terms of their composition as bioclastic calcareous sandstones. In context of the deposition, mobilization and diagenesis of all these materials in a depositional environment that was located either purely in the continental or in the transitional continental-marine zone, the bioclastic sandstones of calcareous composition were created, which in terms of their genesis (wind-based accumulations) and environment of creation (mainly continental) are characterized as aeolianites, known in Greece from hundreds of coastal sites as poros. Aeolianites are limestone clastic rocks of medium granulometry, i.e., sandstones (bioclastic limestones), which through their aeolian origin demonstrate the reworking of large amounts of carbonate sediments, of biogenic origin, creating in continental environments the known to us coastal sand dunes. The solid, calcareous, aeolian grainstone sandstones, which were subsequently created through diagenetic processes from the coastal sand dunes, the aeolianites, differ from the similar in structure and composition grainstone limestones, which have been created in a purely marine environment.

For this reason, before listing all the methods used for the processing of these building stones, it was considered necessary in this thesis to list all the factors related to the complex geological processes of the creation of these special, in many respects, building blocks; the aeolianites.

Then the physicochemical properties of samples from a new historically quarry site were determined: from the spatially expanded quarry area on the outer side of the Chania harbor jetty. Out of total six (6) bulk samples of the study, two (2) were collected on the east side of the Venetian harbor jetty (near Neorio Moro) and four (4) on its west side (in front of the Bastion of Agios Nikolaos Molos). In these samples, the uniaxial compressive strength of specimens produced from the original samples was initially determined. At the same time the average modulus of the specimens was determined and the values of maximum axial compressive stresses of each one was conversed to a 1:1 and 2:1 ratio of length/diameter.

In addition to the above the porosity and Klinkenberg permeability of the samples was determined. The specimens produced at this stage served both laboratory methods. Porosity was determined with Boyle type porosimeter, while permeability with a Hassler permeability meter.

Thin sections and X-ray diffraction (XRD) were used to determine the structure and mineralogical composition of these samples. In addition to these samples, thin sections of Neoria samples were examined to compare them with the six (6) main stone samples.

Finally; all results of the samples taken from the historic quarry in front of the harbor jetty were compared with results of previous relevant studies of samples which possibly

originated from the historical quarries of the areas of Stavros Akrotiri and Agioi Apostoloi, on the coastal front of the city of Chania.

Key-Words: sandstone, porolithos, aeolianite, building materials, Neoria

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ I

ΠΡΟΛΟΓΟΣ II

ΠΕΡΙΛΗΨΗ V

ABSTRACT VII

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή 1

1.1 Σκοπός και στόχος της μελέτης 1

Κεφάλαιο 2: Γεωλογική-Γεωτεκτονική επισκόπηση 4

2.1 Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της Κρήτης 4

2.2 Γεωτεκτονική Θέση 7

2.3 Το τεκτονικό χρονικό της Ελλάδας και της Κρήτης 8

2.4 Γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης 8

2.4.1 Η γεωλογία του Ακρωτηρίου 9

2.4.2 Τα πετρώματα και τα ιζήματα του Ακρωτηρίου 10

Κεφάλαιο 3: Η φύση των αιολιανιτικών πετρωμάτων 12

3.1 Εισαγωγή 12

3.1.1 Τα ιζηματογενή πετρώματα 12

3.1.2 Η βιογενής προέλευση των ιζημάτων 13

3.1.3 Τα ανθρακικά πετρώματα 13

3.1.4 Ο ρόλος των ασβεστόλιθων 14

3.2 Αιολικά φαινόμενα 18

3.2.1 Τα είδη των αμμοθινών 18

3.2.2 Παραδείγματα σε αιολικό αποθετικό σύστημα 20

3.2.2.1 Προσεγγίζοντας τη ροή του ανέμου 20

3.2.2.2 Ασκούμενες δυνάμεις επί των κόκκων 25

Κεφάλαιο 4: Ορίζοντας τους Αιολιανίτες 27

4.1 Εισαγωγή 27

4.2 Η χρονολόγηση των αιολιανιτών 27

4.3 Η παγκόσμια κατανομή αιολιανίτη 28

4.3.1 Η θέση της Μεσογείου 28

4.4 Παράγοντες και συνθήκες γένεσης 29
4.4.1 Εισαγωγή 29
4.4.2 Τα αποθετικά περιβάλλοντα 29
4.4.3 Η μορφολογία του αποθετικού περιβάλλοντος 30
4.4.4 Ο ρυθμός παραγωγής ανθρακικών από οργανισμούς 30
4.4.5 Ο ρόλος των ευστατικών αλλαγών τα στάθμης της θάλασσας 31
4.4.6 Τα επίπεδα ενέργειας των κυμάτων 32
4.4.7 Η λιθοποίηση-τσιμεντοποίηση και διατήρηση των αιολιανιτών 32
Κεφάλαιο 5: Η διαγένεση στους αιολιανίτες 35
5.1 Εισαγωγή 35
5.2 Η ορυκτολογική σύσταση των ανθρακικών κόκκων 35
5.3 Η διαγένεση των ανθρακικών ορυκτών του υλικού της άμμου 36
5.3.1 Η κατείσδυση του μετεωρικού νερού και η εξέλιξη της τσιμεντοποίησης .37
5.3.2 Αλλαγές στο πορώδες 39
Κεφάλαιο 6: Ιστορία και ιστορικές θέσεις λατόμευσης αιολιανιτών στο Ν. Χανίων.40
6.1 Η θέση της ιστορίας στη μελέτη 40
6.2 Εισαγωγή στην ιστορία της πόλης των Χανίων 41
6.2.1 Αρχαίοι χρόνοι 41
6.2.2 Βυζαντινή-Ενετική περίοδος 41
6.2.3 Οθωμανική περίοδος 42
6.3 Η παρουσία λατομείων εκμετάλλευσης αιολιανίτη στην περιοχή μελέτης 43
Κεφάλαιο 7: Δειγματοληψία και δείγματα 45
7.1 Εισαγωγή 45
7.2 Θέσεις δειγματοληψίας 45
7.3 Παρουσίαση και αξιοποίηση δειγμάτων στη μελέτη 46
Κεφάλαιο 8: Μεθοδολογία και αποτελέσματα 50
8.1 Εισαγωγή 50
8.2 Περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (XRD) 50
8.2.1 Προετοιμασία δειγμάτων περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ 51
8.2.2 Εφαρμογή περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ 52

8.2.3 Αποτελέσματα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ 53
8.3 Δοκιμή μονοαξονικής θλίψης 54
8.3.1 Προετοιμασία δοκιμίων δοκιμής μονοαξονικής θλίψης 56
8.3.2 Εφαρμογή δοκιμής μονοαξονικής θλίψης 56
8.3.3 Αποτελέσματα δοκιμής μονοαξονικής θλίψης 57
8.4 Ποροσιμετρία-Προσδιορισμός πορώδους 64
8.4.1 Η ιδιότητα του πορώδους 64
8.4.2 Οι τύποι του πορώδους 65
8.4.3 Ποροσιμετρία τύπου Boyle 65
8.4.4 Προετοιμασία δοκιμίων ποροσιμετρίας 67
8.4.5 Εφαρμογή της μεθόδου ποροσιμετρίας 68
8.4.6 Αποτελέσματα ποροσιμετρίας 69
8.5 Προσδιορισμός διαπερατότητας 70
8.5.1 Η έννοια της διαπερατότητας 70
8.5.2 Προσδιορισμός διαπερατότητας κατά Klinkenberg 71
8.5.3 Προετοιμασία δοκιμίων διαπερατότητας Klinkenberg 73
8.5.4 Εφαρμογή της μεθόδου διαπερατότητας Klinkenberg 73
8.5.5 Αποτελέσματα διαπερατότητας Klinkenberg 74
8.6 Μικροσκοπική ανάλυση δειγμάτων μελέτης και δειγμάτων Νεωρίων 75
Κεφάλαιο 9: Συζήτηση 79
9.1 Σύγκριση με παλαιότερα στοιχεία της βιβλιογραφίας 79
9.2 Σύγκριση μικροσκοπικών-μακροσκοπικών χαρακτηριστικών 79
9.3 Σύγκριση μηχανικών ιδιοτήτων 81
Κεφάλαιο 10: Συμπεράσματα 83
Βιβλιογραφία 86
Διεθνής 86
Ελληνική 86
Πηγές από το διαδίκτυο 87
Παραρτήματα 89
Παράρτημα 1: Φωτογραφίες περιοχής δειγματοληψίας 90

Παράρτημα 2: Φωτογραφίες δοκιμίων-μονοαξονικής θλίψης 92
Παράρτημα 3: Πίνακες αποτελεσμάτων μονοαξονικής θλίψης 95
Παράρτημα 4: Υπολογιστικά φύλλα-Excel της δοκιμής μονοαξονικής θλίψης ..113
Παράρτημα 5: Φωτογραφίες δοκιμίων ποροσιμετρίας και διαπερατότητας 161
Παράρτημα 6: Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ 164
Παράρτημα 7: Πίνακας καταγραφής μηχανικών ιδιοτήτων Κεφαλαίου 9 169

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Τα διακριτά στάδια της εξέλιξης του ανθρώπινου πολιτισμού οριοθετήθηκαν από τα υλικά που χρησιμοποίησε διαχρονικά κατά την πολιτισμική του εξέλιξη το ανθρώπινο είδος. Με την σειρά τους αυτά τα υλικά καθόρισαν και τα εργαλεία που χρησιμοποίησε στην καθημερινότητα του για χρήση και επιβίωση. Πέραν όμως των υλικών αυτών καθοριστικό ρόλο έπαιξαν και τα υλικά που χρησιμοποίησε για να κατασκευάσει τους τόπους διαμονής του ιδίου, των υπέρτατων όντων στα οποία διαχρονικά πίστεψε, αλλά και όλες τις άλλες αναγκαίες κατασκευές για την καθημερινότητα του: από οχυρωματικές μέχρι λιμενικές. Για τις κατασκευές αυτές χρησιμοποίησε υλικά που είχε με ευκολία στην διάθεσή του αλλά ταυτόχρονα μπορούσε επίσης με ευκολία να επεξεργαστεί. Ένα από τα υλικά αυτά που έπαιξε πολύ σημαντικό ρόλο για πολλές εκατονταετίες στον κατασκευαστικό στίβο είναι ο πωρόλιθος (Μανούτσογλου, 2018).

1.1 Σκοπός και στόχος της μελέτης

Κύριο μέλημα της μελέτης είναι η ανάπτυξη, η τεκμηρίωση και ο προσδιορισμός των παραμέτρων ενός αριθμού δειγμάτων που πάρθηκαν από ιζηματογενή πετρώματα ανθρακικής σύστασης που βρίσκονται και δομούν το παραλιακό μέτωπο της πόλης των Χανίων. Παρόμοια ιζηματογενή πετρώματα δομούν και εμφανίζονται σε όλο το δυτικό παραλιακό μέτωπο του Ακρωτηρίου του νομού Χανιών (βλ. Εικόνα 1.1). Όπως θα παρατεθεί στην συνέχεια στα αντίστοιχα κεφάλαια τα πετρώματα αυτά προέκυψαν μέσω αιολικών διεργασιών, διαγένεσης και λιθοποίησης ανθρακικής κυρίως άμμου και είναι γνωστά στην γεωεπιστημονική διεθνή βιβλιογραφία ως αιολιανίτες. Σε ειδικά κεφάλαια εντός της διπλωματικής θα αναλυθούν οι γεωλογικοί, γεωμορφολογικοί, αλλά και γεωπεριβαλλοντικοί ειδικοί όροι δημιουργίας τους (π.χ. μορφολογία ακτής, στάθμη θάλασσας κτλ.), σε αντίστοιχο κεφάλαιο οι φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Προστίθενται όμως στην μελέτη και ιστορικοί παράγοντες (π.χ. χρόνοι λειτουργίας λατομικών χώρων αυτών των πετρωμάτων) κατά μήκος του παραλιακού μετώπου, πώς και γιατί βρέθηκαν προς εκμετάλλευση τα αιολιανιτικά πετρώματα σε αυτά τα σημεία, για τα οποία πλέον υπάρχει πληθώρα καταγραφών σε κατασκευές που χρησιμοποιήθηκε ο συγκεκριμένος δομικός λίθος. Οι αιολιανίτες αποτελούν μέχρι και σήμερα δομικό λίθο σε διάφορες κατασκευές του νομού. Τέτοιου είδους κατασκευές αποτελούν ο φάρος στην κορυφή του λιμενοβραχίονα Χανίων, ο ίδιος ο λιμενοβραχίονας αλλά και τα Νεώρια εντός του λιμένα. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των πετρωμάτων που μελετήθηκαν σε αυτήν την διπλωματική συγκρίνονται με αντίστοιχες φυσικοχημικές και ορυκτολογικές παραμέτρους από την υφιστάμενη βιβλιογραφία αλλά ταυτόχρονα συγκρίνονται και με αντίστοιχα δεδομένα από δομικούς λίθους των Νεωρίων.

Εικόνα 1.1: Απόσπασμα από τον γεωλογικό χάρτη της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος, κλίμακας 1:50.000, φύλλο Χανιά, ΙΓΕΥ, Αθήνα (Καραγεωργίου και Τσαϊλά Μονόπωλη 1971).

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ
ΟΛΟΚΑΙΝΟΝ

Ἀλλουβιακαὶ προσχώσεις: πηλοί, ἀργίλλοι, ἄμμοι καὶ χάλικες. Χαλαραί, μικροῦ πάχους (ἀπὸ ἑκατοστῶν τινῶν τοῦ μέτρου μέχρι καὶ ὀλίγων μέτρων).

Προσχωματικαὶ ἀποθέσεις ἐρυθροχῆς: ἐντὸς καρστικῶν ἐγκοίλων.

Θαλάσσιαι ἀποθέσεις: ἀμμώδης πηλὸς καὶ χάλικες.

Πλευρικὰ κορήματα καὶ κῶνοι κορημάτων: ἀποθέσεις μικροῦ πάχους, ὄχι μεγαλυτέρου τῶν 2 μέτρων. Συνήθως ἀσύνδετα ἢ χαλαρῶς συνδεδεμένα δι' ἀμμώδους πηλοῦ.

ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟΝ

Παλαιοτέρα διλουβιακὴ ἀναβαθμίς: χαλαραὶ ἀποθέσεις ἐρυθροκαστανοχρόων ἀμμωδῶν ἀργίλλων, εἰς τὰς ὁποίας ἐγκλείονται, εἰς πολὺ μεγάλην ἀναλογίαν, ψηφίδες καὶ κροκάλαι, κυρίως μεσοζωϊκῶν ἀσβεστολίθων, πυριτολίθων, σπανιώτερον δὲ ἐκρηξιγενῶν πετρωμάτων.

Παλαιοτέρα θαλασσία ἀναβαθμίς: ὕψους 2-3 μέτρων, ἐκ συνεκτικοῦ ψαμμίτου.

ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟΝ

Μαργαϊκὸς ψαμμίτης: σαθρὸς ἐγκλείων θαλάσσια ἀπολιθώματα μαλακίων, (*Ostrea crassissima* κλπ.)

Μικροπανις :

Ammonia beccarii, Ammonia pliocenica, Rotalia sp., *Cibicides lobatulus, Asterigerina planorbis, Discorbis complanatus, Globulina gibba, Sphaeroidina* sp., *Bolivina* sp., *Orbulina universa, Globigerinoides* sp. *Globigerina* sp. *Hastigerina* sp., *Rectuvigerina tenuistriata.*

Βάσει τῆς ἀνωτέρω μικροπανίδος συνάγεται ἡ πλειοκαινικὴ ἡλικία.

ΜΕΙΟΚΑΙΝΟΝ

Μάργαι: κιτρινόφαιαι ἕως λευκοκίτριναι, πολλάκις εἰς ἐναλλασσόμενα στρώματα μετὰ μαργαϊκῶν ψαμμιτῶν καὶ πλακωδῶν μαργαϊκῶν ἀσβεστολίθων, ἐγκλείουσαι ἀπολιθώματα θαλασσίων μαλακίων, (*Ostrea crassissima* κλπ.)

Ἐντὸς δειγμάτων μαργῶν εὑρέθησαν :

Globigerina sp., *Globigerinoides trilobus immaturus, Globigerinoides* cf. *obliqus, Orbulina universa, Nonion* sp., *Bolivina* sp., *Orthomorphina* sp., *Rectuvigerina* sp., *Planulina* sp., *Trifarina* sp., *Globigerinoides trilobus sacculifer Nonion* cf. *soldanii, Planulina ariminensis, Sphaeroidina bulloides, Robulus* cf. *ariminensis, Anomalina nucleata, Anomalina helicina, Anomalina grasserugosa, Cibisides dutemplei, Marginulina costata, Robulus* sp., *Rectuvigerina* sp. *Angulogerina* sp., *Saracenaria* sp. *Neoalveolina.*

Μαργαϊκὸς ἀσβεστόλιθος: συμπαγὴς λευκοκίτρινος ἕως λευκότεφρος, ἐγκλείων θαλάσσια ἀπολιθώματα, Ἐλασματοβραγχίων, Ἐχινοδέρμων, Βρυοζώων, Ἐχίνων καὶ θραύσματα ὀστρακοδέρμων καθὼς ἐπίσης καὶ τὴν κατωτέρω μικροπανίδα.

Melobesia, Miliolidae, Rotaliidae, *Elphidium* sp., *Globigerina* sp., *Globorotalia* sp., Lagenidae, Textulariidae, *Neoalveolina* sp., *Rotalia* sp.

Ψαμμιτομαργαϊκὸν κροκαλοπαγές: συμπαγές, ἐγκλεῖον κροκάλας κυρίως μεσοζωϊκῶν ἀσβεστολίθων, πυριτολίθων καὶ κρυσταλλικῶν πετρωμάτων (σχιστολίθων, χαλαζιτῶν κλπ.)

ΤΡΙΑΔΙΚΟΝ (;) - ΚΡΗΤΙΔΙΚΟΝ

ΖΩΝΗ ΤΡΙΠΟΛΕΩΣ

Ἀσβεστόλιθοι: συμπαγεῖς, λευκόφαιοι ἕως ὑποκύανοι, μικροκρυσταλλικοὶ ἕως στιφροὶ συνήθως μὲ θραύσματα ρουδιστῶν, ἐνίοτε λατυποπαγεῖς, κατὰ τόπους δολομιτιωμένοι, ἰσχυρῶς ἀποκαρστιωμένοι. Ἐνδεχομένως οὗτοι νὰ περιλαμβάνουν καὶ κατώτερα μέλη, ἰουρασικῆς ἕως τριαδικῆς ἡλικίας μὴ ἀποδειχθείσης πάντως, παλαιοντολογικῶς.

Ἐρυθροκαστανόχρους κερατόλιθος.

ΠΑΛΑΙΟΖΩΪΚΟΝ — ΜΕΣΟΖΩΪΚΟΝ (;)

ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΝ ΥΠΟΒΑΘΡΟΝ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΣΧΙΣΤΩΔΟΥΣ ΚΡΗΤΗΣ

Ἀσβεστόλιθοι: συμπαγεῖς, κρυσταλλικοί, λευκοὶ ἕως λευκόφαιοι, κατὰ τόπους ὑπομέλανες, κυανόφαιοι, λεπτοπλακώδεις, ἐνίοτε δολομιτικοὶ ἢ καὶ κατὰ τόπους δολομῖται τοῦ αὐτοχθόνου συστήματος τῆς νήσου Κρήτης, μὴ προσδιορισθείσης ἡλικίας, πιθανὸν παλαιοζωϊκῆς ἢ ἕως καὶ μεσοζωϊκῆς.

Κρυσταλλικοὶ σχιστόλιθοι τοῦ αὐτοχθόνου συστήματος τῆς νήσου Κρήτης (φυλλῖται, μαρμαρυγιακοί, γραφιτικοί, σερικιτικοί, χαλαζιτικοί, χλωριτικοὶ καὶ λαμπυρίζοντες σχιστόλιθοι), κατὰ τόπους ἐγκλείοντες πλακώδεις μέλανας ἀσβεστολίθους. Ὑποπράσινοι περιδοτῖται (π), ἐξαλλοιωμένοι εἰς σερπεντίνην, ἐνίοτε μὲ φλεβίδια ἀμιάντου. Συμπαγὴς ὑποπρασινίζων διαβάσης (δ)

LEGEND

QUATERNARY
HOLOCENE

Alluvial deposits: loame clay, sands and gravels. Loose and of a small thickness (from some centimeters up to a few meters.

Deposits of terra rossa: in karstic hollows.

Sea deposits: sandy loam and gravels.

Scree and talus cones: deposits of small thickness not exceeding the 2 meters. Usually loose or loosely connected by sandy loam.

PLEISTOCENE

Older diluvial terrace: loose, red-brown, sandy clay deposits, in which are included, in a great proportion, pebbles and gravels mainly of mesozoic limestones, chertstones, and more rarely eruptive rocks.

Older sea terrace: 2-3 meters in elevation of cohesive sandstone.

PLIOCENE

Marly sandstone: loose, containing sea fossils of mollusks. (*Ostrea crassissima* etc.)

Microfauna :

On the basis of the above microfauna the sandstone is of Pliocene age.

MIOCENE

Marls: yellow brown to white-yellow, often alternating with beds of marly sandstone and platy marly limestones, including fossils of sea molusks (*Ostrea crassissima* etc.)

Within marl samples were found :

Marly limestone: compact, white-yellow to white grey, including sea fossils: Lamelibranches, Echinoderms, Bryozoa, Echinus, ostracod fragments and the microfauna below.

Marly - sandy conglomerate: compact, including gravels mainly of mesozoic limestones, cherts and crystalline rocks (schists quartzites etc.).

TRIASSIC (?) - CRETACEOUS

TRIPOLIS ZONE

Limestones: compact, white-grey to bluish, microcrystalline to aphanitic usually with rudist fragments, sometimes breccias, at places dolomitized, strongly karstified. They may include lower members of jurassic to triassic age, not proven, though, paleontologically.

Red-brown hornstones

PALEOZOIC — MESOZOIC (?)

METAMORPHIC BASEMENT OF THE CRYSTALLINE FORMATION OF CRETE.

Limestones: compact, crystalline, white to white-brown, at places blackish, blue-brown, thin-plated, sometimes dolomitic or at places dolomites of the autochthonous system of Crete island, of undetermined age, probably Paleozoic or Mesozoic.

Crystalline schists: of the autochthonous system of Crete island (phylites, muscovitic, graphitic, sericitic, quartzitic, chloritic and lustrus schists), at places include platy black limestones. Greenish, peridotites (π), alterated to serpentine, sometimes with small veinlets ot asbestos. Compact, greenish diabase (δ).

Εικόνα 1.2: Υπόμνημα του γεωλογικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος, κλίμακας 1:50.000, φύλλο Χανιά, ΙΓΕΥ, Αθήνα (Καραγεωργίου και Τσαϊλά Μονόπωλη 1971).

Κεφάλαιο 2: Γεωλογική-Γεωτεκτονική επισκόπηση

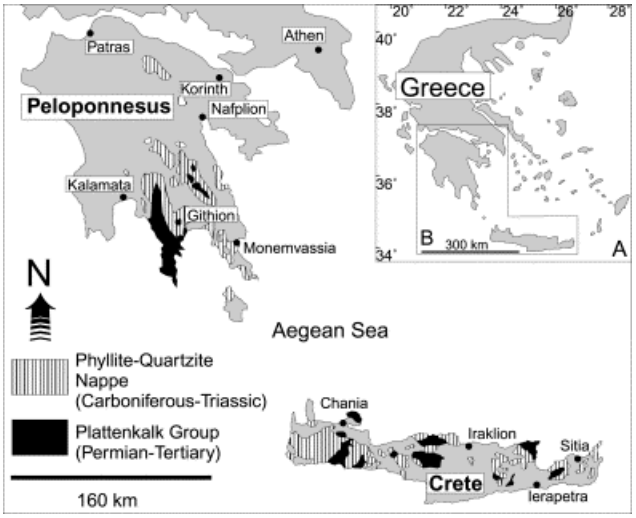
2.1 Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της Κρήτης

Η έρευνα και η γνώση γύρω από τη γεωλογική δομή της Κρήτης έχει αυξηθεί σημαντικά τις τελευταίες τέσσερεις δεκαετίες. Τα αποτελέσματα των ερευνών από μεγάλο αριθμό ευρωπαϊκών προγραμμάτων, εθνικών ινστιτούτων αλλά και μεμονωμένων ερευνητών, οδήγησαν στην έκδοση του πρώτου συνοπτικού γεωλογικού χάρτη της Κρήτης, το 1977, σε κλίμακα 1:200.000 (Creutzburg, 1997) (Εικ. 2.1). *Όπως φαίνεται στον χάρτη αυτόν, αλλά και στους επόμενους, που εκδόθηκαν από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, το μεγαλύτερο ποσοστό προνεογενούς ηλικίας πετρωμάτων που δομούν και εμφανίζονται στην Κρήτη, ανήκουν σε μια ακολουθία μεταμορφωμένων πετρωμάτων που για δεκαετίες ήταν γνωστή στη βιβλιογραφία σαν «Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι», η παλαιογεωγραφική τοποθέτηση των οποίων παραμένει ένα ανοικτό γεωλογικό κεφάλαιο. Παρόμοια είναι τα προβλήματα που σχετίζονται με τα καλύμματα της ενότητας του Τρυπαλίου και του Φυλλιτικού Καλύμματος* (Μανούτσογλου, 2008). Η Εικόνα 2.1 που αποτελεί ένα τμήμα του γεωλογικού χάρτη της Ελλάδος σε κλίμακα 1:500.000 σημειώνονται οι λεκάνες του Νεογενούς και Τεταρτογενούς με κίτρινες και πράσινες αποχρώσεις αντίστοιχα.

Εικόνα 2.1: Τμήμα του Γεωλογικού χάρτη της Ελλάδος σε κλίμακα 1:500.000 (Μπορνόβας Ι., Ροντογιάννη - Τσιαμπάου Θ. κ.α., 1983).

Ειδικότερα για την Κρήτη η διάταξη των τεκτονοστρωματογραφικών ενοτήτων λαμβάνει της εξής σειρά:

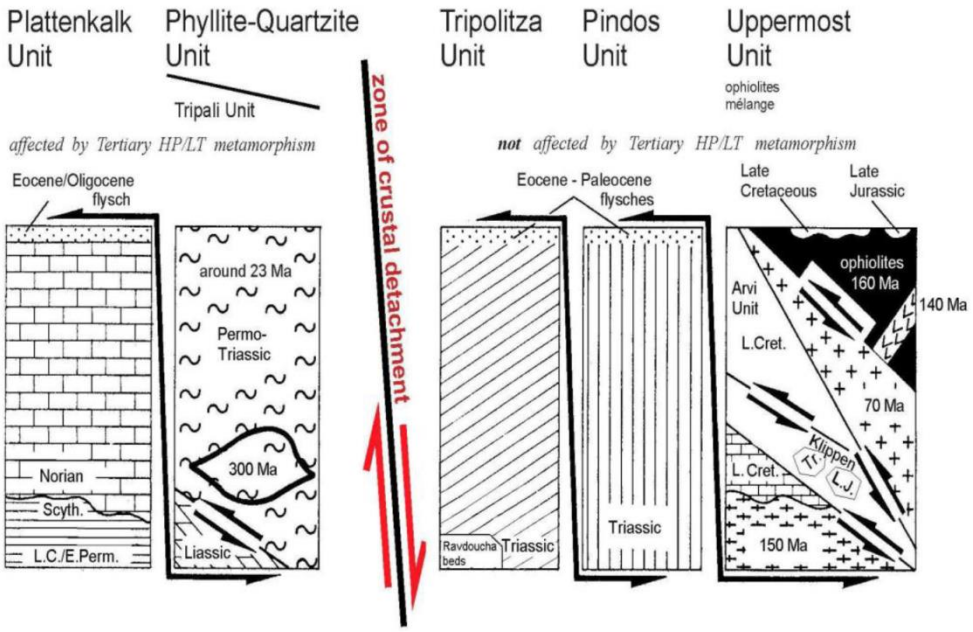
1. Την κατώτερη τεκτονική ενότητα που αποτελείται από ένα σχεδόν αυτόχθονο παραυτόχθονο σύστημα πετρωμάτων που περιλαμβάνει την μεταμορφωμένη ομάδα Πλακωδών Ασβεστολίθων (Plattenkalk) (Εικ.2.2) με ηλικία Άνω Πέρμιο έως Ολιγόκαινο.
2. Με τεκτονική επαφή ακολουθεί αλλόχθονο σύστημα επωθημένο πάνω στο (παρα)αυτόχθονο, υπό τη μορφή αλλεπάλληλων τεκτονικών καλυμμάτων αλπικών ενοτήτων και χαρακτηριστική λεπιδοειδή διάταξη.



Εικόνα 2.2: Εμφανίσεις της Ομάδας Πλακωδών Ασβεστολίθων και του Φυλλιτικού Καλύμματος στην Πελοπόννησο και την Κρήτη (Dornsiepen et al., 2001).

Τα τεκτονικά καλύμματα λαμβάνουν την εξής σειρά από την υποκείμενη προς την υπερκείμενη ενότητα:

1. Την ενότητα Τρυπαλίου που αποτελείται από ημιμεταμορφωμένα έως μεταμορφωμένα κυρίως ανθρακικά πετρώματα της Τριαδικής έως κατώτερης Ιουρασικής περιόδου.
2. Την ενότητα Φυλλιτών – Χαλαζιτών «Φυλλιτικό Κάλυμμα» κατά τους Dornsiepen and Manutsoglu, το 1994, με ηλικία Άνω Πέρμιο έως και το Κάρνιο όπου στα κατώτερα τμήματα παρουσιάζονται εντός δολομιτών και ραουβάκων, εμφανίσεις γύψου και ανυδρίτου και στα ανώτερα, εναλλαγές φυλλιτών με στρώσεις χαλαζιτών και στρώσεις μετα-ηφαιστίτων.
3. Την ενότητα Τρίπολης, με το κατώτερο τμήμα να αποτελείται από την αργιλοσχιστολιθική – ανθρακική σειρά Ραβδούχα, το ανώτερο τμήμα από την ανθρακική σειρά της Τρίπολης και τέλος, στο ανώτατο τμήμα της σειράς παρουσιάζεται ο φλύσχης της ενότητας της Τρίπολης. Η ηλικία της ενότητας τοποθετείται στο Μέσο - Άνω Τριαδικό.
4. Ακολουθεί η ενότητα Ωλονού – Πίνδου, όπου στην Κρήτη εντοπίζεται με τρεις σειρές: Πίνδου στη Δυτική Κρήτη με την τυπική στρωματογραφική ακολουθία της ενότητας της Πίνδου, Εθιάς στην Κεντρική Κρήτη και Μαγκασσά στην Ανατολική Κρήτη. Η ηλικία της ενότητας τοποθετείται από το Άνω Τριαδικό έως και το Μέσο Παλαιόκαινο (Φυτρολάκης, 1980).



Εικόνα 2.3: Τεκτονική διάταξη των τεκτονοστρωματογραφικών ενοτήτων στην Κρήτη (τροποποιημένη από Seidel et al., 1982).

Οι παραπάνω ενότητες ονομάζονται εξωτερικές ζώνες πάνω από τις οποίες και σε ανώτερη τεκτονικά θέση υπάρχουν τεκτονικά αλλόχθονα τεκτονικά λέπια των εσωτερικών ζωνών, ένα σύνθετο πολύμεικτο λιθοφασικά τεκτονικό σύμπλεγμα, που αποτελείται από επαλληλία καλυμμάτων. Τα διάφορα καλύμματα τα οποία είναι επωθημένα το ένα επάνω στο άλλο από το υπερκείμενο προς το υποκείμενο είναι τα εξής:

- Οφειολιθικό κάλυμμα με σερπεντινιωμένους περιδοτίτες, γάββρους, διορίτες, δολερίτες και διαβάσες, ηλικίας Κατώτατου Ιουρασικού – Ανώτατου Κρητιδικού.
- Κάλυμμα Αστερούσιων με μετα-ιλυολιθικούς, διμαρμαρυγιακούς, χλωριτικούς, επιδοτιτικούς γνεύσιους και σχιστολίθους, αμφιβολίτες και μάρμαρα, ηλικίας Κατώτατου Ιουρασικού – Ανώτατου Κρητιδικού.
- Κάλυμμα Βάτου με εναλλαγές τεφρών ιλυολίθων και πάγκους από ψαμμιτικούς ασβεστολίθους και ψαμμίτες, ηλικίας Ανωτέρου Ιουρασικού.
- Κάλυμμα Άρβης με βασάλτες σε «μαξιλαροειδείς λάβες», ηλικίας Ανωτέρου Κρητιδικού.

- Πάνω από τους αλπικούς σχηματισμούς βρίσκονται πετρώματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς τα οποία συνήθως έχουν κυμαινόμενο πάχος και εξάπλωση στις διάφορες περιοχές της Κρήτης. Τα πετρώματα αυτά σχετίζονται με τις μετεορεγενετικές διεργασίες που επέδρασαν στην περιοχή. Οι απόψεις για το είδος, την διαδοχή και εύρος αυτών των διεργασιών διίστανται στην βιβλιογραφία.

2.2 Γεωτεκτονική Θέση

Το νότιο Αιγαίο συμπεριλαμβανομένου του νησιού της Κρήτης αποτελεί μια έντονα τεκτονικά ενεργή περιοχή και παρουσιάζει τρία σημαντικά χαρακτηριστικά:

1. Την Ελληνική τάφρο, μια τάφρο βαθιάς θάλασσας μεταξύ της Κρήτης και βόρεια ακτής της Αφρικής
2. Το Ελληνικό νησιωτικό τόξο που εκτείνεται από την Κεφαλονιά, στην Πελοπόννησο, την Κρήτη, την Κάρπαθο έως και τη Ρόδο
3. Το ηφαιστειακό νησιωτικό τόξο του Αιγαίου που εκτείνεται από την Αίγινα στον Πόρο, τη Μήλο, τη Σαντορίνη έως την Κω και τη Νίσυρο

Τα παραπάνω χαρακτηρίστηκα σύμφωνα με τις σημερινές θεωρήσεις αποτελούν αποτέλεσμα της υποβύθισης της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική.

Η θεωρία του Flemming για τις τεκτονικές διεργασίες της περιοχής ορίζει πως το επωθούμενο περιθώριο στο νότιο τμήμα του Αιγαίου δεν είναι άκαμπτο αλλά αποτελείται από έναν αριθμό μικρών λιθοσφαιρικών τεμαχών με πλευρικές διαστάσεις 50 έως 100 τετραγωνικά χιλιόμετρα (km^2). Τα τεκτονικά αυτά τεμάχη πρέπει να είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και να μπορούν να κινηθούν κατακόρυφα ή πλευρικά ως άκαμπτα σώματα, να παραμένουν σταθερά ή να παραμορφώνονται μόνα τους.

Εφόσον λοιπόν η Κρήτη, όπως και το βορειοδυτικό άκρο της που περιλαμβάνει την περιοχή μελέτης, αποτελεί το νότιο άκρο του Αιγαίου, η τεκτονική της δομή θα πρέπει να υποδεικνύει κάποια σύνδεση με την παραπάνω θεώρηση. Στο νησί παρατηρούνται τέσσερα μεγάλα ρήγματα που το διαπερνούν με διεύθυνση Βορρά-Νότου. Τα ρήγματα αυτά δημιούργησαν μια ενεργή τεκτονική τάφρο-κέρας του Νεογενούς και κατά τη διάρκεια της τεκτονικής επανενεργοποίησης του ύστερου Ολοκαίνου. Ως αποτέλεσμα περιχαρακώνονται και εντοπίζονται κάποια τεμάχη, τα οποία και έχουν μετακινηθεί αυτόνομα και με διαφορετικούς ρυθμούς το καθένα. Υποδεικνύεται έτσι λοιπόν ότι το νησί δεν μετακινήθηκε ως ενιαία μάζα γης από τα τέλη του Μεσοζωικού, πράγμα το οποίο υποστηρίζει την θεωρία του Flemming (από Moody, 1987).

.

2.3 Το τεκτονικό χρονικό της Ελλάδας και της Κρήτης

Κατά τη διάρκεια του Μεσοζωικού αιώνα το μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας αποτελούσε τμήμα της Τηθύος, εντός της οποίας συσσωρεύτηκαν τεράστιες ποσότητες από θαλάσσια ιζήματα. Αυτά τα ιζήματα δημιουργώντας με γεωλογικές διεργασίες πετρώματα ανυψώθηκαν κατά την διάρκεια της Αλπικής Ορογένεσης δημιουργώντας τον όγκο της Ελληνικής χερσαίας μάζας, τις Κυκλάδες και την Κρήτη. Η ανάδυση συνέβη σταδιακά εξελισσόμενη χωρικά από τα ανατολικά και βόρεια του ορογενούς κατά τη διάρκεια του Κρητιδικού καταλήγοντας στα δυτικά και νότια κατά τη διάρκεια του μέσου της Τριτογενούς περιόδου. Προκλήθηκε έτσι σταδιακή εφίππευση ανατολικά ανυψωμένων ορεινών όγκων σε δυτικότερες περιοχές που ήταν ακόμα βυθισμένες. Πιθανώς κατά αυτή την κίνηση οι Φυλλίτες-Χαλαζίτες και τα καλύμματα Τριπόλεως της δυτικής Κρήτης ολίσθησαν προς τα δυτικά όταν ανυψώθηκαν τα Λευκά Όρη. Η αρχική κατάσταση της Κρήτης των Κυκλάδων και της ηπειρωτικής χώρας αποτελούσαν μια σχετικά ενοποιημένη χερσαία μάζα. Οι μεταορογενετικές υποχωρήσεις που ξεκίνησαν κατά το Μειόκαινο παρουσίασαν μια κατανομή από τα ανατολικά προς τα δυτικά με τις εντονότερες να λαμβάνουν μέρος στα ανατολικά, προκαλώντας την διάσπαση της ηπειρωτικής μάζας και καταβυθίζοντάς την και πάλι κάτω από τη θάλασσα. Στη Κρήτη ωστόσο οι υψηλότερες βουνοκορφές κατάφεραν να κρατήσουν ένα σχετικό ύψος πάνω από τη θάλασσα. Η διεργασία αυτή επέτρεψε την εναπόθεση πολυάριθμων μαργαϊκών και αργιλικών σχηματισμών της Νεογενούς που αποτελούν γνώρισμα των βόρειων ακτών του νησιού. Η καταβύθιση σταμάτησε περίπου 3 με 4 εκ. χρόνια πριν στο κατώτερο Πλειόκαινο, υπήρξε ωστόσο μια μικρή διακοπή της καταβύθισης περίπου 5 εκ. χρόνια πριν όταν συνέβη η Κρίση Αλατότητας της Μεσσηνίου, περίοδος κατά την οποία σημειώθηκε ανύψωση. Η κρίση αυτή βρήκε τη Μεσογειακή λεκάνη σχεδόν αποξηραμένη, δίνοντας την κατάλληλη μορφολογία για την δημιουργία πεδίων άλατος και υφάλμυρων λιμνών. Η κινητικότητα συνέχισε προς τους σημερινούς χρόνους με την επανενεργοποίηση ρηξιτέμαχους στην Κρήτη που προκάλεσε διαφορικές κατακόρυφες μετακινήσεις στα τέλη του Πλειοκαίνου αρχές Πλειστοκαίνου περίπου 2 εκ. χρόνια πριν. Οι μετακινήσεις αυτές έφτασαν σε μερικά μέρη τα 800 m φέρνοντας το νησί στη σημερινή του μορφή. Ήταν κατά αυτή την περίοδο όπου η τεκτονική τάφρος του κόλπου της Σούδας κατέρρευσε, διαμορφώνοντας την σημερινή εικόνα του Ακρωτηρίου, χωρίζοντάς το από την βόρεια ακτή του νησιού εκτός από ένα στενό ισθμό. Παράλληλα η διεργασία αυτή ανύψωσε και έγειρε τη νεοσχηματισμένη χερσόνησο στα νοτιοδυτικά και νοτιοανατολικά. Επιπλέον οι Μειο-Πλειοκαινικές αναβαθμίδες που σήμερα αποτελούν τις γόνιμες βόρειες παραλιακές πεδιάδες αναδύθηκαν κατά αυτούς τους χρόνους. Η τεκτονική ενεργότητα του νησιού βρέθηκε σε εφησυχασμό κατά το μέσο Πλειστόκαινο έως το μέσο Ολόκαινο περίπου 600 με 5 χιλιάδες χρόνια πριν. Τα αποτελέσματα της τεκτονικής αυτής ήταν η σποραδική καταβύθιση των βόρειων ακτών μαζί με τη βόρεια ακτή του κόλπου Μιραμπέλου και η ανύψωση της νότιας ακτής του νησιού ανατολικά της Ιεράπετρας (από Moody, 1987).

2.4 Γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης

Η ευρύτερη περιοχή της πόλης των Χανίων δομείται από ένα σύστημα τριών βασικών τεκτονικών ενοτήτων:

1. Ένα παραυτόχθονο μεταμορφωμένο σύστημα που ανήκει στην Ομάδα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων (Plattenkalk) που χρονολογείται από το Πέρμιο μέχρι το Ηώκαινο.
2. Μια σειρά επίσης μεταμορφωμένων κροκαλοπαγών-λατυποπαγών ασβεστόλιθων (σειρά Τρυπαλίου) που χρονολογείται από Άνω Τριαδικό-Κάτω Ιουρασικό.
3. Το Κάλυμμα των Φυλλιτών Χαλαζιτών ηλικίας Πέρμιου-Τριαδικού που ακολουθείται με τεκτονική επαφή από νηριτικούς ασβεστόλιθους της ζώνης Γαβρόβου-Τριπόλεως και τα τεκτονικά καλύμματα της ζώνης Πίνδου.

Το ανώτερο όμως τμήμα των στρωμάτων βρίσκεται καλυμμένο από μεταλπικά ιζήματα που αποτέθηκαν κατά τη Νεογενή-Τεταρτογενή περίοδο.

Τα ιζήματα αυτά όπως όλα τα αντίστοιχα αυτής της περιόδου αποτέθηκαν σε τεκτονικές λεκάνες και σχηματίστηκαν μετά την λήξη πτυχώσεων παρουσιάζοντας έτσι μια μορφή ελάχιστα καταπονημένη. Η προέλευση των ιζημάτων ποικίλει με την παρουσία θαλάσσιων λιμναίων και ποταμοχειμάριων ιζημάτων που αποτελούνται από κροκαλοπαγή-λατυποπαγή, ψαμμίτες, μάργες και ασβεστόλιθους (κυρίως βιογενούς προέλευσης). Επιπλέον σε θέσεις όπου παρουσιάστηκαν έλη, συνήθως στα περιθώρια λιμναίων δεξαμενών, συναντώνται στρώματα λιγνιτών. Σημαντικό γεγονός του Νεογενούς όπως και έχει προαναφερθεί είναι η Κρίση Αλατότητας που συνέβη κατά το Μεσσήνιο ως αποτέλεσμα της γεωλογικής απομόνωσης της Μεσογείου. Λόγω της ελλιπούς εισροής υδάτων στην Μεσογειακή λεκάνη και της περιοδικής εξάτμισης των υδάτων αυτών, παρουσιάζονται σημαντικές αποθέσεις εβαπορίτων (από Μουντράκης 1985).

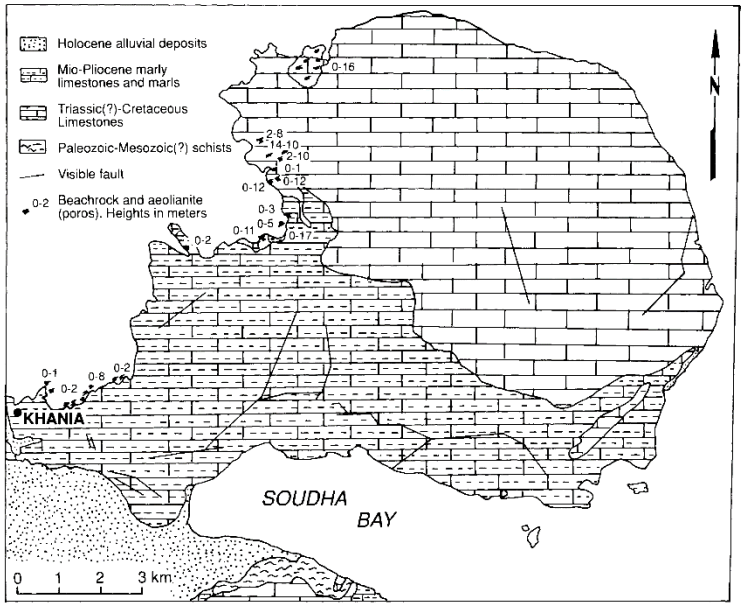
2.4.1 <u>Η γεωλογία του Ακρωτηρίου</u>

Το γεωλογικό υπόβαθρο του Ακρωτηρίου παρουσιάζει δύο μεγάλες ζώνες. Η επαφή μεταξύ αυτών των δύο ζωνών έχει μια διεύθυνση από τα βορειοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά. Το βορειοανατολικό μισό της χερσονήσου αποτελείται από Μεσοζωικούς ασβεστόλιθους της ενότητας του Τρυπαλίου και Γαβρόβου-Τριπόλεως, ενώ το νοτιοδυτικό καλύπτεται από μαργαϊκούς ασβεστόλιθους του Νεογενούς, κυρίως του σχηματισμού Ακρωτηρίου. Οι ασβεστόλιθοι του Ακρωτηρίου αποτελούνται κυρίως από γκρίζους και έντονα καρστικοποιημένους μεταμορφωμένους Μεσοζωικούς ασβεστόλιθους. Οι ίδιοι ασβεστόλιθοι εμφανίζονται και καλύπτουν ευρύτατες περιοχές στην κύρια μάζα των ανατολικών Λευκών Ορέων. Μπορούν να είναι τοπικά λατυποπαγή ή μικροκρυσταλλικά και ποικίλλουν σε χρώμα από λευκό-γκρι έως μπλεδίζον και βρίσκονται κατά θέσεις δολομιτιωμένοι. Στο βορειοδυτικό άκρο των βουνών του Ακρωτηρίου παρουσιάζεται μεταμορφωμένη ακολουθία που ανήκει στα μεταμορφωμένα πετρώματα των Πλακωδών Ασβεστολίθων. Κατά μήκος της επαφής των Μεσοζωικών ασβεστόλιθων και της μάργας παρουσιάζεται σε ύψος 38 μέτρων στην κορυφή του λόφου Λεπίδι ένα μαργαϊκό λατυποπαγές, γεμίζοντας παράλληλα μερικώς πολλά μικρά καρστικά βυθίσματα στην περιοχή. Χωρικά η εξέλιξη της εμφάνισης συμβαίνει από τη βορειοανατολική ακτή του κόλπου το Καλαθά έως τα Καθιανά στη μέση της χερσονήσου. Οι λατύπες ως επί το πλείστον είναι μεταμορφικές (σχιστόλιθοι, φυλλίτες και χαλαζίτες) με μερικά θραύσματα κρυσταλλικού ασβεστόλιθου και πυριτόλιθου. Πιθανώς αυτές οι αποθέσεις να σχημάτιζαν κάποια

στιγμή τα βασικά τμήματα του σχηματισμού του Ακρωτηρίου, τα στοιχεία της κατανομής τους όμως υποδεικνύουν ότι αποτέθηκαν ή επαναποτέθηκαν πιο πρόσφατα (από Moody, 1987).

2.4.2 Τα πετρώματα και τα ιζήματα του Ακρωτηρίου

Τα πετρώματα του Νεογενούς καλύπτουν περίπου το 50% της χερσονήσου αποτελούμενα κυρίως από το σχηματισμό του Ακρωτηρίου. Ως επί το πλείστον φαίνεται να επικαλύπτουν Μεσοζωικούς ασβεστόλιθους και ως εκ τούτου έχουν μια κροκαλοπαγητική βάση. Τα πετρώματα του Νεογενούς που ανήκουν στο σχηματισμό των Χαιρεθιανών εμφανίζονται κατά μήκος των πλαγιών του ισθμού πολύ κοντά στα Χανιά στην περιοχή της Χαλέπας και νοτιοανατολικά της χερσονήσου (μεταξύ Λίμνης-Μαράθι) επικαλύπτοντας μερικώς τον σχηματισμό του Ακρωτηρίου. Στο Ακρωτήρι ωστόσο παρουσιάζονται και άλλοι σημαντικοί σχηματισμοί. Δύο πολύ νεότερα ιζηματογενή τμήματα που επικαλύπτουν τους Μεσοζωικούς σκληρούς ασβεστόλιθους και τις αποθέσεις του Νεογενούς, **οι αιολιανίτες και τα κόκκινα παλαιοεδάφη της εποχής του Πλειστόκαινου** (από Moody, 1987).



Εικόνα 2.4: Κατανομή ψηφιδοπαγούς αιγιαλού (beachrock) και αιολιανιτών στον κόλπο των Χανίων και στη δυτική ακτή του Ακρωτηρίου (Zamani & Maroukian, 1981).

Όπως αναφέρεται από τους Zamani & Maroukian, 1981 «***Κατάλοιπα ερυθροκάστανων και κίτρινων ασβεστωδών ψαμμιτών, που πιστεύεται ότι είναι ψηφιδοπαγής αιγιαλός (beachrock), υπέρκεινται από αιολιανίτες και παρατηρούνται κατά μήκος της δυτικής ακτής, από το Σταυρό έως τα Χανιά»***.

Οι αιολιανίτες και οι ψηφιδοπαγείς αιγιαλοί που αναφέρονται άνωθεν αποτελούν τον ίδιο σχηματισμό και φέρουν θραύσματα κελυφών. Ο σχηματισμός αυτός βρίσκεται εντός δύο αποθετικών περιβαλλόντων. Ένα μέρος αυτού βρίσκεται σε άμεση διασύνδεση ξηράς-θάλασσας όπου εμπεριέχεται ο ψηφιδοπαγής αιγιαλός αποτελούμενος από αδρόκοκκη έως πολύ αδρόκοκκη άμμο με πολυάριθμα υπολείμματα ολόκληρων κελυφών. Η σχετική ηλικία των αποθέσεων δεν μπορεί να καθοριστεί βάσει των απολιθωμάτων που εναποτέθηκαν στο σχηματισμό από την

πανίδα καθώς αυτή εξακολουθεί να επικρατεί στην περιοχή. Το υλικό αυτού του μέρους του σχηματισμού είναι κακώς ταξινομημένο και έχει μια κλίση προς τη θάλασσα. Σήμερα παρατηρείται έως 5m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας.

Το δεύτερο τμήμα του σχηματισμού υπέρκειται του ψηφιδοπαγούς αιγιαλού και εκτείνεται υψομετρικά μέχρι τα 18m. Τοπικά επικαλύπτει τα κόκκινα εδάφη και τους ασβεστόλιθους. Η εικόνα του αιολιανίτη γνωστού στην Ελλάδα ως «πωρόλιθος» έχει ως εξής:

- Αποτελείται από αδρόκοκκη έως μεσαία ασβεστολιθική άμμο
- Παρουσιάζει διασταυρωμένες στρώσεις με σχεδόν οριζόντια έως απότομης κλίσης λεπτά στρώματα, που περιλαμβάνουν πολλά θραύσματα κελυφών μαλακίων
- Εκτείνεται σε μεγάλο βαθμό γύρω από τοίχους χαρακτηριστικών που έχουν τη μορφή δολινών στην περιοχή του Σταυρού, επικαλύπτοντας Μεσοζωικούς ασβεστολίθους

Η περιοχή του Σταυρού έχει ενεργές αμμοθίνες που δείχνουν ήδη ένα βαθμό τσιμεντοποίησης (από Zamani & Maroukian, 1981).

Χρονολογικά η εναπόθεση των ψηφιδοπαγών αιγιαλών πρέπει να έλαβε μέρος κατά τη διάρκεια μιας χαμηλότερης στάσης στη στάθμη της θάλασσας κατά την αρχή της τελευταίας παγετώδους εποχής (Τυρρήνιο ΙΙΙ). Η ίδια περίοδος καταδεικνύει την εναπόθεση αιολιανιτών στην περιοχή κατά μήκος των δυτικών ακτών του Ακρωτηρίου. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις ψυχρές και ξηρές συνθήκες της εποχής αυτής και με την παράλληλη δράση επικρατών βορειοδυτικών και δυτικών ανέμων (από Zamani & Maroukian, 1981).

Κεφάλαιο 3: Η φύση των αιολιανιτικών πετρωμάτων

3.1 Εισαγωγή

Είναι σημαντικό η βάση της μελέτης να περιχαρακωθεί από τα πάσης φύσεως λοιπά στοιχεία της βιβλιογραφίας. Απαραίτητη προϋπόθεση για να συμβεί αυτό είναι η στοιχειώδης κατηγοριοποίηση των πετρωμάτων που μελετώνται. Με αυτή την έννοια αναφέρεται και η γενική λέξη «ΦΥΣΗ» στο τίτλο του κεφαλαίου, καθώς ένα πέτρωμα δεν λαμβάνει ένα μόνο χαρακτηριστικό (π.χ ορυκτολογική σύσταση πορώδες κλπ.) κατά τη δημιουργία του, αλλά ούτε και οι παράγοντες της γένεσης του βασίζονται σε απλούς κανόνες παρά σε αλληλεξαρτόμενα ή και αλλεπάλληλα φαινόμενα. **Οι αιολιανίτες είναι αιολικές επιφανειακές συσσωρεύσεις ανθρακικής σύστασης και ανθρακικά-τσιμεντοποιημένης άμμου, με ότι αυτό συνεπάγεται για τις διεργασίες που λαμβάνουν μέρος για τη δημιουργία τους**.

Έτσι στο κεφάλαιο αυτό θέτονται τα θεμέλια της ένταξης των αιολιανιτικών πετρωμάτων στη βασική κατηγοριοποίηση που έχει ορίσει η γεωλογική βιβλιογραφία. Παράλληλα προερχόμενη από το όνομα του πετρώματος «aeolianite-αιολιανίτης» αυτή καθαυτή θα τεθεί και η βάση της μεταφοράς και της απόθεσης των υλικών που κινητοποιούνται από αιολικές διεργασίες (aeolian processes) και σχηματίζουν τουλάχιστον στα πρώτα στάδια (πριν τις διεργασίες διαγένεσης) το πέτρωμα. Η μεταφορά και η απόθεση των κόκκων άμμου θα εξεταστεί υπό τη σκοπιά της φυσικής, αναλύοντας και θέτοντας παραδείγματα εντός του αιολικού αποθετικού συστήματος.

3.1.1 Τα ιζηματογενή πετρώματα

Τα ρευστά μέσα που εξασφαλίζουν την κίνηση των υλικών των ιζημάτων πάνω στο φλοιό της γης είναι το νερό και ο άνεμος. Τα ιζηματογενή πετρώματα (sedimentary rocks), είναι εκείνα τα πετρώματα, τα οποία σχηματίζονται από απόθεση ή καταβύθιση υλικών που βρίσκονται σε αιώρηση ή διάλυση μέσα σε ένα ρευστό μέσο (νερό ή αέρας) και τη μετέπειτα συγκόλληση των υλικών που αποτέθηκαν. Χαρακτηρίζονται από τη στρώση των υλικών τους σε διαδοχικά επίπεδα και τα απολιθώματα, τα οποία βρίσκονται μόνο μέσα σε ιζήματα.

Οι διεργασίες που λαμβάνουν μέρος στο σχηματισμό των ιζηματογενών πετρωμάτων είναι:

- Η **Διάβρωση και αποσάθρωση**, που είναι οι φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες που υφίστανται τα προϋπάρχοντα πετρώματα με αποτέλεσμα την καταστροφή τους.

- Η **Μεταφορά** των υλικών που προέκυψαν από την αποσάθρωση, με τον άνεμο και το νερό των ποταμών και των θαλασσών.

- Η **Απόθεση** των υλικών που βρίσκονται σε αιώρηση ή διάλυση. Η απόθεση γίνεται σε διαδοχικά στρώματα.

- Η **Διαγένεση**, που είναι η διαδικασία με την οποία ένα χαλαρό ίζημα μετατρέπεται σε συμπαγές πέτρωμα, με τη βοήθεια της πίεσης των υπερκείμενων στρωμάτων και της φυσικής συνδετικής ύλης.

Το κύριο γνώρισμα των πετρωμάτων αυτών είναι οι στρώσεις που καταδεικνύουν την σταδιακή συσσώρευση του υλικού της αποσάθρωσης. Οι στρώσεις αυτές επιτυγχάνονται στο στάδιο της απόθεσης λόγω της διαβάθμισης των υλικών.

Ανάλογα με τον τρόπο που συντελείται η όλη διεργασία τα ιζήματα μπορούν να διακριθούν σε:

- **Κλαστικά**, που είναι ιζήματα που προκύπτουν από απόθεση υλικών αποσάθρωσης, που αιωρούνται στο νερό ή στον αέρα.
- **Χημικά**, τα οποία σχηματίστηκαν από συγκέντρωση ορυκτών που αποτέθηκαν κατευθείαν από υδατικά διαλύματα με ανόργανες χημικές διεργασίες.
- **Βιογενή**, όταν γίνεται συσσώρευση ή απόθεση ύλης προερχόμενης από ζωϊκούς ή φυτικούς οργανισμούς.

3.1.2 Η βιογενής προέλευση των ιζημάτων

Η βιογενής προέλευση των ιζημάτων είναι χημική είτε μερικώς κλαστική, στην ομάδα αυτή είναι απαραίτητο να παρεμβάλουν οργανικές διεργασίες φυτικών ή ζωικών παραγόντων. Τα προϊόντα των παραπάνω διεργασιών κάποιες φορές διατηρούν τα ίχνη του οργανικού κόσμου, ενώ άλλες φορές δεν διατηρούν κανένα ίχνος.

Το σύνολο του οργανικού κόσμου ζωικού και φυτικού, αξιοποιεί αρκετές ανόργανες ουσίες από το άμεσο περιβάλλον του για την κατασκευή κελυφών, οστράκων, σκελετών κλπ. Μετά το θάνατο του ζώου ή του φυτού τα λείψανα αποτίθενται, συσσωρεύονται και σχηματίζουν τα υλικά των ιζηματογενών πετρωμάτων (π.χ πρωτόζωα, μαλάκια, κοράλλια, φύκη κλπ.).

Βάση της χημικής σύστασης τα βιογενή ιζήματα μπορούν να διακριθούν σε ασβεστολιθικά έως δολομιτικά, πυριτικά, φωσφορούχα, άνθρακες και βιτουμενιούχα ιζήματα.

3.1.3 Τα ανθρακικά πετρώματα

Τα ανθρακικά ιζήματα (carbonate sediments) έχουν προέλευση κλαστική, χημική αλλά και βιοχημική ενώ αποτελούν το 25% των ιζηματογενών πετρωμάτων. Το χρώμα τους μπορεί να είναι τεφρό, λευκό, ερυθρό, καστανό, μαύρο ή υποκύανο.

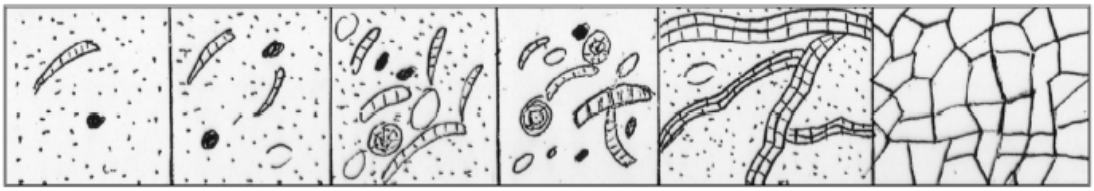
Τα γνωρίσματα των ανθρακικών πετρωμάτων είναι:

- Τα μεγέθη των κόκκων μπορεί να είναι, είτε από μέγεθος άμμου έως μεσόκοκκη ιλύς, είτε από λεπτόκοκκη ιλύς έως άργιλο.
- Παρατηρούνται σκελετικά συστατικά των οργανισμών στο σχηματισμό τους.
- Ο σχηματισμός τους λαμβάνει χώρα σε αβαθή ύδατα (μέχρι 15 m).
- Ο ρυθμός ιζηματογένεσης που σχηματίζει λεπτά ή παχιά στρώματα.

Τα δύο συνηθέστερα ορυκτά που περιέχουν την ανθρακική ρίζα $(CO_3)^{-2}$ και ιδιαίτερα στα νεότερης ηλικίας ιζήματα είναι ο ασβεστίτης και ο αραγωνίτης.

Η ταξινόμηση των ανθρακικών πετρωμάτων γίνεται βάσει των κατηγοριών που παρουσιάζονται στην Εικόνα (3.1).

