

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ
ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕ ΘΕΜΑ:

**ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΟΘΡΥΟΣ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟΥ (ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ)**

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Α. ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ
MSc ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΓΕΩΛΟΓΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2010

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΙΓΚΙΡΟΣ

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ
ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕ ΘΕΜΑ:

**ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΟΘΡΥΟΣ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟΥ (ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ)**

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Α. ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ
MSc ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΓΕΩΛΟΓΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2010

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΙΓΚΙΡΟΣ

Διδακτορική Διατριβή με Θέμα:

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΟΘΡΥΟΣ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟΥ (ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ)

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Α. ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ
MSc ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΓΕΩΛΟΓΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Καθηγητής Γ. Μιγκίρος (Γ.Π.Α, Επιβλέπων)

Καθηγητής Ε. Γκάρτζος (Γ.Π.Α)

Καθηγητής Γ. Στουρνάρας (Ε.Κ.Π.Α)

Καθηγητής Γ. Κούκης (Π.Π)

Καθηγητής Κ. Χατζηπαναγιώτου (Π.Π)

Επίκουρος Καθηγητής Δ. Ρόζος (Ε.Μ.Π)

Επίκουρη Καθηγήτρια Μ. Σταυροπούλου (Ε.Κ.Π.Α)

ΣΤΟΥΣ ΓΟΝΕΙΣ ΜΟΥ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αν και πολλές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί με σκοπό, τόσο τη διερεύνηση των φυσικών, δυναμικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των διαφόρων πετρωμάτων, όσο και τις συσχετίσεις ανάμεσά τους, μόνο λίγες σε ολόκληρο τον κόσμο και ακόμα λιγότερες στην Ελλάδα έχουν επικεντρωθεί στα υπερβασικά πετρώματα. Το γεγονός όμως ότι τα τελευταία χρόνια οι σχηματισμοί αυτοί βρίσκονται στο επίκεντρο του επιστημονικού ενδιαφέροντος, διότι αφενός τα υπερβασικά πετρώματα εμφανίζονται σε πολλές περιοχές, όπως η Νοτιοανατολική Ευρώπη και αφ' ετέρου οι ανθρώπινες δραστηριότητες μεταφέρονται πλέον με την κατασκευή διάφορων τεχνικών έργων πάνω ή μέσα στους σχηματισμούς αυτούς, μας προξένησε το αρχικό έναυσμα για προβληματισμό που εν τέλει μας ώθησε στη διερεύνηση των χαρακτηριστικών των πετρωμάτων αυτών.

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής αποτελεί η μελέτη και ο καθορισμός των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών των υπερβασικών πετρωμάτων της κεντρικής Ελλάδας (υγή και σερπεντινωμένα). Προς την κατεύθυνση αυτή, πραγματοποιήθηκαν εργασίες υπαίθρου, κυρίως όμως εργαστηριακές δοκιμές με στόχο τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των ανωτέρω πετρωμάτων. Επίσης έγινε προσπάθεια να διατυπωθούν αξιόπιστες εμπειρικές σχέσεις μεταξύ των φυσικών, δυναμικών και μηχανικών παραμέτρων των βραχωδών αυτών πετρωμάτων και να εκτιμηθεί η επίδραση της ορυκτολογικής σύστασης στη διαφοροποίηση της συμπεριφοράς τους.

Έτσι στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής πραγματοποιήθηκε γεωλογική έρευνα στην περιοχή μελέτης (δυτική Όθρυς και Καλλιδρομο), η οποία εστιάστηκε στα υπερβασικά πετρώματα. Στη συνέχεια συλλέχθηκαν ομοιογενείς, ισότροποι, επιφανειακοί και αντιπροσωπευτικοί όγκοι συνολικά από 94 θέσεις δειγματοληψίας (69 από την οροσειρά της Όθρυς και 25 από αυτήν του Καλλιδρόμου). Από τα δείγματα αυτά διαμορφώθηκαν 3-7 κατάλληλα δοκίμια, τα οποία εξετάστηκαν ως προς τις φυσικές, δυναμικές και μηχανικές τους ιδιότητες σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ISRM και της ASTM.

Τα υπερβασικά πετρώματα των εξεταζόμενων περιοχών διακρίνονται σε τρεις (3) πετρολογικές ενότητες–σχηματισμούς, τους σχιστώδεις σερπεντινίτες, τους σερπεντινίτες και τους ελαφρά ως και καθόλου σερπεντινωμένους περιδοτίτες. Για λόγους ομοιογένειας και ισοτροπίας στην παρούσα διδακτορική διατριβή οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε σερπεντινίτες (βαθμός σερπεντινίωσης μεγαλύτερος από 70%) και σε ελαφρά ως και σχεδόν καθόλου σερπεντινωμένους περιδοτίτες (βαθμός σερπεντινίωσης μικρότερος από

30%). Οι σερπεντινωμένοι περιδοτίτες (βαθμός σερπεντινίωσης από 30 έως και 70%) και οι σχιστώδεις σερπεντινίτες δεν εξετάστηκαν αφού παρουσιάζουν μεγάλη ανισοτροπία και ανομοιογένεια.

Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν 244 δοκιμές για τον προσδιορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών σε σερπεντινίτες και 147 σε περιδοτίτες. Τα δυναμικά χαρακτηριστικά προσδιορίστηκαν σε 103 δοκίμια σερπεντινιτών και 63 δοκίμια περιδοτιτών, ενώ στα μηχανικά χαρακτηριστικά ο αριθμός των δοκιμών κυμαίνεται από 10 έως και 103 στους σερπεντινίτες και από 6 έως και 63 στους περιδοτίτες ανάλογα το χαρακτηριστικό που εξετάστηκε. Ένας αντιπροσωπευτικός αριθμός δειγμάτων (47) μελετήθηκε και πετρογραφικά με σκοπό την περιγραφή της ορυκτολογικής σύστασης, της υφής, του ιστού και του βαθμού σερπεντινίωσής τους.

Μετά το πέρας των εργαστηριακών δοκιμών και της πετρογραφικής εξέτασης, τα αποτελέσματα επεξεργάστηκαν στατιστικά με τη βοήθεια των προγραμμάτων EXCEL Analysis Toolpak Program 2003 και SPSS 8.0 και υπολογίστηκε η μέγιστη, η ελάχιστη, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση, στοιχεία τα οποία παρατίθενται σε επιμέρους πίνακες. Επιπλέον από τη στατιστική ανάλυση προέκυψαν ιστογράμματα κατανομής των τιμών της κάθε παραμέτρου και κατασκευάστηκαν διαγράμματα συσχέτισης των τεχνικογεωλογικών ιδιοτήτων. Οι εξισώσεις που καλύτερα αποδίδουν τις σχέσεις τους περιγράφηκαν και οι υψηλότεροι συντελεστές προσδιορισμού (R^2) υπολογίστηκαν.

Τέλος, σε 16 συνολικά θέσεις (σε αυτές που πραγματοποιήθηκε τριαξονική δοκιμή) εκτιμήθηκε ο Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής (GSI) και προσδιορίστηκαν τα χαρακτηριστικά της βραχομάζας. Άλλωστε, αυτό που εντέλει ενδιαφέρει τον τεχνικογεωλογικό χώρο είναι η συμπεριφορά της βραχομάζας, εφόσον σε αυτή θα κατασκευαστούν τεχνικά έργα. Οι παράμετροι της διατμητικής αντοχής (ϕ , c), η αντοχή σε μοναξονική θλίψη (σ_c), η συνολική ή γενικευμένη αντοχή (Global Strength, σ_{cm}), η εφελκυστική αντοχή (σ_{tm}) και το μέτρο παραμόρφωσης (E_{tm}) της βραχομάζας εκτιμήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος Roclab.

Λέξεις Κλειδιά: Σερπεντινίτες – Περιδοτίτες – Σερπεντινίωση – Φυσικές – Δυναμικές – Μηχανικές ιδιότητες.

Η διδακτορική αυτή διατριβή εντάσσεται στο γνωστικό αντικείμενο της Γεωλογίας.

ENGINEERING GEOLOGICAL PROPERTIES OF THE ULTRABASIC ROCKS IN OTHRYS AND KALLIDROMO MOUNTAINS (CENTRAL GREECE)

By **K. Diamantis**

ABSTRACT

Although, many studies have been carried out to determine physical, dynamic and mechanical properties and establish relationships among them for several rocks, only few have been focused on ultrabasic rocks. But, the fact that ultrabasic rocks have become important earth crust components in some areas like south-eastern Europe and many works have constructed in or on these formations, led us to the investigation of these rocks properties.

The aim of this research is the determination of the ultrabasic rocks' geotechnical properties of the central Greece and for this purpose, many in situ works and lab tests had been carried out. Furthermore, this study attempts to derive reliable, empirical approaches among the physical, dynamic and mechanical properties and estimate the effect of the mineralogical composition on the engineering geology behaviour.

Within the framework of this thesis, geological and tectonic investigation was carried out in the study area (Western Othrys, and Kallidromo mts, Central Greece). It was mainly focused on the ultrabasic rocks. After that a great number of isotropic, homogeneous block samples (94), taken from the study area, were prepared in suitable specimens and tested in accordance with ASTM and ISRM standards.

The ultrabasic rocks of the study area were distinguished in schisto-serpentinites, serpentinites and peridotites, more or less serpentinitised. Only serpentinites and peridotites with low grade of serpentization (<30%) were tested. The other formations are unsuitable for testing because they are inhomogeneous and anisotropic.

Thus, 244 serpentinites and 147 peridotites were tested for physical characteristics, while the dynamic properties were determined in 103 serpentinite and 63 peridotite specimens. The number of specimens, examined for mechanical characteristics, fluctuates between 10 and 103 for serpentinites and between 6 and 63 for peridotites depending on the characteristic which was investigated.

A number of representative samples (47) were subjected to petrographic studies with the aim of describing the main mineralogical composition, the serpentinization percentage and the rock structure of the above-mentioned rocks.

After that, the results were statistically analyzed using the EXCEL Analysis Toolpak Program 2003 and SPSS 8.0 software. The maximum, minimum, average value and the standard deviation were calculated and presented in tables. Histograms with the allocation of each parameter values were illustrated and the relationships among the physical, dynamic and mechanical properties were described by the best fit equations. The highest coefficient of determination, in each relationship, was also determined.

Finally, GSI (Geological Strength Index) was estimated and the shear strength parameters (ϕ , c), the uniaxial compressive strength (σ_c), the global strength (σ_{cm}), the tensile strength (σ_{tm}) and the deformation modulus (E_{rm}) of the rock mass were calculated with the use of Roclab software program.

Keywords: Serpentinites - peridotites – serpentinization – physical - dynamic-mechanical properties.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πριν ξεκινήσω την παρουσίαση της διατριβής μου, θεωρώ ιερή υποχρέωση, να απευθύνω τις ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους που με πίστη και πολύ αγάπη με στήριξαν σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής. Ιδιαίτερα ευχαριστώ:

Τον Καθηγητή του Γ.Π.Α κ. Γεώργιο Μιγκίρο, (επιβλέπων της διατριβής μου) για την τιμή που μου έκανε να με αναλάβει ως υποψήφιο διδάκτορα, για τις αξιόλογες προτάσεις, την καθοδήγηση, τις διορθώσεις, άλλα και την αμέριστη ηθική και υλική βοήθεια που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια της συνεργασίας μας. Του είμαι ευγνώμων.

Τον Καθηγητή του Γ.Π.Α κ. Ευθύμιο Γκάρτζο για το συνεχές ενδιαφέρον, τις πολύ χρήσιμες παρατηρήσεις, διορθώσεις και υποδείξεις καθώς και για την αμέριστη συμπαράστασή του. Χωρίς και τη δική του βοήθεια θα ήταν αδύνατο να τελεσφορήσει αυτή η προσπάθεια.

Τον Καθηγητή του Ε.Κ.Π.Α κ. Γεώργιο Στουρνάρα για τη συμπαράσταση στην ολοκλήρωση της ερευνητικής αυτής προσπάθειας, τις αξιόλογες παρατηρήσεις και προτάσεις του ιδιαίτερα στο κομμάτι της τεχνικής γεωλογίας, καθώς επίσης και για τη συμμετοχή του στην Τριμελή συμβουλευτική επιτροπή.

Τα υπόλοιπα μέλη της επταμελούς εξεταστικής επιτροπής: τον Καθηγητή του Π.Π κ. Γεώργιο Κούκη, τον Καθηγητή του Π.Π κ. Κωνσταντίνο Χατζηπαναγιώτου, τον Επίκουρο Καθηγητή του Ε.Μ.Π κ. Δημήτριο Ρόζο και την Επίκουρη Καθηγήτρια κα. Μαρία Σταυροπούλου για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσαν στην αξιολόγηση της διδακτορικής μου διατριβής, αλλά και για τις σημαντικές παρατηρήσεις τους.

Τον Επίκουρο Καθηγητή του Γ.Π.Α κ. Αναστάσιο Τσαγκαλίδη για τον πολύτιμο χρόνο που μου αφιέρωσε στην εξέταση και φωτογράφιση των λεπτών τομών, για τις πολύτιμες συμβουλές και σκέψεις του καθώς και για τις εύστοχες παρατηρήσεις του στο Κεφάλαιο 7.

Τον Επίκουρο Καθηγητή του Γ.Π.Α κ. Κωνσταντίνο Σερέλη για τις πάντα χρήσιμες συμβουλές, ιδέες και επιστημονικές σκέψεις του.

Τον Καθηγητή του Γ.Π.Α κ. Ανδρέα Παυλόπουλο και τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Γ.Π.Α κ. Γεώργιο Σταμάτη για το ενδιαφέρον σχετικά με την πρόοδο της έρευνας, τις χρήσιμες συμβουλές και τη συνεχή ενθάρρυνσή τους.

Τον παρασκευαστή κ. Λεωνίδα Αντωνόπουλο για την παρασκευή των λεπτών τομών.

Τον προϊστάμενο του τμήματος Γεωτεχνικής Μηχανικής του Κεντρικού

Εργαστηρίου Δημοσίων Έργων κ. Γεώργιο Λιβά για την παραχώρηση του εργαστηριακού εξοπλισμού και τους εργοδηγούς κ. Δημήτρη Γεροχριστοδούλου και κ. Ηλία Δημητρόπουλο για τις πολύ χρήσιμες συμβουλές και υποδείξεις τους σε πρακτικά θέματα σχετικά με τον τρόπο εκτέλεσης των εργαστηριακών δοκιμών.

Το συνάδελφο και φίλο κ. Σπύρο Μπέλλα για τη στήριξή του σε όλη τη διάρκεια της διατριβής, αλλά και για τις πολύτιμες προτάσεις, ιδέες και επιστημονικές σκέψεις του.

Το Διευθυντή του Τομέα Ορυκτολογίας του ΙΓΜΕ κ. Γεώργιο Οικονόμου και τον δόκτορα κ. Δημήτριο Ταρενίδη για την πολύτιμη βοήθειά τους στις XRD αναλύσεις.

Το Διευθυντή της Δ/νσης Μελετών της ΕΡΓΑ ΟΣΕ Α.Ε κ. Αθανάσιο Καπένη, τον προϊστάμενο του Τεχνικού Γραφείου της Δ/νσης Μελετών κ. Ιωάννη Καραμπογιά καθώς και τους συναδέλφους Δημήτρη Κουρούκλη και Χρήστο Μποτσιαλά Msc Τεχνικούς Γεωλόγους για την βοήθεια που μου παρείχαν στη διάθεση στοιχείων.

Τους συναδέλφους και φίλους Δημήτρη Γεωργακόπουλο και Γιώργο Μελέκη, MSc Τεχνικούς Γεωλόγους για την πολύτιμη βοήθεια στις υπαίθριες γεωλογικές παρατηρήσεις και στη συλλογή των δειγμάτων, αλλά και για το συνεχές ενδιαφέρον τους.

Τους φίλους και υποψήφιους διδάκτορες Θεόδωρο Καραμουσαλή και Μανώλη Ψωμιάδη για τον πολύτιμο χρόνο που μου αφιέρωσαν, τη σημαντική βοήθεια που μου πρόσφεραν, αλλά και για τη ψυχολογική υποστήριξη όλα αυτά τα χρόνια.

Το δόκτορα Δημήτριο Αλεξάκη για τη βοήθεια του στη χρήση του προγράμματος SPSS.

Τους φίλους και υποψήφιους διδάκτορες Βασίλη Αντωνίου, Δήμητρα Γαμβρούλα, Γκέλη Δίκαρου, Ειρήνη Καυκαλά, Αθανασία Κοντάρη, Λυδία Παπαντωνίου, Κωνσταντίνο Παρπόδη, Ειρήνη Τρικούλη, Παναγιώτα Χαμπίδη για τις ιδέες, τις απόψεις και την κάθε λογής βοήθειά τους.

Το Ι.Κ.Υ για την οικονομική υποστήριξη που μου παρείχε.

Τους δικούς μου ανθρώπους: Γεώργιο Διαμαντή, Γεωργία Διαμαντοπούλου, Ευφροσύνη Κυριακοπούλου, Κωνσταντίνο Μαζαράκη και Αθανασία Τάκου για τη βοήθειά τους στην επιμέλεια της παρουσίασης της διατριβής, αλλά κυρίως για την αγάπη και τη συμπαράσταση που μου έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια. Τη στιγμή που όλα φάνταζαν αδύνατα η ενθάρρυνση τους αποδείχτηκε κινητήριος δύναμη για εμένα.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την αγάπη, την κατανόηση, την αμέριστη συμπαράσταση, για την ηθική και οικονομική υποστήριξη, που μου πρόσφεραν όλα αυτά τα χρόνια και να τους αφιερώσω αυτή την εργασία ως ελάχιστο δείγμα ευγνωμοσύνης.

	ΣΕΛ.
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
Η Τεχνική Γεωλογία και η Βραχομηχανική στα Τεχνικά Έργα.....	1
Αντικείμενο-Στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής.....	4
Διάρθρωση της διδακτορικής διατριβής.....	6
1. ΟΦΙΟΛΙΘΟΙ-ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	11
1.1 Σύντομη αναφορά στην ερμηνεία του όρου «Οφιόλιθοι»	11
1.2 Ηλικία των οφιολίθων.....	14
1.3 Οι οφιολιθικές εμφανίσεις στην Ελλάδα	16
1.4 Υπερβασικά-υπερμαφικά πετρώματα.....	18
2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΑΚΕΡΑΙΟΥ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	21
2.1 Ακέραιο πέτρωμα	21
2.1.1 Χαρακτηριστικά ακεραίου πετρώματος	21
2.1.1.1 Περιγραφικά-πετρογραφικά χαρακτηριστικά	23
2.1.1.2 Φυσικά χαρακτηριστικά	25
2.1.1.3 Δυναμικά χαρακτηριστικά-παράμετροι	27
2.1.1.4 Μηχανικές παράμετροι.....	28
2.1.1.4.1 Σκληρότητα με σφυρί Schmidt.....	28
2.1.1.4.2 Μηχανική αντοχή	30
2.1.1.4.3 Παραμόρφωση ακέραίου πετρώματος	35
2.1.2 Κριτήρια θραύσης ακέραίου πετρώματος	41
2.2 Συμπεριφορά Βραχομάζας.....	42
2.2.1 Οι ασυνέχειες και τα χαρακτηριστικά τους.....	44
2.2.1.1 Ορισμός και ταξινόμηση των ασυνεχειών	44
2.2.1.2 Γεωμετρικά και φυσικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών	47
2.2.2 Συστήματα ταξινόμησης βραχομάζας	49
2.2.3 Αστοχία βραχομάζας-Κριτήρια θραύσης	53
2.2.4 Παραμόρφωση της βραχομάζας.....	63

3. Η ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΩΣΗ ΣΤΑ ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	69
3.1 Σερπεντινίωση.....	69
3.2 Η επίδραση της σερπεντινίωσης στα χαρακτηριστικά των υπερβασικών πετρωμάτων	78
4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ-ΓΕΩΛΟΓΙΑ-ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	97
4.1 Περιοχή μελέτης.....	97
4.2 Γεωλογία	99
4.2.1 Γεωλογική διάρθρωση της δυτικής Όθρυος	99
4.2.2 Γεωλογική διάρθρωση του Καλλιδρόμου.....	102
4.2.3 Το οφιολιθικά συμπλέγματα	103
4.2.3.1 Εισαγωγή	103
4.2.3.2 Οφιολιθική mélange Όθρυος και Καλλιδρόμου.....	103
4.2.3.3 Οφιολιθικά καλύμματα Όθρυος και Καλλιδρόμου	105
4.2.3.3.1 Οφιολιθικό κάλυμμα Όθρυος (έμφαση στα υπερβασικά)	105
4.2.3.3.2 Οφιολιθικό κάλυμμα Καλλιδρόμου (έμφαση στα υπερβασικά)	108
.....	108
4.3 Τεκτονική	111
4.3.1 Τεκτονική μελέτη της Όθρυος.....	111
4.3.2 Τεκτονική μελέτη του Καλλιδρόμου	114
5. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ	121
5.1 Μεθοδολογία δειγματοληψίας-επιλογή και διαμόρφωση των κατάλληλων δοκιμίων	121
.....	121
5.2 Μεθοδολογία εκτέλεσης εργαστηριακών δοκιμών.....	129
5.2.1 Προσδιορισμός φυσικών παραμέτρων.....	130
5.2.2 Προσδιορισμός δυναμικών παραμέτρων	132
5.2.3 Προσδιορισμός παραμέτρων αντοχής.....	132
5.2.3.1 Προσδιορισμός σκληρότητας με τη χρήση σφυριού Schmidt	132
5.2.3.2 Προσδιορισμός της αντοχής σε σημειακή φόρτιση (Point Load Test)	133
.....	133
5.2.3.3 Προσδιορισμός της αντοχής σε ανεμπόδιστη-μοναξονική θλίψη	135
5.2.3.4 Προσδιορισμός της αντοχής σε μονοαξονική (ανεμπόδιστη) θλίψη με	

σύγχρονη μέτρηση και προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας (E_{st}) και του λόγου Poisson (ν_{st})	136
5.2.3.5 Έμμεσος προσδιορισμός της αντοχής σε εφελκυσμό του ακέραιου πετρώματος- θλίψη κατά γενέτειρα (Brazilian Test)	137
5.2.3.6 Προσδιορισμός της αντοχής σε τριαξονική θλίψη	138
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ	141
6.1 Φυσικά χαρακτηριστικά	141
6.1.1 Ενεργό πορώδες (n_e)	141
6.1.2 Λόγος κενών (e)	146
6.1.3 Ξηρό Φαινόμενο Βάρος (γ_d)	151
6.1.4 Κορεσμένο Φαινόμενο Βάρος (γ_{sat})	156
6.1.5 Απορροφητικότητα (W_a)	161
6.2 Δυναμικά χαρακτηριστικά	167
6.2.1 Ταχύτητα διάδοσης επιμηκών κυμάτων (V_p)	167
6.2.2 Ταχύτητα διάδοσης εγκάρσιων κυμάτων (V_s)	169
6.2.3 Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας (E_d)	171
6.2.4 Δυναμικός λόγος Poisson (ν_d)	175
6.2.5 Δυναμικό μέτρο διάτμησης (G_d)	177
6.3 Μηχανικά χαρακτηριστικά	181
6.3.1 Σκληρότητα με σφυρί Schmidt (SHV)	181
6.3.2 Αντοχή σε μοναξονική θλίψη- στατικό μέτρο ελαστικότητας, λόγος Poisson και στατικό μέτρο διάτμησης	185
6.3.2.1 Αντοχή σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci})	185
6.3.2.2 Στατικό μέτρο ελαστικότητας (E_{st})	188
6.3.2.3 Στατικός λόγος Poisson (ν_{st})	190
6.3.2.4 Στατικό μέτρο διάτμησης (G_{st})	192
6.3.3 Ανηγμένος δείκτης σημειακής φόρτισης (I_{s50})	194
6.3.4 Εφελκυστική αντοχή (σ_t)-διορθωμένη εφελκυστική αντοχή (σ_{tc})	197
6.3.5 Τριαξονική δοκιμή	200
7. ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	207
7.1 Εισαγωγικά	207

7.2 Πετρογραφική περιγραφή και ανάλυση	208
8. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ-ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	221
8.1 Εισαγωγή	221
8.2 Σχεδιασμός-δημιουργία της βάσης δεδομένων	221
8.3 Καταχώρηση των αποτελεσμάτων	223
9. ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ-ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ	225
9.1 Εισαγωγικά στοιχεία	225
9.2 Συσχετίσεις-Εμπειρικές σχέσεις	225
9.2.1 Συσχέτιση των φυσικών χαρακτηριστικών μεταξύ τους	226
9.2.2 Συσχέτιση των δυναμικών χαρακτηριστικών μεταξύ τους, αλλά και με τα φυσικά χαρακτηριστικά	230
9.2.3 Συσχέτιση των μηχανικών χαρακτηριστικών με τα φυσικά χαρακτηριστικά	236
9.2.4 Συσχέτιση των μηχανικών χαρακτηριστικών με τα δυναμικά χαρακτηριστικά	252
9.2.5 Συσχέτιση των μηχανικών χαρακτηριστικών μεταξύ τους	257
9.2.6 Συσχέτιση των πετρογραφικών χαρακτηριστικών με τα φυσικά, δυναμικά και μηχανικά χαρακτηριστικά	274
10. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	281
10.1 Εισαγωγή	281
10.2 Εκτίμηση της αντοχής και παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας	285
11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	297
12. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	311

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΣΕΛ.

Εικόνα 1.1: Πλήρως αναπτυγμένη οφιολιθική σειρά.....	13
Εικόνα 1.2: Οι κυριότερες οφιολιθικές εμφανίσεις στην Ελλάδα, δυτική Τουρκία και οι ηλικίες τους: A: Αγκελώνας, C: Κρήτη, Ch: Χαλκιδική, Cy: Κυκλάδες, D-K: Δαφνοσπηλιά-Κέδρος, E:Εύβοια, Gu: Γευγελή, I: Οίτη, K: Κάρπαθος, Kl: Καλλίδρομο, Kz: Κόζιακας, Le: Λέσβος, O: Όθρυς, P: Πίνδος, R: Ρόδος, Sa: Σαμοθράκη, ST: Νότια Τουρκία, T: Θράκη, V: Βούρινος (POMONIS et al., 2005).	15
Εικόνα 1.3: Ταξινόμηση και ονοματολογία υπερμαφικών πετρωμάτων.	20
Εικόνα 2.1: Θεωρητικό διάγραμμα που δείχνει τη μετατροπή από το ακέραιο πέτρωμα στην έντονα διακλασμένη βραχώμαζα με την αύξηση του μεγέθους του δείγματος (HOEK & BROWN, 1980a).	22
Εικόνα 2.2: Σχέσεις των μαζών και όγκων των στερεών, του νερού και του αέρα στο ακέραιο πέτρωμα.	25
Εικόνα 2.3: Νομόγραμμα μέσω του οποίου υπολογίζουμε την αντοχή σε μοναξονική θλίψη, γνωρίζοντας την σκληρότητα του ακέραιου πετρώματος (από DEERE and MILLER, 1966).	29
Εικόνα 2.4: Κατηγοριοποιήσεις με βάση την αντοχή σε μοναξονική θλίψη των πετρωμάτων (BIENIAWSKI, 1989).	31
Εικόνα 2.5: Διάκριση μέτρων ελαστικότητας βραχώδους υλικού (κατά ISRM, 1981).	37
Εικόνα 2.6: Συσχέτιση μέτρου ελαστικότητας με το δείκτη σημειακής φόρτισης, την αντοχή σε μοναξονική θλίψη και το φαινόμενο βάρος του ακέραιου πετρώματος με τη χρήση τεχνητού νευρωνικού δικτύου (SONMEZ et al., 2006).	38
Εικόνα 2.7: Διάγραμμα στατικού μέτρου ελαστικότητας και αντοχής σε μοναξονική θλίψη (DEERE & MILLER, 1966).	39
Εικόνα 2.8: Πιθανά σχήματα διαρρήξεων. α) Διατμητική διάρρηξη από εφελκυσμό, β)Διάρρηξη έκτασης από εφελκυσμό, γ) Διατμητική διάρρηξη από συμπίεση, δ) Διάρρηξη έκτασης από συμπίεση.....	45
Εικόνα 2.9: Γενετική Ταξινόμηση Διαρρήξεων: A. Υβριδικές διαρρήξεις B. Διατμητικές διαρρήξεις Γ. Εφελκυστικές διαρρήξεις (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ & ΚΑΡΟΤΣΙΕΡΗΣ, 2005).	46
Εικόνα 2.10: Απεικόνιση των A) Εφελκυστικών, B) Υβριδικών και C) Διατμητικών διαρρήξεων SINGHAL & GUPTA (1999).	46
Εικόνα 2.11: Μετάβαση από το ακέραιο πέτρωμα στη διερρηγμένη βραχομάζα	

(HOEK, et al., 1998).	56
Εικόνα 2.12: Κύριες τάσεις (σ_1 και σ_3) και ορθή (σ) και διατμητική τάση (τ) που δρουν επί ενός επιπέδου αστοχίας κατά τη στιγμή της αστοχίας (HOEK & BROWN, 1980b).....	59
Εικόνα 2.13: Σχέσεις μεταξύ μέγιστων και ελάχιστων κύριων τάσεων για το κριτήριο θραύσης Hoek-Brown και το κριτήριο θραύσης Mohr-Coulomb (HOEK et al., 2002).	61
Εικόνα 2.14: Διάγραμμα της συνοχής/αντοχής σε μοναξονική θλίψη για διαφορετικές τιμές του GSI και του m_i (HOEK & BROWN, 1997).	62
Εικόνα 2.15: Διάγραμμα των γωνιών εσωτερικής τριβής για διαφορετικές τιμές του GSI και του m_i (HOEK & BROWN, 1997).	62
Εικόνα 2.16: Ελαστικό-ψαθυρή συμπεριφορά σε πολύ καλής ποιότητας βραχομάζες (από HOEK & BROWN, 1997).	64
Εικόνα 2.17: Τέλεια πλαστική συμπεριφορά σε φτωχής ποιότητας βραχομάζες (από HOEK & BROWN, 1997).	64
Εικόνα 2.18: Παραμορφωτική συμπεριφορά σε μεσαίας ποιότητας βραχομάζες (από HOEK & BROWN, 1997).	65
Εικόνα 3.1: Διάγραμμα P/T για σερπεντίνη (EVANS, 2004): Liz=Λιζαρδίτης, Atg=Αντιγορίτης, Tlc=Τάλκης, Brc=Βρουσίτης, Fo=Φορστερίτης.	71
Εικόνα 3.2: Τρόπος εξαλλοίωσης ολιβίνη και δομές πλέγματος (PRICHARD, 1979).	72
Εικόνα 3.3: Περιγραφή της διαδικασίας της σερπεντινίωσης σε όλα τα στάδια (PRICHARD, 1979).	73
Εικόνα 3.4: A, B: Εξαλλοίωση ολιβίνη σε λιζαρδίτη, C: Κυψελώδης ιστός D: Ιστός κλεψύδρας (VITI & MELLINI, 1998).....	73
Εικόνα 3.5: Πλήρως σερπεντινωμένος περιδοτίτης με εμφανείς δομές πλέγματος (κυψελώδης ιστός).	74
Εικόνα 3.6: Στάδια σερπεντινίωσης φρέσκου περιδοτίτη. T ₀ : Φρέσκος περιδοτίτης, ο οποίος αποτελείται από ολιβίνη και πυρόξενο, T ₁ : Αρχίζει η σερπεντινίωση του ολιβίνη σε θερμοκρασία <300°C και με την παρουσία Sb, As, B και U, T ₂ : Ξεκινάει η σερπεντινίωση του πυροξένου σε θερμοκρασία 400°C-650°C με την παρουσία Pb, Cs, Li και Ba, T ₃ : Σχηματισμός μεταμορφωμένου ολιβίνη και ασβεστιτικών φλεβών σε θερμοκρασία >650°C (DESCHAMPS et al., 2009).	75
Εικόνα 3.7: Σχηματικές κρυσταλλικές δομές α) Αντιγορίτης- δεσμοί Si-O β) Λιζαρδίτης- δεσμοί υδρογόνου (REINEN et al., 1994).	76
Εικόνα 3.8: Η επιρροή της πίεσης στις ταχύτητες των επιμηκών κυμάτων (RAMANA, 1969).....	82

Εικόνα 3.9: Σχέση της πυκνότητας με την ταχύτητα των επιμηκών κυμάτων στα πετρώματα (KERN AND FAKHIMI, 1975).	83
Εικόνα 3.10: Σχέση της πυκνότητας με τις ταχύτητες των επιμηκών και των εγκάρσιων κυμάτων των υπερβασικών πετρωμάτων υπό πίεση 200MPa και θερμοκρασία 200°C (CARLSON & MILLER, 2003).	83
Εικόνα 3.11: Σχέση της πυκνότητας με τις ταχύτητες των επιμηκών και των εγκάρσιων κυμάτων των υπερβασικών πετρωμάτων υπό πίεση 1GPa (CHRISTENSEN, 2004 με στοιχεία από CHRISTENSEN, 1966b).	84
Εικόνα 3.12: Σχέση του λόγου Poisson με την πυκνότητα των ορυκτών (CHRISTENSEN, 2004 με στοιχεία από CHRISTENSEN 1966b).	85
Εικόνα 3.13: Σχέση βαθμού σερπεντινίωσης και λόγου Poisson (CHRISTENSEN, 2004).	86
Εικόνα 3.14: Σχέση των επιμηκών και των εγκάρσιων ταχυτήτων υπό πίεση 200MPa. Οι διακεκομμένες γραμμές δείχνουν τις τιμές του λόγου Poisson (COURTIER, et al., 2004).	86
Εικόνα 3.15: Ταχύτητες και λόγος ταχυτήτων υπό πίεση 1GPa και θερμοκρασία 500°C σε σχέση με το βαθμό σερπεντινίωσης. Οι διακεκομμένες γραμμές δείχνουν πιθανές διακυμάνσεις εξαιτίας της ανισοτροπίας (CHRISTENSEN, 2004).	87
Εικόνα 3.16: Σχέση επιμηκών και εγκάρσιων ταχυτήτων υπό πίεση 600MPa (WANG et al., 2009).	89
Εικόνα 3.17: Συσχετίσεις του λόγου poisson με V_s , (a), V_p (b), G (c) και E (d) υπό πίεση 600MPa. (WANG et al., 2009).	89
Εικόνα 3.18: Η διακύμανση της αντοχής σε σχέση με τη σερπεντινίωση και την αύξηση της πλευρικής πίεσης (ESCARTIN et al., 2001), HD:Horoman Δουνίτης, BD:Balsaman Gap Δουνίτης, KD: Kukes Δουνίτης, OS: Καθαρός ωκεάνιος σερπεντίνης, SD: Σερπεντινωμένος Δουνίτης, L: Λιζαρδίτης, C: Χρυσοτίλης, ?: Μη αναφερόμενη φάση σερπεντίνη.	92
Εικόνα 3.19: a) Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης του αντιγορίτη για διάφορες πλευρικές τάσεις, b) Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης του λιζαρδίτη για διάφορες πλευρικές τάσεις, c) Διάγραμμα τάσης- ογκομετρικής παραμόρφωσης του λιζαρδίτη (I-31), του αντιγορίτη (α -37) και του γρανίτη (g-18) σε $\sigma_3=200\text{MPa}$ και $T=20^\circ\text{C}$ (ESCARTIN et al., 1997a).	93
Εικόνα 3.20: Η διακύμανση της αντοχής σε σχέση με την ταχύτητα των επιμηκών κυμάτων (RAO & RAMANA 1974).	93
Εικόνα 4.1: Η περιοχή έρευνας και οι οφιολιθικές εμφανίσεις της Ελλάδας και των γειτονικών χωρών.	97

Εικόνα 4.2: Η περιοχή μελέτης στη δυτική Όθρη.	98
Εικόνα 4.3: Η περιοχή μελέτης στο όρος Καλλιδρόμο.	99
Εικόνα 4.4: Γεωλογικός χάρτης της δυτικής Όθρους [από ΜΙΓΚΙΡΟΣ, 1990 και τα γεωλογικά φύλλα του ΙΓΜΕ (Λεοντάριο, Δομοκός) με τροποποιήσεις].	101
Εικόνα 4.5: Γεωλογικός χάρτης του Καλλιδρόμου [από τα γεωλογικά φύλλα του ΙΓΜΕ (Αμφίκλεια, Ελάτεια) με τροποποιήσεις].	104
Εικόνα 4.6: Έντονη σχιστοποίηση-φυλλώδη δομή (σχιστώδης σερπεντινίτης από την περιοχή της δυτικής Όθρους).	106
Εικόνα 4.7: Σερπεντινίτης από την περιοχή της δυτικής Όθρους.	107
Εικόνα 4.8: Σερπεντινωμένος περιδοτίτης από την περιοχή της δυτικής Όθρους.	107
Εικόνα 4.9: Λιθοστρωματογραφική στήλη των υπερβασικών πετρωμάτων τα οποία είναι επωημένα πάνω στους ασβεστόλιθους στην περιοχή του Καλλιδρόμου; kj: ασβεστόλιθοι, sh: σχιστοκερατολιθική διάπλαση (οφιολιθική mélange), Vo: ηφαιστειακά, ab: αμφιβολίτες, se.s: σχιστώδεις σερπεντινίτες, se: σερπεντινίτες, ha: χαρτσβουργίτες, sz: ζώνη διάτμησης (ΜΙΓΚΙΡΟΣ κ.ά ///).	109
Εικόνα 4.10: Σχιστώδης σερπεντινίτης από την περιοχή του Καλλιδρόμου.	109
Εικόνα 4.11: Σερπεντινίτες με χαρακτηριστικές μορφές boudinage από την περιοχή του Καλλιδρόμου.	110
Εικόνα 4.12: Σερπεντινωμένοι χαρτσβουργίτες από την περιοχή του Καλλιδρόμου.	111
Εικόνα 4.13: Ορυκτολογικές γραμμώσεις από την περιοχή του Καλλιδρόμου.	116
Εικόνα 4.14: Κατοπτρική επιφάνεια της Ρηξιγενούς ζώνης του Καλλιδρόμου.	116
Εικόνα 5.1: Η περιοχή μελέτης στη δυτική Όθρη και οι θέσεις δειγματοληψίας.	123
Εικόνα 5.2: Η περιοχή μελέτης στο Καλλιδρόμο και οι θέσεις δειγματοληψίας.	124
Εικόνα 5.3: Εργαστηριακός πυρηνολήπτης για τη διαμόρφωση κυλινδρικών δοκιμίων πετρώματος (ΚΕΔΕ).	127
Εικόνα 5.4: Αδαμαντοτροχός για κόψιμο δοκιμίων (ΚΕΔΕ).	128
Εικόνα 5.5: Ειδικός δίσκος λείανσης πετρωμάτων (ΚΕΔΕ).	129
Εικόνα 5.6: Συσκευή δημιουργίας κενού 800Pa.	132
Εικόνα 5.7: Πλήρες σύστημα μέτρησης ταχύτητας υπερήχων σε βραχώδη δοκίμια.	133
Εικόνα 5.8: Εκτέλεση δοκιμής σκληρότητας πετρώματος με το σφυρί Schmidt το εργαστήριο.	134
Εικόνα 5.9: Συσκευή σημειακής φόρτισης (AG-34).	135
Εικόνα 5.10: Μηχανή εκτέλεσης δοκιμής ανεμπόδιστης θλίψης και Brazilian, H/Y καταγραφής και δκάναλος ηλεκτρικός καταγραφέας.	137

Εικόνα 5.11: Πλήρες σύστημα τριαξονικής δοκιμής σε βράχο που αποτελείται από συσκευή αξονικής φόρτισης (πρέσα), σύστημα πλευρικής πίεσης και τριαξονικό κελί υψηλών πιέσεων.	139
Εικόνα 6.1: Ιστόγραμμα κατανομής του ενεργού πορώδους (n_{es}) για τους σερπεντινίτες.	145
Εικόνα 6.2: Ιστόγραμμα κατανομής του ενεργού πορώδους (n_{em}) για τους σερπεντινίτες.	145
Εικόνα 6.3: Ιστόγραμμα κατανομής του ενεργού πορώδους (n_{es}) για τους περιδοτίτες.	145
Εικόνα 6.4: Ιστόγραμμα κατανομής του ενεργού πορώδους (n_{em}) για τους περιδοτίτες.	146
Εικόνα 6.5: Ιστόγραμμα κατανομής του λόγου των κενών (e_s) για τους σερπεντινίτες.	149
Εικόνα 6.6: Ιστόγραμμα κατανομής του λόγου των κενών (e_m) για τους σερπεντινίτες.	150
Εικόνα 6.7: Ιστόγραμμα κατανομής του λόγου των κενών (e_s) για τους περιδοτίτες.	150
Εικόνα 6.8: Ιστόγραμμα κατανομής του λόγου των κενών (e_m) για τους περιδοτίτες.	150
Εικόνα 6.9: Ιστόγραμμα κατανομής του ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_{ds}) για τους σερπεντινίτες.	154
Εικόνα 6.10: Ιστόγραμμα κατανομής του ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_{dm}) για τους σερπεντινίτες.	154
Εικόνα 6.11: Ιστόγραμμα κατανομής του ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_{ds}) για τους περιδοτίτες.	155
Εικόνα 6.12: Ιστόγραμμα κατανομής του ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_{dm}) για τους περιδοτίτες.	155
Εικόνα 6.13: Ιστόγραμμα κατανομής του κορεσμένου φαινόμενου βάρους (γ_{sats}) για τους σερπεντινίτες.	159
Εικόνα 6.14: Ιστόγραμμα κατανομής του κορεσμένου φαινόμενου βάρους (γ_{satm}) για τους σερπεντινίτες.	159
Εικόνα 6.15: Ιστόγραμμα κατανομής του κορεσμένου φαινόμενου βάρους (γ_{sats}) για τους περιδοτίτες.	160
Εικόνα 6.16: Ιστόγραμμα κατανομής του κορεσμένου φαινόμενου βάρους (γ_{satm}) για τους περιδοτίτες.	160
Εικόνα 6.17: Ιστόγραμμα κατανομής της απορροφητικότητας (W_{as}) για τους σερπεντινίτες.	164
Εικόνα 6.18: Ιστόγραμμα κατανομής της απορροφητικότητας (W_{am}) για τους σερπεντινίτες.	164
Εικόνα 6.19: Ιστόγραμμα κατανομής της απορροφητικότητας (W_{as}) για τους περιδοτίτες. .	

.....	165
Εικόνα 6.20: Ιστόγραμμα κατανομής της απορροφητικότητας (W_{am}) για τους περιδοτίτες..	165
.....	165
Εικόνα 6.21: Ιστόγραμμα κατανομής των ταχυτήτων των επιμηκών κυμάτων (V_p) για τους σερπεντινίτες.....	168
Εικόνα 6.22: Ιστόγραμμα κατανομής των ταχυτήτων των επιμηκών κυμάτων (V_p) για τους περιδοτίτες.....	168
Εικόνα 6.23: Ιστόγραμμα κατανομής των ταχυτήτων των εγκάρσιων κυμάτων (V_s) για τους σερπεντινίτες.....	170
Εικόνα 6.24: Ιστόγραμμα κατανομής των ταχυτήτων των εγκάρσιων κυμάτων (V_s) για τους περιδοτίτες.....	171
Εικόνα 6.25: Ιστόγραμμα κατανομής του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας, E_{ds} για τους σερπεντινίτες.....	173
Εικόνα 6.26: Ιστόγραμμα κατανομής του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας (E_{dm}) για τους σερπεντινίτες.....	174
Εικόνα 6.27: Ιστόγραμμα κατανομής του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας (E_{ds}) για τους περιδοτίτες.....	174
Εικόνα 6.28: Ιστόγραμμα κατανομής του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας (E_{dm}) για τους περιδοτίτες.....	174
Εικόνα 6.29: Ιστόγραμμα κατανομής του δυναμικού λόγου Poisson (ν_d) για τους σερπεντινίτες.....	177
Εικόνα 6.30: Ιστόγραμμα κατανομής του δυναμικού λόγου Poisson (ν_d) για τους περιδοτίτες.....	177
Εικόνα 6.31: Ιστόγραμμα κατανομής του δυναμικού μέτρου διάτμησης (G_{ds}) για τους σερπεντινίτες.....	179
Εικόνα 6.32: Ιστόγραμμα κατανομής του δυναμικού μέτρου διάτμησης (G_{dm}) για τους σερπεντινίτες.....	179
Εικόνα 6.33: Ιστόγραμμα κατανομής του δυναμικού μέτρου διάτμησης (G_{ds}) για τους περιδοτίτες.....	180
Εικόνα 6.34: Ιστόγραμμα κατανομής του δυναμικού μέτρου διάτμησης (G_{dm}) για τους περιδοτίτες.....	180
Εικόνα 6.35: Ιστόγραμμα κατανομής της σκληρότητας (SHV) για τους σερπεντινίτες.	184
Εικόνα 6.36: Ιστόγραμμα κατανομής της σκληρότητας (SHV) για τους περιδοτίτες.....	184
Εικόνα 6.37: Ιστόγραμμα κατανομής της αντοχής σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci}) για τους	

σερπεντινίτες.	186
Εικόνα 6.38: Ιστόγραμμα κατανομής της αντοχής σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci}) για τους περιδοτίτες.	186
Εικόνα 6.39: Ιστόγραμμα κατανομής του στατικού μέτρου ελαστικότητας (E_{st}) για τους σερπεντινίτες.	189
Εικόνα 6.40: Ιστόγραμμα κατανομής του στατικού μέτρου ελαστικότητας (E_{st}) για τους περιδοτίτες.	189
Εικόνα 6.41: Ιστόγραμμα κατανομής του στατικού λόγου Poisson (ν_{st}) για τους σερπεντινίτες.	191
Εικόνα 6.42: Ιστόγραμμα κατανομής του στατικού λόγου Poisson (ν_{st}) για τους περιδοτίτες.	191
Εικόνα 6.43: Ιστόγραμμα κατανομής του στατικού μέτρου διάτμησης (G_{st}) για τους σερπεντινίτες.	193
Εικόνα 6.44: Ιστόγραμμα κατανομής του στατικού μέτρου διάτμησης (G_{st}) για τους περιδοτίτες.	193
Εικόνα 6.45: Ιστόγραμμα κατανομής του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50}) για τους σερπεντινίτες.	195
Εικόνα 6.46: Ιστόγραμμα κατανομής του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50}) για τους περιδοτίτες.	195
Εικόνα 6.47: Ιστόγραμμα κατανομής της εφελκυστικής αντοχής (σ_t) για τους σερπεντινίτες.	198
Εικόνα 6.48: Ιστόγραμμα κατανομής της εφελκυστικής αντοχής (σ_t) για τους περιδοτίτες.	199
Εικόνα 6.49: Ιστόγραμμα κατανομής της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής (σ_{tc}) για τους σερπεντινίτες.	199
Εικόνα 6.50: Ιστόγραμμα κατανομής της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής (σ_{tc}) για τους περιδοτίτες.	200
Εικόνα 7.1: Πολωτικό μικροσκόπιο με διερχόμενο φως τύπου Leitz-Orthoplan και ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Canon.	208
Εικόνα 7.2: Πορφυροειδής ιστός-αλλοτριόμορφοι κρύσταλλοι ολιβίνη και πορφυροκρύσταλλοι ορθοπυροξένου με έναρξη σερπεντινίωσης μέσα στις ρωγμές τους (δοκίμιο ΟΠ15Β).	209
Εικόνα 7.3: Πορφυροκλαστικός ιστός. Οι κρύσταλλοι είναι κερματισμένοι σε πολλά κομμάτια (δοκίμιο ΟΠ02Δ).	209

Εικόνα 7.4: Πορφυροκρύσταλλοι ορθοπυροξένων με λαμέλλες απόμειξης (δοκίμιο ΚΠ09Α).....	211
Εικόνα 7.5: Υπιδιόμορφος πορφυροκρύσταλλος κλινοπυροξένου και αλλοτριόμορφοι κρύσταλλοι ολιβίνη (δοκίμιο ΟΠ07Α).	211
Εικόνα 7.6: Ακτινογράφημα που δείχνει ότι τα ορυκτά που εντοπίστηκαν στους μελετηθέντες περιδοτίτες είναι: ο ολιβίνης (Ol), ο ορθοπυρόξενος (Opx), ο κλινοπυρόξενος (Cpx), ο λιζαρδίτης (Liz), ο αντιγορίτης (Ant) και ο χλωρίτης (Chl) (δοκίμιο ΚΠ01Α).).....	212
Εικόνα 7.7: Ακτινογράφημα που δείχνει ότι τα ορυκτά που εντοπίστηκαν στους μελετηθέντες περιδοτίτες είναι: ο ολιβίνης (Ol), ο ορθοπυρόξενος (Opx), ο κλινοπυρόξενος (Cpx), ο λιζαρδίτης (Liz), ο αντιγορίτης (Ant) και ο χλωρίτης (Chl) (δοκίμιο ΚΠ03Α).....	212
Εικόνα 7.8: Ακτινογράφημα που δείχνει ότι τα ορυκτά που εντοπίστηκαν στους μελετηθέντες περιδοτίτες είναι: ο ολιβίνης (Ol), ο ορθοπυρόξενος (Opx), ο κλινοπυρόξενος (Cpx), ο λιζαρδίτης (Liz), ο αντιγορίτης (Ant) και ο χλωρίτης (Chl) (δοκίμιο ΟΠ1Α).	213
Εικόνα 7.9: Ακτινογράφημα που δείχνει ότι τα ορυκτά που εντοπίστηκαν στους μελετηθέντες περιδοτίτες είναι: ο ολιβίνης (Ol), ο ορθοπυρόξενος (Opx), ο κλινοπυρόξενος (Cpx), ο λιζαρδίτης (Liz), ο αντιγορίτης (Ant), ο χλωρίτης (Chl) και το πλαγιόκλαστο (Pl)(δοκίμιο ΟΠ22Β).	213
Εικόνα 7.10: Ουραλίωση ορθοπυροξένου (δοκίμιο ΟΠ15Β).	214
Εικόνα 7.11: α) Γενική εικόνα σερπεντινίτη (δείγμα ΟΣ06Α) από SEM. Οι σερπεντίνες είναι φυλλώδεις και όχι ινώδεις, χωρίς προτιμητέο προσανατολισμό. β) Μεγέθυνση της προηγούμενης εικόνας.	216
Εικόνα 7.12: Ακτινογράφημα σερπεντινίτη στο οποίο φαίνεται πως το κυρίαρχο πολύμορφο του σερπεντίνης είναι ο χρυσοτίλης (Chr). Επίσης εντοπίστηκαν λιζαρδίτης (Liz), ολιβίνης (Ol), αντιγορίτης (Ant), ορθοπυρόξενος (Opx), κλινοπυρόξενος (Cpx), χλωρίτης (Chl) (δείγμα ΟΣ06Α).	216
Εικόνα 7.13 : α), β) ,γ) Παρουσιάζονται σε διαφορετικές μεγεθύνσεις ο τάλκης (ανοιχτό γκρι) και ο σερπεντίνης (σκούρο γκρι), χωρίς προτιμητέο προσανατολισμό (SEM δοκίμιο ΚΣ10Α).	217
Εικόνα 7.14: Σερπεντινίτης με παρουσία τάλκη, ακτινολίθου, χλωρίτη σπινέλιου (δοκίμιο ΟΣ01Α).	218
Εικόνα 7.15: Υπολειμματικές νησίδες κρυστάλλων ολιβίνη περιτριγυρισμένο από	

σερπεντίνες σε ένα δείγμα σερπεντινίτη (SEM, δοκίμιο ΟΣ05Α).	218
Εικόνα 7.16: Κυψελώδης ιστός. Στα κέντρα των κυψελίδων υπάρχουν υπολειμματικοί κρύσταλλοι ολιβίνη (ΟΣ05Α).	219
Εικόνα 7.17: Κυψελώδης ιστός (δοκίμιο ΚΣ09Α).	219
Εικόνα 7.18: Ενδοδιεισδυτικός ιστός (δοκίμιο ΟΣ02Α).	220
Εικόνα 8.1: Οι δυο πίνακες της βάσης, τα πεδία και η σχέση τους.	223
Εικόνα 8.2: Η φόρμα εισαγωγής δεδομένων.	224
Εικόνα 9.1: Συσχέτιση μεταξύ ξηρού φαινόμενου βάρους προσδιορισμένου με τη μέθοδο της άνωσης και αυτού προσδιορισμένου με τη μέθοδο του μικρομέτρου για τους σερπεντινίτες.	226
Εικόνα 9.2: Συσχέτιση μεταξύ ξηρού φαινόμενου βάρους προσδιορισμένου με τη μέθοδο της άνωσης και αυτού προσδιορισμένου με τη μέθοδο του μικρομέτρου για τους περιδοτίτες.	226
Εικόνα 9.3: Συσχέτιση μεταξύ ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_{ds}) και ενεργού πορώδους (n_{es}) για τους σερπεντινίτες.	228
Εικόνα 9.4: Συσχέτιση μεταξύ ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_{ds}) και ενεργού πορώδους (n_{es}) για τους περιδοτίτες.	228
Εικόνα 9.5: Συσχέτιση μεταξύ ενεργού πορώδους προσδιορισμένου με τη μέθοδο της άνωσης και αυτού προσδιορισμένου με τη μέθοδο του μικρομέτρου στους σερπεντινίτες	229
Εικόνα 9.6: Συσχέτιση μεταξύ ενεργού πορώδους προσδιορισμένου με τη μέθοδο της άνωσης και αυτού προσδιορισμένου με τη μέθοδο του μικρομέτρου στους περιδοτίτες.	229
Εικόνα 9.7: Συσχέτιση μεταξύ ταχυτήτων επιμηκών κυμάτων και εγκάρσιων κυμάτων για τους σερπεντινίτες.	232
Εικόνα 9.8: Συσχέτιση μεταξύ ταχυτήτων επιμηκών κυμάτων και εγκάρσιων κυμάτων για τους περιδοτίτες.	232
Εικόνα 9.9: Συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων των κυμάτων και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους σερπεντινίτες.	233
Εικόνα 9.10: Συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων των κυμάτων και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους περιδοτίτες.	233
Εικόνα 9.11: Συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων των κυμάτων και του ενεργού πορώδους για τους σερπεντινίτες.	235
Εικόνα 9.12: Συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων των κυμάτων και του ενεργού πορώδους	

για τους περιδοτίτες.	235
Εικόνα 9.13: Συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους σερπεντινίτες.	237
Εικόνα 9.14: Συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους περιδοτίτες.	237
Εικόνα 9.15: Συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας και του ενεργού πορώδους για τους σερπεντινίτες.	238
Εικόνα 9.16: Συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας και του ενεργού πορώδους για τους περιδοτίτες.	239
Εικόνα 9.17: Συσχέτιση μεταξύ της εφελκυστικής αντοχής και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους σερπεντινίτες.	240
Εικόνα 9.18: Συσχέτιση μεταξύ της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους σερπεντινίτες.	240
Εικόνα 9.19: Συσχέτιση μεταξύ της εφελκυστικής αντοχής και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους περιδοτίτες.	240
Εικόνα 9.20: Συσχέτιση μεταξύ της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους περιδοτίτες.	241
Εικόνα 9.21: Συσχέτιση μεταξύ της εφελκυστικής αντοχής και του ενεργού πορώδους για τους σερπεντινίτες.	241
Εικόνα 9.22: Συσχέτιση μεταξύ της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής και του ενεργού πορώδους για τους σερπεντινίτες.	242
Εικόνα 9.23: Συσχέτιση μεταξύ της εφελκυστικής αντοχής και του ενεργού πορώδους για τους περιδοτίτες.	242
Εικόνα 9.24: Συσχέτιση μεταξύ της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής και του ενεργού πορώδους για τους περιδοτίτες.	242
Εικόνα 9.25: Συσχέτιση μεταξύ του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους σερπεντινίτες.	244
Εικόνα 9.26: Συσχέτιση μεταξύ του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους περιδοτίτες.	245
Εικόνα 9.27: Συσχέτιση μεταξύ του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης και του ενεργού πορώδους για τους σερπεντινίτες.	245
Εικόνα 9.28: Συσχέτιση μεταξύ του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης και του ενεργού πορώδους για τους περιδοτίτες.	245
Εικόνα 9.29: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ξηρού	

φαινόμενου βάρους για τους σερπεντινίτες.....	247
Εικόνα 9.30: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους περιδοτίτες.....	248
Εικόνα 9.31: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ενεργού πορώδους για τους σερπεντινίτες.....	248
Εικόνα 9.32: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ενεργού πορώδους για τους περιδοτίτες.....	248
Εικόνα 9.33: Συσχέτιση μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους σερπεντινίτες.....	250
Εικόνα 9.34: Συσχέτιση μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους περιδοτίτες.....	250
Εικόνα 9.35: Συσχέτιση μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και του ενεργού πορώδους για τους σερπεντινίτες.....	250
Εικόνα 9.36: Συσχέτιση μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και του ενεργού πορώδους για τους περιδοτίτες.....	251
Εικόνα 9.37: Συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας και των ταχυτήτων των κυμάτων για τους σερπεντινίτες.....	252
Εικόνα 9.38: Συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας και των ταχυτήτων των κυμάτων για τους περιδοτίτες.....	253
Εικόνα 9.39: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και των ταχυτήτων των κυμάτων για τους σερπεντινίτες.....	254
Εικόνα 9.40: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και των ταχυτήτων των κυμάτων για τους περιδοτίτες.....	254
Εικόνα 9.41: Συσχέτιση μεταξύ του στατικού και δυναμικού μέτρου ελαστικότητας για τους σερπεντινίτες.....	256
Εικόνα 9.42: Συσχέτιση μεταξύ του στατικού και δυναμικού μέτρου ελαστικότητας για τους περιδοτίτες.....	256
Εικόνα 9.43: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της σκληρότητας για τους σερπεντινίτες.....	257
Εικόνα 9.44: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της σκληρότητας για τους περιδοτίτες.....	258
Εικόνα 9.45: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της εφελκυστικής αντοχής για τους σερπεντινίτες.....	260
Εικόνα 9.46: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της εφελκυστικής	

αντοχής για τους περιδοτίτες.....	260
Εικόνα 9.47: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής για τους σερπεντινίτες.....	260
Εικόνα 9.48: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής για τους περιδοτίτες.....	261
Εικόνα 9.49: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης για τους σερπεντινίτες.....	264
Εικόνα 9.50: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης για τους περιδοτίτες.....	264
Εικόνα 9.51: Συσχέτιση μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και της σκληρότητας για τους σερπεντινίτες.....	266
Εικόνα 9.52: Συσχέτιση μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και της σκληρότητας για τους περιδοτίτες.....	266
Εικόνα 9.53: Συσχέτιση μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη για τους σερπεντινίτες.....	266
Εικόνα 9.54: Συσχέτιση μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη για τους περιδοτίτες.....	267
Εικόνα 9.55: Τοποθέτηση των αποτελεσμάτων που εξάγαμε από τη διατριβή αυτή στο διάγραμμα των DEERE & MILLER για τους σερπεντινίτες.....	268
Εικόνα 9.56: Τοποθέτηση των αποτελεσμάτων που εξάγαμε από τη διατριβή αυτή στο διάγραμμα των DEERE & MILLER για τους περιδοτίτες.....	268
Εικόνα 9.57: Συσχέτιση μεταξύ της παραμέτρου m_i και της συνοχής του ανέπαφου πετρώματος για τους σερπεντινίτες.....	269
Εικόνα 9.58: Συσχέτιση μεταξύ της παραμέτρου m_i και της συνοχής του ανέπαφου πετρώματος για τους περιδοτίτες.....	269
Εικόνα 9.59: Συσχέτιση μεταξύ της παραμέτρου m_i και της γωνίας εσωτερικής τριβής του ανέπαφου πετρώματος για τους σερπεντινίτες.....	270
Εικόνα 9.60: Συσχέτιση μεταξύ της παραμέτρου m_i και της γωνίας εσωτερικής τριβής του ανέπαφου πετρώματος για τους περιδοτίτες.....	270
Εικόνα 9.61: Συσχέτιση μεταξύ της παραμέτρου m_i και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη για τους σερπεντινίτες.....	270
Εικόνα 9.62: Συσχέτιση μεταξύ της παραμέτρου m_i και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη για τους περιδοτίτες.....	271
Εικόνα 9.63: Συσχέτιση μεταξύ της συνοχής του ανέπαφου πετρώματος και της αντοχής	

σε μοναξονική θλίψη για τους σερπεντινίτες.	271
Εικόνα 9.64: Συσχέτιση μεταξύ της συνοχής του ανέπαφου πετρώματος και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη για τους περιδοτίτες.....	271
Εικόνα 9.65: Συσχέτιση μεταξύ της γωνίας εσωτερικής τριβής του ανέπαφου πετρώματος και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη για τους σερπεντινίτες.	272
Εικόνα 9.66: Συσχέτιση μεταξύ της γωνίας εσωτερικής τριβής του ανέπαφου πετρώματος και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη για τους περιδοτίτες.....	272
Εικόνα 9.67: Συσχέτιση μεταξύ του ξηρού φαινόμενου βάρους και του βαθμού σερπεντινίωσης για τους σερπεντινίτες.	275
Εικόνα 9.68: Συσχέτιση μεταξύ του ξηρού φαινόμενου βάρους και του βαθμού σερπεντινίωσης για τους περιδοτίτες.....	275
Εικόνα 9.69: Συσχέτιση μεταξύ του ενεργού πορώδους και του βαθμού σερπεντινίωσης για τους σερπεντινίτες.	276
Εικόνα 9.70: Συσχέτιση μεταξύ του ενεργού πορώδους και του βαθμού σερπεντινίωσης για τους περιδοτίτες.	276
Εικόνα 9.71: Συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων των κυμάτων και του βαθμού σερπεντινίωσης για τους σερπεντινίτες.	277
Εικόνα 9.72: Συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων των κυμάτων και του βαθμού σερπεντινίωσης για τους περιδοτίτες.	277
Εικόνα 9.73: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του βαθμού σερπεντινίωσης για τους σερπεντινίτες.	279
Εικόνα 9.74: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του βαθμού σερπεντινίωσης για τους περιδοτίτες.	279
Εικόνα 10.1: Διακύμανση των τιμών του GSI για τους σερπεντινίτες.	283
Εικόνα 10.2: Διακύμανση των τιμών του GSI για τους περιδοτίτες.	284
Εικόνα 10.3: Το περιβάλλον εργασίας του προγράμματος Roclab- εισαγωγή τιμών - αποτελέσματα-διαγράμματα.....	285
Εικόνα 10.4: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΚΠ06.	286
Εικόνα 10.5: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΚΠ07.	287
Εικόνα 10.6: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα	

διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΚΣ08.	287
Εικόνα 10.7: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΚΣ10.	288
Εικόνα 10.8: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΚΣ11.	288
Εικόνα 10.9: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΟΠ01.	289
Εικόνα 10.10: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΟΠ07.	289
Εικόνα 10.11: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΟΠ14.	290
Εικόνα 10.12: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΟΠ19.	290
Εικόνα 10.13: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΟΣ02.	291
Εικόνα 10.14: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΟΣ08.	291
Εικόνα 10.15: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΟΣ09.	292
Εικόνα 10.16: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΟΣ25.	292
Εικόνα 10.17: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των	

διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΟΣ30.....	293
Εικόνα 10.18: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΟΣ34.	293
Εικόνα 10.19: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα που εξήχθησαν και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΟΣ36.	294

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΣΕΛ.