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΝΘΡΑΚΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΙΣΤΟ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΤΟΥΣ (κατά DUNHAM, 1962)					
ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΙΜΟΣ ΙΣΤΟΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ					ΜΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΙΜΟΣ ΙΣΤΟΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ
Αρχικά συστατικά μη συνδεδεμένα κατά την απόθεση (arenite και silt)				Τα αρχικά συστατικά ήταν συνδεδεμένα κατά την απόθεση.... όπως φαίνεται από την παρουσία περιπλεγμένου σκελετικού υλικού, στρώση αντίθετη προς τη βαρύτητα ή κοιλότητες στρωμένες με ίζημα που καλύπτονται από οργανικό ή αμφισβητούμενο οργανικό υλικό, που είναι πολύ μεγάλες για να αποτελούν ενδιάμεσα διάκενα. Boundstone	Κρυσταλλικά ανθρακικά (υποδιαιρούνται σύμφωνα με ταξινομήσεις αναφερόμενες στον φυσικό ή τη διαγένεση)
Περιέχει ιλύ (σωμάτια μεγέθους clay και silt)			Στερείται ιλύος και είναι κοκκο-στηριζόμενο Grainstone		
Ιλυο-στηριζόμενο		Κοκκο - στηριζόμενο Packstone			
Ποσοστό κόκκων <10% Mudstone	Ποσοστό κόκκων >10% Wackestone				



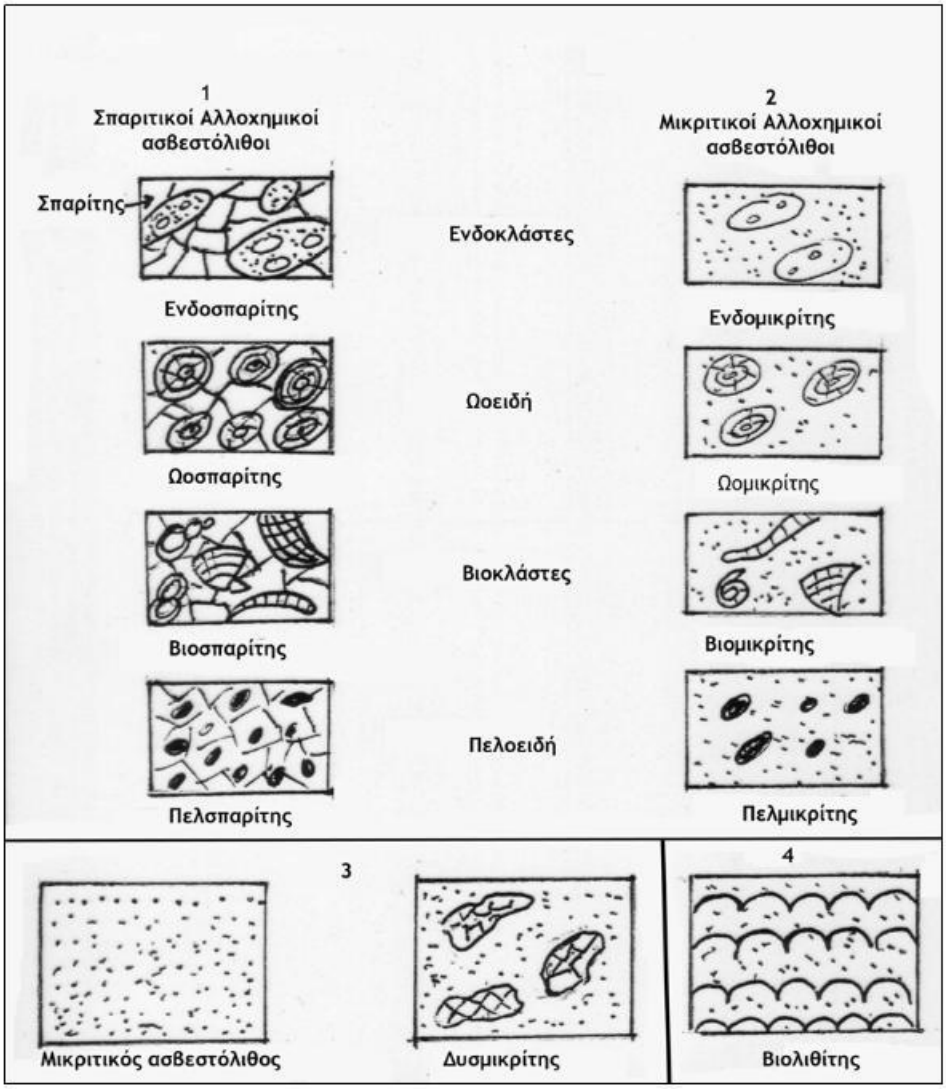
Εικόνα 3.1: Η ταξινόμηση των ανθρακικών πετρωμάτων σύμφωνα με τον ιστό απόθεσης κατά Dunham, 1962 (από Μαντικός, 2012).

3.1.4 Ο ρόλος των ασβεστόλιθων

Οι ασβεστόλιθοι (limestones) έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε ασβεστίτη τουλάχιστον 90% και μέχρι 10% δολομίτη. Σε μικρότερες αναλογίες περιέχουν χαλαζία, χαλκηδόνιο, αστρίους, αργιλικά ορυκτά, σιδηρίτη και σιδηροπυρίτη.

Τα πετρώματα αυτά είναι κλαστικά, χημικά ή βιογενή, κρυσταλλικά ή ανακρυσταλλωμένα. Η οικονομική υπόσταση των ασβεστόλιθων είναι τεράστια καθώς αποτελούν πολλές φορές ταμιευτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου αλλά και ταμιευτήρες υπόγειων υδάτων. Σημαντικοί επίσης είναι για το ρόλο που λαμβάνουν ως δομικοί λίθοι. Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικοί ασβεστολιθικοί τύποι όπως παρουσιάστηκαν από τον Folk, 1959 (Εικόνα 3.2).

Η διασύνδεση των μικροφασικών τύπων των ασβεστολίθων σε σχέση με το περιβάλλον-ζώνη απόθεσης των υλικών παρουσιάστηκε ολοκληρωμένα από τους Wilson και Flugel. Οι κατηγορίες αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα (3.1).



Εικόνα 3.2: Βασικοί ασβεστολιθικοί τύποι κατά Folk, 1959 (από Μαντικός, 2012)

SMF	Λιθολογία	Περιβάλλον/Ζώνη
1	Σκούρος αργιλώδης mudstone ή wackestone πλούσιος σε οργανικό υλικό ή ασβεστόλιθος με βελόνες πυριτικής σύστασης (spiculite). Οι βελόνες συχνά έχουν αντικατασταθεί από ασβεστίτη.	Λεκάνη, βαθύ περιβάλλον με μικρή ταχύτητα ιζηματογένεσης.
2	Πολύ λεπτοκρυσταλλικός grainstone ή packstone με μικρούς βιοκλάστες και πελοειδή και διασταυρωμένες στρώσεις.	Υφαλοκρηπίδα ανοιχτής θάλασσας κοντά στο κατώτερο τμήμα της ηπειρωτικής κατωφέρειας. Βαθύτερο όριο υφαλοκρηπίδας.

3	Πελαγικός mudstone και wackestone. Η μικριτική ιλύς περιέχει διάσπαρτα πελαγικά μικροαπολιθώματα (πχ ραδιολάρια ή τρηματοφόρα Globigerinids) ή μακροαπολιθώματα (θραύσματα μαλάκιων).	Λεκάνη, βαθύ περιβάλλον με αργή ιζηματογένεση ή βαθύτερο όριο υφαλοκρηπίδας.
4	Μικρολατυποπαγής ή βιοκλαστικός-λιθοκλαστικός packstone. Στρογγυλεμένοι κόκκοι, συνήθως ταξινομημένοι. Πολύμεικτος ή μονόμεικτος. Συμμετέχει κλαστικό υλικό (χα-λαζίας, θραύσματα κερατολίθων και ασβεστό-λιθων).	Επανιζηματογενείς ασβεστόλιθοι-foreslope.
5	Grainstone-packstone ή floatstone με υφαλογενείς βιοκλάστες και γεωπεταλική δομή.	Παρειά υφάλου.
6	Υφαλογενής rudstone με μεγάλους βιοκλάστες και με υφαλογενή θραύσματα. Δε συμμετέχει ιλύς.	Έμπροσθεν κατωφέρεια υφάλου. Υλικά από τον ύφαλο. Σύνηθες σε ζώνες υψηλής ενέργειας.
7	Bounstone. In situ ανάπτυξη οργανογενών δομών (framestone, bindstone, bafflestone).	Υφαλογενής σχηματισμός στα περιθώρια της πλατφόρμας.
8	Wackestone με ολόκληρους οργανισμούς μέσα σε μικριτική μάζα. Λίγοι βιοκλάστες.	Λιμνοθάλασσα υφαλοκρηπίδας με ανοικτή κυκλοφορία. Χαμηλή ενέργεια υδάτων, κάτω από τη βάση των κυμάτων.
9	Βιοκλαστικός wackestone ή βιοκλαστικός μικρίτης. Θραύσματα διαφόρων οργανισμών που έχουν ομοιογενοποιηθεί με βιοαναμόχλευση. Μικριτίωση των βιοκλαστών.	Ρηχά ύδατα με ανοικτή κυκλοφορία, στο επίπεδο κυμάτων ή κοντά σε αυτά.
10	Packstone-wackestone με επιφλοιωμένους και διαβρωμένους βιοκλάστες.	Οι κόκκοι προέρχονται από περιβάλλον υψηλής ενέργειας και έχουν μετακινηθεί προς τοπικές κατωφέρειες σε χαμηλής ενέργειας περιβάλλον-τα.
11	Grainstone με επιφλοιωμένους βιοκλάστες σε σπαριτικό τσιμέντο.	Αποπλυμένες άμμοι στο άκρο της πλατφόρμας. Στις περιοχές αυτές είναι σταθερή η ενέργεια των

		κυμάτων στο ή πάνω από το επίπεδο της βάσής των κυμάτων.
12	Coquina, βιοκλαστικός packstone, grainstone ή rudstone με συγκεντρώσεις οργανισμών. Επικρατούν μερικοί τύποι οργανισμών (πχ κρινοειδή, ασβεστολιθικά φύκη).	Κατωφέρεια και άκρο της υφαλοκρηπίδας.
13	Grainstone με ογκοειδή (ογκοσπαρίτης).	Περιοχές μέτριας ενέργειας, πολύ ρηχά ύδατα.
14	Lags. Συγκέντρωση επιφλοιωμένων και στρογγυλοποιημένων κόκκων (λιθοκλάστες) κατά θέσεις αναμεμειγμένα με ωοειδή και πελοειδή, έντονα εμποτισμένων με οξείδια Fe κατά μήκος λεπτοστρώσεων.	Αργή απόθεση αδρομερούς υλικού σε ζώνη απόπλυσης.
15	Ωόλιθοι με καλά ταξινομημένα και καλοσχηματισμένα ωοειδή διαμέτρου 0,5-1,5 mm. Πάντα με διασταυρωμένες στρώσεις. Ιστός στοιβαγμένος.	Υψηλής ενέργειας περιβάλλον σε ωολιθικά αναχώματα, ακτές και παλιρροιακά αναχώματα.
16	Grainstone με πελοειδή (πιθανότατα κοπρόλιθοι), κατά θέσεις αναμεμειγμένος με συγκεντρώσεις οστρακωδών ή τρηματοφόρων.	Πολύ ζεστά ρηχά ύδατα με μέτρια κυκλοφορία.
17	Grapestone (βοτρυόλιθος), πελσπαρίτης ή grainstone με συσσωματώματα κόκκων, μεμονωμένα και συγκολλημένα πελοειδή και μερικούς επιφλοιωμένους κόκκους.	Υφαλοκρηπίδα με περιορισμένη κυκλοφορία και περιπαλιρροιακά επίπεδα.
18	Grainstone με τρηματοφόρα ή dasycladaceae.	Παλιρροιακά αναχώματα και κανάλια λιμνοθάλασσας.
19	Λοφερίτης, λεπτοστρωσιγενής mudstone-wackestone που κατά περίπτωση εξελίσσεται σε πελσπαρίτη με παραθυροειδής δομές. Οστρακώδη και πελοειδή, λίγα διάσπαρτα τρηματοφόρα, γαστερόποδα και φύκη.	Περιορισμένοι κόλποι και μικρές λίμνες.
20	Στρωματολιθικός mudstone με φύκη.	Συχνά στη μεσοπαλιρροιακή ζώνη.
21	Δομές φυκών σε λεπτοκρυσταλλικό μικριτικό ίζημα.	Περιπαλιρροιακές μικρές λίμνες.

22	Μικρίτης με μεγάλα ογκοειδή, wackstone ή floatstone.	Χαμηλής ενέργειας περιβάλλοντα, ρηχά ύδατα, όπισθεν τού υφάλου. Συχνά στην άκρη λιμνών ή καναλιών.
23	Μη λεπτοστρωσιγενής, ομογενής, μη απολιθωματοφόρος καθαρός μικρίτης, πιθανή η παρουσία εβαποριτικών ορυκτών.	Λίμνες περιπαλιρροιακού περιβάλλοντος υψηλής αλμυρότητας.
24	Rudstone ή floatstone με αδρομερείς λιθοκλάστες και βιοκλάστες. Οι λιθοκλάστες συνήθως συνίστανται από μη απολιθωματοφόρο μικρίτη ή ασβεστοσιλτίτη. Ιλύς απαντά σποραδικά. Ενίοτε διασταυρωμένες στρώσεις.	Ενδολατυποπαγή (intraformational breccia). Συσσώρευση υλικού σε παλιρροιακά κανάλια (lags).

Πίνακας (3.1): Βασικοί μικροφασικοί τύποι κατά Wilson και Flugel (από Μαντικός, 2012)

3.2 Αιολικά φαινόμενα

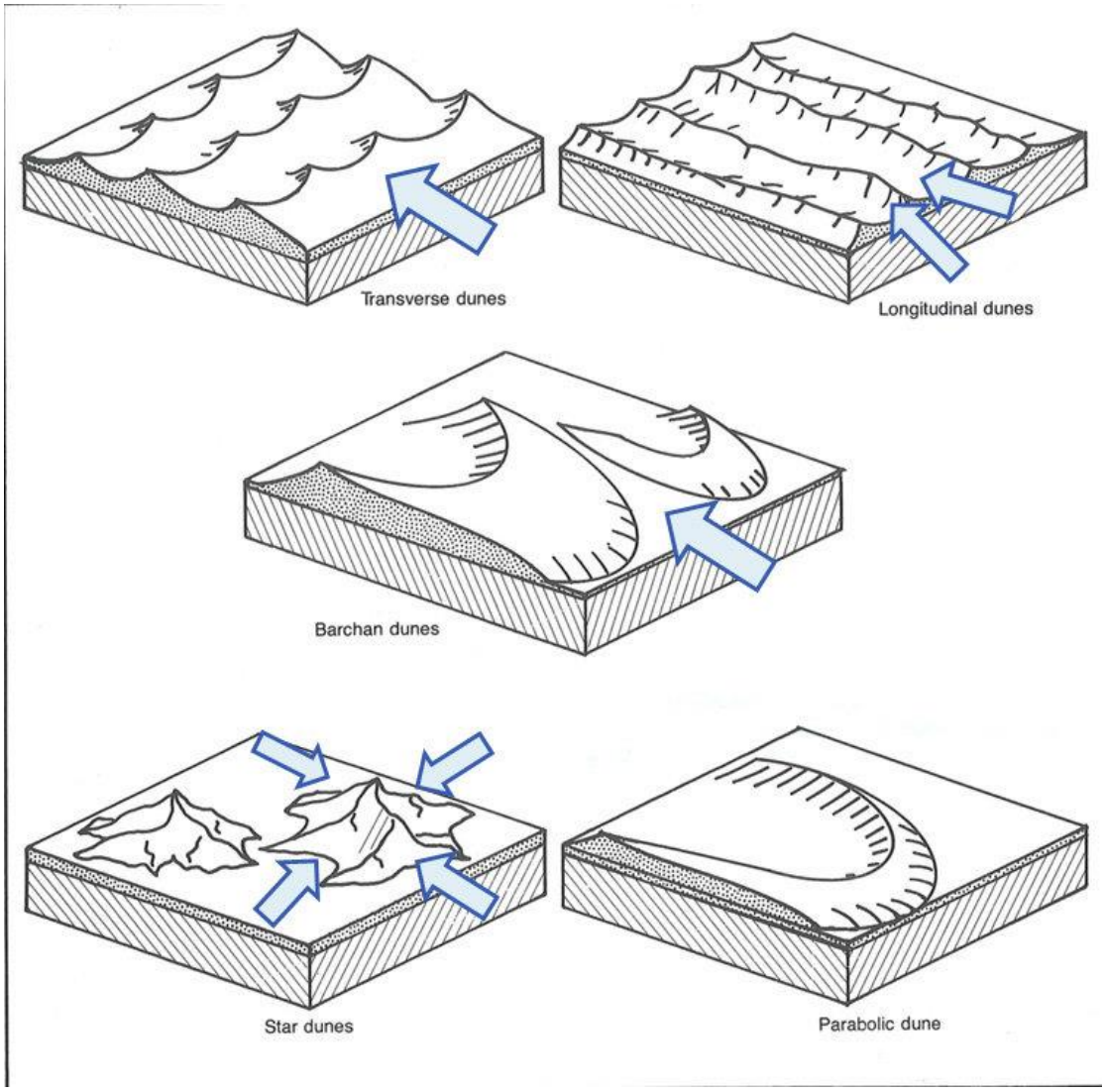
Γενικότερα οι συμπεριφορές των κόκκων ενός υλικού στις αιολικές και υδάτινες διεργασίες παρουσιάζουν πολλά κοινά σημεία. Το τμήμα των αιολικών διεργασιών που αφορά τους αιολιανίτες είναι κυρίως οι τάπητες μεταφοράς και τα εναιωρήματα (νέφη σκόνης) που στη περίπτωση των νεφών προσδίδουν χαρακτηριστικά όπως η παρουσία ερυθροχωμάτων (terra rossa). Το γεγονός αυτό αναφέρεται από τον Brooke (2001) για την περίπτωση των αποθέσεων αιολιανίτη των Βερμούδων, όπου terra rossa παλαιοεδάφη σχηματίζονται συνεχώς με τη συσσώρευση ατμοσφαιρικής σκόνης ως στρώσεις μεταξύ αιολιανιτικών αλληλουχιών. Έτσι «το σύνολο των αιολικών ιζημάτων αποτελείται είτε από άμμους μεταφοράς ή από ιλύ που αποτίθεται εν αιωρήσει» όπως εν κατακλείδι συνοψίζει και ο Κελεπερτζής (2000) για την επίδραση των αιολικών φαινομένων, δηλαδή κυρίως από αμμοθίνες.

3.2.1 Τα είδη των αμμοθινών

Οι θίνες που σχηματίζονται από τα αιολικά φαινόμενα (Εικόνα 3.3), λαμβάνουν τέσσερεις βασικούς τύπους ανάλογα με τη γεωμετρία τους (από Κελεπερτζής, 2000, Ali Madan Al-Ali., 2015):

- Ο τύπος barchan ή αλλιώς ημισεληνοειδής τύπος, έχει σχήμα τοξοειδές με δύο κέρατα και είναι καμπύλος προς τη διεύθυνση του επικρατούντος ανέμου.
- Ο πυραμιδοειδής ή Matterhorn τύπος (ή τύπος αστέρος). Ο τύπος αυτός μπορεί να φτάσει σε ύψος αρκετά εκατοντάδες μέτρα, που αποτελείται από μια σειρά ελικοειδών, απότομων αμμωδών ράχεων οι οποίες σμίγουν μαζί σε μία υψηλή κορυφή. Επάνω σε αυτή την κορυφή εμφανίζεται ένα λοφίο. Έτσι η θίνα δείχνει να καπνίζει.
- Ο επιμήκης ή seif τύπος. Ο τύπος seif παρουσιάζεται μέσα από επιμήκεις, λεπτές αμμώδεις θίνες με απότομες μεσαίες ράχες. Μεμονωμένες θίνες του είδους μπορούν να φτάσουν σε μήκος μέχρι τα 200 km.
- Ένας ακόμα τύπος αιολικής θίνας είναι ο εγκάρσιος. Η παράταξη των θινών στον εγκάρσιο τύπο είναι κάθετη ως προς τη μέση διεύθυνση του ανέμου.

- Τελευταίος τύπος αιολικής θινός είναι ο παραβολικός. Σε αυτό το τύπο οι δύο βραχίονες συχνά σταθεροποιούνται από βλάστηση.



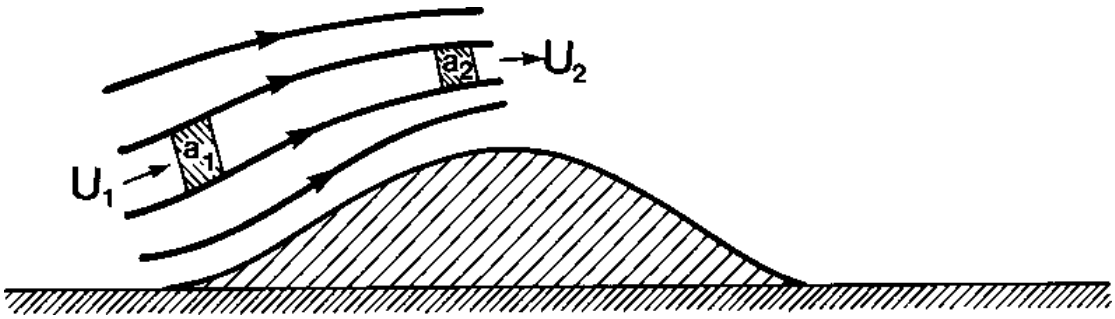
Εικόνα 3.3: Τύποι αμμοθινών όπως παρουσιάστηκαν από τον Ali Madan Al-Ali (2015) στο άρθρο "Use of Spatial Technologies to Study the Winds' Directions in Rub' Al-Khali Desert, Saudi Arabia". Οι τύποι αμμοθινών της εικόνας μεταφέρθηκαν στα ελληνικά στην παράγραφο 3.6.1 με τις εξής ονομασίες: Transverse-εγκάρσιος τύπος, Longitudinal-επιμήκης τύπος, Barchan-ημισελινοειδής τύπος, Star-πυραμιδοειδής ή τύπος αστέρα, Parabolic-παραβολικός τύπος. Τα γαλάζια βέλη δείχνουν την κατεύθυνση των κύριων ανέμων που πνέουν για την δημιουργία του αντίστοιχου τύπου αμμοθίνας.

3.2.2 Παραδείγματα σε αιολικό αποθετικό σύστημα

3.2.2.1 Προσεγγίζοντας τη ροή του ανέμου

Μια σημαντική ιδιότητα των αερίων είναι αυτή της συμπιεστότητας. Για ταχύτητες ανέμου που φτάνουν τα 60 ms^{-1} ή 216 km/h, η συμπιεστότητα του ανέμου θεωρείται αμελητέα. Οι ταχύτητες ανέμου αυτής της κλίμακας είναι σπάνιες και ασυνήθεις πάνω στις ερήμους αμμοθινών. Με αυτό τον τρόπο λαμβάνεται ο γενικός κανόνας ότι ο αέρας των φυσικών ανέμων είναι ασυμπίεστος. Περαιτέρω από την παραπάνω θεώρηση ισχύουν οι νόμοι της διατήρησης της μάζας και της ενέργειας επιτρέποντας την εφαρμογή των εξισώσεων Bernoulli για τη ροή του αέρα.

Για ένα απλοποιημένο σύστημα που προσεγγίζει τη φυσική ροή αέρα πάνω από ένα λοφίσκο, η τυρβώδης ροή του κινούμενου αέρα που πρακτικά είναι ακανόνιστη, μπορεί να αντικατασταθεί αποφεύγοντας την ανάλυση αυτού του είδους ροής, με τις ρευματογραμμές ανέμου οι οποίες αποτελούν τη μέση κατεύθυνση του ανέμου σε δύο διαστάσεις. Στη πραγματικότητα υπάρχει ένας άπειρος αριθμός ρευματογραμμών σε οποιαδήποτε ροή ανέμου, ωστόσο στο σύστημα αυτό και για την ορθή παρουσίαση του, παρουσιάζονται μόνο οι αναγκαίες ρευματογραμμές στη προσήνεμη πλαγιά του λοφίσκου, που τείνουν να συγκλίνουν πάνω από την κορυφή του (Εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.4: Συγκλίνουσες ρευματογραμμές ανέμου προς την κορυφή του λοφίσκου. Δείτε το κείμενο για επεξήγηση (Pye & Tsoar, 2009).

Η γενική μορφή της εξίσωσης της συνέχειας (continuity equation) περιγράφεται για το σύστημα της Εικόνας 3.4 ως εξής:

$$U_1 a_1 = U_2 a_2 = \text{σταθερό} \qquad \text{(Εξίσωση 3.1)}$$

πρακτικά αυτό σημαίνει πως ο όγκος του αέρα που διέρχεται από την περιοχή α_1 με ταχύτητα U_1 σε δεδομένο χρόνο πρέπει να είναι ίδιος με εκείνον που διέρχεται από την περιοχή α_2 με ταχύτητα U_2 στον ίδιο χρόνο. Από την Εξίσωση 3.1 προκύπτει ότι οι ρευματογραμμές που συγκλίνουν συνδέονται με αύξηση της ταχύτητας και οι αποκλίνουσες με μείωση αυτής (Pye & Tsoar, 2009).

Η ενεργειακή προσέγγιση αυτού του απλοποιημένου παραδείγματος ακολουθεί το νόμο της διατήρησης της ενέργειας του συστήματος. Οι μορφές ενέργειας που παρουσιάζονται στο σύστημα ροής είναι η ταχύτητα, η πίεση και δυνητικά το βάρος ως δυναμική ενέργεια. Η υψομετρική διαφορά μεταξύ της βάσης και της κορυφής του λοφίσκου είναι μικρή. Ταυτόχρονα το μικρό μέγεθος της πυκνότητας του αέρα, καθιστά την επίδραση του βάρους σταθερή για όλα τα σημεία κατά μήκος των ρευματογραμμών ανέμου. (Pye & Tsoar, 2009)

Η συνολική ενέργεια υπό τη μορφή της ταχύτητας και της πίεσης πρέπει να είναι η ίδια στη βάση όσο και στη κορυφή του λοφίσκου, γεγονός το οποίο περιγράφεται από την Εξίσωση 3.2 (Pye & Tsoar, 2009):

$$p_t = p_s + \frac{1}{2}\rho U^2 \qquad \text{(Εξίσωση 3.2)}$$

όπου

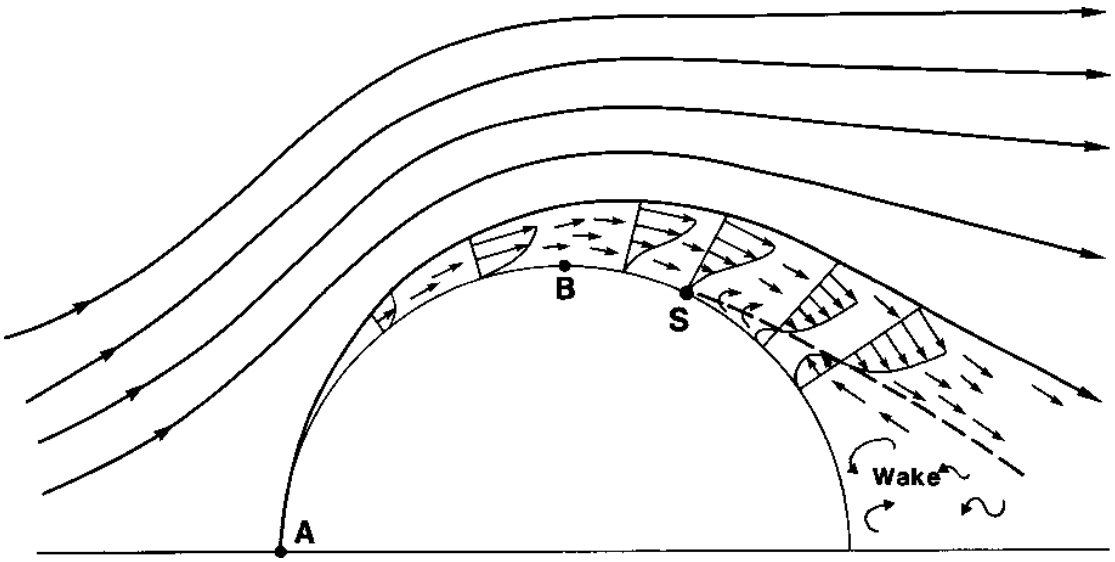
p_t: είναι η συνολική πίεση, γνωστή και ως πίεση ανακοπής καθώς υπάρχει επίσης όταν ο ρέοντας αέρας σταματά τη ροή του.

p_s: η στατική πίεση, η οποία ασκείται στην επιφάνεια πάνω από την οποία ρέει ο αέρας (η στατική πίεση μετριέται εύκολα με τρόπο που δεν διαταράσσει τη ροή, όπως για παράδειγμα μέσα από μια τρύπα πάνω στην επιφάνεια).

$\frac{1}{2}\rho U^2$: η δυναμική πίεση της ροής (dynamic pressure), οι οποία αποτελεί μια έκφραση της κινητικής ενέργειας της ροής.

Η Εξίσωση 3.2 αποτελεί μια απλοποιημένη μορφή της εξίσωσης Bernoulli, από την οποία προκύπτει ότι η πίεση συν την κινητική ενέργεια ανά μονάδα μάζας ενός ρευστού, λαμβάνει σταθερή τιμή παντού. Η εξίσωση αυτή αποτελεί σημαντικό κομμάτι της μελέτης και της κατανόησης των αιολικών διεργασιών και χρησιμοποιείται ευρέως στις μετρήσεις ανέμου.

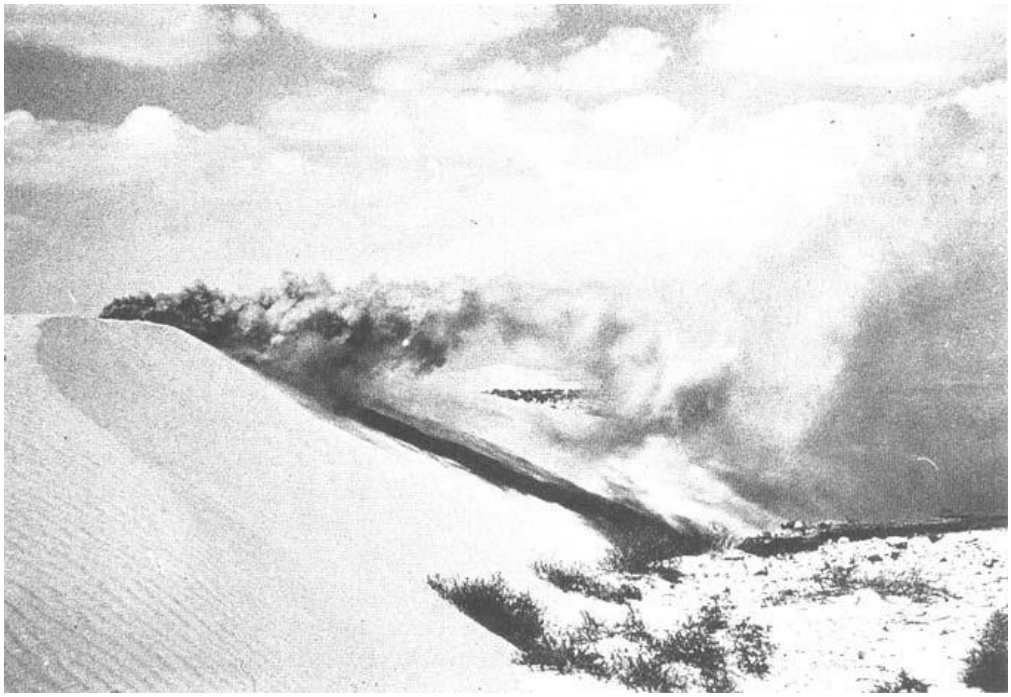
Η παρουσία εμποδίων στη ροή του ανέμου, όπως οι αμμοθίνες, προκαλούν την ανακατανομή της ενέργειας μεταξύ δύο μορφών, της ταχύτητας και της πίεσης. Εμβαθύνοντας περαιτέρω στη προσέγγιση της ροής σε ένα αιολικό αποθετικό σύστημα που μπορεί να λάβει διάφορες γεωμετρίες, μπορεί να παρουσιαστεί και ένα ακόμα παράδειγμα με ένα γενικό γεωμετρικό εμπόδιο σε δύο διαστάσεις, αυτό του ημικυλίνδρου (Εικόνα 3.5). Παρατηρείται λοιπόν ότι οι ρευματογραμμές δημιουργούν ουσιαστικά δύο ζώνες μέσα στις οποίες η ροή διαφοροποιείται και συνολικά αποδίδει μια διαταραγμένη κίνηση κάτω από την επιφάνεια μηδενικής ταχύτητας (βλ. Εικόνα 3.5), που αλλάζει ακόμα και την κατεύθυνση της ροής όπως φαίνεται στη ζώνη αναρροής.



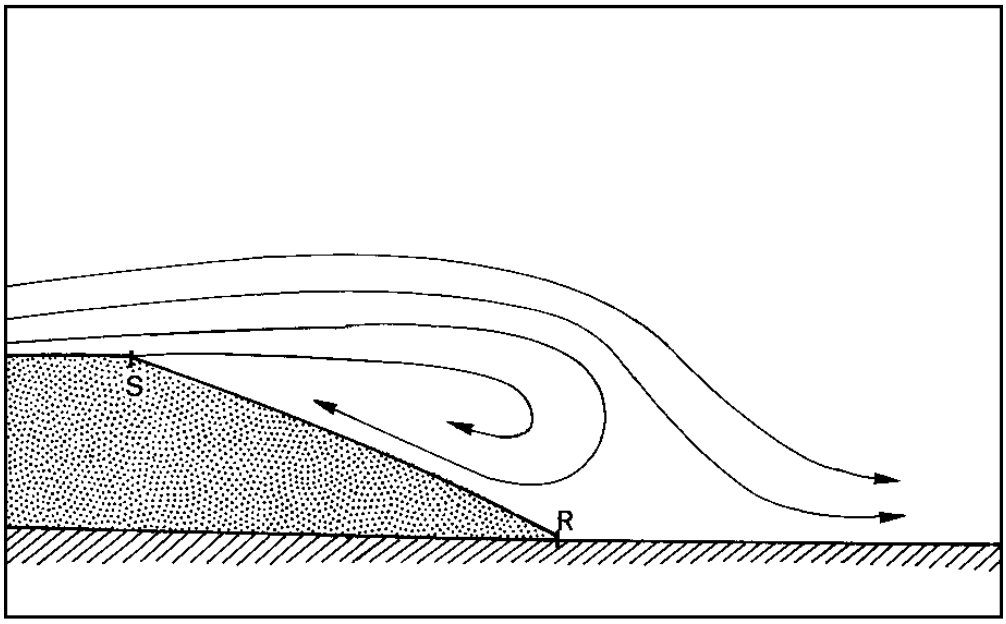
Εικόνα 3.5: Δισδιάστατο σχηματικό διάγραμμα των ρευματογραμμών αέρα γύρω από έναν ημικύλινδρο. Η ευθυγράμμιση των ρευματογραμμών ανέμου δίπλα στην επιφάνεια του ημικυλίνδρου οριοθετεί το ανώτερο όριο του οριακού στρώματος (στρώματος τριβής). Η διακεκομμένη γραμμή δείχνει την επιφάνεια μηδενικής ταχύτητας κάτω από την οποία αρχίζει η αναρροή. Τα προφίλ ανέμου και τα μικρά βέλη υποδεικνύουν τη ροή εντός του οριακού στρώματος (Pye & Tsoar, 2009).

Αναλυτικότερα το φαινόμενο της Εικόνας 3.5 επεξηγείται με τον ακόλουθο τρόπο. «*Η επιφάνεια του ημικυλίνδρου προκαλεί καθυστέρηση στη ροή λόγω της διάτμησης που προκαλείται από το ιξώδες, σχηματίζοντας έτσι ένα μικρό οριακό στρώμα προσκείμενο στην επιφάνεια. Στην ανάντη όψη οι ρευματογραμμές ανέμου αποκλίνουν, προκαλώντας έντονη μείωση της ταχύτητας στο σημείο Α. Σύμφωνα με την Εξ. (3.2), η χαμηλή ταχύτητα στο σημείο Α αυξάνει τη στατική πίεση σε αυτό το σημείο έτσι ώστε να πλησιάζει τη συνολική πίεση. Προς την κορυφή του ημικυλίνδρου, η ταχύτητα επιτυγχάνει ένα μέγιστο, έτσι η στατική πίεση μειώνεται σταδιακά από το Α στο Β, σχηματίζοντας μια φθίνουσα βαθμίδα πίεσης. Αυτή η επιταχυνόμενη ροή αντισταθμίζει την επίδραση του ιξώδους. Έτσι, στην προσήνεμη πλευρά του ημικυλίνδρου το οριακό στρώμα παραμένει σχετικά λεπτό. Κατάντη του σημείου Β, η ροή καθυστερεί και η στατική πίεση αυξάνεται. Σε αυτήν την περίπτωση η επίδραση του ιξώδους εντείνεται από την αυξανόμενη βαθμίδα πίεσης, κάνοντας το οριακό στρώμα να πυκνώνει απότομα προς τα κάτω. Τελικά, στο σημείο S το προφίλ της ταχύτητας κοντά στην επιφάνεια γίνεται μηδέν. Κατάντη του σημείου S, το επιφανειακό στρώμα διαχωρίζεται από το επίπεδο του εδάφους και εισέρχεται στο κύριο ρεύμα της ροής ως στρώμα ελεύθερης διάτμησης. Αυτό το φαινόμενο, γνωστό ως διαχωρισμός της ροής (separation of flow), είναι πολύ σημαντικό και διέπει τις διεργασίες διάβρωσης της άμμου, της μεταφοράς και της εναπόθεσης στην υπήνεμη πλευρά πολλών αμμοθινών. Η αντίστροφη ροή κατάντη του σημείου S αντισταθμίζεται από μια προς τα εμπρός ροή, σχηματίζοντας στην υπήνεμη πλευρά μια περιοχή, γνωστή ως "wake", στην οποία η μηχανική ενέργεια συνεχώς διασκορπίζεται σε τυρβώδεις δίνες*» (Pye & Tsoar, 2009).

Σε ένα ακόμα πρακτικό αυτή τη φορά παράδειγμα (βλ. Εικόνα 3.6), όπου η γεωμετρία του εμποδίου είναι διαφορετική το στρώμα διάτμησης διαχωρίζεται από το έδαφος στο χείλος της ολισθηρής επιφάνειας όπου υπάρχει απότομη αλλαγή στην κλίση της επιφάνειας. «*Αυτό το διαχωρισμένο στρώμα επιστρέφει και επανασυνδέεται στο έδαφος σε απόσταση καταρροής, όπου συχνά χωρίζεται, με ένα μέρος της ροής να εκτρέπεται προς τα πάνω σε μια περιοχή ανακυκλούμενης αναρροής, και το άλλο μέρος του να συνεχίζεται κατάντη. Αυτός ο τύπος διαχωρισμού, καθώς και οι δίνες της υπήνεμης πλευράς και οι δευτερεύουσες ροές που παράγουν, αντιπροσωπεύουν μία από τις πιο σημαντικές διεργασίες που διέπουν το σχηματισμό αμμοθινών*» (Pye & Tsoar, 2009).



(A)



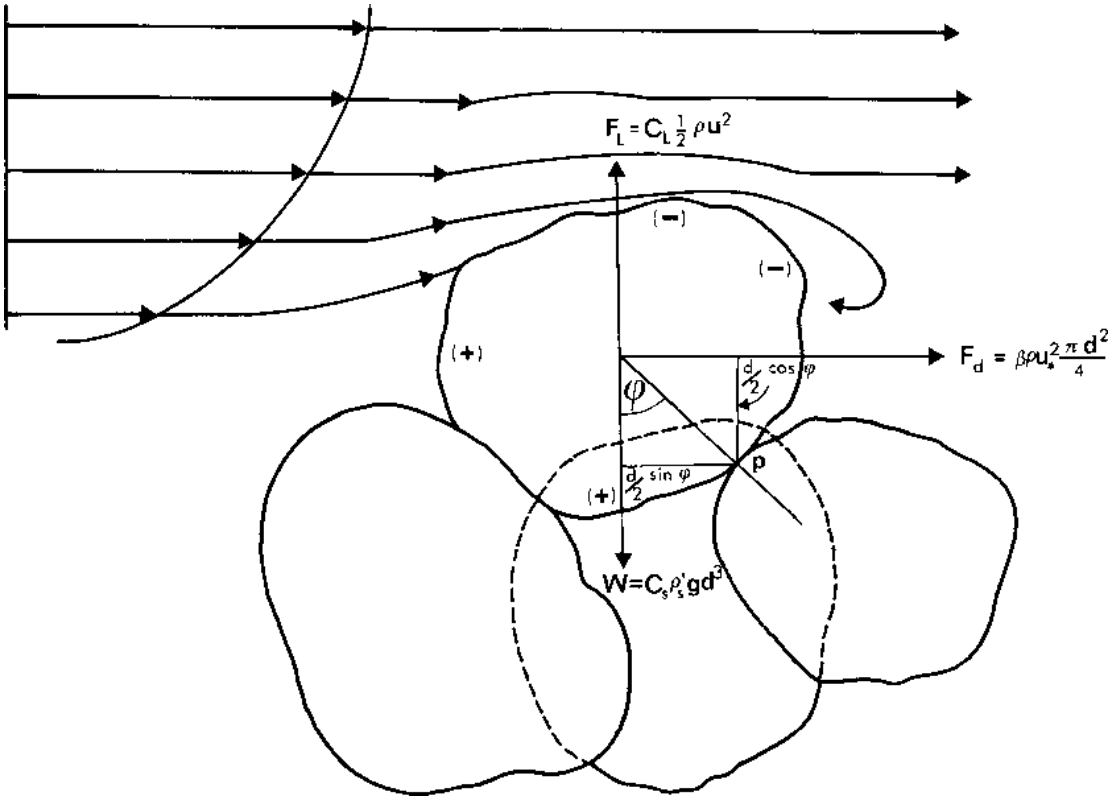
(B)

Εικόνα 3.6: (A) Διαχωρισμός ροής πάνω από την επιφάνεια ολίσθησης ενός αμμόλοφου τύπου barchan, ο οποίος αναπαρίσταται από καπνό. (B) Ένα σχηματικό διάγραμμα του φαινομένου που φαίνεται στο A. S = το σημείο διαχωρισμού. R = το σημείο επανασύνδεσης της ροής (Pye & Tsoar, 2009).

Γεωμορφές με οξείες ακμές που έχουν απότομη αλλαγή στην κλίση της επιφάνειας θα προκαλέσουν διαχωρισμό της ροής του αέρα, επειδή ο αέρας δεν είναι ικανός να φτάσει σε μια εξαιρετικά μεγάλη ταχύτητα στο οξύ χείλος. Τα περισσότερα φαινόμενα διαχωρισμού πάνω από αμμοθίνες είναι αυτού του είδους.

3.2.2.2 <u>Ασκούμενες δυνάμεις επί των κόκκων</u>

Ο άνεμος που ρέει πάνω από ένα κόκκο άμμου σε ηρεμία πρακτικά ασκεί δύο δυνάμεις πάνω του. Η μία δύναμη είναι η οπισθέλκουσα δύναμη (drag force) που δρα οριζόντια με κατεύθυνση ίδια με αυτή της ροής του ανέμου. Η δεύτερη δύναμη είναι αυτή η δύναμη ανύψωσης (lift force), η οποία δρα κατακόρυφα προς τα πάνω. Οι δυνάμεις που αντιστέκονται στις παραπάνω δύο αεροδυναμικές δυνάμεις, είναι οι αδρανειακές. Η σημαντικότερη αδρανειακή δύναμη είναι το βάρος του κόκκου, η οποία δρα κατακόρυφα και αντίθετα με τη φορά της δύναμης ανύψωσης. Πρακτικά σε ένα σύστημα κόκκων παρουσιάζονται και οι δυνάμεις συνοχής (cohesive forces). Οι δυνάμεις συνοχής είναι ελκτικές δυνάμεις μεταξύ γειτονικών κόκκων και άλλων επιφανειών που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ιδιαίτερα στην περίπτωση λεπτών κόκκων (fine grains). Σχηματικά οι παραπάνω δυνάμεις απεικονίζονται στην Εικόνα 3.7.



Εικόνα 3.7: Σχηματική απεικόνιση στατικού κόκκου άμμου που δέχεται της δυνάμεις του ανέμου. Επάνω αριστερά παρουσιάζεται το προφίλ του ανέμου και οι ρευματογραμμές. Το συν (+) συμβολίζει υψηλή σχετική πίεση και το πλην (-) χαμηλή πάνω στην επιφάνεια του κόκκου. p είναι το σημείο περιστροφής για το οποίο υπολογίζονται οι δύο ροπές (d / 2) sinφ και (d / 2) cosφ (Pye & Tsoar, 2009).

Οι δυνάμεις αυτές αναλύονται ως εξής:

- Η οπισθέλκουσα δύναμη είναι το σύνολο της οπισθέλκουσας επιφανειακής τριβής και της οπισθέλκουσας πίεσης. Το τελευταίο προκύπτει από θετική πίεση στην προσήνεμη πλευρά του κόκκου και την αρνητική πίεση στην υπήνεμη πλευρά του. Η οπισθέλκουσα επιφανειακή τριβή είναι το ιξώδες

(τάσεις) που δρα εφαπτομενικά στην επιφάνεια του κόκκου. Η συνολική οπισθέλκουσα δύναμη (F_d) που δρα στον κόκκο δίνεται από τον τύπο:

$$F_d \propto \tau_0 A \propto \rho u * A^2 \qquad \text{(Εξίσωση 3.3)}$$

όπου τ_0 είναι η επιφανειακή διατμητική τάση όπως αυτή προκύπτει από την ταχύτητα τριβής (friction velocity ή shear velocity) με τύπο:

$$u^* = (\frac{\tau_0}{\rho})^{\frac{1}{2}} \qquad \text{(Εξίσωση 3.4)}$$

με ρ την πυκνότητα του ρευστού A είναι η μεγαλύτερη προβαλλόμενη επιφάνεια του κόκκου και u $*$ είναι η ταχύτητα τριβής για σφαιρικά σωματίδια διαμέτρου d, $A = \pi d^2/4$. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει η οπισθέλκουσα δύναμη στη σφαίρα με τύπο:

$$Fd = \beta \rho u * (\pi d^2/4)^2 \qquad \text{(Εξίσωση 3.5)}$$

όπου β είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται εν μέρει από την αναλογία των στιγμιαίων ταχυτήτων των διακυμάνσεων διαταραχής προς τη μέση ταχύτητα του ανέμου και εν μέρει από την αναλογία της οπισθέλκουσας δύναμης ανά μονάδα επιφάνειας που ασκείται στον κόκκος λόγω της σχετικής θέσης μεταξύ άλλων κόκκων στο στρώμα, και εν μέρει στο ύψος στο οποίο δρα η οπισθέλκουσα δύναμη (Pye & Tsoar, 2009).

- Η δύναμη ανύψωσης λαμβάνει τιμές από θεωρητικές και πειραματικές προσεγγίσεις υπό τη θεώρηση ότι είναι αμελητέα. Παρόλα αυτά η δύναμη ανύψωσης είναι εγγενής στο φαινόμενο Bernoulli και στην επακόλουθη αεροδυναμική ώθηση. Η δύναμη αυτή προκύπτει λόγω της μεγάλης ταχύτητας του ανέμου κοντά στο στρώμα. Η ταχύτητα ροής στο κάτω μέρος ενός κόκκου σε κατάσταση ηρεμίας είναι μηδενική, αλλά στην άνω πλευρά θετική. Το αποτέλεσμα εμπίπτει στην υψηλή στατική πίεση κάτω από το κόκκο και τη χαμηλότερη πάνω από αυτόν. Ο κόκκος θα καταφέρει να ανυψωθεί αν η δύναμη που προκύπτει από τη διαφορά στατικής πίεσης υπερβαίνει την αδρανειακή δύναμη του βάρους του κόκκου W (Pye & Tsoar, 2009).
- Το βάρος του κόκκου W δίνεται από τον τύπο:

$$W = C_s \rho'_s g\, d^3 \qquad \text{(Εξίσωση 3.6)}$$

όπου ρ'_s είναι η πυκνότητα του βυθιζόμενου κόκκου ($\rho'_s = \rho_s - \rho$, ρ_s η πυκνότητα του κόκκου και ρ η πυκνότητα του ρευστού) και το C_s είναι ένας συντελεστής σχήματος τέτοιος ώστε $C_s d^3$ να είναι ο όγκος του κόκκου (τυπικά για μια σφαίρα $C_s = 0.524$). Σε έναν κόκκο μπορεί να παρουσιαστεί επιπλέον δύναμη ανύψωσης κατά την αιολική μεταφορά της άμμου λόγω κύλισης του υλικού. Αυτή θα επιταχύνει περαιτέρω τη ροή αέρα που κινείται πάνω από την κορυφή των κόκκων. Υπάρχει επίσης και η περίπτωση της πλεονάζουσας δύναμης ανύψωσης λόγω μικρής και μεσαίας κλίμακας στροβιλισμών.

Συνδυαστικά για τις παραπάνω δυνάμεις και το φαινόμενο της ανύψωσης αξιοσημείωτο είναι και το γεγονός ότι σε πολλές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε σήραγγες ανέμου, οι ερευνητές παρατήρησαν ότι οι κόκκοι ανυψώνονται σχεδόν κάθετα από στρώμα πάνω στο οποίο βρισκόντουσαν αρχικά σε ηρεμία.

Κεφάλαιο 4: Ορίζοντας τους Αιολιανίτες

4.1 Εισαγωγή

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να γίνει αντιληπτός ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται οι διάφορες διεθνείς έρευνες σχετικές με την χρονολόγηση και την παγκόσμια κατανομή καθώς και η παρουσίαση των κοινών χαρακτηριστικών των αποθέσεων αιολιανιτών ανά τον κόσμο. Επιπλέον όμως πρέπει να γίνει αντιληπτός και ο λόγος ύπαρξης αυτών των κοινών σημείων πράγμα το οποίο εκφράζεται μέσα από τις διεργασίες και τις συνθήκες γένεσης του πετρώματος.

Όπως αναφέρεται από τον Brooke (2001), «***Ο αιολιανίτης είναι ασβεστόλιθος που συναντάται σε παραλιακές περιοχές και καταδεικνύει την επανεπεξεργασία τεράστιων ποσοτήτων ανθρακικών ιζημάτων βιογενούς προέλευσης ρηχών θαλάσσιων περιβαλλόντων σε παραλιακές αμμοθίνες»***. Η τσιμεντοποίηση των αμμοθινών της Τεταρτογενούς περιόδου αποτελεί την κύρια πηγή των αιολιανιτών που παρατηρούνται σήμερα, ενώ αποτελούνται από πολλαπλές γενιές παλαιότερων αμμοθινών. Σε ακτές όπου οι συνθήκες είναι κατάλληλες για την απόθεση αιολιανιτών, το πέτρωμα σχηματίζει επιμήκεις και παράλληλες προς την ακτή ράχες. Οι ράχες αυτές συχνά περιλαμβάνουν συνενωμένες και κατά τόπους στοιβαγμένες αμμοθίνες. Οι απολιθωμένες αμμοθίνες καταδεικνύουν την δομή που τους έδωσε η αιολική δράση, έχοντας κατά κύριο λόγο λοξή, παραβολική ή βαρβανοειδή (barchanoid) μορφή.

4.2 Η χρονολόγηση των αιολιανιτών

Ο αιολιανίτης αποτελεί χαρακτηριστική ιζηματογενής απόθεση της Τεταρτογενούς περιόδου. Υπάρχουν ωστόσο καταγραφές από περιόδους πριν την Τεταρτογενή περίοδο αλλά το πέτρωμα αποτέλεσε σημαντικό και ξεχωριστό γνώρισμα των παραλιακών αποθέσεων της Τεταρτογενούς. Σύμφωνα με το Brooke (2001) έχουν εμφανιστεί πρόσφατα παραδείγματα ανθρακικών Παλαιοζωικών και Μεσοζωικών αιολιανιτών.

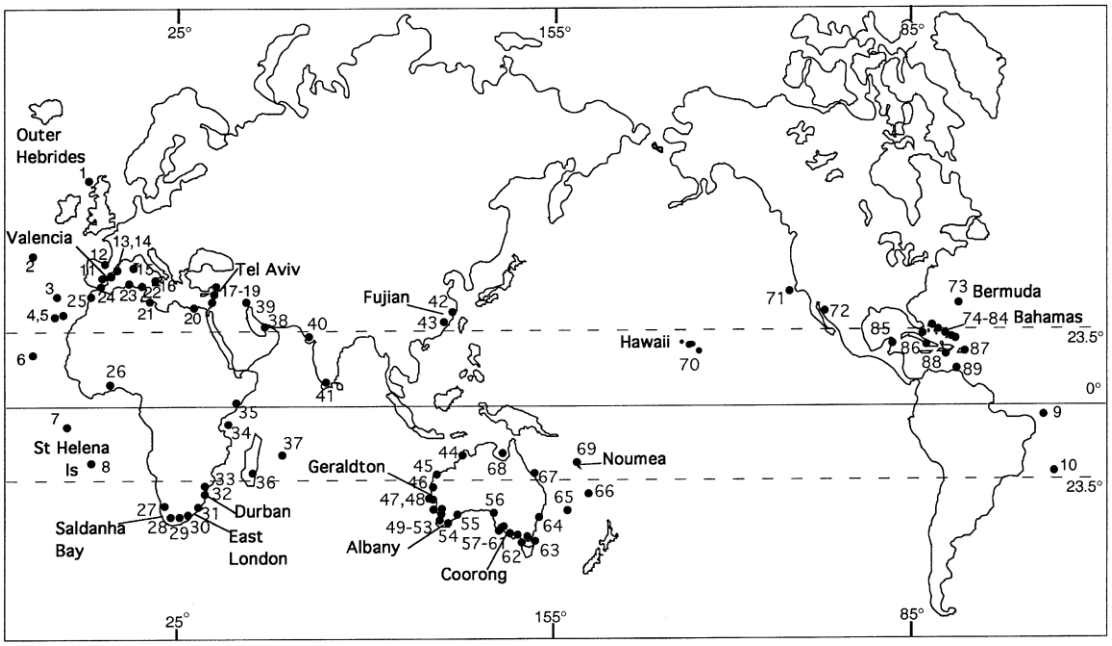
Η βάση της μελέτης γύρω από το θέμα της χρονολόγησης των πετρωμάτων αιολιανίτη τέθηκε από τον Sayles στις Βερμούδες. Το γεγονός ότι οι ασυνέχειες των πετρωμάτων αιολιανίτη οριοθετούνται από παλαιοεδάφη και υφιστάμενα ιζήματα από ρηχά θαλάσσια περιβάλλοντα, ιζήματα ελών και αποθέσεις σπηλαίων, διαπιστώθηκε μέσω της λεπτομερούς μελέτης της στρωματογραφίας των Βερμούδων. Στη περιοχή αυτή τμήματα αμμοθινών ξεχώρισαν από καλά ανεπτυγμένα παλαιοεδάφη και συσχετίσθηκαν με αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας, που ακολουθούσαν τους κύκλους των παγετώνων. Με τον τρόπο αυτό η μελέτη συμφώνησε με την πρωτοποριακή προϋπάρχουσα θέση του Daly το 1925, η οποία υποστήριζε ότι οι παγετώδεις περίοδοι (και οι μεσοπαγετώδεις) αντικατοπτρίζονται σε μεγάλες ευστατικές διακυμάνσεις (Brooke, 2001). Η απόρροια των παραπάνω γεγονότων κατάφερε να περιορίσει το χρονικό φάσμα γύρω από τους χρόνους και τις συνθήκες γένεσης των αιολιανιτών.

Οι μετέπειτα μελέτες που αναφέρονται από τον Brooke (2001), αντιπαρατέθηκαν γύρω από το θέμα των ευστατικών διακυμάνσεων της στάθμης της θάλασσας. Ένα σύνολο σημείων καταδείκνυε ότι τα πετρώματα αυτά αποτελούσαν αποθέσεις λόγω της υψηλής στάθμης της θάλασσας, όπως στις Μπαχάμες, στη περιοχή

του Coorong της νοτιοανατολικής Αυστραλίας και της δυτικής Μεσογείου. Ενώ ένα άλλο σύνολο βασισμένο σε χρονοστρωματογραφικά στοιχεία μεγάλων αμμολοφιτικών συσσωρεύσεων της τελευταίας παγετώδους περιόδου των περιοχών της ακτογραμμής της νοτιοδυτικής Αυστραλίας, των νησιών της Χαβάης, της Καλιφόρνια και της ακτής του Ισραήλ καταδείκνυαν αυτούς τους χρόνους.

4.3 Η παγκόσμια κατανομή αιολιανιτών

Πρακτικά το θέμα της χρονολόγησης έφερε στην επιφάνεια την εικόνα της παγκόσμιας κατανομής των αποθέσεων αιολιανίτη. Τα αποτελέσματα γεωχρονολογικών μελετών μεγάλων αιολιανιτικών αποθέσεων έδειξαν ότι οι χρόνοι απόθεσης είναι παρόμοιοι σε πολλές τοποθεσίες ανά τον κόσμο και συνοψίσθηκαν στον παγκόσμιο χάρτη από τον Brooke (2001) (Εικόνα 4.1) μέσω ενός πίνακα ογδόντα εννέα περιοχών. Ο πίνακας αυτός κατέγραφε την περιοχή, το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, την χρονολόγηση των αμμοθινών και τις αναφορές των μελετών που δόμησαν τον πίνακα.



Εικόνα 4.1: Η παγκόσμια κατανομή ανθρακικών αιολιανιτικών αποθέσεων της Τεταρτογενούς περιόδου που παρουσιάστηκε από τον B. Brooke (2001) βασισμένη στον αντίστοιχο πίνακα (Brooke, 2001).

Καθίσταται πλέον ξεκάθαρη η θέση ότι ο αιολιανίτης μπορεί να βρεθεί σε διάφορες τοποθεσίες ανά τον κόσμο. Παρόλα αυτά η παρουσία του πετρώματος αυτού είναι εκτεταμένη μέσα στις ζώνες γεωγραφικού πλάτους μεταξύ 20° και 40° και των δύο ημισφαιρίων. Οι ζώνες αυτές χαρακτηρίζονται από αληγείς ανέμους και ζεστά κλίματα. Το γεγονός αυτό αναφέρεται στη μελέτη του Brooke (2001) με το 82% των αποθεμάτων να παρουσιάζονται εντός αυτών των ζωνών.

4.3.1 Η θέση της Μεσογείου

Υπάρχουν σημαντικές αποθέσεις αιολιανίτη σε πολλές παράκτιες περιοχές της Μεσογείου. Η δυτική Μεσόγειος παρουσιάζει σε όλη της την έκταση θαλάσσιες αναβαθμίδες από τη μέση έως την ανώτερη Τεταρτογενή περίοδο. Οι αναβαθμίδες

αυτές περιέχουν κομμάτια αιολικών και θαλάσσιων τμημάτων αποτελούμενα από σκελετικούς και ωοειδείς κόκκους. Παράλληλα σε πολλές περιοχές παχιά αιολιανιτικά τμήματα εκτίθενται στους γκρεμούς των ακτογραμμών τα οποία έχουν μελετηθεί κατά το παρελθόν. Χαρακτηριστικά παραδείγματα των αποθέσεων της Μεσογείου αποτελούν οι ανθρακικοί αμμόλοφοι του Πλειστοκαίνου της Ισπανίας, οι αποθέσεις αιολιανίτη του Λιβάνου και του Ισραήλ, η πλευρική αλληλουχία τεσσάρων κορυφογραμμών αιολιανίτη στη βορειοδυτική παράκτια πεδιάδα της Αιγύπτου, οι εκτεταμένες εμφανίσεις αιολιανίτη της ανώτερης Τεταρτογενής περιόδου της Λιβύης και της Τυνησίας και οι αιολιανίτες των ακτών του Μαρόκο εντός της Μεσογείου αλλά και του βόρειο Ατλαντικού (Brooke, 2001). Εντός της ίδιας ζώνης εμφανίζονται τοπικά και οι αιολιανίτες της Δυτικής Κρήτης αλλά και άλλες αποθέσεις αιολιανιτών του Ελλαδικού χώρου, όπως οι αιολιανίτες στην περιοχή των Αντικυθήρων.

4.4 Παράγοντες και συνθήκες γένεσης αιολιανιτών

4.4.1 Εισαγωγή

Πολλοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν την απόθεση παράκτιων αμμοθινών ανθρακικής σύστασης. Εντός των συνθηκών γένεσης του πετρώματος κυρίαρχο ρόλο λαμβάνουν οι συνθήκες του αποθετικού περιβάλλοντος και η αρχική ανθρακική παραγωγή που δημιούργησε το υλικό. Η ανθρακική παραγωγή κυριαρχείται από τη δράση των έμβιων οργανισμών, η οποία επηρεάζεται από τη θέση των ηπείρων, το κλίμα και τις κλιματικές ζώνες. Ενώ τα μετέπειτα χρονικά περιθώρια των συνθηκών του αποθετικού περιβάλλοντος κυριαρχούνται από τις διεργασίες διαγένεσης και τις συνθήκες διατήρησης των λιθοποιημένων πλέον αμμοθινών του υλικού. Σημαντικό ρόλο λαμβάνει και η αρχιτεκτονική των περιθωρίων που τελικά εναποτίθενται οι αιολιανίτες.

4.4.2 Τα αποθετικά περιβάλλοντα

Διαχωρίζοντας τους αιολιανίτες με βάση τα αποθετικά περιβάλλοντα που αναφέρονται στη βιβλιογραφία υπάρχουν δύο είδη, οι ηπειρωτικές ακτές και τα νησιά (Brooke, 2001).

Οι ηπειρωτικές αποθέσεις που εμφανίζονται κυρίως στο νότιο ημισφαίριο που σχηματίζουν παράκτιους γκρεμούς και παράλληλες προς την ακτή ράχες-υβώματα παραδείγματα των οποίων αποτελούν οι αποθέσεις των νοτιοδυτικών και νότιων ακτών της Αυστραλίας και των νότιων και ανατολικών ακτών της Νότιας Αφρικής. Οι αποθέσεις αυτές αποτελούν αντιπροσωπευτικό παράδειγμα της συσσώρευσης τεραστίων ποσοτήτων ανθρακικού από ρηχά θαλάσσια περιβάλλοντα, είναι πολύ μεγαλύτερες ογκομετρικά από τις νησιωτικές αποθέσεις και συχνά περιέχουν ένα μικρό έως μεσαίο κλάσμα από χερσαία ιζήματα που εισρέουν στην υφαλοκρηπίδα από ποταμούς

Το είδος των νησιωτικών αποθέσεων καταμερίζεται περαιτέρω σε τρείς γενικούς τύπους με τα εξής χαρακτηριστικά:

- **Ο τύπος υφαλοκρηπίδας**: βρίσκονται συνήθως σε ηπειρωτικές υφαλοκρηπίδες και συνήθως σχετίζονται με παρακείμενες ηπειρωτικές εκτάσεις αιολιανίτη.

- **Ο τύπος παρόχθιων αναχωμάτων**: σχηματίστηκαν πάνω σε ρηχές ανθρακικές όχθες ή πλατφόρμες.
- **Ο μεσοωκεάνιος τύπος**: περιλαμβάνει απομακρυσμένα ηφαιστειακά νησιά που περιβάλλονται από μια ρηχή πλατφόρμα. Έτσι παρουσιάζουν μικρές αποθέσεις αιολιανίτη στα χαμηλά τμήματα των νησιών αυτών.

Τα ιζήματα της υφαλοκρηπίδας και των παρόχθιων αναχωμάτων μπορούν να εμφανιστούν σε αφθονία μόνο όταν υπάρχουν χαμηλές εισροές ηπειρωτικών ιζημάτων. Ο κύριος παράγοντας που ελέγχει την κατανομή των ανθρακικών αυτών λοιπόν είναι η ποταμοχειμάρρια παροχή και όχι η θερμοκρασία του νερού, η αλατότητα ή η βιογενής παραγωγή. Κατά ένα γενικότερο κανόνα για να συσσωρευθεί ανθρακικό ίζημα σε μια υφαλοκρηπίδα θα πρέπει ο ρυθμός παραγωγής ανθρακικών να είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό εισροής ηπειρωτικού ιζήματος (Brooke, 2001).

4.4.3 Η μορφολογία του αποθετικού περιβάλλοντος

Η μορφολογία εντός του αποθετικού συστήματος αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την τελική απόθεση των αιολιανιτών. Χαμηλής κλίσης ράμπες θα καταφέρουν να αναπτύξουν αιολιανίτες σε περιόδους τόσο υψηλής όσο και χαμηλής στάθμης της θάλασσας. Η παρουσία υφάλων φαίνεται να εμποδίζει την ανάπτυξη των αιολιανιτών καθώς μειώνει την κινητικότητα των ιζημάτων σταματώντας τη μεταφορά τους προς τις ακτές και τα ενδότερα χερσαία τμήματα (Frébourg et al., 2008).

Ένας ακόμα τρόπος επιρροής της μορφολογίας των ακτών και των πρανών είναι η ο καθορισμός του εύρους της παλίρροιας και της επιρροής των καταιγίδων. Το εύρος της παλίρροιας παίζει σημαντικό ρόλο στο σχηματισμό παράκτιων αιολιανιτών. Η ημερήσια διακύμανση στη στάθμη των υδάτων των ακτών μπορεί και εκθέτει το ίζημα της ακτής στη δράση των αιολικών φαινομένων, τροφοδοτώντας δυνητικά το αιολικό σύστημα δύο φορές την ημέρα (Frébourg et al., 2008).

Η μορφολογία της ζώνης παραγωγής ανθρακικών και της αιολικής απόθεσης φαίνεται να συνδέονται με περίπλοκο τρόπο. Το γεγονός αυτό δεν επιτρέπει την εφαρμογή απλών κανόνων μεταξύ αυτών των δύο (Frébourg et al., 2008).

4.4.4 Ο ρυθμός παραγωγής ανθρακικών από οργανισμούς

Η παραγωγή των ανθρακικών σε ρηχές πλατφόρμες και όχθες αποτελεί τον κυρίαρχο παράγοντα για το σχηματισμό αιολιανίτη. Η θερμοκρασία των υδάτων αποτελεί τον κύριο παράγοντα για τον ρυθμό παραγωγής του ανθρακικού υλικού από τους οργανισμούς. Οι ρυθμοί παραγωγής ανθρακικού υλικού των οργανισμών θερμών υδάτων είναι σημαντικά μεγαλύτεροι από αυτούς των οργανισμών ψυχρών υδάτων. Η κατανομή του ανθρακικού σχετίζεται και με μεγάλα ωκεάνια ρεύματα, τα οποία μπορούν να μεταφέρουν ψυχρές υδάτινες μάζες κατά μήκος των ηπειρωτικών ακτών προς τον ισημερινό και θερμά ύδατα προς τους πόλους. Επιπλέον υπάρχουν και οι ζώνες ψυχρών υδάτων που φτάνουν στην επιφάνεια από τα βάθη των ωκεανών (Deep-ocean upwelling zones) που και αυτές με τη σειρά τους επηρεάζουν την ανθρακική παραγωγή μεταφέροντας θρεπτικά συστατικά στους οργανισμούς που βρίσκονται σε ρηχές πλατφόρμες και αναβαθμίδες (Brooke, 2001).

Διαχωρίζοντας τις οικογένειες των οργανισμών βάση της θερμοκρασίας ύδατος που διαβιούν παρατηρούνται δύο κατηγορίες.

- Τα θερμά ύδατα άνω των 20 °C στα οποία διαβιούν οι οργανισμοί της οικογένειας των Χλωρόζωων που περιλαμβάνει τα Χλωρόφυτα και τα Ζωοανθάρια.
- Τα ψυχρά ύδατα κάτω των 20 °C στα οποία διαβιούν οι συναθροίσεις που αναφέρονται και ως Foramol καθώς σε αυτές παραβρίσκονται πάντα τρηματοφόρα και μαλάκια που συνήθως κυριαρχούν.

Η ζώνη μετάβασης από τη μια ομάδα στην άλλη είναι περιορισμένη ενώ η κατά πλάτος γεωγραφική μεταβλητότητα στα ιζήματα Foramol είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τη συνάθροιση των Χλωρόζωων λόγω των ισχυρών ψυχρών ρευμάτων που ρέουν προς τον ισημερινό στα ανατολικά όρια των ωκεανών. Το γεγονός αυτό επιτρέπει τη συσσώρευση ιζημάτων Foramol σε σχετικά χαμηλά γεωγραφικά πλάτη.

Σε ύδατα υψηλής αλατότητας, όπως σε κόλπους με ζεστό νερό και ρηχούς κόλπους με περιορισμένη κυκλοφορία υδάτων η οικογένεια που καταφέρνει και διαβιεί είναι αυτή της Χλωροφύκης. Η συνάθροιση περιλαμβάνει ασβεστώδη πράσινη άλγη (αλλά όχι κοράλλια), ωοειδή και πηλοειδή (Brooke, 2001).

Εν κατακλείδι στις αποθέσεις αιολιανίτη έχουν βρεθεί όλες οι κατηγορίες των παραπάνω ανθρακικών.

4.4.5 <u>Ο ρόλος των ευστατικών αλλαγών της στάθμης της θάλασσας</u>

Οι γεωχρονολογικές καταγραφές μεγάλων αιολιανιτικών αποθέσεων του βόρειου και νότιου ημισφαιρίου υποδεικνύουν σύμφωνα με τον Brooke (2001) ότι οι ευστατικές αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας ελέγχουν χρονικά τις αποθέσεις μεγάλης κλίμακας παράκτιων ανθρακικών αμμοθινών.

Για μεγάλο χρονικό διάστημα οι κύριες καταγραφές παράκτιων αμμοθινών ανθρακικής σύστασης περιορίστηκαν σε παγετώδεις περιόδους, ενώ το μεγαλύτερο μέρος αυτών χρονολογήθηκαν στην Ύστερη Τριτογενή και Τεταρτογενή περίοδο. Τα τελευταία χρόνια έχουν ανακαλυφθεί αιολιανίτες θερμών περιόδων γεγονός που αντιτίθεται στην υπόθεση ότι τα αιολιανιτικά πετρώματα περιορίζονται σε παγετώδεις περιόδους οι οποίες αντικατοπτρίζονται από μεγάλες διακυμάνσεις στο παγετωνοευστατικό επίπεδο της θάλασσας αφού οι χρόνοι των περιόδων αυτών χαρακτηρίζονται από μεγάλο εύρος μεταβολών στη στάθμη της θάλασσας λόγω του σχηματισμού και της τήξης των ηπειρωτικών στρωμάτων πάγου (Frébourg et al., 2008).

Η αυξομείωση του επιπέδου της θάλασσας κατά το Τεταρτογενές αποτέλεσαι σημαντικό παράγοντα για τον σχηματισμό αιολιανίτη. Ο τρόπος που επηρεάζει η στάθμη της θάλασσας την ενδυνάμει γένεση αιολιανιτικών πετρωμάτων έχει να κάνει με τις μεσοπαγετώδεις ανυψώσεις της θάλασσας που δημιούργησαν κατά το παρελθόν υψηλής παραγωγικότητας ρηχές όχθες. Παράλληλα δευτερογενείς τροχιακές αλλαγές οδήγησαν τα παράκτια ιζήματα που αποτέθηκαν σε καταβόθρες, λόγω της υψηλής στάθμης, να επανεπεξεργαστούν σε παραλιακές ζώνες. Οι επακόλουθες παλινδρομήσεις στις συσσωρεύσεις των ιζημάτων της ακτογραμμής αλλά και η δράση

των αιολικών διεργασιών, δημιούργησαν τόσο κατακόρυφα όσο και κατά πλάτος στοιβαγμένες αλληλουχίες, οι οποίες αποτελούν γνώρισμα των μεγάλων αιολιανιτικών εκτάσεων (Brooke, 2001).

Για παράδειγμα συστοιχίες αμμοθινών οι οποίες δημιουργήθηκαν στη διάρκεια παγετωδών περιόδων αποτελούν αντιπροσωπευτικό δείγμα της αιολικής επανεπεξεργασίας ανθρακικών που αποτέθηκαν σε ακτές ή υπεράκτια σε προγενέστερους χρόνους μιας μεσοπαγετώδους περιόδου. Σε περιοχές οι οποίες βρέθηκαν σε ξηρές παγετώδεις συνθήκες υπάρχει μια ενδυνάμει κατάσταση αύξησης της αιολικής επανεπεξεργασίας στα εναπομείναντα αποθέματα της υφαλοκρηπίδας λόγω των συνθηκών που επικράτησαν. Σε σταθερές ή ελαφρώς ανυψωμένες ακτές υπάρχει η πιθανότητα παρουσίας αιολιανιτών οι οποίοι προέκυψαν από χρόνους παγετώδους περιόδου που να αποτελούν απομεινάρια αμμοθινών, τα οποία συντέθηκαν από ανθρακικά που παράχθηκαν παράκτια κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής. Μετά τη μεταφορά τους στην ακτή τα ανθρακικά συσσωματώθηκαν και σχημάτισαν ευκίνητες αμμοθίνες. Ασυμφωνίες στους χρόνους απόθεσης των ανθρακικών σε ακτές κατά τη διάρκεια υψηλής στάθμης της θάλασσας μεταξύ περιοχών, δείχνουν να σχετίζονται με δευτερογενείς αλληλεπιδράσεις και αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας, ενώ παράλληλα μπορεί να έχουν οφείλονται και σε κλιματικές αλλαγές και διαφοροποιήσεις στην ενδοχώρια μορφολογία της όχθης ή της κρηπίδας, στα μέρη αυτά όπου μεταφέρονται δηλαδή τα ιζήματα (Brooke, 2001).

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πως στα πρώτα στάδια γένεσης του πετρώματος συμβάλει σημαντικά και η μορφολογία της ακτής αλλά και η θέση της σε σχέση με τη στάθμη της θάλασσας η οποία επηρεάζεται όπως αναφέρθηκε νωρίτερα από τους κύκλους των παγετώνων.

4.4.6 Τα επίπεδα ενέργειας των κυμάτων

Τα επίπεδα ενέργειας των κυμάτων αποτελούν έναν ακόμη παράγοντα στη συσσώρευση των ανθρακικών και ειδικά στις παράκτιες αποθέσεις. Τα υψηλά επίπεδα ενέργειας μπορούν να αυξήσουν την τροφοδοσία των ιζημάτων στις ακτές, δημιουργώντας ευνοϊκές συνθήκες για τη συσσώρευση των υλικών που παράχθηκαν παράκτια.

Αντίθετο στο παραπάνω γεγονός εμφανίζεται το παράδειγμα της δυτικής Μεσογείου. Η ακτή της δυτικής μεσογείου λαμβάνει χαμηλά επίπεδα ενέργειας με αποτέλεσμα οι αποθέσεις αιολιανίτη να έχουν πάχος το πολύ μερικά δεκάδες μέτρα. Ενώ αντίθεση με το παράδειγμα της δυτικής Μεσογείου εμφανίζει η νότια ακτή της Αυστραλίας που παρουσίασε υψηλά επίπεδα ενέργειας κατά τη Μέση έως Ύστερη Πλειστόκαινο εμφανίζοντας αποθέσεις αιολιανίτη που φτάνουν σε πάχος τα 150m (Brooke, 2001).

4.4.7 Η λιθοποίηση-τσιμεντοποίηση και διατήρηση των αιολιανιτών

Η απουσία ευρέως αποδεκτού ορισμού του βαθμού ανθρακικής τσιμεντοποίησης που απαιτείται για το διαχωρισμό του αιολιανίτη από μη λιθοποιημένα ανθρακικά ή τις πολύμικτες αμμοθίνες, δεν επιτρέπει την κατηγοριοποίηση του πετρώματος μέσα από αυτή τη σκοπιά.

Οι αιολιανίτες υποβάλλονται σε πρώιμη τσιμεντοποίηση και της ακόρεστης και της φρεάτιας (κορεσμένης με νερό) περιοχής και σχηματίζουν υβώματα που μπορούν και αντιστέκονται στη παράκτια διάβρωση, ακόμα και κατά την διάρκεια επικλυσιγενών φάσεων. Ακόμα και μη λιθοποιημένες ανθρακικές αμμοθίνες μπορούν να αντέξουν την επίκλυση της θάλασσας όταν βρίσκονται στην απάνεμη πλευρά ενός υψώματος. Σε σχέση με τη σύσταση του υλικού, η πρώιμη λιθοποίηση ίσως ευνοείται με την παρουσία άφθων αραγωνιτικών και υψηλής περιεκτικότητας σε μαγνήσιο ασβεστιτικών σωματιδίων (Frébourg et al., 2008).

Σε περιπτώσεις όπου, η τυπική πρώιμη τσιμεντοποίηση στην ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη εμφανιστεί με τη μορφή τσιμέντων τύπου pedant και meniscus (βλ. Εικόνα 5.2), όπως εμφανίζεται τις περισσότερες φορές στο αιολικό ίζημα, μπορεί να δημιουργηθούν και να παραμείνουν τσιμέντα ίσου πάχους στις λεπτόκοκκες ταινιώσεις. Αυτό προκύπτει ως αποτέλεσμα κορεσμού του τοπικού δικτύου πόρων λόγω της διήθησης μετεωρικών υδάτων. Έχουν παρατηρηθεί επίσης τσιμέντα γύψου σε ξηρές-άνυδρες και ημίξηρες κλιματικά απολιθωμένες ζώνες αμμοθινών. Παρόλα αυτά οι πιθανότητες μιας τέτοιας τσιμεντοποίησης να αντισταθεί στη θαλάσσια επίκλυση ή στην ανύψωση της στάθμης των υπόγειων υδάτων είναι σπάνιες (Frébourg et al., 2008).

Επιπλέον σε πρώιμο στάδιο στους αιολιανίτες λαμβάνει χώρα και η δημιουργία επιφλοιώσεων ασβεστιτικής φύσης (calcrete). Τα ασβεστοπαγή αυτά εμφανίζονται κατά μήκος των επιπέδων στρωμάτωσης, όπου στρώματα λεπτότερων κόκκων διευκολύνουν την χημική απόθεση ανθρακικού ιζήματος μέσο της τριχοειδούς κατακράτησης του νερού εντός του δικτύου μικρότερων πόρων. Η καρστικοποίηση και τα φρέατα που παρατηρούνται στις κορυφές των αμμοθινών του Πλειστοκαίνου συχνά σχετίζονται με λεπτές αδιαπέραστες επιφλοιώσεις που είναι αρκετά ισχυρές ώστε να αντισταθούν στη θαλάσσια επίκλυση διατηρώντας έτσι τους υποκείμενους αιολιανίτες (Frébourg et al., 2008).

Οι νέες ανθρακικές αμμοθίνες όπως αυτές της Quintana Roo του Μεξικό παρουσιάζουν ασθενή τσιμεντοποίηση πλην όμως των στρωμάτων άμμου που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια και δέχονται την επιρροή της επιφανειακής αποσάθρωσης και της εδαφογένεσης. Σε άλλα μέρη του κόσμου όπως σε τμήματα της βορειοδυτικής Βρετανίας και της δυτικής Αυστραλίας, οι μη λιθοποιημένες αμμοθίνες τσιμεντοποιούνται μόνο στα τμήματα των βάσεων τους, όπου επηρεάζονται από υπόγεια ύδατα, ρίζες φυτών περιμετρικά των βάσεων και λάκκους φυτών που υπάρχουν κοντά στην επιφανειακή ζώνη. Τα φαινόμενα αυτού του είδους τσιμεντοποίησης περιγράφονται στη βιβλιογραφία ως ασβεστιτικές κρούστες (calcretes), ωστόσο δεν είναι ξεκάθαρος ο διαχωρισμός των αμμοθινών που φιλοξενούν τις κρούστες αυτές από τους αιολιανίτες (Pye & Tsoar, 2009).

Κάποιες αλληλουχίες λιθοποιημένων ανθρακικών αμμοθινών παρουσιάζουν μια σειρά από υπερκείμενους ορίζοντες με ασβεστιτικές κρούστες, αντικατοπτρίζοντας την επεισοδιακή απόθεση άμμου και την εδαφογένεση που έλαβε χώρα για μεγάλη χρονική περίοδο. Παράλληλα υπάρχουν και περιπτώσεις στις οποίες έχει αναπτυχθεί διάχυτη τσιμεντοποίηση ανθρακικού υλικού εντός της ζώνης κατείσδυσης μιας αιολικής αμμοθίνας που σχηματίστηκε κατά τη φάση υποβάθμισης της αιολικής άμμου

και παρουσιάζει μικρή ανάπτυξη ασβεστιτικών κρουστών ή άλλων εδαφογενετικών φαινομένων (Pye & Tsoar, 2009).

Η εδαφογένεση αλλά και η ανάπτυξη ασβεστιτικών κρουστών συχνά καταστρέφουν τις αρχικές εναποθετικές υφές που έδωσε στο υλικό της άμμου η αιολική δράση. Έτσι θα πρέπει να είναι ξεκάθαρο πως ο όρος αιολιανίτης θα πρέπει να περιορίζεται στις ανθρακικά τσιμεντοποιημένες άμμους, όπου τα κύρια χαρακτηριστικά αιολικής εναπόθεσης, όπως οι διασταυρωμένες στρώσεις (cross-bedding) και οι λωριδώσεις μεγέθους κόκκων, είναι άμεσα ορατές. Σε κάθε άλλη περίπτωση οι τσιμεντοποιημένες άμμοι των οποίων τα χαρακτηρίστηκα της αιολικής εναπόθεσης επικαλύπτονται έντονα και είναι εξαλειμμένα περιγράφονται καταλληλότερα ως ασβεστιτικές κρούστες (calcretes) (Pye & Tsoar, 2009).

Στους μικτούς πυριτιοκλαστικούς / ανθρακικούς αιολιανίτες έχει παρατηρηθεί επιλεκτική τσιμεντοποίηση γύρω από κόκκους χαλαζία. Αυτό σύμφωνα με τους Frébourg, Hasler, Le Guern & Davaud, 2008, ίσως οφείλεται στον υδρόφιλο χαρακτήρα του χαλαζία που έχει ως αποτέλεσμα την κατακράτηση των διηθητικών (percolating) υδάτων. Σημειώνει ωστόσο πως αυτό το φαινόμενο δεν τεκμηριώνεται στην κορεσμένη ζώνη αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο κριτήριο αναγνώρισης της πρώιμης διαγένεση της ακόρεστης ζώνη.

Το υψηλό δυναμικό διατήρησης και η διατήρηση των αιολιανιτών κατά τη διάρκεια της Τεταρτογενούς υποδεικνύουν ότι, το πέτρωμα πιθανώς εμφανίζεται ως απολιθωμένες δομές συχνότερα από όσο αρχικά είχε υποτεθεί και έχει ερμηνευθεί ως ρηχές θαλάσσιες αποθέσεις. Παρόλο που οι ανθρακικές αιολικές θίνες εμφανίζουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τα υποπαλιρροιακά ανθρακικά πετρώματα, οι αιολιανίτες τις Τεταρτογενούς παρουσιάζουν εύκολα διακριτές ιζηματογενείς δομές σε κλίμακα εμφανίσεων (outcrops), όπως μεγάλης κλίμακας μέτωπα με κλίση προς την ξηρά (foresets), ροή κόκκων και λεπτοστωμάτωσης, δομές κατολισθήσεων, ίχνη ζώων ενώ συχνά παρουσιάζουν εδαφογενετικά αποτυπώματα (Frébourg et al., 2008).

Κεφάλαιο 5: Η διαγένεση στους αιολιανίτες

5.1 Εισαγωγή

Οι αιολιανίτες ποικίλουν στη σύσταση και την υφή τους. Τα άκρα της ομάδας των αιολιανιτών είναι δύο. Το ένα άκρο αποτελείται εξολοκλήρου από τη δομή κλαστικών κόκκων πυριτικών ορυκτών που τσιμεντοποιούνται από ασβεστίτη, ενώ στο άλλο άκρο τόσο η δομή των κόκκων όσο και το τσιμέντο μπορούν να αποτελούνται εξολοκλήρου από ανθρακικό ασβέστιο. Οι αιολιανίτες μπορούν να περιέχουν τόσο ανθρακικές όσο και μη ανθρακικές δομές κόκκων. Ένας αυθαίρετος διαχωρισμός γύρω από αυτή την έννοια υπήρξε από τους Fairbridge&Johnson το 1978, οι οποίοι χώρισαν τους αιολιανίτες σε χαλαζιακούς με σύσταση σε ανθρακικό ασβέστιο ($CaCO_3$) χαμηλότερη του 50% και σε ανθρακικούς αιολιανίτες με σύσταση σε ανθρακικό ασβέστιο άνω του 50% (Pye & Tsoar, 2009).

Μεγάλο τμήμα του πετρώματος είναι φυσικά το ανθρακικό τσιμέντο που συνδέει τους κόκκους και πολλές φορές καταδεικνύει μέσα από την έκταση του, τη κατακόρυφη κατανομή και τη σύσταση, την αφθονία και τη σύσταση των ανθρακικών κόκκων που υπάρχουν στο ίζημα που τα φιλοξενεί. Επίσης καταδεικνύει τη ποσότητα του νερού που διέρχεται μέσω της στήλης άμμου, την επίδραση της βλάστησης στην υγρασία του εδάφους και της επεισοδιακής ή μη επεισοδιακής φύσης της αιολικής ιζηματοποίησης (Pye & Tsoar, 2009).

5.2 Η ορυκτολογική σύσταση των ανθρακικών κόκκων

Οι ανθρακικοί κόκκοι των αιολιανιτών αποτελούνται κυρίως από αραγωνίτη, ασβεστίτη υψηλής περιεκτικότητας σε Mg (με σύσταση μεγαλύτερη των 5 mol-% $MgCO_3$), από ασβεστίτη χαμηλής περιεκτικότητας σε Mg ή μια μικτή σύσταση μεταξύ αυτών των ορυκτών (Pye & Tsoar, 2009).

Τα ορυκτά αυτά αποτελούν προϊόντα της δράσης των οργανισμών καθώς πολλά ωοειδή, γαστερόποδα, κοράλλια και φύκια αποτελούνται κατά κύριο λόγο από αραγωνίτη, ο οποίος αποτελεί το κυρίαρχο ορυκτό και απαντάται σε πολλές περιοχές χαμηλού γεωγραφικού πλάτους. Πάραυτα σε ορισμένες ακτές κυριαρχούν βιογενή συστατικά υψηλού ή χαμηλού Mg (Pye & Tsoar, 2009).

5.3 Η διαγένεση των ανθρακικών ορυκτών του υλικού της άμμου

Η διάλυση των ορυκτών του ανθρακικού ασβεστίου εμφανίζεται όταν τα ορυκτά εκτεθούν σε νερό στο μετεωρικό διαγενετικό περιβάλλον. Ο αραγωνίτης και ο ασβεστίτης υψηλής περιεκτικότητας σε Mg είναι πολύ πιο διαλυτοί από τον ασβεστίτη χαμηλού Mg. Οι σχετικοί ρυθμοί απώλειας του αραγωνίτη και του υψηλής περιεκτικότητας σε Mg ασβεστίτη εξαρτώνται από την αρχική αφθονία των ορυκτών αυτών και τη διαθεσιμότητα του μετεωρικού νερού.

Η απώλεια του αραγωνίτη και του ασβεστίτη υψηλής περιεκτικότητας σε Mg στους αιολιανίτες έχει απασχολήσει τη βιβλιογραφία για την οποία παρουσιάζονται δύο κυρίως απόψεις. Η χρονική αλληλουχία των Gavish & Friedman (1969) αναφέρει πως στους αιολιανίτες του Ισραήλ, η συνολική απώλεια ασβεστίτη υψηλής περιεκτικότητας σε Mg συνέβη εντός 10.000 ετών και η πλήρη απώλεια του αραγωνίτη εντός 50.000 ετών. Ενώ η χρονική αλληλουχία των Reeckman & Grill (1981) που μελέτησαν τους παράκτιους αιολιανίτες της νότιας Βικτώρια, εξελίσσεται σε πολύ μεγαλύτερη χρονική κλίμακα. Οι χρόνοι που αναφέρονται είναι 100.000 χρόνια για την εξάλειψη του ασβεστίτη υψηλής περιεκτικότητας σε Mg και 600.000 χρόνια για την εξάλειψη του αραγωνίτη (Pye & Tsoar, 2009).

Όσον αφορά το πέτρωμα του αιολιανίτη αρκετές μελέτες κατά το παρελθόν έχουν δείξει πως η αφθονία του αραγωνίτη και του ασβεστίτη υψηλής περιεκτικότητας σε Mg στους αιολιανίτες μειώνεται σε σχέση με τον ασβεστίτη χαμηλού Mg όσο αυξάνεται η ηλικία των ιζημάτων (Pye & Tsoar, 2009).

Η διαγένεση των ανθρακικών Ca, Mg και οι διαγενετικές αντιδράσεις που σχηματίζουν ασβεστολίθους με μικρό περιεχόμενο σε Mg αποτελούνται τις παρακάτω χημικές αντιδράσεις (Κελεπερτζής, 2000):

$$\text{A.}\ \underset{\text{αραγωνίτης}}{CaCO_3} \rightarrow \underset{\text{ασβεστίτης}}{CaCO_3}$$

$$\text{B.}\ XH^+ + \underset{\text{ασβεστίτης}}{(Ca_{1-x}Mg_x)CO_3} \rightarrow xMg^{2+} + XHCO_3^- + \underset{\text{ασβεστίτης}}{(1-x)CaCO_3}$$

$$\text{C.}\ Ca^{2+} + \underset{\text{ασβεστίτης}}{MgCO_3} \rightarrow \underset{\text{ασβεστίτης}}{CaCO_3} + Mg^{2+}$$

Η εξέταση της αντίδρασης Α έχει δώσει τα εξής πορίσματα:

1. Η αντίδραση Α σε κατάλληλες θερμοκρασίες προχωρά σε αυτόματη διάλυση του αραγωνίτη και την καθίζηση του ασβεστίτη.
2. Ο ρυθμός μετατροπής του αραγωνίτη σε ασβεστίτη εμποδίζεται από την παρουσία μαγνησίου και σε μικρότερες ποσότητες θειικού.
3. Διαλυμένο μαγνήσιο εμποδίζει τη μετατροπή λόγω της ανάληψής του από έμβρυα ασβεστίτη.
4. Ο αραγωνίτης ενεργεί σαν το μέσο που σχηματίζει τα έμβρυα ασβεστίτη.

Η αντίδραση Β όπως και η Α περιλαμβάνει διάλυση και κρυστάλλωση ασβεστίτη με χαμηλό περιεχόμενο Mg. Στην περίπτωση της αντίδρασης αυτής το Mg^{2+} παραμένει στο διάλυμα.

Η αντίδραση C μπορεί να λάβει χώρα μόνο σε ύδατα υψηλής περιεκτικότητας σε Ca, όπως για παράδειγμα το θαλασσινό νερό. Πιθανώς η αντίδραση αυτή να λαμβάνει μικρό ρόλο στη διαγένεση του υλικού. Ο λόγος είναι ότι πηγή του ασβεστίου στον ασβεστόλιθο αποτελεί ο αρχικός αραγωνίτης και ο ασβεστίτης με υψηλό Mg, που περιέχουν περισσότερο Ca απ' ότι τα γειτονικά νερά των πόρων.

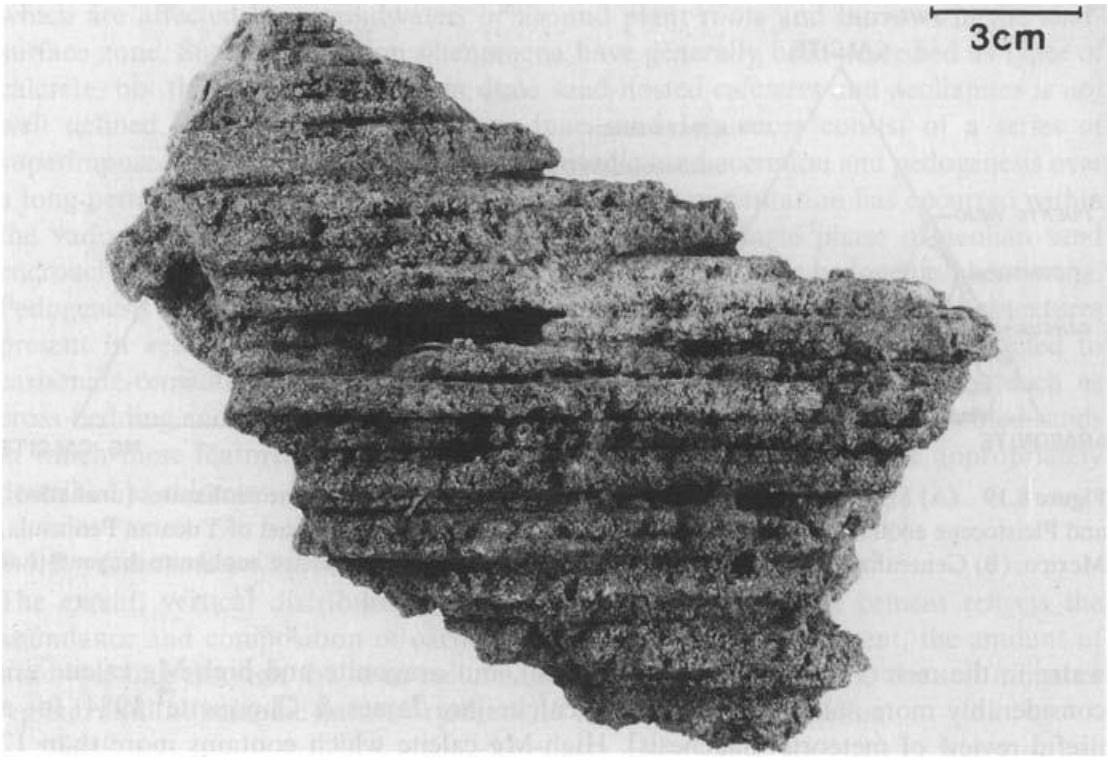
Η λιγότερο διαλυτή φάση σε αυτό το σύστημα είναι ο χαμηλής περιεκτικότητας σε Mg ασβεστίτης, ενώ οι πιο διαλυτές φάσεις αποτελούνται κατά σειρά από την πιο διαλυτή στη λιγότερο διαλυτή από τον ασβεστίτη υψηλής περιεκτικότητας Mg (περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 12mol % $MgCO_3$), από τον αραγωνίτη και τέλος τον μαγνησιούχο ασβεστίτη (περιεκτικότητα μικρότερη από 12mol % $MgCO_3$) (Pye & Tsoar, 2009).

Ο ασβεστίτης υψηλής περιεκτικότητας Mg μπορεί να υποβληθεί σε ταυτόχρονη ή ετερόχρονη διάλυση, ανάλογα με τη συγκέντρωση του διαλυμένου ασβεστίου και μαγνησίου στα ύδατα των πόρων. Ενώ κατά τη διάρκεια της ετερόχρονης διάλυσης μότο το Mg αφαιρείται από το κρυσταλλικό πλέγμα (Pye & Tsoar, 2009).

5.3.1 Η κατείσδυση του μετεωρικού νερού και η εξέλιξη της τσιμεντοποίησης

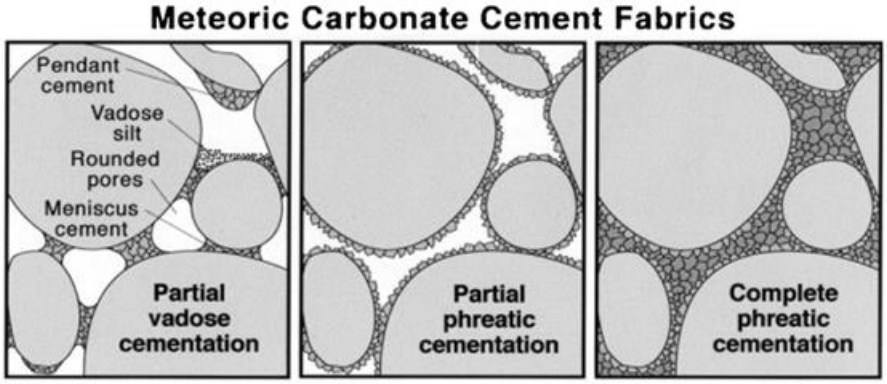
Εισερχόμενο το νερό της βροχής σε μια στήλη άμμου μιας αμμοθίνας αρχικά είναι ακόρεστο σε σχέση με όλα τα ανθρακικά ορυκτά. Με τον τρόπο αυτό σχηματίζονται μεγάλοι δευτερογενείς πόροι οι οποίο μπορούν να γεμίσουν με μεταγενέστερο τσιμέντο. Παρόλα αυτά το γεγονός ότι ο αραγωνίτης και ο υψηλής περιεκτικότητας σε Mg ασβεστίτης είναι πιο διαλυτοί από τον ασβεστίτη χαμηλού Mg, τα διηθητικά ύδατα προς τα κάτω γίνονται κορεσμένα σε σχέση με τον ασβεστίτη χαμηλού Mg, ενώ εξακολουθούν να είναι ακόρεστα σε σχέση με τον αραγωνίτη και τον ασβεστίτη υψηλού Mg. Το αποτέλεσμα είναι πως η καταβύθιση των κρυστάλλων ασβεστιτικού τσιμέντου χαμηλού Mg μπορεί να λάβει χώρα ταυτόχρονα με τη διάλυση του αραγωνίτη και του ασβεστίτη υψηλής περιεκτικότητας σε Mg. Η καταβύθιση ασβεστίτη χαμηλού Mg διατηρεί το διάλυμα ακόρεστο σε σχέση με τον αραγωνίτη, εξασφαλίζοντας έτσι τη συνεχή διάλυση του (Pye & Tsoar, 2009).

Οι κρύσταλλοι ασβεστιτικού τσιμέντου που καταβυθίζονται στη ζώνη κατείσδυσης εμφανίζουν συνήθως μια ακανόνιστη, ανομοιογενή κατανομή σε ομοιογενείς άμμους. Όπου η λεπτόστρωση (lamination) σε μέγεθος κόκκου είναι έντονη, τα λεπτά στρώματα ευνοούνται ως προς την τσιμεντοποίηση τους (Εικόνα 5.1).



Εικόνα 5.1: Αιολιανίτης από τη νότια Γάζα καταδεικνύει την ευνοούμενη τσιμεντοποίηση των λεπτόκοκκων λωρίδων (Pye & Tsoar, 2009).

Στην περίπτωση των ασθενώς τσιμεντοποιημένων αιολιανιτών στοιχεία κατεισδυτικής τσιμεντοποίησης μπορούν να προέλθουν από αιωρούμενους κρυστάλλους τσιμέντου (pendulous cement crystals) που σχηματίζονται στην κάτω πλευρά των κόκκων όπου σταγονίδια νερού συγκρατούνται από τη βαρύτητα και την επιφανειακή τάση. Τα τριχοειδή τσιμέντα (meniscus cements) μπορούν να σχηματιστούν σε σημεία επαφής μεταξύ κόκκων όπου η υγρασία διατηρείται λόγω της επιφανειακής τάσης. Σε καλύτερα τσιμεντοποιημένους αιολιανίτες, σχεδόν όλο το πορώδες, τόσο το πρωτογενές όσο και δευτερογενές μπορεί να γεμίσει με ασβεστίτη (Εικόνα 5.2).



Εικόνα 5.2: Υφές ανθρακικής σύστασης τσιμέντου μετεωρικής προέλευσης (Scholle & Ulmer-Scholle, 1978).

Η κατανομή και το μέγεθος των κόκκων τέτοιου ασβεστίτη με φραγμένους πόρους είναι συχνά εξαιρετικά ανομοιογενής. Δεδομένου ότι οι συνθήκες στη ζώνη κατείσδυσης είναι κυρίως οξειδωτικές, τα καταβυθιζόμενα τσιμέντα είναι σχεδόν πάντα μη σιδηρούχα (non-ferroan) (Pye & Tsoar, 2009).

5.3.2 Αλλαγές στο πορώδες

Με τη διάλυση του αραγωνίτη και τα αλλοχημικά υψηλής περιεκτικότητας σε Mg του ασβεστίτη, μπορούν να σχηματιστούν μεγάλα κενά είτε πριν είτε μετά την πλήρωση των γύρω πόρων από ασβεστιτικό τσιμέντο. Η διάλυση του αραγωνίτη ή του μαγνησιούχου ασβεστίτη και η αντικατάσταση τους από ασβεστίτη μπορεί να συμβεί ταυτόχρονα, με αποτέλεσμα τη διατήρηση λεπτομερειών λεπτής δομής. Ο σχηματισμός δευτερογενούς πορώδους και η πλήρωση με μεταγενέστερους κρυστάλλους ασβεστίτη χαμηλού Mg εμφανίζεται συνήθως ως αποτέλεσμα που ακολουθεί την ταυτόχρονη διάλυση του αραγωνίτη (Pye & Tsoar, 2009).

Κεφάλαιο 6: Ιστορία και ιστορικές θέσεις λατόμευσης αιολιανιτών στον Ν. Χανίων

6.1 Η θέση της ιστορίας στη μελέτη

Οι ανάγκες μια πόλης αδιαμφισβήτητα δημιουργούν διαφορετικές συνθήκες για την ανάπτυξη του πολιτισμού μέσα και γύρω από αυτή. Αυτό γίνεται εμφανές σε διάφορες περιοχές ανά την Ελλάδα αλλά και τον κόσμο. Οι πόλεις που κατάφεραν να επηρεάσουν πολιτισμικά έναν τόπο, χαρακτηρίστηκαν από τους τομείς που αποτέλεσαν την οικονομία τους, όπως για παράδειγμα μεγάλα λιμάνια, περιμετρικά των οποίων δημιουργήθηκαν πόλεις που εξελίχθηκαν σε μεγάλα αστικά κέντρα. Με τον ίδιο τρόπο και η λατομική δραστηριότητα κατάφερε να αναπτύξει και να εξελίξει πολλές πόλεις-κέντρα γύρω από τις θέσεις ενδιαφέροντός της. Συχνά μάλιστα υπήρξε και άμεση συσχέτιση του πολιτισμού με τα σημεία οικονομικού ενδιαφέροντος στον τομέα της λατόμευσης και της γενικότερης εκμετάλλευσης ορυκτών πόρων, προσδίδοντας έτσι μια διττή φύση στο φαινόμενο αυτό.

Κατά την μια έννοια, οι ανάγκες των πόλεων δημιουργούν την οικονομία και κατ' επέκταση την ανάγκη για αξιοποίηση κάθε πιθανής πηγής πόρων που τις εκπληρώνουν. Παράλληλα και αντιστρόφως, το κυνήγι της εκμετάλλευσης συγκεκριμένων κοιτασμάτων οικονομικού ενδιαφέροντος και ιδιαίτερα από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα, λόγω της τεχνολογικής εξέλιξης, κατάφερε να δημιουργήσει πόλεις σε κάθε πιθανό γεωγραφικό πλάτος και μήκος.

Με τον ίδιο τρόπο τα Χανιά με τη σειρά τους, κρατώντας διαχρονικά στρατηγική θέση στη Μεσόγειο, κατάφεραν να εξελιχθούν από τους αρχαίους ακόμα χρόνους σε μια πόλη με μεγάλη ιστορική σημασία, όχι μόνο λόγω του εμπορίου, αλλά και της εκμετάλλευσης πολλών κοιτασμάτων γύρω από την πόλη αλλά και εντός του ομώνυμου νομού, που εξυπηρέτησαν στην κατασκευή αρκετών δομών, αλλά και στη δημιουργία και εμπορία διαφόρων κεραμικών σκευών.

Η εκμετάλλευση αυτή αποτυπώνεται σε πολλά αρχαιολογικά ευρήματα σε χώρους που πλέον θεωρείται ότι λειτούργησαν ως λατομεία κάποια στιγμή στο παρελθόν. Τα ευρήματα αυτά προέρχονται τόσο από αρχαίους, όσο και από ύστερους χρόνους, ενώ απίστευτο φαντάζει το γεγονός πως στα Χανιά υπάρχει το παράδειγμα του λατομείου του Αγίου Γεωργίου, το οποίο περιστασιακά λειτούργησε και λειτουργεί μέχρι σήμερα και ξεκίνησε τη λειτουργία του το 1700 π.Χ..

Συνοψίζοντας, λοιπόν, τα ανωτέρω, η παράγραφος αυτή θέτει την ιστορική βάση γύρω από την οποία θα πρέπει να υπάρξει μια γενικότερη συσχέτιση αφενός των τεχνικών δεδομένων σχετικά με το θέμα της εκμετάλλευσης των αιολιανιτικών πετρωμάτων, που αποσπάστηκαν από τους χώρους λατόμευσης και αφετέρου των λόγων, για τους οποίος τα πετρώματα αυτά εξυπηρέτησαν τον τόπο ως δομικοί λίθοι.

6.2 Εισαγωγή στην ιστορία της πόλης των Χανίων

6.2.1 Αρχαίοι χρόνοι

Η πόλη των Χανίων έχει βαθιά ιστορία ανά τους αιώνες και ξεκινά από πολύ νωρίς δεδομένης της ανθρώπινης δραστηριότητας κατά τους χρόνους δημιουργίας και ανάπτυξης της πόλης. Ετυμολογικά σχετικά με την προέλευση της ονομασίας υπάρχουν πολλές απόψεις. Μια από αυτές είναι ότι η λέξη αποτελεί παραφθορά του ονόματος Χθονία, που ήταν ένα από τα αρχαία ονόματα της Κρήτης. Η πόλη των Χανίων χτίστηκε στα ερείπια της αρχαίας Κυδωνίας.

Η πόλη της ιστορικής εποχής της Κυδωνίας ιδρύθηκε το 524 π.Χ. από Σάμιους αποίκους, οι οποίοι στη συνέχεια υποτάχθηκαν στους Αιγινίτες που έσπευσαν να βοηθήσουν γηγενείς. Ο ιστορικός οικισμός διατήρησε τον προϋπάρχοντα πυρήνα του και εξαπλώθηκε νότια και δυτικά. Μέχρι τη ρωμαϊκή κατάκτηση, το 69-67 π.Χ., η πόλη ενεπλάκη πολλές φορές σε αντιδικίες μεταξύ άλλων πόλεων της Κρήτης Τα πρώτα ίχνη κατοίκησης της πόλης εντοπίζονται από τη πρωτομινωική περίοδο (3200/3000-2000 π.Χ.). Η θέση που αποκάλυψε αυτούς τους χρόνους είναι ο οικισμός στο λόφο Καστέλλι, που αποτέλεσαι σημαντικό κέντρο κατά τη μεσομινωική περίοδο (2100/2000-1600 π.Χ.). Ο οικισμός αυτός καταστράφηκε το 1450 π.Χ. από μεγάλη πυρκαγιά που προήλθε από εχθροπραξίες. Η προϊστορική πόλη γνώρισε τη μεγαλύτερη ακμή της κατά την υστερομινωική περίοδο (1600-1100 π.Χ.). Υπάρχει ένα σύνολο ευρημάτων σε διάφορες τοποθεσίες μέσα στην πόλη που καταδεικνύουν όλους τους παραπάνω χρόνους (Μιλιδάκης, 2018).

6.2.2 Βυζαντινή-Ενετική περίοδος

Τα ιστορικά στοιχεία της Α' Βυζαντινής περιόδου (330-823 μ.Χ.) και της Αραβοκρατίας (823-961 μ.Χ.) είναι ελάχιστα. Ξεκινώντας έτσι από τη Β' Βυζαντινή περίοδο και τη ανακατάληψη του νησιού από τους Βυζαντίους το 961 μ.Χ., η πόλη τειχίστηκε περιμετρικά του λόφου του Καστελλιού με αρχαίο οικοδομικό υλικό. Σήμερα, είναι εμφανές πως το βυζαντινό τοίχος διασώζεται σε ορισμένα σημεία.

Το 1204 μ.Χ., το νησί της Κρήτης πουλήθηκε από τον Βονιφάτιος Μομφερρατικό στους Ενετούς, οι οποίοι αποίκισαν το νησί το 1252 και έχτισαν την πόλη πάνω στα αρχαία ερείπια, ορίζοντάς την ως διοικητική έδρα. Αρχικά, οι σχέσεις μεταξύ επείσακτων και γηγενών δεν ήταν ειρηνικές, όμως η εμπορική ανάπτυξη και η άνοδος της αστικής τάξης ευνόησαν τη μεταξύ τους προσέγγιση και τη διαμόρφωση ενός τοπικού πολιτισμού με δυτικές επιδράσεις. Τα δημόσια έργα της εποχής αυτής ήταν πολλά και αποτελούνταν από ναούς είτε καθολικούς είτε ορθόδοξους παράλληλα χτίστηκαν και πολυτελείς ιδιωτικές κατοικίες στο Καστέλλι και τον Τοπανά, έργα τα οποία φανέρωναν τη σταδιακή επικράτηση του βενετσιάνικου μανιερισμού (Μιλιδάκης, 2018).

Το 1266 μ.Χ., οι Γενοβέζοι αντίζηλοι των Βενετών, με αρχηγό τον Obertino Doria αποβιβάστηκαν στα Χανιά με σκοπό να κατακτήσουν την πόλη. Οι υπερασπιστές εγκατέλειψαν την πόλη και ο Doria αφού πήρε ότι μπορούσε, στη συνέχεια έκαψε την πόλη.

Η πόλη οχυρώθηκε περεταίρω σε ύστερου χρόνους από τους Βενετούς με ένα νέο περίβολο τειχών. Η απόφαση της Βενετίας για περαιτέρω οχύρωση της πόλης πάρθηκε το 1336 και η ολοκλήρωση των έργων αυτών έλαβε τέλος 20 χρόνια αργότερα. Τα έργα αυτά δεν εκπλήρωσαν ωστόσο της ανάγκες της πόλης αφού απ΄ ότι φαίνεται απεδείχθησαν χαμηλά για την πολεμική τέχνη των χρόνων εκείνων. Γίνανε έτσι σοβαρές τροποποιήσεις και προσθήκες. Το μεγαλύτερο γνώρισμα της πόλης το βενετσιάνικο λιμάνι χτίστηκε κατά αυτούς τους χρόνους το 14^{ο} αιώνα δηλαδή, παρουσίασε όμως προβλήματα συγκέντρωσης προσχώσεων, με αποτέλεσμα να εγκαταλειφθεί, παρά τις κατά καιρούς εργασίες εκβάθυνσης (Μιλιδάκης, 2018).

Το 16^{ο} αιώνα και πιο συγκεκριμένα το 1536 μ.Χ. ο Michel Sammicheli βερονέζος μηχανικός σχεδίασε τα τελευταία τείχη σύμφωνα με τις ανάγκες της πόλης λόγω πιθανής επιδρομής των Τούρκων. Τα γνωρίσματα αυτών τειχών της πόλης είναι οι καρδιόσχημοι προμαχώνες στις γωνίες τους και ο προμαχώνας Piatta Forma στην νότια πλευρά που αποτελούσε και την κεντρική πύλη της πόλης. Η ατείχιστη πλευρά της πόλης προς τη θάλασσα συμπληρωνόταν από το έργο του λιμενοβραχίονα που την προστάτευε με μήκος 570 μέτρα. Νέες προσθήκες στην οχύρωση της πόλης έγιναν και από τον Generale Renier το 1563 μ.Χ (Μιλιδάκης, 2018).

Οι ανάγκες επισκευής των βενετσίανικων κατά τον 16^{ο} με 17^{ο} στο λιμάνι των Χανίων που αποτελεί και στρατηγικό σημείο της Μεσογείου, παρακίνησαν την άμεση κατασκευή νεωρίων, μέρος των οποίων κατεδαφίστηκε σε νεότερους χρόνους. Την ίδια περίοδο χτίστηκε και το φρούριο Φιρκά, που αποτέλεσαι έδρα της στρατιωτικής διοίκησης της πόλης. Το φρούριο αποτελεί ένα σημαντικό σημείο για την σύγχρονη Ελληνική ιστορία καθώς από τον γωνιακό πυργίσκο του ανυψώθηκε το 1913 η σημαία της Ένωσης του νησιού με την Ελλάδα.

6.2.3 <u>Οθωμανική περίοδος</u>

Τον Ιούνιο του1645 οι Τούρκοι ξεκινούν να πολιορκούν την πόλη και στις 12 Αυγούστου δημιουργούν ρήγμα στο προμαχώνα Schiavo. Με την υποχώρηση των αμυνόμενων καταλαμβάνουν την πόλη και εγκαθίστανται κυρίως στις ανατολικές της συνοικίες. Ακολουθεί μια περίοδος προσαρμογής των νέων κατοίκων που αλλάζει οικιστικά, πολεοδομικά και αρχιτεκτονικά την πόλη. Έτσι χτίστηκαν διάφορα τζαμιά, όπως το Γιαλί Τζαμί στο λιμένα και καθολικές εκκλησίες μετατράπηκαν σε οθωμανικά τεμένη. Τα τείχη αναστηλώθηκαν από τους Τούρκους, αργότερα τα ανακαίνισαν έτσι καταφέρνουν και στέκονται έως τις αρχές αυτού του αιώνα. Οι γηγενείς, ασφαλώς αντιστάθηκαν στις νέες συνθήκες και αρκετές φορές εξεγέρθηκαν. Η πόλη έγινε κέντρο δράσης της Φιλικής Εταιρείας και ζυμώσεων της Επανάστασης του 1821 (Μιλιδάκης, 2018).

6.3 Η παρουσία λατομείων εκμετάλλευσης αιολιανίτη στην περιοχή μελέτης

Στη περιοχή των Χανίων υπάρχει μια πληθώρα λατομείων εκμετάλλευσης ποικίλων πετρωμάτων και διαφορετικών χρονολογικών περιόδων που συνοδεύονται από πολλά αρχαιολογικά ευρήματα τόσο στους χώρους όσο και στις περιοχές γύρω από αυτούς. Έτσι αποκαλύπτονται οι χρόνοι λειτουργίας και οι δραστηριότητες στα σημεία αυτά. Εξετάζοντας όμως συγκεκριμένα τα αιολιανιτικά πετρώματα, η μελέτη επικεντρώνεται γύρω από τα αντίστοιχα λατομεία, τις θέσεις αυτών, τους χρόνους λειτουργίας και τον σκοπό που εξυπηρέτησαν.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα κύρια λατομεία αιολιανίτη που βρίσκονται στην περιοχή και παραθέτονται τα χαρακτηρίστηκα σε αυτά ευρήματα, οι θέσεις των λατομείων και οι χρόνοι λειτουργίας τους (Τζιλιγκάκη, 2014, Moody, 1987 & 1996):

1. Λατομείο Αγίου Γεωργίου: στην περιοχή αυτή εμφανίζονται πολλοί χώροι κατά μήκος της ακτής έως τα νοτιοδυτικά της εκκλησίας του Αγίου Γεωργίου Κουμπελή, που αποτέλεσαν λατομεία αιολιανίτη κατά το παρελθόν, ενώ οι χρόνοι λειτουργίας για τους χώρους είναι άγνωστοι. Σήμερα οι χώροι παρουσιάζονται μερικώς καταβυθισμένοι. Οι χώροι αυτοί χρησιμοποιήθηκαν ως πηγή δομικών λίθων για την εκκλησία του Αγίου Γεωργίου Κουμπελή. Η εκμετάλλευση του πετρώματος δεν θα μπορούσε να συμβεί νωρίτερα της Εποχής του Χαλκού λόγω των απαραίτητων εργαλείων για την κοπή του πετρώματος. Παρόλα αυτά δεν έχουν βρεθεί χαρακτηρίστηκα λατόμευσης της εποχής αυτής. Το γεγονός όμως ότι, τα αιολιανιτικά πετρώματα χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς για την δημιουργία πολλών κατασκευών την Μέση και Ύστερη Εποχή του Χαλκού στα Χανιά και συγκεκριμένα στο Καστέλλι, καθιστά εμφανές πως η εξόρυξη θα πρέπει να έχει συμβεί κάπου κοντά. Στο χώρο παρατηρούνται ίχνη Ρωμαϊκής λατόμευσης. Το λατομείο περιστασιακά χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα. Βάση των αρχαιολογικών ευρημάτων λοιπόν το λατομείο πιθανώς να βρίσκεται σε λειτουργία από το 1700 π.Χ.. Στο λατομείο παρατηρείται και εγκοπή κυμάτων πάνω σε μια λατομημένη επιφάνεια, η οποία βρίσκεται 1 με 1.5m πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Ταυτόχρονα 6m περίπου πάνω από τη στάθμη της θάλασσας πάνω σε λατομημένα βυθίσματα παρατηρούνται αλλοιωμένες από το νερό κροκάλες που φτάνουν σε διάμετρο τα 30cm. Τα κύρια ευρήματα και χαρακτηριστικά του χώρου αποτελούν, μια δεξαμενή ψαριών που βάση της θέσης της θα απαιτούσε 1m ανύψωση στη στάθμη της θάλασσας έτσι ώστε να λειτουργήσει και μια γλίστρα για βάρκες, η οποία βρίσκεται σε θέση πάνω από το επίπεδο της θάλασσας, εύρημα το οποίο αποτελεί χαρακτηριστικό Ρωμαϊκών και μεσαιωνικών κατασκευών.
2. Λατομείο Καλαθά: αποτέλεσε χώρο λατόμευσης αιολιανιτικού πετρώματος. που παρουσιάζει εγκοπή κυμάτων πάνω σε λατομημένη επιφάνεια και σε θέση 1.1m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Ο χώρος δεν μπορεί να χρονολογηθεί πριν την Εποχή του Χαλκού, όπως και στη περίπτωση του λατομείου του Αγίου Γεωργίου.

3. Λατομείο Σταυρού: αποτέλεσε χώρο λατόμευσης αιολιανιτικού πετρώματος που παρουσιάζει εγκοπή κυμάτων πάνω σε λατομημένη επιφάνεια σε θέση 1.5m πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Υπάρχουν καταγραφές της Ενετικής περιόδου, που περιγράφουν την λειτουργία του χώρου για την εξόρυξη του πετρώματος και ειδικότερα για την περίοδο επέκτασης και ενίσχυσης των τειχών του κάστρου των Χανίων. Επιπλέον παρουσιάζεται και το ενδεχόμενο κάποια τμήματα του λατομείου να χρονολογούνται στην Εποχή του Χαλκού.
4. Λατομείο Χωρδάκι, Γουβερνέτο: αποτέλεσε λατομικό χώρο εκμετάλλευσης αιολιανιτικών πετρωμάτων που βρίσκονται στη είσοδο του φαραγγιού του Αυλακιού. Τα πετρώματα που παρουσιάζονται στην περιοχή αποτελούνται από αιολιανίτες, οι οποίοι επικαλύπτουν κόκκινες αλλουβιακές αποθέσεις και λατυποπαγή σκληρού ασβεστολίθου. Οι χρόνοι λειτουργίας του χώρου είναι άγνωστοι, ενώ η απόσταση του από την ακτή είναι 5 km. Το σημείο ίσως αποτέλεσαι την μεγαλύτερη πηγή δομικών λίθων για πολλά μετόχια στην περιοχή όπως αυτά του Καθολικού και του Γουβερνέτου.
5. Λατομείο Χωραφάκια, Καλαθά: ο χώρος του λατομείου βρίσκεται στο νοτιοδυτικό μέρος του μικρού νησιού επί της εισόδου του Καλαθορέματος απέναντι από την παραλία του Καλαθά. Συνολικά το νησί αυτό έχει χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία οικισμού από τους Νεολιθικούς και Μινωικούς χρόνους έως αρκετά αργότερα όπου κατά τον 2^{ο} Παγκόσμιο Πόλεμο χρησιμοποιήθηκε ως πολεμίστρα. Η γεωλογία στη θέση αυτή περιέχει αιολιανίτες που επικαλύπτουν μάργα του σχηματισμού του Ακρωτηρίου. Στο νησί έχουν βρεθεί διάσπαρτα διάφορα κεραμικά ευρήματα, που σχετίζονται με τους χρόνους της Τελικής Νεολιθικής/Πρώιμης Μινωικής αλλά και Μέσης Μινωικής περιόδου.
6. Λατομείο Άγιος Ονούφριος, Κόκκινος Πύργος: το φαράγγι στη θέση αυτή έχει βορειοδυτικό προσανατολισμό και βρίσκεται στη δυτική ακτή του Κόκκινου Πύργου της δυτικής ακτής του Ακρωτηρίου περίπου 875 δυτικά της ακτής του Άγιου Ονούφριου. Η γεωλογία στη θέση αυτή αποτελείται από αιολιανίτη που επικαλύπτει μάργα του σχηματισμού του Ακρωτηρίου, με ερυθροχώματα (Terra Rossa) σε χαμηλότερες περιοχές. Ο χώρος έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή δομικών λίθων. Τα ευρήματα της περιοχής προέρχονται από τους Μινωικούς και ύστερους χρόνους, την Ρωμαϊκή και Βυζαντινή περίοδο.
7. Λατομείο Σταυρός, Τηγάνι: κατά μήκος της ακτής στα βόρεια και βορειοδυτικά του χωριού του Σταυρού υπάρχουν λατομεία αιολιανίτη πάνω στα κοιτάσματα που εμφανίζονται εκεί. Τα κοιτάσματα αυτά βρίσκονται μερικώς καταβυθισμένα στη θάλασσα, ενώ έχουν παρατηρηθεί εγκοπές κυμάτων περίπου 1m πάνω από της επιφάνεια της θάλασσας στις επιφάνειες λατόμησης. Οι χρόνοι λειτουργίας του λατομείου είναι άγνωστοι αλλά καθίσταται εμφανές ότι η στάθμη της θάλασσας ανυψώθηκες και έπεσε πάλι κατά τη διάρκεια λειτουργίας του λατομείου. Η γεωλογία της περιοχής αυτής αποτελείται από αιολιανίτες, ψηφιδοπαγή αιγιαλό (Beachrock) και άμμο.

Κεφάλαιο 7: Δειγματοληψία και δείγματα

7.1 Εισαγωγή

Ένα από τα σημαντικά στάδια της διπλωματικής εργασίας είναι η δειγματοληψία. Η δειγματοληψία στη παρούσα μελέτη αποσκοπεί στον ακριβή προσδιορισμό των ιδιοτήτων πετρωμάτων (φυσικοχημικές ιδιότητες, πετρογραφικά χαρακτηριστικά κ.α.). Για αυτό το λόγο η μεθοδικά ορθή πραγματοποίησή της παρουσιάζει κρίσιμη σημασία για τη μελέτη.

Η καταλληλόλητα των δειγμάτων που θα προκύψουν από μια δειγματοληψία έγκειται στην επιλογή αντιπροσωπευτικών δειγμάτων από ομοιογενείς μεγάλες μάζες του υπό εξέταση πετρώματος, τα οποία και εξυπηρετούν τις πειραματικές διαδικασίες της μελέτης.

7.2 Θέσεις δειγματοληψίας

Η δειγματοληψία έγινε σύμφωνα με ορισμένα κριτήρια που αφορούσαν τη θέση του δείγματος επί της εμφάνισης των αιολιανιτικών αποθέσεων στην εξωτερική πλευρά του λιμενοβραχίονα Χανίων (φωτογραφίες των βράχων παρουσιάζονται στο Παράρτημα 1), καθώς και με μακροσκοπικά χαρακτηριστικά, όπως οι στρώσεις και τα χρώματα των τεμαχών των αιολιανιτικών σχηματισμών. Δείγματα ελήφθησαν από δύο θέσεις: από την αρχή του λιμενοβραχίονα στα ανατολικά και από το δυτικό του άκρο. Και στις δύο αυτές θέσεις οι αιολιανίτες παρουσιάζουν εμφανή μακροσκοπικά χαρακτηριστικά αιολιανιτικών αποθέσεων όπως διακριτές στρώσεις λόγω της ιζηματογενούς φύσης του πετρώματος, αλλά και το ξεχωριστό για τους αιολιανίτες χαρακτηριστικό των διασταυρωμένων στρώσεων (cross-bedding)(βλ. Εικόνα 7.1), που καταδεικνύει μακροσκοπικά την μορφολογία παλαιότερων χρόνων κατά τα στάδια της απόθεσης και ύστερης λιθοποίησης.