Πίνακας 2.1: Τα χαρακτηριστικά-παράμετροι που χρειάζεται να προσδιοριστούν με στόχο την κατανόηση της συμπεριφοράς του αέριου πετρώματος.	23
Πίνακας 2.2: Βαθμός αποσάθρωσης και εξαλλοίωσης αέριου πετρώματος (ISRM, 1981 και BS 5930, 1981, από ΚΟΥΚΗΣ και ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ, 2002).	24
Πίνακας 2.3: Μέσο μέγεθος κόκκων αέριου πετρώματος (ISRM, 1981).	25
Πίνακας 2.4: Ταξινόμηση αέριου πετρώματος με βάση τη σκληρότητα (από ΚΟΥΚΗ & ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗ, 2002).	29
Πίνακας 2.5: Ταξινόμηση αέριου πετρώματος με βάση την αντοχή του σε μοναξονική θλίψη (κατά DEERE & MILLER, 1966).	32
Πίνακας 2.6: Ταξινόμηση αέριου πετρώματος με βάση την αντοχή του σε μοναξονική θλίψη (κατά COATES & PARSON, 1966).	32
Πίνακας 2.7: Ταξινόμηση του αέριου πετρώματος με βάση τον έμμεσο προσδιορισμό της αντοχής σε μοναξονική θλίψη που προκύπτει από την αντίδραση που παρουσιάζει το πέτρωμα στο χτύπημα με γεωλογικό σφυρί και στη χάραξη με μαχαιρίδιο (ISRM, 1981).	33
Πίνακας 2.8: Χαρακτηρισμός της αντοχής του αέριου πετρώματος με βάση την τιμή του ανοιγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης (BIENIAWSKI, 1975).	34
Πίνακας 2.9: Χαρακτηριστικές τιμές το ανοιγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης για διάφορα υλικά (GOODMAN, 1989).	34
Πίνακας 2.10: Ταξινόμηση αέριου πετρώματος με βάση την παράμετρο M_R (κατά DEERE & MILLER, 1966).	38
Πίνακας 2.11: Χαρακτηριστικές τιμές M_R (κατά DEERE, 1968).	39
Πίνακας 2.12: Ταξινόμηση αέριου πετρώματος με βάση την παράμετρο M_R (κατά PALMSTROM & SINGH, 2001).	40
Πίνακας 2.13: Τιμές της σταθεράς m_i για διάφορους τύπους αέριου πετρώματος (HOEK & MARINOS, 2000 και MARINOS & HOEK, 2000; 2001).	43
Πίνακας 2.14: Ταξινόμηση ποιότητας πετρώματος (DEERE, 1963).	50
Πίνακας 2.15: Κατάταξη βραχομάζας με βάση το RMR (BIENIAWSKI, 1973).	51
Πίνακας 2.16: Τιμές GSI για ομοιογενείς βραχομάζες (HOEK & MARINOS, 2000).	52
Πίνακας 2.17: Τιμές GSI για ετερογενή βραχομάζα (HOEK & MARINOS, 2000).	53
Πίνακας 2.18: Προτεινόμενες τιμές του D κάτω από διαφορετικά καθεστώτα βραχομάζας.	58
Πίνακας 2.19: Λίστα εμπειρικών εξισώσεων προτεινόμενων για την εκτίμηση του μέτρου	

παραμόρφωσης της βραχομάζας με τους ανάλογους περιορισμούς.....	66
Πίνακας 3.1: Πυκνότητες των κυριότερων ορυκτών των υπερβασικών πετρωμάτων.....	79
Πίνακας 3.2: Τιμές των πυκνοτήτων και των ταχυτήτων των επιμηκών και εγκάρσιων κυμάτων δουνιτών και περιδοτιτών με διαφορετικούς βαθμούς σερπεντινίωσης σε πίεση 200MPa (ESCARTIN, et al., 2001).....	81
Πίνακας 3.3: Τιμές των ταχυτήτων των κυμάτων για διάφορα υπερβασικά πετρώματα κάτω από διαφορετικές πιέσεις καθώς και οι πυκνότητες τους (COURTIER et al., 2004).	81
Πίνακας 3.4: Τιμές των ταχυτήτων των επιμηκών και των εγκάρσιων κυμάτων (V_p, V_s) και του λόγου Poisson (σ) (CHRISTENSEN, 2004).....	88
Πίνακας 3.5: Τιμές των στατικών και των δυναμικών μέτρων ελαστικότητας και των λόγων Poisson (RAO & RAMANA, 1974).	96
Πίνακας 4.1: Τεκτονικά στοιχεία των υπερβασικών πετρωμάτων της Όθρυς.	115
Πίνακας 4.2: Τεκτονικά στοιχεία των υπερβασικών πετρωμάτων του Καλλιδρόμου. ...	116
Πίνακας 5.1: Καταγραφή των ενενήντα τεσσάρων (94) θέσεων δειγματοληψίας. Δίνεται ο κωδικός και οι συντεταγμένες X και Y της κάθε θέσης δειγματοληψίας, ο λιθολογικός τύπος του πετρώματος και η περιοχή από την οποία συλλέχτηκαν τα δείγματα.	125
Πίνακας 5.2: Εργαστηριακές δοκιμές βραχομηχανικής, οι προδιαγραφές τους και τα εργαστήρια στα οποία πραγματοποιήθηκαν.	130
Πίνακας 6.1: Τιμές του ενεργού πορώδους τόσο με τη μέθοδο της άνωσης (n_{es}), όσο και με τη μέθοδο του μικρομέτρου (n_{em}).	141
Πίνακας 6.2: Στατιστική ανάλυση των τιμών του ενεργού πορώδους για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες και με τις δυο μεθόδους.....	144
Πίνακας 6.3: Τιμές του λόγου των κενών τόσο με τη μέθοδο της άνωσης (e_s) όσο και με τη μέθοδο του μικρομέτρου (e_m).	146
Πίνακας 6.4: Στατιστική ανάλυση των τιμών του λόγου των κενών για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες και με τις δυο μεθόδους.	149
Πίνακας 6.5: Τιμές του ξηρού φαινόμενου βάρους τόσο με τη μέθοδο της άνωσης (γ_{ds}), όσο και με τη μέθοδο του μικρομέτρου (γ_{dm}).	151
Πίνακας 6.6: Στατιστική ανάλυση των τιμών του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες και με τις δυο μεθόδους.	154
Πίνακας 6.7: Τιμές του κορεσμένου φαινόμενου βάρους τόσο με τη μέθοδο της άνωσης (γ_{sats}), όσο και με τη μέθοδο του μικρομέτρου (γ_{satm}).	156
Πίνακας 6.8: Στατιστική ανάλυση των τιμών του κορεσμένου φαινόμενου βάρους για	

τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες και με τις δυο μεθόδους.	159
Πίνακας 6.9: Τιμές της απορροφητικότητας τόσο με τη μέθοδό της άνωσης (W_{as}), όσο και με τη μέθοδο του μικρομέτρου (W_{am}).	161
Πίνακας 6.10: Στατιστική ανάλυση των τιμών της απορροφητικότητας για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες και με τις δυο μεθόδους.	164
Πίνακας 6.11: Στατιστική ανάλυση των τιμών του ενεργού πορώδους, του λόγου των κενών, του ξηρού και κορεσμένου φαινόμενου βάρους και της απορροφητικότητας για τους σερπεντινίτες (με τη μέθοδο της άνωσης).	166
Πίνακας 6.12: Στατιστική ανάλυση των τιμών του ενεργού πορώδους, του λόγου των κενών, του ξηρού και κορεσμένου φαινόμενου βάρους και της απορροφητικότητας για τους περιδοτίτες (με τη μέθοδο της άνωσης).	166
Πίνακας 6.13: Τιμές των ταχυτήτων των επιμηκών κυμάτων (V_p).	167
Πίνακας 6.14: Στατιστική ανάλυση των τιμών των ταχυτήτων των επιμηκών κυμάτων για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες.	168
Πίνακας 6.15: Τιμές των ταχυτήτων των εγκάρσιων κυμάτων (V_s).	169
Πίνακας 6.16: Στατιστική ανάλυση των τιμών των ταχυτήτων των εγκάρσιων κυμάτων για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες.	170
Πίνακας 6.17: Τιμές του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας τόσο με τη μέθοδό της άνωσης (E_{ds}), όσο και με τη μέθοδο του μικρομέτρου (E_{dm}).	172
Πίνακας 6.18: Στατιστική ανάλυση των τιμών του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες και με τις δυο μεθόδους.	173
Πίνακας 6.19: Οι τιμές του δυναμικού λόγου Poisson (ν_d).	175
Πίνακας 6.20: Στατιστική ανάλυση των τιμών του δυναμικού λόγου Poisson για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες.	176
Πίνακας 6.21: Τιμές του δυναμικού μέτρου διάτμησης τόσο με τη μέθοδό της άνωσης (G_{ds}), όσο και με τη μέθοδο του μικρομέτρου (G_{dm}).	178
Πίνακας 6.22: Στατιστική ανάλυση των τιμών του δυναμικού μέτρου διάτμησης για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες και με τις δυο μεθόδους.	180
Πίνακας 6.23: Στατιστική ανάλυση των τιμών των δυναμικών χαρακτηριστικών για τους σερπεντινίτες με τη μέθοδο της άνωσης.	182
Πίνακας 6.24: Στατιστική ανάλυση των τιμών των δυναμικών χαρακτηριστικών για τους περιδοτίτες με τη μέθοδο της άνωσης.	182
Πίνακας 6.25: Τιμές της σκληρότητας (SHV).	183
Πίνακας 6.26: Στατιστική ανάλυση των τιμών της σκληρότητας για τους σερπεντινίτες	

και τους περιδοτίτες.	183
Πίνακας 6.27: Οι τιμές της αντοχής σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci}).	185
Πίνακας 6.28: Στατιστική ανάλυση των τιμών της αντοχής σε μοναξονική θλίψη για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες.	186
Πίνακας 6.29: Οι τιμές του στατικού μέτρου ελαστικότητας (E_{st}).	188
Πίνακας 6.30: Στατιστική ανάλυση του στατικού μέτρου ελαστικότητας για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες.	188
Πίνακας 6.31: Οι τιμές του στατικού λόγου Poisson (ν_{st}).	190
Πίνακας 6.32: Στατιστική ανάλυση των τιμών του στατικού λόγου Poisson για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες.	191
Πίνακας 6.33: Οι τιμές του στατικού μέτρου διάτμησης (G_{st}).	192
Πίνακας 6.34: Στατιστική ανάλυση των τιμών του στατικού μέτρου διάτμησης για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες.	192
Πίνακας 6.35: Οι τιμές του ανοιγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50}).	194
Πίνακας 6.36: Στατιστική ανάλυση των τιμών του ανοιγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες.	195
Πίνακας 6.37: Οι τιμές της εφελκυστικής (σ_t) και της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής (σ_{tc}).	197
Πίνακας 6.38: Στατιστική ανάλυση των τιμών της εφελκυστικής και της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες.	198
Πίνακας 6.39: Αποτελέσματα τριαξονικής δοκιμής στα δοκίμια σερπεντινιτών και περιδοτιτών.	201
Πίνακας 6.40: Στατιστική ανάλυση των τιμών της συνοχής, της γωνίας εσωτερικής τριβής και της παραμέτρου m_i για τους σερπεντινίτες.	202
Πίνακας 6.41: Στατιστική ανάλυση των τιμών της συνοχής, της γωνίας εσωτερικής τριβής και της παραμέτρου m_i για τους περιδοτίτες.	203
Πίνακας 6.42: Στατιστική ανάλυση των τιμών των μηχανικών χαρακτηριστικών για τους σερπεντινίτες.	204
Πίνακας 6.43: Στατιστική ανάλυση των τιμών των μηχανικών χαρακτηριστικών για τους περιδοτίτες.	205
Πίνακας 7.1: Πετρογραφικά χαρακτηριστικά αντιπροσωπευτικών δοκιμίων περιδοτιτών από την Όθρη και το Καλλίδρομο ύστερα από εξέταση λεπτών τομών.	210
Πίνακας 7.2: Πετρογραφικά χαρακτηριστικά αντιπροσωπευτικών δοκιμίων σερπεντινιτών από την Όθρη και το Καλλίδρομο ύστερα από εξέταση λεπτών τομών.	214

Πίνακας 9.1: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) μεταξύ ξηρού φαινόμενου βάρους και ενεργού πορώδους.	227
Πίνακας 9.2: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ ξηρού φαινόμενου βάρους και ενεργού πορώδους.	228
Πίνακας 9.3: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) μεταξύ των ταχυτήτων των επιμηκών και των εγκάρσιων κυμάτων.	231
Πίνακας 9.4: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ των ταχυτήτων των επιμηκών και των εγκάρσιων κυμάτων.	233
Πίνακας 9.5: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ των ταχυτήτων των κυμάτων και του ξηρού φαινόμενου βάρους.	234
Πίνακας 9.6: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ των ταχυτήτων των κυμάτων και του ενεργού πορώδους ν ξηρού φαινόμενου βάρους.	236
Πίνακας 9.7: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της σκληρότητας και του ξηρού φαινόμενου βάρους.	237
Πίνακας 9.8: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) μεταξύ της σκληρότητας και του ενεργού πορώδους.	238
Πίνακας 9.9: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της σκληρότητας και του ενεργού πορώδους.	239
Πίνακας 9.10: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της εφελκυστικής αντοχής και του ξηρού φαινόμενου βάρους.	243
Πίνακας 9.11: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής και του ξηρού φαινόμενου βάρους.	243
Πίνακας 9.12: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της εφελκυστικής αντοχής και του ενεργού πορώδους.	243
Πίνακας 9.13: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής και του ενεργού πορώδους.	243
Πίνακας 9.14: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) μεταξύ του ανοιγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης και του ενεργού πορώδους.	246
Πίνακας 9.15: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ του ανοιγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης και του ξηρού φαινόμενου βάρους.	246
Πίνακας 9.16: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ του ανοιγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης και του ενεργού πορώδους.	246
Πίνακας 9.17: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ενεργού πορώδους.	249

Πίνακας 9.18: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ξηρού φαινόμενου βάρους.	249
Πίνακας 9.19: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ενεργού πορώδους.	249
Πίνακας 9.20: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και του ενεργού πορώδους.	251
Πίνακας 9.21: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και του ξηρού φαινόμενου βάρους.	251
Πίνακας 9.22: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και του ενεργού πορώδους.	252
Πίνακας 9.23: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της σκληρότητας και των ταχυτήτων των επιμηκών κυμάτων.....	253
Πίνακας 9.24: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της σκληρότητας και των ταχυτήτων των εγκάρσιων κυμάτων.	253
Πίνακας 9.25: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και των ταχυτήτων των επιμηκών κυμάτων.	255
Πίνακας 9.26: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και των ταχυτήτων των εγκάρσιων κυμάτων.	255
Πίνακας 9.27: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) μεταξύ του στατικού και του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας.	256
Πίνακας 9.28: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ του στατικού και δυναμικού μέτρου ελαστικότητας.	257
Πίνακας 9.29: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της σκληρότητας.	258
Πίνακας 9.30: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της εφελκυστικής αντοχής.	259
Πίνακας 9.31: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής.	259
Πίνακας 9.32: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της εφελκυστικής αντοχής.	261
Πίνακας 9.33: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής.	261
Πίνακας 9.34: Οι συγγραφείς, οι λιθολογικοί τύποι και οι εξισώσεις που πρότειναν για τη συσχέτιση της αντοχής σε μοναξονική θλίψη με τον ανοιγμένο δείκτη σημειακής	

φόρτισης.	262
Πίνακας 9.35: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ανοιγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης.	265
Πίνακας 9.36: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ανοιγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης.	265
Πίνακας 9.37: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και της σκληρότητας.	267
Πίνακας 9.38: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη.	267
Πίνακας 9.39: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της παραμέτρου m_i και της συνοχής του ανέπαφου πετρώματος.	272
Πίνακας 9.40: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της παραμέτρου m_i και της γωνίας εσωτερικής τριβής του ανέπαφου πετρώματος	273
Πίνακας 9.41: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της παραμέτρου m_i και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη.	273
Πίνακας 9.42: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της συνοχής του ανέπαφου πετρώματος και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη	273
Πίνακας 9.43: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της γωνίας εσωτερικής τριβής του ανέπαφου πετρώματος και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη	273
Πίνακας 9.44: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ του ξηρού φαινόμενου βάρους και του βαθμού σερπεντινίωσης.	276
Πίνακας 9.45: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ του ενεργού πορώδους και του βαθμού σερπεντινίωσης.	277
Πίνακας 9.46: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ των ταχυτήτων των κυμάτων και του βαθμού σερπεντινίωσης.	278
Πίνακας 9.47: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του βαθμού σερπεντινίωσης.	280
Πίνακας 10.1: Οι τιμές του δείκτη GSI και του παράγοντα D για τις 16 θέσεις.	282
Πίνακας 10.2: Παράμετροι που εισήχθησαν στο πρόγραμμα Roclab για την εκτίμηση των παραμέτρων της βραχομάζας.	286
Πίνακας 10.3: Δίνονται οι τιμές των παραμέτρων των HOEK-BROWN και MOHR-COULOMB, οι τιμές της σ_{3max} για την οποία υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δυο κριτηρίων και οι τιμές των παραμέτρων της βραχομάζας που προέκυψαν ύστερα από τη χρήση του προγράμματος Roclab.	295

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Τεχνική Γεωλογία και η Βραχομηχανική στα Τεχνικά Έργα

Η διερεύνηση της γεωλογίας στα τεχνικά έργα είναι ιδιαίτερα σημαντική, για αυτό και ήδη από το 1925 δημιουργήθηκε ένας νέος κλάδος στις γεωεπιστήμες, η Τεχνική Γεωλογία. Στόχος του εφαρμοσμένου αυτού κλάδου είναι η κατανόηση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών της περιοχής, στην οποία πρόκειται να κατασκευαστεί το έργο, η εκτίμηση των γεωμηχανικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών και επομένως η πρόγνωση της συμπεριφοράς τους. Επίσης, η Τεχνική Γεωλογία στοχεύει στην επίλυση προβλημάτων που μπορεί να συμβούν και να επηρεάσουν άμεσα ή έμμεσα την οικονομία και ασφάλεια του τεχνικού έργου, αλλά και στη διατήρηση της ισορροπίας του γεωλογικού περιβάλλοντος που τείνει να ανατραπεί λόγω των ανθρωπογενών παρεμβάσεων και καταστροφικών φυσικών φαινομένων.

Τα τελευταία 60 χρόνια η Τεχνική Γεωλογία παρουσίασε αλματώδη εξέλιξη και το αντικείμενό της διευρύνεται συνεχώς, εξ αιτίας των πιέσεων που δέχεται από την πληθυσμιακή έκρηξη, την εξάντληση των φυσικών πόρων καθώς και των πολλών περιβαλλοντικών προβλημάτων που μαστίζουν την ανθρωπότητα. Σήμερα για κάθε τεχνικό έργο, μικρό ή μεγάλο, είναι αναγκαία μια λεπτομερής γεωλογική και γεωτεχνική διερεύνηση του εδάφους και του υπεδάφους. Αυτό όμως που για το γεωλόγο είναι προφανές, πολλές φορές για τους υπεύθυνους του σχεδιασμού των έργων, αποτελεί περιττή και ίσως χρονοβόρα διαδικασία. Η πρόκληση είναι τεράστια, όχι μόνο για τη γεωλογική έρευνα των διαφόρων περιοχών αλλά κυρίως για την καταγραφή και επεξήγηση των στοιχείων κατά τρόπο που να γίνονται απολύτως κατανοητά στους μηχανικούς και όλους τους άλλους, που ασχολούνται με το σχεδιασμό και την κατασκευή των τεχνικών έργων. Δυστυχώς όμως, ακόμα και στις μέρες μας, η γεωλογική-γεωτεχνική μελέτη, αν και αναγκαία, δεν είναι υποχρεωτική για κάθε έργο και πραγματοποιείται μόνο υπό προϋποθέσεις.

Έως και τις αρχές του 1970 είχε καταγραφεί ένας μεγάλος αριθμός αστοχιών κυρίως σε βραχώδεις σχηματισμούς. Χαρακτηριστικά παραδείγματα περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, προβλήματα σε φράγματα, καταρρεύσεις ορυχείων, αλλά και αποκλεισμούς κεντρικών οδικών δικτύων λόγω ανατροπών και καταπτώσεων με ανυπολόγιστες συνέπειες, ακόμα και με ανθρώπινα θύματα, όπως η πρόσφατη αστοχία στα Τέμπη. Όλες αυτές οι αστοχίες στους βραχώδεις σχηματισμούς έδειξαν πως, μέχρι τότε, οι επιστήμονες δεν μπορούσαν να προβλέψουν τη συμπεριφορά της βραχομάζας και ότι ήταν αναγκαία-

απαραίτητη η δημιουργία ενός νέου επιστημονικού κλάδου, που θα ερευνούσε επισταμένα τη συμπεριφορά του βραχώδους υλικού. Έτσι ένας μεγάλος αριθμός μελετών και δημοσιεύσεων στράφηκε στην προσπάθεια για εξήγηση αυτών των καταστροφικών φαινομένων (JAEGER, 1972) και τελικά ο κλάδος της Βραχομηχανικής έλαβε σάρκα και οστά.

Τα πρώτα χρόνια, οι επιστήμονες προσέγγισαν το θέμα εφαρμόζοντας τη θεωρία της ελαστικότητας, πιστεύοντας λανθασμένα (υπεραπλουστευμένα) ότι τα πετρώματα είναι ομοιογενή, ισότροπα και ελαστικά, αγνοώντας δηλαδή το σημαντικό ρόλο των ασυνεχειών στη βραχομάζα. Μετά την αντιμετώπιση πολλών προβλημάτων και έπειτα από συστηματικές έρευνες, ο STINI (1950) ήταν ο πρώτος που έδωσε έμφαση στη σημασία των ασυνεχειών στη μηχανική συμπεριφορά της βραχομάζας. Αργότερα ο FARMER (1983) κατέληξε πως η Βραχομηχανική αναφέρεται στη μελέτη της παραμόρφωσης και θραύσης της βραχομάζας, του ακέραιου δηλαδή πετρώματος, αλλά και του ασυνεχούς μέσου. Ο GOODMAN (1989) όρισε τη Βραχομηχανική ως την επιστήμη, που ασχολείται με τις ιδιότητες του βραχώδους υλικού και την ειδική μεθοδολογία που απαιτείται για το σχεδιασμό τεχνικών έργων, τα οποία θα φιλοξενηθούν σε βραχώδεις σχηματισμούς. Έκτος των άλλων η Βραχομηχανική διερευνά την αντοχή της βραχομάζας στις επιβαλλόμενες τάσεις και αναλύει μέσω μοντέλων τους ποικίλους τρόπους αστοχίας. Κατά καιρούς έχουν περιγραφεί πολλά τέτοια μοντέλα όπως αυτό του Coulomb και των Hoek-Brown. Επομένως στη Βραχομηχανική απαιτείται η στενή συνεργασία μεταξύ του γεωλόγου και του μηχανικού.

Τα γεωλογικά στοιχεία αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο κάθε πρακτικής ανάλυσης στη Βραχομηχανική. Ακόμα και η πιο εξειδικευμένη και λεπτομερής ανάλυση μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα αν η γεωλογική πληροφόρηση στην οποία βασίζεται δεν είναι σωστή ή είναι ανακριβής. Η τεχνική συμπεριφορά ενός γεωλογικού σχηματισμού εξαρτάται από:

- Την ορυκτολογική σύσταση και τον πετρογραφικό χαρακτήρα.
- Τη γεωμετρία του πετρώματος στο χώρο, ιδιαίτερα σε σχέση με το είδος και τις διαστάσεις του τεχνικού έργου.
- Το βαθμό και το πάχος αποσάθρωσης ή εξαλλοιώσεων που έχει υποστεί,
- Τη σχέση του με άλλα περιβάλλοντα πετρώματα, ιδιαίτερα αν αυτή είναι τεκτονική.
- Τη διάκριση της συμπεριφοράς ανάμεσα στο ακέραιο πέτρωμα και τη βραχομάζα.

Ο HOEK (2000) αναφέρει πως οι πληροφορίες που λαμβάνουμε από την εκτέλεση των εργαστηριακών δοκιμών Βραχομηχανικής είναι εξίσου σημαντική όσο και η συλλογή των γεωλογικών δεδομένων στην ύπαιθρο. Είναι γενικά γνωστό πως για το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός έργου, αυτό που μας ενδιαφέρει δεν είναι τόσο το ακέραιο πέτρωμα, όσο η βραχομάζα γιατί στην ύπαιθρο δεν συναντάμε ακέραια πετρώματα, αλλά βραχώδεις σχηματισμούς που διατέμνονται από ασυνέχειες. Έτσι ενώ οι εργαστηριακές δοκιμές παρέχουν πληροφόρηση για τις φυσικές, δυναμικές και μηχανικές ιδιότητες των ακέραιων πετρωμάτων, εν τέλει βοηθούν στην εκτίμηση της αντοχής και της παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας διαμέσου των συστημάτων ταξινόμησής της.

Το 1946, ο TERZAGHI ήταν από τους πρώτους που πρότεινε ένα τέτοιο σύστημα και στη συνέχεια ακολούθησαν ο STINI (1950), ο LAUFFER (1958), ο DEERE (1964) και οι WICKHAM et al. (1972). Οι BIENIAWSKI (1973, 1974b) και BARTON et al. (1974) πρότειναν την εισαγωγή ποσοτικών περιγραφών των χαρακτηριστικών των πετρωμάτων με αποτέλεσμα τα συστήματά τους να βρουν μεγάλη εφαρμογή ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια στις υπόγειες εκσκαφές. Οι ταξινομήσεις αυτές απαιτούν δεδομένα για την αντοχή του ακέραιου πετρώματος, την απόσταση, τον αριθμό και τα επιμέρους χαρακτηριστικά των ασυνεχειών, την πρόβλεψη για την επίδραση του υπόγειου νερού καθώς και τον προσανατολισμό των κυρίαρχων ασυνεχειών σε σχέση με τα έργα. Στόχος τους είναι ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών της βραχομάζας, κυρίως της αντοχής, η οποία αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή τεχνικών έργων.

Οι HOEK (1968), BROWN (1970), HOEK και BROWN (1980b) και HOEK (1983) ύστερα από έρευνα χρόνων ανέπτυξαν ένα εμπειρικό κριτήριο θραύσης σχετικά με τις διερρηγμένες βραχομάζες (κριτήριο θραύσης HOEK-BROWN). Αργότερα, οι HOEK (1994), HOEK et al. (1995), HOEK and MARINOS (2000) και MARINOS and HOEK (2000, 2001) πρότειναν τη χρήση ενός νέου δείκτη ταξινόμησης της βραχομάζας, του GSI (Geological Strength Index/Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής), σκοπός του οποίου ήταν η εκτίμηση της απομείωσης της αντοχής της βραχομάζας κάτω από διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες. Ουσιαστικά ο GSI περιγράφει τη δομή της βραχομάζας (άρρηκτη, τεμαχισμένη, κερματισμένη, κ.λ.π) και την κατάσταση της επιφάνειας των ασυνεχειών (τραχείες, μη αποσαθρωμένες, οξειδωμένες, κ.λ.π).

Σήμερα η Βραχομηχανική βρίσκει εφαρμογή σε μεγάλες και πολύπλοκες κατασκευές, ιδιαίτερα σε φράγματα και γενικά σε όλα τα έργα υποδομής, τα οποία διανοίγονται και θεμελιώνονται πάνω σε βραχώδεις σχηματισμούς. Επιπλέον

χρησιμοποιούνται εφαρμογές της Βραχομηχανικής κατά το σχεδιασμό και τη συντήρηση του δικτύου μεταφορών (σιδηροδρομικές γραμμές και έργα οδοποιίας). Αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν μελέτη της συμπεριφοράς της βραχομάζας και ανάλυση της ευστάθειας των πρανών, η οποία μας απασχολεί και σε ορυχεία ανοιχτής εκσκαφής, αφού η επικερδής διαχείριση του ορυχείου εξαρτάται από την οικονομική εκσκαφή (GOODMAN, 1989). Εκτός από τα επιφανειακά έργα, τα τελευταία χρόνια η Βραχομηχανική βρήκε ευρύτερη εφαρμογή και στην κατασκευή υπόγειων τεχνικών, όπως σήραγγες και αποθηκευτικοί χώροι για ενεργειακές πρώτες ύλες (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, πυρηνικά απόβλητα, κ.λ.π.).

Τέλος, θα ήταν ιδιαίτερα σημαντικό να αναφέρουμε πως υπάρχει ακόμα περίσσεια χώρου για ανάπτυξη, ανανέωση και βελτίωση σε κάθε πτυχή των δυο αυτών κλάδων (της Τεχνικής Γεωλογίας και της Βραχομηχανικής). Τα πεδία αυτά θα συνεχίσουν να προβάλλουν προκλήσεις για πολλά χρόνια ακόμη.

Αντικείμενο-Στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής

Όπως προαναφέρθηκε, η εκτίμηση των χαρακτηριστικών των πετρωμάτων αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για το σχεδιασμό των τεχνικών έργων σε βραχώδεις σχηματισμούς. Αν και πολλοί επιστήμονες σε ολόκληρο τον κόσμο έχουν ασχοληθεί με τη διερεύνηση των φυσικών, δυναμικών και μηχανικών χαρακτηριστικών πολλών πετρωμάτων και τις συσχετίσεις τους (κυρίως της αντοχής με τις υπόλοιπες), λίγες όμως έρευνες έχουν επικεντρωθεί στο οφιολιθικό σύμπλεγμα και συγκεκριμένα στα υπερβασικά πετρώματα, υγιή και σερπεντινωμένα (RAO & RAMANA, 1974; KERN & FAKHIMI, 1975; SHIMADA et al., 1983; KILIC, 1995; PAVENTI et al., 1996; ESCARTIN et al., 1997a; ESCARTIN et al., 1997b; KILIC et al., 1998; ESCARTIN, et al., 2001; CARLSON & MILLER, 2003; GLAWE & LINARD, 2003; CHRISTENSEN, 2004; COURTIER et al., 2004; BRIDEAU et al., 2007; WANG et al., 2009). Ελάχιστες είναι οι μελέτες, οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί στον ελληνικό χώρο (ΤΣΟΥΤΡΕΛΗΣ, 1972; ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ, 1978; ΜΑΡΙΝΟΣ et al., 2006; ΔΙΑΜΑΝΤΙΣ et al., 2007, ΡΗΓΟΠΟΥΛΟΣ, 2009; ΔΙΑΜΑΝΤΙΣ et al., 2009). Τα τελευταία όμως χρόνια οι σχηματισμοί αυτοί βρίσκονται στο επίκεντρο του επιστημονικού ενδιαφέροντος, διότι αφενός τα υπερβασικά πετρώματα εμφανίζονται σε πολλές περιοχές, όπως η Νοτιοανατολική Ευρώπη και αφ' ετέρου οι ανθρώπινες δραστηριότητες μεταφέρονται πλέον με την κατασκευή διάφορων τεχνικών έργων πάνω ή μέσα στους σχηματισμούς αυτούς.

Έτσι, αντικείμενο της παρούσας διατριβής αποτελεί η διερεύνηση των υπερβασικών πετρωμάτων με σκοπό τον καθορισμό των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών τους. Αυτό επιτυγχάνεται με την πραγματοποίηση εργασιών υπαίθρου, κυρίως όμως εργαστηριακών (φυσικοδυναμικομηχανικών) δοκιμών, την ερμηνεία και το σχολιασμό των αποτελεσμάτων και την προσπάθεια να δοθούν αξιόπιστες εμπειρικές σχέσεις ανάμεσά τους. Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει ο προσδιορισμός της αντοχής σε μοναξονική θλίψη. Παρά το γεγονός ότι η δοκιμή αυτή είναι σχετικά απλή, εντούτοις είναι ακριβή, χρονοβόρα, και απαιτεί και ένα μεγάλο αριθμό από καλά διαμορφωμένα δοκίμια. Επειδή κάποια πετρώματα, μεταξύ αυτών και οι εντελώς αποσαθρωμένοι σερπεντινίτες, δεν μπορούν να δώσουν δοκίμια κατάλληλα για να πραγματοποιηθεί η δοκιμή, ο καθορισμός της αντοχής σε μοναξονική θλίψη καθίσταται δύσκολος. Για το λόγο αυτό η αντοχή σε μοναξονική θλίψη προσδιορίζεται συσχετιζόμενη με άλλες, απλές, έμμεσες, ταχύτερες, μη καταστροφικές και πλέον οικονομικές δοκιμές.

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής πραγματοποιήθηκε, αρχικά γεωλογική αναγνώριση και καταγράφηκαν οι σχηματισμοί, που εντοπίζονται στο όρος Καλλίδρομο καθώς και στο δυτικό τμήμα της οροσειράς της Όθρυος (Κεντρική Ελλάδα), δίνοντας έμφαση στα υπερβασικά πετρώματα. Ομοιογενή και ισότροπα επιφανειακά δείγματα από την περιοχή μελέτης συλλέχθηκαν και εξετάστηκαν με στόχο τον καθορισμό του ενεργού πορώδους (n_e), του λόγου των κενών (e), του ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_d), του κορεσμένου φαινόμενου βάρους (γ_{sat}), της απορροφητικότητας (w_a), των ταχυτήτων των επιμηκών και εγκάρσιων κυμάτων (V_p , V_s), του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας (E_d), του δυναμικού λόγου Poisson (ν_d) και του δυναμικού μέτρου διάτμησης (G_d). Επίσης, προσδιορίστηκαν η σκληρότητα με σφυρί Schmidt (SHV), η αντοχή σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci}), το στατικό μέτρο ελαστικότητας (E_{st}), ο στατικός λόγος Poisson (ν_{st}), το στατικό μέτρο διάτμησης (G_{st}), ο ανηγμένος δείκτης σημειακής φόρτισης (I_{s50}), η εφελκυστική αντοχή (σ_t), και η διορθωμένη εφελκυστική αντοχή (σ_{tc} , YU, et al., 2006). Κάποια δείγματα παρουσίασαν ιδιαίτερες τιμές (μεγάλες ή μικρές, βιβλιογραφικά μη αναμενόμενες). Τα δείγματα αυτά εξετάστηκαν πετρογραφικά με σκοπό την περιγραφή της κύριας ορυκτολογικής σύστασης, της υφής, του ιστού και του βαθμού σερπεντινίωσής τους (β). Οι τιμές των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών αναλύθηκαν στατιστικά χρησιμοποιώντας τα προγράμματα EXCEL Analysis Toolpak Program 2003 και SPSS 8.0. Έτσι, οι διακυμάνσεις των τιμών (μέγιστη, ελάχιστη, μέση) και η τυπική απόκλισή τους παρατίθενται σε επιμέρους πίνακες. Επιπλέον κατασκευάστηκαν ιστογράμματα κατανομής των φυσικοδυναμικομηχανικών χαρακτηριστικών και εξήχθησαν εμπειρικές συσχετίσεις

ανάμεσα τους, με ταυτόχρονο υπολογισμό των συντελεστών προσδιορισμού (R^2). Τέλος, έγινε ταξινόμηση της βραχομάζας με βάση το GSI (HOEK, 1994; HOEK et al., 1995; MARINOS & HOEK, 2001; HOEK et al., 2005) και με τη βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος Roclab δόθηκαν οι παράμετροι της διατμητικής αντοχής [(η γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ) και η συνοχή (c)], η αντοχή σε μοναξονική θλίψη (σ_c), η συνολική ή γενικευμένη αντοχή (Global Strength, σ_{cm}), η εφελκυστική αντοχή (σ_{tm}) και το μέτρο παραμόρφωσης (E_{tm}) της βραχομάζας.

Διάρθρωση της διδακτορικής διατριβής

Η διάρθρωση της διδακτορικής διατριβής αναπτύσσεται σε δεκατρία κεφάλαια τα περιεχόμενα των οποίων, εν συντομία, είναι τα ακόλουθα:

ΣΤΟ ΠΡΩΤΟ Κεφάλαιο περιγράφεται ο όρος «οφιόλιθοι» και γίνεται αναφορά στην ηλικία, στον τρόπο δημιουργίας τους και στις περιοχές που συναντούμε οφιολιθικά συμπλέγματα στην Ελλάδα. Από το σύνολο των σχηματισμών που περιλαμβάνουν τα οφιολιθικά συμπλέγματα γίνεται αναλυτική περιγραφή μόνο στα υπερβασικά πετρώματα, αφού μόνο αυτά αποτελούν σκοπό της παρούσας μελέτης.

ΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ Κεφάλαιο επισημαίνονται οι ορισμοί του ακέραιου πετρώματος και της βραχομάζας. Αρχικά παρουσιάζονται, με βάση τη διεθνή εμπειρία, τα δεδομένα για το ακέραιο πέτρωμα και οι παράμετροι που το περιγράφουν και καθορίζουν τα βασικά χαρακτηριστικά των πετρογραφικών, φυσικών, δυναμικών και μηχανικών ιδιοτήτων του. Επιπρόσθετα, γίνεται αναφορά στη βραχομάζα και συγκεκριμένα στη μετάβαση από τον ακέραιο βράχο στη βραχομάζα. Πώς δηλαδή από τον προσδιορισμό και τη μελέτη των παραμέτρων του βραχώδους υλικού, εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για την συμπεριφορά της βραχομάζας και πώς προσδιορίζονται η αντοχή, η παραμορφωσιμότητα και οι διατμητικές παράμετροι, στα πλαίσια σχεδιασμού ενός τεχνικού έργου. Ακόμη, περιγράφονται τα κριτήρια θραύσης και δίνεται η γεωτεχνική ταξινόμηση τόσο του ακέραιου πετρώματος, όσο και της βραχομάζας.

ΣΤΟ ΤΡΙΤΟ Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις εξαλλοιώσεις που παρατηρούνται στα υπερβασικά πετρώματα με έμφαση στη σερπεντινίωση. Περιγράφεται αναλυτικά ο τρόπος κατά τον οποίο τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά των υπερβασικών μαζών εξαλλοιώνονται στα ορυκτά της ομάδας του σερπεντίνη καθώς και οι πετρογραφικές δομές που δημιουργούνται. Τέλος, γίνεται αναφορά στην επίδραση της σερπεντινίωσης στα φυσικοδυναμικομηχανικά χαρακτηριστικά των υπερβασικών πετρωμάτων και παρουσιάζονται βιβλιογραφικά στοιχεία για τις τιμές των ιδιοτήτων των εν λόγω

πετρωμάτων.

ΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ Κεφάλαιο παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης (όρος Καλλίδρομο και δυτικό τμήμα της οροσειράς της Όθρυος), γίνεται αναφορά στη γεωτεκτονική ένταξη τους, περιγράφεται συνοπτικά η γεωλογική δομή και η γεωτεκτονική κατάστασή τους και δίνονται τα χωρικά τους στοιχεία σε γεωλογικούς χάρτες και λιθοστρωματογραφικές στήλες. Στη συνέχεια, γίνεται αναλυτική περιγραφή των πετρωμάτων, που μελετήθηκαν [διάκριση τους σε σχιστοποιημένους σερπεντινίτες και σερπεντινίτες (>70% σερπεντινίωση), σε σερπεντινωμένους περιδοτίτες (30-70% σερπεντινίωση) και υγιείς ή σχεδόν καθόλου σερπεντινωμένους περιδοτίτες (<30% σερπεντινίωση)] και παρουσιάζονται σε πίνακες οι κυρίαρχες τεκτονικές δομές τους.

ΣΤΟ ΠΕΜΠΤΟ Κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των θέσεων δειγματοληψίας και περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε τόσο για τη λήψη των δειγμάτων, όσο και για τη διαμόρφωση των κατάλληλων βραχιδών δοκιμίων. Έπειτα, δίνονται οι κωδικοί των θέσεων (π.χ. ΟΣ1) και των δοκιμίων (π.χ. ΟΣ1Α), μια πρώτη μακροσκοπική περιγραφή (π.χ. Σερπεντινίτης) και αναφέρεται ο τρόπος εκτέλεσης των εργαστηριακών δοκιμών. Οι προδιαγραφές των εργαστηριακών δοκιμών είναι γνωστές και για το λόγο αυτό δεν παρουσιάζονται αναλυτικά, περιγράφεται μόνο ο εργαστηριακός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση των δοκιμών αυτών, τόσο στο εργαστήριο Ορυκτολογίας και Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, όσο και στο Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων (ΚΕΔΕ/ΓΓΔΕ/ΥΠΕΧΩΔΕ).

ΣΤΟ ΕΚΤΟ Κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα, πραγματοποιείται στατιστική ανάλυσή τους (SPSS 8.0 και Excel Analysis Toolpak program 2003) και γίνεται παρουσίασή τους σε πίνακες και ιστογράμματα με σκοπό την απεικόνιση της συμπεριφοράς των υπερβασικών πετρωμάτων. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα βραχώδους υλικού που λήφθηκαν από 69 θέσεις δειγματοληψίας από την περιοχή της δυτικής Όθρυος και 25 θέσεις από αυτή του Καλλιδρόμου. Από κάθε θέση λήφθηκε ένας βραχώδης όγκος, από τον οποίο διαμορφώθηκαν 3-7 δοκίμια τα οποία υποβλήθηκαν στις ακόλουθες δοκιμές προσδιορισμού των φυσικών, δυναμικών ή μηχανικών παραμέτρων τους.

❖ Φυσικά χαρακτηριστικά:

- Το ενεργό πορώδες, n_e (%), ο λόγος των κενών, e , το ξηρό φαινόμενο βάρος, γ_d (kN/m³), το κορεσμένο φαινόμενο βάρος, γ_{sat} (kN/m³), και η απορροφητικότητα, W_a (%) προσδιορίστηκαν σε 244 δοκίμια σερπεντινιτών και 147 δοκίμια περιδοτιτών τόσο με τη μέθοδο της άνωσης, όσο και με αυτή του μικρομέτρου.

- ❖ Δυναμικά χαρακτηριστικά:
 - Οι ταχύτητες των επιμηκών κυμάτων, V_p (m/sec), οι ταχύτητες των εγκάρσιων κυμάτων, V_s (m/sec), το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας, E_d (GPa), ο δυναμικός λόγος Poisson, ν_d και το δυναμικό μέτρο διάτμησης, G_d (GPa) προσδιορίστηκαν σε 103 δοκίμια σερπεντινιτών και 63 δοκίμια περιδοτιτών.
- ❖ Μηχανικά χαρακτηριστικά
 - Η σκληρότητα με σφυρί Schmidt, SHV μετρήθηκε σε 103 δοκίμια σερπεντινιτών και 63 περιδοτιτών.
 - Η αντοχή σε μοναξονική θλίψη, σ_{ci} (MPa) και το στατικό μέτρο ελαστικότητας, E_{st} (GPa) προσδιορίστηκαν σε 65 δοκίμια σερπεντινιτών και 39 περιδοτιτών.
 - Ο στατικός λόγος Poisson, ν_{st} και το στατικό μέτρο διάτμησης, G_{st} (GPa) υπολογίστηκαν σε 36 δοκίμια σερπεντινιτών και 25 περιδοτιτών.
 - Ο ανηγμένος δείκτης σημειακής φόρτισης, I_{s50} (MPa) προσδιορίστηκε σε 71 δοκίμια σερπεντινιτών και 45 περιδοτιτών.
 - Η αντοχή σε εφελκυσμό, σ_t (MPa) και η διορθωμένη εφελκυστική αντοχή, σ_{tc} (MPa) προσδιορίστηκαν σε 73 δοκίμια σερπεντινιτών και σε 39 περιδοτιτών.
 - Τέλος πραγματοποιήθηκαν 10 τριαξονικές δοκιμές σε σερπεντινίτες και 6 σε περιδοτίτες και υπολογίστηκαν η συνοχή, c_{ci} (MPa), η γωνία εσωτερικής τριβής, ϕ_{ci} ($^\circ$) και η παράμετρος m_i . Στις θέσεις από τις οποίες πάρθηκαν τα δείγματα για τις τριαξονικές δοκιμές προσδιορίστηκε το GSI.

ΣΤΟ ΕΒΔΟΜΟ Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πετρογραφικής εξέτασης [(μελετήθηκαν 47 δείγματα στο πολωτικό μικροσκόπιο, 4 στο ηλεκτρονικό (SEM) και 12 με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων X (X-ray diffraction-XRD)] και γίνεται αναλυτική περιγραφή της ορυκτολογικής σύστασης, της υφής, του ιστού και του βαθμού σερπεντινώσεως, β (%) των υπερβασικών πετρωμάτων που εξετάστηκαν.

ΣΤΟ ΟΓΔΟΟ Κεφάλαιο περιγράφεται ο σχεδιασμός και η λειτουργία της βάσης δεδομένων την οποία αναπτύξαμε στην παρούσα μελέτη. Η βάση αυτή δημιουργήθηκε με τη χρήση του λειτουργικού προγράμματος Microsoft Access 2003 και παρουσιάζει το σύνολο των εργαστηριακών και πετρογραφικών αποτελεσμάτων, τα οποία προσδιορίσαμε.

ΣΤΟ ΕΝΑΤΟ Κεφάλαιο γίνεται προσπάθεια συσχέτισης των ιδιοτήτων με στόχο την απόρροια εμπειρικών σχέσεων από τις οποίες θα προσδιορίζεται με ικανοποιητική

προσέγγιση, η τιμή μιας παραμέτρου (κυρίως η αντοχή σε μοναξονική θλίψη, αλλά και τα άλλα μηχανικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων), όταν είναι γνωστή μια άλλη. Αφού κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα συσχέτισης, προσδιορίστηκαν τόσο οι εξισώσεις, που καλύτερα αποδίδουν τις σχέσεις των ιδιοτήτων, όσο και οι υψηλότεροι συντελεστές προσδιορισμού τους (R^2), με τη χρήση των υπολογιστικών προγραμμάτων Excel Analysis Toolpak program 2003 και SPSS 8.0.

ΣΤΟ ΔΕΚΑΤΟ Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του προσδιορισμού της συνοχής, c (MPa), της γωνίας εσωτερικής τριβής, ϕ ($^\circ$), της αντοχής σε μοναξονική θλίψη, σ_c (MPa), της αντοχής σε εφέλκυσμό, σ_{tm} (MPa), της συνολικής ή γενικευμένης αντοχής (global strength, σ_{cm}), του μέτρου παραμόρφωσης της βραχομάζας (E_{tm}) με βάση τα αποτελέσματα της εργαστηριακής έρευνας και τις παρατηρήσεις υπαίθρου (GSI, παράγοντας D). Επίσης, παρουσιάζονται τα διαγράμματα της μέγιστης, σ_1 (MPa) προς την ελάχιστη τάση σ_3 (MPa) και της διατμητικής τάσης, τ (MPa) προς την ορθή τάση σ_n (MPa). Όλες οι παραπάνω παράμετροι και τα διαγράμματα πραγματοποιήθηκαν με το υπολογιστικό πρόγραμμα Roclab, το οποίο διανέμεται δωρεάν (www.roscience.com).

ΣΤΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ Κεφάλαιο αναφέρονται η σύνοψη και τα συμπεράσματα της παρούσας διατριβής.

ΣΤΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ Κεφάλαιο επισημαίνονται όλες οι βιβλιογραφικές αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν.

Ως παράρτημα της παρούσας διατριβής αποτελεί το συνοδευτικό CD με όλα τα στοιχεία υπαίθρου καθώς και τα δεδομένα από τις εργαστηριακές δοκιμές.

Σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να διευκρινίσουμε ότι η παρούσα μελέτη δεν εξαντλεί την έρευνα για τα υπερβασικά πετρώματα και με κανένα τρόπο δεν έχει ως στόχο την διατύπωση απόλυτων κανόνων για τη συμπεριφορά τους, έτσι ώστε να καταστούν εφαρμόσιμοι σε οποιαδήποτε περίπτωση κατασκευής επιφανειακού ή υπόγειου τεχνικού έργου. Αυτό που προσφέρει η παρούσα έρευνα είναι να παρουσιαστούν οι τιμές των φυσικών, δυναμικών και μηχανικών ιδιοτήτων των υπερβασικών πετρωμάτων της περιοχής μελέτης, οι σχέσεις που τις διέπουν και να περιγραφεί τελικά με όσο το δυνατό ξεκάθαρο και ολοκληρωμένο τρόπο, το ευρύ φάσμα της τεχνικής συμπεριφοράς των υπερβασικών πετρωμάτων, που οφείλεται στην πετρογραφική τους ποικιλία, στην τεκτονική παραμόρφωση και στις εναλλαγές τους. Έτσι, ευελπιστούμε να καλυφθεί ως ένα βαθμό το κενό στη υπάρχουσα βιβλιογραφία και να υπάρξει μια πρώτη σύντομη, αλλά και αξιόπιστη εκτίμηση των χαρακτηριστικών τους στα έργα υποδομής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΟΦΙΟΛΙΘΟΙ-ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

1.1 Σύντομη αναφορά στην ερμηνεία του όρου «Οφιόλιθου»

Ο όρος «οφιόλιθος» προέρχεται από τις ελληνικές ρίζες «όφιος» + «λίθος» και χρησιμοποιήθηκε αρχικά (το 1813) από το Γάλλο BROGNIART για την περιγραφή των σερπεντινιτών, οι οποίοι παρουσιάζουν χρώμα παρόμοιο με εκείνο του δέρματος των φιδιών. Αργότερα, το 1827 ο BROGNIART σημείωνε ότι μαζί με τους σερπεντινίτες εμφανίζονται μαγματικά πετρώματα (υπερμαφικά, γαββρικά και ηφαιστειακά) με στενή σχέση μεταξύ τους.

Τα μετέπειτα χρόνια πολλοί γεωλόγοι ασχολήθηκαν με τη γένεση και τον τρόπο εμφάνισης των οφιολιθικών πετρωμάτων, αλλά για έναν περίπου αιώνα επικράτησε σύγχυση όσον αφορά στη χρήση του όρου αυτού. Ο STEINMANN (1927) περιέγραψε, με έμφαση, τη στενή σχέση μεταξύ περιδοτιτών (σερπεντινιτών) - γάββρων και διαβασών, σπηλιτών - με ιζηματογενή πετρώματα βαθιών θαλασσών (κερατόλιθους, αργιλικούς σχιστόλιθους και ασβεστόλιθους), γνωστή ως Τριάδα του STEINMANN, και έδωσε νέο περιεχόμενο στον όρο «οφιόλιθος», προσδιορίζοντας τους οφιολίθους ως χωρικά συνδεδεμένα συγγενή πετρώματα που δημιουργήθηκαν σαν διεισδύσεις στα αξονικά τμήματα των γεωσύγκλιων.

Στις αρχές του 1960, όπως αναφέρει ο MOORES (1982), υπήρξαν δύο κυρίως σχολές, αναφορικά με την προέλευση των οφιολιθικών πετρωμάτων. Η Αμερικάνικη σχολή ακολούθησε τις ιδέες του HESS (1955) και αναφερόμενη σε αλπικού τύπου περιδοτίτες και συμπλέγματα περιδοτιτών-γάββρων, αρνήθηκε οποιαδήποτε γενετική σχέση αυτών με τα υπερκείμενα ηφαιστειακά πετρώματα και τους ραδιολαρίτες (THAYER, 1963). Η Ευρωπαϊκή σχολή, με εκπροσώπους κυρίως Γάλλους ερευνητές, που είχαν δουλέψει στο χώρο της Μεσογείου, υποστήριξε ότι τα οφιολιθικά πετρώματα δημιουργούνται από μεγάλες υποθαλάσσιες εκχύσεις βασικού ή υπερβασικού μάγματος σε μεγάλο βάθος εντός των ευγεωσύγκλιων. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, κάτω από το στρώμα των ψυχόμενων ηφαιστειακών πετρωμάτων δημιουργείται στο εσωτερικό της έκχυσης η ακολουθία περιδοτιτών και γάββρων από την κρυστάλλωση του μάγματος.