Εικόνα 7.1: Φωτογραφία της απόθεσης αιολιανίτη στην ανατολική πλευρά του λιμένα Χανίων. Στο σημείο παρουσιάζεται έντονα η διαφοροποίηση της διεύθυνσης των στρώσεων του ιζήματος-διασταυρωμένων στρώσεων (crossbeddings). Τα βέλη δείχνουν τη σύγκλιση των δύο διευθύνσεων προς τη κορυφή του υβώματος.

7.3 Παρουσίαση και αξιοποίηση δειγμάτων στη μελέτη

Συνολικά τα δείγματα που συλλέχθηκαν από τις δύο θέσεις στην εξωτερική πλευρά του λιμενοβραχίονα Χανίων είναι έξι, όπως αυτά παρουσιάζονται στη Εικόνα 7.2. Οι διαστάσεις τους ποικίλων από μερικά μέχρι μερικές δεκάδες εκατοστά και στις τρεις διαστάσεις. Η μελέτη λοιπόν βασίζεται σε έξι βασικές ομάδες άλλων δειγμάτων που προέκυψαν από το αρχικά δείγμα και παρουσιάζονται κατωτέρω.

Εικόνα 7.2: Φωτογραφία αρχικών δειγμάτων κατά το στάδιο μεταφοράς στο εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων.

Παρουσίαση ομάδων:

Ομάδα Δείγματος L1

Από το δείγμα L1 για τη μελέτη αξιοποιήθηκαν τα παρακάτω στοιχεία:

- 3 δείγματα για τη περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ
- 6 δοκίμια για τη δοκιμή μονοαξονικής θλίψης, τα οποία αξιοποιήθηκαν όλα
- 1 δοκίμιο για τη ποροσιμετρία και τη μέτρηση διαπερατότητας
- 1 δείγμα για παρασκευή λεπτής τομή του δείγματος

Πίνακας 7.1: Φωτογραφίες αρχικού δείγματος L1 και καταγραφή στοιχείων που αποσπάστηκαν για τη μελέτη

Ομάδα Δείγματος L2

Από το δείγμα L2 για τη μελέτη αξιοποιήθηκαν τα παρακάτω στοιχεία:

- 2 δείγματα για τη περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ
- 3 δοκίμια για τη δοκιμή μονοαξονικής θλίψης, τα οποία αξιοποιήθηκαν όλα
- 1 δοκίμιο για τη ποροσιμετρία και τη μέτρηση διαπερατότητας
- 1 δείγμα για παρασκευή λεπτής τομής του δείγματος

Πίνακας 7.2: Φωτογραφίες αρχικού δείγματος L2 και καταγραφή στοιχείων που αποσπάστηκαν για τη μελέτη

Ομάδα Δείγματος L3

Από το δείγμα L3 για τη μελέτη αξιοποιήθηκαν τα παρακάτω στοιχεία:

- 2 δείγματα για τη περιθλασιμετρία ακτίνω-Χ
- 3 δοκίμια για τη δοκιμή μονοαξονικής θλίψης, από τα οποία αξιοποίηθηκαν τα 2 (L3.2, L3.3), καθώς το L3.1 έσπασε κατά τη λείανση
- 1 δοκίμιο για τη ποροσιμετρία και τη μέτρηση διαπερατότητας
- 1 δείγμα για παρασκευή λεπτής τομής του δείγματος

Πίνακας 7.3: Φωτογραφίες αρχικού δείγματος L3 και καταγραφή στοιχείων που αποσπάστηκαν για τη μελέτη

Ομάδα Δείγματος L4

Από το δείγμα L4 για τη μελέτη αξιοποιήθηκαν τα παρακάτω στοιχεία:

- 1 δείγμα για τη περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ
- 6 δοκίμια για τη δοκιμή μονοαξονικής θλίψης, τα οποία αξιοποιήθηκαν όλα
- 1 δοκίμιο για τη ποροσιμετρία και τη μέτρηση διαπερατότητας
- 1 δείγμα για παρασκευή λεπτής τομής του δείγματος

Πίνακας 7.4: Φωτογραφίες αρχικού δείγματος L4 και καταγραφή στοιχείων που αποσπάστηκαν για τη μελέτη

Ομάδα Δείγματος L5

Από το δείγμα L5 για τη μελέτη αξιοποιήθηκαν τα παρακάτω στοιχεία:

- 1 δείγμα για τη περιθλασιμετρία ακτίνω-Χ
- 2 δοκίμια για τη δοκιμή μονοαξονικής θλίψης, τα οποία αξιοποιήθηκαν όλα
- 1 δοκίμιο για τη ποροσιμετρία και τη μέτρηση διαπερατότητας
- δείγμα για παρασκευή λεπτής τομής του δείγματος

Πίνακας 7.5: Φωτογραφίες αρχικού δείγματος L5 και καταγραφή στοιχείων που αποσπάστηκαν για τη μελέτη

<u>Ομάδα Δείγματος L6</u>

Από το δείγμα L6 για τη μελέτη αξιοποιήθηκαν τα παρακάτω στοιχεία:

- 1 δείγμα για τη περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ
- 2 δοκίμια για τη δοκιμή μονοαξονικής θλίψης, τα οποία αξιοποιήθηκαν όλα
- 1 δοκίμιο για τη ποροσιμετρία και τη μέτρηση διαπερατότητας

Πίνακας 7.6: Φωτογραφίες αρχικού δείγματος L6 και καταγραφή στοιχείων που αποσπάστηκαν για τη μελέτη

Κεφάλαιο 8: Μεθοδολογία και αποτελέσματα

8.1 Εισαγωγή

Η μελέτη βασίστηκε σε τέσσερεις εργαστηριακές μεθόδους οι οποίες εξέτασαν τα δείγματα που περιγραφήκαν στη παράγραφο 7.3 και στη μικροσκοπική ανάλυση λεπτών τομών που δημιουργήθηκαν από το Ε.Α.Γ.Μ.Ε για τα δείγματα αυτά αλλά και για δείγματα των Νεωρίων του λιμένα Χανίων. Συγκεκριμένα μετά από την εξαγωγή «πυρήνων/καροταριών» διαφόρων μεγεθών από τα αρχικά δείγματα, για την διεξαγωγή διαφόρων μετρήσεων που θα περιγράφουνε στην συνέχεια οι εργαστηριακές μέθοδοι με τις οποίες έγινε η τελική επεξεργασία/έλεγχος των ορυκτολογικών και φυσικοχημικών παραμέτρων των πετρωμάτων είναι οι εξής:

- Ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (XRD)
- Δοκιμή μονοαξονικής θλίψης σε δοκίμια
- Ποροσιμετρία-μέτρηση πορώδους σε δοκίμια
- Μέτρηση διαπερατότητας σε δοκίμια
- Μικροσκοπική εξέταση δειγμάτων-λεπτές τομές

Στις παρακάτω παραγράφους του κεφαλαίου αυτού θα αναλυθούν λεπτομερώς όλα τα στάδια της εργαστηριακής εκτέλεσης των μεθόδων και τα αποτελέσματα που τελικά αυτές απέδωσαν.

8.2. Περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (XRD)

Η μέθοδος της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (X-Ray Diffraction) μετρά τη γωνία και την ένταση της ανακλώμενης ακτινοβολίας των ακτίνων-Χ πάνω στα πλεγματικά επίπεδα των κρυστάλλων των ορυκτών των δειγμάτων, που είναι χαρακτηριστικά για κάθε ορυκτό.

Η προσπίπτουσα ακτινοβολία διαπερνά ένα μεγάλο αριθμό πλεγματικών επιπέδων. Με αυτό τον τρόπο λαμβάνεται ένας αριθμός πολλών και παράλληλων ανακλώμενων ακτίνων, η απόσταση μεταξύ των οποίων είναι ανάλογη της απόστασης d μεταξύ των πλεγματικών επιπέδων του κρυστάλλου και της γωνίας πρόσπτωσης θ. Η γεωμετρική εξήγηση του φαινομένου περιγράφεται πλήρως από το νόμο του Bragg ως εξής (Pecsok, R., Shields, L., Cairns, T., McWilliam, I., Μετάφραση: Βολιώτης, Σ., 2000):

$$n * \lambda = 2 * d * sin\theta \qquad \text{(Εξίσωση 8.1)}$$

όπου

λ: το προσπίπτων μήκος κύματος της ακτινοβολίας-Χ

n: ακέραιος αριθμός που αντιπροσωπεύει την τάξη της ανάκλασης

d: η απόσταση μεταξύ των πλεγματικών επιπέδων

θ: η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας

Έτσι, σε διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης θ, προκύπτουν διαφορετικές κρυσταλλογραφικές διευθύνσεις που αντιστοιχούν σε διαφορετικές ενδοπλεγματικές αποστάσεις και άρα προκύπτουν νέες κορυφές στη σκεδαζόμενη ακτινοβολία.

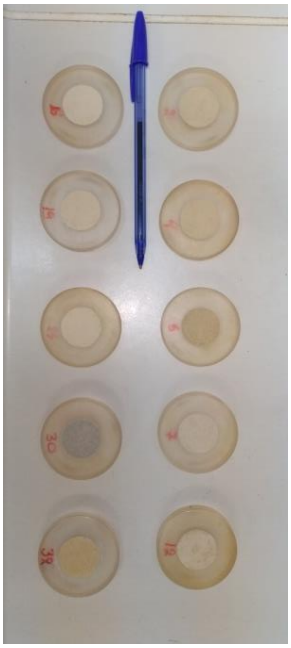
Απαριθμώντας τα φωτόνια της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας από ένα κρύσταλλο σε διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης, καταγράφεται το φάσμα ακτίνων-Χ του κρυστάλλου.

Ιστορικά η εξίσωση εκφράστηκε πρώτα από τον W.L Bragg. Οι W.H και W.L Bragg υλοποιώντας τις πρώτες μελέτες ακτίνων-Χ με κρυστάλλους χλωριούχου νατρίου και καλίου και εκμεταλλευόμενοι τις πυκνότητες των κρυστάλλων και τον αριθμό Avogadro κατάφεραν και υπολόγισαν την τιμή d των κρυστάλλων. Από την Εξίσωση 8.1 έλαβαν ακριβείς τιμές για τα μήκη ακτινοβολίας γ. Οι μελέτες αυτές των W.H και W.L Bragg αποτέλεσαν την βάση της κρυσταλλογραφίας με ακτίνες-Χ, καταφέρνοντας έτσι να κερδίσουν το βραβείο Nobel το 1915 (*The Nobel Prize in Physics 1915*. NobelPrize.org., 2021).

8.2.1 Προετοιμασία δειγμάτων περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ

Για την περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ η προετοιμασία των δειγμάτων σε πρώτη φάση απαιτούσε την απόσπαση μικρών ποσοτήτων από τα δείγματα που συλλέχθηκαν, έτσι ώστε να προχωρήσουν σε λειοτρίβηση με τον αχάτη και να τοποθετηθούν στους δειγματοφορείς του οργάνου (Εικόνα 8.2). Η διείσδυση των ακτίνων-Χ είναι της τάξης των 20 μm, έτσι το μέγεθος των κόκκων του κονιοποιημένου δείγματος πρέπει να είναι μεταξύ 5 και 10 μm, διασφαλίζοντας έτσι ότι συμμετέχει ικανοποιητικός αριθμός κόκκων στην περίθλαση της δέσμης των ακτίνων-Χ. Το περιθλασίμετρο που χρησιμοποιήθηκε είναι το Bruker AXS D8 ADVANCE XRD (Εικόνα. 8.1).

Εικόνα 8.1: Bruker AXS D8 ADVANCE XRD



Εικόνα 8.2: φωτογραφία δειγμάτων της μελέτης μέσα στους δειγματοφορείς του οργάνου

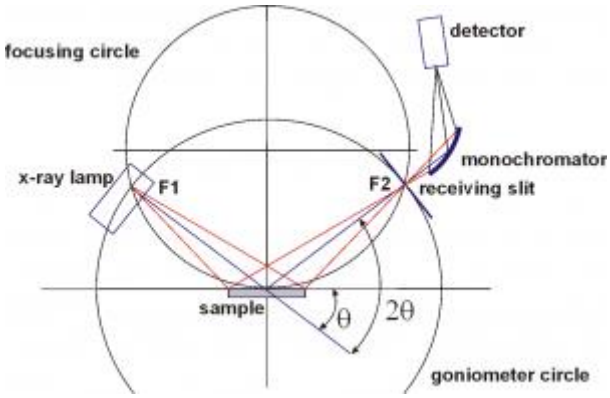
8.2.2 Εφαρμογή περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ

Η μέθοδος εφαρμόζεται άμεσα μετά την κατάλληλη προετοιμασία των δειγμάτων όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 8.2.1. Η διαδικασία μέτρησης είναι πλήρως αυτοματοποιημένη στο σύστημα Bruker AXS D8 ADVANCE XRD και ξεκινά απλός τοποθετώντας τους δειγματοφορείς στη στήλη δειγμάτων του οργάνου ρυθμίζοντας ωστόσο τις σωστές παραμέτρους των μετρήσεων πριν την εκκίνηση της διαδικασίας.

Τα βασικά μέρη που συντελούν στην ανάλυση που πραγματοποιείται από ένα περιθλασίμετρο είναι (Τάλαρου Χ., 2021):

- η μονάδα παραγωγής υψηλής τάσης
- η λυχνία ακτίνων-Χ
- το γωνιόμετρο (βρίσκεται πάντα στο κέντρο ενός κύκλου που διαγράφει ακτίνες-Χ)
- ο απαριθμητής ακτίνων-Χ με τη μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής κρούσεων
- η μονάδα μικροϋπολογιστή που αξιολογεί τα δεδομένα από την εξέταση του δείγματος

Η γεωμετρία που χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο περιθλασίμετρο είναι η Bragg-Brentano (Εικόνα 8.3), η οποία προσφέρει υψηλή διακριτότητα και υψηλή ανάλυση έντασης της ακτινοβολίας, δεδομένου ότι θα έχει γίνει σωστή προετοιμασία στο δείγμα. Αρχικά ένας ρομποτικός βραχίονας αποσπά το δείγμα από τη στήλη και το τοποθετεί στην τράπεζα πάνω στην οποία προσπίπτει η ακτινοβολία, στη συνέχεια ο σωλήνας ακτίνων-Χ του οργάνου και ο ανιχνευτής εκτελούν συγχρονισμένες κινήσεις υπό διαφορετικές γωνίες καταγράφοντας την ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας και η μονάδα του καταγραφικού (Η/Υ) με το ανάλογο λογισμικό σχηματίζει το διάγραμμα της έντασης της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας και της γωνίας 2θ.



Εικόνα 8.3: Γεωμετρία Bragg-Brentano: τυπική διάταξη περιθλασίμετρου σε αυτή τη γεωμετρία. ("XRD Principle | West Campus Materials Characterization Core", 2021)

8.2.3 Αποτελέσματα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ

Η ερμηνεία των ακτινοδιαγραμμάτων απέδωσε τον Πίνακα 8.1. Ο πίνακας αυτός κρίνεται εξαιρετικά σημαντικός, καθώς η ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων που αναλύθηκαν, θα καθορίσει σε μεγάλο βαθμό τα συμπεράσματα της μελέτης, αφού δίνει ξεκάθαρη εικόνα της ορυκτολογικής σύστασης των δειγμάτων.

	Δείγμα	L1.3	L1.5	L1.6	L2.1	L2.2	L3.2	L3.3	L4.4	L5.2	L6R
Ορυκτολογική Φάση (%)	Ασβεστίτης ($CaCO_3$)	84	85	79	-	-	75	65	96	83	23
	Αραγωνίτης ($CaCO_3$)	-	-	-	3	2	-	-	-	-	-
	Δολομίτης ($CaMg[CO_3]_2$)	-	-	-	90	93	17	20	-	8	41
	Χαλαζίας (α-SiO_2)	12	10	16	4	3	8	15	4	9	31
	Μοσχοβίτης ($KAl_2[(OH,F)_2/AlSi_3O_{10}]$)	4	5	5	3	2	-	-	-	-	5

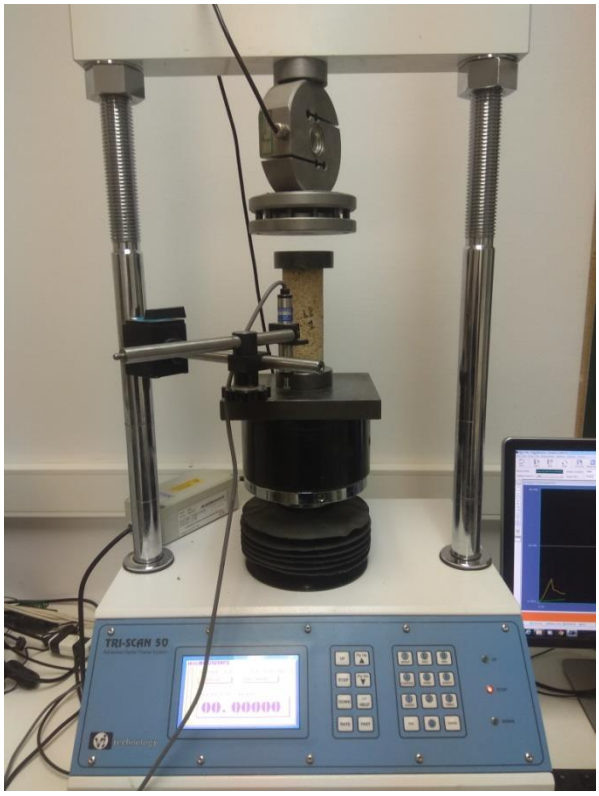
Πίνακας 8.1: Ποσοστιαία ημιποσοτική ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ. Η ονοματολογία των δειγμάτων της ανάλυσης ακολουθεί τους αρχικούς τίτλους των δοκιμίων από τα οποία και συλλέχθηκαν μετά το πέρας της μελέτης μονοαξονικής θλίψης.

Από τον Πίνακα 8.1 παρατηρείται ότι:

- Δείγματα Ομάδας L1: Τα τρία (3) δείγματα της Ομάδας L1 εμφανίζουν μέση περιεκτικότητα σε Ασβεστίτη ($CaCO_3$) 82.67%, σε Χαλαζία (SiO_2) 12.67% και σε Μοσχοβίτη ($KAl_2[(OH,F)_2/AlSi_3O_{10}]$) 4.67%.
- Δείγματα Ομάδας L2: Τα δύο (2) δείγματα της Ομάδας L2 εμφανίζουν μέση περιεκτικότητα σε Δολομίτη ($CaMg[CO_3]_2$) 91.5%, σε Χαλαζία (SiO_2) 3.5% σε Αραγωνίτης ($CaCO_3$) 2.5% και σε Μοσχοβίτη ($KAl_2[(OH,F)_2/AlSi_3O_{10}]$) 2.5%.
- Δείγματα Ομάδας L3: Τα δύο (2) δείγματα της Ομάδας L3 εμφανίζουν μέση περιεκτικότητα σε Ασβεστίτη ($CaCO_3$) 70%, σε Δολομίτη ($CaMg[CO_3]_2$) 18.5% και σε Χαλαζία (SiO_2) 11.5%.
- Δείγματα Ομάδας L4: Το ένα (1) δείγμα της Ομάδας L4 παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε Ασβεστίτη 96% και χαμηλή περιεκτικότητα σε Χαλαζία (SiO_2) 4%.
- Δείγματα Ομάδας L5: Το ένα (1) δείγμα της Ομάδας L5 παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε Ασβεστίτη ($CaCO_3$) 83%, χαμηλή περιεκτικότητα σε Χαλαζία (SiO_2) 9% και σε Δολομίτη ($CaMg[CO_3]_2$) 8%.
- Δείγματα Ομάδας L6: Το ένα (1) δείγμα της Ομάδας L6 παρουσιάζει μικτή ορυκτολογική σύσταση με Δολομίτη ($CaMg[CO_3]_2$) 41%, Χαλαζία (SiO_2) 31%, Ασβεστίτη ($CaCO_3$) 23% και Μοσχοβίτη ($KAl_2[(OH,F)_2/AlSi_3O_{10}]$) 5%.

8.3 Δοκιμή μονοαξονικής θλίψης

Η δοκιμή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (UCS, uniaxial compressive strength) αποτελεί μια κοινή μέθοδο για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων. Ο στόχος της δοκιμής είναι ο προσδιορισμός της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη του «ακέραιου» πετρώματος. Τα εργαστηριακά δοκίμια είναι συνήθως κυλινδρικά όπως και στην περίπτωση της μελέτης αυτής, με μήκος διπλάσιο έως τριπλάσιο της διαμέτρου τους και τοποθετούνται ανάμεσα σε δύο μεταλλικές πλάκες σε κατάλληλη μηχανή φόρτισης. Στη συνέχεια φορτίζονται είτε με έλεγχο του φορτίου (load control) είτε με έλεγχο της μετατόπισης (displacement control) κατά τον διαμήκη άξονα τους και συγχρόνως καταγράφεται η αντίστοιχη ανηγμένη παραμόρφωση που υφίστανται. Ωστόσο μέσα από την επεξεργασία των δεδομένων προσδιορίζεται και το μέτρο ελαστικότητας του πετρώματος. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση και το χαρακτηρισμό του ακέραιου πετρώματος από πλευράς αντοχής. Το κύριο εργαλείο της μεθόδου είναι το διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης το οποίο και κατασκευάζεται από τις επεξεργασμένες μετρήσεις της δοκιμής (βλ. Παράρτημα 3).



Εικόνα 8.4: Τελικό στάδιο προσαρμογής δοκιμίου επί του οργάνου μέτρησης.

Υπολογίζοντας την μέγιστη τιμή των τάσεων που προκύπτουν από τα ανάλογα φορτία κατά στάδια φόρτισης (βλ. Παράρτημα 4), για κάθε δοκίμιο, λαμβάνεται η τιμή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (C_0) του δοκιμίου αυτού. Η τιμή αυτή μπορεί αναχθεί σε κάποιο σταθερό λόγω ύψους-διαμέτρου (h/D), πράγμα το οποίο κρίνεται κρίσιμο ειδικά κατά τη σύγκριση δοκιμίων, καθώς τα δοκίμια έχουν την ίδια διάμετρο (διάμετρος πυρηνοληψίας) αλλά δεν έχουν το ίδιο ύψος, δηλαδή δεν έχουν τον ίδιο λόγο ύψους διαμέτρου.

Σύμφωνα με τον Αγιουτάντη (2001) η αναγωγή της C_0 σε σταθερό λόγο h/D για λόγο h/D=1 γίνεται μέσα από την Εξίσωση 8.2 , που όρισαν οι Obert et al. (1946):

$$C_1 = \frac{C_0}{0.778+\frac{0.222}{h/D}} \qquad \text{(Εξίσωση 8.2)}$$

Όπου C_0= η αντοχή που υπολογίζεται για δοκίμιο με λόγο h/D>1, και C_1= η ανηγμένη τιμή για λόγο h/D=1.

Αντίστοιχα για την αναγωγή της C_0 σε σταθερό λόγο h/D για λόγο h/D=2 γίνεται χρήση της Εξίσωσης 8.3, η οποία προτάθηκε πρώτη φορά από τον Protodyakonov (1969) και περιγράφεται ως εξής:

$$C_2 = \frac{C_0}{\frac{7}{8}+\frac{2}{8h/D}} \quad \text{(Εξίσωση 8.3)}$$

Όπου C_0= η αντοχή που υπολογίζεται για δοκίμιο με λόγο h/D>1, και C_2= η ανηγμένη τιμή για λόγο h/D=2.

Όσον αφορά το μέτρο ελαστικότητας υπάρχουν τρία είδη, το εφαπτομενικό (tangent modulus), το μέσο μέτρο ελαστικότητας (average modulus) και το τέμνον μέτρο ελαστικότητας. Η διαφορά αυτών των τριών υπόκειται στο σύνολο των μετρήσεων που επιλέγεται από την καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης, καθώς το μέτρο ελαστικότητας δεν παραμένει σταθερό καθόλη τη διάρκεια της φόρτισης. Όλα όμως αυτά τα είδη υπόκεινται στο γενικό τύπο:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \qquad \text{(Εξίσωση 8.4)}$$

Πρόκειται δηλαδή για την εφαπτομένη της καμπύλης τάσης-παραμόρφωσης που διαφοροποιείται ανάλογα με το σημείο που εφάπτεται. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε το μέσο μέτρο ελαστικότητας επιλέγοντας τιμές γύρω από μισό της τιμής της μέγιστης τάσης δηλαδή στο 50% της σ_{max}.

8.3.1 Προετοιμασία δοκιμίων δοκιμής μονοαξονικής θλίψης

Μετά την συλλογή των δειγμάτων ξεκίνα αμέσως η προετοιμασία για τις δοκιμές μονοαξονικής θλίψης. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ξεκίνησε αρχικά την μεταφορά των ακατέργαστων πετρωμάτων στο εργαστήριο όπου ελήφθησαν πυρήνες υλικού με τη βοήθεια εργαστηριακού πυρηνολήπτη δοκιμίων (drill press). Στη συνέχεια το υλικό που προέκυψε κόπηκε στο δισκοπρίονο (diamond saw), αποδίδοντας την πρώτη καθαρή κυλινδρική μορφή των δοκιμίων. Στο τελικό στάδιο της προετοιμασίας έγινε η λείανση των δύο πλευρών των κυλινδρικών δοκιμίων στον λειαντή (grinding machine) και ύστερα η καταγραφή των μακροσκοπικών χαρακτηριστικών αλλά και η καταγραφή των διαστάσεων τους. Οι διαστάσεις μετρούνται 3 φορές και στη συνέχεια υπολογίζεται ο μέσος όρος για να χρησιμοποιηθεί στους περαιτέρω υπολογισμούς (βλ. Παράρτημα 4).

Εικόνα 8.5: Βήματα προετοιμασίας δοκιμίων για τη δοκιμή μονοαξονικής θλίψης

8.3.2 Εφαρμογή δοκιμής μονοαξονικής θλίψης

Πέραν των απαραίτητων εργαλείων για την προετοιμασία των δοκιμίων απαιτούνται και τα κατάλληλα όργανα για την εκτέλεση της δοκιμής. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την κατασκευή της καμπύλης τάσης-παραμόρφωσης στη δοκιμή αυτή περιλαμβάνει σαν γενική διάταξη τα εξής τμήματα:

- Τη συσκευή δοκιμής, που μπορεί να επιβάλει σταθερό ρυθμό φόρτισης στο δοκίμιο και να καταγράψει το φορτίο που ασκεί.

- Τις δύο πλάκες φόρτισης (άνω και κάτω), που χρησιμεύουν για να γίνει η ορθή κατανομή του φορτίου στις βάσεις του δοκιμίου. Η πάνω πλάκα είναι σφαιρική κεφαλή έδρασης όπως φαίνεται και στην Εικόνα 8.5.
- Το σύστημα μέτρησης φορτίου και αξονικής μετατόπισης, που γίνεται μέσω γραμμικών μεταβλητών διαφορικών πρεσσοστατών LVDT (Linear Variable Displacement transducer), η θέση προσαρμογής τους είναι εμφανής στην Εικόνα 8.4.
- Το σύστημα συνεχούς καταγραφής, που καταγράφει την μεταβολή του φορτίου και το μέγεθος τη μετατόπισης συναρτήσει του χρόνου, η οποία αποθηκεύεται σε παρακείμενο ηλεκτρονικό υπολογιστή, μέσω του οποίου επιβλέπεται η εξέλιξη της μελέτης σε πραγματικό χρόνο.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε το όργανο TRI-SCAN 50 της vj technology μαζί με ένα προσαρμοσμένο LVDT (Linear Variable Displacement transducer) για να μετρηθεί η βράχυνση του δοκιμίου. Τοποθετώντας αρχικά τα δοκίμια στο όργανο ελέγχεται η βελόνα του LVDT έτσι ώστε να παρουσιάζεται μηδενική μετατόπιση, στη συνέχεια ορίζεται ο ρυθμός φόρτισης.

Σε όλα τα δοκίμια της μελέτης η φόρτιση έγινε με displacement control, ελέγχοντας δηλαδή την παράμετρο της σχετικής μετατόπισης των πλακών που ασκούν τα φορτία στο δοκίμιο με ένα ρυθμό 0.9mm/min. Επιπλέον στις βάσεις όλων των δοκιμίων αλλά και στην κεφαλή εφαρμόστηκε ελαφρύ ορυκτέλαιο με σκοπό την αποτροπή δυνάμεων τριβής στις επιφάνειες αυτές όταν τα δοκίμια διογκωθούν κατά τη φόρτιση. Ξεκινώντας την δοκιμή και καταγράφοντας τις μετρήσεις με μονάδα Η/Υ παρατηρείται το δοκίμιο έως ότου επέλθει θραύση.

8.3.3 <u>Αποτελέσματα δοκιμής μονοαξονικής θλίψης</u>

Οι μηχανικές δοκιμές απέδωσαν το διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης για κάθε δοκίμιο. Στην παρουσίαση των δοκιμίων που περιγράφονται στην παράγραφο αυτή ο χαρακτηρισμός ορίζεται στις παρακάτω βάσεις:

1) Την μακροσκοπική περιγραφή των δοκιμίων

Η παρατήρηση και η μακροσκοπική περιγραφή επικεντρώνεται στα χαρακτηρίστηκα του πορώδους και την τελική εικόνα της επιφάνειας των δοκιμίων μετά το πέρας της διαδικασίας προετοιμασίας των δοκιμίων, όπως αυτά προκύπτουν κατά το τελικό στάδιο της λείανσης των βάσεων τους.

Περιγραφικά το είδος του πορώδους παρουσιάζει:

- Μη πορώδη εικόνα
- Λεπτοπορώδη εικόνα
- Χονδροπορώδη εικόνα

Περιγραφικά η κατάσταση των βάσεων παρουσιάζει:

- Ατελείς βάσεις
- Πλήρεις βάσεις

Περιγραφικά η διαμόρφωση των παράπλευρων επιφανειών χαρακτηρίζεται ως:

- Διαβρωμένες
- Εκτενώς διαβρωμένες
- Ομαλές

2) Τις μηχανικές ιδιότητες

Οι μηχανικές ιδιότητες περιλαμβάνουν:

- Τα διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης
- Την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (C_0)
- Τις ανηγμένες τιμές της αντοχής (C_1,C_2) σε σταθερό λόγο h/D, 1:1 & 2:1 αντίστοιχα
- Το μέσο μέτρο ελαστικότητας E

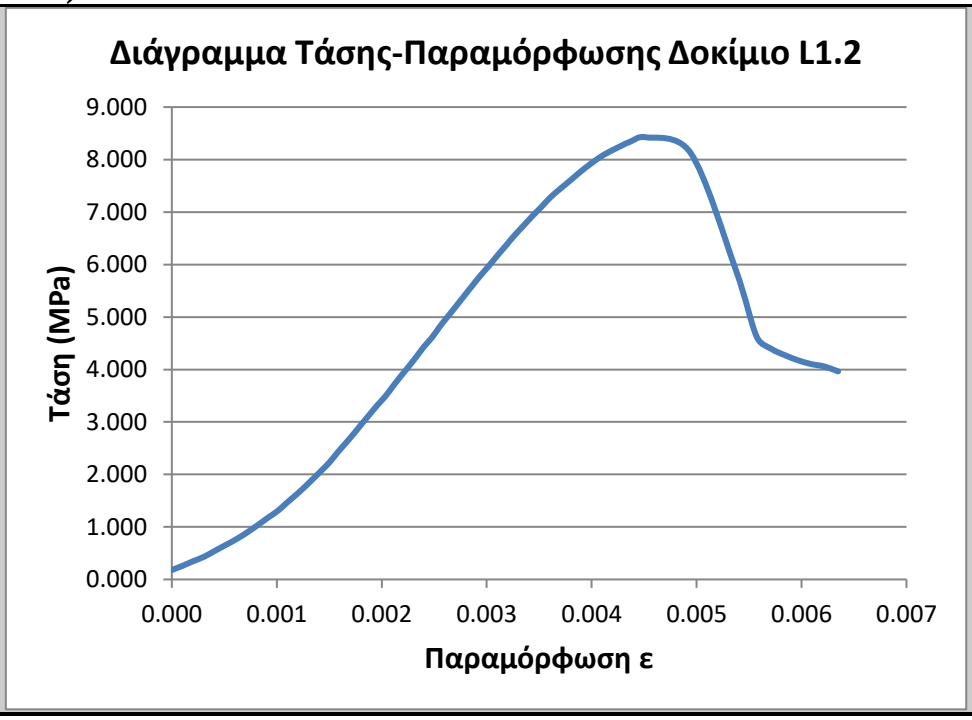
Συνολικά τα αποτελέσματα της δοκιμής μονοαξονικής θλίψης με σκοπό τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων για το κάθε δοκίμιο, παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.2.

ΔΕΙΓΜΑ	C_0 (MPa)	C_1(MPa)	C_2(MPa)	Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa)
L1.1	5.32	6.19	3.40	2.25
L1.2	8.43	9.78	5.48	2.54
L1.3	0.70	0.82	0.44	0.21
L1.4	6.16	7.08	4.16	1.26
L1.5	2.95	3.40	1.97	0.96
L1.6	3.79	4.28	2.73	1.01
L2.1	5.31	6.12	3.55	1.42
L2.2	3.13	3.55	2.23	0.88
L2.3	6.66	7.73	4.32	1.77
L3.2	6.01	7.07	3.98	1.66
L3.3	4.10	4.69	2.81	1.12
L4.1	3.36	3.70	2.58	0.57
L4.2	3.96	4.64	2.45	1.75
L4.3	2.36	2.77	1.45	1.19
L4.4	3.71	4.33	2.34	1.77
L4.5	1.79	2.06	1.20	0.65
L4.6	1.93	2.17	1.41	0.73
L5.2	6.01	6.62	4.62	1.21

Πίνακας 8.2: Καταγραφή τιμών C_0, C_1, C_2 και μέτρου ελαστικότητας E για όλα τα δοκίμια

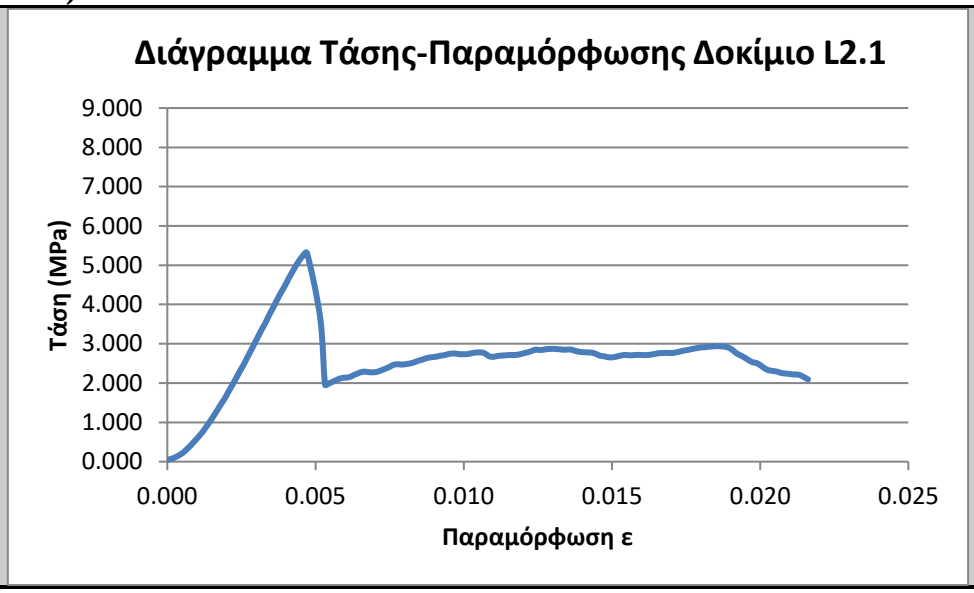
Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιοι χαρακτηριστικοί πίνακες των δοκιμίων της κάθε ομάδας δείγματος, που βασίζονται στο χαρακτηρισμό των δοκιμίων που περιγράφηκε στην αρχή της παραγράφου. Πλήρη καταγραφή των δοκιμίων στην ίδια μορφή πινάκων παρουσιάζεται στο Παράρτημα 2.

ΔΟΚΙΜΙΟ L1.2		
Παρατηρήσεις: Τα χαρακτηριστικά του είναι όμοια με το Δοκίμιο L1.1. Η μία βάση παρουσιάζει έντονες αιχμές στα άκρα αντιθέτως από την απέναντι βάση όπου το υλικό φαίνεται πολύ πιο πλήρης και στα άκρα της.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	132.117
	Διάμετρος(cm)	4.993
	Διατομή(cm^2)	19.580
	h/D	2.646
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 8.43	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 2.54	
C_1 (MPa):9.78		
C_2 (MPa):5.48		



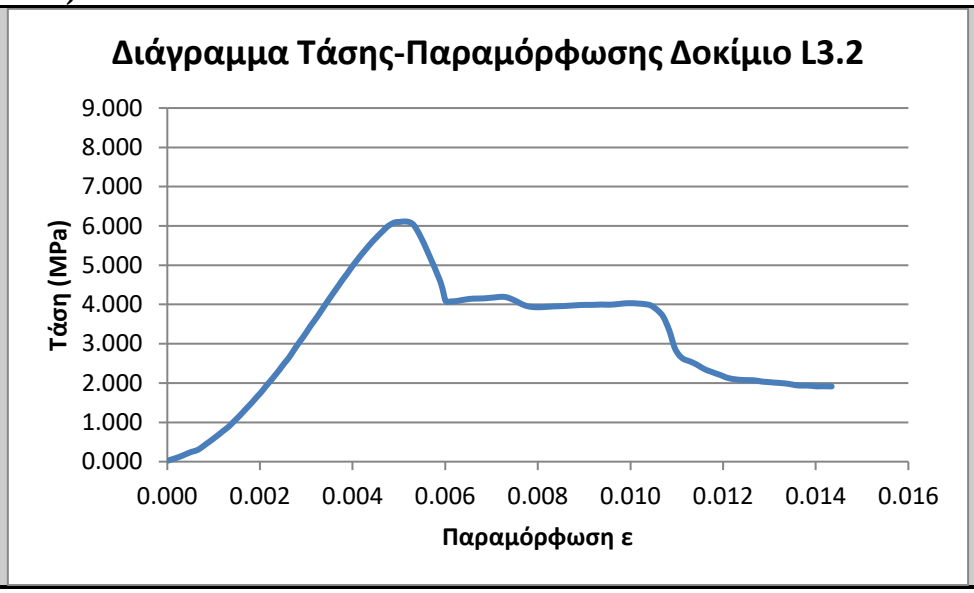
Πίνακας 8.3: Αναλυτική καταγραφή μηχανικών ιδιοτήτων του δοκιμίου L1.2

ΔΟΚΙΜΙΟ L2.1		
Παρατηρήσεις: Η εικόνα των βάσεων είναι πλήρης χωρίς ιδιαίτερες αιχμές ή οπές σε όλη την έκταση τους.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	123.533
	Διάμετρος(cm)	4.992
	Διατομή(cm^2)	19.570
	h/D	2.475
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 5.31	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 1.42	
C_1 (MPa):6.12		
C_2 (MPa):3.55		



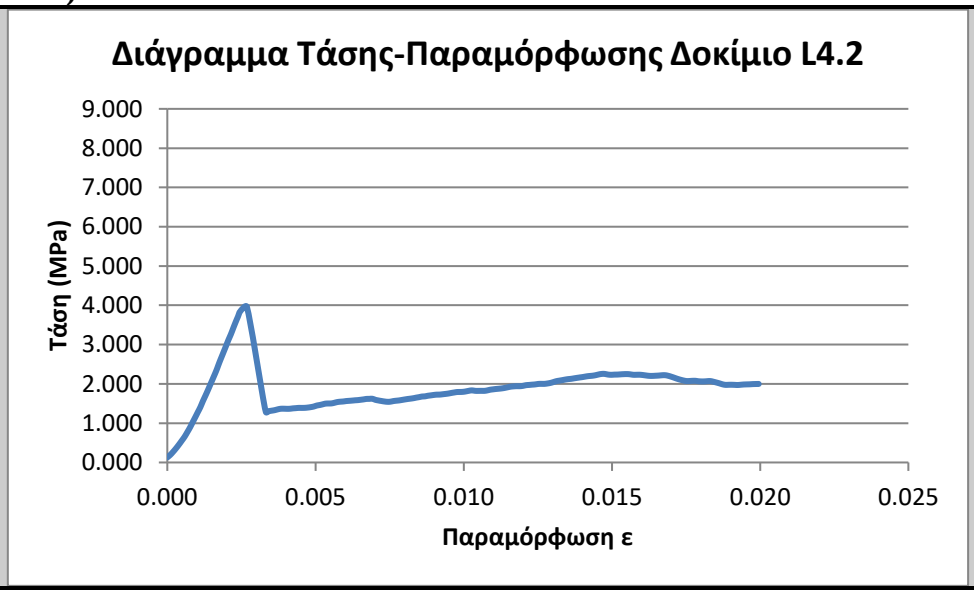
Πίνακας 8.4: Αναλυτική καταγραφή μηχανικών ιδιοτήτων του δοκιμίου L2.1

ΔΟΚΙΜΙΟ L3.2		
Παρατηρήσεις: Πλήρης εικόνα του δοκιμίου καθόλη την επιφάνεια του, δεν παρουσιάζει κάποιο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	131.350
	Διάμετρος(cm)	4.983
	Διατομή(cm^2)	19.494
	h/D	2.636
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 6.01	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 1.66	
C_1 (MPa):7.07		
C_2 (MPa):3.98		



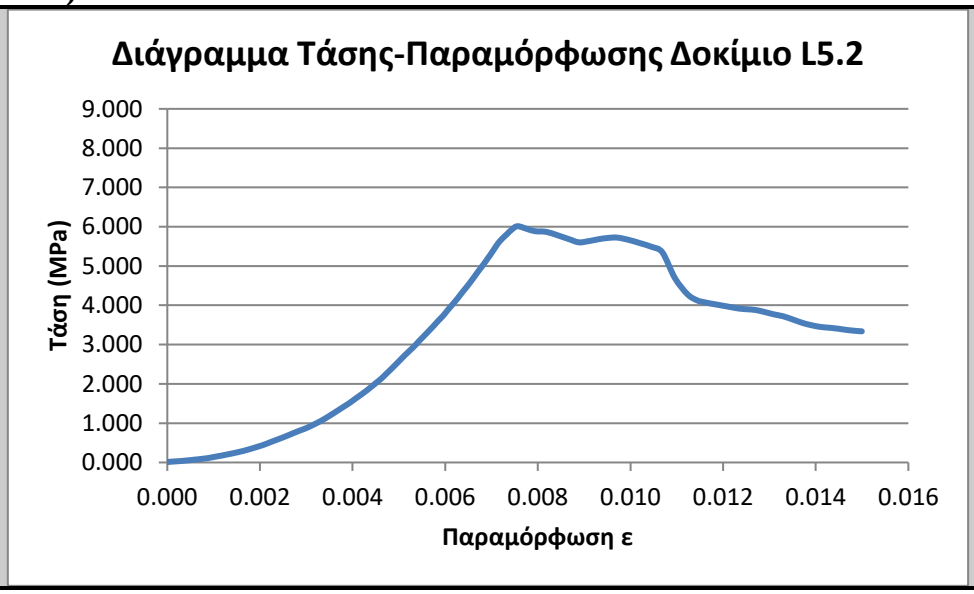
Πίνακας 8.5: Αναλυτική καταγραφή μηχανικών ιδιοτήτων του δοκιμίου L3.2

ΔΟΚΙΜΙΟ L4.2		
Παρατηρήσεις: Καλή εικόνα τον βάσεων του δοκιμίου μία ελάχιστη έλλειψη μάζας στο χείλος της μίας. Αισθητή έλλειψη υλικού στις παράπλευρες επιφάνειες του δοκιμίου σε σημείο κοντά στο μέσο.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	147.933
	Διάμετρος(cm)	4.977
	Διατομή(cm^2)	19.443
	h/D	2.973
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 3.96	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 1.75	
C_1 (MPa):4.64		
C_2 (MPa):2.45		



Πίνακας 8.6: Αναλυτική καταγραφή μηχανικών ιδιοτήτων του δοκιμίου L4.2

ΔΟΚΙΜΙΟ L5.2		
Παρατηρήσεις: Ασχέτως της χρωματικής διαφοράς το δοκίμιο παρουσιάζει την ίδια εικόνα με αυτή των δοκιμίων της ΟΜΑΔΑΣ L2. Πολύ καλές βάσης χωρίς ελλείψεις υλικού.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	84.917
	Διάμετρος(cm)	4.978
	Διατομή(cm^2)	19.455
	h/D	1.706
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 6.01	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 1.21	
C_1 (MPa):6.62		
C_2 (MPa):4.62		



Πίνακας 8.7: Αναλυτική καταγραφή μηχανικών ιδιοτήτων του δοκιμίου L5.2

8.4 Ποροσιμετρία-Προσδιορισμός πορώδους

8.4.1 Η ιδιότητα του πορώδους

Τα κύρια χαρακτηριστικά που καθορίζουν της ποιότητα και την οικονομική αξιοποίηση ενός ιζηματογενούς πετρώματος, είναι το πορώδες και η διαπερατότητα. Η έννοια του πορώδους μέσου και η υπόσταση της στα πετρώματα εκφράζεται στη βασική της μορφή από το ολικό ή απόλυτο πορώδες.

Ολικό ή απόλυτο πορώδες $P_t = \frac{Ολικός\ όγκος\ πόρων(PV)}{Ολικός\ όγκος\ πετρώματος\ (BV)} \times 100$ (Εξίσωση 3.1)

όπου:

- PV- Pore Volume, ολικός όγκος πόρων
- GV-Grain Volume, συνολικός όγκος των κόκκων του πετρώματος
- BV-Bulk Volume, ολικός όγκος δείγματος όπου BV=PV+GV

Προϋπόθεση για τον υπολογισμό του πορώδους ενός πετρώματος αποτελεί η γνώση δύο εκ των παραπάνω μεγεθών.

Πιο αναλυτικά, το απόλυτο ή ολικό πορώδες περιλαμβάνει το σύνολο των κενών χώρων (πόρων) του πετρώματος, δηλαδή τους πόρους που επικοινωνούν μεταξύ τους αλλά και τους απομονωμένους πόρους, οι οποίοι δεν συνδέονται μεταξύ τους με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η ροή ενός ρευστού μέσα από αυτούς. Αντίθετα, το ενεργό πορώδες αναφέρεται μόνο στους πόρους που συνδέονται μεταξύ τους, γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα σημαντικό φυσικό χαρακτηριστικό του πετρώματος, αφού ουσιαστικά είναι το μόνο μέγεθος που συμβάλει στην ανάκτηση του δυναμικού του.

Το ενεργό πορώδες (P_e) είναι η αναλογία όλων των αλληλοσυνδεόμενων πόρων ή κενών μιας μονάδας πετρώματος προς τον ολικό εξωτερικό του όγκο και εκφράζεται με ποσοστό-επί τοις %.

Ενεργό πορώδες $P_e = \frac{Όγκος\ κενών\ που\ επικοινωνούν\ μεταξύ\ τους}{Ολικός\ όγκος\ πετρώματος} \times 100$ (Εξίσωση 3.2)

Οι τιμές του πορώδους που χαρακτηρίζουν ένα πέτρωμα-ταμιευτήρα είναι:

- Χαμηλό πορώδες, $P_t < 5$ %
- Μέτριο πορώδες, 5 % < P_t < 10 %
- Μέσο πορώδες, 10 % < P_t < 20 %
- Καλό πορώδες, 20 % < P_t < 30 %
- Πολύ καλό πορώδες, $P_t > 30$ %

Το πορώδες των στερεοποιημένων υλικών εξαρτάται κυρίως από τον βαθμό ενοποίησης τους, ενώ το πορώδες μη στερεοποιημένων υλικών εξαρτάται από το σχήμα, τον τρόπο διάταξης και την κατανομή μεγέθους των κόκκων. Καλά ταξινομημένοι κόκκοι παρουσιάζουν μεγάλο πορώδες σε σχέση με φτωχά ταξινομημένους κόκκους, όπου κόκκοι μικρότερων μεγεθών γεμίζουν τους χώρους μεταξύ μεγαλύτερων κόκκων και αν και αποτελούν μικρό ποσοστό του συνολικού όγκου του πετρώματος, μειώνουν σημαντικά το πορώδες και υδραυλική αγωγιμότητα.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το πορώδες είναι το σχήμα των κόκκων, η κοκκομετρική σύσταση του σχηματισμού, η διάταξη των κόκκων, η κονίαση των κόκκων. Επιπλέον η παρουσία αργιλικών υλικών, η παρουσία αλάτων, η συνίζηση και κυρίως η διαγένεση μειώνουν το ολικό πορώδες. Η διαγένεση παρατηρείται συνήθως σε τμήματα παλαιότερων και βαθύτερων προσχώσεων ή αποθέσεων. Έτσι σε κοκκώδη πετρώματα παρατηρείται μείωση του πορώδους με το βάθος.

8.4.2 Οι τύποι του πορώδους

Το πορώδες ανάλογα με την προέλευση του διαχωρίζεται σε:

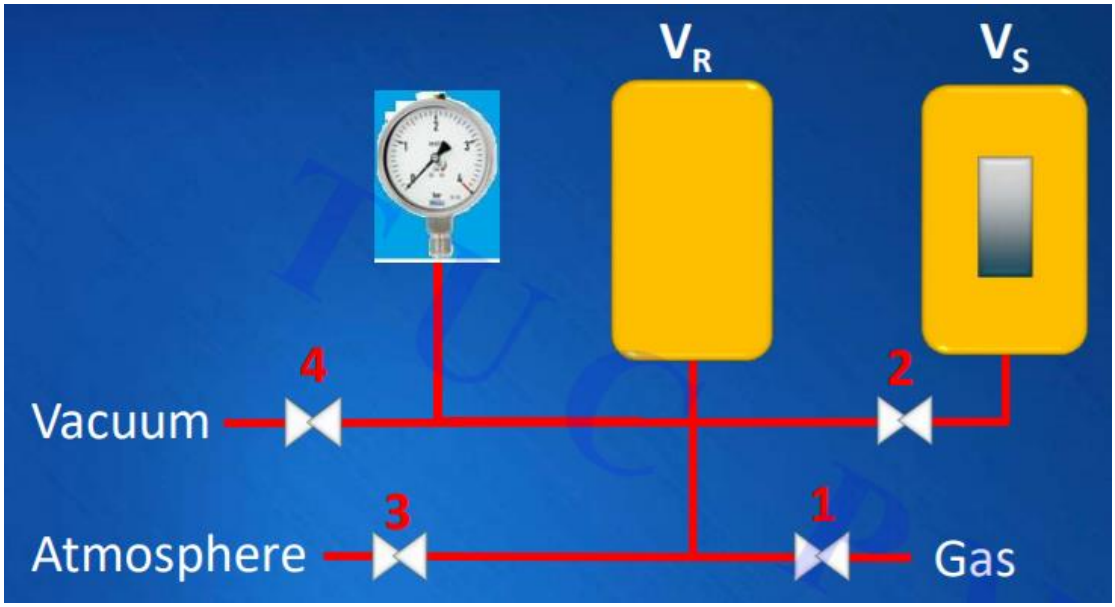
- Πρωτογενές
- Δευτερογενές

Το πρωτογενές πορώδες είναι αυτό που ήδη προϋπάρχει στο πέτρωμα από τη διάρκεια σχηματισμού του πετρώματος. Το πρωτογενές πορώδες δημιουργείται κατά τη διάρκεια της ιζηματογένεσης και αποτελείται είτε από τα διάκενα μεταξύ των κόκκων (διακοκκικό) είτε από διάκενα μέσα στη δομή των κόκκων (ενδοσωματιδιακό). Παρουσιάζεται σε μια μεγάλη ποικιλία αποθετικών περιβαλλόντων, από υφάλους που καλύπτουν μόλις 1 km^2 μέχρι μεγάλες ανθρακικές πλατφόρμες πολλών χιλιάδων km^2. Αυτό το πορώδες μπορεί να μειωθεί κατόπιν συμπίεσης των πετρωμάτων ή μετά από διαγενετικές διεργασίες που σχετίζονται με τα υπόγεια νερά.

Το δευτερογενές πορώδες δημιουργείται από ύστερα φαινόμενα όπως η ανακρυστάλλωση, η αφυδάτωση ή η ρηγμάτωση και η παρουσία ρωγμώσεων. Το δευτερογενές πορώδες οφείλεται στα διάκενα που δημιουργήθηκαν λόγω τεκτονισμού, αποσάθρωσης και διάλυσης. Υπάρχει η θεώρηση πως οι ψαμμίτες έχουν κυρίως διακοκκικό πορώδες αν και μπορούν να έχουν δευτερογενές πορώδες που προήλθε από τη διάλυση στερεών κόκκων, ενώ τα ανθρακικά πετρώματα συνήθως έχουν μόνο δευτερογενές πορώδες.

8.4.3 Ποροσιμετρία τύπου Boyle

Η μέθοδος της ποροσιμετρίας αποσκοπεί στον υπολογισμό της τιμής του πορώδους ενός πετρώματος. Αρχή της μεθόδου αποτελεί ο νόμος του Boyle, σύμφωνα με τον οποίο σε μια ισόθερμη εκτόνωση το γινόμενο του όγκου επί τη πίεση παραμένει σταθερό. Η διάταξη του οργάνου (Εικόνα 8.6) αποτελείται από το δοχείο V_R (cm^3) στο οποίο εισάγεται αέρας από την αντλία, το δοχείο V_S (cm^3) μέσα στο οποίο τοποθετείται το δοκίμιο που εξετάζεται, ένα μανόμετρο μέσω του οποίου μετράται η τιμή της πίεση πριν και μετά την ισόθερμη εκτόνωση του αέρα, μια αντλία κενού που απομακρύνει τον αέρα από το δοχείο V_S και 4 βαλβίδες που ρυθμίζουν τις ροές εντός των αγωγών του συστήματος.



Εικόνα 8.6: Διάταξη ποροσίμετρου (τύπου Boyle) (Γιώτης, 2021)

Εκμεταλλευόμενοι τον νόμου του Boyle επί της διάταξης του οργάνου με προσαρμοσμένο δοκίμιο στο σύστημα ισχύει για τη μεταβολή η Εξίσωση 8.5:

$$P_{initial} * V_R = P_{final} * (V_R + V_S - GV) \qquad \text{(Εξίσωση 8.5)}$$

Όπου:

$P_{initial}$: η αρχική τιμή της πίεσης πριν την μεταβολή

P_{final}: η τελική τιμή της πίεσης μετά τη μεταβολή

V_R: ο όγκος του δοχείου

V_S: ο όγκος του δοχείου που φιλοξενεί το δοκίμιο

GV: ο όγκος των κόκκων του δοκιμίου

Βρίσκοντας λοιπόν από την Εξίσωση 8.5 τον όγκο των κόκκων (GV) και υπολογίζοντας γεωμετρικά από τις διαστάσεις του δοκιμίου τον ολικό όγκο (BV) αξιοποιείτε η σχέση ολικού όγκου BV(Bulk volume) (Εξίσωση 8.6):

$$BV = GV + PV \qquad \text{(Εξίσωση 8.6)}$$

Με τον τρόπο αυτό απομένει ένας και μόνο άγνωστος στην Εξίσωση 8.6, αυτός του όγκου τον πόρων PV. Με την αντικατάσταση του PV στην Εξίσωση 3.1 λαμβάνουμε την επί τοις εκατό (%) τιμή του πορώδους του δοκιμίου.

8.4.4 Προετοιμασία δοκιμίων ποροσιμετρίας

Για την εύκολη διεξαγωγή των μεθόδων η προετοιμασία που έγινε προσάρμοσε το κριτήριο της κοπής του δείγματος σε επίπεδο παράλληλο προς το επίπεδο επίστρωσης του δείγματος (γεγονός που δεν επηρεάζει την ποροσιμετρία). Ο σκοπός ήταν να χρησιμοποιηθούν τα ίδια δοκίμια μετά τη μέθοδο της ποροσιμετρίας και στη μέθοδο προσδιορισμού της διαπερατότητας Klinkenberg. Η διαδικασία προετοιμασίας των δοκιμίων για τη μέθοδο της ποροσιμετρίας δεν διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από την προετοιμασίας αυτών για τη δοκιμή μονοαξονικής θλίψης. Η διαφορά έγκειται στη διάμετρο του πυρήνα που πρέπει να ληφθεί με τον πυρηνολήπτη (drill press) και στη διεύθυνση που πρέπει να ληφθεί ο πυρήνας από το δείγμα. Για το λόγω αυτό χρησιμοποιείται μικρότερης διαμέτρου ποτήρι (1in ή 25.4mm) και το δείγμα προσαρμόζεται κατάλληλα, ώστε να κοπεί παράλληλα προς το επίπεδο επίστρωσής του. Η διαδικασία λοιπόν αυτή ακολουθεί τα βήματα της παραγράφου 8.3.1. Τα δοκίμια που προκύπτουν περνάν ξήρανση, με σκοπό την απελευθέρωση των πόρων από νερό. Η τελική εικόνα ενός εκ των δοκιμίων αποδίδεται στην Εικόνα 8.7 ενώ συνολικά οι φωτογραφίες και οι διαστάσεις των δοκιμίων παραθέτονται στο Παράρτημα 4.

Εικόνα 8.7: Φωτογραφία δοκιμίου προς προσδιορισμό πορώδους από το δείγμα L3

8.4.5 Εφαρμογή της μεθόδου ποροσιμετρίας

Αρχικά η μέθοδος απαιτεί την βαθμονόμηση του οργάνου ποροσιμετρίας τύπου Boyle, σκοπός της βαθμονόμησης είναι η βέλτιστη προσαρμογή συνάρτησης συσχετισμού δύο μεταβλητών για δεδομένο πλήθος μετρήσεων που λαμβάνονται από το σύστημα του οργάνου. Η βαθμονόμηση εκτελείται με τη βοήθεια 9 σφαιρών γνωστής διαμέτρου (d=1/2 in.) και άρα γνωστού όγκου (V_b=0.524 in^3). Εκμεταλλευόμενοι και πάλι το νόμο του Boyle για το σύστημα στο οποίο σταδιακά προστίθενται σφαίρες ισχύει η Εξίσωση 8.7:

$$P_{initial} * V_R + P_0 * (V_S - \kappa * V_b) = P_{final} * (V_R + V_S - \kappa * V_b) \qquad \text{(Εξίσωση 8.7)}$$

Όπου:

$P_{initial}$: η αρχική τιμή της πίεσης πριν την μεταβολή στο δοχείο V_R

P_0: η αρχική τιμή της πίεσης πριν την μεταβολή στο δοχείο V_S

P_{final}: η τελική τιμή της πίεσης στο σύστημα μετά τη μεταβολή

V_R: ο όγκος του κενού δοχείου

V_S: ο όγκος του δοχείου που φιλοξενεί τις σφαίρες της βαθμονόμησης

V_b: ο όγκος μιας σφαίρας βαθμονόμησης

κ: φυσικός αριθμός που αντιπροσωπεύει τον αριθμό των σφαιρών εντός του δοχείου V_S (κ= 0 έως 9)

Κατά τη βαθμονόμηση εκτελούνται δέκα διαδοχικές μετρήσεις με διαδοχικά αυξανόμενο αριθμό σφαιρών κ. Τα βήματα της βαθμονόμησης με βάση τη διάταξη του οργάνου και ελέγχοντας τις ροές μέσω των βαλβίδων είναι τα εξής:

Δεδομένης αρχικής κατάστασης του συστήματος με βαλβίδες 1 και 4 κλειστές (Εικόνα 8.5) η διαδικασία προχωρά με

1. Άνοιγμα της βαλβίδας 3
2. Άνοιγμα του δοχείου V_S, τοποθέτηση των κ (0 έως 9) σφαιρών βαθμονόμησης
3. Κλείσιμο της βαλβίδας 3
4. Άνοιγμα της βαλβίδας 4 έως ότου επέλθει η επιθυμητή τιμή του κενού P_0
5. Κλείσιμο των βαλβίδων 2 και 4
6. Ομαλό άνοιγμα της βαλβίδας 1 που επιφέρει ταυτόχρονη αύξηση της πίεσης μέχρι τη τιμή αναφοράς $P_{initial}$. Σημειώνεται ότι σε περίπτωση υπέρβασης της πίεσης αναφοράς κλείνουμε την παροχή αέρα από τη βαλβίδα 1 και εκτονώνουμε ομαλά το δοχείο V_R μέσω της βαλβίδας 3 μέχρι την επιθυμητή $P_{initial}$.
7. Κλείσιμο των βαλβίδων 1 και 3
8. Άνοιγμα της βαλβίδας 2 και καταγραφή της πίεσης P_{final}

Οι μετρήσεις για τα δοκίμια ακολουθούν την ίδια διαδικασία με αυτή της βαθμονόμησης, ωστόσο αλλάζει η εφαρμογή του νόμου του Boyle. Η εξίσωση που περιγράφει συνολικά το σύστημα πριν και μετά την ισόθερμη εκτόνωση είναι η εξής:

$$P_{initial} * V_R + P_0 * (V_S - GV) = P_{final} * (V_R + V_S - GV) \quad \text{(Εξίσωση 8.8)}$$

Προσδιορίζοντας από την Εξίσωση 8.8 το GV είναι εύκολο μέσω της Εξίσωσης 8.6 να βρούμε την τιμή του πορώδους αφού ισοδύναμα ισχύει:

$$PV = BV - GV \qquad \text{(Εξίσωση 8.9)}$$

8.4.6 Αποτελέσματα ποροσιμετρίας

Τα αποτελέσματα που απέδωσε η εφαρμογή της μεθόδου για το κάθε δείγμα περιγράφονται στους παρακάτω πίνακες:

ΔΕΊΓΜΑ L1		
Διαστάσεις	Διάμετρος (mm)	25.4
	Ύψος (mm)	48.93
Βάρος	προ ξήρανσης (g)	38.1495
	μετά ξήρανσης (g)	38.1209
Πορώδες	43%	

Πίνακας 8.8: Αποτελέσματα ποροσιμετρίας για το ΔΕΙΓΜΑ L1

ΔΕΊΓΜΑ L2		
Διαστάσεις	Διάμετρος (mm)	25.4
	Ύψος (mm)	68.57
Βάρος	προ ξήρανσης (g)	50.5064
	μετά ξήρανσης (g)	50.4819
Πορώδες	45%	

Πίνακας 8.9: Αποτελέσματα ποροσιμετρίας για το ΔΕΙΓΜΑ L2

ΔΕΊΓΜΑ L3		
Διαστάσεις	Διάμετρος (mm)	25.4
	Ύψος (mm)	52.5
Βάρος	προ ξήρανσης (g)	50.0404
	μετά ξήρανσης (g)	50.0212
Πορώδες	29%	

Πίνακας 8.10: Αποτελέσματα ποροσιμετρίας για το ΔΕΙΓΜΑ L3

ΔΕΊΓΜΑ L4		
Διαστάσεις	Διάμετρος (mm)	25.4
	Ύψος (mm)	50.07
Βάρος	προ ξήρανσης (g)	36.984
	μετά ξήρανσης (g)	36.9609
Πορώδες	45%	

Πίνακας 8.11: Αποτελέσματα ποροσιμετρίας για το ΔΕΙΓΜΑ L4

ΔΕΊΓΜΑ L5		
Διαστάσεις	Διάμετρος (mm)	25.4
	Ύψος (mm)	51.11
Βάρος	προ ξήρανσης (g)	38.3997
	μετά ξήρανσης (g)	38.3817
Πορώδες	45%	

Πίνακας 8.12: Αποτελέσματα ποροσιμετρίας για το ΔΕΙΓΜΑ L5

ΔΕΊΓΜΑ L6		
Διαστάσεις	Διάμετρος (mm)	25.4
	Ύψος (mm)	41.04
Βάρος	προ ξήρανσης (g)	29.6263
	μετά ξήρανσης (g)	29.6145
Πορώδες	46%	

Πίνακας 8.13: Αποτελέσματα ποροσιμετρίας για το ΔΕΙΓΜΑ L6

8.5 Προσδιορισμός διαπερατότητας

8.5.1 Η έννοια της διαπερατότητας

Η διαπερατότητα ενός πορώδες μέσου αποτελεί μία από τις πλέον κύριες παραμέτρους για τον προσδιορισμό των δυνατοτήτων παραγωγής ενός κοιτάσματος. Σε αντίθεση με το πορώδες που αποτελεί μια στατική ιδιότητα του πετρώματος, η διαπερατότητα είναι δυναμική ιδιότητα και υπό αυτή την έννοια προσδιορίζεται πειραματικά μέσα από πειράματα ροής σε δείγματα πετρωμάτων.

Ο πρώτος που μελέτησε τη ροή νερού διαμέσου πορώδους μέσου ήταν ο Darcy το 1856, για αυτό και η μονάδα μέτρησης της διαπερατότητας φέρει το όνομα του. Στην πράξη συνήθως η διαπερατότητα μετράται σε millidarcies (mD). Ένα πέτρωμα με διαπερατότητα 1 darcy επιτρέπει 1 cm^3/sec ρευστού το οποίο έχει ιξώδες 1 centipoise (ιξώδες νερού στους 68^oF) διαμέσου 1 cm^2 της επιφάνειας του με πτώση της πίεσης 1 atm/cm. Το millidarcy (mD) ισούται με 0.001 darcy ενώ το microdarcy (μD) ισούται με 0,000001 darcy.

Η εξίσωση που ανέπτυξε ο Darcy μελετώντας τη ροή νερού διαμέσου μίας στήλης άμμου περιγράφεται ως εξής:

$$Q = \frac{k * A * \Delta p}{\mu * L}$$

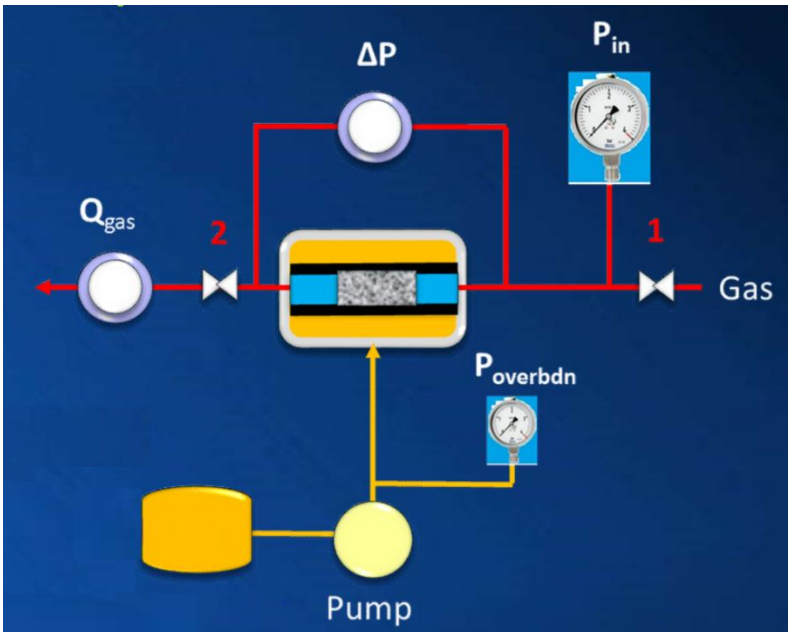
Όπου Q είναι η παροχή του ρευστού, k η διαπερατότητα, A η διατομή της ροής, ΔP η διαφορά πίεσης κατά μήκος δύο σημείων της ροής, μ το ιξώδες του ρευστού και L η απόσταση μεταξύ των σημείων όπου μετρήθηκαν οι πιέσεις. Λύνοντας την παραπάνω εξίσωση γνωρίζοντας όλες τις παραμέτρους πλην της διαπερατότητας λαμβάνεται η τιμή του k.

Η διαπερατότητα λοιπόν αποτελεί ιδιότητα του πετρώματος και σχετίζεται με την ικανότητα του, να άγει τα ρευστά. Το εύρος της διαπερατότητας που απαντάται σε πορώδη μέσα είναι μεγάλο και κυμαίνεται από 0.1 mD – 10D. Για την αξιολόγηση της τιμής της διαπερατότητας ενός πετρώματος-ταμιευτήρα προκύπτουν οι εξής χαρακτηρισμοί:

- Πολύ χαμηλή, για k < 1 mD
- Χαμηλή, 1 mD < k < 10 mD
- Μέτρια, 10 mD < k < 50 mD
- Μέση, 50 mD < k < 200 mD
- Καλή, 200 mD < k < 500 mD
- Πολύ καλή, 500 mD < k

8.5.2 Προσδιορισμός διαπερατότητας κατά Klinkenberg

Η μέθοδος για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας Klinkenberg των δοκιμίων της μελέτης αναπτύχθηκε πάνω στη διάταξη που παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.8.



Εικόνα 8.8: Διάταξη διαπερατόμετρου Hassler (Γιώτης, 2021)

Το βασικό στοιχείο της διάταξης είναι ο υποδοχέας Hassler (Εικόνα 8.9) που έχει την ικανότητα να ασκήσει εγκάρσια ακτινωτή πίεση στο δοκίμιο. Η πίεση αυτή με τον τρόπο που ασκείται προσομοιώνει την πίεση υπερκειμένων (overburden pressure) που μπορεί να υφίσταται σε ένα πέτρωμα δεδομένου του βάθους που βρίσκεται. Ο υποδοχέας αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- Ένα μεταλλικό κύλινδρο
- Δύο μεταλλικές βάσεις
- Ένα ελαστικό δακτύλιο

Το δοκίμιο που προσαρμόζεται στον υποδοχέα πρέπει να έχει διάμετρο μιας ίντσας και μήκος τουλάχιστον 5cm. Παράλληλα το δοκίμιο συγκρατείται από δύο κυλινδρικά κελύφη με οπές, μέσω των οποίων είναι δυνατή η διέλευση του αέρα. Ο κενός χώρος ανάμεσα στον ελαστικό δακτύλιο και τον εξωτερικό μεταλλικό κύλινδρο συνδέεται με την υδραυλική αντλία πίεσης (Pump, Εικόνα 8.8). Η αντλία αυτή χρησιμοποιεί υδραυλικό λάδι και ελέγχει την πίεση μεταξύ ελαστικού δακτυλίου και μεταλλικού κυλίνδρου. Η βέλτιστη πίεση του κενού χώρου που γεμίζει με λάδι προσαρμόζει

κατάλληλα το δοκίμιο εντός του ελαστικού και δεν επιτρέπει τη διέλευση αέρα ανάμεσα στο ελαστικό και το δοκίμιο παρά μόνο μέσα από το δοκίμιο.

Εικόνα 8.9: Φωτογραφία διαπερατόμετρου Hassler του εργαστηρίου ανάλυσης ρευστών και πυρήνων υπόγειων ταμιευτήρων (Βαρότσης, 2014)

Η μέθοδος βασίζεται στον προσδιορισμό της διαπερατότητας σε αέριο μέσω του νόμου του Darcy για οριζόντια ροή:

$$Q = \frac{k*A*\Delta p}{\mu*L} \quad \text{(Εξίσωση 8.10)}$$

Όπου:

Q: η παροχή του ρευστού (τυπικά για την εφαρμογή στο εργαστήριο mL/min)

A: η διατομή της ροής (cm^2)

Δp: η διαφορά πίεσης (p_1-p_2) δύο σημείων κατά μήκος της ροής (atm)

μ: το ιξώδες του ρευστού (cP)

k: η διαπερατότητα του μέσου (D)

L: η απόσταση μεταξύ των σημείων που μετρήθηκαν οι πιέσεις (cm)

Ωστόσο η μέθοδος παίρνει το όνομα της από το φαινόμενο Klinkenberg. Η διαπερατότητα σε αέριο ενός δοκιμίου διαφέρει ανάλογα με το μοριακό βάρος του αερίου και της πίεση που εφαρμόζεται σε αυτό. Η μέτρηση της διαπερατότητας με αέριο δίνει διαφορετικά αποτελέσματα από την αντίστοιχη με υγρό λόγω του φαινομένου “wall-slip effect”. Ο Klinkenberg όρισε τη σχέση μεταξύ της διαπερατότητας σε υγρό (k_L) και της διαπερατότητας σε αέριο (k_g) ως εξής:

$$k_L = \frac{k_g}{1+\frac{b}{p}} \qquad \text{(Εξίσωση 8.11)}$$

Όπου:

k_L: διαπερατότητα σε υγρό (mD)

k_g: διαπερατότητα σε αέριο (mD)

p: η μέση πίεση (atm)

b: σταθερά για συγκεκριμένο αέριο δεμένου πετρώματος (atm)

Η διόρθωση Klinkenberg είναι αρκετά σημαντική για πετρώματα χαμηλής διαπερατότητας και λιγότερο ή καθόλου σημαντική για πετρώματα υψηλής διαπερατότητας. Η τιμή k_L που λαμβάνεται από την Εξίσωση 8.11 αντιπροσωπεύει την τιμή της διαπερατότητας σε αέριο σε άπειρη πίεση ή την τιμή της διαπερατότητας σε υγρό το οποίο δεν αντιδρά με τα ορυκτά που περιέχονται στο πέτρωμα ("Corrections to core measurements of permeability - PetroWiki", 2021).

8.5.3 <u>Προετοιμασία δοκιμίων διαπερατότητας Klinkenberg</u>

Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στην μέθοδο αυτή, είναι τα ίδια δείγματα με τη μέθοδο της ποροσιμετρίας, όπως προαναφέρθηκε στη παράγραφο 8.4.1. Η μέθοδος της ποροσιμετρίας δεν αποτελεί καταστρεπτική μέθοδο, οπότε και δίνεται η ικανότητα να χρησιμοποιηθούν οι ίδιοι πυρήνες τόσο στη ποροσιμετρία όσο και στη διαπερατότητα Klinkenberg.

8.5.4 <u>Εφαρμογή της μεθόδου διαπερατότητας Klinkenberg</u>

Το ρευστό που χρησιμοποιήθηκε στη μέθοδο αυτή είναι ατμοσφαιρικός αέρας. Κατά την εφαρμογή και λόγω της μαλακής φύσης των δοκιμίων η πίεση υπερκειμένων (υδραυλικό λάδι) ορίστηκε στα 50 bar, ώστε να αποφευχθεί η καταστροφή τους. Αφού αρχικά έχουν προσδιοριστεί οι διαστάσεις των δοκιμίων (Παράρτημα 4). Τα βήματα που ακολουθήθηκαν στη μέθοδο αυτή στη διάταξη της Εικόνας 8.8 είναι τα εξής:

Δεδομένης αρχικής κατάστασης στο σύστημα κατά την οποία η βαλβίδα 1 είναι κλειστή και η βαλβίδα 2 είναι ανοικτή, η διαδικασία προχωρά με

1. Άνοιγμα του πυρηνολήπτη και τοποθέτηση του πυρήνα
2. Σύνδεση των άκρων του πυρηνολήπτη με κατάλληλο τρόπο, ώστε να εφάπτονται του πυρήνα και κλείσιμο του πυρηνολήπτη
3. Εισπιέζεται περιμετρικά του ελαστικού σωλήνα υδραυλικό λάδι μέσω της αντλίας μέχρι η πίεση υπερκειμένων ($P_{overbdn}$) να αυξηθεί στα 50 bar

4. Άνοιγμα της βαλβίδας 1
5. Ρύθμιση της βαλβίδας 2 ώστε η παροχή αέρα να είναι 70 ml/min και καταγραφή των τιμών ΔP και P_{in}
6. Το βήμα 5 επαναλαμβάνεται αυξάνοντας την παροχή αέρα έως τα 450 ml/min με τα βήματα όπως αναγράφονται στον Πίνακα 8.14, ρυθμίζοντας τη βαλβίδα 2

Παροχή (ml/min)	
Q_1	70
Q_2	150
Q_3	240
Q_4	330
Q_5	450

Πίνακας 8.14: Η ακολουθία παροχών που εφαρμόστηκε στον προσδιορισμό της διαπερατότητας Klinkenberg

Έχοντας λάβει από τη διαδικασία τα ΔP και γνωρίζοντας όλες τις άλλες παραμέτρους της Εξίσωσης 8.10 υπολογίζεται η τιμή του k αντίστοιχου k_g αφού χρησιμοποιείται αέριο και στη συνέχεια υπολογίζεται η διαπερατότητα Klinkenberg από την Εξίσωση 8.11.

8.5.5 Αποτελέσματα διαπερατότητας Klinkenberg

Οι τιμές της διαπερατότητας σε ατμοσφαιρικό αέρα και αντίστοιχα οι τιμές της διαπερατότητας σε υγρό από την διόρθωση Klinkenberg παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 8.15.

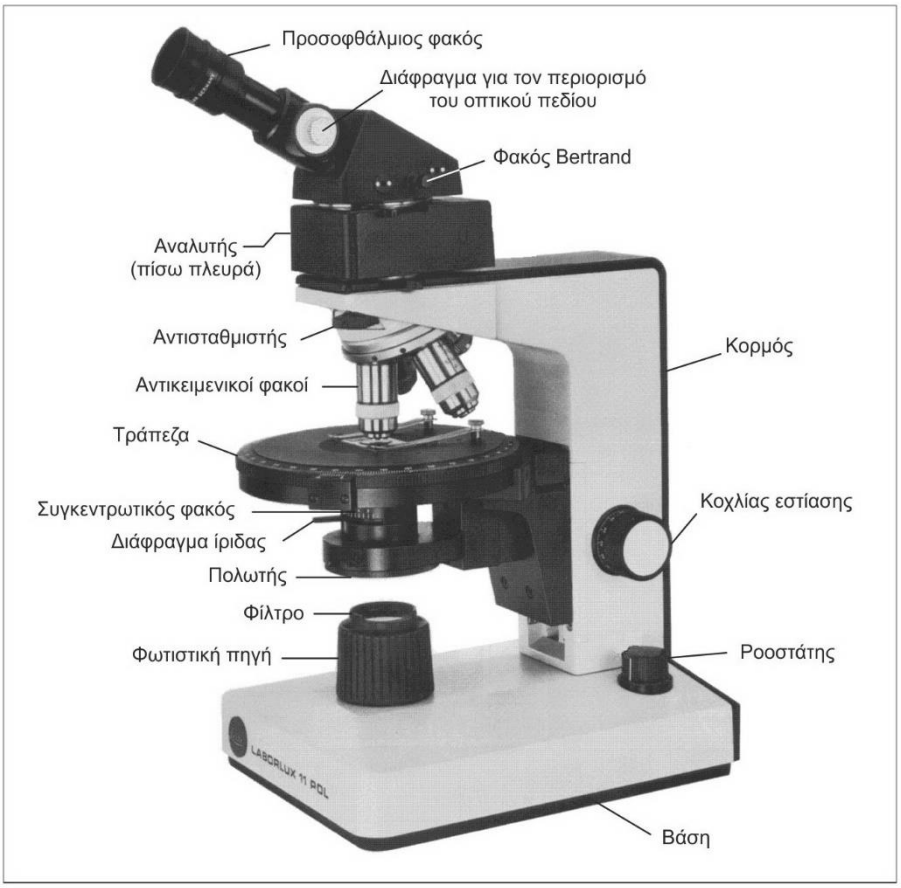
	k_g (Darcy), **k_L** (milliDarcy)
ΔΕΙΓΜΑ L1	k_g=17
	k_L=586
ΔΕΙΓΜΑ L2	k_g=23
	k_L=782
ΔΕΙΓΜΑ L3	k_g=18
	k_L=629
ΔΕΙΓΜΑ L4	k_g=16
	k_L=600
ΔΕΙΓΜΑ L5	k_g=17
	k_L=6
ΔΕΙΓΜΑ L6	k_g=15
	k_L=512

Πίνακας 8.15: Διαπερατότητες δειγμάτων σε αέριο k_g (ατμοσφαιρικό αέρα) και διαπερατότητες Klinkenberg k_L

8.6 Μικροσκοπική ανάλυση δειγμάτων μελέτης και δειγμάτων Νεωρίων

Η παρατήρηση και η καταγραφή των χαρακτηριστικών των λεπτών τομών που γίνονται εμφανή με τη μικροσκοπία διερχόμενου φωτός, αποτελεί σημαντικό κομμάτι της αναγνώριση και της κατηγοριοποίησης ενός πετρώματα. Επιπλέον καθιστά πιο σαφείς τις διαφορές μεταξύ δύο δειγμάτων ακόμα και όταν αυτά φαίνονται μακροσκοπικά πανομοιότυπα.

Η λειτουργία του μικροσκοπίου βασίζεται στις ιδιότητες της ηλεκτρονιακής δέσμης καθώς και των φαινομένων που προκαλεί η πρόσπτωση ηλεκτρονίων πάνω στο δείγμα.



Εικόνα 8.10: Πολωτικό μικροσκόπιο ("Πολωτικό μικροσκόπιο", 2021)

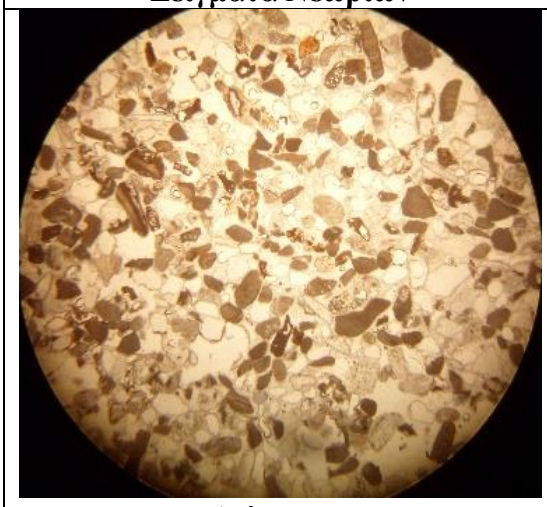
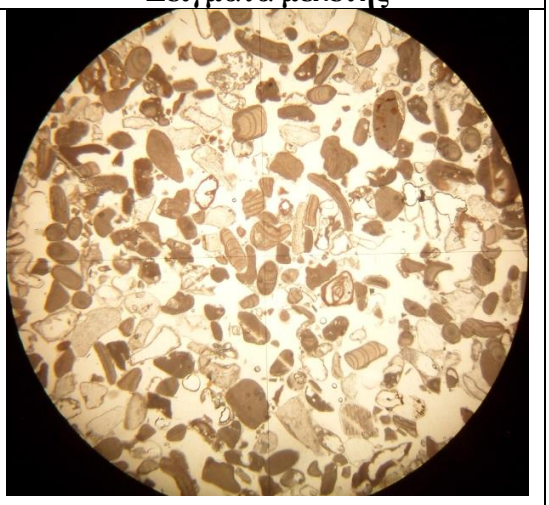
Βασικό μέρος της προετοιμασίας για την ανάλυση των δειγμάτων είναι η προετοιμασία των λεπτών τομών. Οι λεπτές τομές απαιτούν συγκεκριμένη διαχείριση του αρχικού υλικού. Για να παραχθεί μια λεπτή τομή απαιτείται εκτός του κατάλληλου εξοπλισμού και ειδικά εκπαιδευμένο τεχνικό προσωπικό. Για το λόγο αυτό τα δείγματα (βλ. Παράγραφο 7.3) στάλθηκαν στην Ε.Α.Γ.Μ.Ε (Ελληνική Αρχή Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών) στην Αθήνα, με σκοπό την κατασκευή των αντίστοιχων λεπτών τομών αυτών.

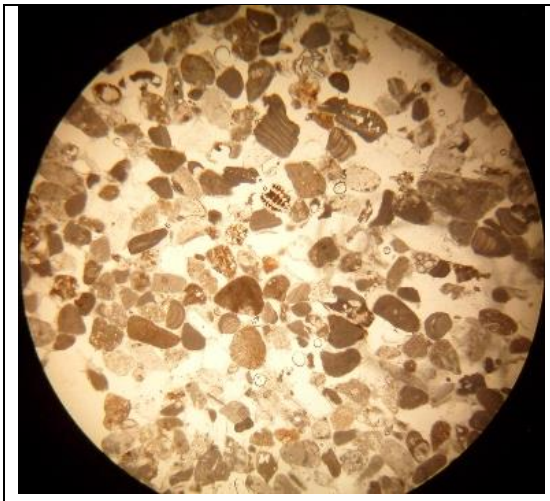
Οι λεπτές τομές αντιπροσωπεύουν τομές σύνθετων τομών στις τρείς διαστάσεις. Η αποτύπωση αυτή δεν είναι πάντα απόλυτα σωστή και επηρεάζεται έντονα από τον τρόπο κοπής των δειγμάτων, τις ρητίνες που κολλούν το δείγμα στην αντικειμενοφόρο πλάκα και τα υπόλοιπα μέσα της παραγωγικής διαδικασίας. Ορισμένα από τα στοιχεία που εξαρτώνται άμεσα από τον προσανατολισμό της τομής είναι το μέγεθος και το σχήμα των κρυστάλλων και των ορυκτών, το σχήμα ων εγκλεισμάτων, το σχήμα κυλινδρικών αντικειμένων, το πάχος ενός στρωματιδίου, η γωνία των σκελών μη-κυλινδρικών πτυχών, διδυμίες και σχισμοί κρυστάλλων, γραμμώσεις φυλλωδών ορυκτών, η επαφή κρυστάλλων διαφορετικών φάσεων και το σχήμα πολύπλοκων ορίων κρυστάλλων.

Η εξέταση των λεπτών τομών έγινε χωρίς την παρεμβολή του αναλυτή των ακτίνων, όπου και μπορούν να παρατηρηθούν οι παρακάτω ιδιότητες:

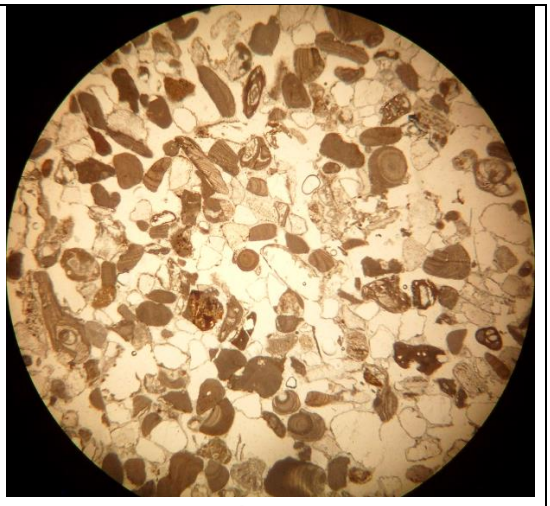
- Διαφάνεια
- Σχήμα της τομής
- Σχισμός
- Χρώμα
- Πλεοχρωισμός
- Εκτίμηση του δείκτη διάθλασης
- Εξαλλοιώσεις

<u>Φωτογραφίες μικροσκοπίου</u>

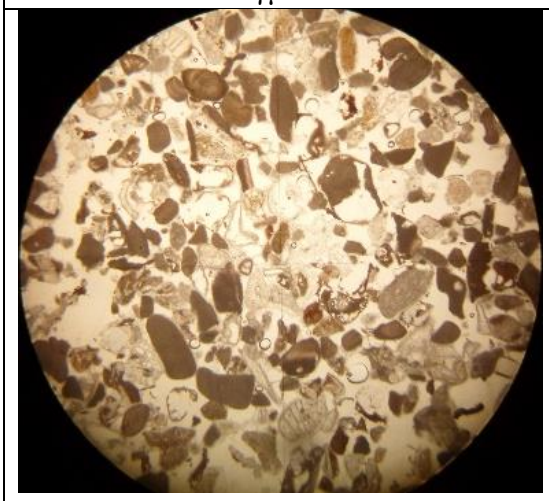
Δείγματα Νεωρίων	**Δείγματα μελέτης**
	
Δείγμα N1	Δείγμα L1



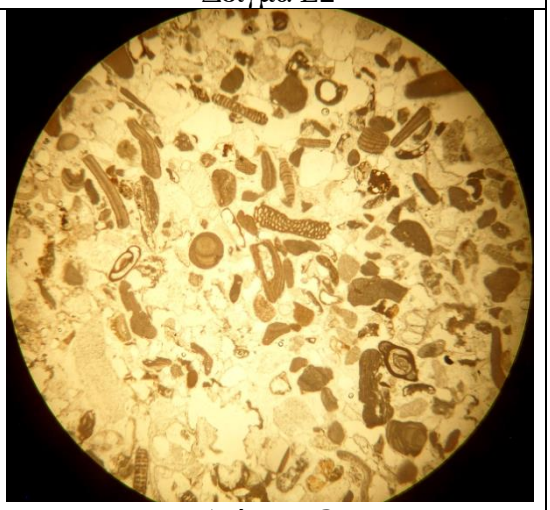
Δείγμα N2



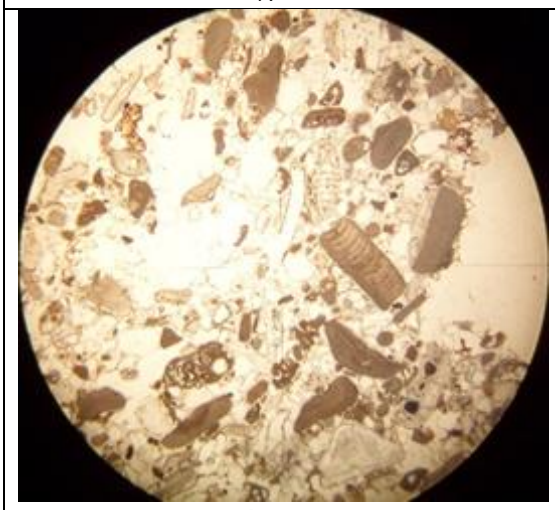
Δείγμα L2



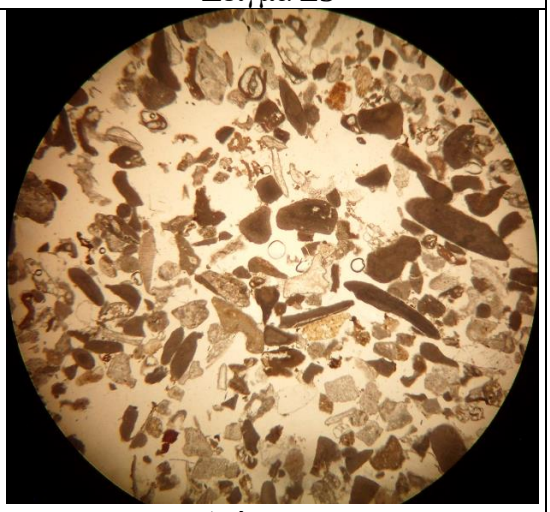
Δείγμα N3



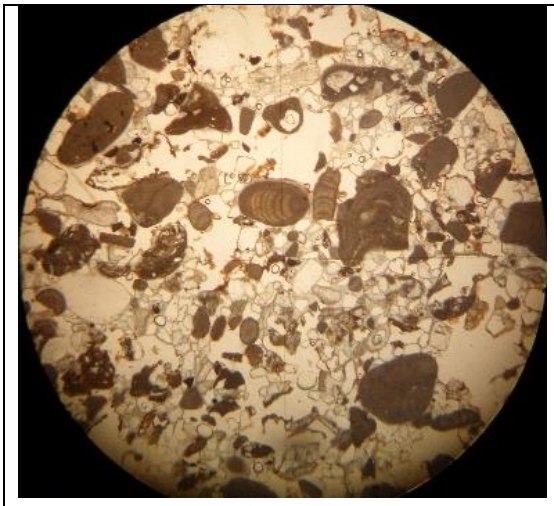
Δείγμα L3



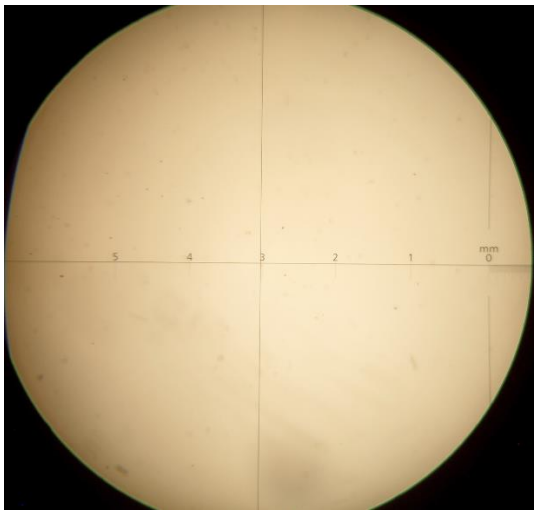
Δείγμα N4



Δείγμα L4

	
Δείγμα N5	Δείγμα L5

Πίνακας 8.16: Φωτογραφίες λεπτών τομών των δειγμάτων



Εικόνα 8.11: Κλίμακα λεπτών τομών

Οι λεπτές τομές των δειγμάτων των Νεωρίων παρουσιάζουν παρόμοια εικόνα με αυτή των δειγμάτων που συλλέχθηκαν και ειδικότερα στα δείγματα L1, L3, L4 και L5 με απολιθώματα και θραύσματα απολιθωμάτων. Ωστόσο σε όλες τις τομές των Νεωρίων παρατηρείται προχωρημένη ασβεστιτική τσιμεντοποίηση σε σχέση με τα βασικά δείγματα της μελέτης. Το γεγονός αυτό πιθανώς να καταδεικνύει την νεότερη ηλικία των πετρωμάτων των ομάδων L1, L3, L4 και L5**. Κανένα δείγμα ωστόσο δεν παρουσιάζει ολοκληρωμένη τσιμεντοποίηση.**

Οι τομές των δειγμάτων L1, L3, L4, L5 κυριαρχούνται από την ομάδα των τρηματοφόρων. Παρουσιάζονται λίγα ολόκληρα απολιθώματα, αλλά ως επί το πλείστον παρατηρούνται θραύσματα αυτών των οργανισμών.

Επιπλέον τα υλικά των δειγμάτων αυτών όπως φαίνεται και στις τομές έχουν παρόμοια μεγέθη, άρα το υλικό είναι καλά ταξινομημένο και παρουσιάζουν μια σχετική μετα-αποθετική ομοιογένεια. Παρατηρώντας λεπτομερώς τις τομές πολλά τεμάχη έχουν ίδιο προσανατολισμό. Το γεγονός αυτό αποτελεί άλλο ένα βασικό κριτήριο για την αναγνώριση των αιολιανιτών όπως έχει παρουσιαστεί και από τους Frébourg et al. (2008).

Κεφάλαιο 9: Συζήτηση

9.1 Σύγκριση με παλαιότερα στοιχεία της βιβλιογραφίας

Σε μια μελέτη πάντα τίθεται το ζήτημα της σύγκρισης των αποτελεσμάτων με άλλα γνωστά στοιχεία της βιβλιογραφίας. Το γεγονός αυτό αποτελεί πολλές φορές βήμα για την αξιολόγηση των δεδομένων που λαμβάνονται μετά το πέρας των μεθόδων που αναπτύσσονται στα πλαίσια της έρευνας. Από την άλλη δεν είναι λίγες οι φορές που η σύγκριση αυτή, δεδομένων των συνθηκών και των παραμέτρων που διαφοροποιούνται (εσκεμμένα ή μη) σε κάθε έρευνα, καθιστά εμφανείς κρίσιμες διαφορές για την αντικειμενική απόδοση της πραγματικότητας. Ακόμα και η ταύτιση των δεδομένων μεταξύ δύο ή περισσοτέρων ερευνών μπορεί να αποδώσει την πραγματικότητα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ταύτισης δεδομένων και απόδοσης της εικόνας της πραγματικότητας είναι και οι χρόνοι απόθεσης των αιολιανιτών και η παγκόσμια κατανομή αυτών (βλ. Παράγραφο 4.1 & 4.2).

Έτσι η παρούσα μελέτη θα συγκριθεί σε αυτό το κεφάλαιο με τις παρακάτω δύο μελέτες:

- «Μελέτη των δομικών λίθων του λιμενοβραχίονα Χανίων και αναζήτηση των χώρων εκλατόμευσης τους» του κ. Γεωργίου Θ. Στεφανογιάννη (1995)
- «Μελέτη φυσικών και χημικών ιδιοτήτων δομικών λίθων των Νεωρίων Χανίων και αναζήτηση των χώρων εκλατόμευσης των» του κ. Δημήτριου Γ. Παππά (1996)

Η σύγκριση θα γίνει σε επίπεδο μακροσκοπικών και μικροσκοπικών χαρακτηριστικών, ορυκτολογικής σύστασης και πορώδους των δειγμάτων. Η ανάλυση αυτή θα επικεντρωθεί στα σημεία των μελετών που προσδιόρισαν με τις μεθόδους που ανέπτυξαν τα ίδια φυσικοχημικά χαρακτηρίστηκα-μεγέθη των εκάστοτε δειγμάτων.

Η αντιστοιχία στον αριθμό των δειγμάτων μεταξύ όλων των μελετών δεν είναι 1 προς 1, οπότε στη παρακάτω παράγραφο του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν ομαδοποιημένα δεδομένα με συγκεκριμένα παραδείγματα. Με την έννοια των δειγμάτων όπως παρουσιάστηκαν στη Παράγραφο 7.3 θα γίνεται η αναφορά και η σύγκριση των δειγμάτων της μελέτης αυτής ανεξαρτήτως με το πόσα δοκίμια ή άλλα τμήματα αυτών έχουν αξιοποιηθεί στις μεθόδους της μελέτης. Τα δείγματα δηλαδή της παρούσας μελέτης θα αξιολογηθούν συνολικά, όπως συλλέχθηκε το καθένα.

9.2 Σύγκριση μικροσκοπικών-μακροσκοπικών χαρακτηριστικών

Οι μελέτες των Στεφανογιάννη (1995) και Παππά (1996) αντίστοιχα κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι, για τις κατασκευές των Νεωρίων και του λιμενοβραχίονα Χανίων χρησιμοποιήθηκαν δομικοί λίθοι, που αποτελούνται κυρίως από βιοκλαστικούς ασβεστολίθους και ασβεστιτικούς ψαμμίτες. Υπενθυμίζεται ότι οι κατασκευές εξετάζονται αφού πάντα τίθεται το ζήτημα της προέλευσης (θέση εκλατόμευσης) της πρώτης ύλης, η οποία είναι ο πωρόλιθος στη περίπτωση αυτή.

Πιο συγκεκριμένα συνολικά οι κατηγορίες των δομικών λίθων που παρουσιάζονται στις μελέτες είναι οι εξής:

- **Κατηγορία α:** Βιοκλαστικοί μικριτικοί ασβεστόλιθοι

- **Κατηγορία β:** Βιοκλαστικοί ασβεστόλιθοι
- **Κατηγορία γ:** Ασβεστιτικοί ψαμμίτες
- **Κατηγορία δ:** Απολιθωματοφόροι μικριτικοί ασβεστόλιθοι

Κατηγορία α: η κατηγορία αυτή αποτελείται από τους δομικούς λίθους που μακροσκοπικά εμφανίζουν χρώμα υποκίτρινο έως λευκοκίτρινο. Μικροσκοπικά η κύρια μάζα αποτελείται από μικριτικό ασβεστίτη με λίγους μικρούς κλαστικούς κόκκους χαλαζία. Το πορώδες που παρουσιάζουν τα δείγματα της κατηγορίας αυτής είναι υψηλό.

Κατηγορία β: η κατηγορία αποτελείται από πορώδεις καλκαρενίτες, το χρώμα που περιγράφεται είναι υποκίτρινο, κιτρινόφαιο έως καστανόφαιο. Συνολικά από τις μελέτες το εύρος του μεγέθους των κόκκων που παρουσιάζεται είναι μεταξύ 0.25 έως 1.5mm. Μικροσκοπικά εμφανίζεται η βιογενής σύσταση που αποτελείται από απολιθώματα ή θραύσματα αυτών. Η κύρια μάζα αποτελείται από μικριτικό ασβεστίτη και τα κελύφη των απολιθωμάτων πληρούνται από μικροσπαριτικό ασβεστίτη. Το πορώδες είναι υψηλό και παρατηρείται εντός των απολιθωμάτων, αλλά κυρίως στα μεταξύ διαστήματα αυτών.

Κατηγορία γ: η κατηγορία αυτή αποτελείται από ασβεστιτικούς ψαμμίτες με χρώμα κιτρινόφαιο έως καστανόφαιο. Το μέγεθος των κόκκων κυμαίνεται από 0.5 έως 1.5mm. Μικροσκοπικά τα συστατικά μέρη είναι βιογενή και αποτελούνται από απολιθώματα και θραύσματα αυτών που είναι συνδεδεμένα με μικριτικό ασβεστίτη. **Η μελέτες διαφοροποιούνται σε αυτή τη κατηγορία αφού τα δείγματα του λιμενοβραχίονα παρουσιάζουν μικρό πορώδες ενώ των Νεωρίων υψηλό.**

Κατηγορία δ: η κατηγορία αποτελείται από δομικούς λίθους που μακροσκοπικά εμφανίζουν χρώμα υποκίτρινο έως λευκοκίτρινο και φαίνεται να είναι αρκετά συμπαγείς. Μικροσκοπικά εμφανίζονται να αποτελούνται από μια κύρια μικριτική ασβεστιτική μάζα με πολύ λίγους κλαστικούς κόκκους χαλαζία.

Συνοψίζοντας τις μελέτες γύρω από τις τέσσερεις αυτές κατηγορίες, η μελέτη του Στεφανογιάννη (1995) με συνολικό αριθμό δειγμάτων 12 για το λιμενοβραχίονα έδειξε ότι:

- **4 δείγματα** του **λιμενοβραχίονα** βρίσκονταν εντός της **Κατηγορίας α**
- **4 δείγματα** του **λιμενοβραχίονα** βρίσκονταν εντός της **Κατηγορίας β**
- **4 δείγματα** του **λιμενοβραχίονα** βρίσκονταν εντός της **Κατηγορίας γ**

Ενώ η μελέτη του Παππά (1996) με συνολικό αριθμό δειγμάτων 10 για τα Νεώρια έδειξε:

- **1 δείγμα** των **Νεωρίων** βρίσκονταν εντός της **Κατηγορίας δ**
- **6 δείγματα** των **Νεωρίων** βρίσκονταν εντός της **Κατηγορίας β**
- **3 δείγματα** των **Νεωρίων** βρίσκονταν εντός της **Κατηγορίας γ**

Περαιτέρω και οι δύο μελέτες εξέτασαν δείγματα από το λατομείο του Σταυρού, ενώ η μελέτη του Παππά (1996) εξέτασε δείγματα από τους Αγίους Αποστόλους και τα σύγκρινε με τα δεδομένα του Σταυρού. Συμπέρασμα της σύγκρισης είναι πως τα δείγματα του Σταυρού Ακρωτηρίου και των Αγίων Αποστόλων

παρουσιάζουν ίδια ορυκτολογική και πετρογραφική σύσταση. Ενώ επιπλέον κατέληξε και στο συμπέρασμα πως οι χώροι εκλατόμευσης των δομικών λίθων των Νεωρίων βρίσκονται στις περιοχές του Σταυρού και των Αγίων Αποστόλων.

Η μελέτη του Στεφανογιάννη (1995) με 3 δείγματα από το Σταυρό που εξετάστηκαν ως προς τα μακροσκοπικά, ορυκτολογικά κθαι πετρογραφικά τους χαρακτηριστικά αλλά και τη χημική τους σύσταση κατηγοριοποίησε τα δείγματα ως εξής:

- **3 δείγματα** από το **λατομείο του Σταυρού** εντός της **Κατηγορίας α**

Ενώ **η μελέτη του Παππά (1996)** με **3 δείγματα από το ίδιο λατομείο τα κατέταξε στην κατηγορία β**. Τα **3 δείγματα** των **Αγίων Αποστόλων** στην ίδια μελέτη κατατάχθηκαν στη **Κατηγορία β**.

Κατηγοριοποιώντας τα δείγματα της παρούσας μελέτης με βάση τις παραπάνω κατηγορίες:

- **4 δείγματα** (L1, L3, L4, L5) θα ταίριαζαν κατά κύριο λόγο στην **Κατηγορία γ** των ασβεστιτικών ψαμμιτών. **Βασική διαφορά** στη περίπτωση των δειγμάτων της παρούσας μελέτης όλα τα στοιχεία δείχνουν πως τα πετρώματα από τα οποία συλλέχθηκαν τα δείγματα έχουν αιολική προέλευση και άρα αποτελούν δείγματα αιολιανίτη.
- **2 δείγματα** (L2, L6) **δεν θα μπορούσαν να κατηγοριοποιηθούν** βάσει των παραπάνω. Το δείγμα L2 αποτελείται κατά κύριο λόγο από δολομίτη, ενώ το δείγμα L6 παρουσιάζει μικτή σύσταση δολομίτη, ασβεστίτη, χαλαζία και μικρή ποσότητα σε μοσχοβίτη.

9.3 Σύγκριση μηχανικών ιδιοτήτων

Εκτός των μακροσκοπικών, ορυκτολογικών και πετρογραφικών χαρακτηριστικών οι μελέτες ερεύνησαν και τις μηχανικές ιδιότητες δειγμάτων από το λατομείο των Αγίων Αποστόλων και του Σταυρού.

Πιο αναλυτικά, η μελέτη του κ. Γεωργίου Θ. Στεφανογιάννη (1995) παραθέτει 6 δοκίμια τα οποία αποσπάστηκαν από δείγματα του λατομείου του Σταυρού. Σε αυτά τα δοκίμια έγινε δοκιμή μονοαξονικής θλίψης. Ενώ η μελέτη του κ. Δημήτριου Γ. Παππά (1996) έκανε την ίδια δοκιμή σε 4 δοκίμια, που αποσπάστηκαν από δείγματα του λατομείου των Αγίων Αποστόλων.

Σημειώνεται ότι αν και κανονικά η σύγκριση των μηχανικών ιδιοτήτων θα έπρεπε να χρησιμοποιεί ανηγμένες τιμές σε ίδιο-σταθερό λόγο ύψους-διαμέτρου, L/D (βλ. Παράγραφο 8.3), εδώ θα παρουσιαστεί σύγκριση απλών C_0, αφού οι ανηγμένες τιμές και οι διαστάσεις των δοκιμίων δεν αναφέρονται στη προαναφερθείσα βιβλιογραφία. Επιπλέον οι μελέτες φαίνεται να χρησιμοποιούν το μέσο μέτρο ελαστικότητας E.

Οι διαφορές λοιπόν βάσει των δεδομένων που καταγράφονται στις δύο παλαιότερες μελέτες που παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα 7 είναι οι εξής:

- **Τα δείγματα** του **λατομείου Σταυρού** παρουσιάζουν μέση τιμή αντοχής μονοαξονικής θλίψης $\boldsymbol{\bar{C}_0 = 10.63(MPa)}$ και μέση τιμή για το μέτρο ελαστικότητας $\boldsymbol{\bar{E} = 7.62(GPa)}$.
- **Τα δείγματα** του **λατομείου Αγίων Αποστόλων** παρουσιάζουν μέση τιμή αντοχής μονοαξονικής θλίψης $\boldsymbol{\bar{C}_0 = 11.72(MPa)}$ και μέση τιμή για το μέτρο ελαστικότητας $\boldsymbol{\bar{E} = 6.75(GPa)}$.

Τα δείγματα της παρούσας μελέτης παρουσιάζουν διαφορετικές αντοχές και μέτρα ελαστικότητας. Συγκεκριμένα για την κάθε ομάδα δείγματος:

- **Ομάδα L1:** $\bar{C}_0 = 5.33(MPa)$, $\bar{E} = 1.60(GPa)$ (δεν συνυπολογίστηκε το δοκίμιο L1.3, καθώς οι τιμές που παρουσιάζει δεν συμπίπτουν με αυτές των υπόλοιπων δοκιμίων της ομάδας).
- **Ομάδα L2:** $\bar{C}_0 = 5.03(MPa)$, $\bar{E} = 1.36(GPa)$.
- **Ομάδα L3:** $\bar{C}_0 = 5.10(MPa)$, $\bar{E} = 1.39(GPa)$.
- **Ομάδα L4:** $\bar{C}_0 = 2.85(MPa)$, $\bar{E} = 1.11(GPa)$.
- **Ομάδα L5:** $C_0 = 6.01(MPa)$, $E = 1.21(GPa)$ (μετρήσεις από ένα δοκίμιο).

Κεφάλαιο 10: Συμπεράσματα

Συγκεντρώνοντας τα αποτελέσματα βάσει των φυσικών χαρακτηριστικών των ομάδων δειγμάτων που αποκτήθηκαν από την ολοκλήρωση των εργαστηριακών μεθόδων σε συνδυασμό με το θεωρητικό υπόβαθρο και τη κατηγοριοποίηση των δειγμάτων η εικόνα που παρουσιάζεται για κάθε δείγμα είναι η εξής:

ΔΕΙΓΜΑ L1					
Φυσικά χαρακτηριστικά δείγματος					
$\bar{C}_0$(MPa)	$\bar{C}_1$(MPa)	$\bar{C}_2$(MPa)	$\bar{E}$ (GPa)	φ (%)	k_L (mD)
5.33	6.15	3.55	1.60	43	586
Συμπεράσματα και σχολιασμός δείγματος					
Πρόκειται για δείγμα βιοκλαστικού ψαμμίτη μεγάλης ασβεστιτικής σύστασης (80+ %). Το χρώμα είναι καστανόφαιο. Το πορώδες του δείγματος είναι πολύ καλό και η διαπερατότητα πολύ καλή. Η ταξινόμηση βάση του ιστού απόθεσης τοποθετεί το δείγμα στη κατηγορία aeolian grainstone.					

Πίνακας 10.1: Πλήρης καταγραφή φυσικών χαρακτηριστικών και ταξινόμησης Δείγματος L1.

ΔΕΙΓΜΑ L2					
Φυσικά χαρακτηριστικά δείγματος					
$\bar{C}_0$(MPa)	$\bar{C}_1$(MPa)	$\bar{C}_2$(MPa)	$\bar{E}$ (GPa)	φ (%)	k_L (mD)
5.03	5.80	3.37	1.36	45	782
Συμπεράσματα και σχολιασμός δείγματος					
Πρόκειται για δείγμα βιοκλαστικού δολομιταρενίτη (σύσταση στο ορυκτό του δολομίτη 90+ %). Το χρώμα είναι λευκοκίτρινο-αχυρόχρωμο. Το πορώδες του δείγματος είναι πολύ καλό και η διαπερατότητα πολύ καλή. Η ταξινόμηση βάση του ιστού απόθεσης τοποθετεί το δείγμα στη κατηγορία aeolian grainstone					

Πίνακας 10.2: Πλήρης καταγραφή φυσικών χαρακτηριστικών και ταξινόμησης Δείγματος L2.

ΔΕΙΓΜΑ L3					
Φυσικά χαρακτηριστικά δείγματος					
$\bar{C}_0$(MPa)	$\bar{C}_1$(MPa)	$\bar{C}_2$(MPa)	$\bar{E}$ (GPa)	φ (%)	k_L (mD)
5.10	5.88	3.40	1.39	29	629
Συμπεράσματα και σχολιασμός δείγματος					
Πρόκειται για δείγμα βιοκλαστικού ψαμμίτη μεσαίας ασβεστιτικής σύστασης (65-75 %). Το χρώμα είναι καστανόφαιο έως λευκοκάστανο, υποκίτρινο. Το πορώδες του δείγματος είναι καλό και η διαπερατότητα πολύ καλή. Η ταξινόμηση βάση του ιστού απόθεσης τοποθετεί το δείγμα στη κατηγορία aeolian grainstone.					

Πίνακας 10.3: Πλήρης καταγραφή φυσικών χαρακτηριστικών και ταξινόμησης Δείγματος L3.

ΔΕΙΓΜΑ L4					
Φυσικά χαρακτηριστικά δείγματος					
$\bar{C}_0$(MPa)	$\bar{C}_1$(MPa)	$\bar{C}_2$(MPa)	$\bar{E}$ (GPa)	φ (%)	k_L (mD)
2.85	3.28	1.91	1.11	45	600
Συμπεράσματα και σχολιασμός δείγματος					
Πρόκειται για δείγμα βιοκλαστικού ψαμμίτη υψηλής ασβεστιτικής σύστασης (95+ %). Το χρώμα είναι αχυρόχρωμο, λευκοκίτρινο. Το πορώδες του δείγματος είναι πολύ καλό και η διαπερατότητα πολύ καλή. Η ταξινόμηση βάση του ιστού απόθεσης τοποθετεί το δείγμα στη κατηγορία aeolian grainstone.					

Πίνακας 10.4: Πλήρης καταγραφή φυσικών χαρακτηριστικών και ταξινόμησης Δείγματος L4.

ΔΕΙΓΜΑ L5					
Φυσικά χαρακτηριστικά δείγματος					
C_0(MPa)	C_1(MPa)	C_2(MPa)	$\bar{E}$ (GPa)	φ (%)	k_L (mD)
6.01	6.62	4.62	1.21	45	6
Συμπεράσματα και σχολιασμός δείγματος					
Πρόκειται για δείγμα βιοκλαστικού ψαμμίτη μεγάλης ασβεστιτικής σύστασης (80+ %). Το χρώμα είναι σκούρο φαιό. Το πορώδες του δείγματος είναι πολύ καλό και η διαπερατότητα χαμηλή. Η αντιφατική εικόνα μεταξύ μεγάλου πορώδους και χαμηλής διαπερατότητας οφείλεται στον ορυκτολογικό χαρακτήρα του δείγματος. Η ταξινόμηση βάση του ιστού απόθεσης τοποθετεί το δείγμα στη κατηγορία aeolian grainstone.					

Πίνακας 10.5: Πλήρης καταγραφή φυσικών χαρακτηριστικών και ταξινόμησης Δείγματος L5.

ΔΕΙΓΜΑ L6					
Φυσικά χαρακτηριστικά δείγματος					
C_0(MPa)	C_1(MPa)	C_2(MPa)	$\bar{E}$ (GPa)	φ (%)	k_L (mD)
-	-	-	-	46	512
Συμπεράσματα και σχολιασμός δείγματος					
Πρόκειται για δείγμα **κροκαλοπαγούς** μικτής σύστασης με μέτρια περιεκτικότητα σε δολομίτη και χαλαζία και ασβεστίτη, ενώ παρουσιάζει και μικρή ποσότητα μοσχοβίτη. Το χρώμα είναι καστανόφαιο με πορτοκαλί τόνο. Το πορώδες του δείγματος είναι πολύ καλό και η διαπερατότητα πολύ καλή. Δεν παρασκευάστηκε λεπτή τομή από το δείγμα.					

Πίνακας 10.6: Πλήρης καταγραφή φυσικών χαρακτηριστικών και ταξινόμησης Δείγματος L6.

Αν κάποιος συνοψίσει την εικόνα των παραπάνω πινάκων αλλά και την εικόνα των λεπτών τομών και τις παρατηρήσεις του πεδίου τα συμπεράσματα είναι τα εξής:

1. Η θέση έμπροσθεν του Ενετικού λιμενοβραχίονα Χανίων αποτελεί νέα θέση στον ευρύτερο χωρικά ιστορικό λατομικό χώρο της περιοχής.

2. Αποτελούσε χώρο λατόμευσης αιολιανιτών-πωρόλιθων.

3. Υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ των αιολικών διεργασιών που οδηγούν σε σχετική ορυκτολογική ομοιογένεια των πετρωμάτων, που προέρχονται από το ίδιο αποθετικό περιβάλλον (ηπειρωτικό).
4. Τα πορώδη και οι διαπερατότητες κατά Klinkenberg των δειγμάτων παρουσιάζουν υψηλές τιμές.
5. Οι κατά θέσεις μειωμένες τιμές διαπερατότητας οφείλονται σε «ασβεστοπαγείς ορίζοντες» που είναι χαρακτηριστικά γνωρίσματα των αιολιανιτών.
6. Στα δείγματα των λατομείων του Σταυρού και των Αγίων Αποστόλων οι μηχανικές ιδιότητες είναι παραπλήσιες και διαφέρουν με τις μηχανικές ιδιότητες των δειγμάτων αυτής της εργασίας.
7. Από την σύγκριση της σύστασης και της μικροσκοπικής δομής τα δείγματα μπορούν να συγκριθούν με δείγματα δομικών λίθων που πάρθηκαν από τα Νεώρια.

Βιβλιογραφία

Διεθνής

- **Ali Madan Al-Ali. (2015):** Use of Spatial Technologies to Study the Winds' Directions in Rub' Al-Khali Desert, Saudi Arabia. "*Journal Of Earth Science And Engineering*,"*5*(6), 3. doi: 10.17265/2159-581x/2015.06.005
- **Brooke, B. (2001):** The distribution of carbonate eolianite. Earth-Science Reviews, 55(1-2), 135-164. https://doi.org/10.1016/s0012-8252(01)00054-x
- **Dornsiepen U.F., Manutsoglu E., Mertmann D. (2001):** Permian – Triassic palaeogeography of the external Hellenides. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 172, p. 327-338.
- **Dornsiepen, U.F. & Manutsoglu, E. (1994):** Zur Gliederung der Phyllit Decke Kretas und des Peloponnes. Z. dt. geol. Ges., p. 145, 286-303.
- **Frébourg, G., Hasler, C., Le Guern, P., & Davaud, E. (2008):** Facies characteristics and diversity in carbonate eolianites. *Facies*, *54*(2), 175-191. doi: 10.1007/s10347-008-0134-8
- **Moody, J. A. (1987):** The Environmental and Cultural Prehistory of the Khania Region of West Crete: Neolithic through Late Minoan III. Ph.D. Thesis, University of Minnesota
- **Moody, J., Rackham, O., & Rapp, G. (1996):** Environmental Archaeology of Prehistoric NW Crete. Journal Of Field Archaeology, 23(3), 273-297. https://doi.org/10.1179/009346996791973855
- **Pye, K. & Tsoar, H. (2009):** Aeolian sand and sand dunes (1st ed., p. 40-43, 99-100, 316-321). Berlin: Springer.
- **Scholle, P., & Ulmer-Scholle, D.:** Cements and cementation. Encyclopedia Of Earth Science, 174-190. https://doi.org/10.1007/3-540-31079-7_40
- **Seidel E., H. Kreuzer & W. Harre (1982)**: A late Oligocene/early Miocene high-pressure belt in the external Hellenides, Geol. Jb., E23, p. 165-206.
- **Zamani, A. and H. Maroukian (1981):** A morphotectonic investigation in Northwestern Crete: The peninsula of Akrotiri. Zeitschrift für Geomorphologie N. F. Suppl. Bd. 40: 151-164.

Ελληνική

- **Creutzburg, N. κ.α. (1977):** Γεωλογικός χάρτης 1:200.000, Νήσος Κρήτη, Έκδοση ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- **Pecsok, R., Shields, L., Cairns, T., McWilliam, I., Μετάφραση: Βολιώτης, Σ. (2000):** Σύγχρονες Μέθοδοι στη Χημική Ανάλυση έκδ. 2η, σελ. 307, 312. Α. Γ. ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΣ.
- **Αγιουτάντης, Ζ. (2010):** ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΗΣ Μηχανική Πετρωμάτων Χανιά, ΕΚΔΟΣΕΙΣ "ΙΩΝ" έκδ. 1η, σελ. 102-105, 255-264.
- **Βαρότσης Ν. (2014):** Σημειώσεις μαθήματος Εκμετάλλευσης Ταμιευτήρων της σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- **Γιώτης Α. (2021):** Σημειώσεις μαθήματος Εκμετάλλευσης Ταμιευτήρων της σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- **Γκαμαλέτσος Π. (2021):** Σημειώσεις μαθήματος Συστηματικής Ορυκτολογίας του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

- **Καραγεωργίου Ε.Δ., Τσαϊλά – Μονόπωλη Σ., 1971:** Γεωλογικός χάρτης 1:50000, φύλλο Χανιά, Έκδοση ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- **Κελεπερτζής Α. Ε. (2000):** ΧΗΜΙΚΗ ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ἔκδ. 1, σελ. 60-62.
- **Μανούτσογλου Ε. (2018):** Αδημοσίευτες Σημειώσεις Σεμιναρίου Γεωλογίας της Κρήτης, της Ερευνητικής Μονάδας Γεωλογίας του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, σελ. 55.
- **Μαντζιώκας Η. (2016):** Πετροφυσικά χαρακτηριστικά ψαμμιτών του Νεογενούς (περιοχή Φανερωμένης, Μεσσαρά, Κρήτη. Διπλωματική εργασία Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά.
- **Μαντικός Θ. (2012):** Διερεύνηση ποιοτικών χαρακτηριστικών δομικών λίθων μνημείων Ρόδου και σύγκριση παραμέτρων συνθετικού λίθου που χρησιμοποιείται στη συντήρηση. Διπλωματική εργασία Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά.
- **Μιλιδάκης Μ. (2018):** Η ιστορική και αρχαιολογική φυσιογνωμία της πόλης των Χανίων. Αποτελέσματα έρευνας. ΚΡΗΤΙΚΗ ΕΣΤΙΑ, σελ. 167-175.
- **Μουντράκης Δ. (1985):** "Γεωλογία της Ελλάδας", University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ. 186-188, 200-201.
- **Μπορνόβας Ι., Ροντογιάννη - Τσιαμπάου Θ. κ.α. (1983):** Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, κλίμακας 1:500.000. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2η έκδοση, Αθήνα.
- **Παππάς Δ. (1996):** Μελέτη φυσικών και χημικών ιδιοτήτων δομικών λίθων των Νεωρίων Χανίων και αναζήτηση των χώρων εκλατόμευσης των. Διπλωματική εργασία Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά.
- **Σπαντιδάκης Στ. (2017):** Πετροφυσικά χαρακτηριστικά ψαμμιτών του νεογενούς (περιοχή Αρκαλοχώρι, Μεσσαρά, Κρήτη). Διπλωματική εργασία Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά.
- **Στεφανογιάννης Γ. (1995):** Μελέτη των δομικών λίθων του λιμενοβραχίονα του Ενετικού λιμένα Χανίων και αναζήτηση των χώρων εκλατόμευσης τους. Διπλωματική εργασία Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά.
- **Τάλαρου Χ. (2021):** Εργαστηριακή διερεύνηση της επίδρασης της διαβρεξιμότητας του πετρώματος επί των καμπυλών σχετικών διαπερατοτήτων νερού-πετρελαίου σε πυρήνες υπόγειων ταμιευτήρων υδρογονανθράκων. Διπλωματική εργασία Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά.
- **Τσιλιγκάκη Ε. (2014):** Τα αρχαία λατομεία της Κρήτης. Διδακτορική διατριβή στο τμήμα Ιστορίας και Αρχαιολογίας του Πανεπιστημίου Κρήτης.
- **Φυτρολάκης Ν. (1980):** Η γεωλογική δομή της Κρήτης, Διατριβή επί υφηγεσία, Ε.Μ.Π., 1980,σελ. 54-54.

Πηγές από το διαδίκτυο

- **Corrections to core measurements of permeability - PetroWiki. PetroWiki:** Ανακτήθηκε 15 Μαΐου 2021, https://petrowiki.spe.org/Corrections_to_core_measurements_of_permeability.

- ***The Nobel Prize in Physics 1915*. NobelPrize.org. (2021):** Ανακτήθηκε 28 Φεβρουαρίου 2021, https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1915/summary/.
- ***XRD Principle | West Campus Materials Characterization Core*. Ywcmatsci.yale.edu. (2021)**: Ανακτήθηκε 28 Φεβρουαρίου 2021, https://ywcmatsci.yale.edu/principle-0.
- **Ιζηματογενή πετρώματα. Geo.auth.gr. (2021)**: Ανακτήθηκε 20 Φεβρουαρίου 2021, http://www.geo.auth.gr/106/theory/pet_sedimentary.htm
- ***Ο νόμος του Bragg*. Eclass.upatras.gr. (2016):** Ανακτήθηκε 28 Φεβρουαρίου 2021,https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/GEO319/Iliopoulos_2_2015-16.pdf.
- **Πολωτικό μικροσκόπιο. Geo.auth.gr (2021):** Ανακτήθηκε 25 Μαΐου 2021, http://www.geo.auth.gr/212/0_properties/microscope.htm.