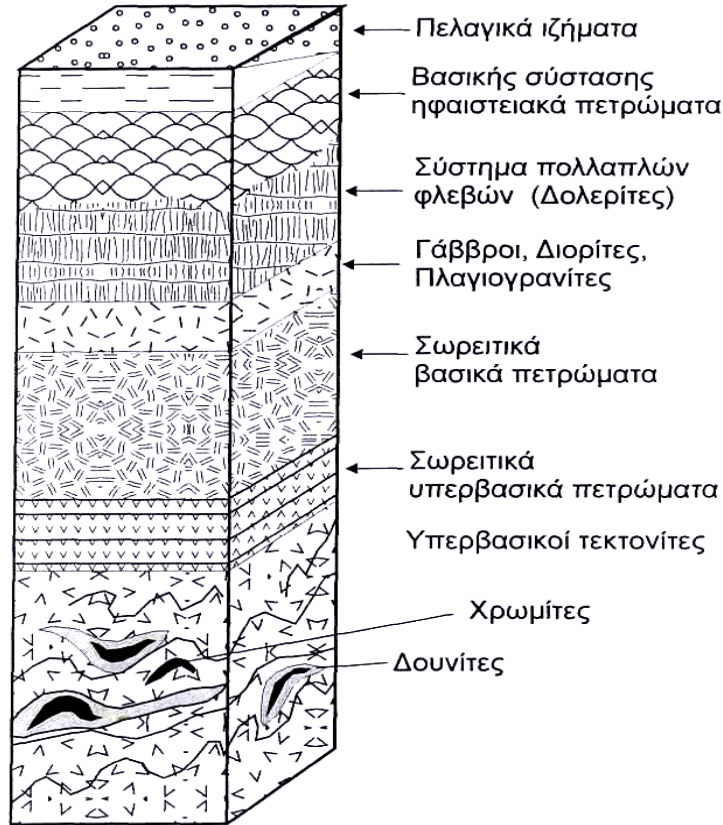
Από τη δεκαετία του 1960 αρχίζει να αναπτύσσεται η θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών. Στα πλαίσια της θεωρίας αυτής, οι οφιολιθικές εμφανίσεις ερμηνεύονται ως τεμάχια του ωκεάνιου φλοιού και του ανώτερου μανδύα, τα οποία επωθήθηκαν με τη μορφή τεκτονικών καλυμμάτων επάνω στα ηπειρωτικά περιθώρια σε περιοχές σύγκλησης λιθοσφαιρικών πλακών. Στις περιοχές απόκλισης των λιθοσφαιρικών πλακών (μεσοωκεάνιες ράχεις), παράγεται νέα ωκεάνια λιθόσφαιρα, προκαλώντας επέκταση του ωκεάνιου πυθμένα. Η έρευνα των οφιολίθων αποτελεί κλειδί στην ερμηνεία των γεωτεκτονικών εξελίξεων και έχει δώσει σημαντικές πληροφορίες για τη σύσταση του εσωτερικού της Γης.

Στο διεθνές συνέδριο "Penrose Conference of the Geological Society of America" (ANONYMOUS, 1972) λαμβάνοντας υπόψη τις παρατηρήσεις του STEINMANN, τη θεωρία της κλασματικής κρυστάλλωσης (BOWEN, 1927; BOWEN & TUTTLE, 1949) καθώς και τη θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών καθορίστηκε σαφώς η έννοια του «οφιολίθου» και αποφασίστηκε, ότι οι οφιολίθοι αποτελούν ευδιάκριτες ακολουθίες βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων συνοδευόμενοι πολλές φορές από ιζήματα βαθιάς θάλασσας. Επίσης, ο όρος «οφιολίθος» δεν μπορεί να χρησιμοποιείται ως όνομα πετρώματος ή λιθολογική ενότητα, πρόκειται για ένα σύμπλεγμα πετρωμάτων. Στα επιστημονικά συνέδρια που ακολούθησαν στο Παρίσι και στη Μόσχα, οι επιστήμονες αποφάσισαν πως οι «οφιολίθοι» είναι κομμάτια του ωκεάνιου φλοιού και του ανώτερου μανδύα τα οποία συνήθως βρίσκονται πάνω σε ορογενετικές περιοχές. Σε μία πλήρως αναπτυγμένη οφιολιθική σειρά, οι πετρολογικοί τύποι που απαντώνται από τα κατώτερα προς τα ανώτερα μέλη (Εικ. 1.1) είναι:

- ο Τεκτονίτες: Πρόκειται για μερικά ή ολικά σερπεντινωμένα μανδουκά υπερμαφικά πετρώματα (κυρίως χαρτσβουργίτες και λερζόλιθους), που περιέχουν κατά θέσεις φακοειδή σώματα δουνίτη καθώς και λοβοειδείς χρωμιτικές μάζες.
- ο Ακολουθία του θαλάμου που διακρίνεται σε:
 - i. Κατώτερη ή σωρευτική σειρά με υπερμαφικά, μαφικά πετρώματα στη βάση και φελσικά στην κορυφή,
 - ii. Ανώτερη ή μη σωρευτική σειρά αποτελούμενη από γαββρικά πετρώματα (μικρογάββρους, γάββρους, γαββρικούς πηγματίτες) στη βάση, με πλαγιογρανίτες στα ανώτερα τμήματα,
- ο Σύστημα πολλαπλών φλεβών: Κυρίως πρόκειται για διαβασικής σύστασης σμήνος φλεβών που εισέρχονται στους υποκείμενους γάββρους, αλλά και τροφοδοτούν τις υπερκείμενες λάβες.

1. ΟΦΙΟΛΙΘΟΙ-ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

- Βασικής σύστασης ηφαιστειακά πετρώματα: Πρόκειται κυρίως για υποθαλάσσιες εκχύσεις λαβών που συχνά εμφανίζονται με μαξιλαροειδείς μορφές (pillow-lavas).
- Πελαγικές ιζηματογενείς ακολουθίες: Αποτελούνται κυρίως από κερατολίθους, λεπτές διαστρώσεις αργιλικών σχιστολίθων και ασβεστόλιθους.



Εικόνα 1.1: Πλήρως αναπτυγμένη οφιολιθική σειρά.

Το 1982 ο MOORES συμπληρώνει τη στρωματογραφική αυτή ακολουθία με την προσθήκη μεταμορφωμένων πετρωμάτων υψηλής θερμοκρασίας («μεταμορφικό πέλμα») καθώς και οφιολιθικών μιγμάτων (ophiolitic mélange) στη βάση του όλου συμπλέγματος. Ως mélange περιγράφεται ένας ετερογενής σχηματισμός (χαοτικός), συγκρίσιμος με ολισθόστρωμα, αποτελούμενο από τεμάχια πετρωμάτων ποικίλου μεγέθους, σύστασης, ηλικίας, προέλευσης και σχημάτων που συνδέονται συνήθως με τεκτονικές επαφές και εγκλείονται σε μία εύθρυπτη, πολλές φορές σχιστοποιημένη θεμελιώδη μάζα (matrix). Η έντονη συμμετοχή οφιολιθικών θραυσμάτων οδηγεί στο να χαρακτηρίζεται ως οφιολιθική mélange. Είναι δε αποτέλεσμα της κίνησης του οφιολιθικού καλύμματος πάνω σε άλλες ενότητες, κυρίως κατά το Ανώτερο Ιουρασικό. Ο ίδιος ερευνητής αναφέρει επίσης ότι εκτός από τα πελαγικά ιζήματα, είναι δυνατό να υπάρχουν και ιζήματα νηριτικής φάσης.

Η διάβρωση, η αποσάθρωση και οι τεκτονομεταμορφικές διεργασίες, είναι δυνατό να διαταράξουν, να τροποποιήσουν ακόμα και να διαμελίσουν τη στρωματογραφική ακολουθία των πετρωμάτων και έτσι να προκύψουν διαμελισμένα οφιολιθικά συμπλέγματα.

Τις τελευταίες δεκαετίες κάνουν την εμφάνιση τους μοντέλα γένεσης των οφιολίθων σε γεωτεκτονικά περιβάλλοντα περιθωριακών λεκανών (marginal basins) που υφίστανται απόκλιση και που βρίσκονται πάνω από υποβυθιζόμενη λιθοσφαιρική πλάκα με ωκεάνιο φλοιό (SSZ, Supra-Subduction Zone, MIYASHIRO, 1973; PEARCE et al., 1984; ROBERTSON 2002, 2004). Η ανάπτυξη των μοντέλων αυτών στηρίχθηκε τόσο σε γεωλογικά και γεωχημικά δεδομένα των οφιολιθικών εμφανίσεων, όσο και στη μελέτη μοντέρνων ενεργών περιθωριακών λεκανών (π.χ. δυτικός Ειρηνικός Ωκεανός, Ιαπωνική λεκάνη κ.ά.), οι οποίες υπέδειξαν ένα καθεστώς γενικής διαστολής και υψηλής θερμοροής (MOORES & TWISS 1995; TAYLOR & NATLAND, 1995). Παρόμοια μοντέλα περιθωριακών λεκανών προτάθηκαν για τη γένεση κι εξέλιξη των οφιολίθων της ανατολικής Μεσογείου για πρώτη φορά από τους SPRAY (1983) και ROBERTSON & DIXON (1984).

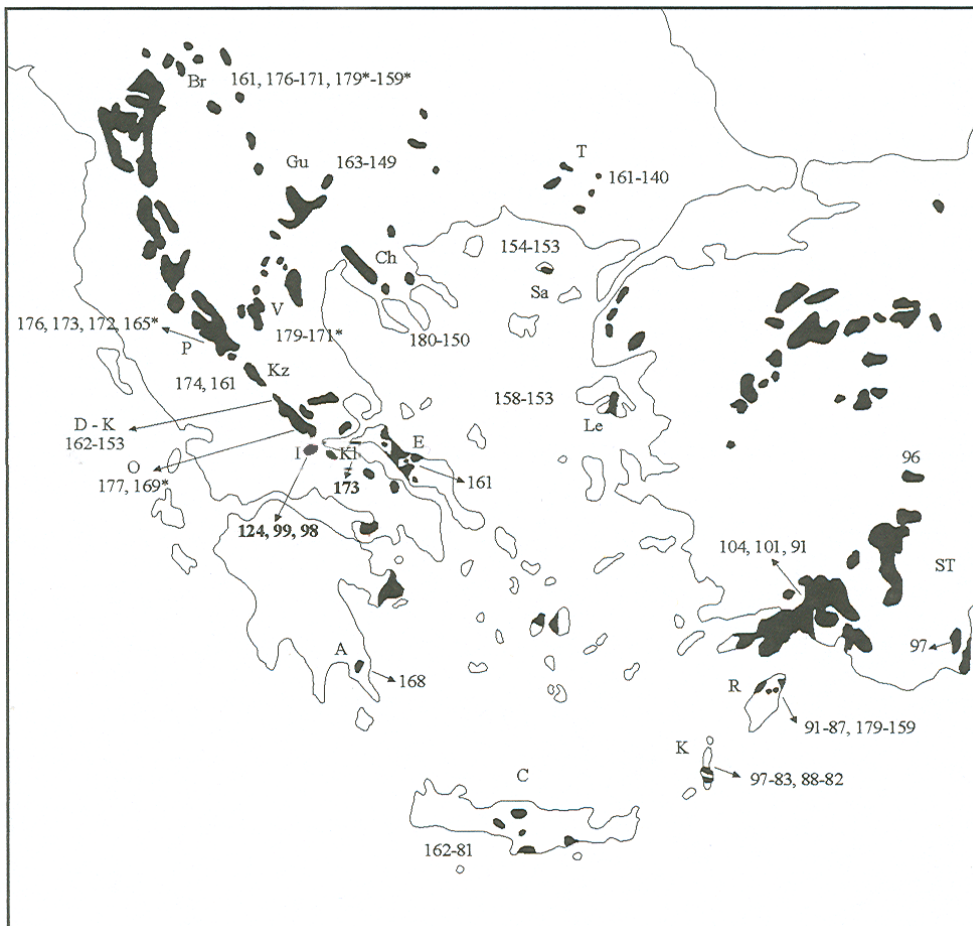
1.2 Ηλικία των οφιολίθων

Το πρόβλημα της ηλικίας των οφιολίθων είναι από τα πιο συζητημένα και υπάρχουν πολλές διστάμενες απόψεις. Αυτό οφείλεται στη δυσκολία χρονολόγησης των οφιολίθων τόσο στρωματογραφικά (σχετική ηλικία), όσο και με τη ραδιοχρονολόγηση (απόλυτη). Στην πρώτη περίπτωση το πρόβλημα είναι η δυσκολία να βρεθούν απολιθώματα στα πετρώματα αυτά καθώς και το ότι σήμερα απαντούν σε αλλόχθονα τεκτονικά καλύμματα. Στην περίπτωση της ραδιοχρονολόγησης, η βασικότητα των πετρωμάτων επιτρέπει την χρησιμοποίηση με επιτυχία μόνο τη μέθοδο καλίου-αργού (K/Ar). Όμως η μέθοδος αυτή παρουσιάζει τρία προβλήματα. Πρώτα από όλα, εξαιτίας της παρουσίας στα βασικά πετρώματα πρωτογενούς αργού, μπορεί να υπολογιστεί μεγαλύτερη ηλικία από την κανονική. Δεύτερον, οι οφιολίθοι παρουσιάζουν μικρή περιεκτικότητα σε κάλιο και τρίτον μπορεί να μετρήσουμε μικρότερες ηλικίες εξαιτίας της μεταμόρφωσης.

Ο καθορισμός μιας ενιαίας ηλικίας στους οφιολίθους είναι άστοχος, αφού δεν πρόκειται για ένα καθορισμένο γεωλογικό σχηματισμό σειράς διεργασιών και γεωτεκτονικής εξέλιξης. Οι οφιολίθοι, ακόμα και στην ίδια περιοχή, παρουσιάζουν διάφορες ηλικίες, από τα πρώτα υλικά που δημιουργήθηκαν με το άνοιγμα του ωκεανού

ως τα τελευταία, με το κλείσιμό του. Για παράδειγμα στον Ειρηνικό παρατηρούνται ηλικίες από το Τριαδικό ως το Πλειστόκαινο.

Στην Ελλάδα αρκετοί επιστήμονες (SPRAY & RODDICK, 1980; JUNG et al., 1980; THUIZAT et al., 1981; SEIDEL et al., 1981; HATZIPANAGIOTOU, 1983; SPRAY et al., 1984; KOEPKE et al., 1985; KOEPKE, 1986; BIGGAZZI et al., 1989; TSICOURAS et al., 1990; HATZIPANAGIOTOU, 1991; HATZIPANAGIOTOU et al., 1994; HATZIPANAGIOTOU & PE-PIPER, 1995; ΚΑΡΙΠΗ, 2004; POMONIS et al., 2005) προσπάθησαν, παρά τα προβλήματα που προαναφέραμε, να προσδιορίσουν (μέσω ραδιοχρονολογήσεων, K/Ar) την ηλικία των οφιολίθων και παρατήρησαν πως αυτή κυμαίνεται από περίπου 180 έως και 80 εκατομμύρια χρόνια (από Κάτω-Μέσο Ιουρασικό έως Άνω Κρητιδικό, **Εικ. 1.2**). Τα νεότερα οφιολιθικά πετρώματα παρατηρούνται στην Κρήτη, τη Ρόδο και την Κάρπαθο. Πρόκειται για πετρώματα ηλικίας Άνω Κρητιδικού (**Εικ. 1.2**) και θεωρούνται ως τμήμα των Ταυρίδων.



Εικόνα 1.2: Οι κυριότερες οφιολιθικές εμφανίσεις στην Ελλάδα, δυτική Τουρκία και οι ηλικίες τους: A: Αγκελώνας, C: Κρήτη, Ch: Χαλκιδική, Cy: Κυκλάδες, D-K: Δαφνοσπηλιά-Κέδρος, E: Εύβοια, Gu: Γευγελή, I: Οίτη, K: Κάρπαθος, KI: Καλλίδρομο, Kz: Κόζιακας, Le: Λέσβος, O: Όθρυς, P: Πίνδος, R: Ρόδος, Sa: Σαμοθράκη, ST: Νότια Τουρκία, T: Θράκη, V: Βούρινος (POMONIS et al., 2005).

1.3 Οι οφιολιθικές εμφανίσεις στην Ελλάδα

Οι οφιολιθικές εμφανίσεις στον Ελληνικό χώρο αποτελούν τμήματα των Ελληνίδων οροσειρών με γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Οι Ελληνίδες οροσειρές αποτελούν χαρακτηριστικό ορογενετικό τμήμα του αλπικού συστήματος της Τηθύος και ειδικότερα του Νοτίου κλάδου (συνέχεια των Δειναρίδων προς τα ΝΑ) της και της Νέο-Ευρώπης και δημιουργήθηκαν από τη σύγκλιση των δύο λιθοσφαιρικών πλακών με ηπειρωτικό φλοιό, της Ευρασίας προς τα Βόρεια και των τεμαχών της παλαιότερης πλάκας της Γκοντβάνας (το σύνολο Αφρικής, Αραβίας, Ινδίας και Αυστραλίας) προς τα Νότια. Διατρέχουν το μεγαλύτερο τμήμα της Ελληνικής χερσονήσου, καμπυλώνουν στην περιοχή της Κρήτης-Ρόδου προς τα ανατολικά και συνεχίζουν στα βάθη της Τουρκίας μέσω των Ταυρίδων οροσειρών, σχηματίζοντας το Δειναροταυρικό τόξο (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, 1985; ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, 1986; ΜΙΓΚΙΡΟΣ, 1996).

Οι ελληνικές οφιολιθικές εμφανίσεις σχηματίζουν δύο ζώνες μια ανατολική και μια δυτική, οι οποίες παρουσιάζουν γεωλογικές, πετρολογικές και γεωχημικές διαφορές. Στην ανατολική ζώνη συναντούμε τις οφιολιθικές εμφανίσεις της Γευγελής και της κεντρικής Χαλκιδικής, του Ωραιοκάστρου, της Κασσάνδρας και της Σιθωνίας. Αυτές είναι γνωστές και ως οφιόλιθοι του Αξιού και παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ τους τόσο στην ηλικία όσο και στα χαρακτηριστικά τους. Μικρότερες οφιολιθικές εμφανίσεις εντοπίστηκαν τόσο στη Σερβομακεδονική ζώνη (DIXON & DIMITRIADIS, 1984) όσο και στην ανατολική περιοχή της Ροδόπης (MAGGANAS et al., 1991; MAGGANAS, 2002). Πολλά επίσης ελληνικά νησιά στο κεντρικό και νότιο Αιγαίο Πέλαγος (π.χ. Κυκλάδες, Ρόδος, Κάρπαθος), συμπεριλαμβανομένης και της Κρήτης περιέχουν μικρές εμφανίσεις οφιολιθικών πετρωμάτων. Τα επικρατέστερα πετρώματα στην ανατολική οφιολιθική ζώνη είναι οι χαρτσβουργίτες, οι δουνίτες, οι ολιβινικοί γάββροι και οι τοναλίτες.

Η δυτική ζώνη (Εικ. 1.2) καταλαμβάνει το χώρο των κεντρικών Ελληνίδων και αποτελεί φυσικό σύνορο μεταξύ των εξωτερικών και των εσωτερικών ισοπικών ζωνών. Οι οφιόλιθοι εμφανίζονται μόνο στις εσωτερικές Ελληνίδες οι οποίες υπέστησαν δύο παραμορφωτικές φάσεις, μία κατά το Άνω Ιουρασικό-Κάτω Κρητιδικό και μία κατά το Ηώκαινο. Οι πιο σημαντικές οφιολιθικές εμφανίσεις είναι αυτές του Βούρινου (BECCALUVA et al., 1984; ΚΩΝΣΤΑΝΤΟΠΟΥΛΟΥ, 1990), της Πίνδου (CAPEDRI et al., 1980; 1981; ΚΟΣΤΟΠΟΥΛΟΣ, 1988; JONES et al., 1991), της Όθρυος (SMITH et al., 1975; CELET et al., 1977; ΜΙΓΚΙΡΟΣ, 1990; RASSIOS, 1990; RASSIOS & KONSTANTOPOULOU, 1993), της Εύβοιας (SIMANTOV & BERTRAND, 1987;

GARTZOS et al., 1990; ROBERTSON, 1991; GARTZOS et al., 1994, κ.ά.) και της Λέσβου (SERELIS and GARTZOS 1994; MIGIROS et al., 2000; HATZIPANAGIOTOU et al., 2003; GARTZOS et al., 2008). Μικρότερες οφιολιθικές εμφανίσεις είναι αυτές της Καστοριάς (MOUNTRAKIS, 1982;1984;1986), του Κόζιακα (FERRIERE, 1982; CAPEDEI et al., 1985; ΛΕΚΚΑΣ 1988), του Βερμίου (ECONOMOU, 1983), της Αν. Θεσσαλίας (MIGIROS & ECONOMOU, 1988), της Οίτης (MITROPOULOS et al., 1987, ROBERTSON et al., 1991, ΚΑΡΙΠΗ 2004), του Καλλιδρόμου (ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ κ.ά., 1959; CELET, 1976) και της Αργολίδας (BAUMGARTNER, 1985; HATZIPANAGIOTOU, 1990, DOSTAL et al., 1991; CLIFT & DIXON, 1998 κ.ά.).

Στη βάση τους οι οφιολιθικές εμφανίσεις της δυτικής ζώνης χαρακτηρίζονται συνήθως από την παρουσία «υποοφιολιθικών μεταμορφικών πελμάτων» ("sub-ophiolitic metamorphic soles"). Τα μεταμορφικά αυτά πέγματα αποτελούνται από μεταβασικά και σπανιότερα μεταπηλιτικά πετρώματα τα οποία συνήθως έχουν μεταμορφωθεί σε πρασινοσχιστολιθική έως αμφιβολιθική φάση. Από πετρολογική άποψη η δυτική οφιολιθική ζώνη αποτελείται κυρίως από λερζόλιθους, πλαγιοκλαστικούς χαρτσβουργίτες, σιδηρογάββρους και ολιβινικούς θολειτες. Τα πετρολογικά αυτά χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με γεωχημικούς χαρακτήρες, συνηγορούν στην άποψη ότι οι δυτικές οφιολιθικές εμφανίσεις προέρχονται από λιγότερο εκχυμωμένο μανδουακό υλικό σε σχέση με τις ανατολικές (BEBIEN et al., 1980; MAKSIMOVIC & MAJER, 1981).

Μία άλλη σημαντική διαφορά των δύο μεγάλων οφιολιθικών ζωνών είναι η παρουσία οφιολιθικών μιγμάτων ή οφιολιθικών mélange όπως έχει επικρατήσει στη διεθνή βιβλιογραφία (ophiolitic mélange, GANSSER, 1974) στη δυτική οφιολιθική ζώνη (εκτός ελαχίστων εξαιρέσεων) και η απουσία τους στην ανατολική.

Όσον αφορά την προέλευση των ελληνικών οφιολιθικών εμφανίσεων υπάρχουν δύο κυρίως υποθέσεις. Η πρώτη υπόθεση δέχεται ότι οι οφιολιθικές εμφανίσεις των Ελληνίδων και των Δειναρίδων προέρχονται από τον ωκεανό του Αξιού (BERNOULLI & LAUBSCHER, 1972; ZIMMERMAN, 1972; VERGELY, 1976; 1977; JACOBESHAGEN et al., 1978; JACOBESHAGEN, 1986), ο οποίος βρισκόταν ανατολικά της Πελαγονικής και μεταφέρθηκαν στη θέση που βρίσκονται σήμερα κυρίως λόγω της επίδρασης της πρώτης συμπίεστικής παραμορφωτικής φάσης του Άνω Ιουρασικού-Κάτω Κρητιδικού. Η υπόθεση αυτή ενισχύθηκε και από υπαίθρια έρευνα στην περιοχή του Ολύμπου (SCHERMER, 1993) όπως επίσης και από το γεγονός ότι γεωλογικές δομές που μαρτυρούν κλείσιμο ωκεανού έχουν παρατηρηθεί μόνο στη ζώνη Αξιού (ZIMMERMAN & ROSS, 1976).

Η δεύτερη υπόθεση, η οποία είναι νεότερη δέχεται ότι οι οφιολιθικές εμφανίσεις της Υποπελαγονικής ζώνης αντιπροσωπεύουν επωθημένα τμήματα του πυθμένα του ωκεανού της Πίνδου, ο οποίος υπήρχε κατά το Μεσοζωικό στα δυτικά περιθώρια της Πελαγονικής ζώνης. Κατά το μοντέλο αυτό, ο ωκεανός της Πίνδου προέρχεται από ηπειρωτική ταφροποίηση (rifting) της κεντρικής Ελλάδας, κατά το τέλος του Παλαιοζωικού και συνεχίστηκε μέχρι το Τριαδικό. Ο ωκεανός της Πίνδου σχηματίστηκε στο Κάτω Ιουρασικό και άρχισε να διευρύνεται. Τη φάση της διαστολής διαδέχθηκε μια φάση συστολής με μία ζώνη καταβύθισης τύπου-B που έκλινε προς τα δυτικά (B-Type subduction). Έτσι θεωρείται ότι τα οφιολιθικά συμπλέγματα της Υποπελαγονικής δημιουργήθηκαν σε περιβάλλον με ένα κέντρο διάνοιξης πάνω από καταβυθιζόμενη λιθόσφαιρα, γνωστό διεθνώς, ως SSZ (supra-subduction zone ή SSZ spreading), όπως προαναφέρθηκε. Το δεύτερο αυτό μοντέλο υποστηρίζεται από περισσότερους ερευνητές (HYNES et al., 1972; SMITH, 1979; 1993; JONES & ROBERTSON, 1991), οι οποίοι δεν αποκλείουν όμως την ύπαρξη μιας αναπτυσσόμενης ωκεάνιας λεκάνης στη ζώνη του Αξιού παράλληλα με την ύπαρξη του ωκεανού της Πίνδου.

Μία άλλη εναλλακτική εξήγηση για τις αναφερόμενες ομοιότητες στα δύο παθητικά περιθώρια δίνεται από τους SMITH & SPRAY (1984). Σύμφωνα με αυτούς η δυτική και η ανατολική οφιολιθική ζώνη αποτελούσαν στο παρελθόν μία ενιαία ζώνη που διαχωρίστηκε από ένα αριστερόστροφο οριζόντιο ρήγμα στο ανατολικό περιθώριο της Πελαγονικής ζώνης και που έφερε τις δύο αυτές οφιολιθικές ζώνες παράλληλα. Όμως για να είναι εφικτό αυτό θα πρέπει να είχαμε μία ετήσια μετακίνηση κατά 3.5cm του ανατολικού σκέλους σε σχέση με το δυτικό κάτι το οποίο υπερβαίνει τους ρυθμούς μετακινήσεων που προκύπτουν από σύγχρονα παραδείγματα διαστροφικών ζωνών.

Όλα τα προαναφερόμενα μοντέλα παρουσιάζουν δυσκολίες στην επαρκή ερμηνεία της προέλευσης και της τοποθέτησης των ελληνικών οφιολιθικών συμπλεγμάτων. Κύρια αιτία είναι η πολυπλοκότητα και η ποικιλομορφία τόσο της γεωλογικής δομής των οφιολιθικών πετρωμάτων όσο και των γεωχημικών χαρακτηριστικών τους.

Η παρούσα εργασία θα εστιαστεί στη δυτική οφιολιθική ζώνη και κυρίως στις υπερβασικές μάζες της δυτικής Όθρυος και του Καλλιδρόμου.

1.4 Υπερβασικά-υπερμαφικά πετρώματα

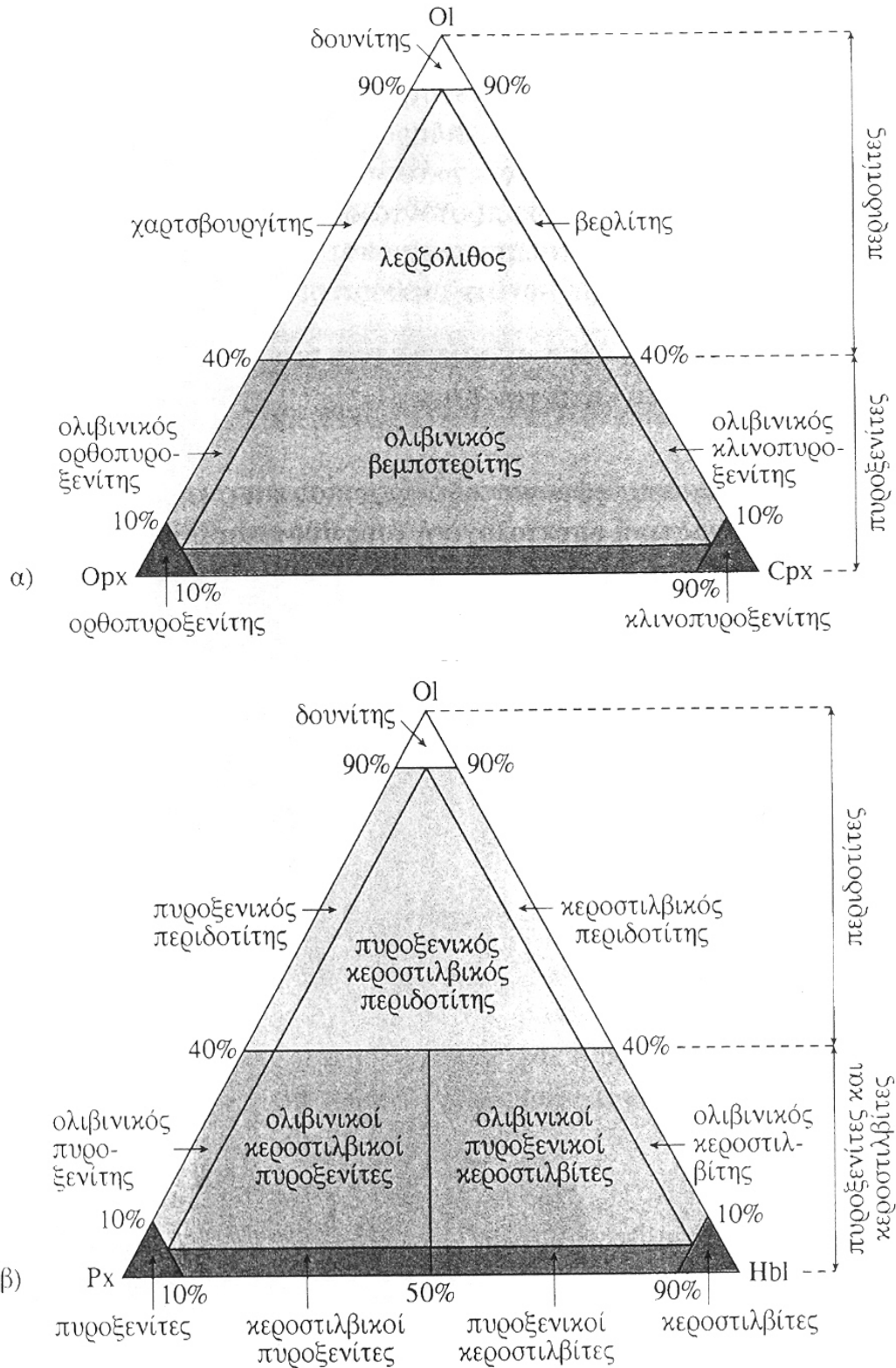
Ως υπερβασικά-υπερμαφικά χαρακτηρίζονται τα πετρώματα που περιέχουν σιδηρομαγνησιούχα (μελανοκρατικά) ορυκτά σε ποσοστό μεγαλύτερο του 90% κατά

όγκο, ενώ το SiO₂ δεν υπερβαίνει το 45% του βάρους ή κατά άλλους το 40% (εξαιρέση παρουσιάζουν οι χαρτσβουργίτες της Υλικής και οι πυροξενίτες του Βούρινου και του Βελεστίνου όπου η περιεκτικότητα σε SiO₂ είναι ίση ή μεγαλύτερη από 50%, ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ, 1978). Το γεγονός ότι περιέχουν μεγάλο ποσοστό μελανοκρατικών ορυκτών και ελάχιστα λευκοκρατικά ορυκτά, έχει ως αποτέλεσμα να εμφανίζονται ως σκουρόχρωμα. Τα κύρια μελανοκρατικά ορυκτά είναι ο ολιβίνης, ο πυρόξενος, η κεροστίλβη, ο χρωμίτης, ο μαγνητίτης, ο σπινέλιος κ.λ.π, ενώ ο γρανάτης και οι μαρμαρυγίες έχουν μηδαμινή συμμετοχή. Από τα λευκοκρατικά ορυκτά, αυτά που υπάρχουν σε μικρές όμως ποσότητες, και όχι πάντα, είναι τα πλαγιόκλαστα, ενώ απουσιάζουν εκτός μικρών εξαιρέσεων, οι αλκαλικοί άστριοι και ο χαλαζίας.

Ο STRECKEISEN (1976) διέκρινε τα υπερβασικά πετρώματα σε περιδοτίτες, πυροξενίτες και κεροστιλβίτες (**Εικ. 1.3**). Τα υπερβασικά πετρώματα που περιέχουν ολιβίνη πάνω από 40% λέγονται περιδοτίτες, ενώ εκείνα που ο ολιβίνης συμμετέχει με ποσοστό μικρότερο του 40% διακρίνονται σε πυροξενίτες και κεροστιλβίτες ανάλογα με το αν επικρατεί ο πυρόξενος ή η κεροστίλβη αντίστοιχα.

Οι περιδοτίτες διακρίνονται στους: α) Δουνίτες. Περιέχουν γύρω στο 90% και πάνω ολιβίνη (κυρίως φορστερίτη) και παρουσιάζουν ανοικτό πράσινο χρώμα (ελαιοπράσινο). β) Χαρτσβουργίτες. Περιέχουν ολιβίνη και ορθοπυρόξενο (συνήθως ενστατίτη ή υπερσθενή). γ) Βερλίτες. Αποτελούνται από ολιβίνη και κλινοπυρόξενο (διαλλαγή ή διοψίδιο). δ) Λερζόλιθους. Περιέχουν σε ίση περίπου αναλογία ολιβίνη, ορθοπυρόξενο και κλινοπυρόξενο. ε) Κιμπερλίτες. Μαρμαρυγιακή ποικιλία περιδοτίτη, η οποία αποτελείται κυρίως από ολιβίνη και φλογοπίτη (ΧΑΤΖΗΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ, 1997).

Οι πυροξενίτες χωρίζονται σε: α) Ορθοπυροξενίτη: Αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από ορθοπυρόξενους. β) Κλινοπυροξενίτη: Περιέχει σχεδόν μόνο κλινοπυρόξενους. γ) Βεβστερίτη: Αποτελείται από ορθοπυρόξενους, κλινοπυρόξενους και ολιβίνη (**Εικ. 1.3α**). Οι κεροστιλβίτες με τη σειρά τους χωρίζονται σύμφωνα με την (**Εικ. 1.3β**). Αυτό που αξίζει επίσης να αναφέρουμε είναι πως τα υπερβασικά πετρώματα υφίστανται εξαλλοιώσεις, η πιο σημαντική εκ των οποίων είναι η σερπεντινίωση, την οποία και θα περιγράψουμε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3.



Εικόνα 1.3: Ταξινόμηση και ονοματολογία υπερμαφικών πετρωμάτων.

α) Υπερμαφικά πετρώματα συνιστάμενα από ολιβίνη, ορθοπυρόξενο και κλινοπυρόξενο

β) Υπερμαφικά πετρώματα που περιέχουν ολιβίνη, πυρόξενο και κερροστίλβη

(ΟΙ = ολιβίνης, Ορπχ = ορθοπυρόξενο, Cpx = κλινοπυρόξενο, Hbl = κερροστίλβη). (Κατά STRECKEISEN, 1976).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΑΚΕΡΑΙΟΥ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Πριν αρχίσουμε να παραθέτουμε τα περιγραφικά, φυσικά, δυναμικά και μηχανικά χαρακτηριστικά είναι σημαντικό να αναφέρουμε τον ορισμό του βράχου. Βράχος (rock) λοιπόν είναι το φυσικό στερεό ορυκτό υλικό που εμφανίζεται σε μεγάλες μάζες ή θραύσματα (ASTM, D653-87) ή κάθε φυσικά σχηματισμένο συσσωμάτωμα ορυκτού υλικού που εμφανίζεται σε μεγάλες μάζες ή θραύσματα (ISRM, 1981).

Ο όρος «βράχος» διακρίνεται σε δύο κύριες κατηγορίες, το ακέραιο πέτρωμα και τη βραχομάζα. Με τον όρο ακέραιο πέτρωμα (intact rock) ή βραχώδες υλικό (rock material) εννοούμε ένα πολυκρυσταλλικό συνεχές ορυκτό στερεό σώμα που έχει συνήθως μέγεθος πυρήνα γεώτρησης και μπορεί να εξεταστεί εργαστηριακά. Είναι απαλλαγμένο από ορατές ασυνέχειες, όπως διακλάσεις, στρώσεις, κ.ά., αλλά μπορεί να περιέχει ασυνέχειες μικρής κλίμακας, όπως σχισμό, φύλλωση κ.ά. (DEERE, 1968). Με τον όρο βραχομάζα (rock mass) εννοούμε ένα ασυνεχές στερεό μέσο που αποτελείται από βραχώδες υλικό, το οποίο διατέμενεται από ασυνέχειες.

Ως ασυνέχεια ορίζεται κάθε επίπεδο αδυναμίας ή αποχωρισμού του πετρώματος (π.χ στρώση, διάκλαση σχιστότητα, ρήγμα κ.λ.π), το οποίο παρουσιάζει πολύ μικρή ή μηδενική αντοχή σε εφελκυσμό.

Η μηχανική συμπεριφορά της βραχομάζας εκτιμάται από την συμπεριφορά του ακεραίου πετρώματος και την επίδραση των ασυνεχειών (Υποκεφάλαιο 2.2).

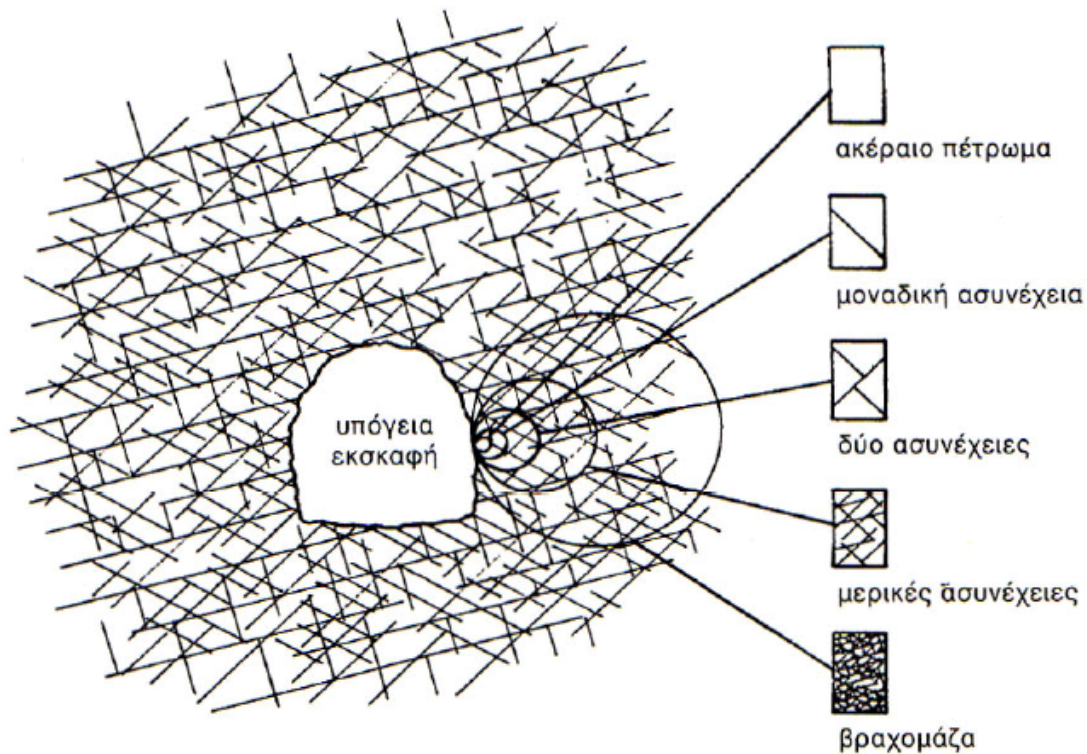
2.1 Ακέραιο πέτρωμα

2.1.1 Χαρακτηριστικά ακεραίου πετρώματος

Για να εξετάσουμε σε ένα ακέραιο πέτρωμα τα φυσικά, δυναμικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του και για να έχουμε ασφαλή αποτελέσματα θα πρέπει να είναι όσο το δυνατό ισότροπο, ομοιογενές και συνεχές. Ισότροπο ονομάζεται ένα πέτρωμα ως προς μια ιδιότητα του, όταν ως προς οποιαδήποτε κατεύθυνσή του, η ιδιότητα αυτή παρουσιάζει την ίδια τιμή. Ανισοτροπία συναντάμε στα πετρώματα που παρουσιάζουν ασυνέχειες,

αφού αντιδρούν διαφορετικά στις εξωτερικές τάσεις, σε διαφορετικές διευθύνσεις. Ομοιογενές χαρακτηρίζεται ένα πέτρωμα, όταν τα συστατικά του (κόκκοι, συγκολλητική ύλη) είναι κατανεμημένα κατά τέτοιο τρόπο, ώστε οποιοδήποτε τμήμα του να παρουσιάζει τις χαρακτηριστικές ιδιότητες του υλικού αυτού. Τέλος ένα πέτρωμα στο οποίο υπάρχουν μικρορωγμές, θα μπορούσε γενικά να χαρακτηριστεί ως ασυνεχές. Ακόμα, και οι μικρότερες δομές πολλές φορές δεν είναι συνεχείς, αφού μπορεί να έχουν σχισμό και μικρορωγμές.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές, πως τα πετρώματα σπάνια μπορούν να χαρακτηριστούν ως ιδανικά υλικά. Για το λόγο αυτό έχει παγκοσμίως συμφωνηθεί πως ακέραιο πέτρωμα ονομάζεται το πέτρωμα που δεν παρουσιάζει ασυνέχειες, ανισοτροπία και ανομοιογένεια εμφανείς δια γυμνού οφθαλμού. Κατά τη μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς του βραχώδους υλικού και της βραχομάζας θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η πιθανή ανισοτροπία του ακέραιου πετρώματος και να μελετώνται τα συστήματα ασυνεχειών που διατέμνουν τη βραχομάζα με σκοπό την κατά το δυνατόν καλύτερη προσέγγιση της μηχανικής συμπεριφοράς του (**Εικ. 2.1**).



Εικόνα 2.1: Θεωρητικό διάγραμμα που δείχνει τη μετατροπή από το ακέραιο πέτρωμα στην έντονα διακλασμένη βραχομάζα με την αύξηση του μεγέθους του δείγματος (HOEK & BROWN, 1980a).

Για να κατανοήσουμε τη συμπεριφορά του ακέραιου πετρώματος είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός ενός συνόλου χαρακτηριστικών. Κάποια από τα χαρακτηριστικά αυτά

προσδιορίζονται εύκολα με τη γεωλογική παρατήρηση, ενώ κάποια άλλα προσδιορίζονται μόνο με εργαστηριακές δοκιμές.

Τα χαρακτηριστικά-παράμετροι-ιδιότητες χωρίζονται σε 4 βασικές κατηγορίες (**Πίν. 2.1**): α) Περιγραφικά-πετρογραφικά, β) Φυσικά, γ) Δυναμικά και δ) Μηχανικά.

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά-παράμετροι που χρειάζεται να προσδιοριστούν με στόχο την κατανόηση της συμπεριφοράς του ακέραιου πετρώματος.

Χαρακτηριστικά- Παράμετροι	Περιγραφή
Περιγραφικά- Πετρογραφικά	Πληροφορίες για το χρώμα, την ορυκτολογική σύσταση, τον λιθολογικό τύπο, την υφή, τον ιστό, το βαθμό αποσάθρωσης-εξαλλοίωσης και το μέγεθος των κόκκων του ακέραιου πετρώματος
Φυσικά	Περιεχόμενη υγρασία, πυκνότητα-φαινόμενο βάρος, πορώδες, λόγος κενών, υδατοαπορροφητικότητα-απορροφητικότητα και η υδροπερατότητα
Δυναμικά	Ταχύτητες διάδοσης υπερήχων, δυναμικό μέτρο ελαστικότητας και διάτμησης, δυναμικός λόγος Poisson
Μηχανικά	Σκληρότητα, αντοχή, παραμόρφωση

Στα επόμενα υποκεφάλαια περιγράφονται αναλυτικά, μόνο τα χαρακτηριστικά, τα οποία εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη.

2.1.1.1 Περιγραφικά-πετρογραφικά χαρακτηριστικά

Στα πλαίσια της γεωλογικής περιγραφής και πετρογραφικής ταξινόμησης, για γεωτεχνικούς σκοπούς, τα πετρώματα διακρίνονται με βάση τον τρόπο σχηματισμού τους σε Ιζηματογενή, Εκρηξιγενή (ή Πυριγενή) και Μεταμορφωμένα. Η ορυκτολογική σύσταση καθορίζεται από τη μακροσκοπική περιγραφή, ενώ όπου απαιτείται ο ακριβής προσδιορισμός της ορυκτολογικής σύστασης του πετρώματος, μπορεί να γίνει μικροσκοπική ανάλυση με τη βοήθεια λεπτών τομών και τη χρήση του πολωτικού μικροσκοπίου. Επειδή όμως η σύσταση του πετρώματος ποικίλει ακόμα και ανάμεσα σε πετρώματα του ίδιου λιθολογικού τύπου, δεν έχουν προκύψει απόλυτες ποσοτικές συσχετίσεις γενικής χρήσης μεταξύ του ποσοστού των περιεχόμενων ορυκτών και των άλλων χαρακτηριστικών του πετρώματος.

Το χρώμα του ανέπαφου πετρώματος, αν και έχει μηδαμινή επιρροή στη συμπεριφορά του, αναφέρεται ως δείκτης, διότι παρέχει χρήσιμη ενδεικτική πληροφόρηση για την ορυκτολογική σύσταση του βράχου, αλλά και για τον πιθανό βαθμό αποσάθρωσης ή εξαλλοίωσης που έχει υποστεί. Για το βαθμό αποσάθρωσης και εξαλλοίωσης, αναφορικά με τη γεωλογική περιγραφή του βραχώδους υλικού, έχει προταθεί ο **Πίνακας 2.2**.

Πίνακας 2.2: Βαθμός αποσάθρωσης και εξαλλοίωσης ακέραιου πετρώματος (ISRM, 1981 και BS 5930, 1981, από ΚΟΥΚΗΣ και ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ, 2002).

Ταξινόμηση	Περιγραφή
Υγιές (fresh)	Κανένα ίχνος αποσάθρωσης.
Αποχρωματισμένο (discoloured)	Το χρώμα του μητρικού πετρώματος έχει αλλάξει. Αν η αλλαγή του χρώματος περιορίζεται σε μερικά ορυκτά πρέπει να αναφέρεται.
θρυμματισμένο (disintegrated)	Το πέτρωμα έχει μετατραπεί σε εύθρυπτο υλικό, ο αρχικός του ιστός διατηρείται και οι κρύσταλλοι δεν έχουν αποσυντεθεί.
Αποσυνθεμένο (decomposed)	Το πέτρωμα έχει μετατραπεί σε έδαφος, ο αρχικός του ιστός διατηρείται, αλλά μερικοί ή όλοι οι κρύσταλλοι έχουν αποσυντεθεί.

Επιπροσθέτως, δυο άλλα βασικά πετρογραφικά χαρακτηριστικά είναι ο ιστός και η υφή. Ιστός (structure) ονομάζεται το σχετικό μέγεθος των ορυκτολογικών συστατικών των πετρωμάτων και ο τρόπος με τον οποίο αυτά συνδέονται μεταξύ τους, ενώ υφή (texture) ονομάζεται ο τρόπος κατά τον οποίο είναι διατεταγμένα τα συστατικά του πετρώματος στο χώρο και τη μορφή η οποία προκύπτει από την πλήρωση του χώρου. Με βάση τα παραπάνω, ένα πέτρωμα μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ομοιογενές ή ετερογενές, ανάλογα με τον αν όλα τα συστατικά που συνιστούν το δείγμα παρουσιάζουν ή όχι παρόμοια υφή και ορυκτολογική σύσταση. Επιπλέον, μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ισότροπο ή ανισότροπο ανάλογα με το αν τα ορυκτολογικά συστατικά παρουσιάζουν ή όχι κάποιο προσανατολισμό στο χώρο.

Το κοκκομετρικό μέγεθος του βραχώδους υλικού μπορεί να αποδοθεί είτε αριθμητικά με το εύρος διακύμανσης και μέση τυπική τιμή όπως π.χ. (1-5) 3mm είτε με ταξινόμηση του υλικού σε μια από τις κατηγορίες του **Πίνακα 2.3** (ISRM, 1981).

Η εκτίμηση του μεγέθους των κόκκων γίνεται με τη χρήση μικροσκοπίου ή μακροσκοπικά με οπτική σύγκριση, μέσα από πρότυπα δείγματα γνωστού κοκκομετρικού μεγέθους. Έχει αποδειχτεί ότι το μέγεθος των κόκκων παίζει σημαντικό ρόλο στην

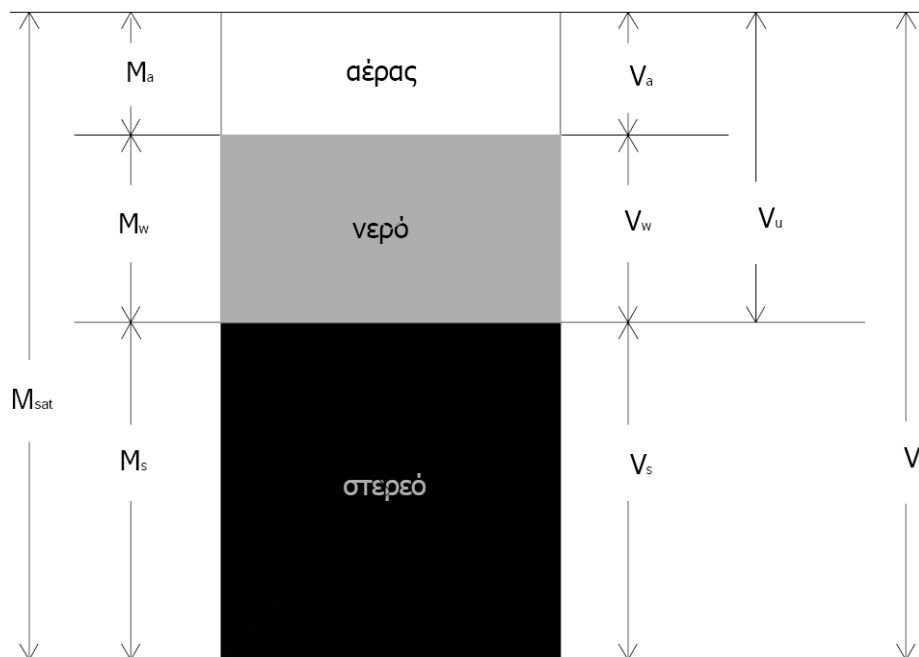
αποσάθρωση-εξαλλοίωση και στις τιμές των φυσικοδυναμικομηχανικών χαρακτηριστικών. Αναλυτικότερα θα περιγραφεί ο ρόλος τους στα επόμενα κεφάλαια.

Πίνακας 2.3: Μέσο μέγεθος κόκκων ακέραιου πετρώματος (ISRM, 1981).

Χαρακτηρισμός	Μέσο μέγεθος κόκκων
Πολύ χονδρόκοκκο	>60mm
Χονδρόκοκκο	60mm-2mm
Μεσόκοκκο	2mm-60μ
Λεπτόκοκκο	60μ-2μ
Πολύ λεπτόκοκκο	<2μ

2.1.1.2 Φυσικά χαρακτηριστικά

Ο βράχος, όπως και το έδαφος, αποτελείται από στερεή ύλη και κενά. Ένα μέρος των κενών μπορεί να περιέχει νερό, ενώ το υπόλοιπο ατμοσφαιρικό αέρα ή άλλα αέρια (Εικ. 2.2). Με βάση τη σύσταση αυτή, περιγράφονται τα φυσικά χαρακτηριστικά του βράχου.



Εικόνα 2.2: Σχέσεις των μαζών και όγκων των στερεών, του νερού και του αέρα στο ακέραιο πέτρωμα.

1. Πορώδες (n): είναι ο λόγος του όγκου των κενών (V_v) προς το συνολικό όγκο (V_t) του πετρώματος.

$$\text{Πορώδες } n = \frac{V_v}{V_t} \cdot 100 \text{ (\%)} \quad (2.1)$$

Το πορώδες διακρίνεται σε: α) πρωτογενές, όπου τα κενά προήρθαν από γεωλογικές διαδικασίες με τις οποίες δημιουργήθηκαν οι σχηματισμοί (ιζήματα, ιζηματογενή και ηφαιστειακά πετρώματα καθώς και πρόσφατες αποθέσεις) και β) δευτερογενές, το οποίο αναπτύσσεται μετά το σχηματισμό του πετρώματος, εξαιτίας του τεκτονισμού του ή/και της διάλυσης του ή/και από φυτά ή ζώα. Δευτερογενές πορώδες παρουσιάζουν οι ασβεστόλιθοι, οι δολομίτες, οι χαλαζίτες, οι λάβες, οι γρανίτες, οι οφιόλιθοι κ.λ.π. Το πρωτογενές πορώδες εξαρτάται από το μέγεθος, το σχήμα και την διάταξη των κόκκων που αποτελούν το σχηματισμό, ενώ το δευτερογενές πορώδες εξαρτάται από την πυκνότητα και το μέγεθος των ρωγμών και των εγκοίλων. Επίσης, το πορώδες διακρίνεται σε ολικό ή αληθές και σε ενεργό. Το ολικό πορώδες δείχνει την ποσότητα του νερού που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα σχηματισμό ή πέτρωμα (πολύ χρήσιμο για την υδρογεωλογία), ενώ το ενεργό πορώδες αναφέρεται στο ποσό των επικοινωνούντων διακένων. Το νερό που υπάρχει στο ενεργό πορώδες είναι το μόνο που μπορεί να μεταβιβαστεί. Στη διατριβή αυτή επιλέχθηκαν πετρώματα που δεν είχαν ασυνέχειες και προσδιορίστηκαν τα ενεργά πορώδη τους (πρωτογενή).

2. Λόγος κενών (e): είναι ο λόγος του όγκου των κενών (V_v) προς τον όγκο των στερεών (V_s) του πετρώματος.

$$\text{Λόγος κενών, } e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.2)$$

3. Πυκνότητα (ρ): είναι ο λόγος της συνολικής μάζας (M_t) προς το συνολικό όγκο (V_t) του πετρώματος.

$$\text{Πυκνότητα, } \rho = \frac{M_t}{V_t} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (2.3)$$

Το φαινόμενο βάρος (γ_b) έχει την ίδια φυσική ερμηνεία με την πυκνότητα. Η διαφορά τους είναι ότι το φαινόμενο βάρος αφορά το συνολικό βάρος (W_t) προς το συνολικό όγκο (V_t).

$$\text{Φαινόμενο βάρος, } \gamma_b = \frac{W_t}{V_t} \text{ (kN/m}^3\text{)} \quad (2.4)$$

Αν το πέτρωμα βρίσκεται σε ξηρή κατάσταση το φαινόμενο βάρος καλείται ξηρό φαινόμενο βάρος (γ_d) και δίνεται από το λόγο του ξηρού βάρους (W_s) προς τον όγκο (V_t) του πετρώματος

$$\text{Ξηρό φαινόμενο βάρος, } \gamma_d = \frac{W_s}{V_t} \text{ (kN/m}^3\text{)} \quad (2.5)$$

Αν το πέτρωμα είναι κορεσμένο τότε το φαινόμενο βάρος ονομάζεται κορεσμένο (γ_{sat}) και αντιστοιχεί στο λόγο του βάρους του κορεσμένου πετρώματος (W_{sat}) προς το

συνολικό του όγκο (V_t).

$$\text{Κορεσμένο φαινόμενο βάρος, } \gamma_{\text{sat}} = \frac{W_{\text{sat}}}{V_t} \text{ (kN/m}^3\text{)} \quad (2.6)$$

4. Υδατοαπορροφητικότητα ή απορροφητικότητα (W_a): είναι η μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να απορροφήσει το πέτρωμα και δίνεται από το λόγο της διαφοράς του βάρους του κορεσμένου δείγματος (W_{sat}) μείον το βάρος του ξηρού δείγματος (W_s) προς το βάρος του ξηρού δείγματος.

$$\text{Απορροφητικότητα, } W_a = \frac{W_{\text{sat}} - W_s}{W_s} 100 \text{ (\%)} \quad (2.7)$$

Αύξηση της πυκνότητας ή του φαινόμενου βάρους σημαίνει πρακτικά μείωση του πορώδους, του λόγου των κενών και της απορροφητικότητας.

Γενικά, οι φυσικές ιδιότητες εξαρτώνται από τον τρόπο και τις συνθήκες σχηματισμού των πετρωμάτων (γενετικά χαρακτηριστικά) καθώς και από τις διεργασίες που επιτελούνται μετά τη γένεση τους (επιγενετικά χαρακτηριστικά). Αυτά επηρεάζουν άμεσα τις δυναμικομηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων. Αύξηση του πορώδους, μείωση δηλαδή της πυκνότητας του πετρώματος επιφέρει μείωση των δυναμικομηχανικών παραμέτρων και μάλιστα υπάρχει και συγκεκριμένη σχέση μεταξύ τους για κάθε πέτρωμα. Με τις εν λόγω συσχετίσεις θα ασχοληθούμε αναλυτικότερα στα επόμενα υποκεφάλαια.