Παραρτήματα:

Παράρτημα 1: Φωτογραφίες περιοχής δειγματοληψίας

Παράρτημα 2: Φωτογραφίες δοκιμίων-μονοαξονικής θλίψης

Παράρτημα 3: Πίνακες αποτελεσμάτων μονοαξονικής θλίψης

Παράρτημα 4: Υπολογιστικά φύλλα-Excel της δοκιμής μονοαξονικής θλίψης

Παράρτημα 5: Φωτογραφίες δοκιμίων ποροσιμετρίας και διαπερατότητας

Παράρτημα 6: Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ

Παράρτημα 7: Πίνακας καταγραφής μηχανικών ιδιοτήτων Κεφαλαίου 9

Παράρτημα 1: Φωτογραφίες περιοχής δειγματοληψίας

Εικόνα 1

Εικόνα 2

Εικόνες 1&2: Φωτογραφικές απεικονίσεις στο δυτικό τμήμα του λιμενοβραχίονα από όπου και συλλέχθηκαν τα δείγματα L1,L2,L3,L4. Η Εικόνα 1 εμφανίζει μια θέση παράπλευρη της θέσης που εμφανίζεται στην Εικόνα 2 επί της απόθεσης αιολιανίτη του λιμενοβραχίονα Χανίων

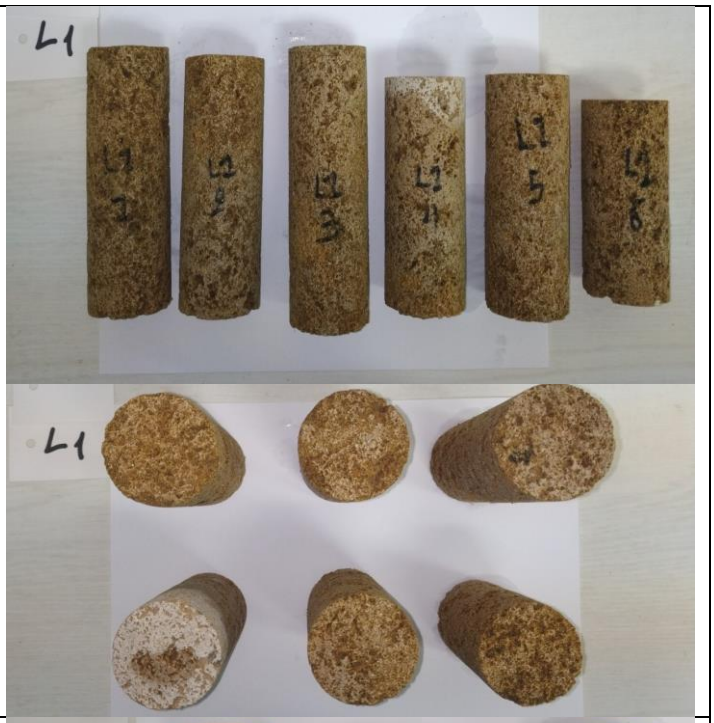
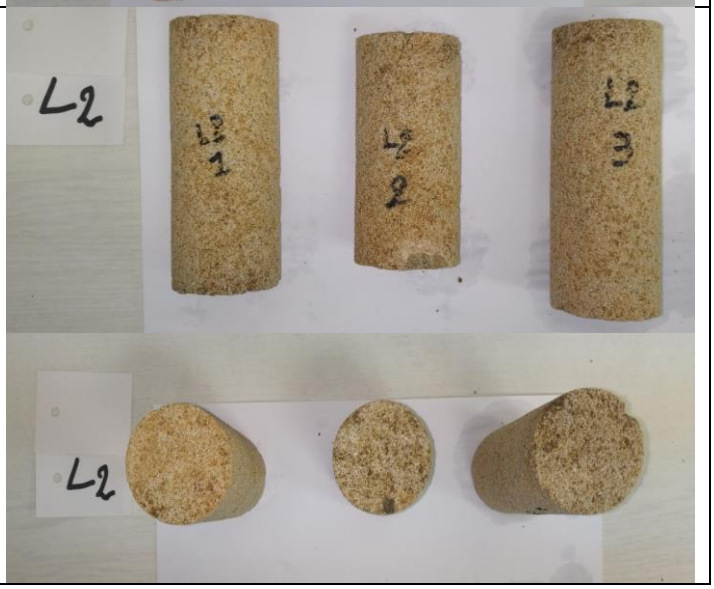
Εικόνα 3

Εικόνα 3: Φωτογραφική απεικόνιση του βράχου από τον οποίο συλλέχθηκε το δείγμα L5 στο ανατολικό τμήμα του λιμενοβραχίονα.

Εικόνα 4

Εικόνα 4: Φωτογραφική απεικόνιση του βράχου από τον οποίο συλλέχθηκε το δείγμα L6 στο ανατολικό τμήμα του λιμενοβραχίονα.

Παράρτημα 2: Φωτογραφίες δοκιμίων-μονοαξονικής θλίψης

Δοκίμια δείγματος L1 <u>Ως σχετική κλίμακα</u> δίνονται οι διαστάσεις του δοκιμίου L1.1(πάνω εικόνα): Ύψος (mm): 136.983 Διάμετρος (cm): 4.988 Στη κάτω εικόνα παραθέτονται τα δοκίμια κατά αντιστοιχία από τα αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω	
Δοκίμια δείγματος L2 <u>Ως σχετική κλίμακα</u> δίνονται οι διαστάσεις του δοκιμίου L2.1(πάνω εικόνα): Ύψος (mm): 123.533 Διάμετρος (cm): 4.992 Στη κάτω εικόνα παραθέτονται τα δοκίμια κατά αντιστοιχία από τα αριστερά προς τα δεξιά	

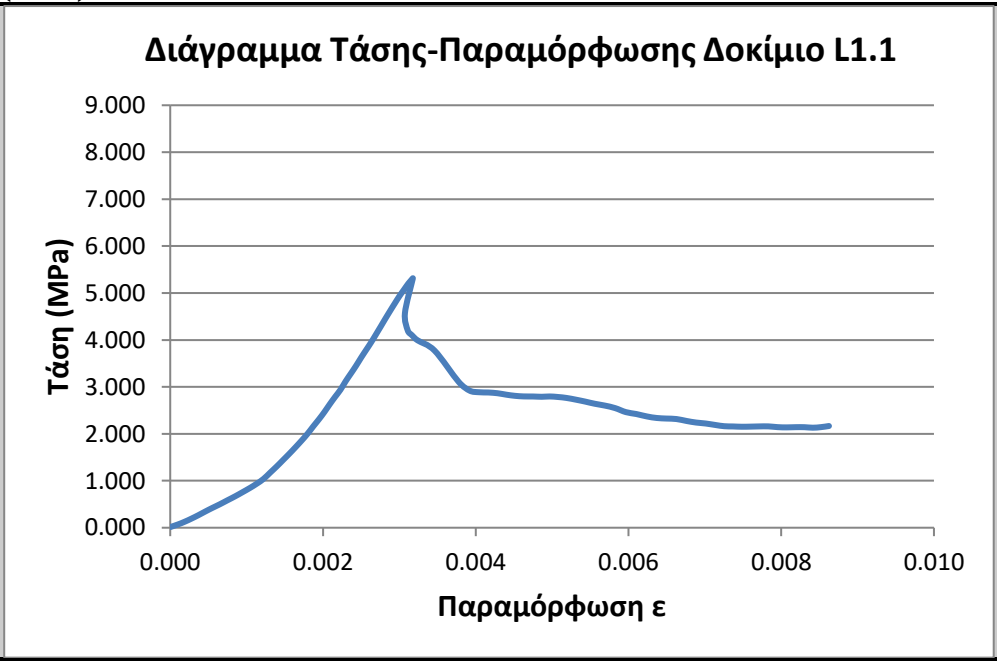
Δοκίμια δείγματος L3 <u>Ως σχετική κλίμακα</u> δίνονται οι διαστάσεις του δοκιμίου L3.2(πάνω εικόνα): Ύψος (mm): 131.350 Διάμετρος (cm): 4.983 Στη κάτω εικόνα παραθέτονται τα δοκίμια κατά αντιστοιχία από τα αριστερά προς τα δεξιά	
Δοκίμια δείγματος L4 <u>Ως σχετική κλίμακα</u> δίνονται οι διαστάσεις του δοκιμίου L4.1(πάνω εικόνα): Ύψος (mm): 85.433 Διάμετρος (cm): 4.983 Στη κάτω εικόνα παραθέτονται τα δοκίμια κατά αντιστοιχία από τα αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω	

Δοκίμια δείγματος L5 <u>Ως σχετική κλίμακα</u> δίνονται οι διαστάσεις του δοκιμίου L5.2(πάνω εικόνα): Ύψος (mm): 84.917 Διάμετρος (cm): 4.978 Στη κάτω εικόνα παραθέτονται τα δοκίμια κατά αντιστοιχία από τα αριστερά προς τα δεξιά	
Δοκίμια δείγματος L6 <u>Ως σχετική κλίμακα</u> δίνονται οι διαστάσεις του δοκιμίου L6.1(πάνω εικόνα): Ύψος (mm): 50.067 Διάμετρος (cm): 4.998 Στη κάτω εικόνα παραθέτονται τα δοκίμια κατά αντιστοιχία από τα αριστερά προς τα δεξιά	

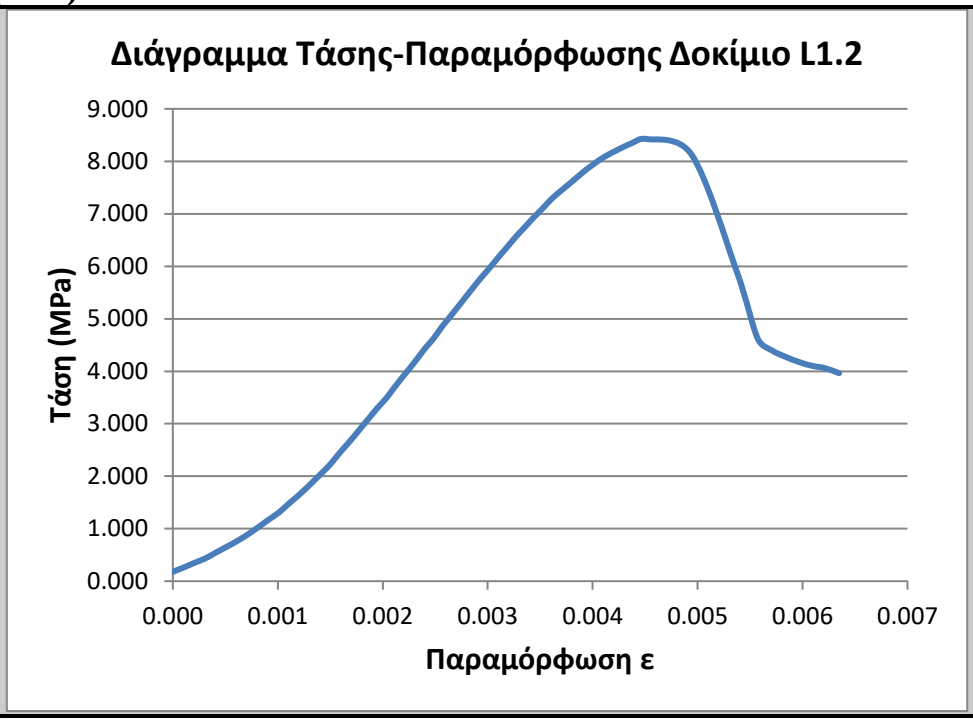
Παράρτημα 3: Πίνακες αποτελεσμάτων μονοαξονικής θλίψης

ΔΕΙΓΜΑ L1

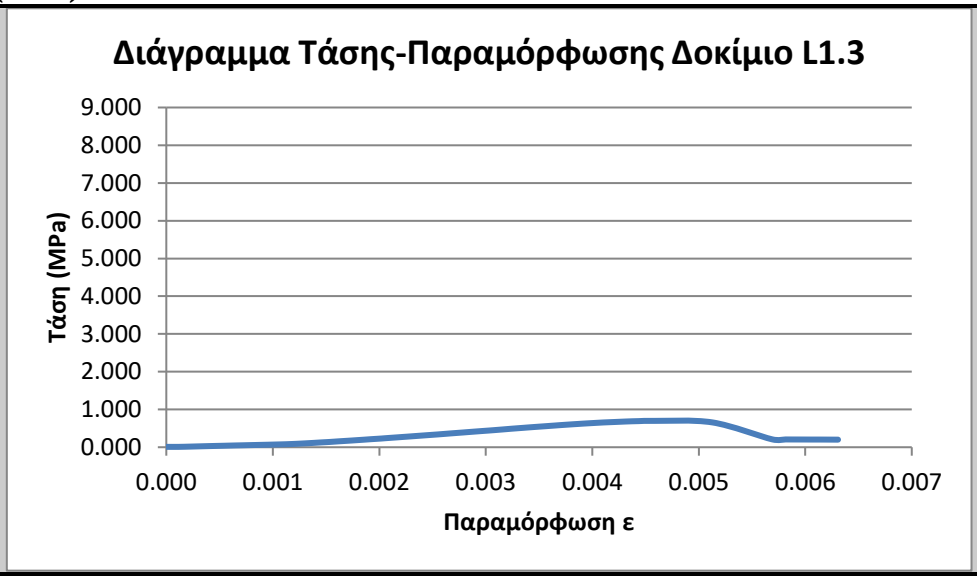
ΔΟΚΙΜΙΟ L1.1		
Παρατηρήσεις: Το δοκίμιο παρουσιάζει χονδροπορώδες οι άκρες των βάσεων εμφανίζουν τραχιά μορφή είναι δηλαδή ατελείς, ενώ οι παράπλευρες επιφάνειες δεν παρουσιάζουν κάποιο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό και είναι ομαλές.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	136.983
	Διάμετρος(cm)	4.988
	Διατομή(cm^2)	19.543
	h/D	2.746
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 5.32	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 2.25	
C_1 (MPa):6.19		
C_2 (MPa):3.40		



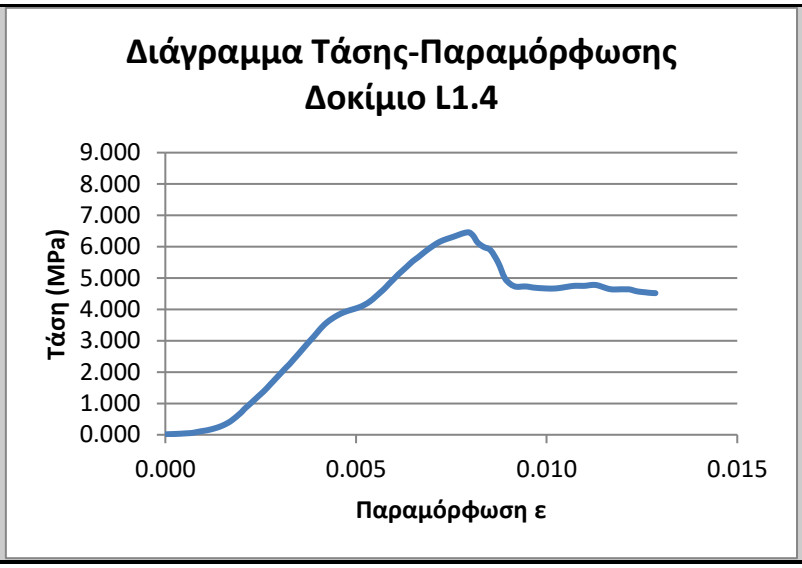
ΔΟΚΙΜΙΟ L1.2		
Παρατηρήσεις: Τα χαρακτηριστικά του είναι όμοια με το Δοκίμιο L1.1. Η μία βάση παρουσιάζει έντονες αιχμές στα άκρα αντιθέτως από την απέναντι βάση όπου το υλικό φαίνεται πολύ πιο πλήρης και στα άκρα της.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	132.117
	Διάμετρος(cm)	4.993
	Διατομή(cm^2)	19.580
	h/D	2.646
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 8.43	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 2.54	
C_1 (MPa):9.78		
C_2 (MPa):5.48		



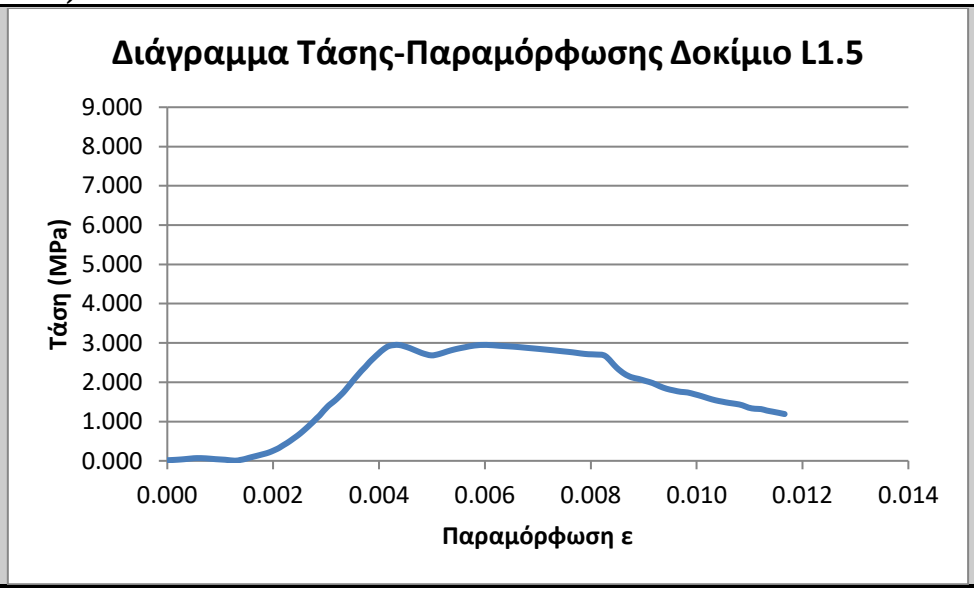
ΔΟΚΙΜΙΟ L1.3		
Παρατηρήσεις: Παρόμοια χαρακτηριστικά με το Δοκίμιο L1.1.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	145.217
	Διάμετρος(cm)	4.990
	Διατομή(cm^2)	19.556
	h/D	2.910
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 0.70	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 0.21	
C_1 (MPa):0.82		
C_2 (MPa):0.44		



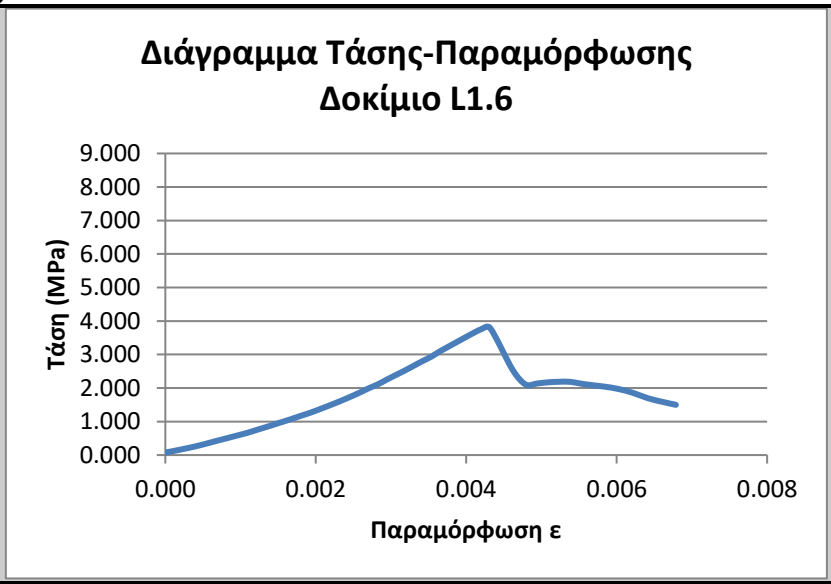
ΔΟΚΙΜΙΟ L1.4		
Παρατηρήσεις: Η μία βάση παρουσιάζει οπή στο κέντρο της. Οι παράπλευρες επιφάνειες είναι ομαλές.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	120.750
	Διάμετρος(cm)	5.002
	Διατομή(cm^2)	19.648
	h/D	2.414
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 6.16	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 1.26	
C_1 (MPa):7.08		
C_2 (MPa):4.16		



ΔΟΚΙΜΙΟ L1.5		
Παρατηρήσεις: Παρόμοια χαρακτηριστικά με το Δοκίμιο L1.1.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	123.767
	Διάμετρος(cm)	4.977
	Διατομή(cm^2)	19.452
	h/D	2.487
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 2.95	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 0.96	
C_1 (MPa):3.40		
C_2 (MPa):1.97		

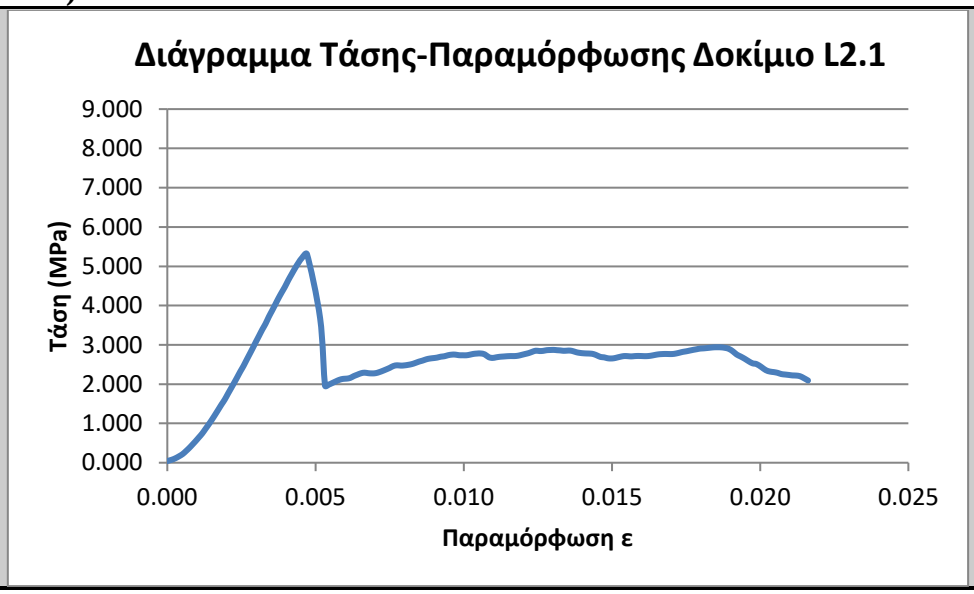


ΔΟΚΙΜΙΟ L1.6		
Παρατηρήσεις: Παρόμοια χαρακτηριστικά με το Δοκίμιο L1.1, ωστόσο παρουσιάζει έντονες οπές κοντά στην περιοχή των βάσεων στις παράπλευρες επιφάνειες.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	102.683
	Διάμετρος(cm)	4.990
	Διατομή(cm^2)	19.556
	h/D	2.058
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 3.79	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 1.01	
C_1 (MPa):4.28		
C_2 (MPa):2.73		

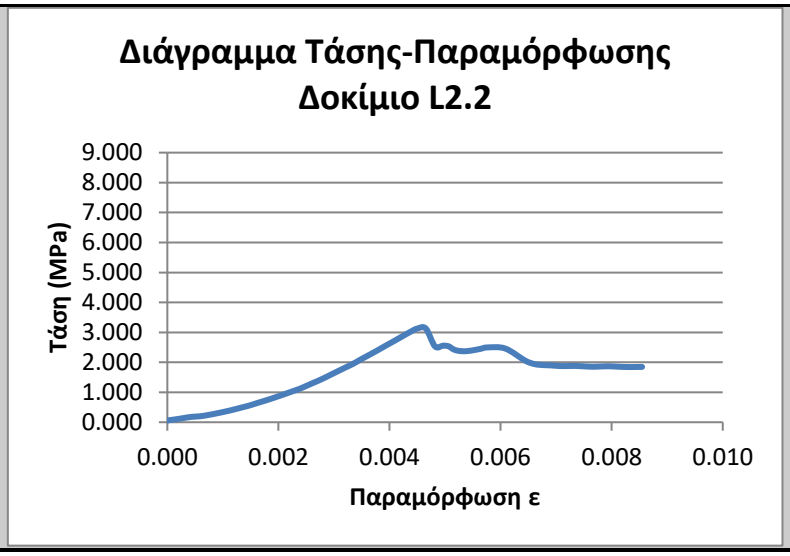


ΔΕΙΓΜΑ L2

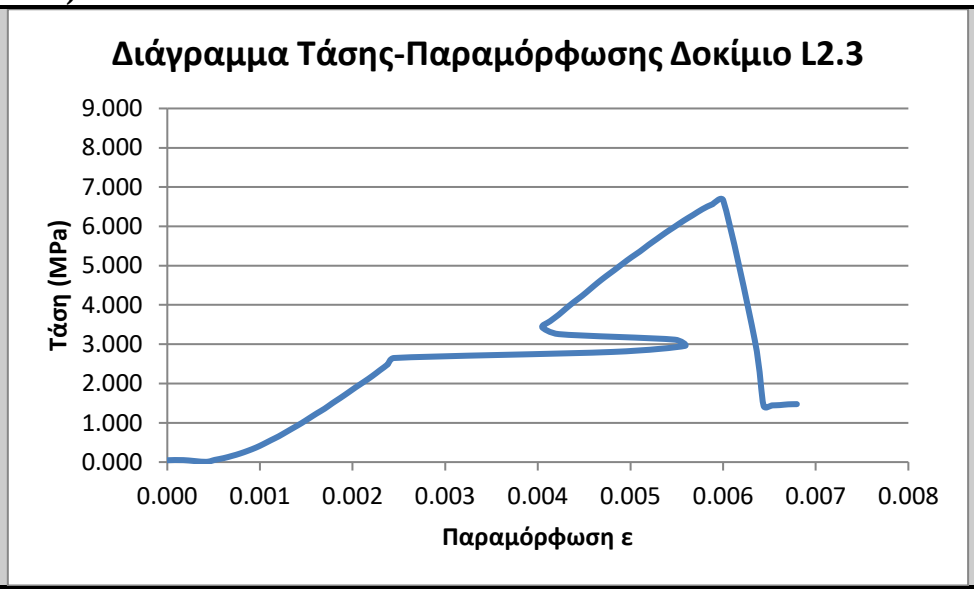
ΔΟΚΙΜΙΟ L2.1		
Παρατηρήσεις: Η εικόνα των βάσεων είναι πλήρης χωρίς ιδιαίτερες αιχμές ή οπές σε όλη την έκταση τους.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	123.533
	Διάμετρος(cm)	4.992
	Διατομή(cm^2)	19.570
	h/D	2.475
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 5.31	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 1.42	
C_1 (MPa):6.12		
C_2 (MPa):3.55		



ΔΟΚΙΜΙΟ L2.2		
Παρατηρήσεις: Παρόμοια εικόνα με το Δοκίμιο L2.1. Έλλειψη υλικού στο χείλος της μιας βάσης που δεν προχωρά στις παράπλευρες επιφάνειες του δοκιμίου.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	100.562
	Διάμετρος(cm)	4.985
	Διατομή(cm^2)	19.517
	h/D	2.119
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 3.13	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 0.88	
C_1 (MPa):3.55		
C_2 (MPa):2.23		

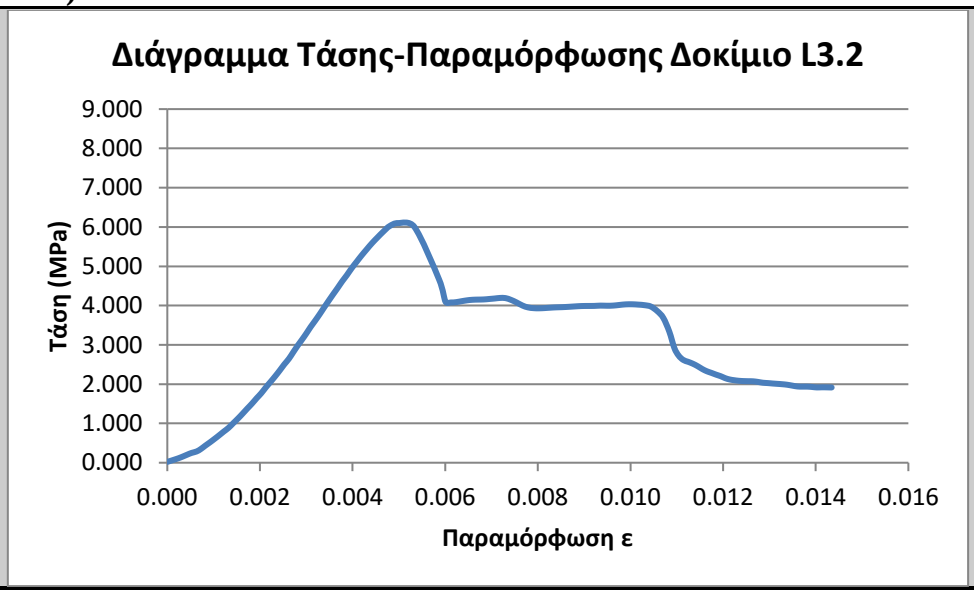


ΔΟΚΙΜΙΟ L2.3		
Παρατηρήσεις: Η εικόνα των βάσεων φαίνεται πλήρης κατά παρόμοιο τρόπο με το Δοκίμιο L2.1 ωστόσο η μία εξ αυτών παρουσιάζει μια έντονη οπή στο χείλος της. Επίσης το δοκίμιο παρουσιάζει μια μικρή έξαρση μάζας περίπου στα μέσα του ύψους του που δημιουργήθηκε κατά τη διαδικασία κοπής του πυρήνα λόγω της μαλακής φύσης του υλικού.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	132.650
	Διάμετρος(cm)	4.983
	Διατομή(cm^2)	19.504
	h/D	2.662
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 6.66	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 1.77	
C_1 (MPa):7.73		
C_2 (MPa):4.32		

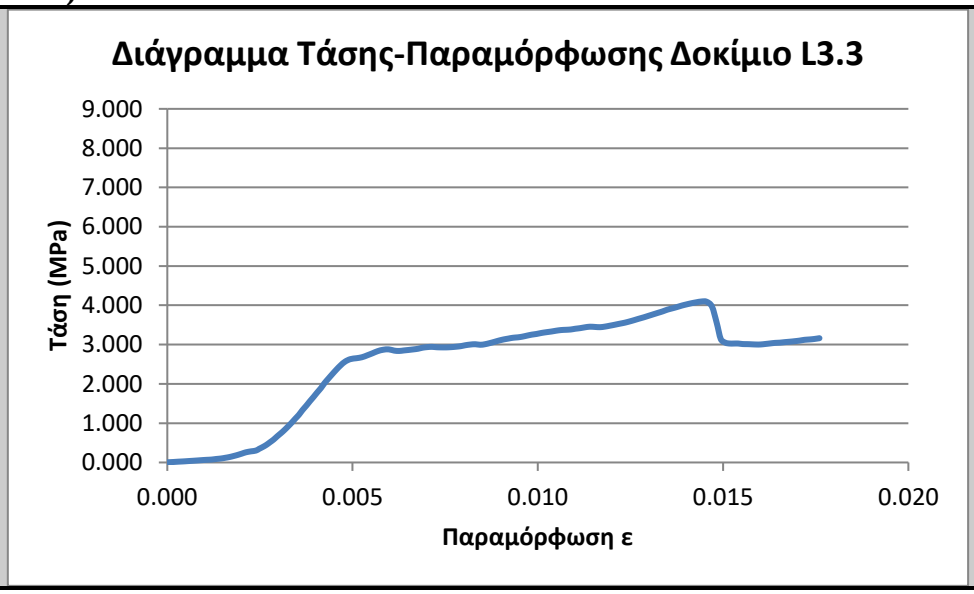


ΔΕΙΓΜΑ L3

ΔΟΚΙΜΙΟ L3.2		
Παρατηρήσεις: Πλήρης εικόνα του δοκιμίου καθόλη την επιφάνεια του, δεν παρουσιάζει κάποιο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	131.350
	Διάμετρος(cm)	4.983
	Διατομή(cm^2)	19.494
	h/D	2.636
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 6.01	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 1.66	
C_1 (MPa):7.07		
C_2 (MPa):3.98		

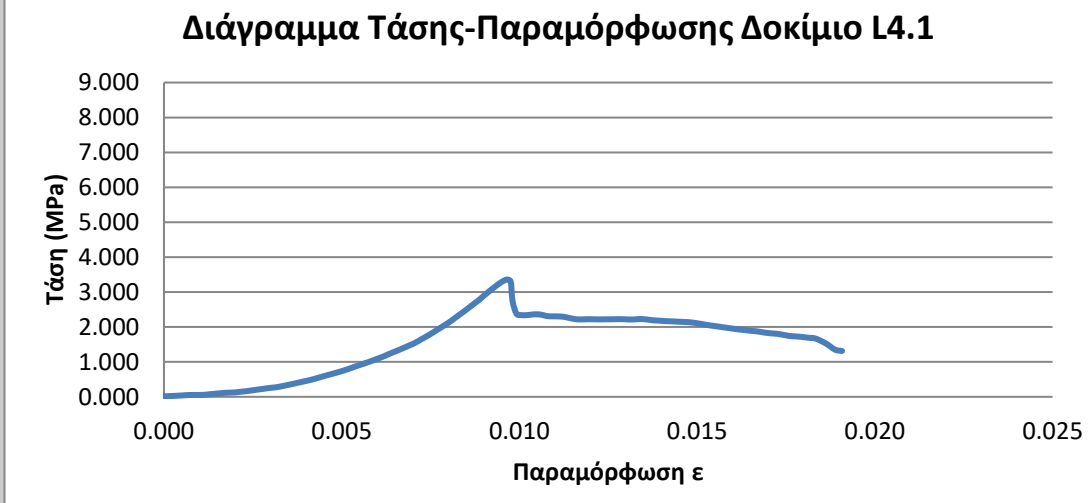


ΔΟΚΙΜΙΟ L3.3		
Παρατηρήσεις: Λίγες μικρές οπές με ελλείψεις μάζας στις βάσεις που δημιουργούν αιχμές αλλά και στις παράπλευρες επιφάνειες του δοκιμίου. Πάραυτα παρόμοια εικόνα με το Δοκίμιο L3.2.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	116.767
	Διάμετρος(cm)	4.997
	Διατομή(cm^2)	19.599
	h/D	2.337
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 4.10	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 1.12	
C_1 (MPa):4.69		
C_2 (MPa):2.81		

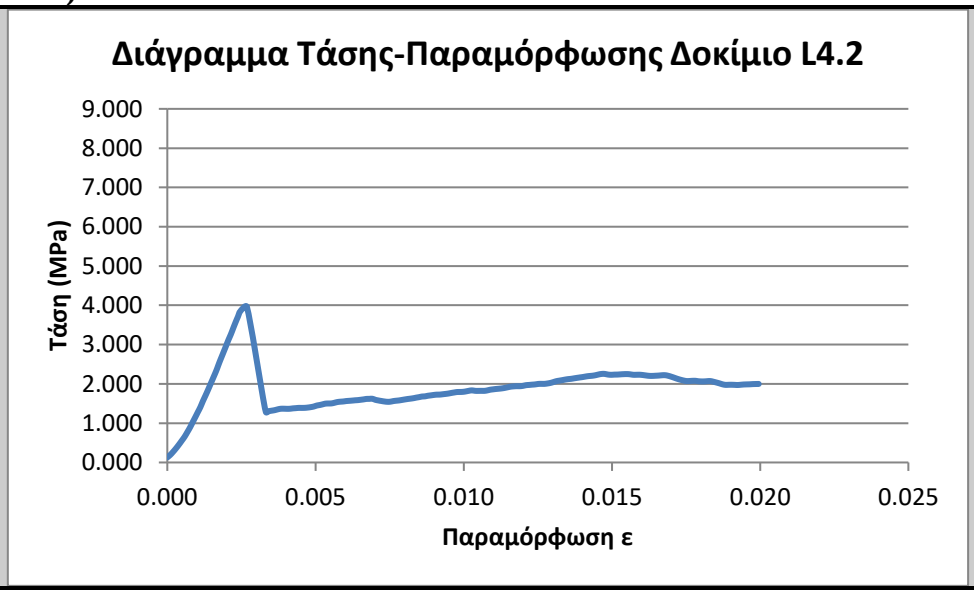


ΔΕΙΓΜΑ L4

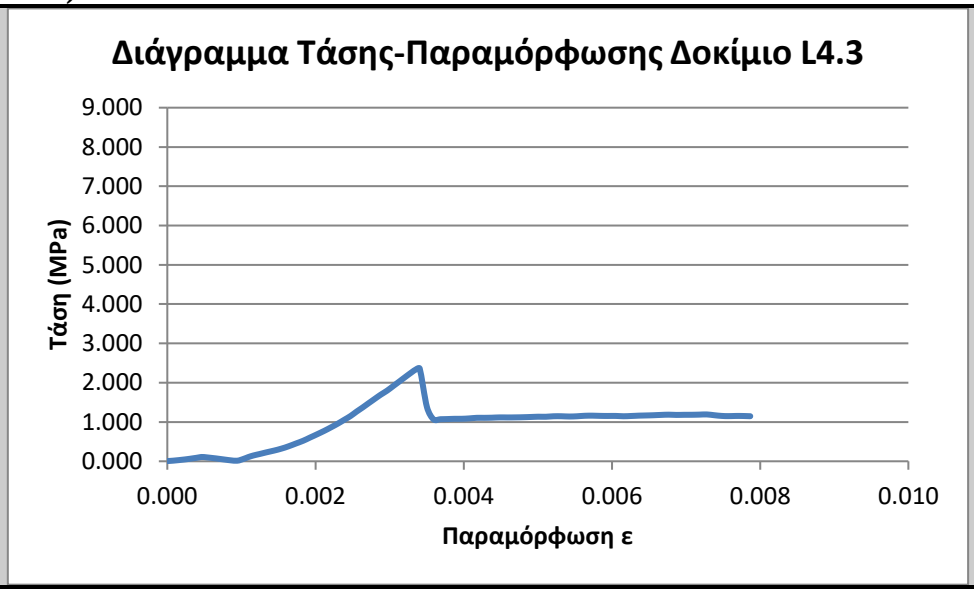
ΔΟΚΙΜΙΟ L4.1		
Παρατηρήσεις: Η μία βάση του δοκιμίου παρουσιάζει αιχμές λόγω οπών κοντά στο χείλος της. Μία εκ των οπών συνεχίζει ταινιωτά προς τις παράπλευρες επιφάνειες του δοκιμίου με επιφανειακή αλλαγή στο χρώμα. Σε κάποια σημεία παρουσιάζονται έντονες οπές στο άλλο μισό του ύψους που δεν καλύπτεται από τη λωρίδα που εμφανίζει αλλαγή στο χρώμα.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	85.433
	Διάμετρος(cm)	4.983
	Διατομή(cm^2)	19.494
	h/D	1.714
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 3.36	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 0.57	
C_1 (MPa):3.70		
C_2 (MPa):2.58		



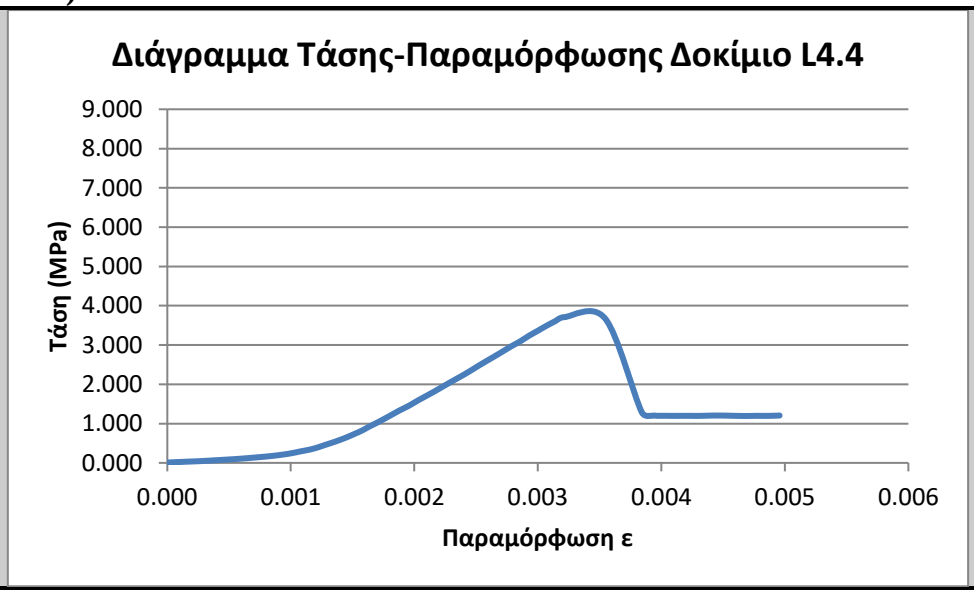
ΔΟΚΙΜΙΟ L4.2		
Παρατηρήσεις: Καλή εικόνα τον βάσεων του δοκιμίου μία ελάχιστη έλλειψη μάζας στο χείλος της μίας. Αισθητή έλλειψη υλικού στις παράπλευρες επιφάνειες του δοκιμίου σε σημείο κοντά στο μέσο.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	147.933
	Διάμετρος(cm)	4.977
	Διατομή(cm^2)	19.443
	h/D	2.973
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 3.96	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 1.75	
C_1 (MPa):4.64		
C_2 (MPa):2.45		



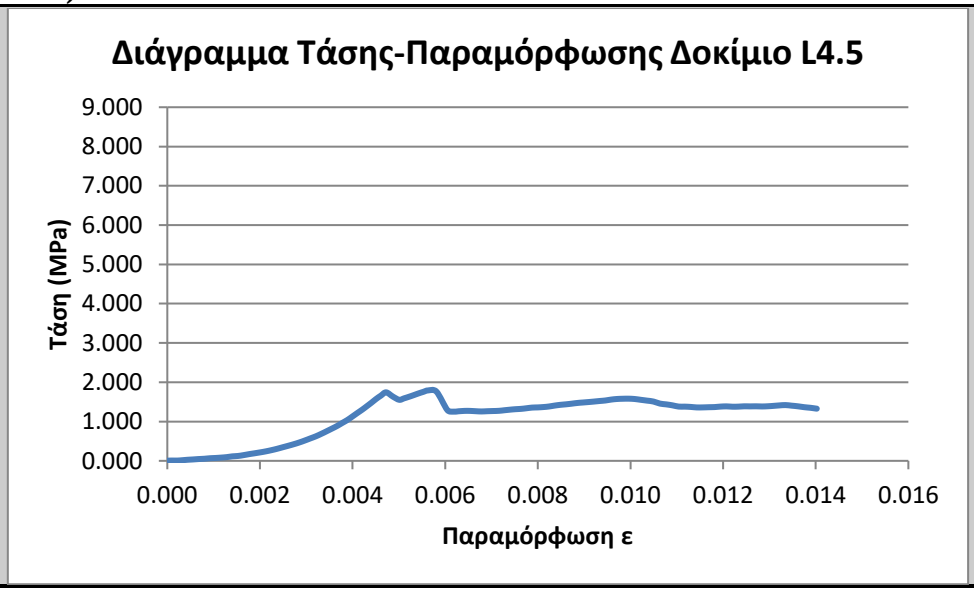
ΔΟΚΙΜΙΟ L4.3		
Παρατηρήσεις: Λιγότερες οπές σε σχέση με τα Δοκίμια L4.1 & L4.2, ωστόσο υπάρχουν δύο σημεία με μεγάλη έλλειψη υλικού στις παράπλευρες επιφάνειες του δοκιμίου. Η μία βάση παρουσιάζει έλλειψη υλικού σε ένα μικρό μέρος του χείλους της.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	149.300
	Διάμετρος(cm)	4.948
	Διατομή(cm^2)	19.221
	h/D	3.017
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 2.36	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 1.19	
C_1 (MPa):2.77		
C_2 (MPa):1.45		



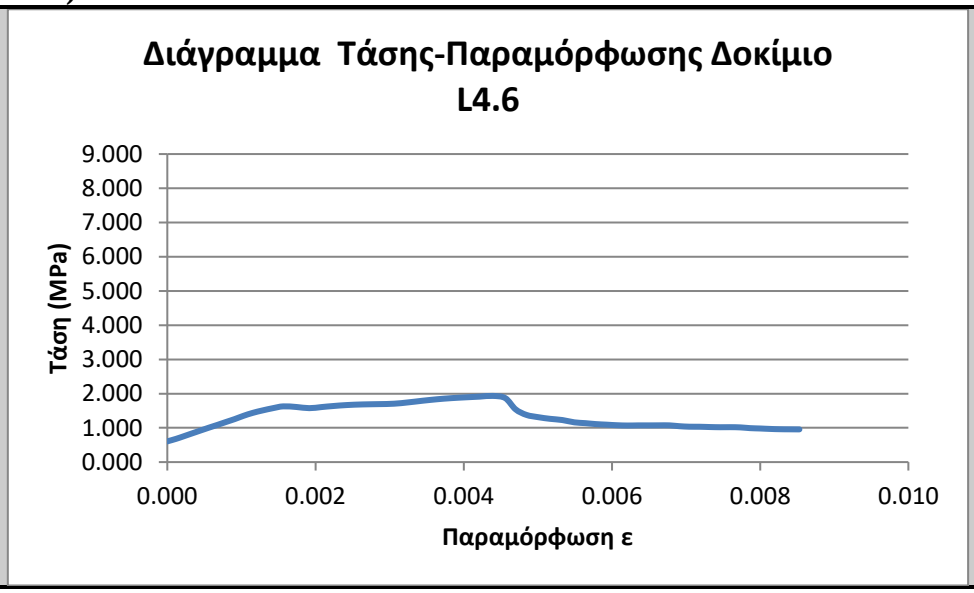
ΔΟΚΙΜΙΟ L4.4		
Παρατηρήσεις: Το δοκίμιο παρουσιάζει παρόμοια εικόνα με το δοκίμιο L4.1 έχει όμως εντονότερες οπές και μια μικρή έλλειψη υλικού στο χείλος της μιας βάσης. Σημαντική σημείωση για το δοκίμιο αυτό αποτελεί μια μεγάλη οπή που διαπερνά το δοκίμιο πέρα ως πέρα σε μια διαγώνια διεύθυνση, ξεκινώντας από τη μια βάση και καταλήγοντας στην πλευρά του ύψους περίπου στο 1/3 της συνολικής διάστασης του. Η οπή αυτή εντάσσεται ωστόσο στο μακροπορώδες του υλικού.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	141.583
	Διάμετρος(cm)	4.985
	Διατομή(cm^2)	19.507
	h/D	2.840
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 3.71	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 1.77	
C_1 (MPa):4.33		
C_2 (MPa):2.34		



ΔΟΚΙΜΙΟ L4.5		
Παρατηρήσεις: Το δοκίμιο παρουσιάζει παρόμοια εικόνα με το Δοκίμιο L4.1.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	122.583
	Διάμετρος(cm)	4.990
	Διατομή(cm^2)	19.547
	h/D	2.457
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 1.79	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 0.65	
C_1 (MPa):2.06		
C_2 (MPa):1.20		

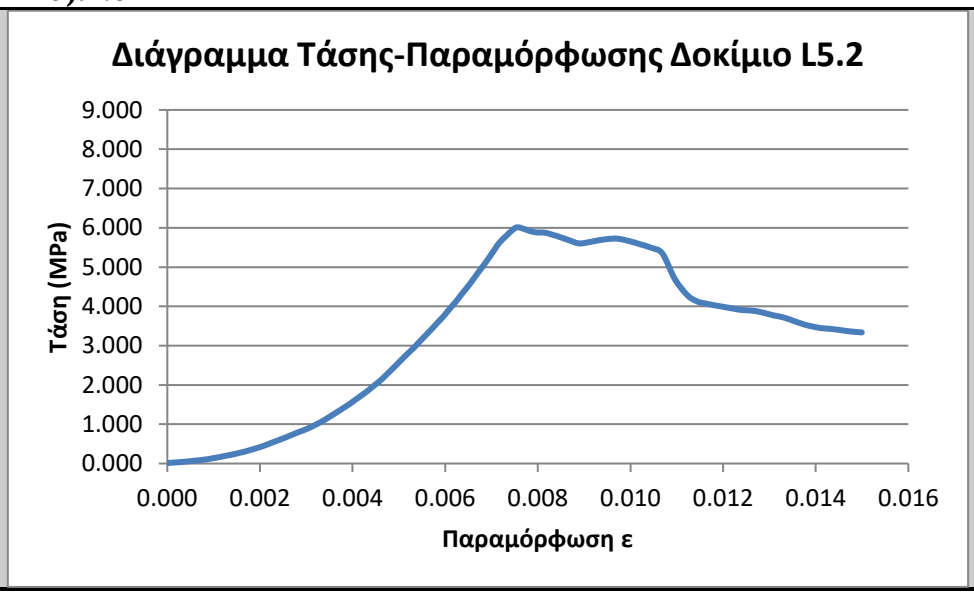


ΔΟΚΙΜΙΟ L4.6		
Παρατηρήσεις: Το δοκίμιο παρουσιάζει ανομοιομορφία στις μετρήσεις της διαμέτρου πράγμα το οποίο σημαίνει ότι υπάρχει αισθητή έλλειψη υλικού στο σημείο της μέτρησης. Αυτό επιβεβαιώνεται με έλλειψη ενός τμήματος της μίας βάσης. Επίσης παρουσιάζεται μια λωρίδα με έντονες οπές κατά το ύψος του δοκιμίου.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	98.767
	Διάμετρος(cm)	4.943
	Διατομή(cm^2)	19.182
	h/D	1.998
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 1.93	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 0.73	
C_1 (MPa):2.17		
C_2 (MPa):1.41		



ΔΕΙΓΜΑ L5

ΔΟΚΙΜΙΟ L5.2		
Παρατηρήσεις: Ασχέτως της χρωματικής διαφοράς το δοκίμιο παρουσιάζει την ίδια εικόνα με αυτή των δοκιμίων της ΟΜΑΔΑΣ L2. Πολύ καλές βάσης χωρίς ελλείψεις υλικού.		
Διαστάσεις	**Ύψος**(mm)	84.917
	Διάμετρος(cm)	4.978
	Διατομή(cm^2)	19.455
	h/D	1.706
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_0 (MPa): 6.01	**Μέτρο Ελαστικότητας E (GPa):** 1.21	
C_1 (MPa):6.62		
C_2 (MPa):4.62		



Παράρτημα 4: Υπολογιστικά φύλλα-Excel της δοκιμής μονοαξονικής θλίψης

<u>Διαστάσεις δοκιμίων</u>:

Date:	5/11/2020
Ακρίβεια σε (mm)	
D & L (cm)	

Δείγμα L1

Δοκίμιο:

L1.1			L1.2			L1.3			L1.4			L1.5			L1.6		
D1	4.975	L1	13.685	D1	4.990	L1	13.215	D1	5.000	L1	14.520	D1	5.000	L1	12.060	D1	5.000	L1	12.365	D1	4.990	L1	10.250
D2	4.990	L2	13.715	D2	5.000	L2	13.220	D2	4.975	L2	14.545	D2	5.005	L2	12.075	D2	4.995	L2	12.390	D2	4.980	L2	10.255
D3	5.000	L3	13.695	D3	4.990	L3	13.200	D3	4.995	L3	14.500	D3	5.000	L3	12.090	D3	4.995	L3	12.375	D3	5.000	L3	10.260
mean	4.988		13.698		4.993		13.212		4.990		14.522		5.002		12.075		4.977		12.377		4.990		10.268

Δείγμα L2

Δοκίμιο:

L2.1			L2.2			L2.3		
D1	4.995	L1	12.345	D1	4.995	L1	10.550	D1	4.990	L1	13.255
D2	4.990	L2	12.345	D2	4.980	L2	10.555	D2	4.975	L2	13.265
D3	4.990	L3	12.370	D3	4.980	L3	10.580	D3	4.985	L3	13.275
mean	4.992		12.353		4.985		10.562		4.983		13.265

Δείγμα L3

Δοκίμιο:

L3.1			L3.2			L3.3		
D1	-	L1	-	D1	5.000	L1	13.135	D1	5.000	L1	11.670
D2	-	L2	-	D2	5.000	L2	13.135	D2	4.995	L2	11.675
D3	-	L3	-	D3	4.990	L3	13.135	D3	4.995	L3	11.685
mean					4.983		13.135		4.997		11.677

Δείγμα L4

Δοκίμιο:

L4.1			L4.2			L4.3			L4.4			L4.5			L4.6		
D1	4.975	L1	8.540	D1	4.990	L1	14.800	D1	4.990	L1	14.945	D1	4.975	L1	14.180	D1	4.990	L1	12.275	D1	4.965	L1	9.875
D2	4.985	L2	8.550	D2	4.995	L2	14.775	D2	4.910	L2	14.940	D2	4.990	L2	14.150	D2	4.995	L2	12.265	D2	4.975	L2	9.870
D3	4.990	L3	8.540	D3	4.975	L3	14.805	D3	4.945	L3	14.905	D3	4.990	L3	14.145	D3	4.985	L3	12.235	D3	4.890	L3	9.885
mean	4.983		8.543		4.977		14.793		4.948		14.930		4.985		14.158		4.990		12.258		4.943		9.877

Δείγμα L5

Δοκίμιο:

L5.1			L5.2		
D1	4.990	L1	7.430	D1	4.970	L1	8.485
D2	4.995	L2	7.420	D2	4.975	L2	8.500
D3	4.990	L3	7.435	D3	4.990	L3	8.490
mean	4.992		7.428		4.978		8.492

Δείγμα L6

Δοκίμιο:

L6.1			L6.2		
D1	5.000	L1	5.010	D1	5.000	L1	8.060
D2	5.000	L2	5.005	D2	5.000	L2	8.055
D3	4.995	L3	5.005	D3	5.000	L3	8.030
mean	4.998		5.007		5.000		8.048

Δοκίμιο L1.1

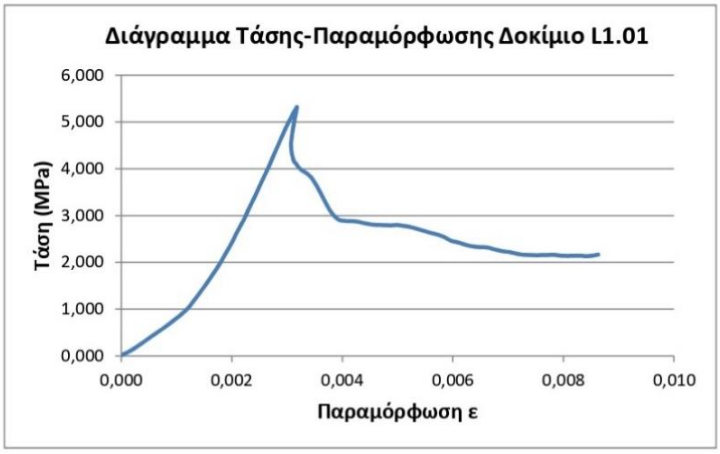
ID No.				
Title				
Test Date	11:14:01			
MEAS CHs		Rate (mm/min)	0,9	
Digital Input				
Sampling Rate(Hz)				
Data Nos/CH				
MEAS Time(sec)				
CH Name	LVDT 10	Load_cell_Triscan		
CH No.	CH05	CH06		
Range	10	10		
Calibration Coefficient	1	5		
Offset	-0,149	-0,02		
Unit	mm	kN	ε = DH/H	Stress(Mpa)
0	0,528	0,026	0,00000	0,013
1	0,541	0,131	0,00010	0,067
2	0,554	0,246	0,00019	0,126
3	0,566	0,377	0,00028	0,193
4	0,578	0,518	0,00037	0,265
5	0,591	0,671	0,00046	0,343
6	0,603	0,823	0,00055	0,421
7	0,617	0,971	0,00065	0,497
8	0,631	1,142	0,00075	0,585
9	0,644	1,307	0,00085	0,669
10	0,658	1,477	0,00095	0,756
11	0,671	1,651	0,00104	0,845
12	0,684	1,837	0,00114	0,940
13	0,696	2,038	0,00122	1,043
14	0,707	2,293	0,00131	1,173
15	0,719	2,545	0,00139	1,302
16	0,730	2,804	0,00147	1,435
17	0,741	3,072	0,00156	1,572
18	0,753	3,349	0,00164	1,714
19	0,764	3,629	0,00172	1,857
20	0,774	3,908	0,00180	2,000
21	0,785	4,219	0,00187	2,159
22	0,795	4,519	0,00195	2,312
23	0,805	4,823	0,00202	2,468
24	0,814	5,133	0,00209	2,627
25	0,824	5,448	0,00216	2,787
26	0,833	5,744	0,00223	2,939
27	0,843	6,093	0,00230	3,118
28	0,852	6,414	0,00236	3,282
29	0,861	6,736	0,00243	3,447
30	0,870	7,073	0,00250	3,619
31	0,879	7,398	0,00256	3,786
32	0,888	7,708	0,00263	3,944
33	0,897	8,036	0,00269	4,112
34	0,906	8,383	0,00276	4,290
35	0,914	8,698	0,00282	4,451
36	0,922	9,015	0,00288	4,613
37	0,931	9,331	0,00294	4,774

38	0,939	9,639	0,00300	4,932
39	0,947	9,907	0,00306	5,069
40	0,955	10,168	0,00312	5,203
41	0,962	10,350	0,00317	5,296
42	0,963	10,388	0,00318	5,316
43	0,949	8,940	0,00307	4,575
44	0,954	8,214	0,00311	4,203
45	0,961	8,018	0,00316	4,103
46	0,972	7,803	0,00324	3,993
47	1,002	7,373	0,00346	3,773
48	1,045	6,070	0,00378	3,106
49	1,065	5,707	0,00392	2,920
50	1,082	5,641	0,00404	2,886
51	1,099	5,629	0,00417	2,880
52	1,115	5,598	0,00429	2,864
53	1,131	5,539	0,00440	2,834
54	1,146	5,491	0,00451	2,810
55	1,162	5,466	0,00463	2,797
56	1,178	5,463	0,00475	2,795
57	1,194	5,451	0,00486	2,789
58	1,209	5,464	0,00497	2,796
59	1,224	5,442	0,00508	2,785
60	1,239	5,402	0,00519	2,764
61	1,256	5,331	0,00531	2,728
62	1,273	5,249	0,00544	2,686
63	1,289	5,161	0,00556	2,641
64	1,307	5,086	0,00569	2,602
65	1,326	4,980	0,00583	2,548
66	1,345	4,812	0,00597	2,462
67	1,364	4,732	0,00610	2,421
68	1,383	4,633	0,00624	2,371
69	1,401	4,568	0,00637	2,337
70	1,418	4,545	0,00650	2,326
71	1,436	4,525	0,00663	2,315
72	1,454	4,445	0,00676	2,274
73	1,471	4,378	0,00689	2,240
74	1,489	4,338	0,00701	2,220
75	1,506	4,275	0,00714	2,188
76	1,522	4,226	0,00725	2,162
77	1,537	4,215	0,00737	2,157
78	1,553	4,204	0,00748	2,151
79	1,568	4,208	0,00759	2,153
80	1,584	4,216	0,00771	2,157
81	1,601	4,219	0,00783	2,159
82	1,618	4,187	0,00795	2,142
83	1,634	4,177	0,00807	2,137
84	1,650	4,186	0,00819	2,142
85	1,666	4,185	0,00830	2,141
86	1,681	4,164	0,00841	2,131
87	1,695	4,187	0,00852	2,142
88	1,710	4,233	0,00863	2,166

Διαστάσεις Δοκιμίου

H (mm)	D (cm)	A (cm^2)
136,983	4,988	19,543

σ (max) (Mpa)	5,316
E (MPa)	2246,63
E (GPa)	2,247



Δοκίμιο L1.2

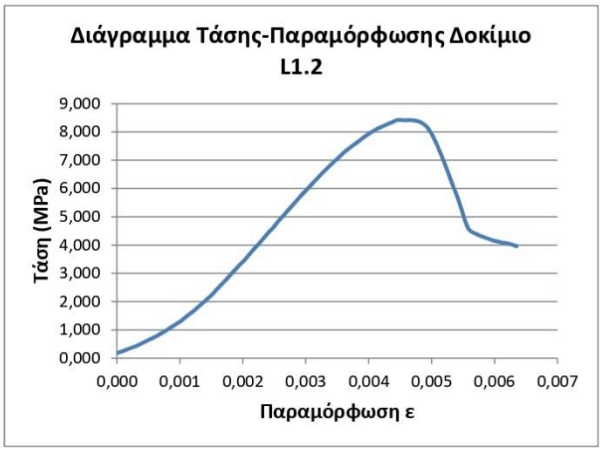
ID No.					
Title					
Test Date	11:12:59				
MEAS CHs					
Digital Input					
Sampling Rate(Hz)					
Data Nos/CH					
MEAS Time(sec)					
CH Name	LVDT 10	Load_cell_Triscan			
CH No.	CH05	CH06			
Range	10	10			
Calibration Coefficient	1	5			
Offset	-0,149	-0,02			
Unit	mm	kN		ε = DH/H	Stress(Mpa)
0	1,844	0,351		0,00000	0,179
1	1,857	0,510		0,00010	0,260
2	1,871	0,680		0,00020	0,347
3	1,884	0,847		0,00031	0,433
4	1,898	1,068		0,00041	0,546
5	1,912	1,293		0,00052	0,660
6	1,927	1,530		0,00063	0,781
7	1,940	1,779		0,00073	0,909
8	1,953	2,045		0,00082	1,044
9	1,965	2,314		0,00092	1,182
10	1,978	2,572		0,00101	1,314
11	1,989	2,878		0,00110	1,470
12	2,001	3,168		0,00119	1,618
13	2,012	3,472		0,00127	1,773
14	2,023	3,783		0,00135	1,932
15	2,033	4,090		0,00143	2,089
16	2,043	4,388		0,00151	2,241
17	2,053	4,746		0,00158	2,424
18	2,062	5,081		0,00166	2,595
19	2,072	5,419		0,00173	2,768
20	2,082	5,776		0,00180	2,950
21	2,092	6,130		0,00188	3,131
22	2,102	6,486		0,00195	3,312
23	2,112	6,822		0,00203	3,484
24	2,122	7,210		0,00211	3,682
25	2,132	7,582		0,00218	3,872
26	2,142	7,945		0,00226	4,058
27	2,152	8,311		0,00233	4,245
28	2,161	8,688		0,00240	4,437
29	2,171	9,028		0,00248	4,611
30	2,181	9,440		0,00255	4,821
31	2,191	9,811		0,00263	5,011
32	2,202	10,194		0,00271	5,206
33	2,212	10,572		0,00278	5,399
34	2,222	10,951		0,00286	5,593
35	2,232	11,332		0,00294	5,788
36	2,243	11,691		0,00302	5,971
37	2,254	12,084		0,00310	6,172