2.1.1.3 Δυναμικά χαρακτηριστικά-παράμετροι

Ύστερα από έρευνες χρόνων, είναι πλέον ευρέως γνωστό πως η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων μέσα από ένα ακέραιο πέτρωμα εξαρτάται από τις ελαστικές παραμέτρους του πετρώματος, την πυκνότητα (η ταχύτητα συνήθως αυξάνεται εκθετικά με την αύξηση της πυκνότητας), το πορώδες και τις κάθε μορφής ασυνέχειες του (η ταχύτητα συνήθως μειώνεται εκθετικά με την αύξηση του πορώδους και των ασυνεχειών). Επίσης πολλοί ερευνητές (SABATAKAKIS et al., 1993; MARINOS et al., 1994; ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ κ.ά., 2002; CHRISTENSEN, 2004; COURTIER et al., 2004 κ.ά.) μελέτησαν τη σχέση μεταξύ της ταχύτητας των επιμηκών (V_p) και των εγκάρσιων (V_s) κυμάτων και παρατήρησαν πως υπάρχει μεταξύ τους γραμμική συσχέτιση.

Τα δυναμικά μέτρα ελαστικότητας (E_d) και διάτμησης (G_d) καθώς και ο λόγος Poisson (ν_d) μπορούν να υπολογιστούν σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

$$E_d = \frac{\rho * V_p^2 * (3 * V_p^2 - 4 * V_s^2)}{V_p^2 - V_s^2} \quad (2.8)$$

$$G_d = \rho * V_s^2 \quad (2.9)$$

$$v_d = \frac{(V_p^2 - 2 * V_s^2)}{2 * (V_p^2 - V_s^2)} \quad (2.10), \text{ όπου}$$

V_p , η ταχύτητα των επιμηκών (P) κυμάτων του ακέραιου πετρώματος,

V_s , η ταχύτητα των εγκάρσιων (S) κυμάτων του ακέραιου πετρώματος,

G_d , το δυναμικό μέτρο διάτμησης του ακέραιου πετρώματος,

v_d , ο δυναμικός λόγος Poisson του ακέραιου πετρώματος,

ρ , η πυκνότητα του ακέραιου πετρώματος,

E_d , το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας του ακέραιου πετρώματος.

Το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας διαφέρει από το στατικό μέτρο ελαστικότητας (E_{st}) που υπολογίζεται από την καμπύλη τάσης-αξονικής παραμόρφωσης κατά την εκτέλεση της δοκιμής μοναξονικής θλίψης (θα αναλυθεί στο υποκεφάλαιο **2.1.1.4.3**).

Ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$E_d = K * E_{st} \quad (2.11)$$

Όπου, K: συντελεστής που συνήθως κυμαίνεται από 1 μέχρι 5.

2.1.1.4 Μηχανικές παράμετροι

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά που μπορούμε να εξετάσουμε σε ένα ακέραιο βράχο-πέτρωμα είναι, η σκληρότητα, η μηχανική αντοχή (αντοχή σε θλίψη, διάτμηση και εφελκυσμό) και η παραμόρφωση.

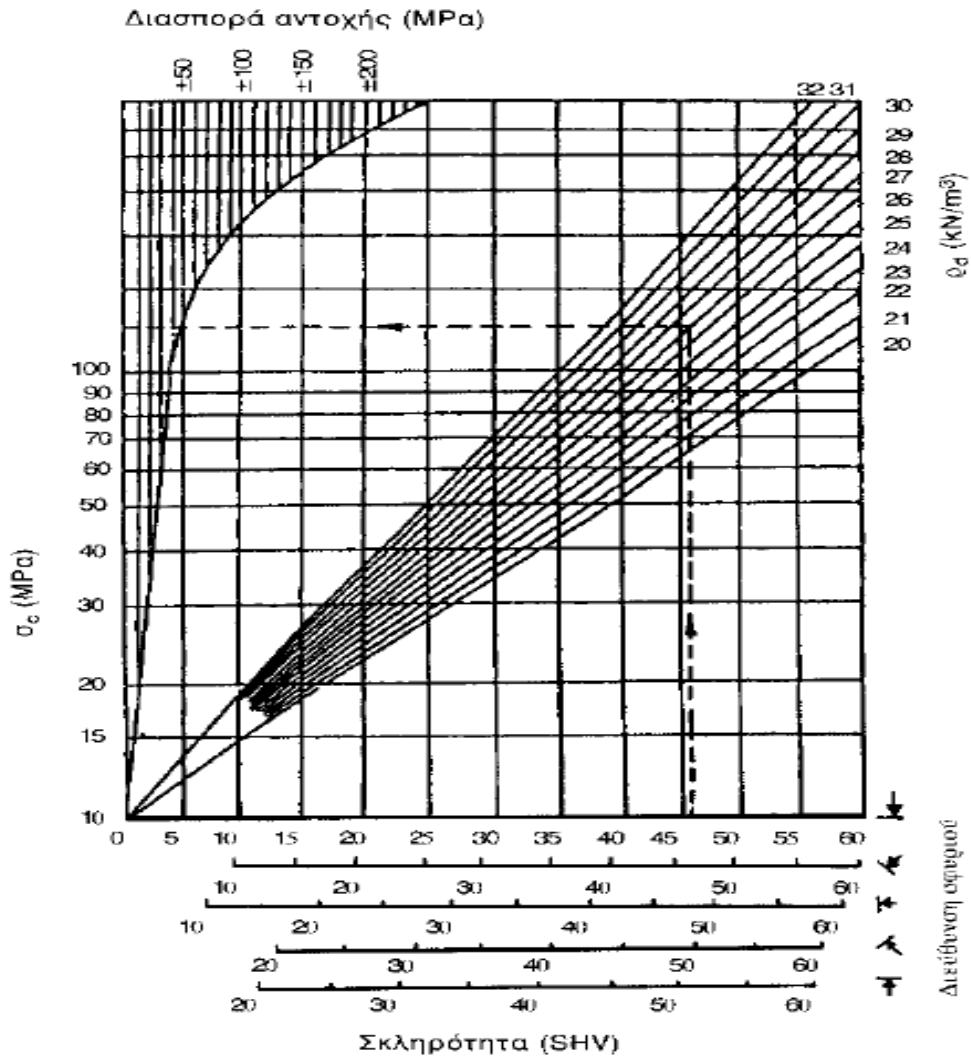
2.1.1.4.1 Σκληρότητα με σφυρί Schmidt

Η σκληρότητα των ορυκτών (φυσική ιδιότητά τους) υπολογίζεται από την αντίσταση που αυτά παρουσιάζουν κατά τη χαραγή τους και εκτιμάται εμπειρικά από την κλίμακα του Mohs (Τάλκης 1, Διαμάντι 10). Αυτή η εμπειρική μέθοδος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα ακέραια πετρώματα, αφού αποτελούνται από πολλά ορυκτά που παρουσιάζουν διαφορετική σκληρότητα. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούμε το σφυρί αναπήδησης Schmidt τύπου L το οποίο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το ίδιο καλά στο εργαστήριο και στην ύπαιθρο. Η σκληρότητα του ανέπαφου πετρώματος (SHV: Schmidt Hammer Values) εξαρτάται από το είδος και την αναλογία των ορυκτών που το συνιστούν, το είδος και την αντοχή των δεσμών που υπάρχουν μεταξύ των ορυκτών αυτών, αλλά και της συγκολλητικής ύλης. Αύξηση της πυκνότητας-μείωση του πορώδους του ακέραιου πετρώματος έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της σκληρότητάς του. Επίσης,

η σκληρότητα αυξάνει, με την αύξηση των ταχυτήτων των κυμάτων.

Γνωρίζοντας την σκληρότητα ενός πετρώματος, μπορούμε μέσω του νομογράμματος (Εικ. 2.3) που έφτιαξαν οι DEERE and MILLER (1966) να υπολογίσουμε την αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη.

Οι ΚΟΥΚΗΣ και ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ (2002) ταξινόμησαν τα ανέπαφα πετρώματα με βάση τη σκληρότητά τους (Πίν. 2.4).



Εικόνα 2.3: Νομόγραμμα μέσω του οποίου υπολογίζουμε την αντοχή σε μοναξονική θλίψη, γνωρίζοντας την σκληρότητα του ακέραίου πετρώματος (από DEERE and MILLER, 1966).

Πίνακας 2.4: Ταξινόμηση ακέραίου πετρώματος με βάση τη σκληρότητα (από ΚΟΥΚΗ & ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗ, 2002).

Κατηγορία πετρωμάτων	Μέση ένδειξη σφυριού (SHV)
Πολύ μαλακά πετρώματα	<10
Μαλακά πετρώματα	10-20
Μέτρια πετρώματα	20-50
Σκληρά πετρώματα	50-60
Πολύ σκληρά πετρώματα	>60

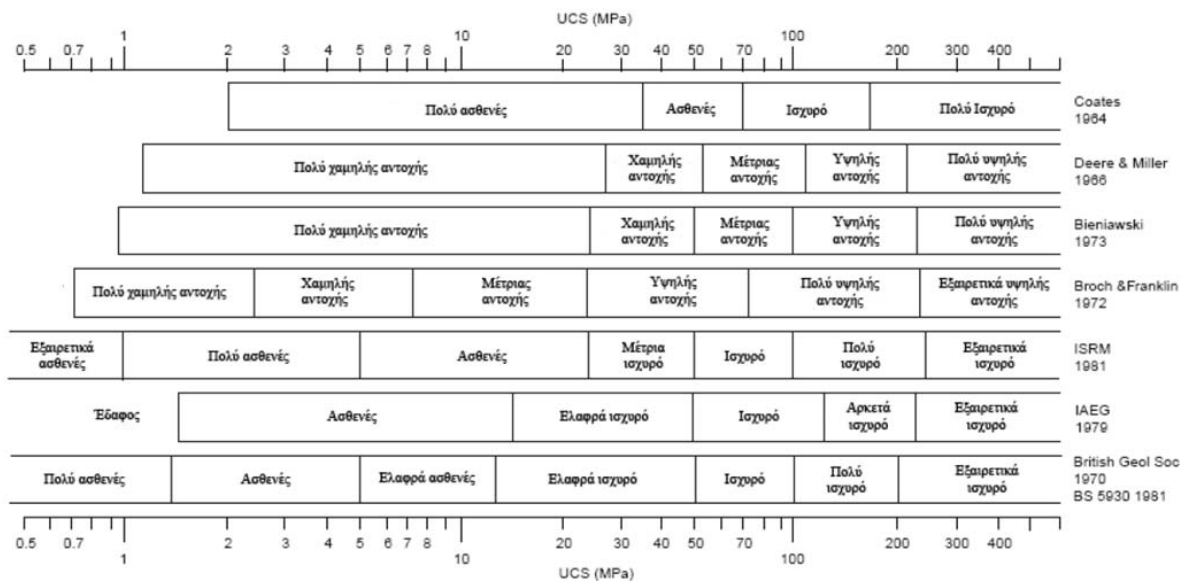
2.1.1.4.2 Μηχανική αντοχή

Η αντοχή ίσως είναι η σημαντικότερη μηχανική παράμετρος και αντιπροσωπεύει το μέγεθος της εφαρμοζόμενης τάσης, ώστε να σημειωθεί θραύση (failure). Η τάση αυτή μπορεί να είναι συμπιεστική (compressive), διατμητική (shear) και εφελκυστική (tensile). Έτσι, αντίστοιχα υπάρχουν και τρεις τύποι αντοχής του βραχώδους υλικού, η αντοχή σε συμπίεση (compressive strength), η διατμητική αντοχή (shear strength) και η αντοχή σε εφελκυσμό (tensile strength). Οι εργαστηριακές δοκιμές που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της αντοχής διακρίνονται σε δοκιμές συμπίεσης ή θλίψης, εφελκυσμού και απευθείας διάτμησης.

Η αντοχή εξαρτάται από την ορυκτολογική σύσταση, το μέγεθος και το σχήμα των κόκκων, την ανισοτροπία μικρής κλίμακας, τη διαμόρφωση των δοκιμίων (όπως η παραλληλία των βάσεων τους, ο λόγος μήκους-διαμέτρου τους κ.λ.π.) και τις συνθήκες εκτέλεσης της δοκιμής (δηλαδή από το ρυθμό φόρτισης, HAWKES & MELLOR, 1970). Αρκετοί επιστήμονες (JUDD & HUBER, 1961; D' ANDREA et al., 1965; DEARMAN et al., 1978; IRFAN & DEARMAN, 1978; VERNIK et al., 1993; AL-HARTHI et al., 1999; TUĞRUL & ZARIF, 1999; KAHRAMAN, 2001; ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ κ.ά., 2002; TUĞRUL, 2004; YASAR & ERDOGAN, 2004; KAHRAMAN et al., 2005 κ.ά.), διερεύνησαν τη σχέση της αντοχής (κυρίως αυτής στη μοναξονική θλίψη) με τις φυσικοδυναμικές ιδιότητες του ακέραίου πετρώματος. Τέλος η αποσάθρωση και η εξαλλοίωση μειώνουν δραματικά την αντοχή. Ειδικά με την επίδραση της σερπεντινίωσης στην αντοχή ασχολήθηκαν οι ROBERTSON (1964), BRACE et al. (1966), COATES & PARSONS (1966), RAO & RAMANA (1974), KOYMANTAKΗΣ (1978), SHIMADA et al. (1983), KILIC (1995), PAVENTI et al. (1996), ESCARTIN et al. (1997a), KILIC et al. (1998), ESCARTIN et al. (2001), GLAWE & LINARD (2003), DIAMANTIS et al. (2007), BRIDEAU, et al. (2007), DIAMANTIS et al. (2009) (μεγαλύτερη ανάλυση στο Κεφάλαιο 3).

Η πιο χαρακτηριστική αντοχή που μετράμε είναι η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (UCS). Με το όρο αυτό, εννοούμε το μέγεθος της εφαρμοζόμενης τάσης σε ένα δοκίμιο βράχου, χωρίς πλευρικές πιέσεις, για να επέλθει η θραύση του. Η εφαρμοζόμενη τάση στην περίπτωση της ανεμπόδιστης ή μονοαξονικής θλίψης είναι συμπιεστική και εφαρμόζεται κατά τον άξονα του δοκιμίου. Η αντοχή σε μοναξονική θλίψη μετρείται στο εργαστήριο άμεσα με τη δοκιμή μοναξονικής θλίψης και έμμεσα στο εργαστήριο ή στην ύπαιθρο με τη δοκιμή σε σημειακή φόρτιση (PLT), καθώς και διαμέσου της σκληρότητας (όπως προαναφέρθηκε).

Από τα τέλη της δεκαετίας του '50, αλλά κυρίως στη δεκαετία του '60 και του '70, πολλοί ήταν οι επιστήμονες που προσπάθησαν να κατηγοριοποιήσουν τα πετρώματα με βάση την αντοχή τους. Όλες σχεδόν οι κατηγοριοποιήσεις έγιναν με βάση την αντοχή σε μοναξονική θλίψη. Πρωτίστως, έγινε διάκριση μεταξύ εδάφους και πετρώματος με τιμή διαχωρισμού το 1MPa. Οι πρώτες προσπάθειες κατάταξης έγιναν από τον COATES (1964), τους DEERE & MILLER (1966), την BRITISH GEOLOGICAL SOCIETY (BS, 5930, 1981), τους BROCH & FRANKLIN (1972), τον BIENIAWSKI (1973), την IAEG (1979) και την ISRM. (1981) (Εικ. 2.4).



Εικόνα 2.4: Κατηγοριοποιήσεις με βάση την αντοχή σε μοναξονική θλίψη των πετρωμάτων (BIENIAWSKI, 1989).

Από τις παραπάνω προσπάθειες ταξινόμησης, η πιο σημαντική, που χρησιμοποιείται ως και σήμερα, είναι αυτή που περιέγραψαν οι DEERE & MILLER (1966). Κατά αυτούς γίνεται διάκριση των πετρωμάτων σε πέντε κατηγορίες (Πίν. 2.5). Στην πρώτη κατηγορία (Πολύ Υψηλής Αντοχής, Α) ανήκουν τα ισχυρά εκρηξιγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα, όπως οι χαλαζίτες, οι διαβάσες και οι βασάλτες. Στη δεύτερη (Υψηλής Αντοχής Β) εντάσσονται τα σκληρά μεταμορφωμένα, τα περισσότερα εκρηξιγενή πετρώματα, καθώς επίσης και οι συγκολλημένοι ψαμμίτες, οι σκληροί σχιστόλιθοι και ορισμένα ανθρακικά ιζηματογενή πετρώματα (ασβεστόλιθοι και δολομίτες). Στην κατηγορία (C) (Μέτριας Αντοχής) κατατάσσονται συνήθως οι πορώδεις ψαμμίτες, οι αργιλοκοί σχιστόλιθοι και ορισμένοι ασβεστόλιθοι. Τέλος οι κατηγορίες (D) (Χαμηλής Αντοχής) και (E) (Πολύ Χαμηλής Αντοχής) περιλαμβάνουν τα αποσαθρωμένα-εξαλλοιωμένα πετρώματα και τα πορώδη μικρής πυκνότητας πετρώματα, όπως είναι οι εύθρυπτοι ψαμμίτες, οι αργιλοκοί σχιστόλιθοι και οι εβαπορίτες.

Πίνακας 2.5: Ταξινόμηση ακέραιου πετρώματος με βάση την αντοχή του σε μοναξονική θλίψη (κατά DEERE & MILLER, 1966).

Κατηγορία	Περιγραφή πετρώματος	Αντοχή σε μοναξονική θλίψη σ_{ci} (MPa)
A	Πολύ υψηλής αντοχής	>225
B	Υψηλής αντοχής	225-112
C	Μέσης αντοχής	112-56
D	Χαμηλής αντοχής	56-28
E	Πολύ χαμηλής αντοχής	<28

Την ίδια χρονιά με τους DEERE & MILLER, οι COATES & PARSON ταξινόμησαν, με τη σειρά τους, τα πετρώματα βασισμένοι στην αντοχή σε μοναξονική θλίψη (Πίν. 2.6).

Πίνακας 2.6: Ταξινόμηση ακέραιου πετρώματος με βάση την αντοχή του σε μοναξονική θλίψη (κατά COATES & PARSON, 1966).

Κατηγορία	Αντοχή σε μοναξονική θλίψη, σ_{ci} (MPa)
Πολύ δυνατά	>175
Δυνατά	175-70
Αδύνατα	<70

Στην περίπτωση που δε μπορεί να πραγματοποιηθεί η δοκιμή της ανεμπόδιστης θλίψης έχει προταθεί από την ISRM (1981) ένας πίνακας κατάταξης του πετρώματος ως προς την αντοχή, με βάση την αντίδραση που παρουσιάζει το πέτρωμα στο χτύπημα με γεωλογικό σφυρί και στη χάραξη με μαχαίριδιο (Πίν. 2.7).

Τα αποτελέσματα της δοκιμής σε ανεμπόδιστη θλίψη εφαρμόζονται, εκτός από τον προσδιορισμό της αντοχής του ακέραιου πετρώματος και για τον έμμεσο προσδιορισμό της αντοχής και παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας. Επίσης, η αντοχή σε μοναξονική θλίψη περιλαμβάνεται στις κύριες παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό και την ταξινόμηση της βραχομάζας. Όπως προαναφέραμε η αντοχή σε μοναξονική θλίψη μπορεί να υπολογιστεί έμμεσα και από τη δοκιμή σημειακής φόρτισης. Το πλεονέκτημα της δοκιμής σημειακής φόρτισης σε σχέση με τη δοκιμή της ανεμπόδιστης θλίψης όσο αφορά τον προσδιορισμό της αντοχής είναι ότι η δοκιμή αυτή είναι απλούστερη, γρηγορότερη, οικονομικότερη και ότι μπορεί να χρησιμοποιεί και ακανόνιστα δοκίμια. Επιπλέον η δοκιμή σημειακής φόρτισης είναι φορητή και μπορεί έτσι να πραγματοποιηθεί και επί τόπου, με αποτέλεσμα να παρέχει έμμεσα μεν,

αλλά γρήγορη εκτίμηση της αντοχής του υλικού σε μοναξονική θλίψη. Ο δείκτης που προσδιορίζεται από τη δοκιμή αυτή είναι ο δείκτης σημειακής φόρτισης (I_s). Επειδή αυτός ο δείκτης επηρεάζεται από τη διάμετρο του δοκιμίου, για να είναι τα αποτελέσματα συγκρίσιμα, οι επιστήμονες χρησιμοποιούν τελικά τον ανηγμένο δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50}) που αναφέρεται σε διάμετρο 50mm.

Πίνακας 2.7: Ταξινόμηση του ακέραiou πετρώματος με βάση τον έμμεσο προσδιορισμό της αντοχής σε μοναξονική θλίψη που προκύπτει από την αντίδραση που παρουσιάζει το πέτρωμα στο χτύπημα με γεωλογικό σφυρί και στη χάραξη με μαχαιρίδιο (ISRM, 1981).

Κατάταξη πετρώματος	Αντοχή σε μοναξονική θλίψη (MPa)	Δείκτης Σημειακής Φόρτισης (MPa)	Επί τόπου εκτίμηση
Εξαιρετικά υψηλής αντοχής	>250	>10	Ο πυρήνας (δείγμα) δεν σπάει με το γεωλογικό σφυρί
Πολύ υψηλής αντοχής	100-250	4-10	Για να σπάσει ο πυρήνας (δείγμα) χρειάζονται πολλά κτυπήματα με το γεωλογικό σφυρί
Υψηλής αντοχής	50-100	2-4	Για να σπάσει ο πυρήνας χρειάζονται περισσότερα από ένα κτυπήματα
Μέσης αντοχής	25-50	1-2	Ο πυρήνας δεν χαράσσεται με το μαχαιρίδιο και μπορεί να σπάσει με ένα κτύπημα γεωλογικού σφυριού
Χαμηλής αντοχής	5-25	-	Ο πυρήνας χαράσσεται δύσκολα με το μαχαιρίδιο και η μύτη του γεωλογικού σφυριού δημιουργεί αβαθείς χαραγές
Πολύ χαμηλής αντοχής	1-5	-	Ο πυρήνας σπάει σε πολλά κομμάτια με ένα χτύπημα με το γεωλογικό σφυρί και χαράσσεται εύκολα με το μαχαιρίδιο
Εξαιρετικά χαμηλής αντοχής	0.25-1	-	Ο πυρήνας χαράσσεται εύκολα με το νύχι του αντίχειρα

Στον **Πίνακα 2.8** φαίνεται η ταξινόμηση του ακέραiou πετρώματος με βάση τον ανηγμένο δείκτη σημειακής φόρτισης, ενώ στον **Πίνακα 2.9** παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές τιμές του I_{S50} για διάφορα υλικά (GOODMAN, 1989).

Πίνακας 2.8: Χαρακτηρισμός της αντοχής του ακέραiou πετρώματος με βάση την τιμή του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης (BIENIAWSKI, 1975).

Χαρακτηρισμός αντοχής	Ανηγμένος δείκτης σημειακής φόρτισης, I_{S50} (MPa)
Πολύ υψηλής αντοχής	>8
Υψηλής αντοχής	4-8
Μέσης αντοχής	2-4
Χαμηλής αντοχής	1-2
Πολύ χαμηλής αντοχής	Δεν συνιστάται η δοκιμή

Πίνακας 2.9: Χαρακτηριστικές τιμές του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης για διάφορα υλικά (GOODMAN, 1989).

Υλικό	Ανηγμένος δείκτης σημειακής φόρτισης, I_{S50} (MPa)
Ψαμμίτες και ιλυόλιθοι Τεταρτογενούς	0.05-1
Κάρβουνο	0.2-2
Ασβεστόλιθοι	0.25-8
Ιλυόλιθοι	0.2-8
Ηφαιστειακά πετρώματα	3-15
Δολομίτης	6-11

Πολλοί ερευνητές (D'ANDREA et al., 1964; AVON, 1972; BROCH & FRANKLIN, 1972; BIENIAWSKI, 1974a; 1975; CARTER & SNEDDON, 1977; AL-JASSAR & HAWKINS, 1979; JENNI & BALISSAT, 1979; CAVAGNARO, 1980; HASSANI et al., 1980; READ et al., 1980; BEAVIS et al., 1982; FORSTER, 1983; GUNSALLUS & KULHAWY, 1984; NORBURY, 1984; ISRM, 1985; BROOK, 1985; GOODMAN, 1989; VALLEJO et al., 1989; CARGILL & SHAKOOR, 1990; GRASSO et al., 1992; SINGH, V.K & SINGH D.P, 1993; CHAU & WONG, 1996; SMITH, 1997; HAWKINS, 1998; ROMANA, 1999; KAHRAMAN, 2001; THURO & PLINNINGER, 2001; TSIAMBAOS & SABATAKAKIS, 2004; KAHRAMAN et al., 2005; FENER et al., 2005 κ.ά.) ασχολήθηκαν με τη συσχέτιση του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης με την αντοχή σε μοναξονική θλίψη. Κάποιοι εξ αυτών διατύπωσαν εκθετική συσχέτιση μεταξύ των δυο προαναφερόμενων μηχανικών παραμέτρων, η πλειοψηφία όμως κατέληξε σε γραμμική συσχέτιση. Όλοι όμως συμφωνούν πως η αντοχή σε μοναξονική θλίψη αυξάνει όταν αυξάνει ο ανηγμένος δείκτης σημειακής φόρτισης.

Όπως προαναφέραμε εκτός από την αντοχή σε μοναξονική θλίψη υπάρχει και η αντοχή σε εφελκυσμό. Η εφελκυστική αντοχή του ακέραιου πετρώματος είναι από τις μηχανικές ιδιότητες του, που προσδιορίζονται λιγότερο, αφού στην φύση κυρίως επικρατούν θλιπτικές τάσεις. Συνήθως υπολογίζεται από τη δοκιμή θλίψης κατά γενέτειρα ή αλλιώς Brazilian test, όπως είναι ευρέως γνωστή. Πρόκειται για δοκιμή που προσδιορίζει με έμμεσο τρόπο την εφελκυστική αντοχή, πραγματοποιείται στο εργαστήριο και οι τιμές της είναι γενικά μικρότερες από αυτές της αντοχής σε μοναξονική θλίψη (5-10% της αντοχής σε μοναξονική θλίψη, HENDRON, 1972) και της αντοχής σε διάτμηση (JOHNSON and DEGRAFF, 1988).

Η διατμητική αντοχή του ακέραιου πετρώματος και οι παράμετροί της (συνοχή, c_i και γωνία εσωτερικής τριβής, ϕ_{ci}) μετριοούνται στο εργαστήριο με την εκτέλεση δοκιμών τριαξονικής θλίψης (πιο συχνή) ή άμεσης διάτμησης.

Η δοκιμή σε τριαξονική θλίψη πραγματοποιείται με την εφαρμογή μιας σταθερής πλευρικής τάσης (σ_3) περιμετρικά γύρω από το κυλινδρικό δοκίμιο και σε όλη την επιφάνεια του και μιας συνεχώς αυξανόμενης αξονικής τάσης (σ_1). Αφού γνωρίζουμε τις τιμές της πλευρικής τάσης και της μέγιστης αξονικής τάσης, που ασκούμε στο δοκίμιο, μπορούμε να καθορίσουμε την περιβάλλουσα θραύσης και τις παραμέτρους της διατμητικής αντοχής του βραχώδους υλικού. Τα αποτελέσματα της δοκιμής αυτής χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της σταθεράς m_i , του βραχώδους υλικού με σκοπό την εφαρμογή του κριτηρίου θραύσης Hoek-Brown (θα αναλυθεί σε επόμενο υποκεφάλαιο, HOEK and BROWN, 1980a, 1988, HOEK, et al., 1992) για την εκτίμηση της αντοχής, των διατμητικών παραμέτρων (c) και (ϕ) και το μέτρο παραμόρφωσης της βραχομάζας. Γενικά, αυξανόμενης της πλευρικής πίεσης (σ_3) αυξάνεται και η μηχανική αντοχή. Η δοκιμή της τριαξονικής θλίψης προσομοιάζει καλύτερα τις πραγματικές συνθήκες στις οποίες βρίσκεται το πέτρωμα, σε σχέση με τη δοκιμή της μοναξονικής θλίψης.

2.1.1.4.3 Παραμόρφωση ακέραιου πετρώματος

Όταν ένα σώμα βρεθεί υπό την επίδραση εξωτερικής τάσης ή συνδυασμό τάσεων υφίσταται παραμόρφωση σε όλη τη μάζα του, η οποία οδηγεί σε αλλαγή των διαστάσεων, ή του όγκου ή/και του σχήματός του. Η παραμόρφωση διακρίνεται σε: ελαστική (elastic), πλαστική (plastic) και ερπυστική ή ιξώδης (creep or viscous). Στην ελαστική παραμόρφωση οι σχηματισμοί επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση όταν πάψουν να ασκούνται πιέσεις πάνω σε αυτούς (οι παραμορφώσεις δεν παραμένουν με την

αφαίρεση του φορτίου). Στην πλαστική μετά την παύση των τάσεων που ασκούνται σε αυτά, οι παραμορφώσεις παραμένουν χωρίς όμως να σημειωθεί αστοχία του υλικού. Τέτοιες παραμορφώσεις είναι η γράμμωση, η φύλλωση-σχιστότητα και οι πτυχές. Ερπυσμό έχουμε όταν η παραμόρφωση εξαρτάται από το χρόνο. Το κατά πόσο ένα υλικό παρουσιάζει τους νόμους της θεωρίας της ελαστικότητας εξαρτάται από το βαθμό που πλησιάζει το ιδανικά ελαστικό σώμα. Αυτό όπως έχει ήδη αναφερθεί, εξαρτάται από τρεις βασικούς παράγοντες: την ισοτροπία, την ομοιογένεια και τη συνέχεια. Τα πετρώματα, αφού δεν συνδυάζουν απόλυτα και τις τρεις παραμέτρους δεν είναι τελείως ελαστικά.

Για την περιγραφή της παραμόρφωσης χρησιμοποιούνται δυο ειδών παράμετροι. Η ανηγμένη γραμμική αξονική (Longitudinal strain, ϵ_a) ή πλευρική (diametrical strain, ϵ_d) παραμόρφωση (δίνεται από τη μεταβολή του μήκους του δοκιμίου προς το αρχικό μήκος του ή μεταβολή της διαμέτρου του προς την αρχική διάμετρο αντίστοιχα) και η ανηγμένη διατμητική παραμόρφωση (Shear strain, γ) (η εφαπτομένη της γωνίας κατά της οποία στρέφεται το δοκίμιο). Κυρίως όμως ασχολούμαστε με την ανηγμένη γραμμική παραμόρφωση.

Η παραμόρφωση ενός ακέραιου πετρώματος εξαρτάται από την πλευρική πίεση, τη θερμοκρασία, την ταχύτητα παραμόρφωσης, το νερό των πόρων. Η μελέτη των χαρακτηριστικών παραμόρφωσης του βραχώδους υλικού γίνεται στο εργαστήριο κατά τον προσδιορισμό της αντοχής σε μοναξονική θλίψη του βραχώδους δοκιμίου. Γίνεται δηλαδή μέτρηση των αξονικών και πλευρικών παραμορφώσεων που συμβαίνουν για κάθε εφαρμοζόμενη αξονική τάση στο δοκίμιο.

Για να περιγραφεί η ελαστική συμπεριφορά ενός στερεού υλικού είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός των ελαστικών σταθερών του. Οι πιο σημαντικές από αυτές είναι:

- Το στατικό μέτρο ελαστικότητας (E_{st}) που ορίζεται από το νόμο του HOOKE σαν ο λόγος της εξασκούμενης αξονικής τάσης ($\Delta\sigma$) προς την αξονική παραμόρφωση ($\Delta\epsilon$), αντιπροσωπεύει τη δυσκαμψία του υλικού, υπολογίζεται από τα διάγραμμα τάσης- αξονικής παραμόρφωσης και έχει μονάδες τάσης (MPa ή GPa). Όσο μεγαλύτερη τιμή έχει το E τόσο πιο δύσκαμπτο είναι το υλικό.

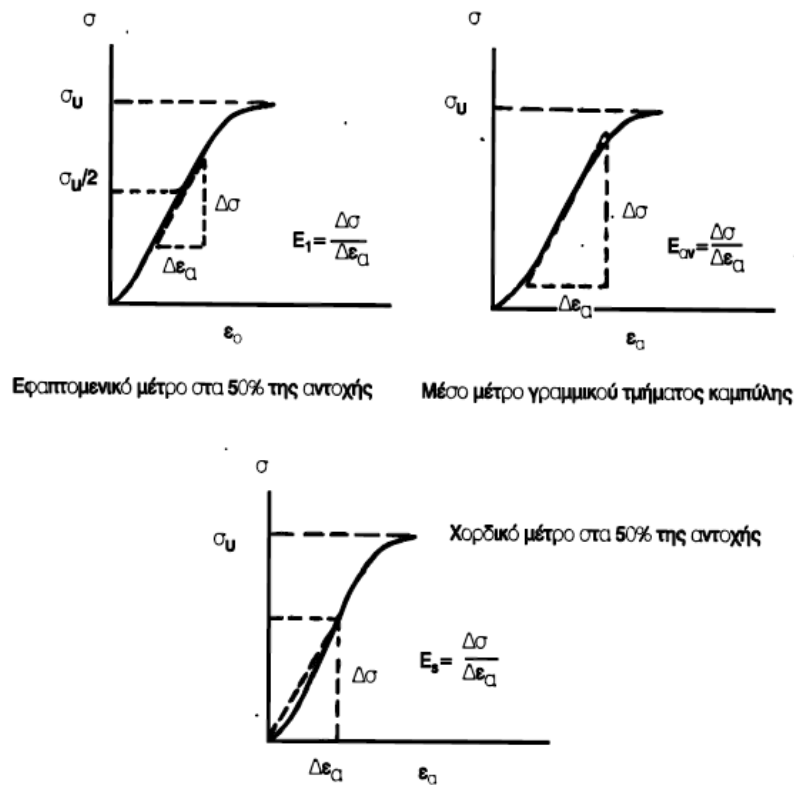
$$E_{st} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (2.12)$$

Σύμφωνα με την ISRM (1981) το μέτρο ελαστικότητας διακρίνεται σε (**Εικ. 2.5**):

α) Εφαπτομενικό μέτρο Ελαστικότητας (Tangent Young's modulus, E_t , το περισσότερο χρησιμοποιημένο): μετριέται σαν η κλίση της εφαπτομένης της καμπύλης

τάσεων-αξονικών παραμορφώσεων στο σημείο που η τάση είναι το 50% της αντοχής του πετρώματος σε μοναξονική θλίψη, β) μέσο μέτρο Ελαστικότητας (Average Young's modulus, E_{av}): υπολογίζεται από τη μέση κλίση του γραμμικού τμήματος της καμπύλης τάσεων-αξονικών παραμορφώσεων, γ) χορδικό μέτρο Ελαστικότητας (Secant Young's modulus, E_s): μετριέται σαν η κλίση της ευθείας που διέρχεται από το σημείο, που η τάση είναι το 50% της αντοχής του πετρώματος σε μοναξονική θλίψη και την αρχή των αξόνων στο διάγραμμα τάσεων-αξονικών παραμορφώσεων.

Είναι πολύ σημαντικό να αναφέρουμε πως όταν ένα υλικό δεν παρουσιάζει ελαστική συμπεριφορά ή δεν είναι γνωστό αν η συμπεριφορά του είναι ελαστική (δεν έχει αποφορτιστεί) τότε το μέτρο ελαστικότητας ονομάζεται μέτρο παραμορφωσιμότητας.



Εικόνα 2.5: Διάκριση μέτρων ελαστικότητας βραχώδους υλικού (κατά ISRM, 1981).

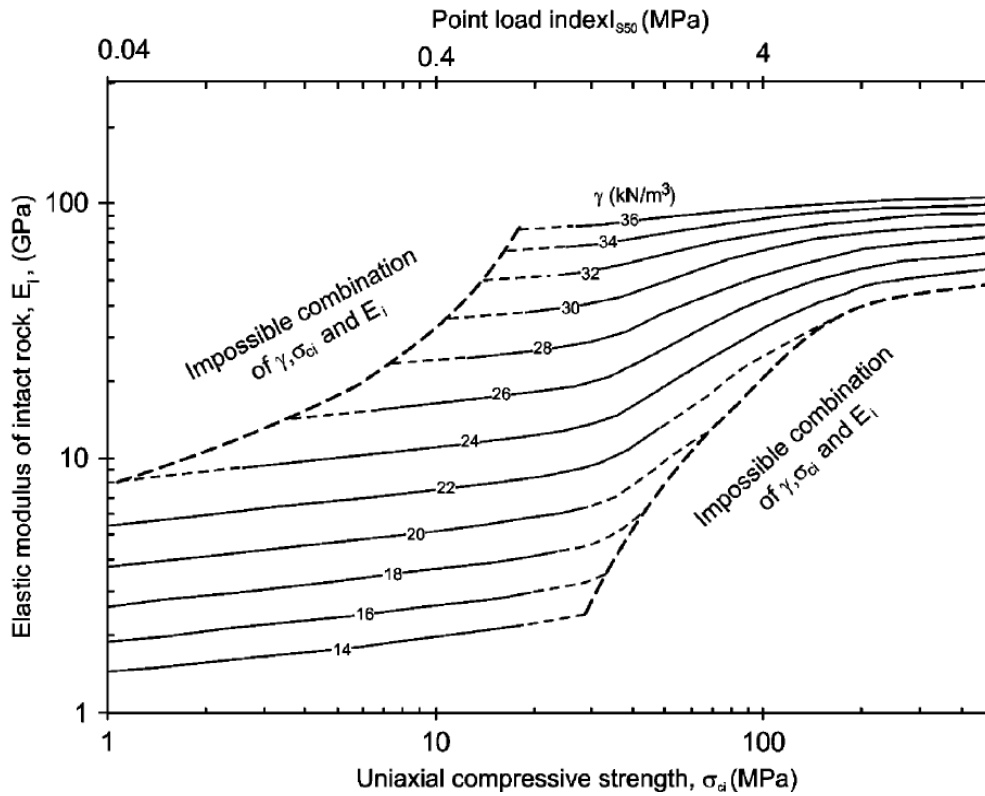
- Ο στατικός λόγος Poisson (ν_{st}) ορίζεται ως ο λόγος της πλευρικής (ϵ_d) προς την αξονική (ϵ_a) παραμόρφωση του υλικού και είναι καθαρός αριθμός.

$$\nu_{st} = -\frac{\epsilon_d}{\epsilon_a} \quad (2.13)$$

Ο στατικός λόγος Poisson υπολογίζεται από τα διαγράμματα τάσης-αξονικής παραμόρφωσης και τάσης- διαμετρικής παραμόρφωσης.

Οι D'ANDREA et al. (1965) και DEERE & MILLER (1966) έδειξαν ότι η σχέση μεταξύ αντοχής και μέτρου ελαστικότητας είναι γραμμική και αύξουσα, ενώ ο λόγος

Poisson είναι αντιστρόφως ανάλογος με την αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας, με όχι ικανοποιητικό συντελεστή συσχέτισης. Οι SONMEZ et al. (2006) χρησιμοποιώντας τεχνητά νευρωνικά δίκτυα κατάφεραν να συσχετίσουν το μέτρο ελαστικότητας με το δείκτη σημειακής φόρτισης, την αντοχή σε μοναξονική θλίψη και το φαινόμενο βάρος (Εικ. 2.6).

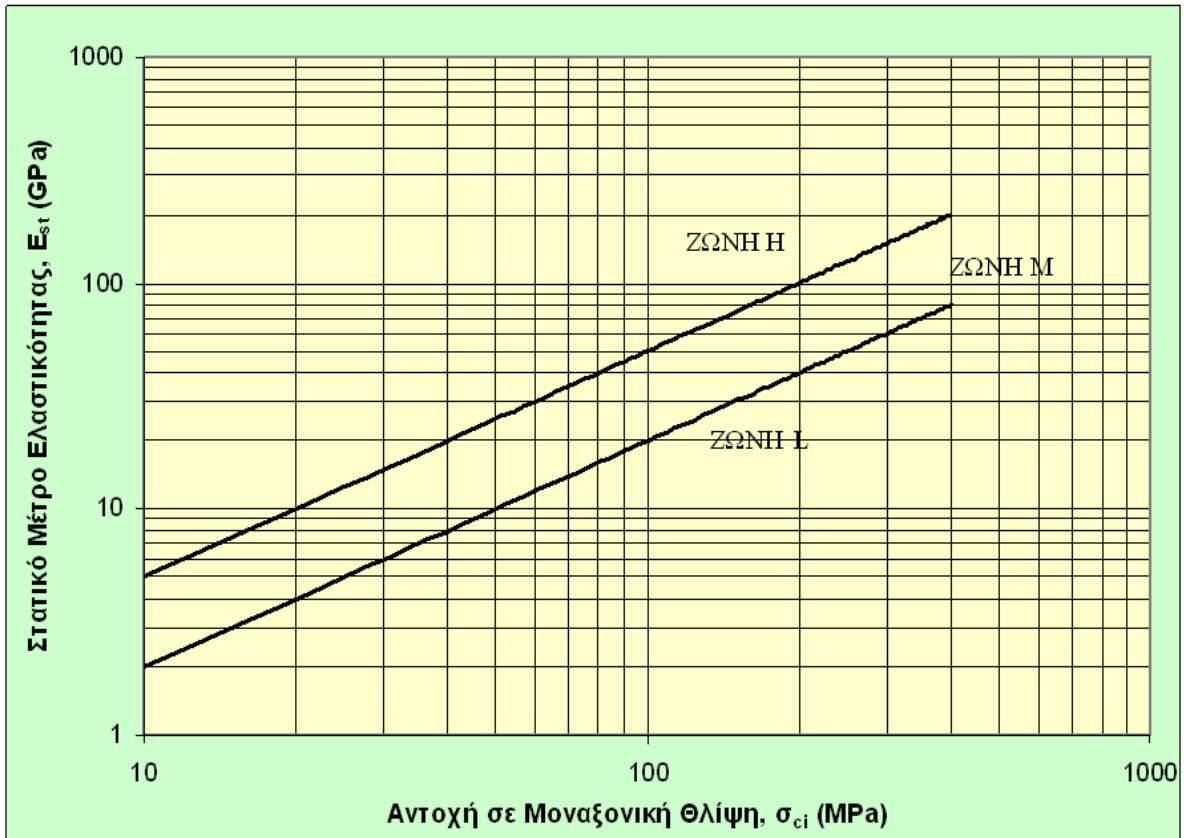


Εικόνα 2.6: Συσχέτιση μέτρου ελαστικότητας με το δείκτη σημειακής φόρτισης, την αντοχή σε μοναξονική θλίψη και το φαινόμενο βάρος του ακέραiou πετρώματος με τη χρήση τεχνητού νευρωνικού δικτύου (SONMEZ et al., 2006).

Τέλος, είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως οι DEERE & MILLER (1966) ταξινομούν τα ανέπαφα πετρώματα με βάση την παράμετρο $M_R = E_{st}/\sigma_{ci}$. Έτσι, πρότειναν 3 κατατάξεις (Πίν. 2.10, Εικ. 2.7), την κατηγορία υψηλού λόγου (H, Ελαστικά πετρώματα), του μέσου λόγου (M, Ημιελαστικά) και του χαμηλού (L, Μη-ελαστικά). Επίσης, το 1968 ο DEERE και το 2001 οι PALMSTROM & SINGH έδωσαν χαρακτηριστικές τιμές της παραμέτρου M_R για διάφορα πετρώματα (Πίν. 2.11, 2.12).

Πίνακας 2.10: Ταξινόμηση ακέραiou πετρώματος με βάση την παράμετρο M_R (κατά DEERE & MILLER, 1966).

Κατηγορία	Παράμετρος $M_R = E_{st}/\sigma_{ci}$	Πετρώματα
Υψηλού λόγου (H)	>500	Ασβεστόλιθοι, Δολομίτες, Μάρμαρα
Μέσου λόγου (M)	500-200	Εκρηξιγενή, Ιζηματογενή
Χαμηλού (L)	<200	Αργιλικόι σχιστόλιθοι, Φυλλίτες



Εικόνα 2.7: Διάγραμμα στατικού μέτρου ελαστικότητας και αντοχής σε μοναξονική θλίψη (DEERE & MILLER, 1966).

Πίνακας 2.11: Χαρακτηριστικές τιμές M_R (κατά DEERE, 1968).

Τύπος πετρώματος	Μέση τιμή της M_R	Διακύμανση της M_R
Διαβάσης	300	280-400
Γρανίτης	400	300-500
Βασάλτης και πετρώματα που ρέουν	300	200-600
Ασβεστόλιθος και δολομίτης	420	250-700
Ψαμμίτης	220	120-400
Αργιλικοί σχίστες	130	60-300
Χαλαζίτης	400	300-600
Γνεύσιος	400	200-700
Μάρμαρο	1000	700-1200
Σχιστόλιθος // σχιστότητα	600	250-1600
Σχιστόλιθος ⊥ σχιστότητα	250	150-400

Πίνακας 2.12: Ταξινόμηση ακέραιου πετρώματος με βάση την παράμετρο M_R (κατά PALMSTROM & SINGH, 2001).

Τύπος	Ομάδα		Υφή			
			Αδρή	Μέση	Λεπτή	Πολύ λεπτή
ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ	Κλαστικά		Κροκαλοπαγή 300-400 Λατυποπαγή 230-350	Ψαμμίτες 200-350	Πυλίθιοι 350-400 Γραουβάκες 350	Αργιλόλιθοι 200-300 Αργιλικός σχ. 150-250 Μάργες 150-200
	Μη κλαστικά	Ανθρακικά	Κρυσταλλικοί Ασβεστόλιθοι 400-600	Σπαριτικοί Ασβεστόλιθοι 600-800	Μικριτικοί Ασβεστόλιθ 800-1000	Δολομίτες 350-500
		Εβαπορίτες		Γύψος (350)	Ανυδρίτης (350)	
		Οργανικά				Κρητίς 1000+
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ	Μη σχιστοποιημένα		Μάρμαρο 700-1000	Κερατίτες 400-700 Μεταψαμμίτες 200-300	Χαλαζίτες 300-450	
	Ελαφρά σχιστοποιημένα		Μιγματίτες 350-400	Αμφιβολίτες 400-500	Γνεύσιοι 300-750	
	Σχιστοποιημένα			Σχητόλιθοι 250-1100	Φυλλίτες 300-800	Αργιλικόι σχιστόλιθοι 400-600
ΠΥΡΙΓΕΝΗ	Πλουτόνια	Ανοιχτόχρωμα	Γρανίτης 300-550	Διορίτης 300-350		
		Γρανοδιορίτης 400-450				
	Σκοτεινόχρωμα	Γάββρος 400-500	Δολερίτης 300-400			
		Νορίτης 350-400				
	Υποαβυσσικά		Πορφύρης (400)		Διαβάσης 300-350	Περιδοτίτης 250-300
	Ηφαιστειακά	Λάβα		Ρυόλιθος 300-500 Ανδεσίτης 300-500	Δακίτης 350-450 Βασάλτης 250-450	
Πυροκλαστικά		Ηφ. Κροκαλοπαγή 400-600	Ηφ. Λατυποπαγή (500)	Τόφφοι 200-400		

2.1.2 Κριτήρια θραύσης ακέραiou πετρώματος

Γενικά υπάρχει ένας κρίσιμος συνδυασμός των κύριων τάσεων σ_1 και σ_3 που δρουν στο πέτρωμα, ο οποίος μπορεί να προκαλέσει τη θραύση (αστοχία) του. Αυτός ο συνδυασμός αποτελεί το κριτήριο θραύσης. Η εντατική κατάσταση που βρίσκεται το ακέραιο πέτρωμα όταν εφαρμοστεί μια τάση σε ένα σημείο του παριστάνεται με τον κύκλο του Mohr. Ο κύκλος σχεδιάζεται σε διάγραμμα με άξονα y , τις διατμητικές τάσεις και άξονα x , τις ορθές τάσεις που ενεργούν στο επίπεδο θραύσης.

Υπάρχουν πολλά κριτήρια θραύσης για το ακέραιο πέτρωμα, δύο όμως έχουν κυριαρχήσει και χρησιμοποιούνται συνήθως:

❖ Mohr-Coulomb. Θεωρείται από τα πιο απλά κριτήρια θραύσης. Η απεικόνιση του είναι ευθεία γραμμή που εφάπτεται σε όλους τους κύκλους (περιβάλλουσα θραύσης του Mohr). Οι κύκλοι του Mohr έχουν κέντρο $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$ και ακτίνα $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$, όπου σ_1 και σ_3 ο κρίσιμος συνδυασμός των κύριων τάσεων που οδηγεί σε αστοχία. Η εξίσωση του κριτηρίου δίνεται από:

$$\tau_p = c_{ci} + \sigma \epsilon\phi_{ci} \quad (2.14)$$

όπου,

τ_p , η μέγιστη διατμητική αντοχή του ακέραiou πετρώματος,

c_{ci} , η συνοχή του ακέραiou πετρώματος,

σ , η εφαρμοζόμενη ορθή τάση στο ακέραιο πέτρωμα,

ϕ_{ci} , η γωνία εσωτερικής τριβής του ακέραiou πετρώματος.

Από πειραματικά αποτελέσματα όμως έχει γίνει σαφές ότι η σχέση των κύριων τάσεων και συγκεκριμένα της διαφορικής τάσης ($\sigma_1 - \sigma_3$) και της πλευρικής (σ_3) δεν ακολουθεί γραμμική σχέση αλλά αντιπροσωπεύεται από μια καμπύλη γραμμή.

Γενικά κάθε ζεύγος σ_1 , σ_3 που δίνει κύκλο που βρίσκεται κάτω από την περιβάλλουσα θραύσης του Mohr δεν προκαλεί αστοχία στο δοκίμιο, ενώ κάθε κύκλος που εφάπτεται στην περιβάλλουσα προκύπτει από κρίσιμο συνδυασμό σ_1 , σ_3 που οδηγεί σε αστοχία του δοκιμίου. Δε μπορεί να υπάρξει κύκλος που να τέμνεται από την περιβάλλουσα γιατί τότε θα είχαμε ήδη αστοχία του δοκιμίου.

❖ Hoek-Brown (1980a). Πρόκειται για ένα εμπειρικό κριτήριο που δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} [m_i (\sigma'_3 / \sigma_{ci}) + 1]^{1/2} \quad (2.15)$$

όπου,

σ'_1 , σ'_3 , η μέγιστη και η ελάχιστη ενεργή τάση αντίστοιχα, κατά τη θραύση του ακέραiou πετρώματος,

σ_{ci} , η αντοχή σε μοναξονική θλίψη του ακέραιου πετρώματος,

m_i , σταθερά του πετρώματος που εξαρτάται από τις ιδιότητες του ακέραιου πετρώματος.

Η τιμή της σταθεράς m_i , μειώνεται όσο αυξάνεται ο βαθμός της πρωτογενούς θραύσης του ακέραιου πετρώματος (HOEK and BROWN, 1980b). Για τον καθορισμό της τιμής της σταθεράς m_i , αλλά και της τιμής της αντοχής σε μοναξονική θλίψη σ_{ci} , οι HOEK & BROWN (1980b) προτείνουν την εκτέλεση τριαξονικών δοκιμών σε πέντε τουλάχιστον δοκίμια του πετρώματος με διαφορετικές πλευρικές τάσεις που οι τιμές τους κυμαίνονται $0 < \sigma_3 < 0.5 \sigma_{ci}$. Στη συνέχεια μπορεί να γίνει στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων της δοκιμής σε τριαξονική φόρτιση και προσδιορισμός των σ_{ci} , και m_i μέσω του προγράμματος Roclab (θα περιγραφεί αναλυτικότερα στο τέλος του κεφαλαίου). Οι HOEK et al. (1995) μελετώντας τα αποτελέσματα από δοκιμές τριαξονικής φόρτισης που πραγματοποιήθηκαν από διάφορους επιστήμονες και για διαφορετικά πετρώματα, πρότειναν κάποιες τιμές για τη σταθερά m_i . Οι HOEK & MARINOS (2000) και MARINOS & HOEK (2000, 2001) αναθεώρησαν κάποιες από τις τιμές αυτές και κατέληξαν στον **Πίνακα 2.13**. Πρόκειται για ενδεικτικές τιμές, οι οποίες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο σε προκαταρκτικό επίπεδο σχεδιασμού του τεχνικού έργου και εφόσον τα χρονικά περιθώρια ή η δυσκολία στη διαμόρφωση του υλικού δεν επιτρέπουν την πραγματοποίηση δοκιμών τριαξονικής στο εργαστήριο. Σε κάθε άλλη περίπτωση θα πρέπει να προσδιορίζονται ξανά.

2.2 Συμπεριφορά Βραχομάζας

Η συμπεριφορά της βραχομάζας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά και τη συμπεριφορά τόσο του ακέραιου πετρώματος όσο και των ασυνεχειών της (στρώση, σχιστότητα, γράμμωση, φύλλωση, διαρρήξεις κ.λ.π), που μπορεί να είναι κενές ή πληρωμένες με υλικά χαμηλότερης αντοχής. Η μηχανική συμπεριφορά της βραχομάζας, όταν αυτή είναι έντονα διερρηγμένη και αποσαθρωμένη μπορεί να προσεγγίζει τη συμπεριφορά ενός εδαφικού σχηματισμού, ενώ όταν αποτελείται από βραχώδη τεμάχια μεγάλων διαστάσεων και πολύ πτωχά ανεπτυγμένο σύστημα ασυνεχειών, πλησιάζει περισσότερο τη συμπεριφορά ενός δοκιμίου ακέραιου πετρώματος. Η μετάβαση από το ακέραιο πέτρωμα στη βραχομάζα φαίνεται στην **Εικόνα 2.1**, που παραθέσαμε στην αρχή του κεφαλαίου. Με βάση τα παραπάνω είναι φανερό ότι η επίδραση των ασυνεχειών στη μηχανική συμπεριφορά της βραχομάζας είναι πολύ μεγάλη και συχνά πλέον καθοριστική σε σχέση με την επίδραση των ιδιοτήτων του ακέραιου πετρώματος από το οποίο

Πίνακας 2.13: Τιμές της σταθεράς m_i για διάφορους τύπους ακέραιου πετρώματος (HOEK & MARINOS, 2000 και MARINOS & HOEK, 2000; 2001).

Τύπος	Ομάδα		Υφή			
			Αδρή	Μέση	Λεπτή	Πολύ λεπτή
ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ	Κλαστικά		Κροκαλοπαγή Λατυποπαγή	Ψαμίτες 17±4	Γυόλιθοι 7±2 Γραουβάκες (18±3)	Αργιλόλιθοι 4±2 Αργιλικός σχ. 6±2 Μάργες (7±2)
	Μη κλαστικά	Ανθρακικά	Κρυσταλλικοί Ασβεστόλιθοι (12±3)	Σπαριτικοί Ασβεστόλιθοι (10±2)	Μικριτικοί Ασβεστόλιθ (9±2)	Δολομίτες (9±3)
		Εβαπορίτες		Γύψος 8±2	Ανυδρίτης 12±2	
		Οργανικά				Κρητίς 7±2
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΜΕΝΑ	Μη σχιστοποιημένα		Μάρμαρο 9±3	Κερατίτες (19±4) Μεταψαμίτες 19±3	Χαλαζίτες 20±3	
	Ελαφρά σχιστοποιημένα		Μιγματίτες 29±3	Αμφιβολίτες 26±6	Γνεύσιοι 28±5	
	Σχιστοποιημένα			Σχητόλιθοι 12±3	Φυλλίτες 7±3	Αργιλικόι σχιστόλιθοι 7±4
ΠΥΡΙΓΕΝΗ	Πλουτόνια	Ανοιχτόχρωμα	Γρανίτης 32±3	Διορίτης 25±5		
			Γρανοδιορίτης (29±3)			
	Σκοτεινόχρωμα		Γάββρος 27±3	Δολερίτης (16±5)		
			Νορίτης 20±5			
	Υποαβυσσικά			Πορφύρης (20±5)	Διαβάσης (15±5)	Περιδοτίτης (25±5)
	Ηφαιστειακά	Λάβα		Ρυόλιθος (25±5) Ανδεσίτης 25±5	Δακίτης (25±3) Βασάλτης (25±5)	
Πυροκλαστικά			Ηφ. Κροκαλοπαγή (19±3)	Ηφ. Λατυποπαγή (19±5)	Τόφφοι (13±5)	

αποτελείται η βραχομάζα. Οι ασυνέχειες μειώνουν την αντοχή της βραχομάζας εξαιτίας:

- ✚ Της αδυναμίας να αντέξουν εφελκυστικές τάσεις, οι οποίες ασκούνται κάθετα στις επιφάνειες τους.
- ✚ Της σημαντικής μείωσης της διατμητικής αντοχής κατά μήκος των επιφανειών τους, η οποία οφείλεται συν τοις άλλοις στην αποσάθρωση των παρειών τους και στην παρουσία αργιλικών υλικών μέσα σε αυτές, πράγμα που διευκολύνει την ολίσθηση των τεμαχίων.

Ένας άλλος παράγοντας που παίζει σημαντικό ρόλο στη μηχανική συμπεριφορά της βραχομάζας είναι η σχέση της με το διακινούμενο νερό. Ο TERZAGHI, (1936) πιστοποιεί ότι η είσοδος του νερού σ' ένα πέτρωμα μειώνει την αντοχή του ως εξής:

- Αυξάνει την πίεση που ασκεί το νερό στα τοιχώματα των ασυνεχειών.
- «Λιπαίνει» τις παρειές των ασυνεχειών.