38	2,264	12,455	0,00318	6,361
39	2,275	12,839	0,00327	6,557
40	2,286	13,198	0,00335	6,741
41	2,298	13,562	0,00344	6,926
42	2,309	13,888	0,00352	7,093
43	2,321	14,264	0,00361	7,285
44	2,333	14,587	0,00370	7,450
45	2,346	14,909	0,00380	7,614
46	2,359	15,231	0,00390	7,779
47	2,373	15,539	0,00400	7,936
48	2,387	15,840	0,00412	8,090
49	2,403	16,088	0,00424	8,216
50	2,421	16,330	0,00437	8,340
51	2,440	16,496	0,00451	8,425
52	2,497	15,911	0,00494	8,126
53	2,553	11,569	0,00537	5,909
54	2,580	9,048	0,00557	4,621
55	2,598	8,602	0,00571	4,393
56	2,616	8,362	0,00584	4,271
57	2,633	8,165	0,00597	4,170
58	2,649	8,031	0,00610	4,102
59	2,665	7,945	0,00622	4,058
60	2,682	7,762	0,00635	3,964

Διαστάσεις Δοκιμίου

H (mm)	D (cm)	A (cm^2)
132,117	4,993	19,58

σ (max) (M	8,425
E (Mpa)	2544,279
E (Gpa)	2,544



Δοκίμιο L1.3

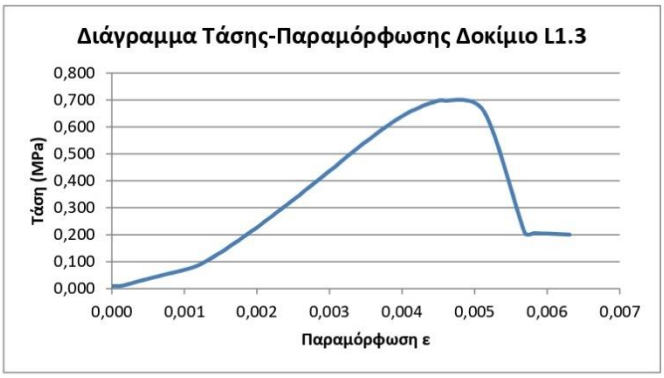
ID No.				
Title				
Test Date	11:19:10			
MEAS CHs				
Digital Input				
Sampling Rate(Hz)				
Data Nos/CH				
MEAS Time(sec)				
CH Name	LVDT 10	Load_cell_Triscan		
CH No.	CH05	CH06		
Range	10	10		
Calibration Coefficient	1	5		
Offset	-0,149	-0,02		
Unit	mm	kN	ε = DH/H	Stress(Mpa)
0	0,518	0,197	0,00000	0,010
1	0,535	0,197	0,00012	0,010
2	0,550	0,319	0,00022	0,016
3	0,564	0,472	0,00032	0,024
4	0,580	0,616	0,00042	0,031
5	0,596	0,767	0,00053	0,039
6	0,613	0,920	0,00065	0,047
7	0,630	1,079	0,00077	0,055
8	0,648	1,224	0,00089	0,063
9	0,666	1,394	0,00102	0,071
10	0,682	1,567	0,00113	0,080
11	0,695	1,771	0,00122	0,091
12	0,708	2,009	0,00130	0,103
13	0,719	2,253	0,00138	0,115
14	0,730	2,512	0,00146	0,128
15	0,742	2,762	0,00154	0,141
16	0,754	3,065	0,00162	0,157
17	0,765	3,343	0,00170	0,171
18	0,777	3,628	0,00178	0,186
19	0,788	3,931	0,00186	0,201
20	0,800	4,224	0,00194	0,216
21	0,811	4,508	0,00202	0,231
22	0,823	4,842	0,00210	0,248
23	0,835	5,153	0,00218	0,263
24	0,846	5,480	0,00226	0,280
25	0,858	5,804	0,00234	0,297
26	0,870	6,133	0,00242	0,314
27	0,882	6,457	0,00250	0,330
28	0,894	6,781	0,00258	0,347
29	0,905	7,146	0,00267	0,365
30	0,917	7,478	0,00275	0,382
31	0,929	7,816	0,00283	0,400
32	0,941	8,166	0,00291	0,418
33	0,952	8,504	0,00299	0,435
34	0,964	8,828	0,00307	0,451
35	0,976	9,196	0,00315	0,470
36	0,988	9,546	0,00323	0,488
37	0,999	9,895	0,00331	0,506

38	1,011	10,235	0,00340	0,523
39	1,023	10,578	0,00348	0,541
40	1,036	10,899	0,00356	0,557
41	1,048	11,241	0,00365	0,575
42	1,060	11,585	0,00373	0,592
43	1,073	11,909	0,00382	0,609
44	1,086	12,230	0,00391	0,625
45	1,100	12,534	0,00401	0,641
46	1,115	12,833	0,00411	0,656
47	1,130	13,074	0,00421	0,669
48	1,146	13,337	0,00432	0,682
49	1,163	13,534	0,00444	0,692
50	1,183	13,654	0,00458	0,698
51	1,263	12,849	0,00513	0,657
52	1,345	4,061	0,00569	0,208
53	1,363	4,030	0,00582	0,206
54	1,381	4,005	0,00594	0,205
55	1,398	3,987	0,00606	0,204
56	1,416	3,963	0,00618	0,203
57	1,434	3,922	0,00631	0,201

Διαστάσεις Δοκιμίου

H (mm)	D (cm)	A (cm^2)
145,217	4,990	19,556

σ (max) (Mpa)	0,698
E (MPa)	211,47
E (GPa)	0,211



Δοκίμιο L1.4

ID No.				
Title				
Test Date	11:22:12			
MEAS CHs				
Digital Input				
Sampling Rate(Hz)				
Data Nos/CH				
MEAS Time(sec)				
CH Name	LVDT 10	Load_cell_Triscan		
CH No.	CH05	CH06		
Range	10	10		
Calibration	1	5		
Offset	-0,149	-0,02		
Unit	mm	kN	ε = DH/H	Stress(Mpa)
0	1,975	0,028	0,00000	0,014
1	2,001	0,047	0,00022	0,024
2	2,023	0,066	0,00039	0,033
3	2,042	0,091	0,00055	0,046
4	2,059	0,112	0,00069	0,057
5	2,073	0,163	0,00081	0,083
6	2,089	0,223	0,00094	0,113
7	2,104	0,269	0,00106	0,137
8	2,118	0,331	0,00118	0,169
9	2,132	0,406	0,00130	0,207
10	2,145	0,490	0,00141	0,250
11	2,158	0,591	0,00151	0,301
12	2,170	0,707	0,00161	0,360
13	2,181	0,829	0,00170	0,422
14	2,190	0,972	0,00178	0,494
15	2,200	1,119	0,00186	0,569
16	2,208	1,271	0,00193	0,647
17	2,217	1,423	0,00200	0,724
18	2,226	1,611	0,00207	0,820
19	2,236	1,806	0,00216	0,919
20	2,248	2,012	0,00226	1,024
21	2,260	2,222	0,00235	1,131
22	2,271	2,441	0,00245	1,242
23	2,284	2,665	0,00256	1,356
24	2,296	2,909	0,00266	1,480
25	2,308	3,161	0,00276	1,609
26	2,320	3,411	0,00285	1,736
27	2,332	3,668	0,00295	1,867
28	2,344	3,929	0,00306	2,000
29	2,357	4,191	0,00316	2,133
30	2,369	4,440	0,00326	2,260
31	2,382	4,738	0,00337	2,412
32	2,395	5,014	0,00347	2,552
33	2,407	5,303	0,00358	2,699
34	2,420	5,593	0,00368	2,847
35	2,433	5,876	0,00379	2,991
36	2,445	6,148	0,00389	3,129
37	2,458	6,456	0,00400	3,286

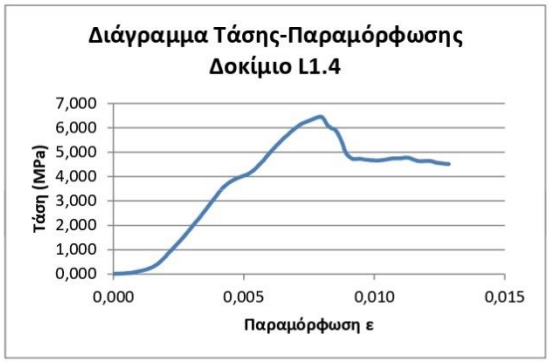
38	2,472	6,759	0,00411	3,440
39	2,486	7,033	0,00423	3,579
40	2,504	7,282	0,00437	3,706
41	2,523	7,507	0,00453	3,821
42	2,543	7,698	0,00470	3,918
43	2,567	7,849	0,00490	3,995
44	2,589	7,990	0,00508	4,066
45	2,608	8,169	0,00524	4,158
46	2,625	8,379	0,00538	4,265
47	2,640	8,629	0,00550	4,392
48	2,654	8,892	0,00562	4,526
49	2,669	9,149	0,00574	4,657
50	2,683	9,455	0,00586	4,812
51	2,698	9,747	0,00599	4,960
52	2,713	10,041	0,00611	5,110
53	2,728	10,320	0,00623	5,252
54	2,744	10,599	0,00636	5,394
55	2,759	10,873	0,00649	5,534
56	2,775	11,115	0,00662	5,657
57	2,792	11,382	0,00676	5,793
58	2,808	11,630	0,00690	5,919
59	2,826	11,872	0,00704	6,042
60	2,844	12,098	0,00720	6,157
61	2,866	12,269	0,00738	6,244
62	2,886	12,402	0,00755	6,312
63	2,906	12,543	0,00771	6,384
64	2,924	12,659	0,00786	6,443
65	2,938	12,675	0,00797	6,451
66	2,951	12,451	0,00808	6,337
67	2,964	12,055	0,00819	6,135
68	2,983	11,776	0,00835	5,994
69	3,005	11,564	0,00853	5,885
70	3,030	10,777	0,00873	5,485
71	3,050	9,843	0,00890	5,010
72	3,068	9,446	0,00905	4,808
73	3,085	9,282	0,00919	4,724
74	3,102	9,287	0,00933	4,727
75	3,119	9,295	0,00947	4,731
76	3,136	9,239	0,00961	4,702
77	3,153	9,205	0,00975	4,685
78	3,170	9,183	0,00989	4,674
79	3,187	9,165	0,01003	4,665
80	3,204	9,164	0,01017	4,664
81	3,220	9,189	0,01031	4,677
82	3,237	9,238	0,01045	4,702
83	3,254	9,294	0,01059	4,730
84	3,272	9,337	0,01074	4,752
85	3,289	9,334	0,01088	4,751
86	3,306	9,338	0,01102	4,752
87	3,322	9,383	0,01115	4,776
88	3,339	9,388	0,01129	4,778
89	3,354	9,306	0,01142	4,736

90	3,369	9,208	0,01154	4,686
91	3,384	9,124	0,01167	4,644
92	3,400	9,107	0,01180	4,635
93	3,417	9,120	0,01194	4,641
94	3,433	9,115	0,01207	4,639
95	3,447	9,108	0,01219	4,635
96	3,463	9,019	0,01232	4,590
97	3,479	8,962	0,01245	4,561
98	3,495	8,930	0,01258	4,545
99	3,511	8,895	0,01271	4,527
100	3,527	8,877	0,01285	4,518

Διαστάσεις Δοκιμίου

H (mm)	D (cm)	A (cm^2)
120,750	5,002	19,648

σ (max) (Mpa)	6,157
E (Mpa)	1261,29
E (Gpa)	1,261



Δοκίμιο L1.5

ID No.				
Title				
Test Date	11:29:02			
MEAS CHs				
Digital Input				
Sampling Rate(Hz)				
Data Nos/CH				
MEAS Time(sec)				
CH Name	LVDT 10	Load_cell_Triscan		
CH No.	CH05	CH06		
Range	10	10		
Calibration	1	5		
Offset	-0,149	-0,02		
Unit	mm	kN	ε = DH/H	Stress(Mpa)
0	2,637	0,030	0,00000	0,016
1	2,647	0,039	0,00008	0,020
2	2,658	0,053	0,00017	0,027
3	2,670	0,069	0,00027	0,036
4	2,682	0,093	0,00036	0,048
5	2,693	0,116	0,00046	0,060
6	2,706	0,135	0,00056	0,069
7	2,727	0,123	0,00073	0,063
8	2,750	0,083	0,00091	0,043
9	2,772	0,054	0,00109	0,028
10	2,795	0,007	0,00128	0,003
11	2,808	0,045	0,00138	0,023
12	2,817	0,085	0,00146	0,044
13	2,827	0,142	0,00153	0,073
14	2,837	0,199	0,00162	0,102
15	2,848	0,255	0,00170	0,131
16	2,858	0,311	0,00178	0,160
17	2,867	0,366	0,00186	0,188
18	2,876	0,426	0,00193	0,219
19	2,884	0,493	0,00199	0,253
20	2,890	0,556	0,00205	0,286
21	2,897	0,623	0,00210	0,320
22	2,903	0,707	0,00215	0,363
23	2,909	0,785	0,00220	0,404
24	2,917	0,881	0,00226	0,453
25	2,925	0,996	0,00233	0,512
26	2,932	1,114	0,00239	0,573
27	2,941	1,235	0,00245	0,635
28	2,948	1,363	0,00252	0,701
29	2,956	1,503	0,00258	0,773
30	2,964	1,648	0,00264	0,847
31	2,971	1,797	0,00270	0,924
32	2,979	1,945	0,00276	1,000
33	2,986	2,103	0,00282	1,081
34	2,994	2,253	0,00288	1,158
35	3,001	2,432	0,00294	1,250
36	3,007	2,588	0,00299	1,330
37	3,015	2,746	0,00305	1,411

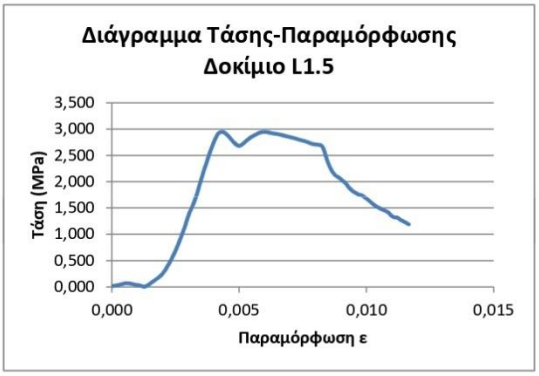
38	3,023	2,893	0,00312	1,487
39	3,032	3,047	0,00319	1,567
40	3,040	3,217	0,00326	1,654
41	3,049	3,400	0,00333	1,748
42	3,057	3,605	0,00340	1,853
43	3,065	3,812	0,00346	1,960
44	3,074	4,031	0,00353	2,072
45	3,082	4,241	0,00360	2,180
46	3,091	4,454	0,00367	2,290
47	3,100	4,653	0,00374	2,392
48	3,110	4,885	0,00382	2,511
49	3,120	5,101	0,00390	2,622
50	3,131	5,312	0,00399	2,731
51	3,142	5,520	0,00408	2,838
52	3,156	5,691	0,00420	2,926
53	3,179	5,736	0,00438	2,949
54	3,204	5,579	0,00458	2,868
55	3,231	5,346	0,00480	2,748
56	3,254	5,223	0,00498	2,685
57	3,272	5,288	0,00513	2,718
58	3,291	5,415	0,00529	2,784
59	3,311	5,531	0,00545	2,844
60	3,333	5,622	0,00562	2,890
61	3,355	5,710	0,00580	2,935
62	3,383	5,740	0,00603	2,951
63	3,414	5,695	0,00628	2,928
64	3,446	5,655	0,00654	2,907
65	3,478	5,593	0,00680	2,875
66	3,508	5,537	0,00704	2,846
67	3,537	5,477	0,00727	2,815
68	3,563	5,419	0,00749	2,786
69	3,585	5,372	0,00766	2,762
70	3,603	5,317	0,00781	2,733
71	3,622	5,278	0,00796	2,713
72	3,640	5,263	0,00811	2,706
73	3,661	5,185	0,00828	2,666
74	3,687	4,622	0,00848	2,376
75	3,706	4,310	0,00864	2,216
76	3,722	4,139	0,00877	2,128
77	3,739	4,057	0,00890	2,085
78	3,755	3,955	0,00904	2,033
79	3,772	3,850	0,00917	1,979
80	3,788	3,693	0,00930	1,898
81	3,804	3,570	0,00943	1,835
82	3,821	3,486	0,00956	1,792
83	3,837	3,417	0,00970	1,757
84	3,853	3,385	0,00983	1,740
85	3,870	3,298	0,00996	1,695
86	3,886	3,206	0,01009	1,648
87	3,902	3,096	0,01022	1,592
88	3,919	2,999	0,01036	1,542
89	3,935	2,929	0,01049	1,506

90	3,950	2,868	0,01061	1,475
91	3,966	2,820	0,01074	1,450
92	3,982	2,751	0,01086	1,414
93	3,996	2,634	0,01098	1,354
94	4,011	2,578	0,01110	1,325
95	4,025	2,562	0,01122	1,317
96	4,039	2,490	0,01133	1,280
97	4,053	2,433	0,01144	1,251
98	4,067	2,376	0,01155	1,221
99	4,080	2,316	0,01166	1,190

Διαστάσεις Δοκιμίου

H (mm)	D (cm)	A (cm^2)
123,767	4,977	19,452

σ (max) (Mpa)	2,951
E (Mpa)	961,96
E (Gpa)	0,962



Δοκίμιο L1.6

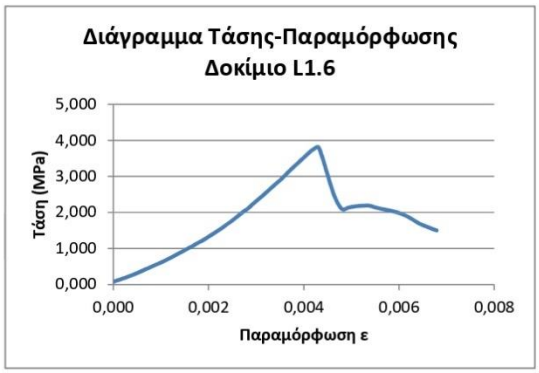
ID No.				
Title				
Test Date	11:34:53			
MEAS CHs				
Digital Input				
Sampling Rate(Hz)				
Data Nos/CH				
MEAS Time(sec)				
CH Name	LVDT 10	Load_cell_Triscan		
CH No.	CH05	CH06		
Range	10	10		
Calibration	1	5		
Offset	-0,149	-0,02		
Unit	mm	kN	ε = DH/H	Stress(Mpa)
0	0,629	0,145	0,00000	0,074
1	0,640	0,231	0,00010	0,118
2	0,654	0,356	0,00024	0,182
3	0,668	0,489	0,00038	0,250
4	0,682	0,636	0,00052	0,325
5	0,697	0,798	0,00066	0,408
6	0,711	0,960	0,00080	0,491
7	0,726	1,125	0,00094	0,575
8	0,740	1,287	0,00108	0,658
9	0,755	1,483	0,00123	0,759
10	0,770	1,675	0,00137	0,856
11	0,784	1,874	0,00151	0,958
12	0,799	2,072	0,00165	1,060
13	0,813	2,273	0,00179	1,162
14	0,827	2,467	0,00193	1,262
15	0,841	2,695	0,00206	1,378
16	0,855	2,922	0,00220	1,494
17	0,868	3,151	0,00233	1,611
18	0,881	3,392	0,00246	1,734
19	0,894	3,637	0,00258	1,860
20	0,906	3,891	0,00270	1,990
21	0,919	4,126	0,00282	2,110
22	0,932	4,405	0,00295	2,253
23	0,944	4,665	0,00306	2,385
24	0,956	4,933	0,00318	2,523
25	0,968	5,210	0,00330	2,664
26	0,980	5,485	0,00342	2,804
27	0,992	5,739	0,00353	2,935
28	1,003	6,041	0,00365	3,089
29	1,015	6,321	0,00376	3,232
30	1,027	6,598	0,00388	3,374
31	1,038	6,857	0,00398	3,506
32	1,049	7,106	0,00409	3,634
33	1,060	7,327	0,00419	3,747
34	1,072	7,416	0,00432	3,792
35	1,103	4,963	0,00462	2,538
36	1,121	4,113	0,00479	2,103
37	1,136	4,176	0,00494	2,136

38	1,152	4,244	0,00509	2,170
39	1,167	4,276	0,00523	2,187
40	1,182	4,274	0,00538	2,186
41	1,197	4,162	0,00553	2,128
42	1,212	4,075	0,00568	2,084
43	1,229	3,991	0,00584	2,041
44	1,248	3,856	0,00602	1,972
45	1,268	3,628	0,00622	1,855
46	1,288	3,308	0,00642	1,692
47	1,308	3,098	0,00661	1,584
48	1,326	2,931	0,00679	1,499

Διαστάσεις Δοκιμίου

H (mm)	D (cm)	A (cm^2)
102,683	4,990	19,556

σ (max) (Mpa)	3,792
E (Mpa)	1005,04
E (Gpa)	1,005



Δοκίμιο L2.1

ID No.				
Title				
Test Date	11:22:29			
MEAS CHs				
Digital Input				
Sampling Rate(Hz)				
Data Nos/CH				
MEAS Time(sec)				
CH Name	LVDT 10	Load_cell_Triscan		
CH No.	CH05	CH06		
Range	10	10		
Calibration	1	5		
Offset	-0,149	-0,02		
Unit	mm	kN	ε = DH/H	Stress(Mpa)
0	1,137	0,084	0,00000	0,043
1	1,154	0,141	0,00014	0,072
2	1,170	0,219	0,00027	0,112
3	1,186	0,320	0,00040	0,164
4	1,201	0,430	0,00052	0,220
5	1,215	0,578	0,00063	0,296
6	1,228	0,731	0,00074	0,373
7	1,242	0,899	0,00085	0,460
8	1,255	1,074	0,00096	0,549
9	1,269	1,264	0,00107	0,646
10	1,282	1,453	0,00118	0,742
11	1,296	1,680	0,00129	0,858
12	1,310	1,910	0,00140	0,976
13	1,323	2,148	0,00151	1,097
14	1,337	2,398	0,00162	1,226
15	1,350	2,655	0,00173	1,357
16	1,363	2,907	0,00183	1,485
17	1,377	3,148	0,00194	1,609
18	1,390	3,438	0,00205	1,757
19	1,403	3,713	0,00215	1,897
20	1,416	3,982	0,00226	2,035
21	1,429	4,263	0,00236	2,178
22	1,442	4,552	0,00247	2,326
23	1,455	4,822	0,00257	2,464
24	1,468	5,132	0,00268	2,622
25	1,481	5,427	0,00278	2,773
26	1,494	5,729	0,00289	2,928
27	1,507	6,034	0,00299	3,083
28	1,520	6,332	0,00310	3,236
29	1,533	6,641	0,00321	3,393
30	1,547	6,923	0,00331	3,537
31	1,560	7,262	0,00342	3,711
32	1,573	7,567	0,00353	3,867
33	1,587	7,869	0,00364	4,021
34	1,600	8,182	0,00375	4,181
35	1,614	8,480	0,00386	4,333
36	1,627	8,760	0,00397	4,476
37	1,641	9,082	0,00408	4,641

38	1,655	9,377	0,00419	4,792
39	1,669	9,674	0,00430	4,943
40	1,684	9,955	0,00442	5,087
41	1,699	10,215	0,00455	5,220
42	1,719	10,388	0,00471	5,308
43	1,774	7,189	0,00516	3,674
44	1,794	3,836	0,00532	1,960
45	1,809	3,886	0,00544	1,986
46	1,824	3,967	0,00556	2,027
47	1,839	4,051	0,00568	2,070
48	1,854	4,127	0,00580	2,109
49	1,869	4,176	0,00593	2,134
50	1,884	4,189	0,00605	2,140
51	1,899	4,224	0,00617	2,158
52	1,914	4,312	0,00629	2,203
53	1,929	4,384	0,00641	2,240
54	1,944	4,455	0,00653	2,276
55	1,959	4,485	0,00665	2,292
56	1,975	4,459	0,00678	2,279
57	1,990	4,449	0,00691	2,273
58	2,005	4,461	0,00703	2,279
59	2,020	4,511	0,00715	2,305
60	2,035	4,578	0,00727	2,339
61	2,050	4,653	0,00739	2,377
62	2,064	4,727	0,00751	2,415
63	2,079	4,816	0,00763	2,461
64	2,095	4,853	0,00775	2,480
65	2,110	4,837	0,00788	2,471
66	2,126	4,848	0,00800	2,477
67	2,141	4,875	0,00813	2,491
68	2,156	4,911	0,00825	2,509
69	2,171	4,969	0,00837	2,539
70	2,186	5,036	0,00849	2,573
71	2,201	5,086	0,00861	2,599
72	2,216	5,149	0,00873	2,631
73	2,231	5,189	0,00886	2,652
74	2,247	5,212	0,00898	2,663
75	2,262	5,237	0,00910	2,676
76	2,277	5,281	0,00922	2,698
77	2,292	5,303	0,00935	2,710
78	2,307	5,352	0,00947	2,735
79	2,322	5,382	0,00959	2,750
80	2,337	5,385	0,00971	2,752
81	2,353	5,355	0,00984	2,736
82	2,368	5,352	0,00996	2,735
83	2,383	5,351	0,01009	2,734
84	2,398	5,380	0,01021	2,749
85	2,413	5,419	0,01033	2,769
86	2,428	5,437	0,01045	2,779
87	2,443	5,442	0,01057	2,781
88	2,460	5,397	0,01071	2,758
89	2,477	5,258	0,01084	2,687

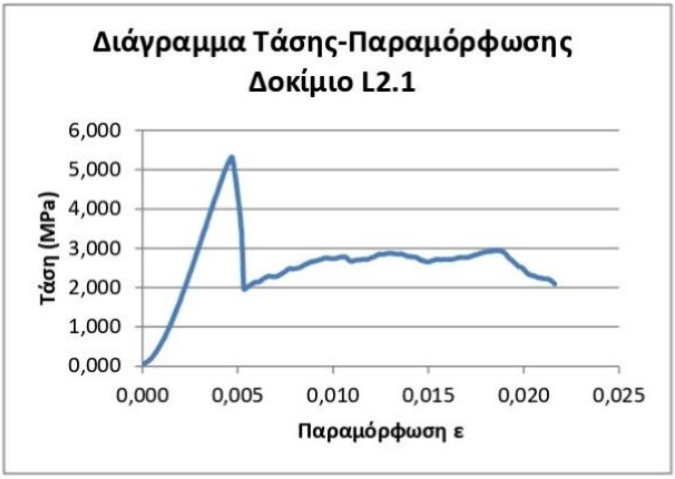
90	2,492	5,219	0,01097	2,667
91	2,507	5,248	0,01109	2,682
92	2,523	5,276	0,01122	2,696
93	2,538	5,290	0,01134	2,703
94	2,553	5,304	0,01146	2,710
95	2,569	5,313	0,01159	2,715
96	2,584	5,312	0,01171	2,714
97	2,599	5,330	0,01183	2,723
98	2,614	5,372	0,01195	2,745
99	2,628	5,415	0,01207	2,767
100	2,643	5,460	0,01219	2,790
101	2,657	5,522	0,01231	2,822
102	2,672	5,580	0,01243	2,851
103	2,688	5,562	0,01256	2,842
104	2,703	5,572	0,01268	2,847
105	2,718	5,605	0,01280	2,864
106	2,733	5,614	0,01292	2,868
107	2,747	5,619	0,01303	2,871
108	2,762	5,604	0,01315	2,863
109	2,775	5,593	0,01326	2,858
110	2,788	5,574	0,01337	2,848
111	2,802	5,581	0,01348	2,852
112	2,816	5,584	0,01359	2,854
113	2,830	5,549	0,01370	2,836
114	2,844	5,497	0,01381	2,809
115	2,858	5,468	0,01393	2,794
116	2,871	5,451	0,01404	2,785
117	2,885	5,442	0,01415	2,781
118	2,899	5,435	0,01426	2,777
119	2,913	5,411	0,01438	2,765
120	2,928	5,342	0,01450	2,729
121	2,943	5,268	0,01462	2,692
122	2,957	5,249	0,01474	2,682
123	2,972	5,205	0,01485	2,660
124	2,985	5,192	0,01496	2,653
125	2,999	5,205	0,01507	2,660
126	3,013	5,243	0,01518	2,679
127	3,027	5,283	0,01530	2,699
128	3,041	5,312	0,01541	2,715
129	3,055	5,309	0,01553	2,713
130	3,070	5,295	0,01564	2,706
131	3,084	5,310	0,01576	2,713
132	3,099	5,318	0,01588	2,717
133	3,112	5,314	0,01599	2,715
134	3,127	5,308	0,01611	2,712
135	3,141	5,313	0,01622	2,715
136	3,154	5,334	0,01633	2,725
137	3,169	5,367	0,01645	2,742
138	3,183	5,398	0,01656	2,758
139	3,198	5,411	0,01668	2,765
140	3,212	5,418	0,01680	2,768
141	3,227	5,414	0,01692	2,766

142	3,242	5,413	0,01704	2,766
143	3,256	5,438	0,01715	2,779
144	3,271	5,477	0,01727	2,799
145	3,285	5,521	0,01739	2,821
146	3,300	5,549	0,01751	2,836
147	3,314	5,586	0,01763	2,855
148	3,329	5,623	0,01775	2,873
149	3,344	5,654	0,01786	2,889
150	3,358	5,686	0,01798	2,905
151	3,373	5,697	0,01810	2,911
152	3,387	5,714	0,01822	2,920
153	3,402	5,732	0,01833	2,929
154	3,416	5,748	0,01845	2,937
155	3,431	5,751	0,01857	2,939
156	3,446	5,746	0,01869	2,936
157	3,462	5,720	0,01882	2,923
158	3,477	5,670	0,01895	2,898
159	3,494	5,544	0,01908	2,833
160	3,510	5,392	0,01921	2,755
161	3,525	5,296	0,01933	2,706
162	3,543	5,181	0,01948	2,647
163	3,560	5,053	0,01961	2,582
164	3,576	4,951	0,01974	2,530
165	3,593	4,910	0,01988	2,509
166	3,613	4,765	0,02004	2,435
167	3,631	4,611	0,02019	2,356
168	3,648	4,541	0,02033	2,320
169	3,664	4,514	0,02046	2,307
170	3,680	4,477	0,02059	2,288
171	3,696	4,415	0,02071	2,256
172	3,712	4,393	0,02084	2,245
173	3,727	4,371	0,02097	2,234
174	3,743	4,348	0,02109	2,222
175	3,758	4,341	0,02121	2,218
176	3,773	4,311	0,02134	2,203
177	3,790	4,214	0,02148	2,153
178	3,807	4,096	0,02162	2,093

Διαστάσεις Δοκιμίου

H (mm)	D (cm)	A (cm^2)
123,533	4,992	19,570

σ (max) (Mpa)	5,308
E (Mpa)	1423,65
E (Gpa)	1,424



Δοκίμιο L2.2

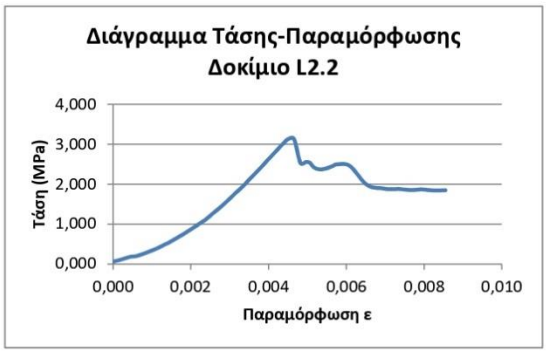
ID No.				
Title				
Test Date	11:37:56			
MEAS CHs				
Digital Input				
Sampling Rate(Hz)				
Data Nos/CH				
MEAS Time(sec)				
CH Name	LVDT 10	Load_cell_Triscan		
CH No.	CH05	CH06		
Range	10	10		
Calibration	1	5		
Offset	-0,149	-0,02		
Unit	mm	kN	ε = DH/H	Stress(Mpa)
0	1,668	0,117	0,00000	0,060
1	1,683	0,188	0,00015	0,097
2	1,698	0,273	0,00029	0,140
3	1,712	0,353	0,00044	0,181
4	1,727	0,387	0,00059	0,198
5	1,742	0,473	0,00074	0,242
6	1,757	0,579	0,00089	0,296
7	1,772	0,686	0,00103	0,352
8	1,786	0,804	0,00117	0,412
9	1,801	0,941	0,00132	0,482
10	1,816	1,080	0,00147	0,553
11	1,831	1,259	0,00163	0,645
12	1,847	1,432	0,00178	0,734
13	1,863	1,617	0,00194	0,828
14	1,879	1,808	0,00209	0,926
15	1,894	2,006	0,00225	1,028
16	1,909	2,193	0,00239	1,123
17	1,923	2,423	0,00254	1,241
18	1,937	2,638	0,00268	1,352
19	1,951	2,861	0,00281	1,466
20	1,964	3,098	0,00294	1,587
21	1,977	3,330	0,00307	1,706
22	1,991	3,570	0,00321	1,829
23	2,004	3,799	0,00334	1,946
24	2,017	4,066	0,00347	2,083
25	2,030	4,319	0,00360	2,213
26	2,043	4,573	0,00373	2,343
27	2,056	4,830	0,00386	2,475
28	2,068	5,090	0,00398	2,608
29	2,081	5,337	0,00411	2,734
30	2,094	5,607	0,00424	2,873
31	2,107	5,868	0,00437	3,007
32	2,121	6,102	0,00450	3,127
33	2,136	6,110	0,00465	3,131
34	2,153	4,939	0,00482	2,531
35	2,167	4,988	0,00497	2,556
36	2,177	4,949	0,00506	2,536
37	2,185	4,776	0,00514	2,447

38	2,192	4,672	0,00522	2,394
39	2,203	4,626	0,00532	2,370
40	2,214	4,645	0,00542	2,380
41	2,224	4,701	0,00552	2,409
42	2,235	4,781	0,00564	2,450
43	2,247	4,874	0,00576	2,497
44	2,280	4,803	0,00608	2,461
45	2,317	4,000	0,00645	2,050
46	2,334	3,783	0,00662	1,938
47	2,348	3,724	0,00677	1,908
48	2,363	3,704	0,00691	1,898
49	2,377	3,664	0,00705	1,877
50	2,393	3,661	0,00721	1,876
51	2,407	3,668	0,00735	1,879
52	2,422	3,640	0,00750	1,865
53	2,438	3,616	0,00765	1,853
54	2,452	3,631	0,00780	1,860
55	2,467	3,646	0,00794	1,868
56	2,482	3,621	0,00810	1,855
57	2,497	3,600	0,00825	1,845
58	2,512	3,597	0,00840	1,843
59	2,528	3,605	0,00855	1,847

Διαστάσεις Δοκιμίου

H (mm)	D (cm)	A (cm^2)
100,562	4,985	19,517

σ (max) (Mpa)	3,131
E (Mpa)	881,329
E (Gpa)	0,881



Δοκίμιο L2.3

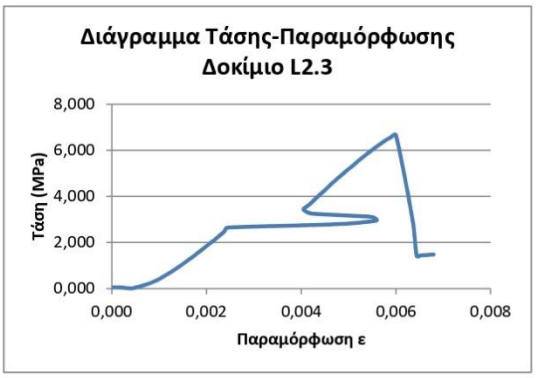
ID No.				
Title				
Test Date	11:42:56			
MEAS CHs				
Digital Input				
Sampling Rate(Hz)				
Data Nos/CH				
MEAS Time(sec)				
CH Name	LVDT 10	Load_cell_Triscan		
CH No.	CH05	CH06		
Range	10	10		
Calibration	1	5		
Offset	-0,149	-0,02		
Unit	mm	kN	ε = DH/H	Stress(Mpa)
0	-0,302	0,091	0,00000	0,047
1	-0,279	0,097	0,00017	0,050
2	-0,247	0,012	0,00041	0,006
3	-0,234	0,109	0,00051	0,056
4	-0,221	0,194	0,00061	0,099
5	-0,209	0,309	0,00070	0,158
6	-0,198	0,423	0,00078	0,217
7	-0,186	0,560	0,00087	0,287
8	-0,175	0,721	0,00096	0,370
9	-0,164	0,896	0,00104	0,460
10	-0,153	1,085	0,00112	0,556
11	-0,142	1,276	0,00120	0,654
12	-0,131	1,495	0,00128	0,767
13	-0,121	1,709	0,00137	0,876
14	-0,109	1,934	0,00145	0,992
15	-0,098	2,179	0,00153	1,117
16	-0,088	2,419	0,00161	1,240
17	-0,076	2,652	0,00170	1,360
18	-0,065	2,925	0,00178	1,500
19	-0,054	3,184	0,00187	1,633
20	-0,043	3,452	0,00195	1,770
21	-0,031	3,728	0,00204	1,912
22	-0,019	3,999	0,00213	2,051
23	-0,008	4,270	0,00221	2,189
24	0,003	4,559	0,00230	2,337
25	0,014	4,861	0,00238	2,492
26	0,023	5,167	0,00245	2,649
27	0,336	5,469	0,00481	2,804
28	0,440	5,769	0,00559	2,958
29	0,425	6,077	0,00548	3,116
30	0,259	6,352	0,00423	3,257
31	0,235	6,687	0,00405	3,428
32	0,247	6,999	0,00413	3,589
33	0,259	7,314	0,00423	3,750
34	0,270	7,638	0,00431	3,916
35	0,280	7,945	0,00439	4,074
36	0,292	8,251	0,00448	4,230
37	0,303	8,575	0,00456	4,397

38	0,315	8,904	0,00465	4,565
39	0,326	9,218	0,00473	4,726
40	0,339	9,534	0,00483	4,888
41	0,351	9,854	0,00492	5,052
42	0,363	10,163	0,00501	5,211
43	0,375	10,452	0,00510	5,359
44	0,387	10,783	0,00520	5,529
45	0,400	11,085	0,00529	5,683
46	0,412	11,390	0,00538	5,840
47	0,425	11,692	0,00548	5,995
48	0,438	11,991	0,00558	6,148
49	0,451	12,260	0,00567	6,286
50	0,465	12,557	0,00578	6,438
51	0,479	12,802	0,00589	6,564
52	0,494	12,986	0,00600	6,658
53	0,539	6,096	0,00634	3,126
54	0,552	2,789	0,00644	1,430
55	0,564	2,813	0,00653	1,442
56	0,576	2,829	0,00661	1,451
57	0,587	2,867	0,00670	1,470
58	0,600	2,875	0,00680	1,474

Διαστάσεις Δοκιμίου

H (mm)	D (cm)	A (cm^2)
132,650	4,983	19,504

σ (max) (Mpa)	6,658
E (Mpa)	1770,200
E (Gpa)	1,770



Δοκίμιο L3.2

ID No.				
Title				
Test Date	11:31:04			
MEAS CHs				
Digital Input				
Sampling Rate(Hz)				
Data Nos/CH				
MEAS Time(sec)				
CH Name	LVDT 10	Load_cell_Triscan		
CH No.	CH05	CH06		
Range	10	10		
Calibration	1	5		
Offset	-0,149	-0,02		
Unit	mm	kN	ε = DH/H	Stress(Mpa)
0	0,655	0,044	0,00000	0,023
1	0,663	0,088	0,00006	0,045
2	0,675	0,153	0,00015	0,078
3	0,687	0,222	0,00024	0,114
4	0,699	0,306	0,00033	0,157
5	0,711	0,399	0,00043	0,204
6	0,724	0,489	0,00053	0,251
7	0,738	0,557	0,00063	0,286
8	0,750	0,679	0,00072	0,348
9	0,762	0,842	0,00082	0,432
10	0,775	1,006	0,00092	0,516
11	0,788	1,177	0,00102	0,604
12	0,802	1,356	0,00112	0,696
13	0,815	1,545	0,00122	0,793
14	0,829	1,731	0,00132	0,888
15	0,842	1,964	0,00143	1,007
16	0,855	2,193	0,00153	1,125
17	0,869	2,436	0,00163	1,250
18	0,882	2,685	0,00173	1,377
19	0,895	2,935	0,00183	1,506
20	0,908	3,202	0,00193	1,642
21	0,921	3,447	0,00203	1,768
22	0,935	3,741	0,00213	1,919
23	0,948	4,013	0,00223	2,059
24	0,961	4,296	0,00233	2,204
25	0,974	4,588	0,00243	2,354
26	0,987	4,882	0,00253	2,505
27	1,000	5,157	0,00263	2,645
28	1,012	5,481	0,00272	2,811
29	1,024	5,797	0,00281	2,974
30	1,037	6,103	0,00291	3,131
31	1,049	6,420	0,00300	3,293
32	1,061	6,740	0,00310	3,457
33	1,074	7,044	0,00319	3,613
34	1,087	7,365	0,00329	3,778
35	1,100	7,700	0,00339	3,950
36	1,112	8,032	0,00348	4,120
37	1,125	8,355	0,00358	4,286

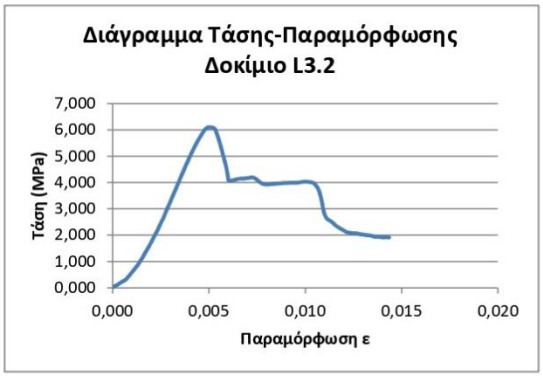
38	1,138	8,678	0,00368	4,452
39	1,151	9,006	0,00378	4,620
40	1,164	9,301	0,00388	4,771
41	1,178	9,654	0,00398	4,952
42	1,192	9,974	0,00409	5,117
43	1,206	10,284	0,00420	5,276
44	1,221	10,596	0,00431	5,435
45	1,236	10,899	0,00442	5,591
46	1,251	11,181	0,00454	5,735
47	1,268	11,469	0,00467	5,883
48	1,285	11,739	0,00480	6,022
49	1,310	11,890	0,00499	6,099
50	1,356	11,697	0,00534	6,000
51	1,426	9,083	0,00587	4,659
52	1,444	7,986	0,00601	4,096
53	1,459	7,951	0,00612	4,079
54	1,474	7,967	0,00624	4,087
55	1,489	8,013	0,00635	4,111
56	1,505	8,057	0,00647	4,133
57	1,521	8,085	0,00659	4,148
58	1,537	8,094	0,00671	4,152
59	1,552	8,100	0,00683	4,155
60	1,567	8,123	0,00695	4,167
61	1,583	8,146	0,00706	4,179
62	1,598	8,174	0,00718	4,193
63	1,614	8,168	0,00730	4,190
64	1,630	8,080	0,00742	4,145
65	1,646	7,951	0,00754	4,078
66	1,662	7,799	0,00767	4,001
67	1,678	7,707	0,00779	3,953
68	1,694	7,669	0,00791	3,934
69	1,709	7,661	0,00803	3,930
70	1,725	7,674	0,00815	3,936
71	1,742	7,693	0,00828	3,947
72	1,758	7,709	0,00840	3,954
73	1,775	7,718	0,00853	3,959
74	1,793	7,735	0,00867	3,968
75	1,812	7,757	0,00881	3,979
76	1,830	7,774	0,00895	3,988
77	1,848	7,778	0,00908	3,990
78	1,866	7,781	0,00922	3,991
79	1,883	7,794	0,00935	3,998
80	1,901	7,788	0,00949	3,995
81	1,919	7,796	0,00963	3,999
82	1,937	7,828	0,00976	4,016
83	1,955	7,857	0,00990	4,031
84	1,973	7,861	0,01004	4,032
85	1,991	7,844	0,01017	4,024
86	2,008	7,816	0,01031	4,009
87	2,026	7,751	0,01044	3,976
88	2,045	7,518	0,01058	3,857
89	2,061	7,188	0,01071	3,687

90	2,079	6,504	0,01084	3,336
91	2,093	5,689	0,01095	2,919
92	2,105	5,315	0,01104	2,727
93	2,118	5,100	0,01114	2,616
94	2,132	5,007	0,01124	2,568
95	2,145	4,916	0,01134	2,522
96	2,159	4,792	0,01145	2,458
97	2,172	4,649	0,01155	2,385
98	2,185	4,539	0,01165	2,328
99	2,198	4,458	0,01175	2,287
100	2,211	4,370	0,01185	2,242
101	2,224	4,294	0,01195	2,203
102	2,237	4,198	0,01204	2,153
103	2,250	4,132	0,01214	2,119
104	2,262	4,094	0,01224	2,100
105	2,276	4,065	0,01234	2,085
106	2,289	4,051	0,01244	2,078
107	2,302	4,044	0,01254	2,074
108	2,316	4,038	0,01265	2,072
109	2,330	4,008	0,01275	2,056
110	2,344	3,969	0,01286	2,036
111	2,358	3,952	0,01297	2,027
112	2,371	3,930	0,01307	2,016
113	2,385	3,913	0,01317	2,007
114	2,399	3,894	0,01328	1,998
115	2,413	3,868	0,01338	1,984
116	2,427	3,825	0,01349	1,962
117	2,442	3,782	0,01361	1,940
118	2,456	3,775	0,01371	1,936
119	2,470	3,775	0,01382	1,936
120	2,483	3,758	0,01392	1,928
121	2,497	3,735	0,01403	1,916
122	2,511	3,742	0,01413	1,920
123	2,525	3,739	0,01424	1,918
124	2,539	3,732	0,01434	1,915

Διαστάσεις Δοκιμίου

H (mm)	D (cm)	A (cm^2)
131,350	4,983	19,494

σ (max) (Mpa)	6,099
E (Mpa)	1658,83
E (Gpa)	1,659



Δοκίμιο L3.3

ID No.				
Title				
Test Date	11:48:44			
MEAS CHs				
Digital Input				
Sampling Rate(Hz)				
Data Nos/CH				
MEAS Time(sec)				
CH Name	LVDT 10	Load_cell_Triscan		
CH No.	CH05	CH06		
Range	10	10		
Calibration	1	5		
Offset	-0,149	-0,02		
Unit	mm	kN	ε = DH/H	Stress(Mpa)
0	4,051	0,008	0,00000	0,004
1	4,070	0,024	0,00017	0,012
2	4,086	0,040	0,00030	0,020
3	4,101	0,051	0,00043	0,026
4	4,115	0,067	0,00055	0,034
5	4,130	0,083	0,00068	0,042
6	4,145	0,098	0,00080	0,050
7	4,159	0,116	0,00093	0,059
8	4,175	0,132	0,00106	0,067
9	4,190	0,144	0,00119	0,073
10	4,204	0,172	0,00132	0,088
11	4,219	0,195	0,00144	0,100
12	4,233	0,231	0,00156	0,118
13	4,247	0,271	0,00168	0,138
14	4,260	0,323	0,00179	0,165
15	4,273	0,379	0,00190	0,194
16	4,286	0,442	0,00201	0,226
17	4,298	0,507	0,00212	0,258
18	4,315	0,554	0,00226	0,283
19	4,330	0,593	0,00239	0,302
20	4,340	0,679	0,00248	0,347
21	4,352	0,771	0,00258	0,393
22	4,363	0,880	0,00268	0,449
23	4,375	1,010	0,00277	0,515
24	4,386	1,140	0,00287	0,582
25	4,397	1,305	0,00297	0,666
26	4,409	1,458	0,00307	0,744
27	4,420	1,622	0,00316	0,828
28	4,432	1,800	0,00326	0,918
29	4,443	1,986	0,00336	1,013
30	4,454	2,188	0,00346	1,116
31	4,465	2,375	0,00355	1,212
32	4,477	2,612	0,00365	1,333
33	4,488	2,825	0,00375	1,441
34	4,500	3,049	0,00385	1,556
35	4,512	3,274	0,00395	1,670
36	4,524	3,506	0,00405	1,789
37	4,535	3,716	0,00415	1,896

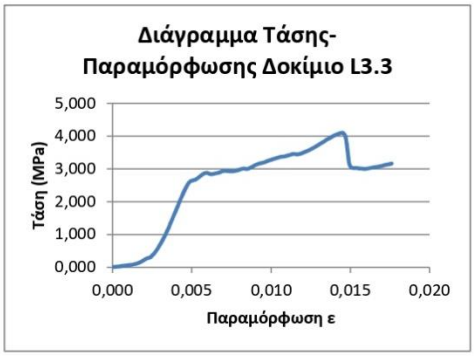
90	5,337	6,670	0,01101	3,403
91	5,352	6,701	0,01114	3,419
92	5,367	6,742	0,01127	3,440
93	5,382	6,772	0,01140	3,455
94	5,399	6,760	0,01154	3,449
95	5,414	6,748	0,01168	3,443
96	5,430	6,776	0,01181	3,457
97	5,445	6,822	0,01194	3,481
98	5,461	6,870	0,01208	3,505
99	5,477	6,923	0,01221	3,532
100	5,492	6,971	0,01235	3,557
101	5,507	7,033	0,01247	3,588
102	5,522	7,101	0,01260	3,623
103	5,537	7,172	0,01273	3,660
104	5,552	7,240	0,01286	3,694
105	5,567	7,314	0,01299	3,732
106	5,582	7,389	0,01311	3,770
107	5,597	7,464	0,01324	3,808
108	5,612	7,537	0,01337	3,845
109	5,627	7,622	0,01350	3,889
110	5,642	7,686	0,01362	3,922
111	5,657	7,752	0,01375	3,955
112	5,672	7,824	0,01388	3,992
113	5,688	7,887	0,01402	4,024
114	5,703	7,945	0,01415	4,054
115	5,718	7,990	0,01428	4,077
116	5,734	8,030	0,01442	4,097
117	5,750	8,019	0,01455	4,091
118	5,767	7,780	0,01470	3,970
119	5,782	6,981	0,01483	3,562
120	5,795	6,158	0,01494	3,142
121	5,809	5,978	0,01506	3,050
122	5,822	5,933	0,01517	3,027
123	5,836	5,933	0,01529	3,027
124	5,850	5,933	0,01541	3,027
125	5,864	5,906	0,01553	3,014
126	5,878	5,903	0,01565	3,012
127	5,892	5,894	0,01577	3,007
128	5,907	5,884	0,01589	3,002
129	5,921	5,887	0,01602	3,004
130	5,936	5,911	0,01614	3,016
131	5,951	5,938	0,01627	3,030
132	5,966	5,964	0,01640	3,043
133	5,981	5,976	0,01653	3,049
134	5,997	6,003	0,01667	3,063
135	6,013	6,024	0,01680	3,073
136	6,028	6,049	0,01693	3,086
137	6,044	6,079	0,01707	3,101
138	6,059	6,118	0,01720	3,122
139	6,075	6,135	0,01733	3,130
140	6,090	6,161	0,01747	3,144
141	6,106	6,199	0,01760	3,163

38	4,547	3,963	0,00425	2,022
39	4,559	4,185	0,00435	2,135
40	4,571	4,409	0,00445	2,250
41	4,584	4,632	0,00456	2,363
42	4,597	4,841	0,00468	2,470
43	4,611	5,030	0,00480	2,566
44	4,628	5,156	0,00494	2,631
45	4,647	5,200	0,00510	2,653
46	4,664	5,250	0,00525	2,678
47	4,681	5,347	0,00540	2,728
48	4,698	5,448	0,00554	2,780
49	4,714	5,553	0,00568	2,833
50	4,731	5,622	0,00583	2,868
51	4,748	5,642	0,00597	2,879
52	4,766	5,580	0,00612	2,847
53	4,782	5,562	0,00626	2,838
54	4,796	5,587	0,00638	2,851
55	4,811	5,612	0,00651	2,863
56	4,826	5,640	0,00664	2,878
57	4,841	5,671	0,00677	2,894
58	4,855	5,725	0,00689	2,921
59	4,870	5,753	0,00701	2,936
60	4,885	5,767	0,00714	2,943
61	4,900	5,748	0,00727	2,933
62	4,915	5,741	0,00740	2,929
63	4,930	5,741	0,00753	2,929
64	4,945	5,753	0,00766	2,935
65	4,960	5,772	0,00779	2,945
66	4,975	5,801	0,00792	2,960
67	4,990	5,848	0,00805	2,984
68	5,006	5,881	0,00818	3,001
69	5,021	5,898	0,00831	3,009
70	5,037	5,871	0,00844	2,996
71	5,052	5,897	0,00857	3,009
72	5,067	5,953	0,00870	3,037
73	5,081	6,014	0,00883	3,069
74	5,096	6,081	0,00895	3,103
75	5,111	6,137	0,00908	3,131
76	5,125	6,178	0,00920	3,152
77	5,140	6,222	0,00933	3,174
78	5,155	6,242	0,00946	3,185
79	5,170	6,276	0,00958	3,202
80	5,185	6,328	0,00971	3,229
81	5,200	6,377	0,00984	3,254
82	5,214	6,410	0,00997	3,271
83	5,230	6,459	0,01010	3,295
84	5,245	6,498	0,01023	3,315
85	5,261	6,531	0,01036	3,332
86	5,276	6,573	0,01049	3,354
87	5,291	6,604	0,01062	3,370
88	5,307	6,618	0,01076	3,377
89	5,322	6,632	0,01088	3,384

Διαστάσεις Δοκιμίου

H (mm)	D (cm)	A (cm^2)
116,767	4,997	19,599

σ (max) (Mpa)	4,097
E (Mpa)	1123,10
E (Gpa)	1,123



Δοκίμιο L4.1

ID No.					
Title					
Test Date	11:56:29				
MEAS CHs					
Digital Input					
Sampling Rate(Hz)					
Data Nos/CH					
MEAS Time(sec)					
CH Name	LVDT 10	Load_cell_Triscan			
CH No.	CH05	CH06			
Range	10	10			
Calibration	1	5			
Offset	-0,149	-0,02			
Unit	mm	kN		ε = DH/H	Stress(Mpa)
0	2,498	0,020		0,00000	0,010
1	2,496	0,014		-0,00002	0,007
2	2,509	0,037		0,00012	0,019
3	2,524	0,052		0,00030	0,027
4	2,539	0,071		0,00047	0,036
5	2,553	0,094		0,00064	0,048
6	2,567	0,102		0,00081	0,052
7	2,581	0,102		0,00097	0,052
8	2,596	0,115		0,00115	0,059
9	2,611	0,150		0,00132	0,077
10	2,626	0,181		0,00149	0,093
11	2,640	0,216		0,00166	0,111
12	2,655	0,232		0,00183	0,119
13	2,669	0,244		0,00199	0,125
14	2,682	0,281		0,00215	0,144
15	2,696	0,312		0,00231	0,160
16	2,711	0,361		0,00249	0,185
17	2,724	0,405		0,00264	0,208
18	2,737	0,446		0,00280	0,229
19	2,752	0,495		0,00297	0,254
20	2,768	0,532		0,00315	0,273
21	2,782	0,596		0,00333	0,306
22	2,796	0,659		0,00348	0,338
23	2,809	0,728		0,00364	0,374
24	2,823	0,800		0,00380	0,410
25	2,837	0,870		0,00396	0,446
26	2,851	0,943		0,00413	0,484
27	2,865	1,038		0,00430	0,533
28	2,878	1,124		0,00445	0,577
29	2,891	1,209		0,00460	0,620
30	2,905	1,293		0,00476	0,663
31	2,918	1,384		0,00492	0,710
32	2,931	1,474		0,00507	0,756
33	2,944	1,577		0,00522	0,809
34	2,957	1,684		0,00537	0,864
35	2,970	1,787		0,00552	0,917
36	2,984	1,889		0,00568	0,969
37	2,997	1,996		0,00583	1,024

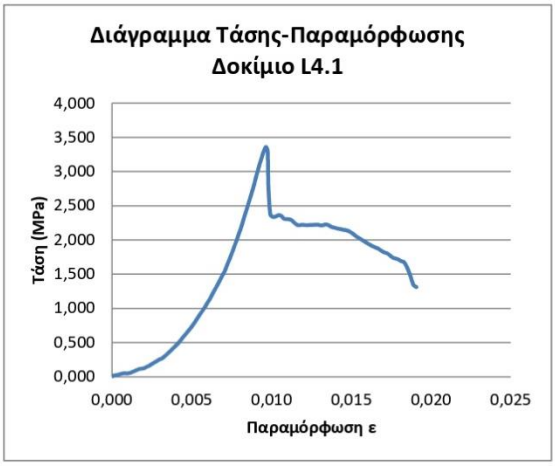
38	3,010	2,116	0,00599	1,085
39	3,024	2,229	0,00615	1,143
40	3,037	2,363	0,00630	1,212
41	3,050	2,489	0,00646	1,277
42	3,063	2,614	0,00661	1,341
43	3,076	2,744	0,00676	1,408
44	3,089	2,877	0,00691	1,476
45	3,102	3,012	0,00707	1,545
46	3,115	3,183	0,00722	1,633
47	3,127	3,345	0,00736	1,716
48	3,140	3,511	0,00751	1,801
49	3,152	3,691	0,00765	1,894
50	3,164	3,869	0,00779	1,985
51	3,176	4,051	0,00794	2,078
52	3,188	4,230	0,00808	2,170
53	3,200	4,437	0,00821	2,276
54	3,211	4,629	0,00835	2,375
55	3,223	4,825	0,00848	2,475
56	3,234	5,031	0,00862	2,581
57	3,246	5,230	0,00875	2,683
58	3,257	5,423	0,00888	2,782
59	3,268	5,647	0,00900	2,897
60	3,278	5,859	0,00913	3,006
61	3,289	6,061	0,00926	3,109
62	3,300	6,254	0,00939	3,208
63	3,311	6,433	0,00952	3,300
64	3,323	6,548	0,00966	3,359
65	3,332	6,422	0,00976	3,294
66	3,336	5,362	0,00981	2,751
67	3,346	4,637	0,00992	2,379
68	3,357	4,562	0,01005	2,340
69	3,369	4,557	0,01019	2,338
70	3,382	4,588	0,01034	2,354
71	3,394	4,606	0,01048	2,363
72	3,406	4,580	0,01063	2,350
73	3,418	4,509	0,01077	2,313
74	3,431	4,493	0,01092	2,305
75	3,444	4,489	0,01107	2,303
76	3,459	4,465	0,01125	2,291
77	3,476	4,384	0,01144	2,249
78	3,491	4,325	0,01162	2,218
79	3,505	4,322	0,01178	2,217
80	3,519	4,332	0,01194	2,222
81	3,533	4,324	0,01212	2,218
82	3,548	4,322	0,01228	2,217
83	3,561	4,327	0,01244	2,220
84	3,575	4,328	0,01260	2,220
85	3,589	4,335	0,01276	2,224
86	3,602	4,332	0,01292	2,222
87	3,616	4,316	0,01308	2,214
88	3,629	4,322	0,01324	2,217
89	3,643	4,342	0,01340	2,227

90	3,659	4,319	0,01358	2,215
91	3,674	4,271	0,01376	2,191
92	3,690	4,250	0,01394	2,180
93	3,705	4,223	0,01413	2,167
94	3,721	4,210	0,01431	2,160
95	3,736	4,192	0,01449	2,150
96	3,751	4,177	0,01466	2,142
97	3,766	4,151	0,01484	2,129
98	3,782	4,098	0,01503	2,102
99	3,799	4,028	0,01523	2,066
100	3,816	3,970	0,01542	2,036
101	3,831	3,920	0,01560	2,011
102	3,848	3,864	0,01579	1,982
103	3,864	3,811	0,01599	1,955
104	3,879	3,762	0,01617	1,930
105	3,894	3,722	0,01634	1,909
106	3,910	3,682	0,01652	1,889
107	3,925	3,650	0,01670	1,872
108	3,940	3,592	0,01688	1,843
109	3,956	3,544	0,01707	1,818
110	3,972	3,519	0,01724	1,805
111	3,987	3,459	0,01742	1,775
112	4,003	3,394	0,01761	1,741
113	4,017	3,371	0,01778	1,729
114	4,032	3,341	0,01795	1,714
115	4,047	3,297	0,01813	1,691
116	4,065	3,251	0,01833	1,668
117	4,090	2,977	0,01863	1,527
118	4,111	2,634	0,01888	1,351
119	4,128	2,558	0,01908	1,312