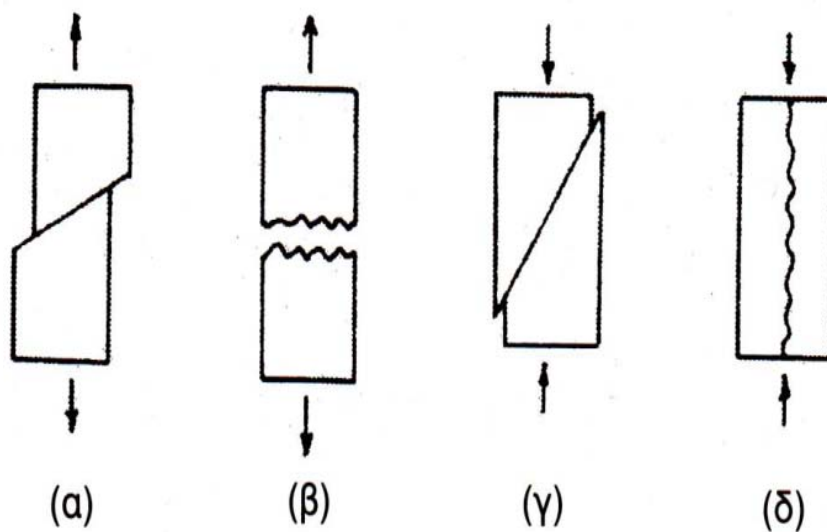
Η αστοχία της βραχομάζας λαμβάνει χώρα κυρίως κατά μήκος των ασυνεχειών και κατά δεύτερο λόγο μέσα από το ακέραιο πέτρωμα που περιλαμβάνεται μεταξύ αυτών. Έτσι, για τη διερεύνηση της αντοχής της βραχομάζας, είναι σημαντικό να μελετηθεί η αντοχή των ασυνεχειών και κυρίως η διατμητική τους αντοχή. Και αυτό διότι σπάνια στη φύση (όπως προαναφέραμε), ένα πέτρωμα αστοχεί με εφελκυσμό, αφού οι τάσεις που δέχεται συνήθως είναι θλιπτικές και διατμητικές.

2.2.1 Οι ασυνέχειες και τα χαρακτηριστικά τους

2.2.1.1 Ορισμός και ταξινόμηση των ασυνεχειών

Ως ασυνέχειες ορίζονται οι επιφάνειες κατά μήκος των οποίων οι εφαρμοζόμενες στο πέτρωμα τάσεις έχουν προκαλέσει μερική ή ολική απώλεια της συνοχής του πετρώματος (LLOYD, 1999). Χωροταξικά τις ασυνέχειες τις διακρίνουμε σε δυο βασικές κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν αυτές που απαντούν συστηματικά, δημιουργώντας οικογένειες ή συστήματα ασυνεχειών με κοινά χαρακτηριστικά (ασθενή επίπεδα στρώσης, επίπεδα σχιστότητας, γράμμωση, φύλλωση, διακλάσεις), ενώ στη δεύτερη κατατάσσονται οι ασυνέχειες που απαντούν μεμονωμένα (επωθήσεις, εφιππεύσεις και ρήγματα). Η επιφάνεια στρώσης (bedding plane) είναι εμφανής κυρίως στα ιζηματογενή πετρώματα και είναι αποτέλεσμα της ασυνεχούς απόθεσης των αρχικών ιζημάτων. Η Σχιστότητα (schistosity) παρουσιάζεται κυρίως στα μεταμορφωμένα πετρώματα και είναι αποτέλεσμα του προσανατολισμού των ορυκτών κάθετα στη μέγιστη τάση που ασκήθηκε σε αυτά. Στα πυριγενή πετρώματα (στην κατηγορία αυτή ανήκουν και τα υπερβασικά, που εξετάζουμε στην εργασία αυτή)

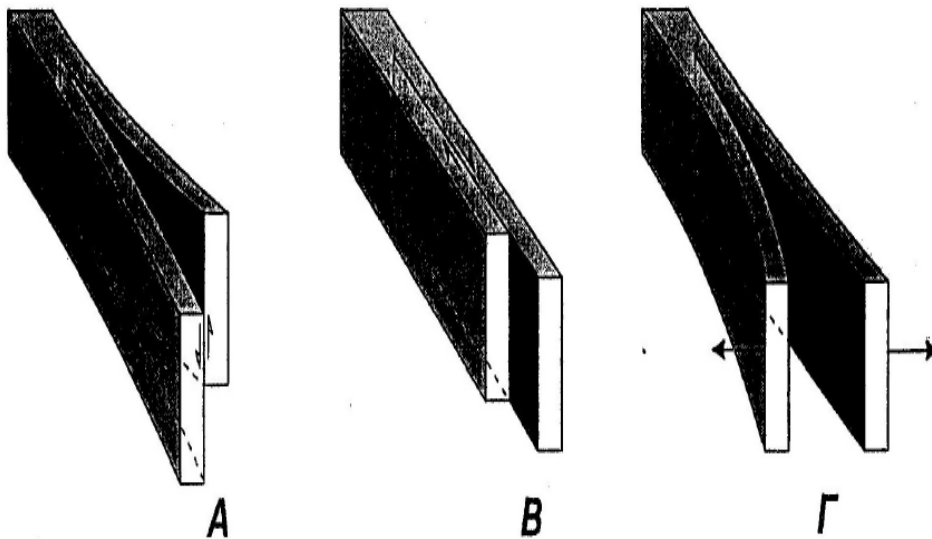
παρατηρούμε γράμμωση (lineation), προσανατολισμό δηλαδή των ορυκτών (κυρίως ολιβίνη και ορθοπυροξένου) κατά την πλαστική ροή του μανδουακού υλικού και φύλλωση (foliation), δημιουργία παράλληλων επιπέδων. Οι διακλάσεις είναι οι διαρρήξεις των γεωλογικών σωμάτων οι οποίες όμως δε συνοδεύονται από μετακίνηση παράλληλη στη ρηξιγενή επιφάνεια. Αντίθετα, στην περίπτωση που εμφανίζεται κίνηση μεταξύ των τεμαχών του πετρώματος, που διαχωρίζονται από μία μεγάλου τύπου ασυνέχεια, τότε εμφανίζονται σημαντικές ασυνεχείς δομές (διαρρήξεις) μικρής, μεσαίας και μεγάλης γωνίας (επωθήσεις, εφιππεύσεις και ρήγματα αντίστοιχα). Οι διαρρήξεις αυτές απαντώνται στο σύνολο των πετρωμάτων και συνδέονται ευθέως με το είδος του πεδίου τάσεων κάτω από το οποίο, αυτές αναπτύχθηκαν. Έτσι, εάν οι παραπάνω ασυνεχείς δομές οφείλονται σε τάσεις διάτμησης ή εφελκυσμού διακρίνονται αντίστοιχα σε διατμητικές και σε εφελκυστικές (Εικ. 2.8, 2.9). Οι διατμητικές ρωγμές εμφανίζονται κατά μήκος ενός επιπέδου κεκλιμένου, ως προς τον άξονα της μέγιστης κύριας τάσης, με σχετική μετακίνηση πάνω στο επίπεδο αυτό (Εικ. 2.8, 2.9, 2.10). Μερικές φορές παρατηρούμε δυο τεμνόμενα διατμητικά (συζυγή) επίπεδα ασυνεχειών ή ακόμα και πολλαπλές διατμητικές ασυνέχειες με αποτέλεσμα πλατιές διατμητικές ζώνες. Επίσης, πολλές φορές οι διατμητικές διαρρήξεις εμφανίζονται σε προϋπάρχουσες δομές, γραμμώσεις κτλ. Τα επίπεδα διάτμησης συνήθως συνοδεύονται από κατακλασίτες, μυλονίτες και μπορούμε να καταλάβουμε τη φορά κίνησης της ολίσθησης. Η διάρρηξη με επέκταση χαρακτηρίζεται από αποχώρηση κάθετα προς την επιφάνεια θραύσης, που διευθύνεται παράλληλα προς τη μέγιστη κύρια τάση (Εικ. 2.8, 2.9, 2.10).



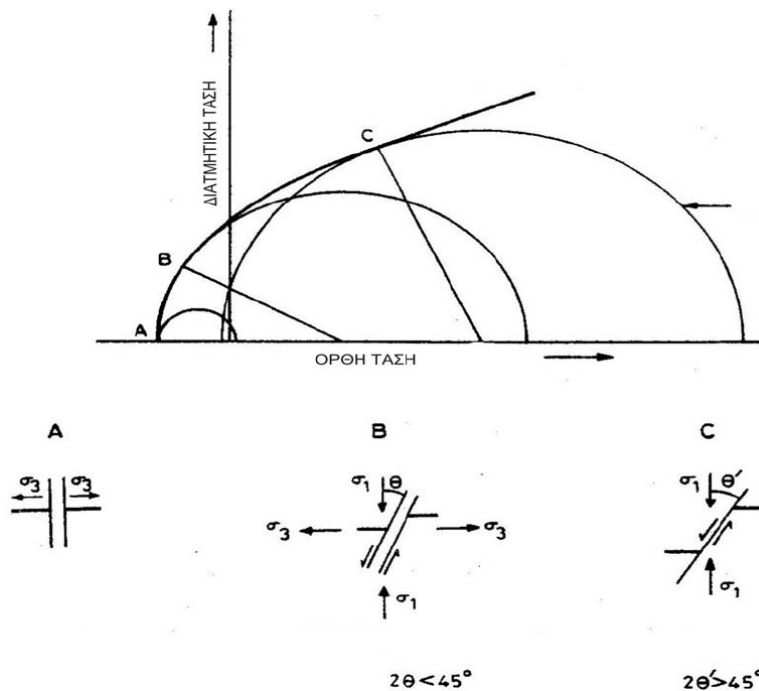
Εικόνα 2.8: Πιθανά σχήματα διαρρήξεων. α) Διατμητική διάρρηξη από εφελκυσμό, β) Διάρρηξη έκτασης από εφελκυσμό, γ) Διατμητική διάρρηξη από συμπίεση, δ) Διάρρηξη έκτασης από συμπίεση.

Από τα τέσσερα πιθανά σχήματα διάρρηξης των πετρωμάτων (**Εικ. 2.8**), στη φύση συναντούμε κυρίως το (γ) και το (δ) γιατί στη φύση οι τάσεις που κυριαρχούν είναι κυρίως, όπως προαναφέραμε, συμπιεστικές και διατμητικές (σπανίζουν οι εφελκυστικές).

Κατά τους SINGHAL & GUPTA (1999) υπάρχει και μια τρίτη κατηγορία, οι υβριδικές, στην οποία ταξινομούνται γενετικά οι διαρρήξεις. Οι υβριδικές διαρρήξεις (**Εικ. 2.9, 2.10**) παρουσιάζουν χαρακτηριστικά τόσο διατμητικού όσο και εφελκυστικού τύπου. Συνήθως πρόκειται για ανοιχτές ρωγμές οι οποίες πληρώνονται με ορυκτά και πολλές φορές αναπτύσσονται κατά συζυγή ζεύγη με την διέδρη γωνία να είναι $2\theta < 45^\circ$.



Εικόνα 2.9: Γενετική Ταξινόμηση Διαρρήξεων: Α. Υβριδικές διαρρήξεις, Β. Διατμητικές διαρρήξεις, Γ. Εφελκυστικές διαρρήξεις (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ & ΚΑΡΟΤΣΙΕΡΗΣ, 2005).



Εικόνα 2.10: Απεικόνιση των Α) Εφελκυστικών, Β) Υβριδικών και C) Διατμητικών διαρρήξεων SINGHAL & GUPTA (1999).

Εκτός από τις παραπάνω ασυνέχειες (μακροσκοπικές), υπάρχουν και οι μικροσκοπικής κλίμακας ασυνέχειες, οι οποίες διαμορφώνονται από τον εκλεκτικό προσανατολισμό των κρυστάλλων, των κόκκων, των σχισμών των ορυκτών, ή την εκλεκτική εξαλλοίωση του πετρώματος.

Οι ασυνέχειες, εκτός του ότι μειώνουν την αντοχή του πετρώματος, συνεπώς και της βραχομάζας, μειώνουν τις ταχύτητες των κυμάτων (επιμηκών και εγκάρσιων), αυξάνουν το δευτερογενές πορώδες και μειώνουν την πυκνότητα. Σε αυτό το σημείο, θα ήταν σημαντικό να αναφέρουμε πως ανάλογα με τη γωνιακή σχέση που παρουσιάζουν οι ασυνέχειες με το κάθετο επίπεδο στον άξονα φόρτισης, τα δυναμικομηχανικά χαρακτηριστικά του πετρώματος εμφανίζουν διαφορετικές τιμές (ανισοτροπία). Στα υπερβασικά πετρώματα, σύμφωνα με τους CHRISTENSEN (1966a και b), KERN (1974), WEISS et al. (1999), οι ταχύτητες των επιμηκών και εγκάρσιων κυμάτων είναι μέγιστες παράλληλα ή υποπαράλληλα στη γράμμωση (από τον προσανατολισμό των κρυστάλλων του ολιβίνη και του ορθοπυροξένου) και ελάχιστες κάθετα σε αυτήν.

Από όλα τα προαναφερόμενα, γίνεται σαφές γιατί όταν εξετάζουμε τις φυσικοδυναμικομηχανικές ιδιότητες ενός ακέραιου πετρώματος (υποκεφάλαιο 2.1), δεν πρέπει να υπάρχουν, μακροσκοπικά τουλάχιστον, εμφανείς ασυνέχειες και κανονικά ούτε μικροσκοπικές, γεγονός που είναι δύσκολο να αναγνωριστεί εξ' αρχής.

2.2.1.2 Γεωμετρικά και φυσικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών

Τα γεωμετρικά και φυσικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών είναι:

- 1) Ο προσανατολισμός. Προσδιορίζεται από τη διεύθυνση, την κλίση και τη φορά κλίσης του επιπέδου των ασυνεχειών. Ο πλήρης καθορισμός της παραμέτρου, επιτυγχάνεται με την χρήση στατιστικών μεθόδων, όπως είναι τα ροδογράμματα και οι σφαιρικές προβολές των πόλων των επιπέδων των ασυνεχειών. Τα στοιχεία προσανατολισμού είναι δυνατόν να μετρηθούν τόσο μέσω εργασιών υπαίθρου («κλίμακα μέτρου» σε φυσικά ή τεχνητά πρανή), όσο και σε κλίμακα περιοχής μέσω μεθόδων τηλεπισκόπησης.
- 2) Η απόσταση. Είναι η μέση απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών ασυνεχειών. Από την απόσταση αυτή καθορίζεται η συχνότητά τους, η οποία εκφράζει το πλήθος των ασυνεχειών προς τη μονάδα μήκους κάθετα στο επίπεδό τους. Η επίδραση της παραμέτρου αυτής είναι σημαντική, αφού ορίζει τον βαθμό ανισοτροπίας της βραχόμαζας.

- 3) Η εξάπλωση-το μήκος. Προσδιορίζει την έκταση των ασυνεχειών και καθορίζεται από την μέτρηση του μήκους του επιπέδου της ασυνέχειας σε μία επιφανειακή εμφάνιση του πετρώματος. Το μήκος των ασυνεχειών ποικίλει από μερικά εκατοστά ως και μερικές χιλιάδες μέτρα και μετριέται τόσο μέσω εργασιών υπαίθρου, όσο και μέσω μεθόδων τηλεπισκόπησης.
- 4) Η αντοχή των τοιχωμάτων τους. Η αντοχή των τοιχωμάτων είναι μικρότερη από αυτή του ακέραίου πετρώματος. Αυτό οφείλεται στην απόσθρωση που υφίστανται τα τοιχώματα με αποτέλεσμα τη δημιουργία αργιλικών ορυκτών ή τη διάλυση των πετρωμάτων στην περίπτωση που αποτελούνται από ανθρακικά ή αλατούχα ορυκτά.
- 5) Η τραχύτητα. Καθορίζεται από τη μορφή το μέγεθος και την πυκνότητα των οδοντώσεων και των αυλακώσεων των τοιχωμάτων τους. Η διαμόρφωση της τραχύτητας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υλικό πλήρωσης, από την κυκλοφορία του νερού και από τον βαθμό αποσυμπίεσης του πετρώματος (ΣΤΟΥΡΝΑΡΑΣ, 2005).
- 6) Το άνοιγμα. Πρόκειται για την κάθετη απόσταση μεταξύ των τοιχωμάτων μιας ασυνέχειας. Το άνοιγμα των ασυνεχειών μεταβάλλεται με τη διαδικασία της αποσάθρωσης, μέσω ενεργοποίησης της ασυνέχειας από μεταγενέστερο δυναμικό πεδίο, αλλά και σε σχέση με το βάθος. Γενικά οι ασυνέχειες τείνουν να κλείνουν με την αύξηση του βάθους λόγω της αντίστοιχα αυξανόμενης λιθοστατικής πίεσης. Η μέτρηση του ανοίγματος γίνεται μέσω εργασιών υπαίθρου.
- 7) Το υλικό πλήρωσης. Πρόκειται για το υλικό που συγκεντρώνεται εντός της ασυνέχειας και μπορεί να είναι ασβεστιτικό, αργιλικό, ιλυώδες κ.λ.π. Το υλικό πλήρωσης μπορεί να είναι ομογενές ή όχι και μπορεί να πληρώνει μερικώς ή ολικώς την ασυνέχεια. Το είδος και το πάχος του υλικού πλήρωσης καθορίζουν τη διατμητική αντοχή, την παραμορφωσιμότητα και τη διαπερατότητα της ασυνέχειας.
- 8) Η πυκνότητα. Μαζί με τον βαθμό διασύνδεσης εκφράζουν ποσοτικά τον βαθμό διάρρηξης του πετρώματος (SINGHAL & GUPTA, 1999). Περιγράφεται συνολικά από τρεις τύπους : (i) την γραμμική, (ii) την χωρική και (iii) την ογκομετρική πυκνότητα. Η γραμμική είναι ίση με το πλήθος των ασυνεχειών ανά μονάδα μήκους, και υπολογίζεται σε διεύθυνση κάθετη προς τη διεύθυνση ανάπτυξης των ασυνεχειών. Είναι ουσιαστικά ισοδύναμο μέγεθος με

αυτό της συχνότητας των ασυνεχειών. Η χωρική πυκνότητα αναφέρεται στην κλίμακα περιοχής και μπορεί να εκφραστεί ως το πλήθος των ασυνεχειών ανά μονάδα επιφάνειας. Τέλος η ογκομετρική πυκνότητα υπολογίζεται, αν διαιρεθεί η μέση έκταση των διερρηγμένων επιφανειών ανά μονάδα όγκου πετρώματος.

- 9) Οι συνθήκες του υπόγειου νερού. Η παρουσία του νερού μέσα στις ασυνέχειες μειώνει την ενεργητική τάση με αποτέλεσμα την μείωση της διατμητικής αντοχής, αφού λόγω της εξίσωσης των Mohr-Coulomb, η διατμητική αντοχή είναι ανάλογη της ενεργητικής τάσης. Επίσης, το νερό επιφέρει διάβρωση, αποσάθρωση, καρστικοποίηση και γενικότερα ποιοτική αλλοίωση της βραχομάζας.

2.2.2 Συστήματα ταξινόμησης βραχομάζας

Η ταξινόμηση της βραχομάζας είναι πολύ σημαντική ιδιαίτερα για τα τεχνικά έργα, διότι μας δίνει μια κατάταξη της ποιότητάς της. Για την ταξινόμησή της λαμβάνονται υπόψη εκτός από τις ασυνέχειες και όλοι οι παράγοντες που συσχετίζονται με αυτές.

Το πρώτο ταξινομικό σύστημα βραχομάζας προτάθηκε από τον TERZAGHI, (1946) και αναφέρεται στον προσδιορισμό των φορτίων που αναμένεται να ασκηθούν στην επένδυση μιας σήραγγας παραλληλόγραμμης διατομής, ύψους H και πλάτους B .

Ο DEERE, 1964 πρότεινε μια καθοριστική παράμετρο που χρησιμοποιείται ευρύτατα, τον δείκτη ποιότητας πετρώματος (Rock Quality Designation, RQD). Ο δείκτης αυτός προσδιορίζεται από τον λόγο του συνολικού μήκους των πυρήνων γεώτρησης, που το μήκος του καθενός από αυτούς είναι ίσο ή μεγαλύτερο από 10cm, δια του συνολικού μήκους διάτρησης (για πυρήνες διαμέτρου τουλάχιστον NX δηλ. 54mm).

$$RQD = \frac{\Sigma(\alpha)}{L} * 100 (\%), \quad (2.16)$$

Όπου,

$\Sigma(\alpha)$, άθροισμα μήκους πυρήνων, όπου ο καθένας από αυτούς έχει μήκος ίσο ή μεγαλύτερο από 10cm,

L , μήκος διάτρησης.

Με βάση τον δείκτη αυτόν, τα πετρώματα ταξινομούνται όπως φαίνεται στον

Πίνακα 2.14.

Πίνακας 2.14: Ταξινόμηση ποιότητας πετρώματος (DEERE, 1964).

Δείκτης ποιότητας πετρώματος (RQD %)	Ποιότητα πετρώματος
0-25	Πολύ πτωχή
25-50	Πτωχή
50-75	Μέτρια
75-90	Καλή
90-100	Εξαιρετική

Ο δείκτης ποιότητας βραχομάζας μπορεί να υπολογιστεί στην ύπαιθρο και από τον τύπο:

$$RQD=115-3.3J_v, \quad (2.17)$$

όπου,

J_v , είναι ο αριθμός των ασυνεχειών ανά τρέχον μέτρο.

Το 1973 ο BIENIAWSKI, πρότεινε ένα σύστημα ταξινόμησης (Rock Mass Rating, RMR) που βασίζεται στις εξής παραμέτρους:

- Την αντοχή σε μοναξονική θλίψη του ανέπαφου πετρώματος ή τον δείκτη αντοχής σημειακής φόρτισης,
- Τον δείκτη ποιότητας του πετρώματος (RQD),
- Την μέση απόσταση των ασυνεχειών,
- Την κατάσταση των ασυνεχειών από άποψη μεγέθους, τραχύτητας, ανοίγματος, υλικού πλήρωσης, και βαθμού αποσάθρωσης των τοιχωμάτων,
- Τις συνθήκες του νερού,
- Τον προσανατολισμό των ασυνεχειών σε σχέση με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του τεχνικού έργου.

Σε κάθε μια παράμετρο έδωσε βαθμούς και στο τέλος κατέταξε την βραχομάζα σε πέντε κατηγορίες με βάση τη συνολική βαθμολογία (Πίνακας 2.15).

Το 1974 οι BARTON et al. ταξινόμησαν τη βραχομάζα με βάση τον δείκτη Q, ο οποίος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF} \quad (2.18)$$

όπου,

RQD, ο δείκτης ποιότητας του πετρώματος,

J_n , παράμετρος που καθορίζεται από το πλήθος των διαφόρων συστημάτων ασυνεχειών,

J_r , παράμετρος που εξαρτάται από την τραχύτητα των ασυνεχειών,

J_a , παράμετρος που εξαρτάται από την αποσάθρωση των ασυνεχειών,

J_w , συντελεστής αναγωγής λόγω της ύπαρξης νερού μέσα στις ασυνέχειες,







SRF, συντελεστής αναγωγής λόγω των τάσεων που ασκούνται στην περιοχή.

Πίνακας 2.15: Κατάταξη βραχομάζας με βάση το RMR (BIENIAWSKI, 1973).

Βαθμολογία RMR με βάση τις παραμέτρους BIENIAWSKI (1973)	Ποιότητα βραχομάζας
81-100	(I) Πολύ καλή
61-80	(II) Καλή
41-60	(III) Μέτρια
21-40	(IV) Πτωχή
≤ 20	(V) Πολύ πτωχή

Από όλα τα παραπάνω συστήματα αυτό που κυρίως χρησιμοποιούνταν για χρόνια ήταν το RMR. Όμως αποδείχτηκε πως για μικρές τιμές RMR, μικρότερες του 25 τα αποτελέσματα δεν ήταν αξιόπιστα. Έτσι, οι HOEK et al. (1992), HOEK (1994), HOEK et al. (1995) πρότειναν ένα νέο δείκτη για την ταξινόμηση της βραχομάζας, το GSI (Geological Strength Index/Γεωλογικός Δείκτης αντοχής) και προσπάθησαν να συνδέσουν το δείκτη αυτό με το RMR (αναλυτικά οι σχέσεις θα περιγραφούν στο υποκεφάλαιο 2.2.3). Ο δείκτης GSI κυμαίνεται από 5 έως και 100, για εξαιρετικά πτωχής ποιότητας βραχομάζα και για ανέπαφο υλικό εξαιρετικής ποιότητας αντίστοιχα (**Πίνακας 2.16**). Ο GSI βασίζεται κυρίως στη γεωλογική παρατήρηση και λιγότερο στις τιμές, μιλάμε δηλαδή για ένα περισσότερο ποιοτικό παρά ποσοτικό χαρακτηριστικό. Εκτιμάται μακροσκοπικά σύμφωνα με την επιφάνεια των ασυνεχειών (τραχύτητα και αποσάθρωση των τοιχωμάτων) και με την υφή της βραχομάζας (αλληλοκλείδωμα βραχωδών τεμαχών). Η εκτίμηση του δείκτη GSI πρέπει να γίνεται σε μέτωπο αδιατάρακτης βραχομάζας η οποία δεν έχει επηρεαστεί από τη χρήση μη ελεγχόμενων εκρηκτικών. Η χρήση του επιτρέπει να αξιολογηθεί η επιρροή της ποικιλίας της βραχομάζας. Επίσης, ο δείκτης αυτός βοηθάει στην ποσοτικοποίηση των γεωλογικών πτυχών του βράχου και μειώνει τη γεωτεχνική αβεβαιότητα. Προσφέρει ένα σύστημα για την εκτίμηση της μείωσης της αντοχής της βραχομάζας σε διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες. Με το πέρασμα των χρόνων οι επιστήμονες πρότειναν παραλλαγές του δείκτη. Αρχικά αναφερόταν μόνο σε ομοιογενείς βραχομάζες (HOEK & MARINOS, 2000, **Πίνακας 2.16**), όμως οι MARINOS & HOEK, (2000, 2001) πρότειναν μια νέα έκδοση που αναφερόταν σε ετερογενή βραχομάζα (**Πίνακας 2.17**).

Πίνακας 2.16: Τιμές GSI για ομοιογενείς βραχομάζες (HOEK & MARINOS, 2000).

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ GSI ΣΕ ΡΩΓΜΑΤΩΜΕΝΕΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΕΣ (Hoek and Marinos, 2000) Βασίζομενοι στην εμφάνιση της βραχομάζας (περιγραφή της δομής και της κατάστασης της επιφάνειας των ασυνεχειών) εκτιμάται η τιμή του GSI. Δεν απαιτείται ακριβής προσδιορισμός αφού αυτό δεν είναι πάντα δυνατό. Η επιλογή εύρους τιμών π.χ. από 33 ως 37 είναι πιο ρεαλιστική από μια συγκεκριμένη τιμή π.χ. GSI=35. Σημειώνεται ότι ο δείκτης χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου η βραχομάζα συμπεριφέρεται ιστροπικά και δεν υπάρχει εκλεκτικός προσανατολισμός ασάθειας (ολίσθηση κατά μήκος συγκεκριμένων ασυνεχειών). Στην περίπτωση όπου οι ασυνέχειες έχουν εμμονή στην ανάπτυξή τους και δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με το μέτωπο εκσκαφής, τότε αυτές είναι που ελέγχουν την συμπεριφορά της βραχομάζας. Η διατμητική αντοχή των ασυνεχειών μειώνεται με την παρουσία νερού στα πετρώματα ή υλικού πλήρωσης ασυνεχειών που είναι επιδεκτικά σε εξασθένηση από μεταβολές της περιεχόμενης υγρασίας. Έτσι, σε περίπτωση μέτριας έως πολύ πτωχής κατάστασης στην επιφάνεια των ασυνεχειών η παρουσία νερού πρέπει να οδηγεί σε μετακίνηση δεξιάτερον στον Πίνακα. Η πίεση του νερού λαμβάνεται υπόψη ανεξαρτήτως των ανωτέρω με την ανάλυση με ενεργές τάσεις.		ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες μη αποσπασθριμένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρά αποσπασθριμένες και οξειδωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Ομαλές, μέτρια αποσπασθριμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες	ΠΤΩΧΗ Με ολισθηρές επιφάνειες, πολύ αποσπασθριμένες με συμπαιγείς υμένες ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα πετρώματος	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Ολισθηρές επιφάνειες, πολύ αποσπασθριμένες, με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης.
ΔΟΜΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →					
	ΑΡΡΗΚΤΗ Η ΣΥΜΠΑΓΗΣ (INTACT OR MASSIVE)- Άρρηκτο πέτρωμα ή άστρωτος, συμπαγής βράχος με λίγες και αραιές ασυνέχειες	80			N/A	N/A	
	ΤΕΜΑΧΙΣΜΕΝΗ (BLOCKY)-Αδιατάρακτη βραχομάζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών.	80	70				
	ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΙΣΜΕΝΗ (VERY BLOCKY) – Μερικώς διαταραγμένη βραχομάζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια με σχετικά καλό αλληλοκλείδωμα που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών.		80	60			
	ΚΕΡΜΑΤΙΣΜΕΝΗ/ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ/ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ (BLOCKY/DISTURBED/SEAMY) – Πτυχωμένη βραχομάζα με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας.			60	40		
	ΑΠΟΔΟΜΗΜΕΝΗ (DISINTEGRATED) – Ισχυρά κερματισμένη βραχομάζα (αποδιοργανωμένη) με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστρωγγυλωμένων τεμαχίων.				30	20	
	ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΗ (LAMINATED/SHEARED)– Φυλλώδης ή έντονα σχιστοποιημένη και τεκτονικά διατμημένη ασθενούς βραχομάζα. Απουσία γωνιωδών ή άλλων τεμαχίων λόγω της πυκνής σχιστότητας ή των επιφανειών διάτμησης.					10	
	↓ ΜΕΙΟΥΜΕΝΟ ΑΛΛΗΛΟΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ						
		N/A	N/A				

Πίνακας 2.17: Τιμές GSI για ετερογενή βραχομάζα (HOEK & MARINOS, 2000).

GSI ΓΙΑ ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΕΣ ΟΠΩΣ Ο ΦΛΥΣΧΗΣ (Marinos, P and Hoek, E, 2000)		ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ (κυρίως επίπεδα στρώσης)	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχιές, μη αποσπασθόμενες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχιές, ελαφρώς αποσπασθόμενες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μέτρια αποσπασθόμενες ή εξορρολιωμένες επιφάνειες	ΠΙΣΩΧΗ Πολύ λείες, κατά θέσεις ολισθηρές επιφάνειες με σημαντικές υμένες ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα	ΠΟΛΥ ΠΙΣΩΧΗ Πολύ λείες, ολισθηρές, ή έντονα αποσπασθόμενες επιφάνειες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης.
ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΔΟΜΗ							
	A. Παχυστρωματώδης, πολύ τεμαχισμένος ψαμίτης Η επίδραση των πηλτικών επικαλύψεων στα επίπεδα στρώσης ελαχιστοποιείται από την συνεκτικότητα της βραχομάζας. Σε μικρού βάθους σήραγγες ή κρανή αυτά τα επίπεδα στρώσης μπορούν να προκαλέσουν αστάθεια λόγω δομής .	70 60	A				
	B. Ψαμίτης με διασπρόσεις πηλίτη	50	B	C	D	E	20
	C. Ψαμίτης με πηλίτη σε παρόμοιες ποσότητες.						
	D. Πηλίτης ή πηλιτικός σχιστής με ψαμιτικές στρώσεις.	40	F	30	F	10	
	E. Ασθενής ψαμίτης ή αργιλικός σχιστής με ψαμιτικές στρώσεις.						
	F. Τεκτονικά παραμορφωμένος, έντονα πτυχωμένος/ρωγματομένος διατημημένος αργιλικός σχιστής ή πηλίτης με ρωγματομένες και παραμορφωμένες στρώσεις ψαμίτη που σχηματίζουν μια σχεδόν χιαστική δομή.						
	G. Αδιατάρακτος αργιλικός ή πηλιτικός σχιστής με ή χωρίς λίγα πολύ λεπτά στρώματα ψαμίτη.						
	H. Τεκτονικά παραμορφωμένος αργιλικός ή πηλιτικός σχιστής που σχηματίζει χιαστική δομή με πηλιτικούς φακούς. Λεπτές στρώσεις ψαμίτη μετατρέπονται σε μικρά βραχώδη τεμάχια.						

2.2.3 Αστοχία βραχομάζας-Κριτήρια θραύσης

Όταν μια βραχομάζα βρεθεί κάτω από την επίδραση κάποιου εντατικού πεδίου δυνάμεων, οι συνθήκες αστοχίας της διαφέρουν από αυτές του ακέραίου πετρώματος που αναφέραμε στο υποκεφάλαιο 2.1.2. Στην αστοχία της βραχομάζας καθοριστικό ρόλο παίζουν (όπως προαναφέρθηκε) οι ασυνέχειες. Αν δηλαδή κάποιο επίπεδο ασυνέχειας βρεθεί σε ευνοϊκή θέση σε σχέση με τους άξονες των τάσεων του εντατικού πεδίου, η αστοχία του πετρώματος θα εκδηλωθεί κατά μήκος της ασυνέχειας και όχι κατά μήκος του επιπέδου που καθορίζεται από τα κριτήρια αστοχίας του ανέπαφου πετρώματος. Αρχικά υπήρξε μεγάλη δυσκολία στην εύρεση κριτηρίου θραύσης που να είναι ρεαλιστικό γιατί κατά τη μετάβαση από το ακέραιο πέτρωμα στην έντονα διερρηγμένη βραχομάζα μειώνεται σημαντικά τόσο η ποσότητα όσο και η ποιότητα των πειραματικών δεδομένων. Αυτό οφείλεται στη μεγάλη δυσκολία αλλά και στο πολύ υψηλό κόστος των δοκιμών που γίνονται για τον προσδιορισμό των παραμέτρων της βραχομάζας, σε αντίθεση με τις εργαστηριακές δοκιμές για το ακέραιο πέτρωμα που είναι λιγότερο χρονοβόρες και

χαμηλότερου κόστους.

Το κριτήριο αστοχίας των Mohr-Coulomb ισχύει και για τη βραχομάζα. Συγκεκριμένα για την ασυνέχεια έχουμε:

$$\tau_d = c_d + \sigma_n \epsilon \phi_d \quad (2.19)$$

όπου,

τ_d , η διατμητική αντοχή της ασυνέχειας,

c_d , η συνοχή της ασυνέχειας,

σ_n , η εφαρμοζόμενη ορθή τάση,

ϕ_d , η γωνία εσωτερικής τριβής της ασυνέχειας.

Για το ανέπαφο κομμάτι της βραχομάζας ισχύει ότι έχουμε προαναφέρει στο υποκεφάλαιο **2.1.2**, δηλαδή

$$\tau = c_{ci} + \sigma_n \epsilon \phi_{ci} \quad (2.20)$$

όπου,

τ , η διατμητική αντοχή του ακέραίου πετρώματος,

c_{ci} , η συνοχή του ακέραίου πετρώματος,

σ_n , η εφαρμοζόμενη ορθή τάση σε αυτό,

ϕ_{ci} , η γωνία εσωτερικής τριβής του.

Είναι σαφές πως η συνοχή και η γωνία εσωτερικής τριβής του ανέπαφου τμήματος της βραχομάζας παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές από τη συνοχή και τη γωνία εσωτερικής τριβής της ασυνέχειας της βραχομάζας.

Ένα άλλο κριτήριο αστοχίας της βραχομάζας είναι αυτό του HOEK & BROWN, 1980a:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left[m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right]^{0.5} \quad (2.21)$$

όπου,

σ'_1 , σ'_3 , η αξονική και η πλευρική ενεργή κύρια τάση αντίστοιχα,

σ_{ci} , η αντοχή σε μοναξονική θλίψη του ακέραίου πετρώματος,

m_b , s , σταθερές που εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της βραχομάζας. Η σταθερά s κυμαίνεται από 0 ως 1.

Ουσιαστικά η σχέση **2.21** είναι η ίδια με την **2.15** που εφαρμόζεται για το ακέραιο πέτρωμα, μόνο που στη σχέση **2.15** η σταθερά s παίρνει την τιμή $s=1$ (όπως έχουμε προαναφέρει στο υποκεφάλαιο **2.1.2**) και η σταθερά m_b ονομάζεται m_i .

Οι HOEK, et al. (1992) πρότειναν το παρακάτω τροποποιημένο κριτήριο θραύσης με

σκοπό να συμπεριλάβουν και τις έντονα διακλασμένες βραχομάζες με μηδενική εφελκυστική αντοχή.

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left[m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} \right]^a \quad (2.22)$$

όπου,

a, είναι μια παράμετρος η οποία βοηθάει στην αλλαγή της καμπυλότητας της περιβάλλουσας θραύσης, ιδιαίτερα σε πολύ χαμηλές τιμές του εύρους τιμών των ορθών τάσεων.

Ουσιαστικά το τροποποιημένο κριτήριο θραύσης προέρχεται από το αρχικό (HOEK & BROWN, 1980a) αν θεωρήσουμε τη σταθερά s μηδενική, δηλαδή όταν η εφελκυστική αντοχή του πετρώματος είναι μηδενική.

Οι HOEK (1994) και HOEK et al. (1995) λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω πρότειναν ένα γενικευμένο κριτήριο θραύσης:

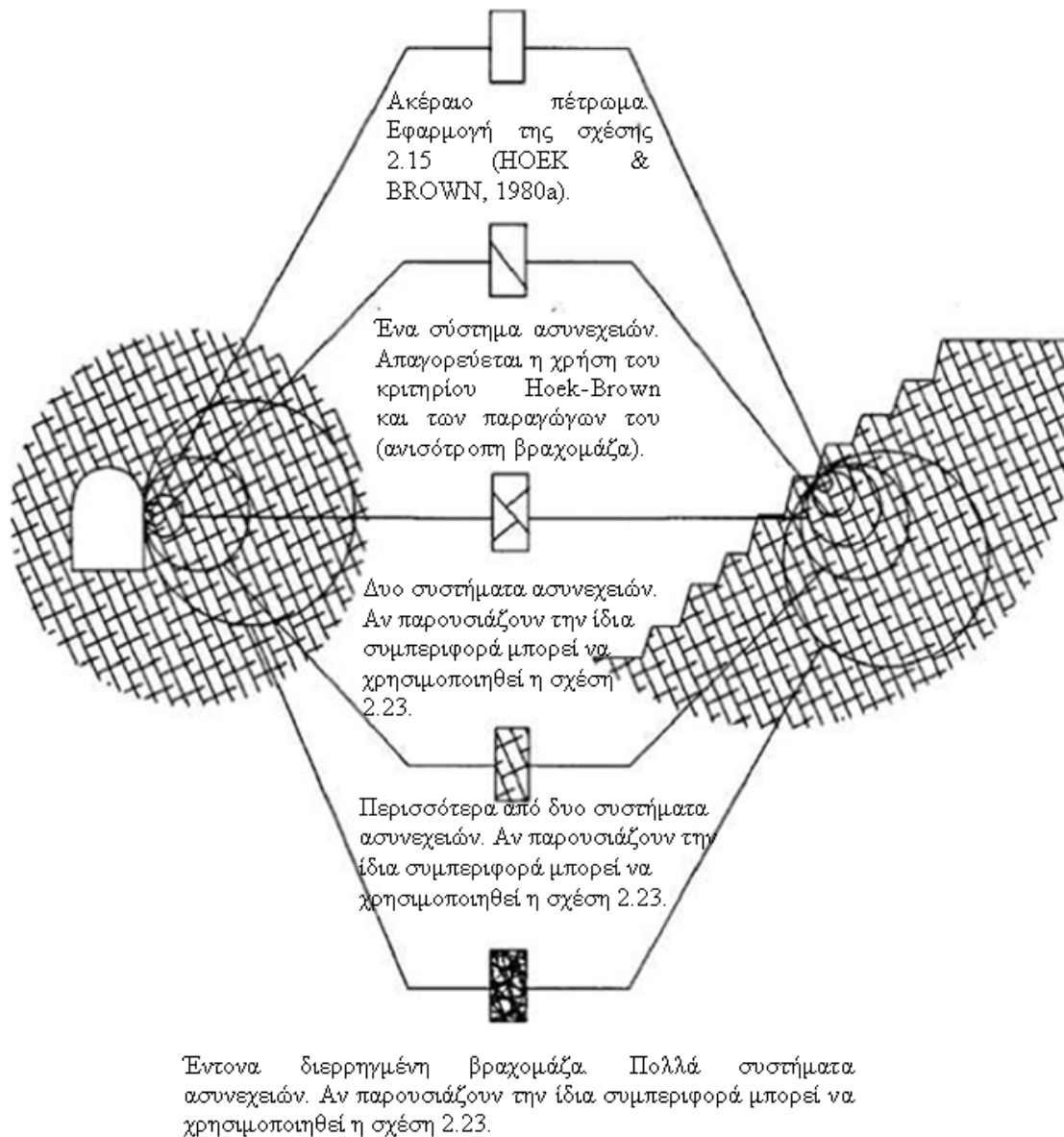
$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left[m \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right]^a \quad (2.23)$$

Αυτό μπορεί να εφαρμοσθεί τόσο για το ακέραιο πέτρωμα ($m=m_i$, $a=0.5$, $s=1$), όσο και για την ισχυρά κερματισμένη βραχομάζα ($m=m_b$, $a=0.5$, $s=0$) που μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα μέσο ομογενές και ισότροπο. Για να θεωρηθεί η βραχομάζα ομοιογενής και ισότροπη θα πρέπει να διατέμνεται από πολλά συστήματα ασυνεχειών, τα οποία να παρουσιάζουν τα ίδια χαρακτηριστικά και συμπεριφορά (να έχουν δηλαδή την ίδια βαρύτητα και όχι κάποιο σύστημα να είναι ασθενέστερο ή ισχυρότερο από τα άλλα). Στην **Εικόνα 2.11** φαίνεται η μετάβαση από το ακέραιο πέτρωμα στη βραχομάζα καθώς και σε ποιες περιπτώσεις θα πρέπει να χρησιμοποιείται το κριτήριο θραύσης Hoek-Brown.

Για να μπορεί να εφαρμοστεί το γενικευμένο κριτήριο θραύσης Hoek-Brown θα πρέπει να ισχύουν τα ακόλουθα:

- Η διάμετρος του ακέραιου πετρώματος επηρεάζει, όπως προαναφέραμε στο υποκεφάλαιο 2.1.1.4.2, την αντοχή του σε μοναξονική θλίψη.
- Στο κριτήριο θραύσης χρησιμοποιούμε τις ενεργές τάσεις. Ως γνωστόν η ενεργή τάση (σ') υπολογίζεται αν από την εφαρμοζόμενη ορθή τάση (σ_n) αφαιρέσουμε την πίεση του νερού των πόρων ή των ασυνεχειών του πετρώματος (u).
- Το κριτήριο θραύσης λαμβάνει υπόψη του τη μέγιστη και ελάχιστη ενεργή κύρια τάση κατά την αστοχία. Οι ενδιάμεσες κύριες τάσεις θεωρείται ότι έχουν αμελητέα επίδραση στην διαδικασία της θραύσης (JAEGER & COOK, 1969).

- Η περιεχόμενη υγρασία επηρεάζει την αντοχή του πετρώματος. Επομένως, είναι σημαντικό για λόγους συγκρίσιμους να χρησιμοποιούμε η απολύτως ξηρά ή πλήρως κορεσμένα δείγματα.



Εικόνα 2.11: Μετάβαση από το ακέραιο πέτρωμα στη διερρηγμένη βραχομάζα (HOEK, et al., 1998).

Στο υποκεφάλαιο 2.1.1.4.2 αναφέρεται πως για τον προσδιορισμό της m_i αρκεί η εκτέλεση τριαξονικών δοκιμών σε ένα αριθμό δοκιμών του πετρώματος με διαφορετικές πλευρικές τάσεις που οι τιμές τους κυμαίνονται $0 < \sigma_3 < 0.5\sigma_{ci}$. Το πως όμως θα εκτιμηθούν οι παράμετροι m_b και s της βραχομάζας προτάθηκε από τους HOEK & BROWN (1988). Αυτοί εισήγαγαν την έννοια της διαταραγμένης και αδιατάραχτης βραχομάζας, πρότειναν τη συσχέτιση του κριτηρίου θραύσης με τις παρατηρήσεις υπαίθρου και έδωσαν τις ακόλουθες σχέσεις:

Για διαταραγμένες βραχομάζες:

$$\frac{m_b}{m_i} = \exp\left(\frac{RMR-100}{14}\right) \quad (2.24)$$

$$s = \exp\left(\frac{RMR-100}{6}\right) \quad (2.25)$$

Για αδιατάρακτες βραχομάζες με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα:

$$\frac{m_b}{m_i} = \exp\left(\frac{RMR-100}{28}\right) \quad (2.26)$$

$$s = \exp\left(\frac{RMR-100}{9}\right) \quad (2.27)$$

Οι παραπάνω σχέσεις έδιναν καλά αποτελέσματα όταν εφαρμόζονταν για βραχομάζες με $RMR > 25$, όταν όμως εφαρμόζονταν για πολύ πτωχής ποιότητας βραχομάζες ($RMR < 25$) τα αποτελέσματα δεν ήταν αποδεκτά. Έτσι, για να ξεπεραστεί το πρόβλημα οι HOEK (1994) και HOEK et al. (1995) πρότειναν σχέσεις στις οποίες αντικαταστάθηκε το RMR από το GSI.

Για $GSI > 25$ (αδιατάρακτη βραχομάζα καλής έως μέτριας ποιότητας με αλληλοκλείδωμα γωνιωδών τεμαχών):

$$\frac{m_b}{m_i} = \exp\left(\frac{GSI-100}{28}\right) \quad (2.28)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9}\right) \quad (2.29)$$

$$a = 0.5 \quad (2.30)$$

Για $GSI < 25$ (αδιατάρακτη βραχομάζα πολύ πτωχής ποιότητας όπου το αλληλοκλείδωμα των τεμαχών έχει μερικώς καταστραφεί):

$$s = 0 \quad (2.31)$$

$$a = 0.65 - \frac{GSI}{200} \quad (2.32)$$

Το 2002 οι HOEK et al. πρότειναν κάποιες άλλες σχέσεις για τον προσδιορισμό των παραμέτρων m_b , s και a με βάση τις τιμές του GSI και του D:


$$\frac{m_b}{m_i} = \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right) \quad (2.33)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right) \quad (2.34)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}) \quad (2.35)$$

όπου D ένας παράγοντας ο οποίος εξαρτάται από το βαθμό διατάραξης που έχει υποστεί η βραχομάζα από την χρήση εκρηκτικών ή ακόμα από την ανακατανομή και αποτόνωση των τάσεων. Η τιμή του κυμαίνεται από 0 για αδιατάρακτες βραχομάζες μέχρι 1 για πολύ διαταραγμένες. Οι τιμές που μπορεί να πάρει ο D και κάτω από ποίο καθεστώς βραχομάζας φαίνονται στον Πίνακα 2.18.

Πίνακας 2.18: Προτεινόμενες τιμές του D κάτω από διαφορετικά καθεστώτα βραχομάζας.

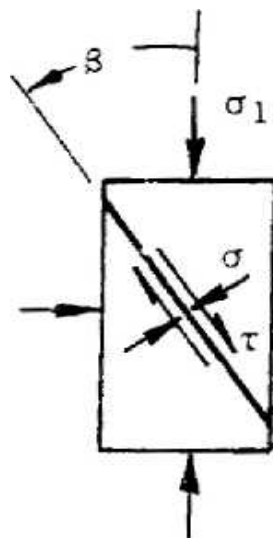
Εμφάνιση της βραχομάζας	Περιγραφή της βραχομάζας	Προτεινόμενη τιμή του D
	Εξαιρετικής ποιότητας ελεγχόμενη διάνοιξη με εκρηκτικά ή εκσκαπτικά μηχανήματα συντελούν σε ελάχιστη διαταραχή της βραχομάζας που περιβάλλει τη σήραγγα.	$D=0$
	Η εκσκαφή με μηχανικά ή χειρωνακτικά μέσα (χωρίς χρήση εκρηκτικών) σε βραχομάζες φτωχής ποιότητας συντελεί σε ελάχιστη διαταραχή της περιβάλλουσας βραχομάζας. Στις περιπτώσεις που προβλήματα συμπίεσης συντελούν σε σημαντική ανύψωση του δαπέδου, μπορεί να υπάρχουν σοβαρές διαταραχές, εκτός αν χρησιμοποιηθεί προσωρινό invert, όπως φαίνεται στη φωτογραφία.	$D=0$ $D=0.5$ No invert
	Η πολύ φτωχής ποιότητας διάνοιξη με εκρηκτικά σε σήραγγα σκληρού πετρώματος συντελεί σε σοβαρή επί τόπου καταστροφή, που εκτείνεται από 2 έως 3 μ., στην περιβάλλουσα βραχομάζα.	$D=0.8$
	Οι ανατινάξεις μικρής κλίμακας σε πρηνή συντελούν σε μέτρια διαταραχή της βραχομάζας, ιδιαίτερα αν η ελεγχόμενη διάνοιξη με εκρηκτικά γίνεται όπως φαίνεται στο αριστερό μέρος της φωτογραφίας. Πάντως η εκτόνωση των τάσεων συντελεί σε κάποια διατάραξη της βραχομάζας.	$D=0.7$ Good blasting $D=1.0$ Poor blasting
	Τα πολύ μεγάλα ορυχεία ανοιχτής εκσκαφής έχουν συνήθως υποστεί μεγάλη διαταραχή λόγω της μεγάλης χρήσης εκρηκτικών και επίσης λόγω ανακατανομής τάσεων από την απομάκρυνση των υπερκειμένων. Σε ασθενέστερα πετρώματα η εκσκαφή μπορεί να γίνει με άλλες μεθόδους (ripping ή dozing) οπότε και ο βαθμός της καταστροφής στα πρηνή είναι μικρότερος.	$D=1.0$ Διάνοιξη με εκρηκτικά $D=0.7$ Εκσκαφή με μηχανικά μέσα.

Γενικά οι HOEK & BROWN (1997) για καλής ποιότητας βραχομάζα ($GSI > 25$) πρότειναν ότι $GSI = (RMR)_{76}$ [συνθήκες υπόγειου νερού (βαθμός 10, ξηρό) και πολύ ευνοϊκό προσανατολισμό των ασυνεχειών (βαθμός 0)] αλλά και $GSI = (RMR)_{89-5}$ (συνθήκες υπόγειου νερού (βαθμός 15) και πολύ ευνοϊκό προσανατολισμό των ασυνεχειών (βαθμός 0)].

Κατά τη σχεδίαση υπόγειων τεχνικών έργων εφαρμόζεται το κριτήριο Hoek-Brown, το οποίο όμως έχει περιορισμένη χρήση σε επίπεδο ανάλυσης ευστάθειας πρανών. Στην δεύτερη αυτή περίπτωση η εφαρμογή του κριτηρίου θραύσης Mohr-Coulomb θεωρείται υποχρεωτική. Όμως, στη γεωτεχνική μηχανική αυτό που εντέλει μας ενδιαφέρει είναι η συνοχή (c) και γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ), οι οποίες προσδιορίζονται από το κριτήριο Mohr-Coulomb.

Από τα προαναφερόμενα γίνεται κατανοητό πως υπάρχει επιτακτική ανάγκη για συσχέτιση μεταξύ των δυο κριτηρίων. Έτσι, έγινε προσπάθεια να εκφραστεί η μέγιστη και η ελάχιστη κύρια τάση κατά την αστοχία, ως προς τη διατμητική (τ) και την ορθή τάση (σ_n ή σ), που δρουν στο επίπεδο αστοχίας, (επίπεδο κεκλιμένο κατά γωνία β ως προς την διεύθυνση επιβολής της μέγιστης κύριας τάσης σ_1 , **Εικ. 2.12**) και να καταλήξουμε στον προσδιορισμό της συνοχής και της γωνίας εσωτερικής τριβής.

Στο κριτήριο Hoek-Brown η περιβάλλουσα θραύσης είναι καμπύλη ενώ στο κριτήριο θραύσης Mohr-Coulomb η περιβάλλουσα είναι ευθεία. Για το λόγο αυτό η συσχέτιση μεταξύ των δυο κριτηρίων γίνεται σε περιοχές τάσεων όπου η περιβάλλουσα θραύσης τείνει να γίνει ευθεία, δηλαδή σε χαμηλές κύριες τάσεις που ικανοποιούν τη σχέση $\sigma_1 < \sigma_3 < \sigma_{3max}$.



Εικόνα 2.12: Κύριες τάσεις (σ_1 και σ_3) και ορθή (σ) και διατμητική τάση (τ) που δρουν επί ενός επιπέδου αστοχίας κατά τη στιγμή της αστοχίας (HOEK & BROWN, 1980b).

Ο BALMER (1952) στην προσπάθεια του να συσχετίσει τις ορθές ενεργές (σ_n') με τις διατμητικές (τ) τάσεις πρότεινε τις παρακάτω σχέσεις:

$$\sigma_n' = \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2} - \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2} \frac{\partial \sigma_1' / \partial \sigma_3' - 1}{\partial \sigma_1' / \partial \sigma_3' + 1} \quad (2.36)$$

$$\tau = (\sigma_1' - \sigma_3') \frac{\sqrt{\partial \sigma_1' / \partial \sigma_3'}}{\partial \sigma_1' / \partial \sigma_3' + 1} \quad (2.37)$$

όπου,

$$\partial \sigma_1' / \partial \sigma_3' = 1 + am_b (m_b \sigma_3' / \sigma_{ci} + s)^{a-1}$$

Οι HOEK (1983), HOEK and BROWN (1988), HOEK, et al. (1992), HOEK, et al. (2002) πρότειναν σχέσεις συσχετισμού μεταξύ των δυο κριτηρίων. Οι πιο σημαντικές εξισώσεις για την εκτίμηση της ενεργής συνοχής (c') και της ενεργής γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ') της βραχομάζας δόθηκαν από τους HOEK, et al. (2002):

$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b (s + m_b \sigma_{3n}')^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b (s + m_b \sigma_{3n}')^{a-1}} \right] \quad (2.38)$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma_{3n}'] (s + m_b \sigma_{3n}')^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + (6am_b (s + m_b \sigma_{3n}')^{a-1}) / ((1+a)(2+a))}} \quad (2.39)$$

όπου,

$$\sigma_{3n}' = \sigma_{3\max}' / \sigma_{ci}$$

Η $\sigma_{3\max}'$ αντιστοιχεί στο ανώτατο όριο πλευρικής πίεσης μέχρι το οποίο υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των κριτηρίων θραύσης Hoek-Brown και Mohr-Coulomb. Η τιμή της εξαρτάται από το είδος του τεχνικού έργου στο οποίο εφαρμόζεται το κριτήριο θραύσης Hoek-Brown. Στην περίπτωση των σιηράγγων σύμφωνα με τους HOEK, et al. (2002) ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$\frac{\sigma_{3\max}'}{\sigma_{cm}'} = 0.47 \left(\frac{\sigma_{cm}'}{\gamma H} \right)^{-0.94} \quad (2.40)$$

σ_{cm}' , η συνολική ενεργή αντοχή της βραχομάζας (global strength, θα αναλυθεί παρακάτω),

γ , το φαινόμενο βάρος της βραχομάζας,

H, το βάθος της σιηράγγας από την επιφάνεια του εδάφους.

Στην περίπτωση που οι οριζόντιες τάσεις είναι μεγαλύτερες από τις κατακόρυφες, η τιμή της οριζόντιας τάσης θα πρέπει να τοποθετείται στην θέση του γινομένου γH στην εξίσωση 2.40.

Οι ίδιοι ερευνητές για την περίπτωση των πρανών προτείνουν την παρακάτω σχέση:

$$\frac{\sigma'_{3\max}}{\sigma'_{cm}} = 0.72 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.91} \quad (2.41)$$

όπου,

H, το ύψος του πρανούς.

Η διατμητική τάση (τ) σύμφωνα με κριτήριο Mohr-Coulomb δίνεται από τον τύπο:

$$\tau = c' + \sigma_n \tan \phi' \quad (2.42)$$

Ισοδύναμη σχέση, βασισμένη στις ενεργές κύριες τάσεις σ'_1 και σ'_3 είναι:

$$\sigma'_1 = \sigma'_{cm} + k \sigma'_3 \quad (2.43)$$

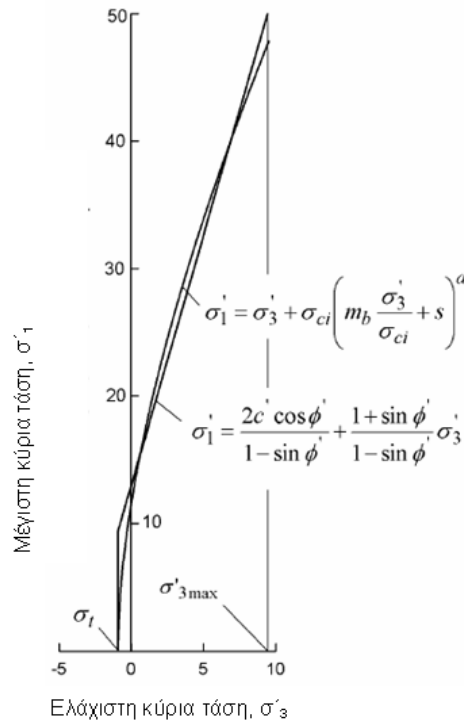
Όπου,

σ_c , η αντοχή σε μοναξονική θλίψη της βραχομάζας (θα αναλυθεί παρακάτω),

$$k = \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} \text{ και}$$

$$\sigma_{cm} = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'}$$

Στο σχήμα που ακολουθεί (Εικ. 2.13) φαίνονται οι σχέσεις μεταξύ των μέγιστων και ελάχιστων κύριων τάσεων, τόσο για το κριτήριο θραύσης Mohr-Coulomb όσο και για το κριτήριο θραύσης Hoek-Brown.



Εικόνα 2.13: Σχέσεις μεταξύ μέγιστων και ελάχιστων κύριων τάσεων για το κριτήριο θραύσης Hoek-Brown και το κριτήριο θραύσης Mohr-Coulomb (HOEK et al., 2002).

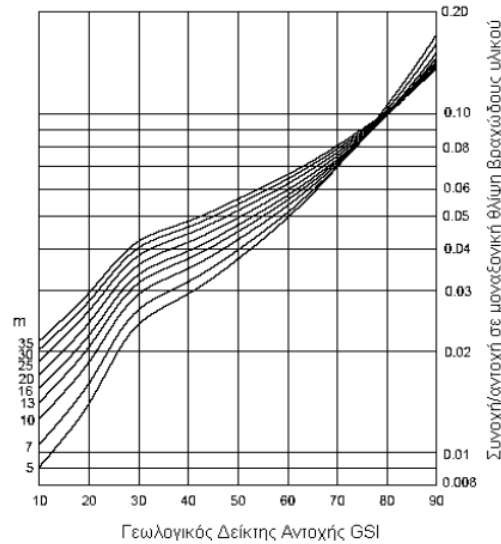
Με βάση το παραπάνω διάγραμμα και τη σχέση 2.43 μπορούμε να υπολογίσουμε τα c' και ϕ' με βάση το κριτήριο Mohr-Coulomb:

$$c' = \frac{\sigma_{cm}}{2\sqrt{k}} \quad (2.44)$$

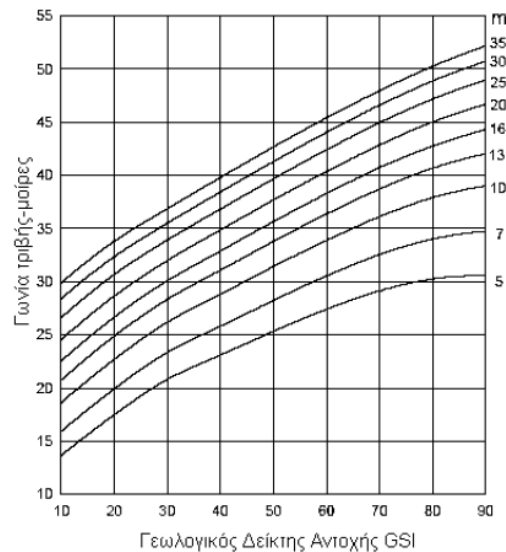
$$\sin\phi' = \frac{k-1}{k+1} \quad (2.45)$$

Τα c' και ϕ' παίρνουν πιο αξιόπιστες τιμές όταν $0 < \sigma'_3 < \sigma_{ci}/4$.

Σύμφωνα με τους HOEK & BROWN (1997) μπορούμε να βρούμε την ενεργή συνοχή και την ενεργή γωνία εσωτερικής τριβής όταν γνωρίζουμε την αντοχή σε μοναξονική θλίψη του ακέραιου πετρώματος, τη σταθερά m_i και το GSI της βραχομάζας, χρησιμοποιώντας τις Εικόνες 2.14, 2.15.



Εικόνα 2.14: Διάγραμμα της συνοχής/αντοχής σε μοναξονική θλίψη για διαφορετικές τιμές του GSI και του m_i (HOEK & BROWN, 1997).



Εικόνα 2.15: Διάγραμμα των γωνιών εσωτερικής τριβής για διαφορετικές τιμές του GSI και του m_i (HOEK & BROWN, 1997).

Όσον αφορά τώρα την αντοχή σε μοναξονική θλίψη της βραχομάζας (σ_c) δίνεται από την ακόλουθη σχέση (Σχέση 2.46) η οποία προκύπτει αν στο γενικευμένο κριτήριο θραύσης του Hoek-Brown (Σχέση 2.23) ληφθεί $\sigma'_3=0$:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} * s^a \quad (2.46)$$

όπου,

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} (e^{-G.S.I/15} - e^{-20/3})$$

Η αντοχή σε εφελκυσμό της βραχομάζας (σ_{tm}) δίνεται από την εξίσωση 2.23 όταν $\sigma'_1 = \sigma'_3 = \sigma_{tm}$:

$$\sigma_{tm} = \frac{s \sigma_{ci}}{m_b} \quad (2.47)$$

Εκτός όμως από την αντοχή σε μοναξονική θλίψη και την εφελκυστική αντοχή της βραχομάζας οι HOEK & BROWN (1997) πρότειναν ένα νέο όρο την «global strength, σ_{cm} » ο οποίος απεικονίζει ουσιαστικά τη συνολική (γενικευμένη) αντοχή της βραχομάζας (rock mass strength). Η συνολική ενεργή αντοχή της βραχομάζας δίνεται από τον τύπο:

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s))(m_b / 4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)} \quad (2.48)$$

Οι KALAMARAS & BIENIAWSKI (1995) συσχέτισαν την αντοχή σε μοναξονική θλίψη της βραχομάζας με αυτήν του ακέραιου πετρώματος και πρότειναν την παρακάτω σχέση:

$$\sigma_c / \sigma_{ci} = \exp[(RMR-100)/24] \quad (2.49)$$

Οι HOEK & BROWN (1988) και ο RAMAMURTHY (2004), με τη σειρά τους, έδωσαν αντιστοίχως τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\sigma_c / \sigma_{ci} = \sqrt{\exp\left(\frac{RMR-100}{9}\right)} \quad (2.50)$$

$$\sigma_c / \sigma_{ci} = \exp\left(\frac{RMR-100}{25}\right) \quad (2.51)$$

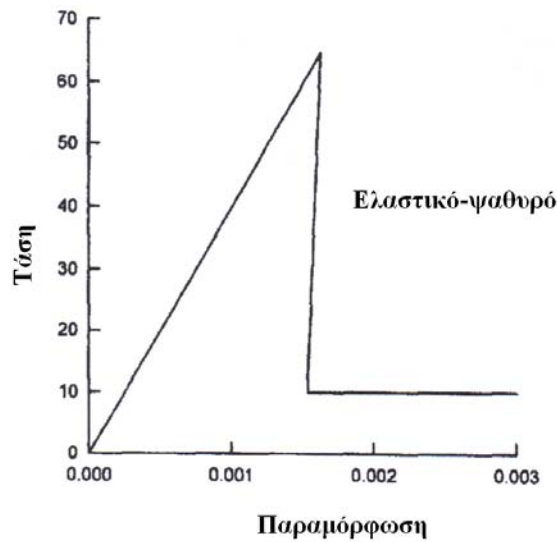
Τελειώνοντας αυτό το υποκεφάλαιο, θα πρέπει να αναφέρουμε πως στην περίπτωση τεχνικού έργου, όπου η ζώνη αστοχίας που το περιβάλλει επεκτείνεται μέχρι την επιφάνεια του εδάφους, δεν θα πρέπει να γίνεται συσχετισμός μεταξύ των δυο κριτηρίων, αλλά να εφαρμόζεται ένα από τα δυο κριτήρια ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου.

2.2.4 Παραμόρφωση της βραχομάζας

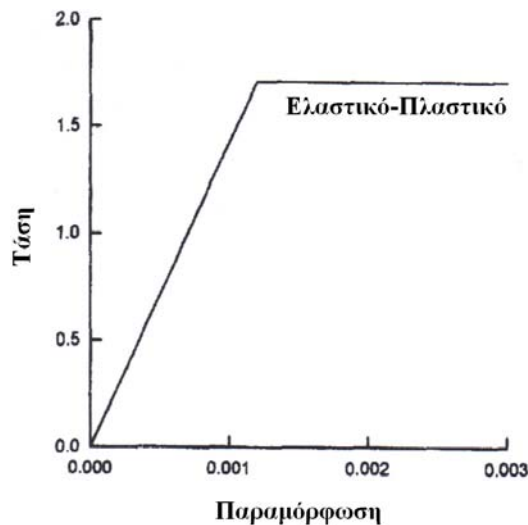
Στο υποκεφάλαιο 2.1.1.4.3 αναφέρθηκαν δυο παράμετροι οι οποίες μπορούν να περιγράψουν την παραμόρφωση του ακέραιου πετρώματος, το μέτρο ελαστικότητας (E)

και το λόγο poisson (ν). Επειδή η βραχομάζα δε συμπεριφέρεται ελαστικά, αντί του όρου μέτρο ελαστικότητας, θα χρησιμοποιηθεί ο όρος μέτρο παραμόρφωσης. Ως μέτρο παραμόρφωσης (E_{tm}) ορίζεται ο λόγος των τάσεων ως προς τις αντίστοιχες παραμορφώσεις κατά τη διάρκεια φόρτισης της βραχομάζας, η οποία παρουσιάζει ελαστική και μη ελαστική συμπεριφορά.

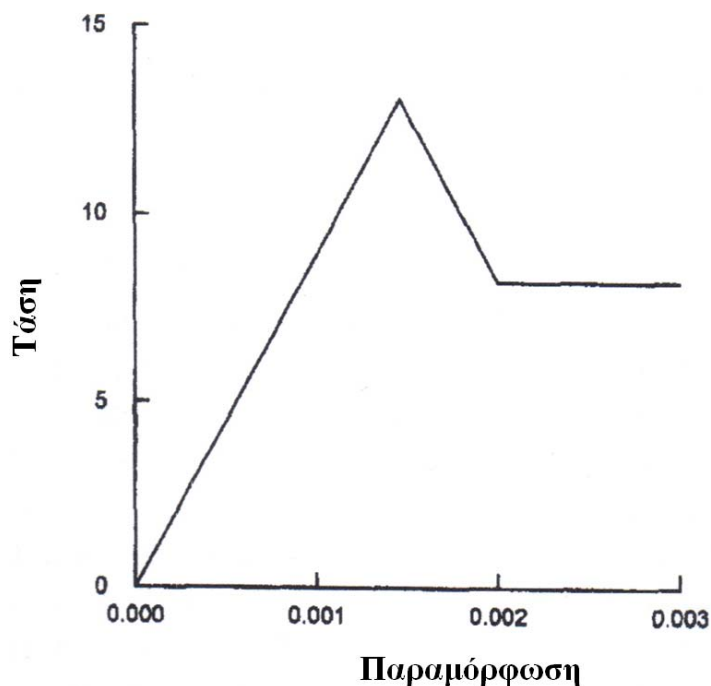
Για τις πολύ καλές σε ποιότητα και σκληρές βραχομάζες (γρανίτες, χαλαζίτες, βασάλτες, περιδοτίτες κ.ά.) οι HOEK & BROWN (1997) πρότειναν ότι η βραχομάζα συμπεριφέρεται με ένα ελαστικό-ψαθυρό τρόπο όπως φαίνεται στην **Εικόνα 2.16**, ενώ για τις πολύ φτωχές σε ποιότητα βραχομάζες, η παραμόρφωση είναι τελείως πλαστική (**Εικ. 2.17**). Για τις μεσαίες σε ποιότητα βραχομάζες, η παραμόρφωση περιγράφεται στην **Εικόνα 2.18**.



Εικόνα 2.16: Ελαστικό-ψαθυρή συμπεριφορά σε πολύ καλής ποιότητας βραχομάζες (από HOEK & BROWN, 1997).



Εικόνα 2.17: Τέλεια πλαστική συμπεριφορά σε φτωχής ποιότητας βραχομάζες (από HOEK & BROWN, 1997).



Εικόνα 2.18: Παραμορφωτική συμπεριφορά σε μεσαίας ποιότητας βραχομάζες (από HOEK & BROWN, 1997).

Ο καθορισμός του μέτρου παραμόρφωσης της βραχομάζας μέσω δοκιμών είναι γενικά δύσκολός, χρονοβόρος, ακριβός, πολλές φορές και αδύνατος, εξαιτίας της παρουσίας των ασυνεχειών. Για να υπερπηδηθεί αυτή η δυσκολία, πολλές εμπειρικές εξισώσεις έχουν προταθεί κατά καιρούς. Αρχικά, για να προσδιοριστεί το μέτρο παραμόρφωσης χρησιμοποιήθηκε το πηλίκο της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων επί τόπου προς την ταχύτητα των ηχητικών κυμάτων σε δείγμα στο εργαστήριο (V_F^2/V_L^2) και το RQD. Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν οι δυο παραπάνω μέθοδοι είναι ότι τα σεισμικά κύματα παρουσιάζουν διαφορετική ευαισθησία από τα ηχητικά κύματα και αναγνωρίζονται δύσκολα, ενώ το RQD δεν λαμβάνει υπόψη την επίδραση του πάχους, της διεύθυνσης, της συνέχειας και του υλικού πλήρωσης των ασυνεχειών. Αργότερα ο BIENIAWSKI (1978) χρησιμοποίησε το σύστημα ταξινόμησης RMR για να εκτιμήσει το μέτρο παραμόρφωσης της βραχομάζας:

$$E_m = 2 * RMR - 100 \quad (2.52)$$

Συσχετίσεις του μέτρου παραμόρφωσης της βραχομάζας και του RMR έδωσαν και οι SERAFIM & PEREIRA (1983), NICHOLSON & BIENIAWSKI (1990), MITRI et al. (1994) και RAMAMURTHY (2001). Οι NICHOLSON & BIENIAWSKI (1990), MITRI et al. (1994) και RAMAMURTHY (2001) συσχέτισαν το μέτρο παραμόρφωσης της βραχομάζας και με το μέτρο ελαστικότητας του ακεραίου πετρώματος. Οι HOEK & BROWN (1988) με τη σειρά τους πρότειναν μια παραλλαγή της σχέσης που έδωσαν οι

SERAFIM & PEREIRA (1983), αντί όμως του RMR, χρησιμοποίησαν το GSI. Συνέχεια της παραπάνω σχέσης είναι η σχέση στην οποία κατέληξαν οι HOEK et al. (2002), η οποία έχει συμπεριλάβει και τον παράγοντα D, ώστε να ληφθούν υπόψη η επίδραση των εκρηκτικών και η ανακατανομή των τάσεων. Οι KAYABASI et al. (2003), οι GOKCEOGLU et al. (2003), οι SONMEZ et al. (2004), οι HOEK & DIEDERICHS (2006) και οι SONMEZ et al. (2006) πρότειναν εμπειρικές εξισώσεις, όπου το μέτρο παραμόρφωσης της βραχομάζας προκύπτει από το μέτρο ελαστικότητας του ακέραιου πετρώματος (**Πίνακας 2.19**). Οι KAYABASI et al. (2003) και οι GOKCEOGLU et al. (2003) στις εξισώσεις που έδωσαν χρησιμοποίησαν και το βαθμό αποσάθρωσης (WD) της βραχομάζας.

Πίνακας 2.19: Λίστα εμπειρικών εξισώσεων προτεινόμενων για την εκτίμηση του μέτρου παραμόρφωσης της βραχομάζας με τους ανάλογους περιορισμούς.

Επιστήμονες	Εξισώσεις	Περιορισμοί
BIENIAWSKI, 1978	$E_{rm}=2RMR-100$	$RMR>50$
SERAFIM AND PEREIRA, 1983	$E_{rm}=10^{(RMR-10)/40}$	$RMR\leq 50$
HOEK & BROWN, 1988	$E_{rm}(GPa)=10^{((GSI-10)/40)}$	$\sigma_{ci}<100$
NICHOLSON AND BIENIAWSKI, 1990	$E_{rm}=E_i[0.0028RMR^2+0.9\exp(RMR/22.82)]$	-
MITRI et al., 1994	$E_{rm}=E_i[0.5(1-(\cos(\pi*RMR/100)))]$	-
RAMAMURTHY, 2001	$E_{rm}=E_i\exp\left(\frac{RMR-100}{17.4}\right)$	-
HOEK, et al., 2002	$E_{rm}(GPa)=\left(1-\frac{D}{2}\right)\sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}}10^{((GSI-10)/40)}$	$\sigma_{ci}\leq 100MPa$
HOEK, et al., 2002	$E_{rm}(GPa)=\left(1-\frac{D}{2}\right)10^{((GSI-10)/40)}$	$\sigma_{ci}>100MPa$
KAYABASI, et al., 2003	$E_{rm}=0.135\left[\frac{E_i(1+RQD/100)}{WD}\right]^{1.1811}$	-
GOKCEOGLU, et al., 2003	$E_{rm}=0.001\left[\frac{(E_i/\sigma_{ci})(1+RQD/100)}{WD}\right]^{1.5528}$	-
SONMEZ, et al., 2004	$E_m=E_i(s^a)^{0.4}$	$S=\exp((GSI-100)/9)$
HOEK & DIEDERICHS, 2006	$E_{rm}(MPa)=100000\left(\frac{1-D/2}{1+e^{((75+25D-GSI)/11)}}\right)$	
HOEK & DIEDERICHS, 2006	$E_{rm}=E_i\left(0.02+\frac{1-D/2}{1+e^{((60+15D-GSI)/11)}}\right)$	-
SONMEZ et al., 2006	$E_{rm}=E_i*10^{((RMR-100)(100-RMR)/4000\exp(-RMR/100))}$	-

Τελειώνοντας το κεφάλαιο αυτό είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί πως οι παράμετροι της διατμητικής αντοχής, η μέγιστη και η ελάχιστη ενεργή τάση κατά τη θραύση της βραχομάζας, η αντοχή σε μοναξονική θλίψη, η αντοχή σε εφελκυσμό, η συνολική (γενικευμένη) αντοχή και το μέτρο παραμόρφωσης της βραχομάζας μπορούν να υπολογιστούν με τη χρήση του προγράμματος RocLab, εισάγοντας μόνο τις τιμές του GSI, της m_i , του σ_{ci} , του D, και του M_R . Το Roclab είναι ένα λειτουργικό πρόγραμμα που βασίζεται στην τελευταία «έκδοση» του γενικευμένου κριτηρίου θραύσης των HOEK-BROWN που λεπτομερώς περιγράφεται από τους HOEK et al. (2002) και HOEK & DIEDERICHS (2006) και είναι ελεύθερα διαθέσιμο μέσω της ιστοσελίδας www.roscience.com.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

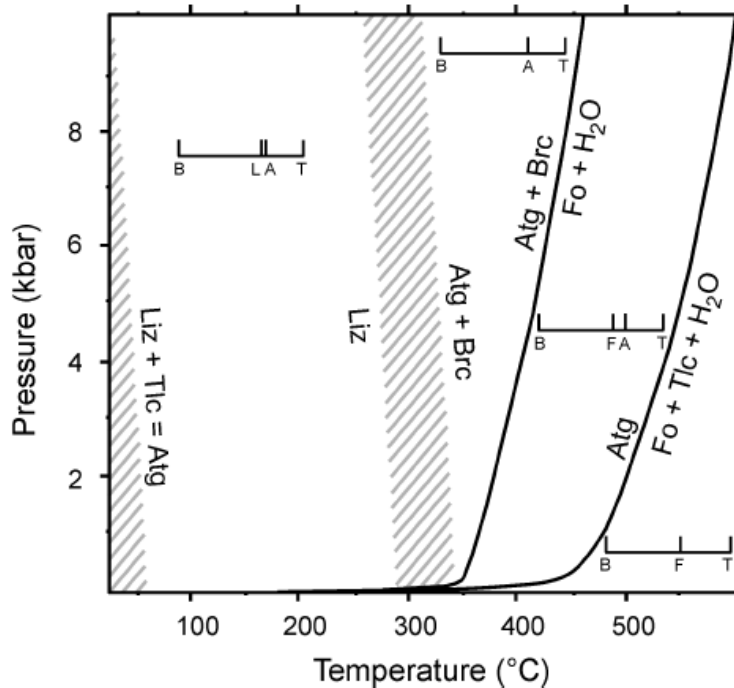
Η ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΩΣΗ ΣΤΑ ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

3.1 Σερπεντινίωση

Τα υπερβασικά πετρώματα στην Ελλάδα είναι Αλπικού τύπου περιδοτίτες, ελαφρά έως και εξολοκλήρου σερπεντινωμένοι (σερπεντινίτες) και απαντώνται ανεξάρτητοι ή αποτελούν μέρος των οφιολιθικών συμπλεγμάτων. Η κύρια ορυκτολογική σύστασή τους είναι ολιβίνης (~ Fo_{92}), πυρόξενοι και αδιαφανή ορυκτά (σπινέλιοι). Ορισμένοι δε τύποι έχουν και πλαγιόκλαστα. Ο ολιβίνης $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ είναι νησοφυριτικό ορυκτό ρομβικής συμμετρίας, έχει ελαιοπράσινο χρώμα, σκληρότητα 6.5-7 (κλίμακα Mohs), σχισμό αρκετά σαφή, παρουσιάζει θραυσμό και το ειδικό του βάρος κυμαίνεται από 3.2-4.4. Οι πυρόξενοι ανήκουν στα ινοφυριτικά ορυκτά και διακρίνονται σε: (α) ρομβικούς ή ορθοπυρόξενους (σιδηρομαγνησιούχους) και (β) μονοκλινείς ή κλινοπυρόξενους (ασβεστοσιδηρομαγνησιούχους). Ο πιο συχνά εμφανιζόμενος ορθοπυρόξενος είναι ο ενστατίτης $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$, πλούσιος σε μαγνήσιο (έως 5% σίδηρο). Ο ενστατίτης παρουσιάζει τεφροπράσινο-μαύρο χρώμα, έχει σκληρότητα 5.5 (κλίμακα Mohs), ο σχισμός του χαρακτηρίζεται ως καλός και το ειδικό του βάρος είναι 3.3. Από τους κλινοπυρόξενους οι πιο κοινά εμφανιζόμενοι στα υπερβασικά πετρώματα είναι ο διοψίδιος $(\text{CaMgSi}_2\text{O}_6)$, που είναι λευκοπράσινος και ο αυγίτης $[\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Si,Al})_2\text{O}_6]$ που είναι μαυροπράσινος. Και οι δυο κρυσταλλώνονται στο μονοκλινές σύστημα. Η σκληρότητά τους είναι 5-6 (κλίμακα Mohs), παρουσιάζουν τέλειο σχισμό και το ειδικό τους βάρος είναι 3.3-3.5. Τα πλαγιόκλαστα είναι μέλη της συνεχούς ισόμορφης σειράς μεταξύ νατριούχου και ασβεστούχου αστρίου, ανήκουν στα τεκτοφυριτικά ορυκτά, κρυσταλλώνονται κυρίως στο τρικλινές σύστημα, παρουσιάζονται, λευκά και τεφρά, ο σχισμός τους χαρακτηρίζεται από καλός και έως και τέλειος, το ειδικό τους βάρος είναι 2.6 ως 2.7 και έχουν σκληρότητα 6 (κλίμακα Mohs).

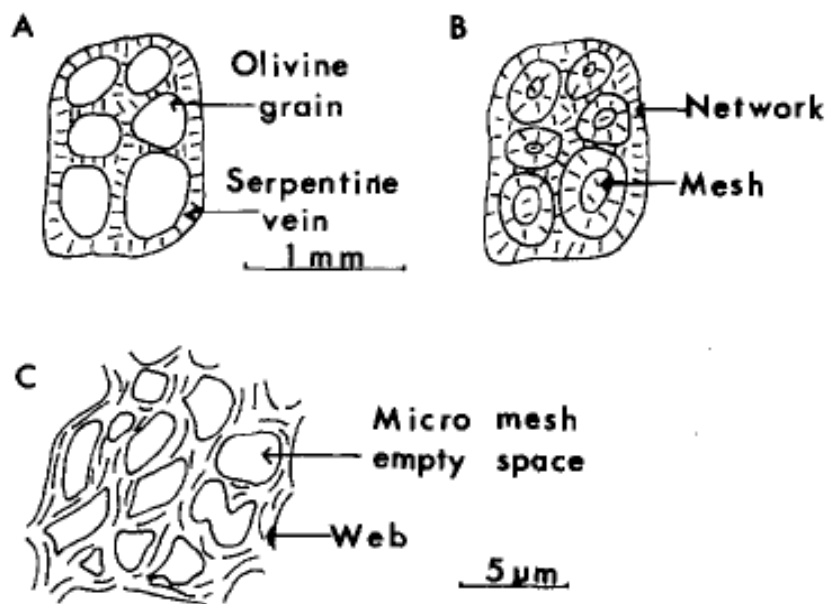
Τα υπερβασικά πετρώματα με την παρουσία νερού, σε ορισμένες περιπτώσεις, υφίστανται σερπεντινίωση. Η διεργασία αυτή χαρακτηρίζεται ως εξαλλοίωση εφόσον πραγματοποιηθεί σε συνθήκες πολύ χαμηλής θερμοκρασίας και πίεσης ή ως μεταμόρφωση/μετασωμάτωση εφόσον ολοκληρωθεί σε μεγαλύτερη θερμοκρασία. Κατά τη σερπεντινίωση τα σιδηρομαγνησιούχα πυριτικά ορυκτά των υπερμαφικών πετρωμάτων

Οι σερπεντινίτες είναι δυνατόν να δημιουργηθούν σε διάφορα περιβάλλοντα κατά την πορεία της εξέλιξης ενός οφιολιθικού συμπλέγματος: α) σε ωκεάνιο περιβάλλον (πριν τη σύγκρουση των λιθοσφαιρικών πλακών), β) κατά τη διάρκεια της σύγκρουσης και επώθησης των οφιολίθων στο ηπειρωτικό περιθώριο και γ) μετά την τοποθέτηση του οφιολιθικού συμπλέγματος σε ηπειρωτικό περιβάλλον. Έτσι, ανάλογα με το περιβάλλον γένεσης προκύπτουν διαφορετικοί τύποι και μάλιστα κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Οι σερπεντινίτες έχουν μελετηθεί σε οφιολιθικά συμπλέγματα από τους SMITH (1958), JACKSON (1961), JOHANNES (1968), SAAD (1969), DAVIS (1971), JACKSON et al., (1975), PRICHARD (1979). Σύμφωνα με αυτούς ο λιζαρδίτης και ο χρυσοτίλης δημιουργούνται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις από τον αντιγορίτη (όπως προαναφέρθηκε) και έχει αποδειχτεί πως για να μετατραπεί ο λιζαρδίτης σε αντιγορίτη χρειάζεται αύξηση της παραμόρφωσης και της θερμοκρασίας (MALTMAN, 1976). Όμως ο EVANS (2004) παρατήρησε ότι ο χρυσοτίλης δεν παρουσιάζει σταθερό πεδίο πίεσης-θερμοκρασίας (Εικ. 3.1). Η θερμοκρασία διάσπασης του αντιγορίτη στις πιέσεις του ανώτερου μανδύα είναι περίπου 650°C (ULMER & TROMMSDORFF, 1995; WUNDER & SCHREYER, 1997; BROMILEY & PAWLEY, 2003). Στα ίδια συμπεράσματα έχουν καταλήξει και οι BERMAN (1988), O'HANLEY (1996). Οι χημικές συστάσεις αλλάζουν κατά τη διάρκεια της σερπεντινίωσης με αποτέλεσμα να επηρεάζουν την τελική σύνθεση του σερπεντινίτη.



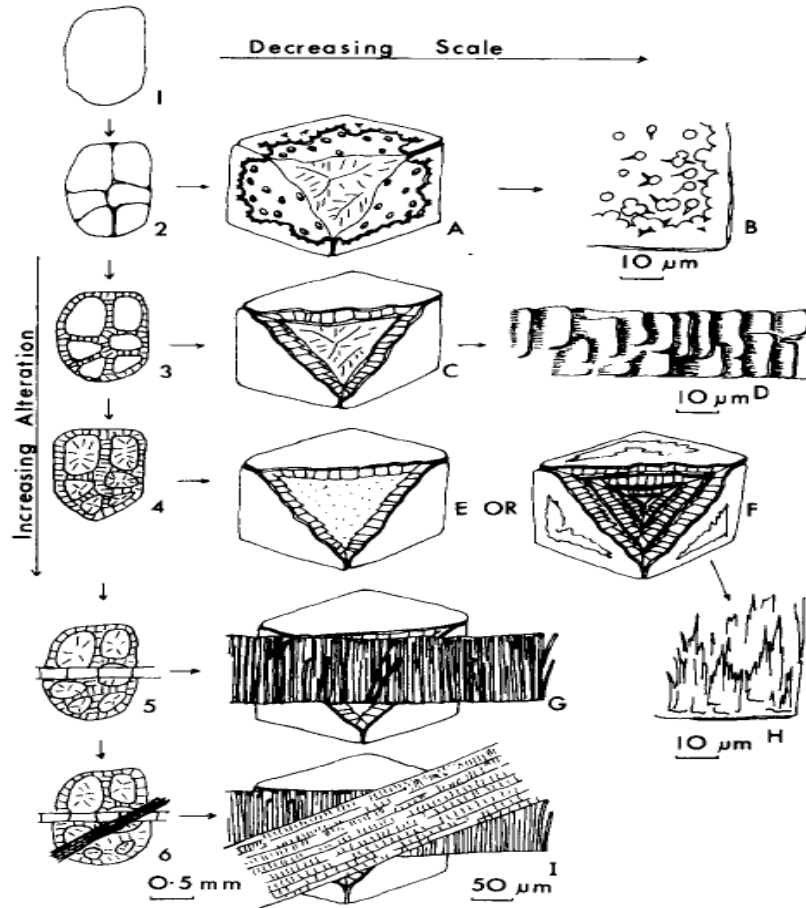
Εικόνα 3.1: Διάγραμμα P/T για σερπεντινίτη (EVANS, 2004): Liz=Λιζαρδίτης, Atg=Αντιγορίτης, Tlc=Τάλκης, Brc=Βρουσίτης, Fo=Φορστερίτης.

Οι WHITTAKER & ZUSSMAN (1956), PAGE (1966), WICKS (1969), WHITTAKER & WICKS (1970), WICKS & WHITTAKER (1975), MOODY, (1976) WICKS & WHITTAKER (1977) περιέγραψαν τα στάδια της σερπεντινίωσης. Η σερπεντινίωση ξεκινά από τον ολιβίνη και στη συνέχεια περνάει στα υπόλοιπα ορυκτά. Οι κρύσταλλοι ολιβίνη, οι οποίοι παρουσιάζουν θραυσμό (μοιάζουν σαν κύβοι), ευνοούν τη δημιουργία σερπεντίνη (κυρίως λιζαρδίτη, O'HANLEY, 1996) κάθετα στις επιφάνειες τους. Στην περίπτωση όμως καλά αναπτυγμένων κρυστάλλων, ο λιζαρδίτης αρχίζει να δημιουργείται στις επαφές τους. Ο λιζαρδίτης παρουσιάζει μια χαρακτηριστική πλακώδη μορφή, με τις πλάκες να προσανατολίζονται ακτινωτά γύρω από τους κόκκους ολιβίνη (VITI & MELLINI, 1998) και να δημιουργούν συνήθως πλέγματα γύρω από αυτούς (Εικ. 3.2, 3.3, 3.4). Το πλέγμα (mesh) μοιάζει με ένα σύνολο από πολυγωνικά κελιά (κυψελώδης ιστός, Εικ. 3.2, 3.3, 3.4, 3.5). Στην περιφέρεια των κελιών συχνά εμφανίζονται κόκκοι μαγνητίτη, ενώ κάποιες φορές αντί του κυψελώδη ιστού παρατηρείται ιστός κλεψύδρας (hourglass, Εικ. 3.4).

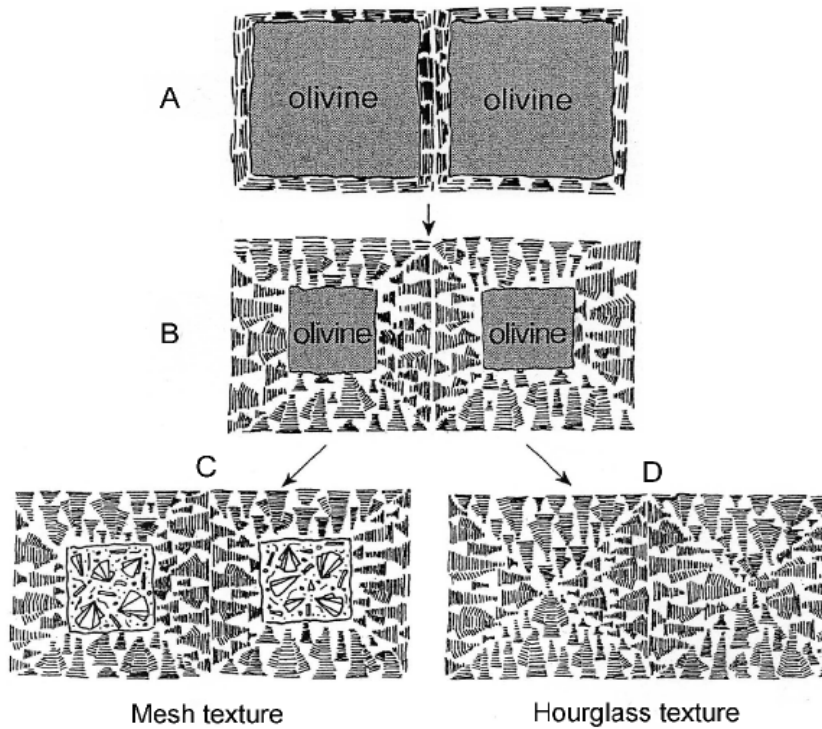


Εικόνα 3.2: Τρόπος εξαλλοίωσης ολιβίνη και δομές πλέγματος (PRICHARD, 1979).

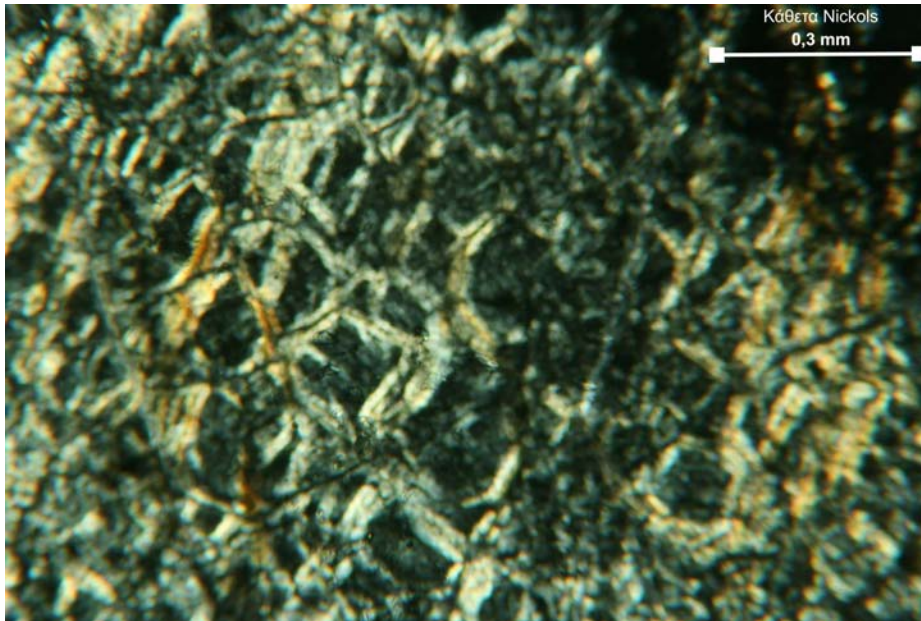
Καθώς η διαδικασία εξελίσσεται οι υπολειματικοί κόκκοι του ολιβίνη μικραίνουν σε μέγεθος και η εξαλλοίωση κινείται προς το κέντρο. Εν συνεχεία, σχηματίζονται ίνες από παράλληλα φύλλα λιζαρδίτη τα οποία είναι περίπου από 10 ως 20μm (Εικ. 3.3G). Οι ίνες σερπεντίνη μπορεί να είναι προσανατολισμένες ή με τυχαία διεύθυνση, κατά συνέπεια τα σερπεντινωμένα πετρώματα χαρακτηρίζονται αντιστοίχως ως ανισότροπα και ισότροπα. (στην παρούσα διατριβή έγινε προσπάθεια να εξετάσουμε μόνο ισότροπους σερπεντινίτες).



Εικόνα 3.3: Περιγραφή της διαδικασίας της σερπεντινίωσης σε όλα τα στάδια (PRICHARD, 1979).



Εικόνα 3.4: A, B: Εξαλλοίωση ολιβίνη σε λιζαρδίτη, C: Κυψελώδης ιστός D: Ιστός κλεψύδρας (VITI & MELLINI, 1998).



Εικόνα 3.5: Πλήρως σερπεντινωμένος περιδοτίτης με εμφανείς δομές πλέγματος (κυψελώδης ιστός).

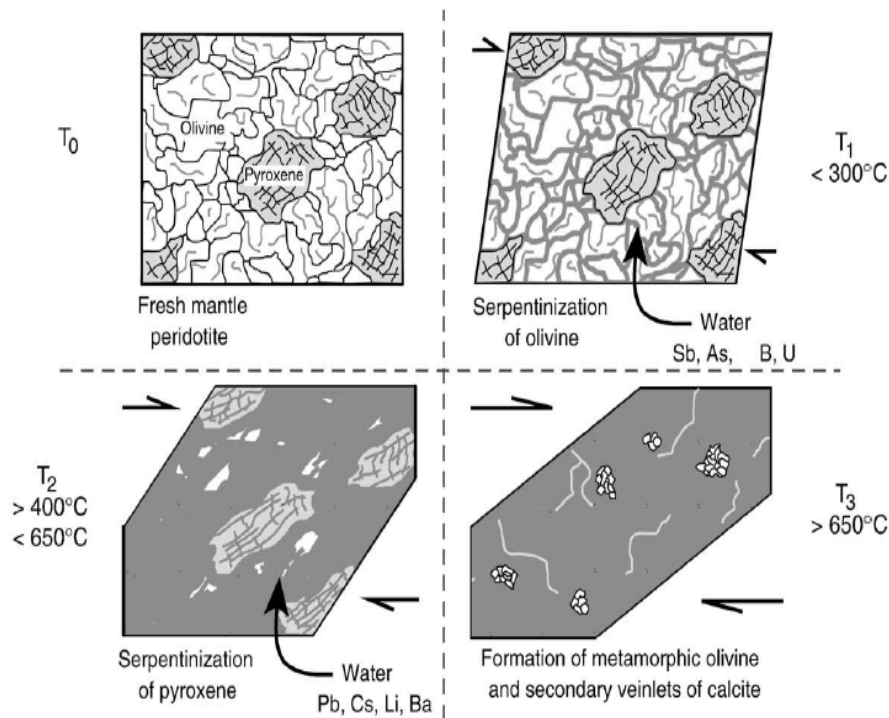
Με τον ίδιο σχεδόν τρόπο σερπεντινώνεται και ο ορθοπυρόξενος, όμως σε μεταγενέστερο στάδιο από τον ολιβίνη, πολλές φορές δε όταν σχεδόν όλος ο ολιβίνης έχει σερπεντινωθεί. Αυτό το αντιλαμβανόμαστε γιατί μέσα σε ένα δείγμα ο βαθμός εξαλλοίωσης γύρω από τον ολιβίνη είναι μεγαλύτερος από αυτόν, που βρίσκεται, γύρω από τον ορθοπυρόξeno. Σε αντίθεση με τον ολιβίνη, που παρουσιάζει έντονο θραυσμό, ο ορθοπυρόξενος δεν είναι γενικά σπασμένος και η εξαλλοίωση του αρχίζει στα όρια των κόκκων και συνεχίζει κατά το μήκος των επιφανειών σχισμού. Ο πρώτος σερπεντίνης, που αντικαθιστά τον ορθοπυρόξeno, είναι ο λιζαρδίτης. Η διαφορά είναι πως οι πλάκες λιζαρδίτη, που αντικαθιστούν τον ορθοπυρόξeno, είναι μεγαλύτερες από αυτές που αντικαθιστούν τον ολιβίνη.

Ο κλινοπυρόξενος εξαλλοιώνεται τελευταίος και σε μικρότερο βαθμό από ότι τα προαναφερθέντα ορυκτά.

Στο δεύτερο στάδιο παρατηρούμε το σχηματισμό του χρυσοτίλη. Ο χρυσοτίλης αρχίζει να κρυσταλλώνεται σε λεπτές ίνες (κυλινδρικές δομές) γεμίζοντας τις φλέβες και αντικαθιστώντας το λιζαρδίτη. Οι ίνες αυτές κόβουν κάθετα τα πλέγματα και τις πλάκες χωρίς κανένα σεβασμό στις υφές και παραμορφώνοντας τα πρωταρχικά ορυκτά (**Εικ. 3.31**). Τέλος κάποιες φορές δημιουργείται και ο αντιγορίτης, ο οποίος σχηματίζεται κυρίως όπου υπάρχει ζώνη διάτμησης από την παραμόρφωση του λιζαρδίτη, σπάνια από την παραμόρφωση του χρυσοτίλη. Για να συμβεί αυτό, ο σερπεντινίτης πρέπει να έχει υποστεί μεταμόρφωση σε ανώτερη πρασινοσχιστολιθική ή κατώτερη αμφιβολιτική φάση (EVANS & FROST, 1975). Οι πλάκες αντιγορίτη έχουν κυματιστή εμφάνιση και συχνά μοιάζουν

με λιζαρδίτη, αλλά συνήθως δείχνουν μερική επιμήκυνση σε μια διεύθυνση. Μερικές φορές αυτές φαίνονται συμπαγείς και ογκώδεις, περιορίζονται σε επιφάνειες διάτμησης και είναι σπάνιες σε ωκεάνιο δάπεδο σχηματίζοντας το τελευταίο πολύμορφο.

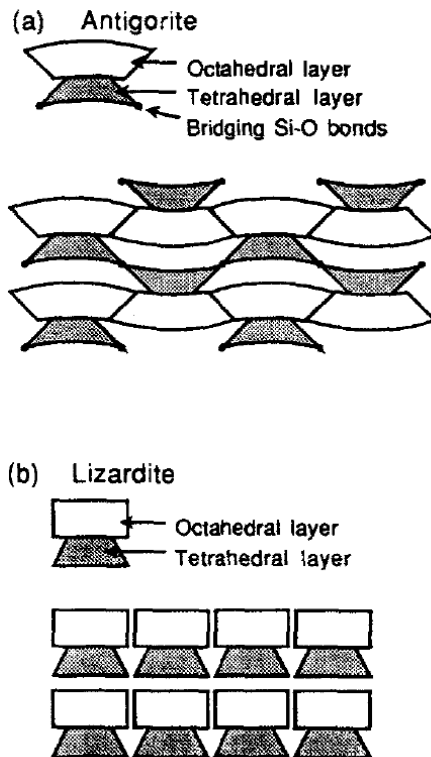
Οι DESCHAMPS et al. (2009) περιέγραψαν με τη σειρά τους τα στάδια της σερπεντινίωσης ενός «φρέσκου» πρωτολίθου (περιδοτίτη), που αποτελείται κυρίως από ολιβίνη και πυρόξενο (Εικ. 3.6). Σε θερμοκρασία μικρότερη των 300°C ο ολιβίνης αρχίζει να σερπεντινώνεται και παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις των Sb, As, B και U. Με την αύξηση της θερμοκρασίας (400°C-650°C) παρατηρήθηκε σερπεντινίωση του πυροξένου και υψηλές συγκεντρώσεις Pb, Cs, Li και Ba. Όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 650°C τότε παρατηρείται σχηματισμός μεταμορφωμένου ολιβίνης και ασβεστιτικών φλεβών.



Εικόνα 3.6: Στάδια σερπεντινίωσης φρέσκου περιδοτίτη. T_0 : Φρέσκος περιδοτίτης, ο οποίος αποτελείται από ολιβίνη και πυρόξενο, T_1 : Αρχίζει η σερπεντινίωση του ολιβίνης σε θερμοκρασία $<300^\circ\text{C}$ και με την παρουσία Sb, As, B και U, T_2 : Ξεκινάει η σερπεντινίωση του πυροξένου σε θερμοκρασία 400°C - 650°C με την παρουσία Pb, Cs, Li και Ba, T_3 : Σχηματισμός μεταμορφωμένου ολιβίνης και ασβεστιτικών φλεβών σε θερμοκρασία $>650^\circ\text{C}$ (DESCHAMPS et al., 2009).

Σύμφωνα με τους REINEN et al. (1994) και O'HANLEY (1996), ο λιζαρδίτης παρουσιάζεται σε πλακώδη μορφή και τα στρώματά του, τα οποία αποτελούνται από ένα τετραεδρικό φύλλο Si και ένα οκταεδρικό φύλλο Mg, συνδέονται μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου. Αντίθετα ο αντιγορίτης παρουσιάζεται με κεκαμμένη μορφή και τα στρώματά του συνδέονται μεταξύ τους με Si-O δεσμούς (στα σημεία που αλλάζει η κάμψη από κοίλο σε κυρτό και το ανάποδο Εικ. 3.7). Οι Si-O δεσμοί είναι ισχυρότεροι από τους δεσμούς

υδρογόνου, κατά συνέπεια ο αντιγορίτης παρουσιάζει ένα συντελεστή τριβής συγκρίσιμο με αυτόν του χαλαζία και των αστρίων (0.5-0.85), περίπου διπλάσιο από αυτόν του λιζαρδίτη (0.20-0.30). Οι DENGU και LOGAN (1981) υπολόγισαν το συντελεστή τριβής του αντιγορίτη περίπου 0.77, ενώ οι MOORE et al. (1996), REINEN et al. (1994) και ο REINEN, 2000 υπολόγισαν πως ο συντελεστής τριβής για το λιζαρδίτη και το χρυσοτίλη κυμαίνεται από 0.15 ως και 0.35 παρόμοιες τιμές δηλαδή με τις παραπάνω. Οι ίδιοι επιστήμονες καθώς και O'HANLEY (1996) παρατήρησαν πως ο λιζαρδίτης και ο χρυσοτίλης είναι οι πιο κοινοί σερπεντίνες στην ωκεάνια λιθόσφαιρα και παρουσιάζουν χαμηλότερη αντοχή σε σχέση με τους υπόλοιπους ωκεάνιους βράχους, ενώ ο αντιγορίτης παρουσιάζει μια αντοχή η οποία είναι μεταξύ αυτής του δουνίτη και του λιζαρδίτη και δεν εμφανίζεται συχνά στα ωκεάνια περιβάλλοντα. Επίσης, η μετάβαση από την όλκιμη στην εύθραυστη συμπεριφορά του αντιγορίτη πραγματοποιείται σε υψηλότερες θερμοκρασίες (RALEIGH & PATERSON, 1965; RALEIGH, 1967). Ο χρυσοτίλης παρουσιάζει ακόμη μεγαλύτερη κάμψη από τον αντιγορίτη και σχηματίζει μη συμπαγή κυλινδρικά σχήματα σαν ίνες (όπως προαναφέραμε). Έτσι ο σχισμός, που παρουσιάζει, δε μπορεί να προκαλέσει προβλήματα από ενδοκρυσταλλικές ολισθήσεις παράλληλα προς τις επιφάνειες σχισμού.



Εικόνα 3.7: Σχηματικές κρυσταλλικές δομές α) Αντιγορίτης- δεσμοί Si-O β) Λιζαρδίτης-δεσμοί υδρογόνου (REINEN et al., 1994).

Η διαδικασία που περιγράψαμε παραπάνω για το σχηματισμό λιζαρδίτη-χρυσοτίλη και αντιγορίτη ακολουθείται όταν έχουμε προοδευτική μεταμόρφωση (σερπεντινίωση) περιδοτιτών. Έτσι παίρνουμε με τη σειρά αρχικά λιζαρδίτη, αργότερα χρυσοτίλη και στο τέλος αντιγορίτη. Με το πέρας της διαδικασίας αυτής δεν υπάρχουν υπολείμματα ολιβίνη και ορθοπυροξένου, όλος ο περιδοτίτης έχει γίνει σερπεντινίτης, εκτός και αν οι συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας είναι οριακές, ώστε να επιτρέπουν τη συνύπαρξη του σερπεντίνης με τον ολιβίνη.

Σύμφωνα με τους WICKS & WHITTAKER (1977), στους σερπεντινίτες παρατηρούνται 3 γενικές κατηγορίες δομών, η ψευδομορφική, η μη ψευδομορφική και η φλεβική. Οι δύο πρώτες δομές σχηματίζονται από αντικατάσταση προϋπαρχόντων ορυκτών, ενώ η φλεβική από κρυστάλλωση σε ρωγμές. Οι ογκώδεις σερπεντινίτες παρουσιάζουν ψευδομορφικές δομές, ενώ οι φολιδωμένοι μη ψευδομορφικές. Οι πρώτες σχηματίζονται κυρίως από την σερπεντινίωση του ολιβίνης και χαρακτηρίζονται ως κυψελώδεις, κάποιες δε φορές και ως ιστοί κλεψύδρας (hourglass), όπως προαναφέρθηκε. Υπάρχουν όμως και ψευδομορφικές δομές που δημιουργούνται από σερπεντινίωση του πυροξένου. Αυτές ονομάζονται βασίτες. Οι μη ψευδομορφικές διακρίνονται σε ενδοδιεισδυτικές και ενδοπλεκτικές. Στον ενδοδιεισδυτικό ιστό, επιμήκεις βελόνες σερπεντίνης αντικαθιστούν (με διεισδυτικό τρόπο) τις περισσότερες φορές κάποιο δευτερογενές ορυκτό, ενώ στον ενδοπλεκτικό ιστό ο σερπεντίνης σχηματίζει πιο ισομεγέθη συσσωματώματα, που και αυτά με τη σειρά τους αντικαθιστούν δευτερογενή ορυκτά. Το χρώμα των μη ψευδομορφικών σερπεντινιτών συνήθως ποικίλει με το μέγεθος και τα ποσοστά μαγνητίτη και γίνεται σκουρότερο όσο το μέγεθος των κόκκων μειώνεται και όσο οι κόκκοι είναι περισσότερο ομοιόμορφα διεσπαρμένοι. Οι φλέβες στο σερπεντινίτη παρουσιάζουν πράσινο χρώμα, σχηματίζονται κατά μήκος των διατμητικών σπασιμάτων και των επιπέδων σχιστότητας, παρατηρούνται σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό μέσα στο πέτρωμα και δίνουν σαπωνοειδείς και πολύ ολισθηρές επιφάνειες. Οι φλέβες είναι δύσκολο να παρατηρηθούν σε λεπτές τομές γιατί σχηματίζονται μέσα σε λεπτομερώς διατμημένα και σπασμένα κομμάτια μη κατάλληλα για λεπτές τομές.

Εκτός από τη σερπεντινίωση, τα υπερβασικά πετρώματα παρουσιάζουν και δυο άλλες μορφές εξαλλοίωσης την ουραλιτίωση και την καολινιτίωση. Ως ουραλιτίωση περιγράφεται η μετατροπή των πυροξένων σε αμφίβολους (συνήθως ακτινόλιθο, $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ή τρεμολίτη, $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$). Ο ακτινόλιθος και ο τρεμολίτης ανήκουν, όπως και οι πυροξένοι, στα ινοπυριτικά ορυκτά. Έχουν πράσινο-λευκό χρώμα, παρουσιάζουν τέλειο σχισμό, σκληρότητα 5 ως 6 και ειδικό βάρος 3.1 ως 3.2. Ωστόσο,

εξαιτίας της δομής τους, παρουσιάζουν χαμηλότερα φυσικοδυναμικομηχανικά χαρακτηριστικά και αυτά γίνονται χειρίστα όταν δημιουργηθεί ουραλίτης, πλήρως εξαλλοιωμένος πυρόξενος. Από την άλλη πλευρά ως καολινιτίωση χαρακτηρίζεται η εξαλλοίωση των πλαγιοκλάστων σε αργιλικά ορυκτά. Τα αργιλικά ανήκουν στα φυλλοπυριτικά ορυκτά. Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει ένυδρα πυριτικά ορυκτά του αργιλίου και του μαγνησίου. Τα ορυκτά αυτά, συνήθως, παρουσιάζουν λευκό χρώμα, η σκληρότητά τους είναι πολύ χαμηλή (2 έως 2.5) και το ειδικό τους βάρος 2.6. Οπουδήποτε εμφανίζονται παρουσιάζουν πολύ χαμηλές φυσικοδυναμικομηχανικές ιδιότητες.

Δε σταθήκαμε ιδιαίτερα σε αυτές τις δυο εξαλλοιώσεις γιατί δεν εμφανίζονται σε μεγάλο βαθμό στα υπερβασικά πετρώματα, αλλά και επειδή αυτό που πραγματικά μας ενδιαφέρει είναι να ερευνήσουμε, πως τα χαρακτηριστικά των υπερβασικών πετρωμάτων μεταβάλλονται σε σχέση με το βαθμό σερπεντινίωσης (τι ποσοστό % του αρχικού πετρώματος έχει σερπεντινωθεί).

Ο βαθμός εξαλλοίωσης των υπερβασικών εξαρτάται από τη δράση ενός ή περισσοτέρων από τα παραπάνω αίτια, από την ένταση καθώς και από το χρονικό διάστημα που έδρασαν, σε συνδυασμό πάντα με την ορυκτολογική σύσταση και τον ιστό των πετρωμάτων. Στην περίπτωση που επενεργούν πολλά από τα ανωτέρω αίτια και που η επίδρασή τους είναι έντονη, τα πετρώματα υφίστανται πλήρη αλλοίωση. Έτσι τόσο οι περιδοτίτες όσο και οι σερπεντινίτες μετατρέπονται σε πολύ σαθρές μάζες με συμπεριφορά τελείως διαφορετική από αυτή των αρχικών πετρωμάτων.

3.2 Η επίδραση της σερπεντινίωσης στα χαρακτηριστικά των υπερβασικών πετρωμάτων

Οι φυσικοδυναμικομηχανικές ιδιότητες των υγιών υπερβασικών πετρωμάτων, αυτών δηλαδή που πρακτικά δεν έχουν υποστεί ή έχουν υποστεί μικρού βαθμού σερπεντινίωση (μικρότερη από 30%), εξαρτώνται αφενός από τις αντίστοιχες ιδιότητες των ορυκτολογικών τους συστατικών και αφ' ετέρου από το μέγεθος, τον τρόπο σύνδεσης και διάταξης των κρυστάλλων τους (δηλαδή τον ιστό και την υφή τους). Αντίθετα στα σερπεντινωμένα πετρώματα οι φυσικοδυναμικομηχανικές ιδιότητές τους, εξαρτώνται κυρίως από το βαθμό σερπεντινίωσης και δευτερευόντως από τον ιστό και την υφή. Οι σερπεντινίτες παρουσιάζουν πολύ διαφορετικές ιδιότητες από τους πρωτόλιθους τους (περιδοτίτες). Ο βαθμός σερπεντινίωσης συσχετίζεται ανάλογα με το πορώδες και αντιστρόφως ανάλογα με την πυκνότητα. Αύξηση δηλαδή του ποσοστού σερπεντινίωσης, προκαλεί μείωση της πυκνότητας (φαινόμενο βάρος) και αύξηση του πορώδους των

πετρωμάτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι υγιείς περιδοτίτες συνίστανται κυρίως από ολιβίνη και πυρόξενους, ορυκτά με μεγάλη πυκνότητα-ειδικό βάρος, ενώ οι σερπεντινίτες αποτελούνται κυρίως από σερπεντίνη (μικρή πυκνότητα). Στον **Πίνακα 3.1** φαίνονται οι πυκνότητες των κυριότερων ορυκτών που συμμετέχουν στα υπερβασικά πετρώματα.

Πίνακας 3.1: Πυκνότητες των κυριότερων ορυκτών των υπερβασικών πετρωμάτων.

Ορυκτά	Πυκνότητα (gr/cm ³)	Βιβλιογραφία
Φορστερίτης (Mg ₂ SiO ₄)	3.213	ROBIE et al., 1979
Φαυαλίτης (Fe ₂ SiO ₄)	4.393	ROBIE et al., 1979
Ενστατίτης (MgSiO ₃)	3.207	CAMERON & PAPIKE, 1980
Φερροσυλίτης (FeSiO ₃)	4.002	CAMERON & PAPIKE, 1980
Βρουσίτης (Mg(OH) ₂)	2.382	DEER et al., 1962
Σερπεντίνης (Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	2.596	BAYLISS, 1981
Μαγνητίτης (Fe ₃ O ₄)	5.201	ROBIE et al., 1979

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, τα γενικά χαρακτηριστικά των ορυκτών, που περιγράφηκαν στο **Κεφάλαιο 3.1**, αλλά και τους CHRISTENSEN (1966b), RAO & RAMANA (1974), KOYMANTAKHΣ (1978), CHRISTENSEN (2004), COURTIER et al. (2004), οι βράχοι με πυκνότητα 2.45-2.50gr/cm³ είναι σχεδόν 100% σερπεντινωμένοι, ενώ οι βράχοι με πυκνότητα 3.30-3.35gr/cm³ θεωρούνται υγιείς, μη σερπεντινωμένοι περιδοτίτες και δουνίτες (μηδενική σερπεντινίωση).