Διαστάσεις Δοκιμίου

H (mm)	D (cm)	A (cm^2)
85,433	4,983	19,494

σ (max) (Mpa)	3,359
E (Mpa)	570,47
E (Gpa)	0,570



Δοκίμιο L4.2

ID No.				
Title				
Test Date	11:38:01			
MEAS CHs				
Digital Input				
Sampling Rate(Hz)				
Data Nos/CH				
MEAS Time(sec)				
CH Name	LVDT 10	Load_cell_Triscan		
CH No.	CH05	CH06		
Range	10	10		
Calibration	1	5		
Offset	-0,149	-0,02		
Unit	mm	kN	ε = DH/H	Stress(Mpa)
0	1,817	0,251	0,00000	0,129
1	1,831	0,366	0,00009	0,188
2	1,846	0,517	0,00019	0,266
3	1,860	0,689	0,00029	0,354
4	1,875	0,877	0,00039	0,451
5	1,890	1,077	0,00049	0,554
6	1,904	1,281	0,00059	0,659
7	1,918	1,516	0,00068	0,780
8	1,932	1,748	0,00077	0,899
9	1,945	1,999	0,00086	1,028
10	1,958	2,247	0,00095	1,156
11	1,970	2,497	0,00103	1,284
12	1,982	2,738	0,00112	1,408
13	1,995	3,022	0,00120	1,555
14	2,007	3,288	0,00128	1,691
15	2,019	3,552	0,00136	1,827
16	2,031	3,827	0,00144	1,969
17	2,043	4,100	0,00152	2,109
18	2,055	4,370	0,00160	2,248
19	2,066	4,639	0,00168	2,386
20	2,077	4,937	0,00175	2,539
21	2,088	5,219	0,00183	2,684
22	2,100	5,503	0,00191	2,830
23	2,112	5,792	0,00199	2,979
24	2,123	6,076	0,00207	3,125
25	2,135	6,343	0,00215	3,263
26	2,146	6,644	0,00222	3,417
27	2,158	6,931	0,00230	3,565
28	2,170	7,214	0,00238	3,711
29	2,182	7,489	0,00247	3,852
30	2,215	7,691	0,00269	3,956
31	2,295	3,192	0,00323	1,642
32	2,309	2,492	0,00333	1,282
33	2,324	2,536	0,00342	1,305
34	2,339	2,563	0,00352	1,318
35	2,353	2,588	0,00362	1,331
36	2,367	2,625	0,00372	1,350
37	2,382	2,655	0,00382	1,366

38	2,398	2,660	0,00392	1,368
39	2,413	2,655	0,00403	1,366
40	2,428	2,657	0,00413	1,366
41	2,443	2,675	0,00423	1,376
42	2,459	2,688	0,00433	1,383
43	2,474	2,700	0,00444	1,389
44	2,489	2,700	0,00454	1,388
45	2,505	2,704	0,00465	1,391
46	2,519	2,717	0,00474	1,398
47	2,534	2,739	0,00484	1,409
48	2,549	2,768	0,00494	1,423
49	2,563	2,816	0,00504	1,448
50	2,578	2,842	0,00514	1,462
51	2,592	2,875	0,00524	1,479
52	2,606	2,910	0,00533	1,497
53	2,621	2,918	0,00543	1,501
54	2,636	2,922	0,00553	1,503
55	2,650	2,949	0,00563	1,517
56	2,664	2,986	0,00572	1,536
57	2,679	3,006	0,00582	1,546
58	2,694	3,016	0,00593	1,551
59	2,709	3,037	0,00603	1,562
60	2,724	3,049	0,00613	1,568
61	2,739	3,061	0,00623	1,574
62	2,754	3,075	0,00633	1,582
63	2,768	3,085	0,00643	1,587
64	2,782	3,102	0,00652	1,596
65	2,797	3,120	0,00662	1,605
66	2,811	3,144	0,00672	1,617
67	2,826	3,147	0,00682	1,619
68	2,841	3,152	0,00692	1,621
69	2,856	3,100	0,00702	1,594
70	2,871	3,069	0,00712	1,578
71	2,886	3,042	0,00722	1,565
72	2,901	3,017	0,00732	1,552
73	2,916	3,001	0,00743	1,544
74	2,931	3,008	0,00753	1,547
75	2,945	3,037	0,00763	1,562
76	2,960	3,056	0,00772	1,572
77	2,974	3,070	0,00782	1,579
78	2,989	3,094	0,00792	1,591
79	3,003	3,119	0,00802	1,604
80	3,018	3,141	0,00811	1,616
81	3,033	3,160	0,00821	1,626
82	3,047	3,182	0,00831	1,636
83	3,061	3,210	0,00840	1,651
84	3,075	3,234	0,00850	1,663
85	3,089	3,263	0,00859	1,678
86	3,103	3,271	0,00869	1,683
87	3,118	3,299	0,00879	1,697
88	3,132	3,319	0,00889	1,707
89	3,146	3,339	0,00898	1,717

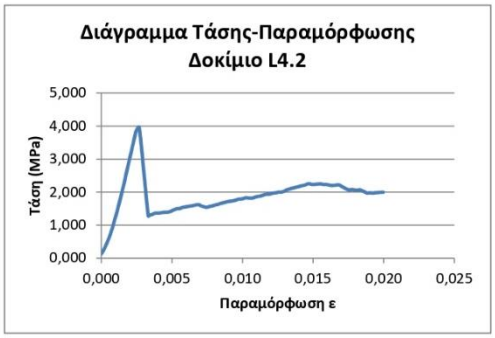
90	3,161	3,356	0,00908	1,726
91	3,176	3,358	0,00919	1,727
92	3,191	3,375	0,00928	1,736
93	3,206	3,392	0,00938	1,745
94	3,220	3,411	0,00948	1,755
95	3,235	3,439	0,00958	1,769
96	3,250	3,464	0,00968	1,781
97	3,264	3,486	0,00978	1,793
98	3,279	3,488	0,00988	1,794
99	3,294	3,495	0,00998	1,798
100	3,308	3,517	0,01008	1,809
101	3,323	3,547	0,01018	1,824
102	3,338	3,567	0,01028	1,835
103	3,353	3,545	0,01038	1,823
104	3,368	3,541	0,01048	1,821
105	3,384	3,545	0,01059	1,823
106	3,399	3,543	0,01069	1,822
107	3,414	3,563	0,01079	1,833
108	3,428	3,598	0,01089	1,851
109	3,443	3,618	0,01099	1,861
110	3,458	3,637	0,01109	1,871
111	3,473	3,650	0,01119	1,877
112	3,488	3,667	0,01129	1,886
113	3,502	3,691	0,01139	1,899
114	3,517	3,722	0,01149	1,914
115	3,531	3,751	0,01159	1,929
116	3,546	3,766	0,01169	1,937
117	3,561	3,776	0,01179	1,942
118	3,577	3,774	0,01190	1,941
119	3,592	3,791	0,01200	1,950
120	3,608	3,824	0,01210	1,967
121	3,623	3,836	0,01221	1,973
122	3,638	3,850	0,01231	1,980
123	3,653	3,862	0,01241	1,986
124	3,668	3,885	0,01251	1,998
125	3,684	3,890	0,01261	2,001
126	3,699	3,889	0,01272	2,000
127	3,714	3,908	0,01282	2,010
128	3,729	3,934	0,01292	2,023
129	3,743	3,973	0,01302	2,043
130	3,757	4,019	0,01311	2,067
131	3,772	4,046	0,01321	2,081
132	3,787	4,071	0,01332	2,094
133	3,802	4,099	0,01342	2,108
134	3,818	4,124	0,01352	2,121
135	3,833	4,138	0,01362	2,128
136	3,848	4,164	0,01372	2,142
137	3,863	4,187	0,01383	2,153
138	3,878	4,210	0,01393	2,165
139	3,893	4,230	0,01403	2,176
140	3,908	4,258	0,01413	2,190
141	3,924	4,278	0,01424	2,201

142	3,939	4,292	0,01434	2,207
143	3,954	4,317	0,01444	2,220
144	3,969	4,352	0,01455	2,238
145	3,985	4,380	0,01465	2,253
146	4,001	4,381	0,01476	2,253
147	4,017	4,349	0,01487	2,237
148	4,033	4,338	0,01498	2,231
149	4,049	4,346	0,01508	2,235
150	4,064	4,350	0,01519	2,237
151	4,079	4,361	0,01529	2,243
152	4,095	4,370	0,01539	2,247
153	4,110	4,374	0,01550	2,250
154	4,126	4,363	0,01561	2,244
155	4,142	4,339	0,01572	2,232
156	4,158	4,338	0,01582	2,231
157	4,174	4,341	0,01593	2,233
158	4,190	4,327	0,01604	2,225
159	4,207	4,304	0,01615	2,214
160	4,222	4,286	0,01626	2,204
161	4,238	4,283	0,01636	2,203
162	4,254	4,291	0,01647	2,207
163	4,269	4,299	0,01657	2,211
164	4,284	4,314	0,01668	2,219
165	4,300	4,320	0,01678	2,222
166	4,316	4,292	0,01689	2,208
167	4,333	4,243	0,01700	2,182
168	4,349	4,189	0,01711	2,154
169	4,365	4,134	0,01722	2,126
170	4,380	4,089	0,01732	2,103
171	4,395	4,052	0,01743	2,084
172	4,410	4,028	0,01752	2,072
173	4,424	4,032	0,01762	2,074
174	4,439	4,041	0,01772	2,078
175	4,454	4,040	0,01782	2,078
176	4,468	4,019	0,01792	2,067
177	4,483	4,011	0,01802	2,063
178	4,497	4,011	0,01812	2,063
179	4,512	4,022	0,01821	2,068
180	4,527	4,029	0,01831	2,072
181	4,541	3,999	0,01841	2,057
182	4,558	3,956	0,01852	2,035
183	4,574	3,913	0,01863	2,012
184	4,589	3,864	0,01874	1,987
185	4,605	3,839	0,01884	1,974
186	4,619	3,845	0,01894	1,977
187	4,634	3,845	0,01904	1,978
188	4,649	3,839	0,01914	1,975
189	4,664	3,833	0,01924	1,971
190	4,679	3,845	0,01934	1,978
191	4,694	3,858	0,01945	1,984
192	4,709	3,863	0,01955	1,987
193	4,724	3,868	0,01965	1,990
194	4,739	3,878	0,01975	1,994
195	4,754	3,882	0,01985	1,997
196	4,769	3,885	0,01995	1,998

Διαστάσεις Δοκιμίου

H (mm)	D (cm)	A (cm^2)
147,933	4,977	19,443

σ (max) (Mpa)	3,956
E (Mpa)	1752,07
E (Gpa)	1,752



Δοκίμιο L4.3

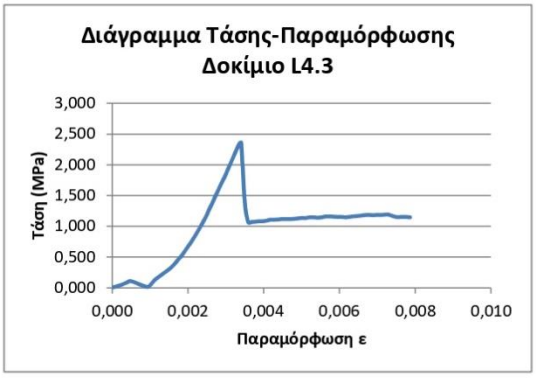
ID No.				
Title				
Test Date	12:02:33			
MEAS CHs				
Digital Input				
Sampling Rate(Hz)				
Data Nos/CH				
MEAS Time(sec)				
CH Name	LVDT 10	Load_cell_Triscan		
CH No.	CH05	CH06		
Range	10	10		
Calibration	1	5		
Offset	-0,149	-0,02		
Unit	mm	kN	ε = DH/H	Stress(Mpa)
0	4,075	0,010	0,00000	0,005
1	4,086	0,030	0,00008	0,016
2	4,098	0,058	0,00016	0,030
3	4,109	0,089	0,00023	0,046
4	4,121	0,125	0,00031	0,065
5	4,133	0,168	0,00039	0,087
6	4,148	0,208	0,00049	0,108
7	4,197	0,060	0,00082	0,031
8	4,215	0,028	0,00094	0,014
9	4,228	0,118	0,00103	0,061
10	4,238	0,204	0,00109	0,106
11	4,247	0,280	0,00116	0,146
12	4,260	0,350	0,00124	0,182
13	4,274	0,437	0,00134	0,227
14	4,289	0,522	0,00144	0,272
15	4,304	0,618	0,00154	0,321
16	4,319	0,733	0,00164	0,381
17	4,334	0,868	0,00173	0,452
18	4,348	1,000	0,00183	0,520
19	4,362	1,163	0,00193	0,605
20	4,377	1,326	0,00202	0,690
21	4,391	1,491	0,00212	0,776
22	4,405	1,668	0,00221	0,868
23	4,419	1,850	0,00230	0,962
24	4,431	2,036	0,00239	1,059
25	4,444	2,217	0,00247	1,153
26	4,456	2,433	0,00256	1,266
27	4,468	2,633	0,00264	1,370
28	4,480	2,841	0,00272	1,478
29	4,492	3,050	0,00280	1,587
30	4,504	3,257	0,00288	1,694
31	4,517	3,454	0,00297	1,797
32	4,530	3,685	0,00305	1,917
33	4,542	3,908	0,00313	2,033
34	4,554	4,124	0,00321	2,146
35	4,566	4,330	0,00329	2,253
36	4,576	4,504	0,00336	2,343
37	4,583	4,532	0,00341	2,358

38	4,598	2,653	0,00350	1,380
39	4,611	2,051	0,00359	1,067
40	4,625	2,058	0,00369	1,071
41	4,639	2,065	0,00378	1,074
42	4,653	2,078	0,00388	1,081
43	4,668	2,078	0,00397	1,081
44	4,683	2,097	0,00407	1,091
45	4,698	2,125	0,00418	1,106
46	4,713	2,125	0,00428	1,106
47	4,729	2,133	0,00438	1,110
48	4,744	2,147	0,00448	1,117
49	4,760	2,144	0,00459	1,115
50	4,776	2,148	0,00470	1,117
51	4,792	2,155	0,00481	1,121
52	4,807	2,168	0,00491	1,128
53	4,822	2,180	0,00501	1,134
54	4,837	2,178	0,00511	1,133
55	4,852	2,202	0,00521	1,146
56	4,869	2,202	0,00532	1,146
57	4,885	2,190	0,00543	1,139
58	4,900	2,202	0,00553	1,146
59	4,916	2,227	0,00563	1,158
60	4,931	2,231	0,00574	1,161
61	4,947	2,220	0,00584	1,155
62	4,962	2,217	0,00595	1,153
63	4,978	2,218	0,00605	1,154
64	4,994	2,203	0,00616	1,146
65	5,009	2,215	0,00626	1,152
66	5,024	2,232	0,00636	1,161
67	5,040	2,242	0,00646	1,166
68	5,054	2,252	0,00656	1,172
69	5,069	2,268	0,00666	1,180
70	5,085	2,279	0,00677	1,186
71	5,100	2,268	0,00687	1,180
72	5,115	2,273	0,00697	1,183
73	5,131	2,274	0,00707	1,183
74	5,146	2,283	0,00718	1,188
75	5,161	2,291	0,00728	1,192
76	5,177	2,252	0,00738	1,172
77	5,191	2,219	0,00748	1,154
78	5,205	2,209	0,00757	1,149
79	5,219	2,217	0,00767	1,154
80	5,234	2,216	0,00776	1,153
81	5,249	2,203	0,00787	1,146

Διαστάσεις Δοκιμίου

H (mm)	D (cm)	A (cm^2)
149,300	4,948	19,221

σ (max) (Mpa)	2,358
E (Mpa)	1189,41
E (Gpa)	1,189



Δοκίμιο L4.4

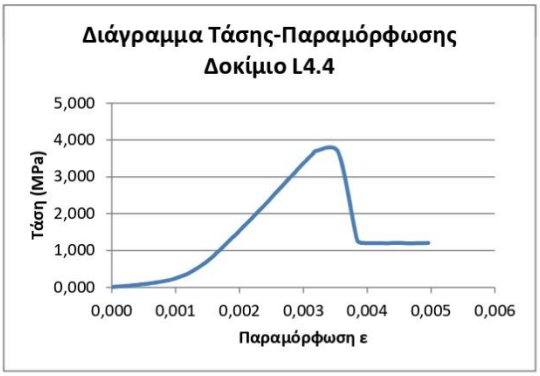
ID No.					
Title					
Test Date	12:07:52				
MEAS CHs					
Digital Input					
Sampling Rate(Hz)					
Data Nos/CH					
MEAS Time(sec)					
CH Name	LVDT 10	Load_cell_Triscan			
CH No.	CH05	CH06			
Range	10	10			
Calibration	1	5			
Offset	-0,149	-0,02			
Unit	mm	kN		ε = DH/H	Stress(Mpa)
0	1,946	0,018		0,00000	0,009
1	1,956	0,039		0,00007	0,020
2	1,970	0,064		0,00017	0,033
3	1,985	0,090		0,00027	0,046
4	1,999	0,125		0,00037	0,064
5	2,013	0,163		0,00048	0,083
6	2,028	0,204		0,00058	0,104
7	2,044	0,259		0,00069	0,133
8	2,060	0,321		0,00081	0,165
9	2,075	0,394		0,00091	0,202
10	2,088	0,478		0,00100	0,245
11	2,099	0,572		0,00108	0,293
12	2,109	0,663		0,00116	0,340
13	2,119	0,773		0,00122	0,396
14	2,126	0,886		0,00128	0,454
15	2,135	1,012		0,00134	0,519
16	2,144	1,146		0,00140	0,587
17	2,153	1,288		0,00146	0,660
18	2,161	1,444		0,00152	0,740
19	2,169	1,600		0,00157	0,820
20	2,177	1,793		0,00163	0,919
21	2,186	1,979		0,00169	1,014
22	2,194	2,182		0,00176	1,119
23	2,203	2,396		0,00182	1,228
24	2,213	2,621		0,00189	1,343
25	2,222	2,827		0,00195	1,449
26	2,232	3,078		0,00202	1,578
27	2,242	3,311		0,00209	1,697
28	2,252	3,551		0,00216	1,820
29	2,262	3,801		0,00223	1,949
30	2,272	4,040		0,00230	2,071
31	2,282	4,276		0,00237	2,192
32	2,292	4,525		0,00244	2,320
33	2,301	4,787		0,00251	2,454
34	2,311	5,038		0,00258	2,583
35	2,321	5,286		0,00265	2,710
36	2,331	5,543		0,00272	2,842
37	2,341	5,797		0,00279	2,972

38	2,351	6,036	0,00286	3,094
39	2,360	6,309	0,00293	3,234
40	2,370	6,551	0,00300	3,358
41	2,380	6,797	0,00307	3,484
42	2,390	7,030	0,00314	3,604
43	2,401	7,237	0,00321	3,710
44	2,448	7,161	0,00355	3,671
45	2,490	2,501	0,00384	1,282
46	2,504	2,351	0,00394	1,205
47	2,517	2,338	0,00403	1,199
48	2,530	2,334	0,00412	1,197
49	2,542	2,336	0,00421	1,198
50	2,556	2,333	0,00431	1,196
51	2,569	2,348	0,00440	1,204
52	2,582	2,351	0,00449	1,205
53	2,595	2,339	0,00458	1,199
54	2,608	2,329	0,00468	1,194
55	2,621	2,336	0,00477	1,198
56	2,634	2,334	0,00486	1,197
57	2,648	2,351	0,00496	1,205

Διαστάσεις Δοκιμίου

H (mm)	D (cm)	A (cm^2)
141,583	4,985	19,507

σ (max) (Mpa)	3,710
E (Mpa)	1767,88
E (Gpa)	1,768



Δοκίμιο L4.5

ID No.				
Title				
Test Date	12:12:31			
MEAS CHs				
Digital Input				
Sampling Rate(Hz)				
Data Nos/CH				
MEAS Time(sec)				
CH Name	LVDT 10	Load_cell_Triscan		
CH No.	CH05	CH06		
Range	10	10		
Calibration	1	5		
Offset	-0,149	-0,02		
Unit	mm	kN	ε = DH/H	Stress(Mpa)
0	1,545	0,008	0,00000	0,004
1	1,557	0,015	0,00010	0,008
2	1,571	0,014	0,00021	0,007
3	1,584	0,031	0,00032	0,016
4	1,598	0,053	0,00044	0,027
5	1,613	0,069	0,00056	0,035
6	1,628	0,088	0,00068	0,045
7	1,643	0,103	0,00080	0,053
8	1,657	0,129	0,00092	0,066
9	1,672	0,142	0,00104	0,073
10	1,687	0,161	0,00116	0,082
11	1,702	0,184	0,00128	0,094
12	1,717	0,223	0,00140	0,114
13	1,732	0,241	0,00152	0,124
14	1,746	0,282	0,00164	0,144
15	1,761	0,332	0,00176	0,170
16	1,776	0,375	0,00188	0,192
17	1,791	0,421	0,00200	0,215
18	1,805	0,471	0,00213	0,241
19	1,820	0,531	0,00225	0,272
20	1,835	0,598	0,00237	0,306
21	1,850	0,674	0,00249	0,345
22	1,865	0,750	0,00261	0,384
23	1,880	0,828	0,00273	0,423
24	1,894	0,915	0,00285	0,468
25	1,909	1,011	0,00297	0,517
26	1,924	1,117	0,00309	0,572
27	1,938	1,222	0,00321	0,625
28	1,953	1,348	0,00333	0,690
29	1,967	1,475	0,00344	0,755
30	1,981	1,607	0,00356	0,822
31	1,994	1,737	0,00367	0,889
32	2,008	1,885	0,00378	0,964
33	2,021	2,031	0,00389	1,039
34	2,034	2,200	0,00399	1,125
35	2,047	2,372	0,00410	1,214
36	2,060	2,540	0,00420	1,299
37	2,073	2,713	0,00431	1,388

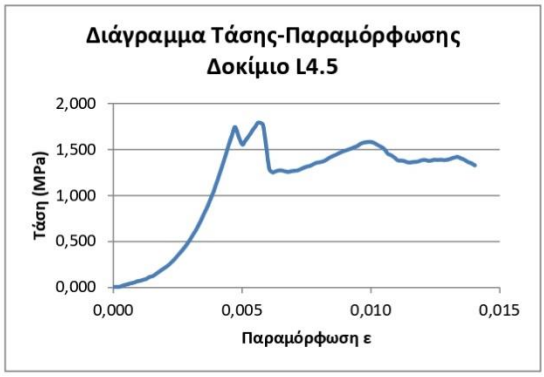
38	2,085	2,890	0,00441	1,478
39	2,097	3,078	0,00451	1,575
40	2,110	3,244	0,00461	1,660
41	2,124	3,408	0,00472	1,743
42	2,142	3,200	0,00487	1,637
43	2,159	3,037	0,00501	1,554
44	2,171	3,108	0,00511	1,590
45	2,184	3,182	0,00521	1,628
46	2,197	3,269	0,00532	1,673
47	2,210	3,356	0,00543	1,717
48	2,222	3,433	0,00553	1,756
49	2,235	3,502	0,00563	1,792
50	2,257	3,447	0,00581	1,763
51	2,286	2,525	0,00605	1,292
52	2,301	2,447	0,00617	1,252
53	2,316	2,466	0,00629	1,261
54	2,331	2,484	0,00641	1,271
55	2,346	2,484	0,00654	1,271
56	2,361	2,469	0,00666	1,263
57	2,376	2,456	0,00678	1,257
58	2,391	2,469	0,00691	1,263
59	2,407	2,478	0,00703	1,268
60	2,422	2,488	0,00716	1,273
61	2,437	2,517	0,00728	1,288
62	2,452	2,546	0,00740	1,302
63	2,466	2,570	0,00752	1,315
64	2,481	2,585	0,00764	1,322
65	2,495	2,616	0,00775	1,338
66	2,510	2,649	0,00788	1,355
67	2,525	2,659	0,00800	1,360
68	2,540	2,675	0,00812	1,369
69	2,555	2,704	0,00824	1,383
70	2,570	2,748	0,00836	1,406
71	2,585	2,785	0,00848	1,425
72	2,600	2,811	0,00860	1,438
73	2,614	2,842	0,00872	1,454
74	2,629	2,878	0,00885	1,472
75	2,644	2,902	0,00897	1,484
76	2,659	2,924	0,00909	1,496
77	2,674	2,948	0,00921	1,508
78	2,689	2,978	0,00934	1,523
79	2,704	3,002	0,00946	1,536
80	2,719	3,047	0,00958	1,559
81	2,734	3,077	0,00971	1,574
82	2,750	3,088	0,00983	1,580
83	2,766	3,092	0,00996	1,582
84	2,782	3,076	0,01009	1,574
85	2,798	3,035	0,01022	1,553
86	2,814	2,996	0,01036	1,533
87	2,832	2,949	0,01050	1,509
88	2,849	2,847	0,01064	1,457
89	2,865	2,810	0,01077	1,437

90	2,882	2,761	0,01091	1,412
91	2,898	2,700	0,01104	1,381
92	2,914	2,697	0,01117	1,380
93	2,930	2,682	0,01130	1,372
94	2,946	2,657	0,01143	1,360
95	2,962	2,658	0,01156	1,360
96	2,977	2,668	0,01169	1,365
97	2,993	2,675	0,01181	1,368
98	3,008	2,698	0,01194	1,380
99	3,025	2,710	0,01207	1,386
100	3,041	2,693	0,01220	1,378
101	3,056	2,696	0,01233	1,379
102	3,072	2,713	0,01246	1,388
103	3,087	2,709	0,01258	1,386
104	3,103	2,713	0,01271	1,388
105	3,119	2,705	0,01284	1,384
106	3,135	2,716	0,01297	1,389
107	3,150	2,735	0,01309	1,399
108	3,165	2,758	0,01322	1,411
109	3,181	2,774	0,01335	1,419
110	3,197	2,745	0,01348	1,404
111	3,214	2,713	0,01362	1,388
112	3,231	2,668	0,01375	1,365
113	3,247	2,638	0,01389	1,350
114	3,264	2,595	0,01402	1,328

Διαστάσεις Δοκιμίου

H (mm)	D (cm)	A (cm^2)
122,583	4,990	19,547

σ (max) (Mpa)	1,792
E (Mpa)	653,79
E (Gpa)	0,654



Δοκίμιο L4.6

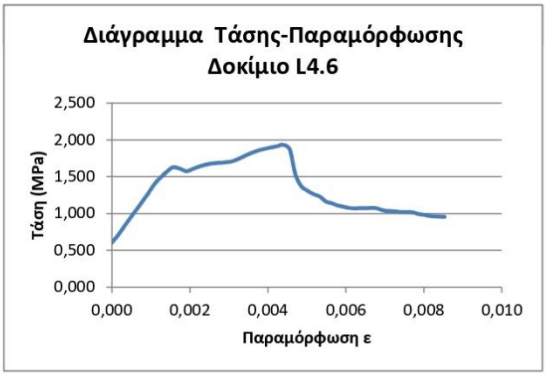
ID No.				
Title				
Test Date	12:17:06			
MEAS CHs				
Digital Input				
Sampling Rate(Hz)				
Data Nos/CH				
MEAS Time(sec)				
CH Name	LVDT 10	Load_cell_Triscan		
CH No.	CH05	CH06		
Range	10	10		
Calibration	1	5		
Offset	-0,149	-0,02		
Unit	mm	kN	ε = DH/H	Stress(Mpa)
0	4,167	1,162	0,00000	0,606
1	4,179	1,300	0,00012	0,678
2	4,189	1,452	0,00023	0,757
3	4,200	1,609	0,00033	0,839
4	4,211	1,765	0,00045	0,920
5	4,222	1,926	0,00056	1,004
6	4,234	2,086	0,00068	1,087
7	4,246	2,253	0,00080	1,175
8	4,257	2,411	0,00091	1,257
9	4,269	2,594	0,00103	1,352
10	4,281	2,759	0,00115	1,438
11	4,294	2,893	0,00128	1,508
12	4,308	3,018	0,00142	1,573
13	4,322	3,123	0,00156	1,628
14	4,339	3,087	0,00174	1,609
15	4,356	3,023	0,00192	1,576
16	4,372	3,083	0,00208	1,607
17	4,388	3,141	0,00224	1,638
18	4,406	3,196	0,00242	1,666
19	4,427	3,232	0,00264	1,685
20	4,449	3,248	0,00286	1,693
21	4,469	3,273	0,00306	1,706
22	4,488	3,347	0,00325	1,745
23	4,507	3,438	0,00344	1,792
24	4,526	3,520	0,00364	1,835
25	4,545	3,583	0,00383	1,868
26	4,564	3,628	0,00402	1,892
27	4,583	3,669	0,00421	1,913
28	4,601	3,709	0,00439	1,933
29	4,618	3,585	0,00456	1,869
30	4,631	2,956	0,00470	1,541
31	4,646	2,643	0,00485	1,378
32	4,662	2,517	0,00501	1,312
33	4,677	2,425	0,00517	1,264
34	4,694	2,356	0,00533	1,228
35	4,710	2,228	0,00549	1,161
36	4,724	2,183	0,00564	1,138
37	4,738	2,130	0,00578	1,110

38	4,752	2,098	0,00592	1,094
39	4,766	2,065	0,00607	1,077
40	4,781	2,049	0,00621	1,068
41	4,794	2,057	0,00635	1,072
42	4,808	2,057	0,00649	1,072
43	4,823	2,060	0,00664	1,074
44	4,836	2,058	0,00678	1,073
45	4,849	2,012	0,00691	1,049
46	4,863	1,984	0,00704	1,034
47	4,876	1,980	0,00718	1,032
48	4,890	1,964	0,00732	1,024
49	4,904	1,954	0,00746	1,019
50	4,917	1,957	0,00760	1,020
51	4,931	1,945	0,00773	1,014
52	4,944	1,903	0,00786	0,992
53	4,957	1,884	0,00800	0,982
54	4,970	1,859	0,00813	0,969
55	4,983	1,842	0,00826	0,960
56	4,996	1,837	0,00839	0,958
57	5,010	1,832	0,00853	0,955

Διαστάσεις Δοκιμίου

H (mm)	D (cm)	A (cm^2)
98,767	4,943	19,182

σ (max) (Mpa)	1,933
E (Mpa)	728,43
E (Gpa)	0,728



Δοκίμιο L5.2

ID No.					
Title					
Test Date	12:22:19				
MEAS CHs					
Digital Input					
Sampling Rate(Hz)					
Data Nos/CH					
MEAS Time(sec)					
CH Name	LVDT 10	Load_cell_Triscan			
CH No.	CH05	CH06			
Range	10	10			
Calibration	1	5			
Offset	-0,149	-0,02			
Unit	mm	kN		ε = DH/H	Stress(Mpa)
0	1,201	0,021		0,00000	0,011
1	1,211	0,043		0,00011	0,022
2	1,224	0,067		0,00027	0,035
3	1,237	0,100		0,00043	0,051
4	1,250	0,135		0,00058	0,070
5	1,264	0,175		0,00073	0,090
6	1,276	0,219		0,00088	0,113
7	1,288	0,279		0,00102	0,143
8	1,299	0,333		0,00116	0,171
9	1,310	0,393		0,00129	0,202
10	1,322	0,454		0,00142	0,233
11	1,334	0,528		0,00156	0,271
12	1,346	0,608		0,00170	0,312
13	1,358	0,702		0,00184	0,361
14	1,369	0,797		0,00198	0,410
15	1,381	0,903		0,00211	0,464
16	1,393	1,030		0,00225	0,529
17	1,405	1,152		0,00240	0,592
18	1,418	1,287		0,00255	0,661
19	1,430	1,429		0,00270	0,734
20	1,443	1,572		0,00285	0,808
21	1,456	1,703		0,00300	0,875
22	1,469	1,868		0,00315	0,960
23	1,481	2,033		0,00330	1,045
24	1,493	2,211		0,00343	1,136
25	1,503	2,392		0,00356	1,229
26	1,514	2,573		0,00368	1,322
27	1,525	2,760		0,00381	1,419
28	1,535	2,946		0,00393	1,514
29	1,546	3,154		0,00406	1,621
30	1,556	3,354		0,00418	1,724
31	1,567	3,558		0,00430	1,829
32	1,576	3,762		0,00441	1,934
33	1,586	3,972		0,00452	2,042
34	1,594	4,168		0,00463	2,143
35	1,603	4,400		0,00473	2,261
36	1,611	4,615		0,00483	2,372
37	1,619	4,830		0,00492	2,483

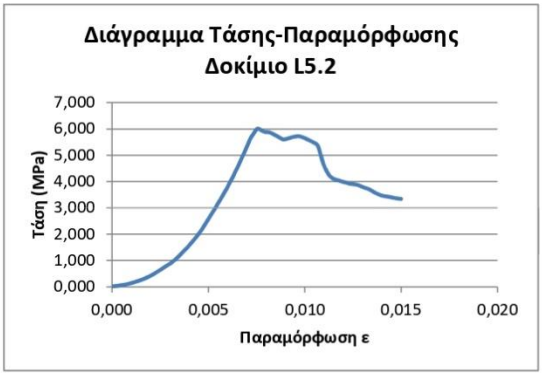
38	1,628	5,061	0,00502	2,601
39	1,636	5,295	0,00512	2,722
40	1,645	5,523	0,00523	2,839
41	1,654	5,761	0,00534	2,961
42	1,663	6,010	0,00543	3,089
43	1,672	6,251	0,00554	3,213
44	1,680	6,504	0,00564	3,343
45	1,689	6,757	0,00575	3,473
46	1,698	7,015	0,00585	3,606
47	1,707	7,263	0,00595	3,733
48	1,716	7,555	0,00606	3,883
49	1,724	7,830	0,00616	4,025
50	1,733	8,111	0,00626	4,169
51	1,741	8,398	0,00636	4,316
52	1,750	8,676	0,00646	4,460
53	1,757	8,947	0,00655	4,599
54	1,765	9,228	0,00664	4,743
55	1,773	9,524	0,00673	4,895
56	1,781	9,795	0,00682	5,035
57	1,788	10,080	0,00691	5,181
58	1,795	10,356	0,00700	5,323
59	1,802	10,620	0,00707	5,459
60	1,808	10,845	0,00714	5,574
61	1,815	11,080	0,00723	5,695
62	1,824	11,302	0,00733	5,809
63	1,833	11,534	0,00744	5,929
64	1,844	11,698	0,00756	6,013
65	1,861	11,563	0,00777	5,944
66	1,876	11,450	0,00794	5,885
67	1,898	11,407	0,00820	5,863
68	1,934	11,091	0,00863	5,701
69	1,955	10,902	0,00888	5,604
70	1,972	10,952	0,00908	5,629
71	1,990	11,041	0,00928	5,675
72	2,007	11,112	0,00949	5,712
73	2,026	11,134	0,00971	5,723
74	2,048	11,017	0,00997	5,663
75	2,069	10,854	0,01021	5,579
76	2,089	10,679	0,01045	5,489
77	2,109	10,406	0,01069	5,349
78	2,132	9,132	0,01096	4,694
79	2,155	8,329	0,01123	4,281
80	2,173	8,030	0,01144	4,128
81	2,188	7,924	0,01161	4,073
82	2,203	7,844	0,01179	4,032
83	2,219	7,768	0,01198	3,993
84	2,234	7,695	0,01216	3,955
85	2,249	7,621	0,01234	3,917
86	2,264	7,586	0,01252	3,899
87	2,280	7,549	0,01270	3,880
88	2,297	7,446	0,01290	3,827
89	2,313	7,332	0,01310	3,769

90	2,331	7,235	0,01330	3,719
91	2,350	7,056	0,01353	3,627
92	2,367	6,905	0,01372	3,549
93	2,382	6,798	0,01390	3,494
94	2,398	6,713	0,01410	3,451
95	2,415	6,672	0,01429	3,429
96	2,431	6,625	0,01448	3,405
97	2,445	6,567	0,01465	3,376
98	2,460	6,524	0,01482	3,353
99	2,475	6,493	0,01499	3,337

Διαστάσεις Δοκιμίου

H (mm)	D (cm)	A (cm^2)
84,917	4,978	19,455

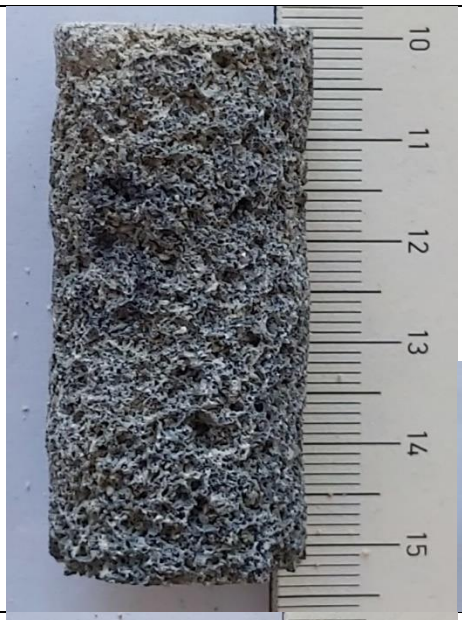
σ (max) (Mpa)	6,013
E (Mpa)	1211,53
E (Gpa)	1,212



Παράρτημα 5: Φωτογραφίες δοκιμίων ποροσιμετρίας και διαπερατότητας

ΔΕΙΓΜΑ L1 Διαστάσεις πυρήνα: Ύψος (mm): 48.93 Διάμετρος (mm): 25.4	
ΔΕΙΓΜΑ L2 Διαστάσεις πυρήνα: Ύψος (mm): 68.57 Διάμετρος (mm): 25.4	

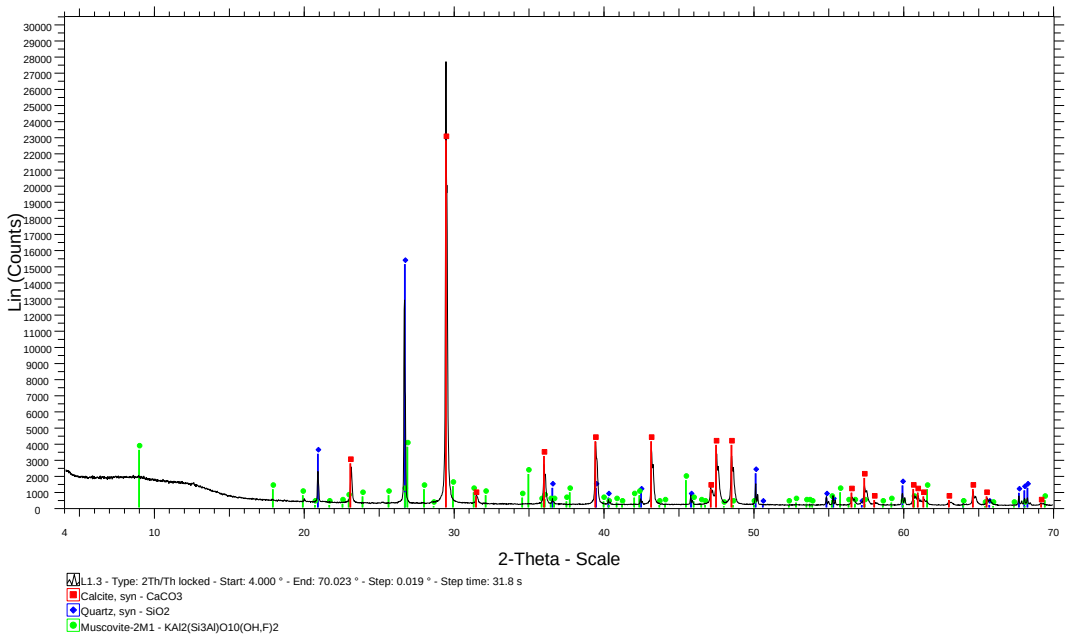
ΔΕΙΓΜΑ L3 Διαστάσεις πυρήνα: Ύψος (mm): 52.5 Διάμετρος (mm): 25.4		
ΔΕΙΓΜΑ L4 Διαστάσεις πυρήνα: Ύψος (mm): 50.07 Διάμετρος (mm): 25.4		

ΔΕΙΓΜΑ L5 Διαστάσεις πυρήνα: Ύψος (mm): 51.11 Διάμετρος (mm): 25.4	
ΔΕΙΓΜΑ L6 Διαστάσεις πυρήνα: Ύψος (mm): 41.04 Διάμετρος (mm): 25.4	

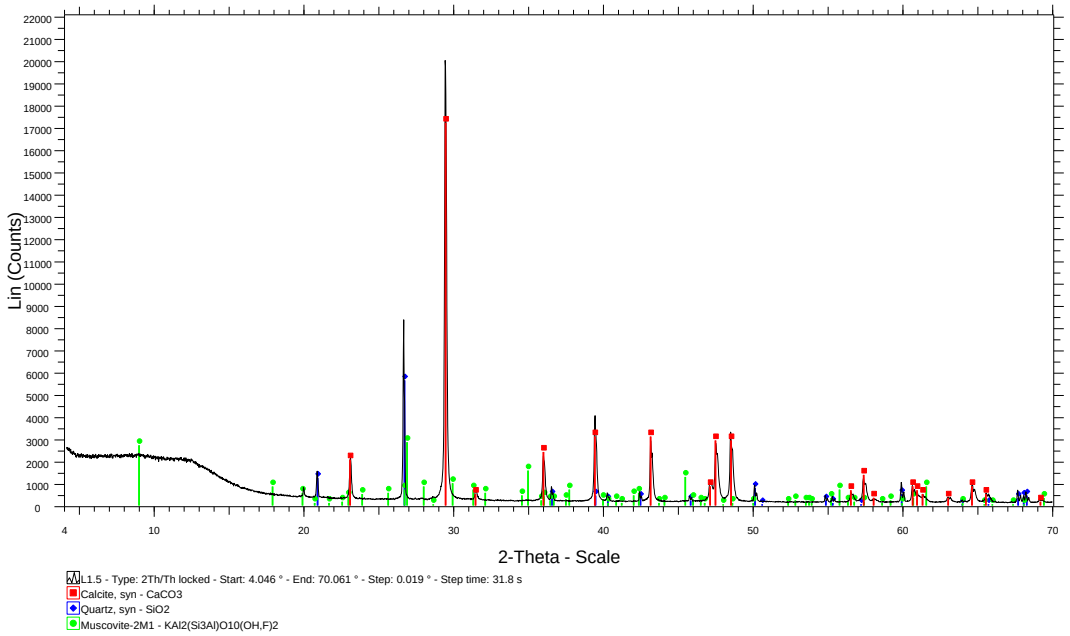
Παράρτημα 6: Ακτινοδιαγράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ

Ακτινοδιαγράμματα Δείγματος L1

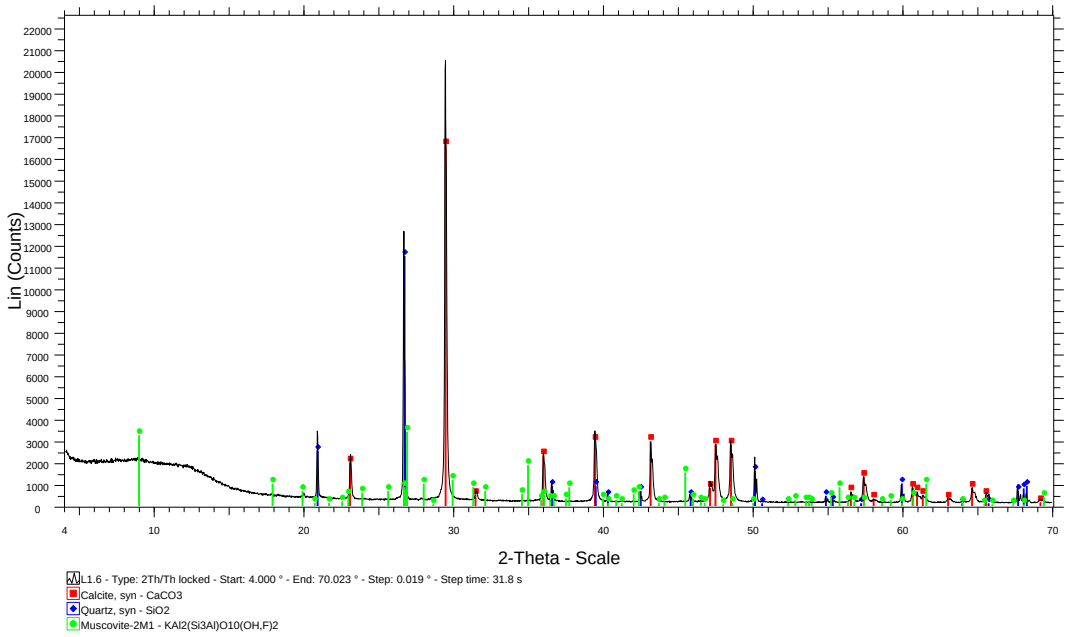
Δοκίμιο L1.3



Δοκίμιο L1.5

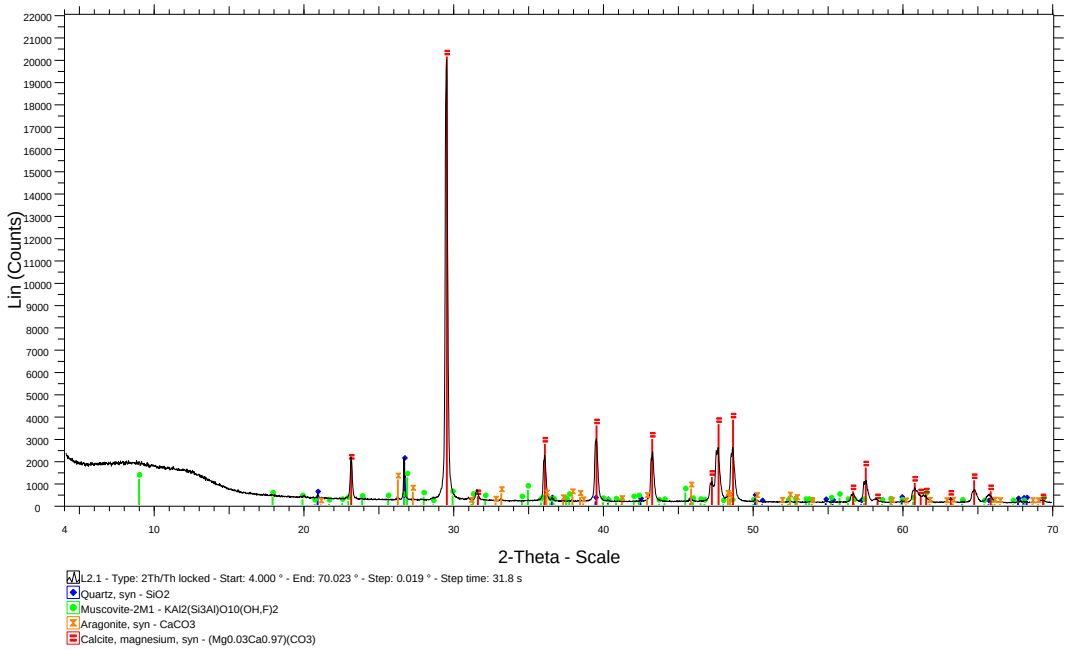


Δοκίμιο L1.6

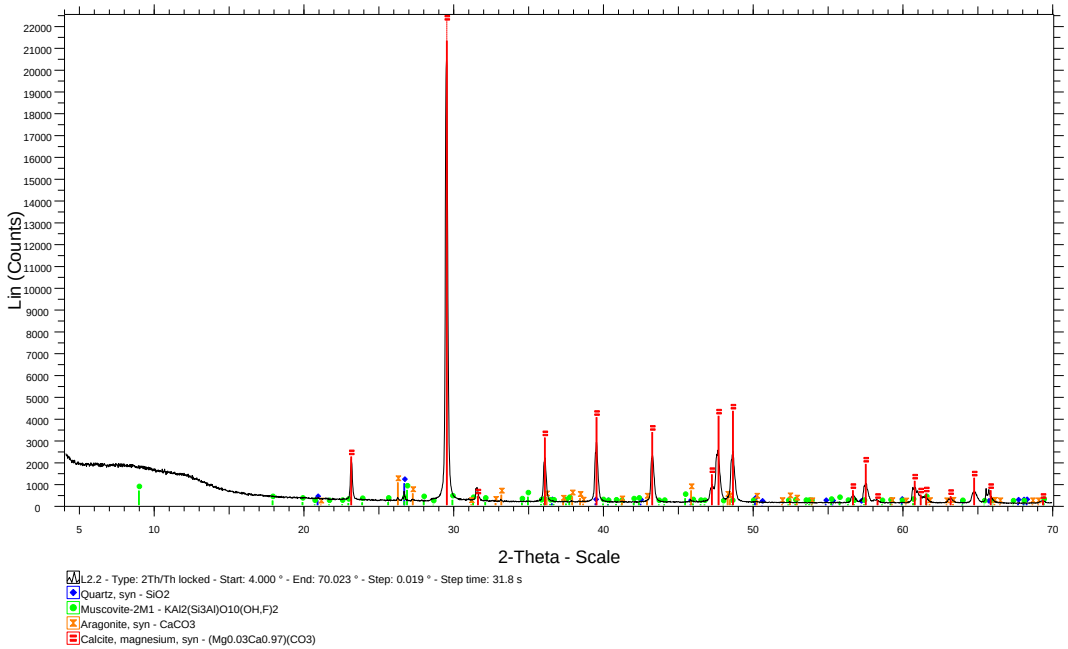


Ακτινοδιαγράμματα Δείγματος L2

Δοκίμιο L2.1

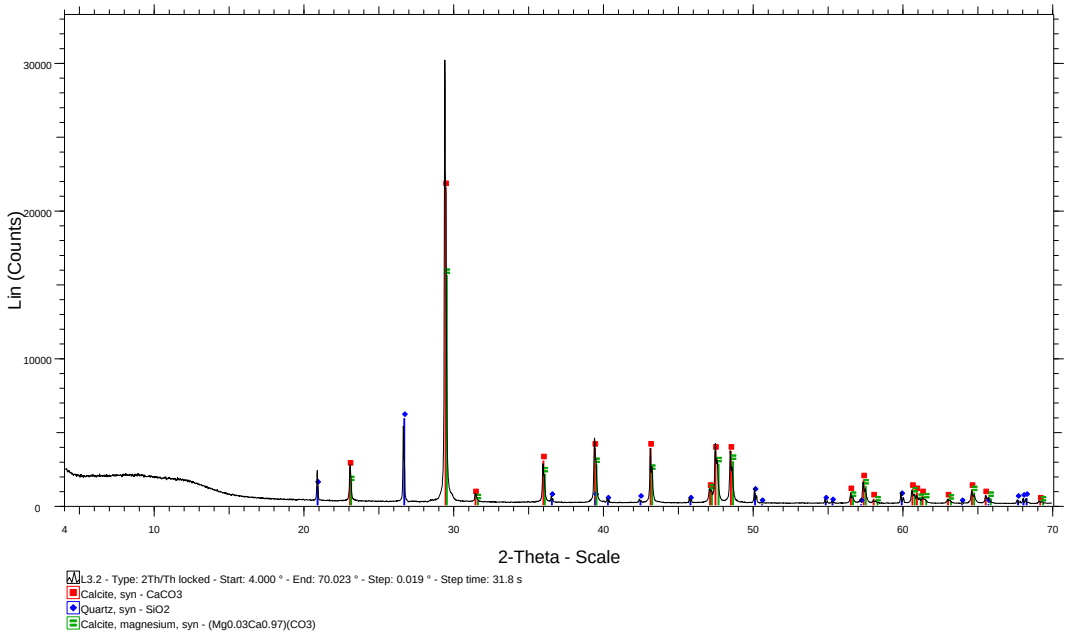


Δοκίμιο L2.2

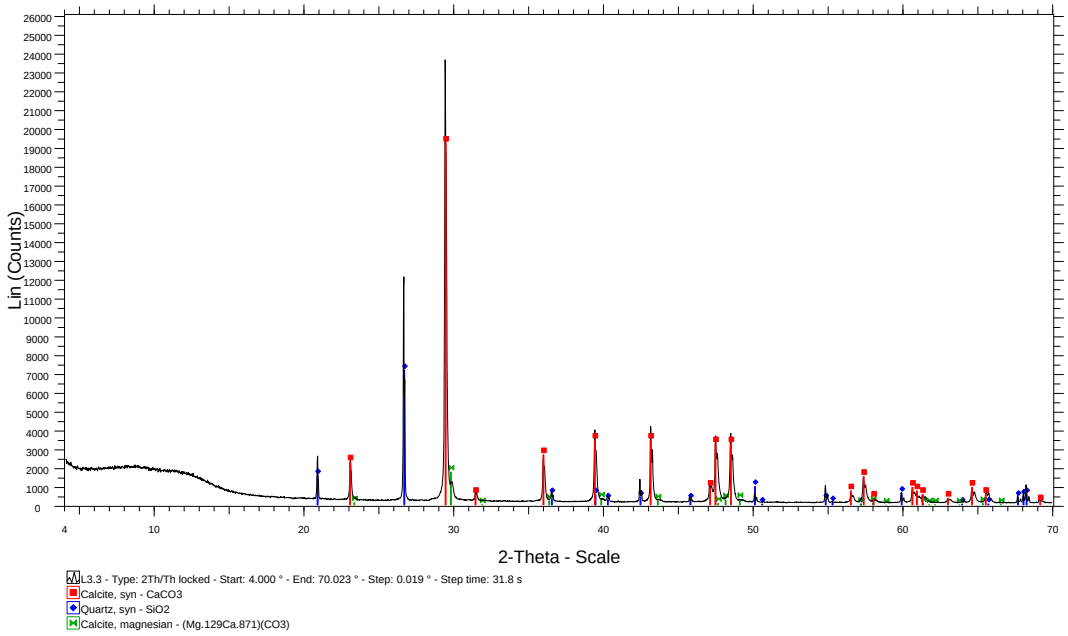


Ακτινοδιαγράμματα Δείγματος L3

Δοκίμιο L3.2

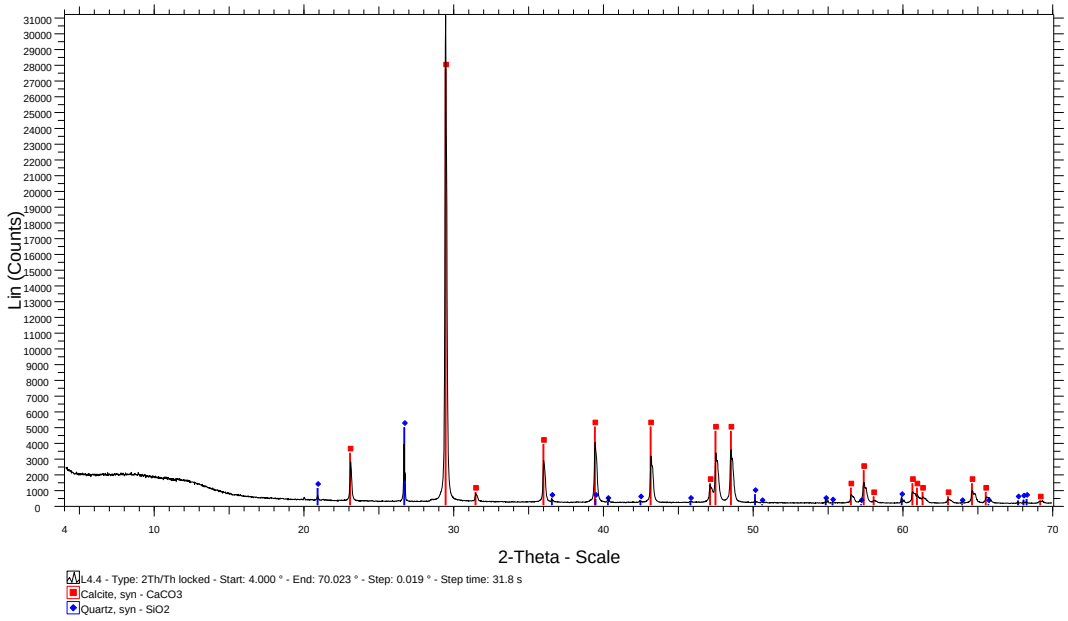


Δοκίμιο L3.3



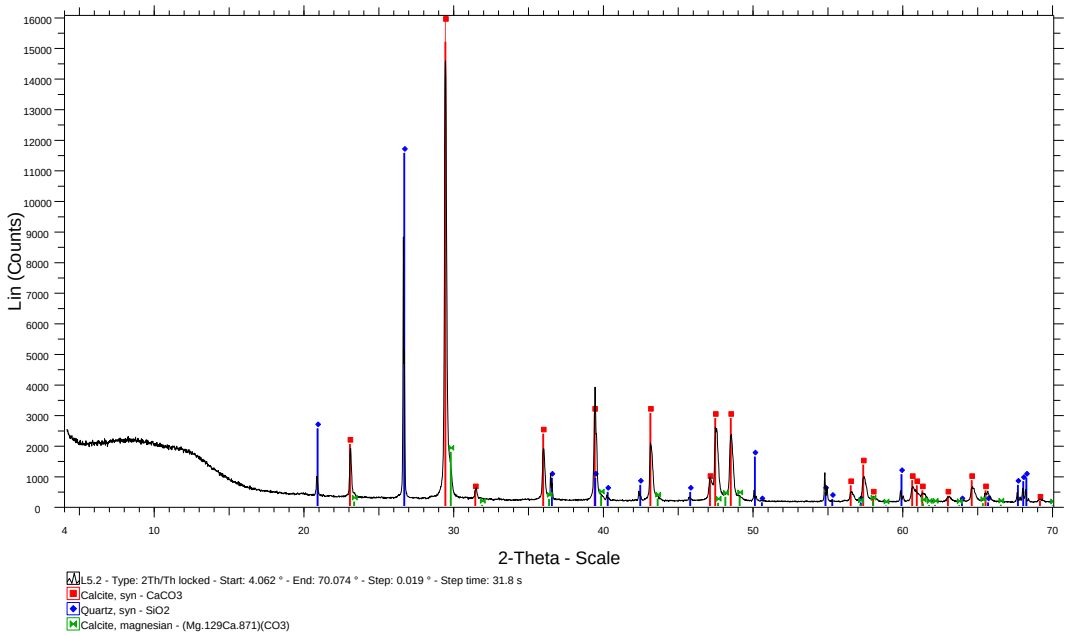
Ακτινοδιαγράμματα Δείγματος L4

Δοκίμιο L4.4



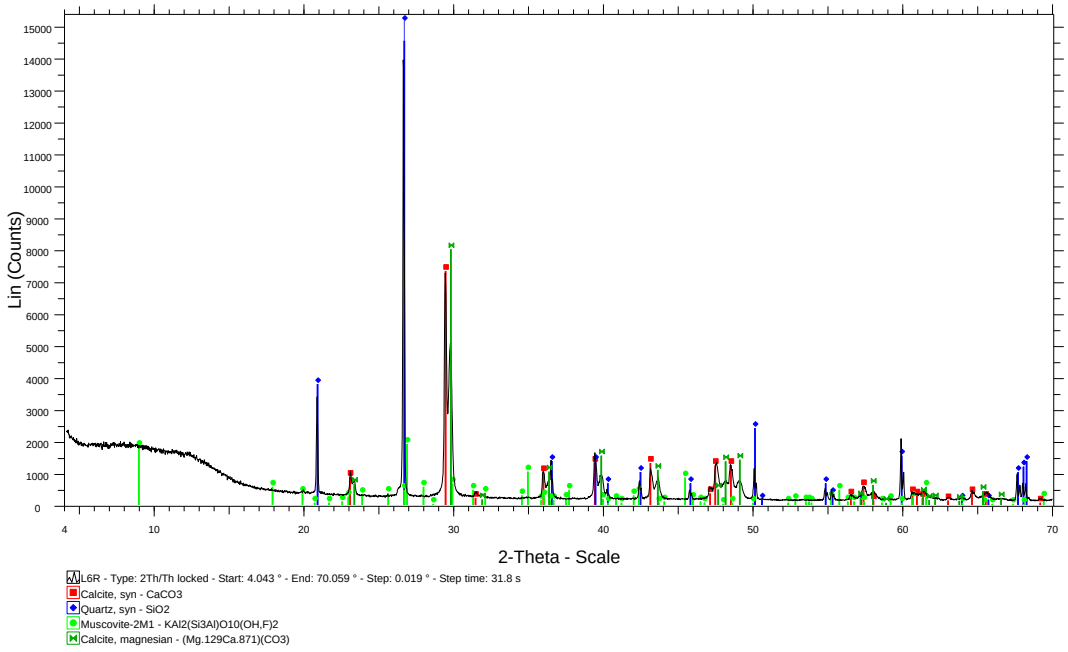
Ακτινοδιαγράμματα Δείγματος L5

Δοκίμιο L5.2



Ακτινοδιαγράμματα Δείγματος L6

L6R



Παράρτημα 7: Πίνακας καταγραφής μηχανικών ιδιοτήτων Κεφαλαίου 9

Δείγματα Θέσης Λιμενοβραχύονα			
ΟΜΑΔΑ L1		ΟΜΑΔΑ L2	
σ_{max}(MPa)	E(GPa)	σ_{max}(MPa)	E(GPa)
5.316	2.247	5.308	1.424
8.425	2.544	3.131	0.881
0.698	0.211	6.658	1.770
6.157	1.261		
2.951	0.962		
3.792	1.005		

ΟΜΑΔΑ L3	
σ_{max}(MPa)	E(GPa)
6.099	1.659
4.097	1.123

ΟΜΑΔΑ L4		ΟΜΑΔΑ L5	
σ_{max}(MPa)	E(GPa)	σ_{max}(MPa)	E(GPa)
3.359	0.570	6.013	1.212
3.956	1.752		
2.358	1.189		
3.710	1.768		
1.792	0.654		
1.933	0.728		

Δείγματα Λατομείου Αγίων Αποστόλων		
Δείγμα	σ_{max}(MPa)	E(GPa)
AA1	10.810	7.223
AA2	13.910	8.031
AA3	11.200	5.634
AA4	10.960	6.130

Δείγματα Λατομείου Σταυρού		
Δείγμα	σ_{max}(MPa)	E(GPa)
S1	8.560	6.066
S3	10.240	8.234
S4	13.600	9.305
A1	8.041	4.980
A2	10.090	9.300
A3	13.240	7.861

Πίνακας καταγραφής μηχανικών ιδιοτήτων παρούσας μελέτης και παλαιότερων μελετών που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 9