Σύμφωνα με τον SAAD (1969) το πορώδες για τους σερπεντινίτες φτάνει ως και 15% και η αύξησή του πραγματοποιείται ταχύτερα στα αρχικά στάδια της σερπεντινίωσης. Οι RAO & RAMANA (1974) διαπίστωσαν ότι το πορώδες στους ελαφρώς σερπεντινωμένους περιδοτίτες κυμαίνεται κατά μέσο όρο από 0.25 ως 1.58%, στους έντονα σερπεντινωμένους (σερπεντινίτες) από 2.24 ως 5.5% και στους αποσαθρωμένους, σχιστοποιημένους σερπεντινίτες μπορεί να φτάσει έως και 34.51%. Ο KOYMANTAKHΣ (1978) παρατήρησε, πως το ολικό πορώδες κυμαίνεται από σχεδόν 0 στους υγιείς περιδοτίτες ως και 11.86% στους σερπεντινίτες και σχιστοποιημένους σερπεντινίτες, ενώ στους πλήρως εξαλλοιωμένους σερπεντινίτες μπορεί να φτάσει και το 30.22%. Ο λόγος των κενών κυμαίνεται από σχεδόν 0 στους υγιείς περιδοτίτες έως και 0.134 στους σερπεντινίτες και στους σχιστοποιημένους σερπεντινίτες. Επίσης, Ο KOYMANTAKHΣ (1978) διατύπωσε και γραμμικές συσχετίσεις μεταξύ του πορώδους και του ξηρού φαινομένου βάρους καθώς και μεταξύ του πορώδους και της απορροφητικότητας. Για

τους μη αποσαθρωμένους σερπεντινίτες, οι TOFT, et al. (1990) κατέληξαν πως οι τιμές του πορώδους κυμαίνονται από 5 ως και 15%. Οι WHITEFORD & LUMB (1975) γνωρίζοντας ότι η πυκνότητα μειώνεται και ότι το πορώδες αυξάνεται γραμμικά με το βαθμό σερπεντινίωσης, διαπίστωσαν ότι ένα δείγμα με φαινόμενο βάρος 2810kg/m^3 είναι σερπεντινωμένο κατά τα δύο τρίτα της σειράς ($3320\text{-}2530\text{kg/m}^3$) και παρουσιάζει πορώδες 6%, το οποίο είναι παραπλήσιο με την τιμή του πορώδους που έδωσε ο BURK (1964) για τα παρόμοιας πυκνότητας υπερβασικά πετρώματα. Αντίστοιχα παρατήρησαν πως ένα δείγμα με φαινόμενο βάρος 2530kg/m^3 είναι 100% σερπεντινωμένο και παρουσιάζει $\approx 14\%$ πορώδες, παρόμοιο με την τιμή που δίνει ο SAAD (1969) για ένα πλήρως σερπεντινωμένο περιδοτίτη. Ο ΡΗΓΟΠΟΥΛΟΣ (2009) εξετάζοντας δείγματα υπερβασικών πετρωμάτων, παρατήρησε πως το ολικό πορώδες κυμαίνεται από 3.08 έως 9.59%, ενώ η απορροφητικότητα από 0.14 έως 3.17% και πρότεινε γραμμική συσχέτιση μεταξύ του πορώδους και της απορροφητικότητας. Επίσης πρότεινε γραμμικές συσχετίσεις ανάμεσα στο πορώδες και στην απορροφητικότητα με το βαθμό σερπεντινίωσης.

Επιπλέον, καθώς αυξάνεται το ποσοστό σερπεντινίωσης μειώνονται οι ταχύτητες των επιμηκών (V_p) και των εγκάρσιων (V_s) κυμάτων των πετρωμάτων, αφού μειώνεται η πυκνότητα και όπως είναι ευρέως γνωστό μείωση της πυκνότητας προκαλεί μείωση της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων (ESCARTIN et al., 2001; COURTIER et al., 2004, Πίν. 3.2, 3.3). Δυο άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τις ταχύτητες και αυξάνονται σταθερά με το βάθος στο εσωτερικό της γης είναι η πίεση και η θερμοκρασία. Οι ταχύτητες των κυμάτων αυξάνονται γενικά με την πίεση (Πίν. 3.3, Εικ. 3.8). Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη συμπύκνωση εξαιτίας της μείωσης των κενών (BIRCH, 1960; BRACE, 1965; CHRISTENSEN, 1966a; RAMANA, 1969; COURTIER et al., 2004 κ.ά.). Από την άλλη πλευρά, οι ταχύτητες των συμπιεστικών κυμάτων μειώνονται γενικά με τη θερμοκρασία, αλλά ποικίλουν σε τιμές από τύπο σε τύπο βράχου. Επομένως είναι σαφές ότι η πίεση και η θερμοκρασία είναι ανταγωνιστικές παράμετροι, οι οποίες επηρεάζουν τις ελαστικές ιδιότητες των βράχων. Πολυάριθμες μελέτες αποκάλυψαν ότι σε περίπτωση που υπάρχει συνδυασμός και των δυο, για παράδειγμα, αύξηση της θερμοκρασίας και μείωση της πίεσης, οι ελαστικές ταχύτητες των κυμάτων μειώνονται (CHRISTENSEN, 1979).

Οι μετρήσεις του CHRISTENSEN (1989) πάνω σε σχετικά υψηλού πορώδους (3.9%) λερζόλιθους από το Νέο Μεξικό, απέδειξαν πως μια ταπείνωση της πλευρικής πίεσης κατά 15%, μειώνει τη V_p κατά 9%, τη V_s κατά 26% και αυξάνει το λόγο Poisson από 0.27 σε 0.36.

3. Η ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΩΣΗ ΣΤΑ ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

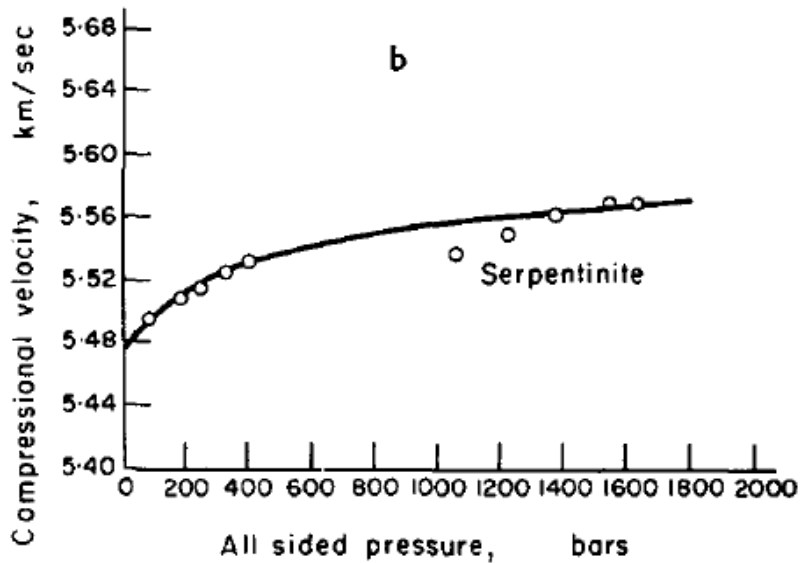
Πίνακας 3.2: Τιμές των πυκνοτήτων και των ταχυτήτων των επιμηκών και εγκάρσιων κυμάτων δουνιτών και περιδοσιτών με διαφορετικούς βαθμούς σερπεντινίωσης σε πίεση 200MPa (ESCARTIN, et al., 2001).

ρ g/cm ³	V_p km/s	V_s km/s							
2.52	4.75	2.29	2.468	5.14	2.461	2.61	5.303	2.538	
2.75	5.98	2.97	2.546	4.956	2.281	2.68	5.906	3.005	
2.84	6.2	3.09	2.7	5.35	2.77	2.63	4.928	2.463	
3.05	7.02	3.72	2.61	5.33	2.78	2.57	4.767	2.459	
3.07	6.87	3.75	2.75	5.82	3	2.61	5.131	2.504	
3.13	7.25	3.69	2.74	5.94	3.08	2.66	5.88	2.8	
3.14	7.16	3.97	2.81	6.13	3.22	2.67	5.424	2.694	
3.29	7.63	4.16	2.8	6.03	3.18	2.72	5.521	2.704	
3.29	7.8	4.34	2.62	5.58	2.74	2.61	5.515	2.252	
3.33	8.52	4.64	2.54	5	2.61	2.63	5.3	2.483	
2.51	5.03	2.48	2.66	5.53	2.83	2.61	5.111	2.312	
2.52	5.07	2.46	2.55	4.88	2.44	2.54	5.104	2.096	
2.54	5.35	2.53	2.65	5.46	2.8	2.57	5.24	2.096	
2.55	4.99	2.43	2.56	4.93	2.49	2.61	5.144	2.16	
2.62	5.63	2.7	2.51	4.91	2.45	2.63	5.839	2.628	
2.63	5.62	2.61	3.01	6.749	3.956	2.65	5.66	2.727	
2.63	6	3.03	2.61	5.237	2.623	2.66	5.326	2.699	
2.67	6.54	3.58	2.64	5.389	2.629	2.62	5.4	2.28	
2.84	6.19	3.32	2.63	5.405	2.662	2.59	5.369	2.447	
2.86	6.29	3.32	2.61	5.349	2.481	2.62	5.024	2.095	
3.24	7.86	4.41	2.56	5.048	2.473	2.77	6.246	3.087	
2.58	5.23	2.6	2.61	5.189	2.33	2.31	4.33		
2.83	6.14	3.16	2.58	5.112	2.564	2.33	4.26		
2.467	4.826	2.381	2.61	5.048	2.492	2.42	4.38		
			2.49	5.135	2.456				
			2.61	5.238	2.466				

Data from Christensen (1966; 1972; 1978), Christensen and Smewing (1981), Iturrino et al. (1996), Miller and Christensen (1997) and Schreiber and Fox (1977)

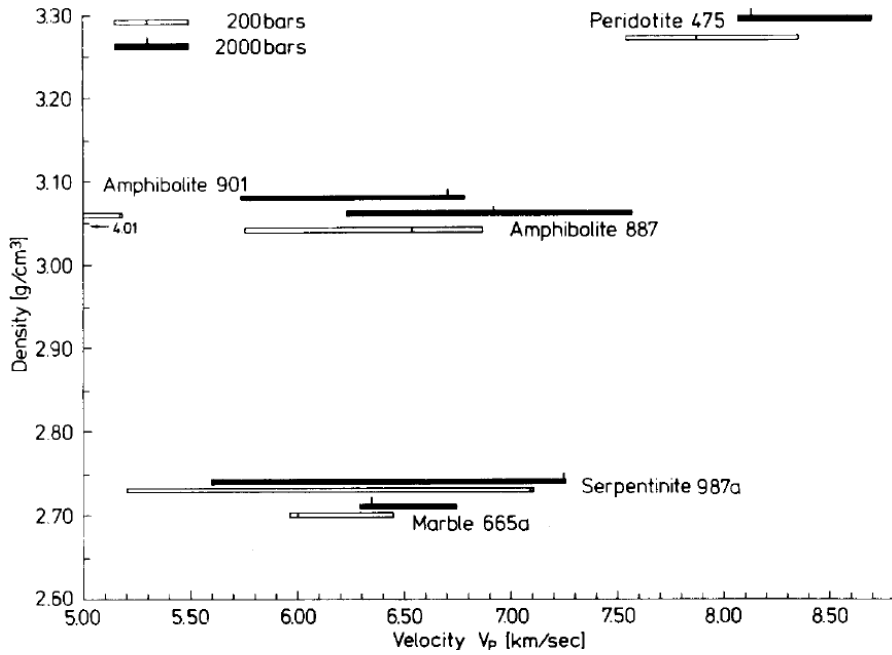
Πίνακας 3.3: Τιμές των ταχυτήτων των κυμάτων για διάφορα υπερβασικά πετρώματα κάτω από διαφορετικές πιέσεις καθώς και οι πυκνότητές τους (COURTIER et al., 2004).

Core, section, interval (cm)	Depth (mbsf)	Density (kg/m ³)	Mode	Velocity (km/s)							
				20 MPa	40 MPa	60 MPa	80 MPa	100 MPa	200 MPa	400 MPa	600 MPa
195-1200A-											
3R-1, 17-19	18.37	2600	P	5.794	5.837	5.868	5.892	5.912	5.986	6.079	6.144
		2600	S	3.154	3.181	3.199	3.212	3.222	3.248	3.268	3.279
3R-1, 54-56	18.74	2580	P	5.784	5.878	5.931	5.967	5.994	6.072	6.140	6.180
		2580	S	3.167	3.184	3.199	3.213	3.224	3.261	3.285	3.288
6R-1, 104-106	42.44	2616	P	5.360	5.423	5.463	5.494	5.519	5.609	5.716	5.784
		2616	S	2.144	2.638	2.756	2.789	2.801	2.826	2.857	2.880
6R-2, 11-13	42.77	2611	P	5.680	5.720	5.746	5.766	5.783	5.847	5.942	6.025
		2611	S	3.013	3.030	3.040	3.048	3.054	3.075	3.100	3.117
6R-2, 32-34	42.98	2565	P	5.465	5.552	5.604	5.640	5.669	5.759	5.851	5.905
		2565	S	2.852	2.878	2.893	2.904	2.912	2.938	2.964	2.980
6R-2, 54-56	43.2	2618	P	5.686	5.710	5.730	5.747	5.763	5.830	5.931	6.004
		2618	S	2.758	2.791	2.812	2.829	2.844	2.897	2.964	3.008
7R-1, 25-27	51.35	2657	P	5.773	5.795	5.815	5.833	5.850	5.922	6.028	6.099
		2657	S	3.049	3.075	3.090	3.101	3.110	3.138	3.166	3.183
7R-2, 9-11	51.78	2701	P	5.520	5.627	5.691	5.737	5.773	5.886	6.001	6.069
7R-2, 89-91	52.58	2580	P	5.428	5.577	5.661	5.719	5.763	5.894	6.019	6.088
7R-2, 114-116	52.83	2645	P	5.716	5.791	5.837	5.871	5.899	5.992	6.102	6.177
12R-1, 20-22	99.2	2672	P	5.751	5.816	5.859	5.892	5.920	6.020	6.148	6.227
13R-1, 46-48	109.16	2613	P	5.708	5.767	5.793	5.810	5.825	5.893	6.003	6.078
		2613	S	3.161	3.175	3.183	3.190	3.195	3.213	3.235	3.252
16R-1, 76-78	138.36	2548	P	5.137	5.239	5.299	5.343	5.377	5.484	5.593	5.658
16R-1, 107-109	138.67	2554	P	5.316	5.347	5.373	5.395	5.416	5.503	5.638	5.750
Average		2612	P	5.563	5.634	5.677	5.709	5.735	5.824	5.932	6.003
Average		2609	S	2.878	2.967	2.996	3.011	3.020	3.050	3.082	3.101

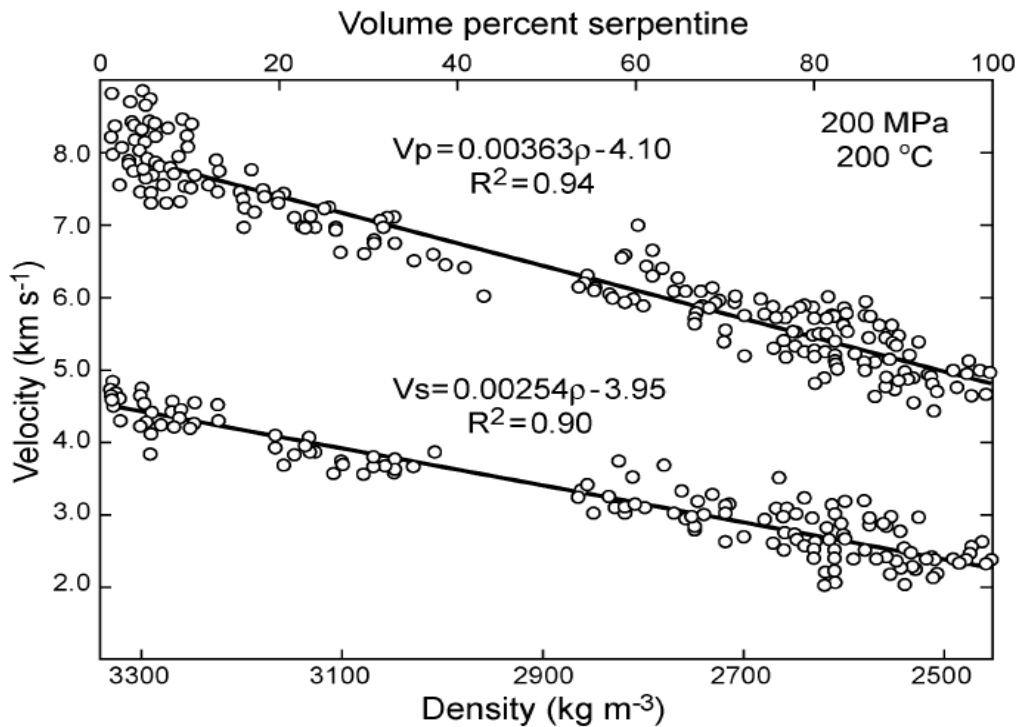


Εικόνα 3.8: Η επιρροή της πίεσης στις ταχύτητες των επιμηκών κυμάτων (RAMANA, 1969).

Αρκετοί είναι οι επιστήμονες που έχουν ασχοληθεί με τον υπολογισμό των ταχυτήτων στα υπερβασικά πετρώματα και τους σερπεντινίτες. Κάποιοι πραγματοποίησαν τις μετρήσεις απευθείας σε μεγάλες μάζες στο εσωτερικό της γης και κάποιοι άλλοι σε δοκίμια. Ο HESS (1959) υπολόγισε την ταχύτητα των P κυμάτων των σερπεντινιτών σε 5.8km/s, ενώ η BIRCH (1961) διαπίστωσε ότι οι σερπεντινίτες παρουσιάζουν V_p ταχύτητες περίπου 6.0km/s υπό πίεση 1GPa. Οι KERN & FAKHIMI (1975) διερευνώντας τις ταχύτητες των επιμηκών και των εγκάρσιων κυμάτων (σε διάφορες πιέσεις) στους περιδοτίτες παρατήρησαν πως η ταχύτητα V_p των κυμάτων κυμαίνεται από 7.5 ως 8.7km/s, ενώ των V_s από 4.64 ως 4.74km/s και παρουσίασαν τη σχέση της ταχύτητας των επιμηκών κυμάτων των πετρωμάτων με την πυκνότητα (Εικ. 3.9). Επίσης, οι παραπάνω επιστήμονες διαπίστωσαν πως για τους σερπεντινίτες η ταχύτητα των P κυμάτων κυμαίνεται από 5.2 ως 7.25km/s. Οι FUCHS (1983) και ENDERLE et al. (1996) πρότειναν τιμές για τις ταχύτητες των επιμηκών κυμάτων 8.6km/s και 9.0km/s αντίστοιχα. Το 2003 οι CARLSON και MILLER χρησιμοποιώντας τα δημοσιευμένα στοιχεία για τα υπερβασικά πετρώματα, από τους BIRCH (1960), SIMMONS (1964), και CHRISTENSEN (1966, 1971, 1972, 1978), καθώς επίσης και τα αδημοσίευτα στοιχεία που μετρήθηκαν από μια ακολουθία μερικώς σερπεντινωμένων περιδοτιτών και δουνιτών από την Ουάσιγκτον, έφτιαξαν ένα σχήμα (Εικ. 3.10), στο οποίο παρουσιάζεται η σχέση της πυκνότητας και της σερπεντινίωσης με τις ταχύτητες των επιμηκών και των εγκάρσιων κυμάτων. Τα στοιχεία, που προβάλλονται στο σχήμα αυτό, μετρήθηκαν σε θερμοκρασία 200°C και πίεση 200MPa, συνθήκες που αντιστοιχούν στον κατώτερο ωκεάνιο φλοιό και τον ανώτερο μανδύα.



Εικόνα 3.9: Σχέση της πυκνότητας με την ταχύτητα των επιμηκών κυμάτων στα πετρώματα (KERN AND FAKHIMI, 1975).

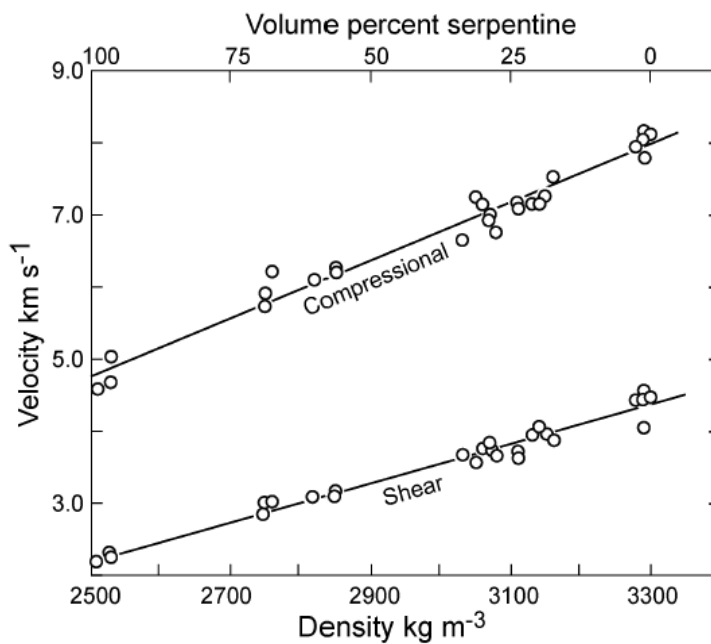


Εικόνα 3.10: Σχέση της πυκνότητας με τις ταχύτητες των επιμηκών και των εγκάρσιων κυμάτων των υπερβασικών πετρωμάτων υπό πίεση 200MPa και θερμοκρασία 200°C (CARLSON & MILLER, 2003).

Ο CHRISTENSEN (2004) χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις του CHRISTENSEN (1966b) για τις πυκνότητες και τις ταχύτητες των επιμηκών και εγκάρσιων κυμάτων από μια ακολουθία υπερβασικών βράχων, δημιούργησε το σχήμα (Εικ. 3.11). Η υπερβασική αυτή ακολουθία αποτελείται από σχεδόν πλήρως σερπεντινωμένους περιδοτίτες (κυρίως

λιζαρδίτη-χρυσσίτη) έως αμετάβλητους περιδοτίτες και οι ταχύτητές τους μετρήθηκαν σε πίεση 1GPa και προς πολλές κατευθύνσεις για να αποτραπεί πιθανή ανισοτροπία. Επιπλέον, ο CHRISTENSEN (2004) παρατήρησε πως η αναλογία V_p/V_s αυξάνεται συστηματικά από 1.78 σε 2.21 με την αύξηση της σερπεντινίωσης και πως ο λόγος Poisson (ν) μπορεί να υπολογιστεί από το λόγο V_p/V_s χρησιμοποιώντας την έκφραση:

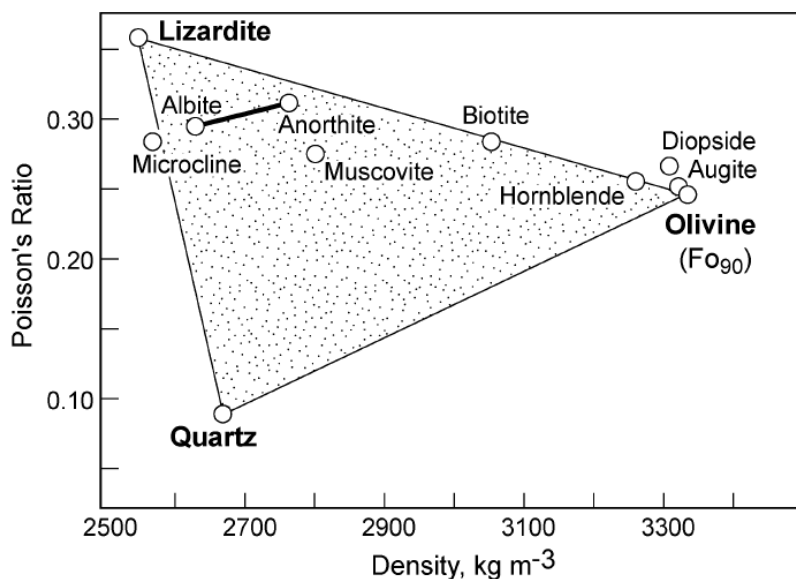
$$\nu = 0.5 \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1} \right] \quad (3.5)$$



Εικόνα 3.11: Σχέση της πυκνότητας με τις ταχύτητες των επιμηκών και των εγκάρσιων κυμάτων των υπερβασικών πετρωμάτων υπό πίεση 1GPa (CHRISTENSEN, 2004 με στοιχεία από CHRISTENSEN, 1966b).

Μια τιμή λόγου Poisson ίση με 0.25 έχει χρησιμοποιηθεί συχνά στις μελέτες των ελαστικών ιδιοτήτων του γήινου μανδύα. Αυτό απλοποιεί πολλές από τις μαθηματικές σχέσεις μεταξύ των ελαστικών συντελεστών (π.χ., μέτρο ελαστικότητας, και σταθερές του lame), της πυκνότητας, και των ταχυτήτων. Για $\nu=0.25$, από την (3.5) συμπεραίνουμε πως $V_p/V_s = \sqrt{3} = 1.732$. Οι κοινοί τύποι βράχου παρουσιάζουν συνήθως λόγους Poisson που κυμαίνονται μεταξύ 0.10 και 0.40 (CHRISTENSEN, 1996). Οι λόγοι Poisson για τους πλήρως σερπεντινωμένους περιδοτίτες εμφανίζουν τιμή περίπου 0.36 υπό πίεση 1GPa. Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω στοιχεία ο CHRISTENSEN (2004), πρόβαλε σε ένα διάγραμμα (Εικ. 3.12) την πυκνότητα σε σχέση με το λόγο Poisson. Από το διάγραμμα αυτό παρατηρούμε πως σχεδόν όλα τα ορυκτά, τα οποία πρόβαλε, τοποθετούνται μέσα σε

ένα τρίγωνο στα άκρα του οποίου βρίσκεται ο χαλαζίας (μικρή πυκνότητα και μικρό λόγο Poisson), ο ολιβίνης (μεγάλη πυκνότητα και ενδιάμεσο λόγο Poisson) και ο λιζαρδίτης (μικρή πυκνότητα και μεγάλο λόγο Poisson).



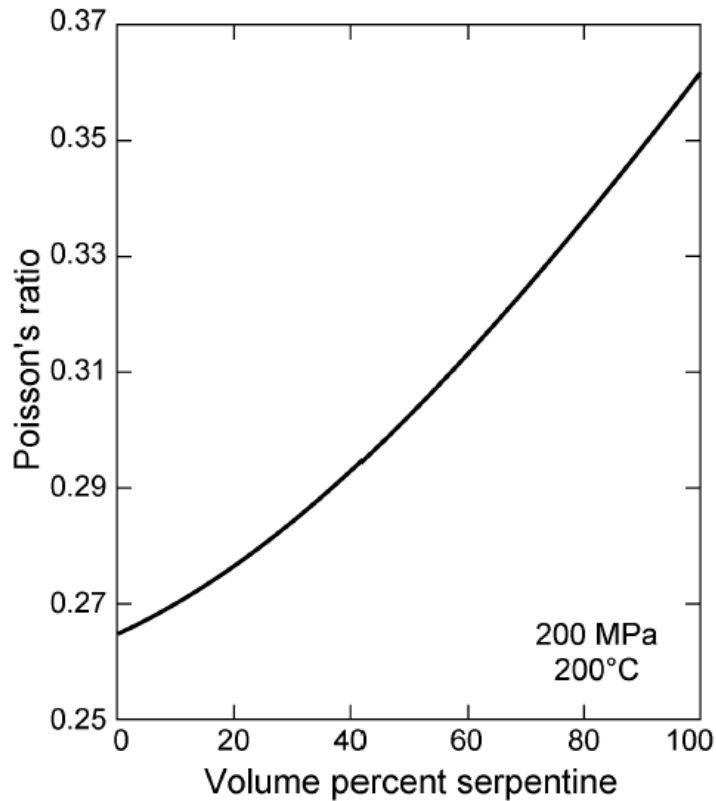
Εικόνα 3.12: Σχέση του λόγου Poisson με την πυκνότητα των ορυκτών (CHRISTENSEN, 2004 με στοιχεία από CHRISTENSEN 1966b).

Επιπλέον ο CHRISTENSEN (2004), με βάση τις μετρήσεις από το παραπάνω διάγραμμα και τη σχέση (3.5) δημιούργησε το σχήμα (Εικ. 3.13) στο οποίο απεικονίζεται η σχέση μεταξύ του βαθμού серπεντινώσεως και του λόγου Poisson. Από αυτό το διάγραμμα συμπεραίνουμε πως για μηδενική серпεντινώση (υγιής περιδοτίτης) ο λόγος Poisson είναι λίγο μικρότερος από 0.27 (περίπου 0.267) ενώ για βαθμό серпεντινώσεως 100% (πλήρως серпεντινωμένος περιδοτίτης), ο λόγος Poisson είναι περίπου 0.365 υπό πίεση 200MPa και θερμοκρασία 200°C.

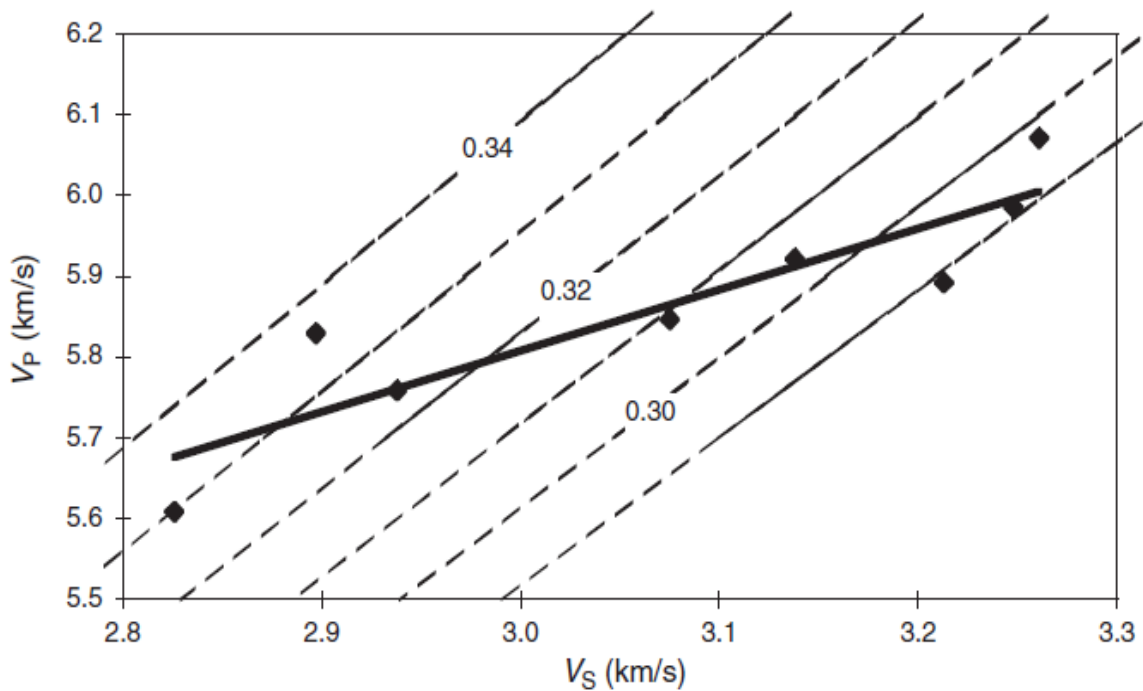
Το 2004 οι COURTIER et al. εξετάζοντας 14 δείγματα серпεντινιτών, πρόβαλαν σε ένα διάγραμμα (Εικ. 3.14) τις ταχύτητες των επιμηκών και των εγκάρσιων κυμάτων σε σχέση με το λόγο Poisson υπό πίεση 200MPa. Όπως αναμένεται (από τα προαναφερόμενα), τα δείγματα με τις χαμηλότερες ταχύτητες και επομένως μεγαλύτερο βαθμό серпεντινώσεως, παρουσιάζουν τους υψηλότερους λόγους Poisson.

Οι ταχύτητες των κυμάτων των υπερβασικών πετρωμάτων ποικίλουν (όπως προαναφέρθηκε) ανάλογα με το ποσοστό του ολιβίνης, του πυροξένου και των άφθονων δευτερογενών ορυκτών, που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της серпεντινώσεως, όπως ο серпεντίνης, ο βρουσίτης, ο μαγνητίτης, ο μαγνησίτης κ.ά. και γενικά μειώνονται όσο αυξάνουν τα δευτερογενή ορυκτά. Ακόμα και η ποικιλία του серпεντίνης παίζει καθοριστικό παράγοντα στις τιμές των ταχυτήτων. Ο αντιγορίτης παρουσιάζει υψηλότερες

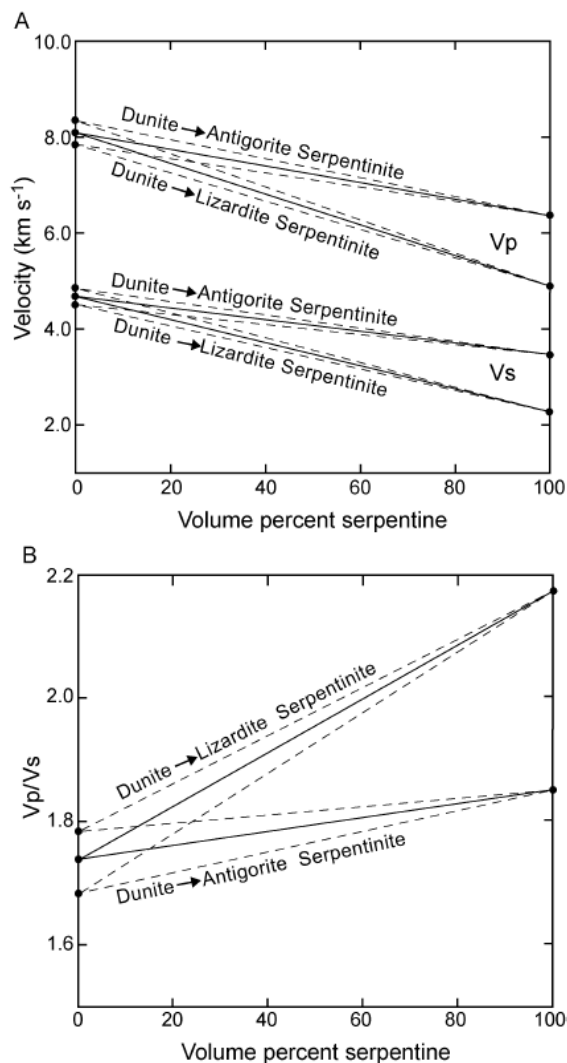
ταχύτητες (Εικ. 3.15Α), πυκνότητες και χαμηλότερο λόγο Poisson (Πίν. 3.4) και λόγο V_p/V_s (Εικ. 3.15B) από ότι οι σερπεντινικές πολυμορφίες του λιζαρδίτη και του χρυσοτίλη (BIRCH, 1969; CHRISTENSEN, 1978; CHRISTENSEN, 2004).



Εικόνα 3.13: Σχέση βαθμού σερπεντινίωσης και λόγου Poisson (CHRISTENSEN, 2004).



Εικόνα 3.14: Σχέση των επιμηκών και των εγκάρσιων ταχυτήτων υπό πίεση 200MPa. Οι διακεκομμένες γραμμές δείχνουν τις τιμές του λόγου Poisson (COURTIER, et al., 2004).



Εικόνα 3.15: Ταχύτητες και λόγος ταχυτήτων υπό πίεση 1GPa και θερμοκρασία 500°C σε σχέση με το βαθμό σερπεντινίωσης. Οι διακεκομμένες γραμμές δείχνουν πιθανές διακυμάνσεις εξαιτίας της ανισοτροπίας (CHRISTENSEN, 2004).

Επιπροσθέτως, ο CHRISTENSEN (2004), διαπίστωσε πως ο χρυσοτίλης παρουσιάζει παρόμοιες ταχύτητες με το λιζαρδίτη. Κατά συνέπεια, η μεταβλητότητα στα ποσοστά αυτών των πολυμορφιών δεν έχει σημαντικές επιπτώσεις στις ταχύτητες των σερπεντινιτών. Μια σύγκριση των ελαστικών ιδιοτήτων του ορθοπυροξένου με τον ολιβίνη (Πίν. 3.4) επισημαίνει ότι η προσθήκη του ορθοπυροξένου στους πλούσιους σε ολιβίνη βράχους, με μικρή σερπεντινίωση, μειώνει τις ταχύτητες, την πυκνότητα, και το λόγο Poisson. Οι ταχύτητες και ο λόγος Poisson του χλωρίτη κυμαίνονται μεταξύ εκείνων του λιζαρδίτη και του αντιγορίτη. Η παρουσία μαγνησίτη ή/και μαγνητίτη, μέσα σε υψηλού βαθμού σερπεντινωμένους βράχους, αυξάνει τις ταχύτητες και μειώνει το λόγο Poisson. Ο βρουσίτης παρουσιάζει χαμηλότερο λόγο Poisson και σημαντικά υψηλότερες ταχύτητες από το λιζαρδίτη και το χλωρίτη, ενώ συγκρινόμενος με το μαγνητίτη και το μαγνησίτη παρουσιάζει χαμηλότερες ταχύτητες, αλλά και λόγο Poisson.

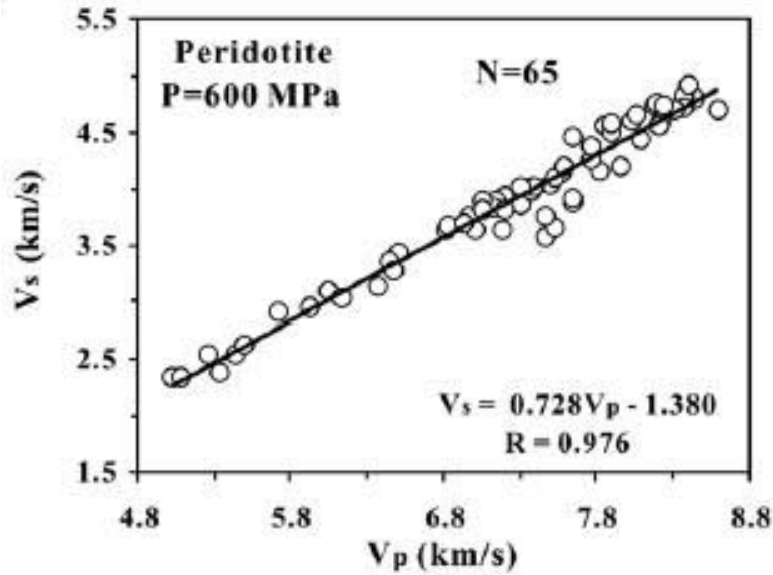
Πίνακας 3.4: Τιμές των ταχυτήτων των επιμηκών και των εγκάρσιων κυμάτων (V_p, V_s) και του λόγου Poisson (σ) (CHRISTENSEN, 2004).

Mineral		Pressure (MPa)					Reference ²
		200	400	600	800	1000	
Brucite p = 2440	V_p	6.29	6.37	6.43	6.47	6.51	1
	V_s	3.68	3.72	3.74	3.76	3.77	
	σ	0.24	0.24	0.24	0.25	0.25	
Magnesite p = 2970	V_p	8.12	8.24	8.31	8.36	8.41	2
	V_s	4.59	4.64	4.68	4.70	4.71	
	σ	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	
Chlorite p = 3158	V_p	5.99	6.06	6.11	6.14	6.16	1
	V_s	3.18	3.19	3.20	3.21	3.22	
	σ	0.30	0.31	0.31	0.31	0.31	
Magnetite p = 5021	V_p	7.15	7.24	7.29	7.33	7.37	1
	V_s	4.04	4.11	4.14	4.16	4.19	
	σ	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26	
Lizardite p = 2520	V_p	4.75	4.91	5.02	5.14	5.23	3
	V_s	2.29	2.32	2.35	2.38	2.41	
	σ	0.35	0.36	0.36	0.37	0.37	
Antigorite p = 2665	V_p	6.54	6.60	6.64	6.67	6.69	4
	V_s	3.58	3.59	3.61	3.61	3.62	
	σ	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	
Orthopyroxene p = 3285	V_p	7.67	7.74	7.80	7.85	7.96	5
	V_s	4.51	4.54	4.56	4.57	4.59	
	σ	0.24	0.24	0.24	0.24	0.25	
Olivine p = 3317	V_p	8.27	8.33	8.36	8.38	8.40	6
	V_s	4.75	4.80	4.82	4.83	4.84	
	σ	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	

¹ V_p and V_s are in km/s, density (ρ) is in kg/m³.

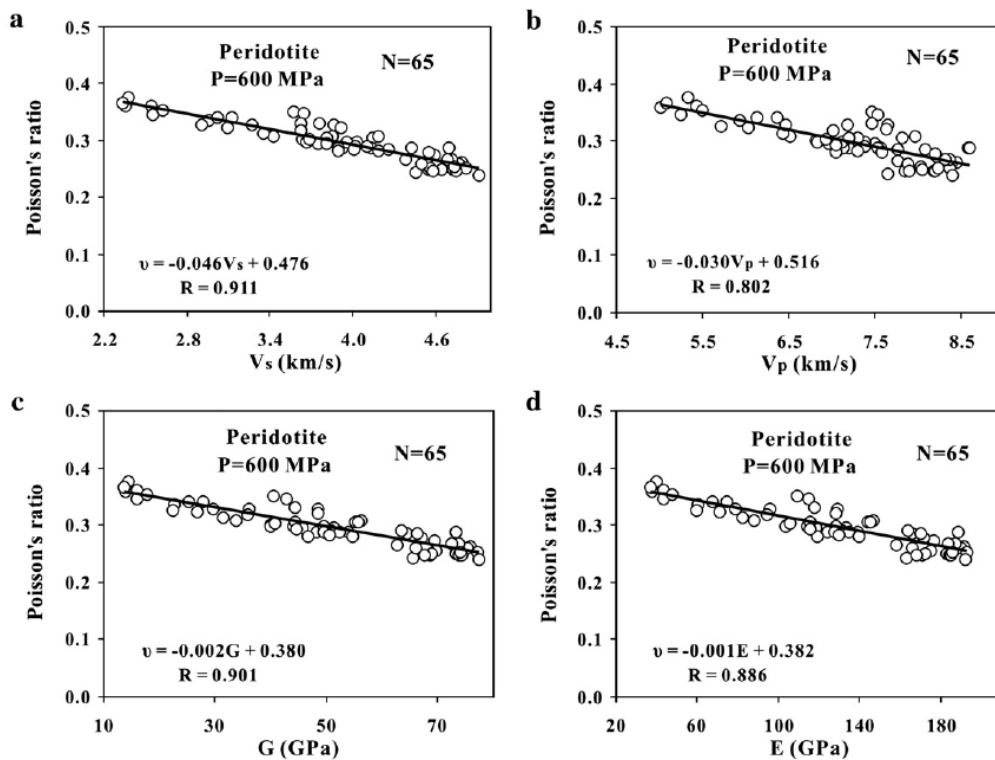
²1 = Christensen, unpubl.; 2 = Christensen, 1972b; 3 = Christensen, 1966; 4 = Christensen, 1978; 5 = Babuska, 1972; 6 = Christensen and Ramanantoandro, 1971.

Οι WANG et al. (2009) εξετάζοντας 65 περιδοτίτες, με ποικίλους βαθμούς σερπεντινώσεως υπό πλευρική πίεση 600MPa, διαπίστωσαν πως οι ταχύτητες των επιμηκών κυμάτων κυμαίνονται από 4.8 έως 8.8km/s, ενώ των εγκάρσιων από 2.2 έως και 5.0km/s και πως οι ταχύτητες μειώνονται με την αύξηση του σερπεντίνη. Επιπλέον, οι προαναφερθέντες επιστήμονες πρότειναν γραμμικές συσχετίσεις μεταξύ των ταχυτήτων των επιμηκών και των εγκάρσιων κυμάτων (Εικ. 3.16).



Εικόνα 3.16: Σχέση επιμηκών και εγκάρσιων ταχυτήτων υπό πίεση 600MPa (WANG et al., 2009).

Είναι ευρέως γνωστό πως υπάρχει μια αρνητική σχέση μεταξύ του λόγου Poisson (ν) και των ταχυτήτων των κυμάτων (V_p , V_s), του μέτρου ελαστικότητας (E) και διάτμησης (G). Τη σχέση αυτή επιβεβαίωσαν και οι WANG et al. (2009, **Εικ. 3.17**). Από το σχήμα αυτό φαίνεται πως ο λόγος Poisson παρουσιάζει καλύτερη συσχέτιση με την V_s από ότι με την V_p και καλύτερη συσχέτιση με το G σε σχέση με το E .



Εικόνα 3.17: Συσχετίσεις του λόγου Poisson με V_s , (a), V_p (b), G (c) και E (d) υπό πίεση 600MPa. (WANG et al., 2009).

Θεωρείται ότι η διάδοση των κυμάτων στο γήινο φλοιό γίνεται γενικά ισοτροπικά, δηλαδή οι ελαστικές σταθερές και οι ταχύτητες των κυμάτων δεν ποικίλλουν με τη διεύθυνση. Αυτή η υπόθεση ισχύει για τους τύπους βράχου με τυχαίο προσανατολισμό των ορυκτολογικών συστατικών. Στους βράχους με προτιμητέο προσανατολισμό των ορυκτών (όπως τα υπερβασικά), εντούτοις μπορεί να παρατηρηθεί μια έντονη ανισοτροπία της σεισμικής ταχύτητας (CHRISTENSEN, 1966a και b; THILL & WILLARD, 1969; KERN, 1974; PESELNICK et al., 1974). Η σεισμική αυτή ανισοτροπία υπολογίζεται από το λόγο της διαφοράς της ελάχιστης από τη μέγιστη ταχύτητα, που υπολογίζονται σε ένα βράχο σε διάφορες διευθύνσεις, προς τη μέγιστη ταχύτητα:

$$\frac{V_{p_{\max}} - V_{p_{\min}}}{V_{p_{\max}}} * 100\% \quad (3.6)$$

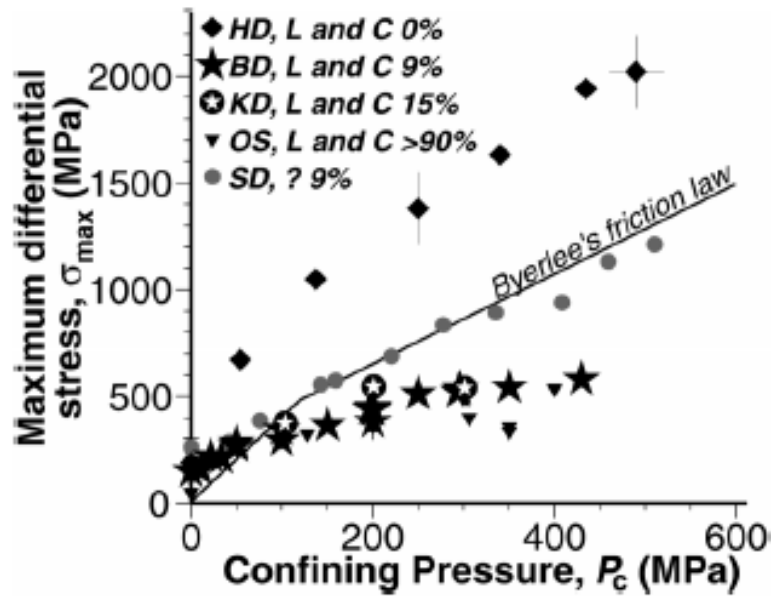
Στο παρελθόν δεν είχε δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο ρόλο που παίζει ο προτιμητέος προσανατολισμός των ορυκτών στη διάδοση των ελαστικών-κυμάτων, στο υλικό του φλοιού και του μανδύα. Τα τελευταία χρόνια εντούτοις και ύστερα από πολλές πειραματικές και πετρολογικές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν (CHRISTENSEN, 1966a, 1966b; LAPPIN, 1971; PESELNICK et al., 1974; CHRISTENSEN & LUNDQUIST, 1982; CHRISTENSEN, 1984; MAINPRICE & SILVER, 1993 WEISS et al., 1999; κ.ά.), έχει ληφθεί υπόψη η πιθανή επίδραση του προτιμητέου προσανατολισμού των ορυκτών στη διάδοση της ταχύτητας των κυμάτων. Ο NICOLAS (1995) και οι VINNIK et al. (1995) παρατήρησαν ότι η προέλευση της σεισμικής ανισοτροπίας της λιθόσφαιρας έχει αποδοθεί ουσιαστικά στις ανισότροπες μονοκρυσταλλικές ελαστικές ιδιότητες και στον γραμμικό προτιμητέο προσανατολισμό κυρίως του ολιβίνη. Τα άλλα ορυκτά δε φαίνεται να παρουσιάζουν προτιμητέο προσανατολισμό. Σύμφωνα με τον BIRCH (1960) στους περισσότερους από τους βράχους που ερευνήθηκαν, η αυξανόμενη πίεση μειώνει γενικά τη σεισμική ανισοτροπία. Ο VERMA (1960) παρατήρησε μια μέγιστη ανισοτροπία της ταχύτητας των συμπιεστικών κυμάτων στους μονοκρυσταλλούς της δομής του ολιβίνη, την οποία υπολόγισε περίπου στο 22%, ενώ ο CHRISTENSEN, 2004 διαπίστωσε ότι η μέγιστη ανισοτροπία για τη V_p και τη V_s είναι 5.4% και 3%, αντίστοιχα. Η ανισοτροπία είναι σημαντική στα περισσότερα υπερβασικά πετρώματα με μικρό βαθμό σερπεντινίωσης, ενώ τείνει να εξαφανιστεί στους σερπεντινίτες (CHRISTENSEN, 2004; SCHMITT et al., 2007; WATANABE et al., 2007). Αυτή η παρατήρηση συμφωνεί με εκείνες του O'HANLEY (1996) και των HOREN et al. (1996). Ο πρώτος κατέληξε στο συμπέρασμα ότι στους σερπεντινίτες δεν παρουσιάζονται προσανατολισμοί των ορυκτών,

ενώ οι δεύτεροι παρατήρησαν χαμηλές ανισοτροπίες (1% για V_p και 2% για V_s) στους σερπεντινίτες. Τα δείγματα, τα οποία επιλέξαμε για να γίνουν δοκιμές στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, δεν παρουσίασαν προτιμητέο προσανατολισμό ορυκτών (τουλάχιστον μακροσκοπικά) και επομένως δεν έχουμε ανισοτροπία βασισμένη σε αυτό το λόγο.

Πολλές φορές κατά τη διάρκεια της σερπεντινίωσης παράγονται μαγνητικά ορυκτά, κυρίως μαγνητίτης (Fe_3O_4). Υπάρχει αναλογική σχέση μεταξύ του μαγνητίτη και του βαθμού σερπεντινίωσης. Έτσι οι σερπεντινωμένοι περιδοτίτες μπορεί να έχουν πολύ υψηλές μαγνητικές ανωμαλίες συγκρινόμενοι με αυτές των πρωτολίθων και με τους χαρακτηριστικούς γήινου φλοιού βράχους (BURK, 1964; BURCH, 1965; KOMAROV, 1965; SAAD, 1969; COLEMAN, 1971). Από όσα προαναφέραμε, γενικά η αύξηση του βαθμού σερπεντινίωσης οδηγεί σε μείωση της πυκνότητας. Όμως όταν έχουμε μαγνητίτη (υψηλό βαθμό σερπεντινίωσης) παρατηρούμε το αντίθετο. Αυτό συμβαίνει διότι ο μαγνητίτης έχει υψηλό ειδικό βάρος.

Όσον αφορά τώρα τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υπερβασικών πετρωμάτων παρατηρείται μείωση της σκληρότητας με την αύξηση του βαθμού σερπεντινίωσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο ολιβίνης και οι πυρόξενοι παρουσιάζουν μεγαλύτερη σκληρότητα από αυτή του σερπεντίνης. Ο ΡΗΓΟΠΟΥΛΟΣ (2009) μέτρησε τιμές σκληρότητας από 38 ως 65 σε 13 δείγματα υπερβασικών πετρωμάτων και πρότεινε εκθετικές συσχετίσεις ανάμεσα στη σκληρότητα και το ολικό πορώδες, ενώ παρατήρησε αρνητική γραμμική συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας και του βαθμού σερπεντινίωσης.

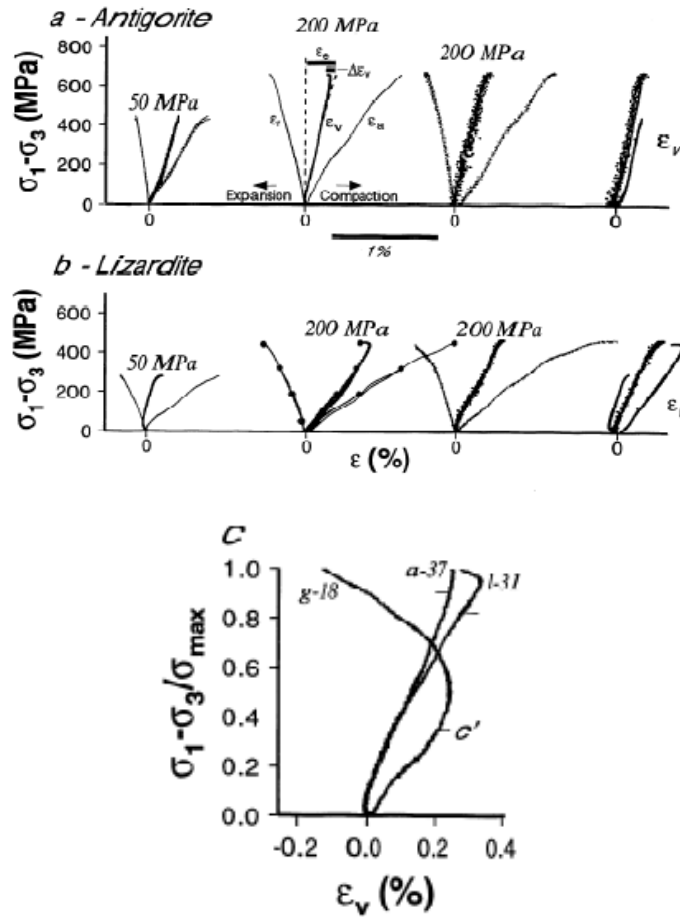
Η αντοχή των υπερβασικών πετρωμάτων μειώνεται, με τη σειρά της, καθώς αυξάνεται η σερπεντινίωση, αφού όπως είναι ευρέως γνωστό η αντοχή των πετρωμάτων είναι αντιστρόφως ανάλογη του πορώδους και ανάλογη της πυκνότητας. Η παρουσία νέων φάσεων και πόρων στα όρια των κόκκων ολιβίνη εξαιτίας της σερπεντινίωσης και της εξαλλοίωσης εν γένει, μπορεί να οδηγήσει σε μια μείωση της συνεκτικής δύναμης στο στερεό πλαίσιο του βράχου. Οι SHIMADA et al. (1983) παρατήρησαν πως ακόμα και πολύ μικρές ποσότητες σερπεντίνης (της τάξης του 10%) αποδυναμώνουν σημαντικά τον περιδοτίτη. Παρομοίως, κατά τους ESCARTIN et al. (2001), οι περιδοτίτες συμπεριφέρονται ως υγιείς όταν το ποσοστό του σερπεντίνης (λιζαρδίτη ή χρυσοτίλη) δεν ξεπερνά το 9% περίπου, ενώ από εκεί και πάνω, παρουσιάζουν συμπεριφορά παρόμοια με του «καθαρού» σερπεντίνης και η αντοχή τους πολλές φορές μειώνεται ως και στο μισό της αντοχής των υγιών περιδοτιτών (Εικ. 3.18). Η μείωση της αντοχής θα είναι μικρότερη εάν η κυρίαρχη σερπεντινική φάση είναι ο ισχυρότερος αντιγορίτης (ESCARTIN et al., 1997a).



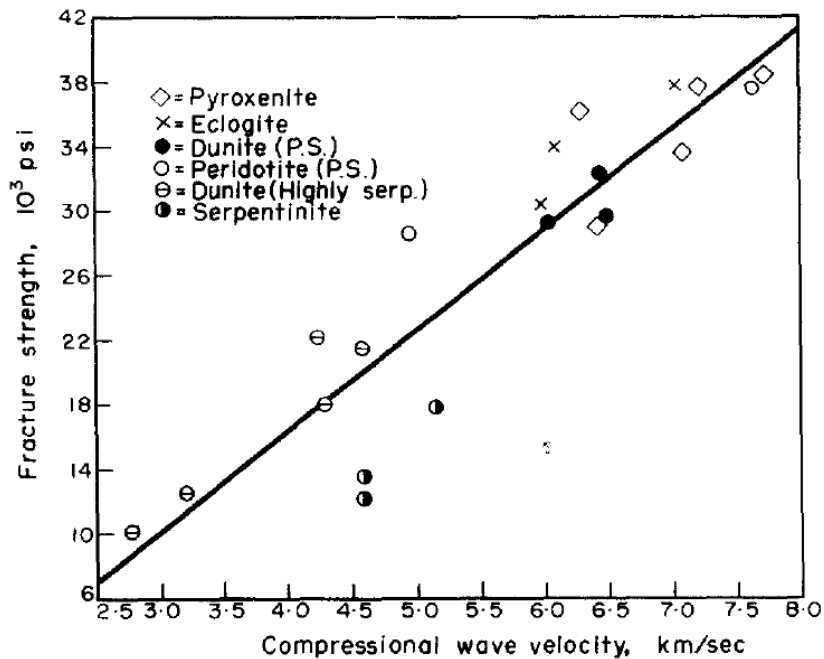
Εικόνα 3.18: Η διακύμανση της αντοχής σε σχέση με τη серπεντινίωση και την αύξηση της πλευρικής πίεσης (ESCARTIN et al., 2001), HD:Horoman Δουνίτης, BD:Balsaman Gap Δουνίτης, KD: Kukes Δουνίτης, OS: Καθαρός ωκεάνιος серпεντίνης, SD: Σερπεντινωμένος Δουνίτης, L: Λιζαρδίτης, C: Χρυσοτίλης, ?: Μη αναφερόμενη φάση серпεντίνης.

Τα παραπάνω δείχνουν ότι η αντοχή των υπερβασικών πετρωμάτων είναι μη γραμμική σε σχέση με τη серпεντινίωση, αντίθετα με ότι συμβαίνει στις φυσικές και στις δυναμικές ιδιότητες. Επίσης, υπάρχει απότομη μετάβαση στις ρεολογικές ιδιότητες του περιδοτίτη με το αυξανόμενο серпεντινικό περιεχόμενο. Όπως οι περισσότεροι κρυσταλλικοί βράχοι, έτσι και οι υγιείς περιδοτίτες διαστέλλονται κατά τη διάρκεια της ψαθυρής παραμόρφωσης ως συνέπεια του ανοίγματος των αξονικών μικρορωγμών (BRACE et al., 1966; TAPPONNIER & BRACE, 1976; ASHBY & HALLAM, 1986). Αντίθετα, οι серпεντινίτες συνοδεύονται κυρίως από διατμητικές ρωγμές κατά τη ψαθυρή παραμόρφωση, δημιουργώντας ελάχιστο ή κανένα κενό με συνέπεια τη μη-διασταλτική παραμόρφωση (ESCARTIN et al., 1997a; ESCARTIN et al., 1997b; ESCARTIN et al., 2001, **Εικ. 3.19**). Όμως εάν οι περιδοτίτες περιέχουν πάνω από 9% серпεντίνη συμπεριφέρονται σαν τους «καθαρούς» серпεντινίτες και παρουσιάζουν μη-διασταλτική παραμόρφωση. Για να κατανοήσουμε αν ένα πέτρωμα παρουσιάζει διασταλτικότητα αρκεί να δούμε την καμπύλη τάσης-ογκομετρικής παραμόρφωσης ($\epsilon_v = \epsilon_a + 2 \cdot \epsilon_d$) (**Εικ. 3.19**).

Οι RAO & RAMANA (1974) επιβεβαίωσαν για τα υπερβασικά πετρώματα αυτό που ήταν ήδη γνωστό για τα υπόλοιπα πετρώματα, πως όταν αυξάνουν οι ταχύτητες των κυμάτων, αυξάνει και η αντοχή (**Εικ. 3.20**). Τέλος το στατικό μέτρο ελαστικότητας μειώνεται καθώς αυξάνει η серпεντινίωση, ενώ ο στατικός λόγος Poisson αυξάνει με την αύξηση της серпεντινίωσης. Γενικά υπάρχει έλλειψη βιβλιογραφικών στοιχείων για τις τι-



Εικόνα 3.19: α) Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης του αντιγορίτη για διάφορες πλευρικές τάσεις, β) Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης του λιζαρδίτη για διάφορες πλευρικές τάσεις, γ) Διάγραμμα τάσης-ογκομετρικής παραμόρφωσης του λιζαρδίτη (l-31), του αντιγορίτη (a-37) και του γρανίτη (g-18) σε $\sigma_3=200\text{MPa}$ και $T=20^\circ\text{C}$ (ESCARTIN et al., 1997a).



Εικόνα 3.20: Η διακύμανση της αντοχής σε σχέση με την ταχύτητα των επιμηκών κυμάτων (RAO & RAMANA 1974).

μές των μηχανικών χαρακτηριστικών των υπερβασικών πετρωμάτων, αυτός είναι άλλωστε και ένας από τους στόχους της πραγματοποίησης αυτής της διατριβής, να καλυφθεί όσο το δυνατόν το υπάρχον κενό. Ο ROBERTSON (1964) εξετάζοντας σερπεντινίτες από το Πουέρτο Ρίκο προτείνει τιμές αντοχής σε μοναξονική θλίψη 30, 250 και 140MPa. Το πορώδες τους είναι 5%, 0.6% και 1.5% και συλλέχθηκαν από 49, 180 και 270m βάθος αντίστοιχα. Οι COATES & PARSONS (1966) εξετάζοντας 18 δοκίμια περιδοτιτών έδωσαν μέση τιμή αντοχής σε μοναξονική θλίψη 197MPa. Οι RAO & RAMANA (1974) παρατήρησαν πως οι τιμές της αντοχής σε μοναξονική θλίψη για μερικώς σερπεντινωμένους περιδοτίτες, κυμαίνονται από 141.5 ως 227.1MPa και για τους έντονα σερπεντινωμένους από 70.5 ως 156.2MPa (τα δείγματα συλλέχθηκαν από βάθη που αντιστοιχούσαν σε πίεση 75MPa). Οι παραπάνω επιστήμονες δε διευκρινίζουν αν τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν διερρηγμένα ή όχι. Ο KOYMANTAKΗΣ (1978) παρατήρησε πως για ξηρά δοκίμια η αντοχή σε μοναξονική θλίψη των λίγο, μερικώς, ως και πολύ διερρηγμένων και σερπεντινωμένων περιδοτιτών-σερπεντινιτών, παρουσιάζει μέση τιμή 95.44MPa, ενώ όταν αυτά είναι κορεσμένα η μέση τιμή μειώνεται στα 87.3MPa (πτώση λόγω κορεσμού 8.5%). Επίσης, ο KOYMANTAKΗΣ (1978) στα παραπάνω δείγματα και σε ξηρή κατάσταση, μέτρησε τιμές αντοχής σε μοναξονική θλίψη ως και 268MPa. Ο KILIC (1995), εξετάζοντας δείγματα σερπεντινιτών, διαπίστωσε πως οι τιμές της αντοχής σε μοναξονική θλίψη κυμαίνονται από 17 έως 128MPa, ενώ οι KILIC et al. (1998), εξετάζοντας δείγματα σερπεντινωμένων περιδοτιτών, μέτρησαν τιμές από 17 έως 295MPa. Οι PAVENTI et al. (1996), σε δείγματα σερπεντινιτών, παρατήρησαν πως οι τιμές της αντοχής σε μοναξονική θλίψη κυμαίνονται από 34 έως και 127MPa. Οι GLAWE & LINARD (2003), με τη σειρά τους εξετάζοντας δείγματα σερπεντινωμένων περιδοτιτών, έδωσαν μια μέση τιμή αντοχής σε μοναξονική θλίψη 90MPa. Οι DIAMANTIS et al. (2007), χρησιμοποιώντας δείγματα γεωτρήσεων από την περιοχή της δυτικής Όθρυος (στα πλαίσια των ερευνών για την κατασκευή της νέας σιδηροδρομικής γραμμής, που θα ενώνει την Αθήνα με τη Θεσσαλονίκη, ΕΡΓΑ ΟΣΕ Α.Ε.), διαπίστωσαν πως τα υπερβασικά πετρώματα παρουσιάζουν μέση τιμή αντοχής σε μοναξονική θλίψη 53.62MPa, ενώ κατέγραψαν και τιμές που έφταναν ως και 169.63MPa. Οι BRIDEAU et al. (2007), εξετάζοντας περιδοτίτες και σερπεντινίτες, μέτρησαν τιμές αντοχής σε μοναξονική θλίψη που κυμαίνονται από 56 έως και 340MPa. Τέλος, ο ΡΗΓΟΠΟΥΛΟΣ (2009) διαπίστωσε τιμές που κυμαίνονται από 36.75 έως και 162.70MPa και πρότεινε εκθετική συσχέτιση ανάμεσα στην αντοχή σε μοναξονική θλίψη και το πορώδες. Κατά τον ίδιο επιστήμονα, η αντοχή σε μοναξονική θλίψη με τη σκληρότητα παρουσιάζουν

γραμμική σχέση. Επίσης, ο ΡΗΓΟΠΟΥΛΟΣ (2009) πραγματοποίησε και δοκιμές σημειακής φόρτισης και διαπίστωσε πως οι τιμές του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης κυμαίνονται από 1.46 έως και 7.87MPa. Παρατήρησε δε υπερβολική συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης και γραμμική ανάμεσα στον ανηγμένο δείκτη σημειακής φόρτισης και στο βαθμό σερπεντινίωσης.

Ο ΤΣΟΥΤΡΕΛΗΣ (1972), εφαρμόζοντας τη δοκιμή Brazilian, για τον προσδιορισμό της εφελκυστικής αντοχής, σε δείγματα έντονα σερπεντινωμένου δουνίτη από την περιοχή του Βούρινου, συμπέρανε πως η αντοχή σε εφελκυσμό κυμαίνεται από 12.2 ως και 13.5MPa. Όταν όμως εφάρμοσε την άμεση μέθοδο, η μέση τιμή της αντοχής σε εφελκυσμό του παραπάνω δουνίτη υπολογίστηκε 11.9MPa. Ο ROBERTSON (1964) εξετάζοντας, όπως προαναφέραμε, σερπεντινίτες από το Πουέρτο Ρίκο, που συλλέχθηκαν από 49, 180 και 270m βάθος, δίνει τιμές αντοχής σε εφελκυσμό 1.6, 2.6 και 0.5MPa αντίστοιχα.

Τέλος ο ROBERTSON (1964) μελετώντας το στατικό μέτρο ελαστικότητας στα προαναφερθέντα δείγματα, προσδιόρισε τις μέσες τιμές του σε 14, 71 και 57GPa αντιστοίχως. Ο ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ (1978) κατέληξε πως για τους σερπεντινωμένους ή μη περιδοτίτες, η μέση τιμή του στατικού μέτρου ελαστικότητας είναι 125GPa, ενώ για τους αποσαθρωμένους σερπεντινίτες η τιμή μειώνεται στα 83GPa. Ο στατικός λόγος Poisson, σύμφωνα με τον ίδιο μελετητή, κυμαίνεται από 0.05 ως και 0.36 και το μέτρο διάτμησης από 14.4 έως και 113GPa. Οι RAO & RAMANA (1974), με τη σειρά τους, διαπίστωσαν πως το στατικό μέτρο ελαστικότητας κυμαίνεται από 104.4GPa στους πυροξενίτες ως και 48.9GPa στους σερπεντινίτες, ενώ ο στατικός λόγος Poisson κυμαίνεται αντιστοίχως από 0.28 ως και 0.36 (Πίν. 3.5). Επίσης οι RAO & RAMANA (1974) περιέγραψαν τις διαφορές μεταξύ των στατικών και δυναμικών μέτρων ελαστικότητας και των λόγων Poisson (Πίν. 3.5) και διαπίστωσαν πως η μέγιστη απόκλιση είναι μικρότερη από 10%.

Άρα οι περιδοτίτες σε υγιή (ή σχεδόν υγιή) κατάσταση παρουσιάζουν μεγάλες αντοχές. Όμως η κατάσταση αυτή δεν είναι συνηθισμένη γιατί λόγω της σκληρότητας τους, ρωγματώνονται εύκολα, αποσυμπιέζοντας παράλληλα τις τεκτονικές ή γεωστατικές τάσεις. Η ρωγμάτωση αυτή οδηγεί με τη σειρά της στη δημιουργία ενός σημαντικού δευτερογενούς πορώδους. Η απουσία του ανθεκτικού χαλαζία σε αντιδιαστολή με την παρουσία του ολιβίνη και ορθοπυροξένου επιτρέπει μεγάλου βαθμού αποσάθρωση στο πέτρωμα και μάλιστα με ανώμαλη γεωμετρία της επαφής υγιούς και αποσαθρωμένου πετρώματος. Ο σερπεντινίτης παρουσιάζει μικρή αντοχή σε διάτμηση, έχει

σαπωνοειδή υφή και είναι εύθραυστος. Και αυτός με τη σειρά του επιτρέπει υψηλού βαθμού αποσάθρωση, πολλές φορές δε, παρουσιάζεται ως σχιστώδης και διογκώνεται. Τα παραπάνω στοιχεία εξηγούν γιατί είναι δύσκολο να συλλεχτούν κατάλληλα δείγματα υπερβασικών πετρωμάτων με σκοπό να πραγματοποιηθούν εργαστηριακές δοκιμές, από τις οποίες θα προσδιοριστούν οι φυσικές, δυναμικές και μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων.

Πίνακας 3.5: Τιμές των στατικών και των δυναμικών μέτρων ελαστικότητας και των λόγων Poisson (RAO & RAMANA, 1974).

Αρ. Δείγματος	Τύπος Πετρώματος	E_{st} (GPa)	E_d (GPa)	ν_{st}	ν_d
K-12	πυροξενίτης	104.4	124.8	0.32	0.29
B-9	πυροξενίτης	102.7	102.6	0.28	0.28
2	πυροξενίτης (Μερικώς σερπ.)	88.0	84.6	0.32	0.32
34	δουνίτης (Μερικώς σερπ.)	78.2	78.5	0.36	0.34
26	δουνίτης (Μερικώς σερπ.)	92.0	88.1	0.35	0.31
25	δουνίτης (Μερικώς σερπ.)	56.0	67.5	0.31	0.35
Sc-11	γρανουλίτης	134.1	147.4	0.29	0.27
77	σερπεντινίτης	48.9	57.6	0.35	-

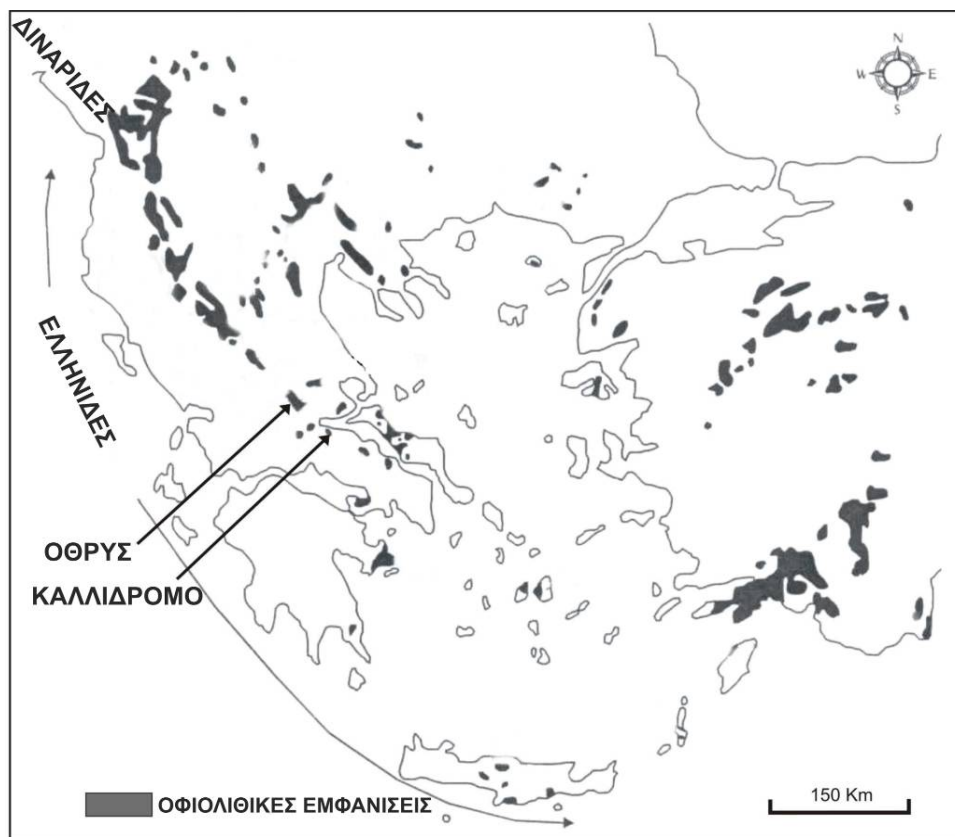
Κλείνοντας την παράθεση των στοιχείων, όσον αφορά την επίδραση της σερπεντινίωσης στα φυσικά, δυναμικά και μηχανικά χαρακτηριστικά, είναι αξιοσημείωτο να επαναλάβουμε πως ένα μεγάλο μέρος της διασποράς των στοιχείων, που παρουσιάστηκε σε κάποια από τα παραπάνω διαγράμματα των διαφόρων μελετητών, μπορεί να προέκυψε από πιθανά λάθη στη μέτρηση, από τη μη εμφανή ανισοτροπία, αλλά και από τις διαφορετικές ορυκτολογικές αναλογίες ανάμεσα στα υγιή, στα εντελώς εξαλλοιωμένα υπερβασικά πετρώματα και στις ενδιάμεσες καταστάσεις τους. Εκτός από τον ολιβίνη, τα δείγματα υψηλής πυκνότητας μπορούν, όπως προείπαμε, να περιέχουν και άλλα πρωτογενή ορυκτά, τα πιο κοινά από τα οποία, είναι ο πυρόξενος και ο σπινέλιος. Ειδικά για τα δείγματα μικρής πυκνότητας (σερπεντινίτες), η διασπορά αποδίδεται στην ποικιλία των δευτερογενών ορυκτών (όπως ο χλωρίτης, ο τάλκης, ο τρεμολίτης, ο ακτινόλιθος, ο βρουσίτης, ο μαγνητίτης και ο μαγνησίτης), τα οποία μπορούν να συνοδεύουν το σχηματισμό του σερπεντινίτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ-ΓΕΩΛΟΓΙΑ-ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

4.1 Περιοχή μελέτης

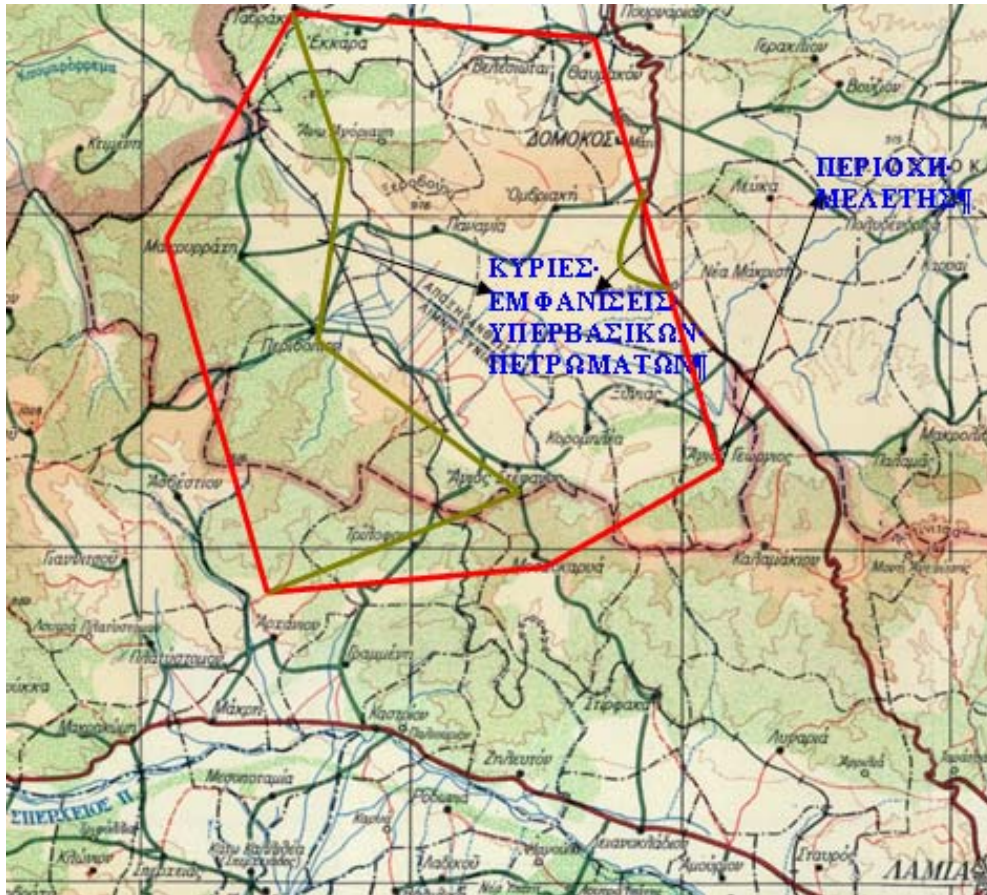
Η περιοχή μελέτης τοποθετείται στο δυτικό τμήμα της οροσειράς της Όθρυος καθώς και στον ορεινό όγκο του Καλλιδρόμου και συγκεκριμένα στις περιοχές που εμφανίζονται τα υπερβασικά πετρώματα (Εικόνες 4.1, 4.2, 4.3).



Εικόνα 4.1: Η περιοχή έρευνας και οι οφιολιθικές εμφανίσεις της Ελλάδας και των γειτονικών χωρών.

Η Όθρυς είναι οροσειρά της κεντρικής Ελλάδας (Εικ. 4.1) η οποία βρίσκεται ανάμεσα στη θεσσαλική πεδιάδα και τη λεκάνη του Σπερχειού. Συγκεκριμένα στη διατριβή αυτή διερευνήθηκε το κομμάτι της δυτικής Όθρυος (περικλείεται από τη Μοσχοκαρυά, βόρεια του Αρχανίου, τη Μακρυρράχη, την Εκκάρα, τους Βελεσιώτες, το Δομοκό και τον Αγ. Γεώργιο Εικ. 4.2). Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει το μεγαλύτερο κομμάτι της λεκάνης της Ξενιάδος και η έκτασή της είναι περίπου 450km². Από όλη αυτή την περιοχή, η παρούσα μελέτη εστιάστηκε στα υπερβασικά πετρώματα, που κυρίως

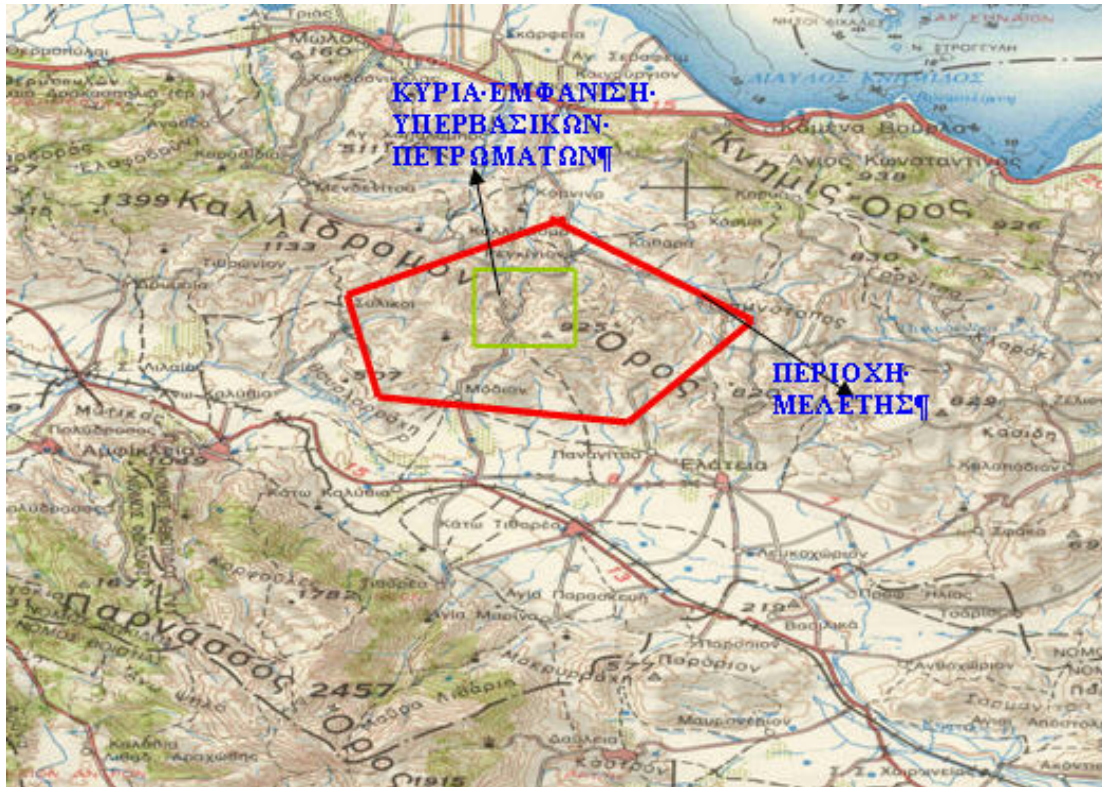
εμφανίζονται στο κομμάτι Άγιος Στέφανος-βόρεια του Αρχανίου-Μακρυρράχη-Εκκάρα-Άνω Αγόριανη-Περιβόλι-Άγιος Στέφανος (Εικ. 4.2).



Εικόνα 4.2: Η περιοχή μελέτης στη δυτική Όθρη.

Το όρος Καλλίδρομο βρίσκεται στη Στερεά Ελλάδα (Εικ. 4.1) και καταλαμβάνει έκταση περίπου 180km². Αποτελεί έναν επιμήκη ορεινό όγκο μέσης διεύθυνσης ΔΒΔ-ΑΝΑ, με μήκος περί τα 30km. Το Καλλίδρομο, βόρεια-βορειοανατολικά, συνορεύει με το όρος Κνήμις και το Μαλιακό κόλπο, ενώ στις νότιες-νοτιοδυτικές παρυφές του απλώνεται ο ορεινός όγκος του Παρνασσού. Επίσης, το Καλλίδρομο διαχωρίζει τη λεκάνη του Σπερχειού (βόρεια) από αυτή του Βοιωτικού Κηφισού (νοτιοανατολικά, Εικ. 4.3).

Τα βόρεια πρηνή του Καλλιδρόμου παρουσιάζουν έντονο ανάγλυφο το οποίο αποδίδεται στη δραστηριότητα της ομώνυμης ρηξιγενούς ζώνης, αλλά και στην παρουσία ανθεκτικών στη διάβρωση ανθρακικών πετρωμάτων. Σε όλο το μέτωπο παρουσιάζεται σημαντική κατά βάθος διάβρωση των γεωλογικών σχηματισμών και αποθέσεων που δομούν την περιοχή. Από όλη την περιοχή του ορεινού όγκου του Καλλιδρόμου, η τρέχουσα μελέτη εστιάστηκε γεωγραφικά, στο ανατολικό-νοτιοανατολικό κομμάτι της οροσειράς και πιο συγκεκριμένα μεταξύ των οικισμών Καλλίδρομο-Ρεγκίνιο-Μόδιο, όπου και εμφανίζονται τα υπερβασικά πετρώματα.



Εικόνα 4.3: Η περιοχή μελέτης στο όρος Καλλίδρομο.

4.2 Γεωλογία

4.2.1 Γεωλογική διάρθρωση της δυτικής Όθρυος

Η γεωλογία της Όθρυος παρουσιάζει μια ιδιαίτερα σύνθετη γεωλογική δομή που είναι αποτέλεσμα κυρίως της Άνω Ιουρασικής-Κάτω Κρητιδικής και της Ηωκαινικής-Μειοκαινικής ορογένεσης. Χωρίζεται ουσιαστικά σε τρεις τεκτονικές ενότητες, την ενότητα της ανατολικής, της κεντρικής και της δυτικής Όθρυος (ΜΙΓΚΙΡΟΣ, 1990). Οι σχηματισμοί τους προέρχονται από ένα ενιαίο και έντονα διαφοροποιημένο παλαιογεωγραφικό χώρο, ο οποίος έφθανε σε περιβάλλοντα σχηματισμού ωκεάνιου φλοιού.

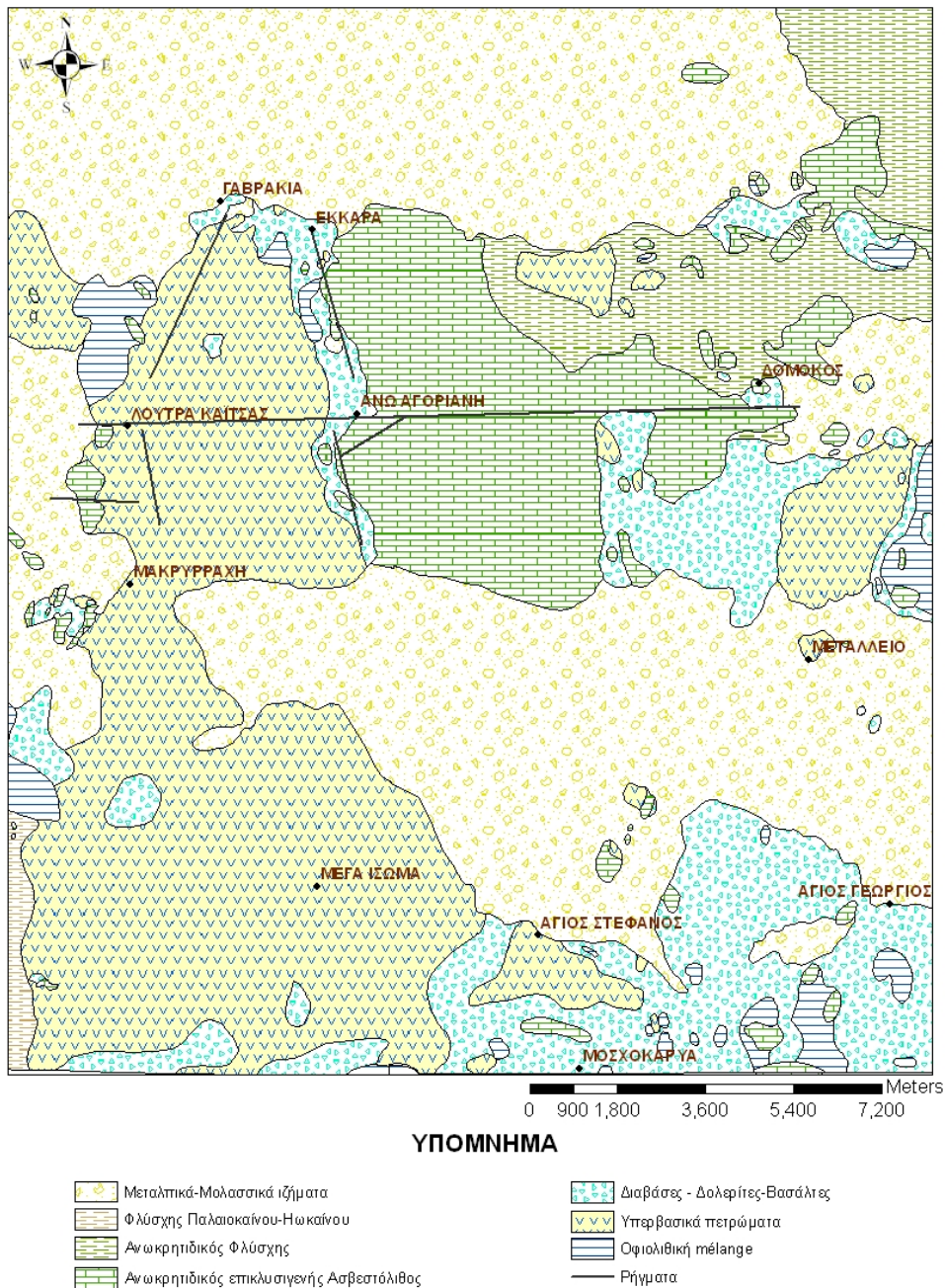
Η γενική γεωλογική δομή της δυτικής Όθρυος έχει προκύψει κυρίως από βιβλιογραφικά λιθοστρωματογραφικά και τεκτονικά δεδομένα των σχηματισμών (ΤΡΙΚΚΑΛΙΝΟΣ, 1960; ΜΑΡΙΝΟΣ, 1974; ΤΑΤΑΡΗΣ, 1975; CELET et al., 1976; FERRIERE, 1982; ΜΙΓΚΙΡΟΣ κ.ά., 1989; ΜΙΓΚΙΡΟΣ, 1990; RASSIOS, 1990), αλλά και από προσωπικές υπαίθριες παρατηρήσεις. Στο σημείο αυτό, όμως, θα πρέπει να τονίσουμε ότι η προσωπική υπαίθρια έρευνα εστιάστηκε στο οφιολιθικό σύμπλεγμα, το οποίο αναπτύσσεται στο δυτικό και βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής. Οι αλπικοί σχηματισμοί διαρθρώνονται από τους παλαιότερους προς τους νεότερους ως ακολούθως:

- i. Ψαμμίτες, αργιλικοί σχιστολίθοι, ψαμμούχοι πλακώδεις ασβεστόλιθοι σε εναλλαγές και κατά τόπους ηφαιστειακά βασικά πετρώματα. Στα ανώτερα μέλη συναντάμε κερατόλιθους (Πέρμιο-Μέσο Ιουρασικό).
- ii. Ψαμμίτες, ασβεστόλιθοι, τόφφοι, και κροκαλοπαγή σε εναλλαγές με σπάνια παρουσία ραδιολαριτών (Άνω Δογγέριο-Μάλμιο), βρίσκονται σε κανονική μετάβαση με τα προηγούμενα, χωρίς όμως να αποκλείεται και η επίκλυση.
- iii. Ψαμμίτες και πολύμικτα κροκαλοπαγή μέσα στα οποία συναντάμε ολισθοστρώματα από βασαλτικές μαξιλαροειδείς λάβες, οι οποίες ανήκουν σχεδόν εξολοκλήρου στο οφιολιθικό σύμπλεγμα της Όθρυος (οφιολιθική *mélange*). Στη δυτική Όθρη οι οφιολιθικοί σχηματισμοί απαντούν τόσο ως ολισθόλιθοι, όσο και ως οφιολιθικό κάλυμμα (**Εικ. 4.4**). Πρόκειται κυρίως για υπερβασικές μάζες, γάββρους, διαβάσες, βασάλτες και μικρές συγκεντρώσεις χρωμιτών. Εκτενής περιγραφή των οφιολιθικών εμφανίσεων και κυρίως των υπερβασικών πετρωμάτων γίνεται στη συνέχεια.
- iv. Ψαμμιτοαργιλικοί σχηματισμοί (εναλλαγές, πηλιτών ψαμμιτών, και κροκαλοπαγών με ολισθόλιθους ανθρακικών και οφιολιθικών πετρωμάτων Κατωκρητιδικής ηλικίας) υπέρκεινται άλλες φορές στους οφιολίθους και άλλες στους Άνω Ιουρασικούς αργιλοπυριτικούς σχηματισμούς.
- v. Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (Ανώτερου Κρητιδικού), οι οποίοι υπέρκεινται κανονικά των προαναφερόμενων σχηματισμών. Στις περιοχές, όπου δεν εμφανίζονται ψαμμιτοαργιλικοί σχηματισμοί, οι ασβεστόλιθοι έρχονται με ασυμφωνία πάνω στις οφιολιθικές μάζες. Είναι έντονα λεπιωμένοι και εξελίσσονται από πλακώδεις στα κατώτερα τμήματα, σε κλαστικούς με κερατόλιθους και οφιολίθους στα ανώτερα (**Εικ. 4.4**).
- vi. Φλύσξης (Παλαιοκαίνου-Ηωκαίνου, ανατολικότερα και Ανώτερου Κρητιδικού, **Εικ. 4.4**) από εναλλαγές λεπτοπλακώδων ασβεστολίθων, αργιλικών ερυθρών σχιστολίθων και στα ανώτερα τμήματα εναλλαγές ψαμμιτών, αργιλικών σχιστολίθων και κροκαλοπαγών. Στην περιοχή του Δομοκού ο φλύσξης υπέρκεινται ασύμφωνα των Άνω Κρητιδικών ασβεστολίθων (RICHTER et al., 1996a). Εδώ επίσης παρατηρούνται μπλε αμφιβολίτες Παλαιοκαινικής ηλικίας (FAUPL et al., 2002).

Ασύμφωνα στους αλπικούς σχηματισμούς, υπέρκεινται μολασσικοί σχηματισμοί (**Εικ. 4.4**), κυρίως ψαμμιτικό κροκαλοπαγές, με μέτρια αποστρογγυλωμένες ψαμμιτικές κροκάλες και αργιλοαμμώδες συνδετικό υλικό. Πάνω στο φλύσχη και κατά τόπους και

4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ-ΓΕΩΛΟΓΙΑ-ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

πάνω στους μολασικούς σχηματισμούς έρχονται με ασυμφωνία τα Νεογενή-Τεταρτογενή (μεταλικά) ιζήματα (Εικ. 4.4). Πρόκειται, για: α) παγετώδεις αποθέσεις ή προϊόντα παλαιών κατολισθήσεων (άργιοι και τεμάχη ψαμμιτών) Πλειστοκαινικής ηλικίας, β) προσχωσιγενείς αποθέσεις και υλικά ποταμοχειμάρριας προέλευσης (αλλουβιακές αποθέσεις, αλλουβιακά ριπίδια, αποθέσεις κοίτης κ.λ.π) Πλειστοκαινικής ηλικίας και γ) προϊόντα αποσάθρωσης και διάβρωσης (ερυθρογή, κώνοι κορημάτων, πλευρικά κορήματα και αργιλικά κορήματα). Οι κυριότερες αποθέσεις των ιζημάτων αυτών απαντούν σε ταφρογενή βυθίσματα (π.χ. λεκάνη Σπερχειού).



Εικόνα 4.4: Γεωλογικός χάρτης της δυτικής Όθρου [από ΜΙΓΚΙΡΟΣ, 1990 και τα γεωλογικά φύλλα του ΙΓΜΕ (Λεοντάριο, Δομοκός) με τροποποιήσεις].

4.2.2 Γεωλογική διάρθρωση του Καλλιδρόμου

Η γεωλογική δομή του όρους Καλλιδρόμου είναι σχετικά απλή. Γεωτεκτονικά εντάσσεται στην Υποπελαγονική ζώνη και δομείται κυρίως από αλπικούς σχηματισμούς, οι οποίοι αποτελούν το υπόβαθρο, υπερκείμενοι των οποίων είναι μεταλπικοί σχηματισμοί και μολασικές αποθέσεις.

Η γεωλογία της περιοχής του Καλλιδρόμου (Εικ. 4.5) όπως αυτή περιγράφεται στη συνέχεια, έχει προκύψει από τη σύνθεση βιβλιογραφικών δεδομένων (ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ κ.ά., 1959; 1962; CELET, 1962; CLEMENT, 1977; LELUC, 1978; DANELIAN & ROBERTSON, 1995, ΚΑΡΙΠΗ, 2004), σε συνδυασμό με προσωπικές υπαίθριες παρατηρήσεις, που όμως εστιάστηκαν στο οφιολιθικό σύμπλεγμα. Το σύμπλεγμα αυτό αναπτύσσεται στο ανατολικό- νοτιοανατολικό τμήμα της οροσειράς.

Οι αλπικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή διαρθρώνονται από τους παλαιότερους προς τους νεότερους ως ακολούθως:

- ✚ Κρυσταλλικοί δολομίτες, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και ασβεστόλιθοι κατά θέσεις ωολιθικοί (Τριαδικό-Μέσο Ιουρασικό). Στο Κάτω Ιουρασικό παρατηρούνται βωξιτικά κοιτάσματα του 1^{ου} βωξιτικού ορίζοντα, ο οποίος αντιστοιχεί πλήρως με τον κατώτερο ορίζοντα βωξιτών της ζώνης Παρνασσού.
- ✚ Ασύμφωνα πάνω στους Μέσο Ιουρασικούς ασβεστόλιθους αποτίθενται σκοτεινόχρωοι ασβεστόλιθοι και κατά θέσεις κόνδυλοι μαύρων πυριτολίθων (Άνω Ιουρασικής ηλικίας).
- ✚ Ραδιολαρίτες, Άνω Ιουρασικής ηλικίας, αποτίθενται με συμφωνία πάνω στην ασβεστολιθική ακολουθία (DANELIAN & ROBERTSON, 1995). Συχνά αυτοί εναλλάσσονται με πηλίτες και προς τους ανώτερους ορίζοντες παρατηρούνται αποθέσεις κλαστικών ιζημάτων, τα οποία περιέχουν θραύσματα οφιολιθικών πετρωμάτων. Τα οφιολιθικά πετρώματα επωθούνται επί των ασβεστολίθων, των ραδιολαριτικών και των κλαστικών ιζημάτων και όπως προαναφέραμε εμφανίζονται στο ανατολικό-νοτιοανατολικό τμήμα της οροσειράς. Διαχωρίζονται στην ενότητα της οφιολιθικής *mélange* και του οφιολιθικού καλύμματος. Πιο συγκεκριμένα, η *mélange* εμφανίζεται σε όλο αυτό το τμήμα, ενώ το κάλυμμα αναπτύσσεται στο κεντρικό κομμάτι του τμήματος. Στην οφιολιθική *mélange* συμμετέχουν τεμάχη σερπεντινωμένων περιδοτιτών (σερπεντινιτών), γάββρων, δολεριτών, βασαλών, αμφιβολιτών, ροδιγκιτών, ραδιολαριτών, ασβεστολίθων. Στο οφιολιθικό κάλυμμα συμμετέχουν σερπεντινωμένοι περιδοτίτες-σερπεντινίτες με δουνιτικά σώματα. Εκτενής

περιγραφή των οφιολιθικών εμφανίσεων γίνεται στα υποκεφάλαια που ακολουθούν.

- ✚ Ασύμφωνα πάνω στους υποκείμενους σχηματισμούς, αποτίθενται επικλυσιογενώς Κενομάνιοι ασβεστόλιθοι. Ακολουθούν ρουδιστοφόροι ασβεστόλιθοι και εν συνεχεία ο Άνω Κρητιδικός Φλύσχος. Οι επικλυσιογενείς Κρητιδικοί σχηματισμοί δεν εμφανίζονται στο ΝΑ τμήμα της οροσειράς (περιοχή μελέτης), αλλά εμφανίζονται μόνο στο βόρειο τμήμα του Καλλιδρόμου, πλησίον της πεδιάδας του Σπερχειού ποταμού.
- ✚ Μολασσικές αποθέσεις, Ολιγοκαινικής ηλικίας, καλύπτουν τοπικά τις οφιολιθικές εμφανίσεις.
- ✚ Οι μεταλλικοί σχηματισμοί αναπτύσσονται κυρίως στις λεκάνες του Ρεγκίνιου (βόρεια) και του Μόδιου (νότια). Μικρές μόνο εμφανίσεις τους απαντώνται κατά θέσεις μέσα στον ορεινό όγκο. Πρόκειται για λιμναίες αποθέσεις (μάργες, άργιλοι, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή με παρεμβολές κοιτασμάτων λιγνίτη, Τριτογενούς ηλικίας) και χαλαρές αποθέσεις (Τεταρτογενούς ηλικίας).

4.2.3 Τα οφιολιθικά συμπλέγματα

4.2.3.1 Εισαγωγή

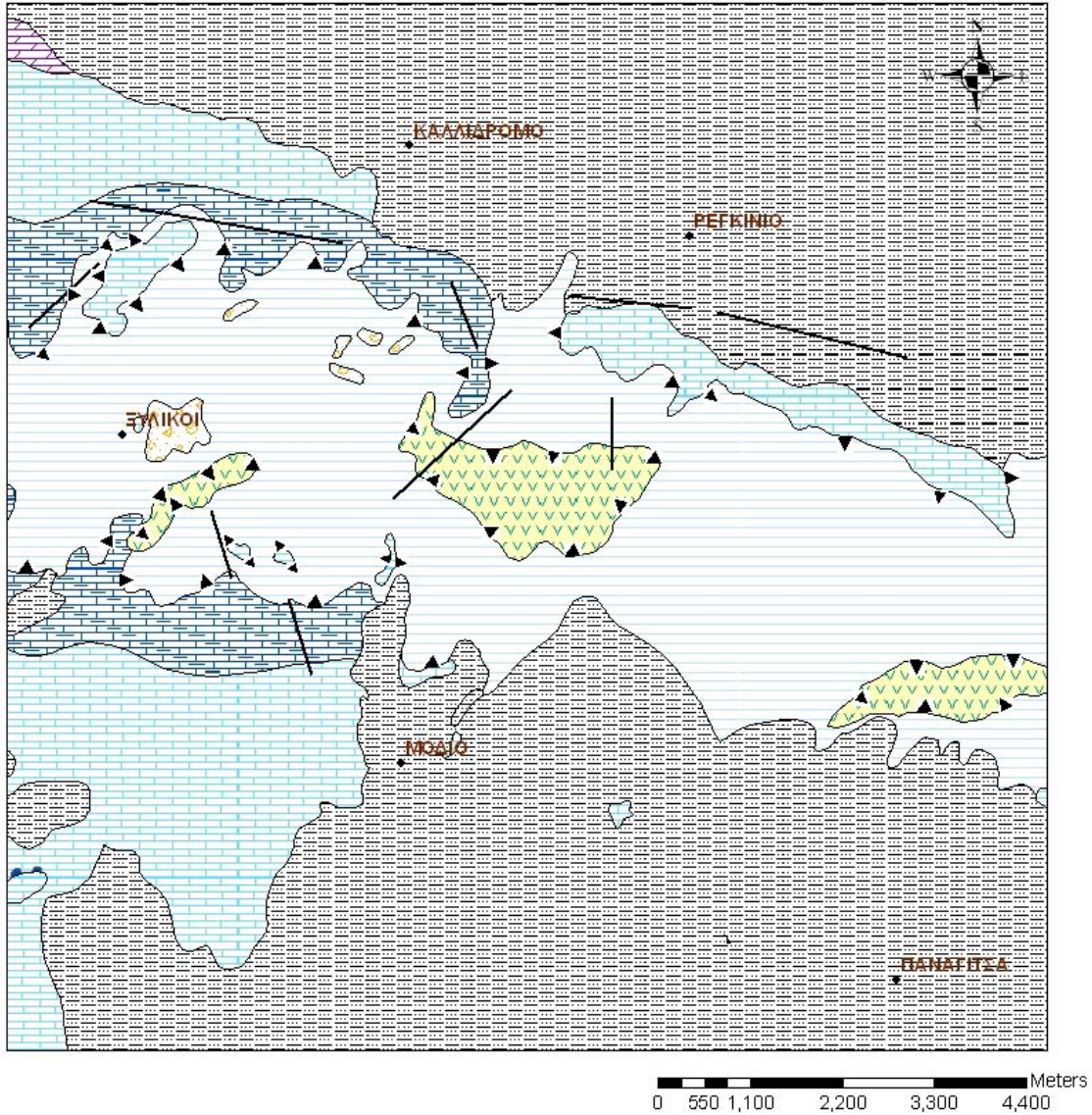
Στην παρούσα διατριβή, η έρευνα εστιάστηκε στις οφιολιθικές εμφανίσεις και κυρίως στα υπερβασικά πετρώματα της δυτικής Όθρυος και του Καλλιδρόμου. Κατά το στάδιο αυτό της έρευνας διαπιστώθηκε ότι τα οφιολιθικά πετρώματα στις οροσειρές αυτές συμμετέχουν είτε στη δομή μιας χαοτικής ενότητας, που ορίζεται ως οφιολιθική *mélange*, είτε αποτελούν το οφιολιθικό κάλυμμα. Όπως προαναφέραμε, οι κυριότερες οφιολιθικές μάζες στην περιοχή της δυτικής Όθρυος απαντούν στην περιοχή, που περικλείεται από τον Άγιο Στέφανο-βόρεια του Αρχανίου-τη Μακρουργάχη-την Εκκάρα-την Άνω Αγόριανη- το Περιβόλι-τον Άγιο Στέφανο, ενώ τα οφιολιθικά πετρώματα στην περιοχή του Καλλιδρόμου αναπτύσσονται στις ανατολικές-νοτιοανατολικές παρυφές της οροσειράς. Οι εμφανίσεις της οφιολιθικής *mélange* κατανέμονται σχεδόν σε όλη αυτή την περιοχή, ενώ το οφιολιθικό κάλυμμα, εκτείνεται κυρίως στο κεντρικό τμήμα, μεταξύ των οικισμών Καλλίδρομο-Ρεγκίνιο-Μόδιο.

4.2.3.2 Οφιολιθική *mélange* Όθρυος και Καλλιδρόμου

Στη βάση του οφιολιθικού καλύμματος τόσο της Όθρυος, όσο και του Καλλιδρόμου εμφανίζεται η οφιολιθική *mélange*. Πρόκειται, όπως προαναφέραμε, για ένα χαοτικό σχημα-

4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ-ΓΕΩΛΟΓΙΑ-ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

τισμό στον οποίο υπάρχουν έντονα τεκτονισμένα οφιολιθικά τεμάχια για αυτό και ονομάζεται οφιολιθική. Η θεμελιώδης μάζα αντιπροσωπεύεται από υλικό ηλιτικής, ψαμμιτικής σύστασης και από σερπεντινική «πούδρα». Τα κομμάτια των πετρωμάτων που



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- | | |
|--|-------------------------------------|
| Μεταλπικά ιζήματα | Βώξιτες κατώτερου οριζοντα |
| Μολασσικές αποθέσεις | Ασβεστόλιθοι (Κάτω-Μέσο Ιουρασικοί) |
| Οφιολιθικό κάλυμμα (κυρίως υπερβασικά πετρώματα) | Δολομίτες (Τριαδικό-Ιουρασικοί) |
| Οφιολιθική μέlange | Ρήγματα |
| Ασβεστόλιθοι (Άνω Ιουρασικοί) | Επωθήσεις |

Εικόνα 4.5: Γεωλογικός χάρτης του Καλλιδρόμου [από τα γεωλογικά φύλλα του ΙΓΜΕ (Αμφίκλεια, Ελάτεια) με τροποποιήσεις].

συμμετέχουν στην οφιολιθική *mélange* παρουσιάζουν ποικιλία στη μορφή, το μέγεθος, την σύσταση και την προέλευση τους. Έτσι στην οφιολιθική *mélange* συμμετέχουν κυρίως τεμάχια μεταμορφωμένων (κυρίως αμφιβολίτες), σερπεντινωμένων υπερβασικών, βασικών πλουτώνιων (γάββροι), φλεβικών (δολερίτες), ηφαιστειακών (μαξιλαροειδείς λάβες βασαλτικής σύστασης), αλλά και ιζηματογενών πετρωμάτων (κυρίως ασβεστόλιθοι και κερατόλιθοι). Η διαφορά της οφιολιθικής *mélange* του Καλλιδρόμου από αυτή της Όθρυος είναι πως στο Καλλίδρομο παρατηρούνται πολύ λιγότερα μεταμορφωμένα τεμάχια και πολύ περισσότερα ιζηματογενή όπως προκύπτει από βιβλιογραφικά στοιχεία (ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ κ.ά., 1959; ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ κ.ά., 1962; CELET et al., 1976; 1977) και προσωπικές υπαίθριες παρατηρήσεις.

4.2.3.3 Οφιολιθικά καλύμματα Όθρυος και Καλλιδρόμου

4.2.3.3.1 Οφιολιθικό κάλυμμα Όθρυος (έμφαση στα υπερβασικά)

Με βάση τα βιβλιογραφικά δεδομένα (ΤΡΙΚΚΑΛΙΝΟΣ, 1960; MENZIES, 1973; 1976; MENZIES & ALLEN 1974; CELET et al., 1976; ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ & ΛΕΚΚΑΣ, 1979; SPRAY & RODDICK, 1980; FERRIERE, 1982; ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ ΙΓΜΕ; ΜΙΓΚΙΡΟΣ κ.ά., 1989; VACONDIOS et al., 1990; ΜΙΓΚΙΡΟΣ, 1990, ΕΡΓΟΣΕ, 2003), αλλά και υπαίθρια έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή, διαπιστώθηκε πως το οφιολιθικό σύμπλεγμα της Όθρυος εμφανίζει μεγάλη ετερογένεια και αποτελείται από περιδοτίτες, γάββρους, ηφαιστειακά και ιζηματογενή πετρώματα. Στη βάση του απαντάται το μεταμορφικό πέγμα (177 εκατομμυρίων ετών, SPRAY & RODDICK, 1980).

Τα υπερβασικά πετρώματα αποτελούνται κυρίως από χαρτσβουργίτες, μερικούς λερζόλιθους, και σε μικρότερο ποσοστό, δουνίτες. Στην περιοχή Μέγα Ίσωμα υπάρχει και πλαγιοκλαστικός λερζόλιθος, οποίος δεν εμφανίζεται συχνά σε άλλα οφιολιθικά συμπλέγματα (RASSIOS & KONSTANTOPOULOU, 1993). Οι λερζόλιθοι υπέρκεινται σχεδόν πάντα των χαρτσβουργιτών. Κυρίως πρόκειται για σχετικά έντονα τεκτονισμένα και σερπεντινωμένα υπερβασικά πετρώματα που παρουσιάζουν χαρακτηριστικά κυανά, σκούρα πράσινα χρώματα, σαπωνοειδή υφή και κυψελώδη ιστό με συνέπεια να χαρακτηρίζονται από εύκολο αποχωρισμό κατά τα επίπεδα σχιστότητας. Αυτά οφείλονται στο σερπεντίνη, ορυκτό με το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής. Κατά τόπους, αλλά κυρίως στην περιοχή μεταξύ Βελεσιώτες-Θαυμακό, ο σερπεντινίτης παρουσιάζει ως κύριο χαρακτηριστικό το πυκνό δίκτυο ασυνεχειών, που διατέμνουν τη βραχώμαζα, στον οποίο κυριαρχεί η έντονη σχιστοποίηση (έντονη φυλλώδη δομή, σχιστώδεις σερπεντινίτες **Εικ. 4.6**). Η δομή αυτή έχει σχέση με την εντατική τεκτονική παραμόρφωση που αυτή έχει

υποστεί, τόσο στο στάδιο της αρχικής τοποθέτησης, όσο και στο στάδιο της επώθησής τους στους υποκείμενους ανθρακικούς σχηματισμούς. Οι σχηματισμοί αυτοί, όπου εμφανίζονται, αποτελούν την βάση των υπερβασικών πετρωμάτων.



Εικόνα 4.6: Έντονη σχιστοποίηση-φυλλώδης δομή (σχιστώδης σερπεντινίτης από την περιοχή της δυτικής Θήρας).

Πάνω σε αυτούς κάθονται οι σερπεντινίτες (**Εικ. 4.7**) που αποτελούν μια έντονα τεκτονισμένη και πλήρως σερπεντινωμένη υπερβασική μάζα με ποικίλο βαθμό παραμόρφωσης. Ουσιαστικά αυτοί αποτελούν τα λιγότερο παραμορφωμένα τμήματα μιας σχεδόν πλήρους σερπεντινωμένης υπερβασικής μάζας η οποία στα κατώτερα μέλη έχει σχιστοποιηθεί εξαιτίας εντατικότερων τεκτονικών διεργασιών. Συχνά το όριό τους με τους σχιστώδεις σερπεντινίτες είναι ασαφές, ενώ η ένταση της παραμόρφωσης στην όλη μάζα μειώνεται προς τα ανώτερα μέλη τους.

Πάνω στους σερπεντινίτες κάθονται οι σερπεντινωμένοι περιδοτίτες (με βαθμό σερπεντινώσεως από 30 έως και 70%, **Εικ. 4.8**) και οι ελαφρά ως καθόλου σερπεντινωμένοι (υγείς) περιδοτίτες (με μικρότερη από 30% σερπεντινώση). Όταν τα υπερβασικά πετρώματα είναι υγιή συνίστανται κυρίως από ολιβίνη και πυρόξενους (κυρίως ορθοπυρόξενους) με κοκκώδη, πορφυροειδή ιστό και συμπαγή υφή. Συνήθως παρουσιάζουν, ένα ελαιοπράσινο έως σκούρο τεφρό χρώμα και διάσπαρτους χαλκόχρωμους φαινοκρυστάλλους πυροξένων. Οι πλαγιокλαστικοί περιδοτίτες (μικρή σχετικά παρουσία) περιέχουν, επιπλέον των άλλων ορυκτών, και πλαγιόκλαστα. Οι μακροδομές ποικίλουν από αδρο-πορφυροκλαστικές ως και υπερμυλονιτικές. Οι

πλαγιοκλαστικοί περιδοτίτες (κυρίως λερζόλιθοι) είναι κυρίως λεπτόκοκκοι και οι χαρτσβουργίτες μεσόκοκκοι.



Εικόνα 4.7: Σερπεντινίτης από την περιοχή της δυτικής Όθρως.

Οι δουνίτες (μειοψηφία στην περιοχή μελέτης) είναι γενικά λεπτόκοκκοι και δίνουν ένα ελαιοπράσινο χρώμα (εξαιτίας των ισομεγέθων κρυστάλλων ολιβίνη). Κατά τόπους κυρίως παρατηρούνται σημαντικές ποσότητες χρωμιτών και τα ανώτερα μέλη διασχίζονται από γαββρικές φλέβες. Επίσης οι περιδοτίτες κόβονται από βαθιούς ΒΑ-ΝΔ και μέτρια κεκλιμένους ΒΔ-ΝΑ σερπεντινικούς κατακλασίτες.



Εικόνα 4.8: Σερπεντινωμένος περιδοτίτης από την περιοχή της δυτικής Όθρως.

4.2.3.3.2 Οφιολιθικό κάλυμμα Καλλιδρόμου (έμφαση στα υπερβασικά)

Όπως προαναφέραμε το οφιολιθικό κάλυμμα του Καλλιδρόμου αναπτύσσεται κυρίως στην περιοχή που περικλείεται μεταξύ των οικισμών Καλλίδρομο-Ρεγκίνιο-Μόδιο, δηλαδή στο ανατολικό-νοτιοανατολικό τμήμα του ορεινού όγκου του Καλλιδρόμου (**Εικ. 4.5**). Αποτελείται κυρίως από σερπεντινωμένα υπερβασικά πετρώματα, τα οποία καταλαμβάνουν μια έκταση περίπου 5.5 km² και είναι επωθημένα στην οφιολιθική *mélange* του Καλλιδρόμου. Συχνά στη βάση του απαντώνται αμφιβολιτικά σώματα ποικίλων διαστάσεων, τα οποία αποτελούν το «μεταμορφικό πέλμα». Από βιβλιογραφικά δεδομένα (ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ κ.ά., 1959, 1962; CELET, 1962; LELUC, 1978; DANELIAN & ROBERTSON, 1995; ΕΡΓΟΣΕ, 2003; ΚΑΡΙΠΗ, 2004) και υπαίθρια έρευνα που έγινε στην περιοχή, διαπιστώθηκε πως στο οφιολιθικό κάλυμμα του Καλλιδρόμου απαντώνται κυρίως ελαφρά ως πολύ σερπεντινωμένοι χαρτσβουργίτες και σε μικρότερη έκταση λερζόλιθοι, δουνίτες, γάββροι, διαβάσες, ηφαιστειακά και ιζηματογενή πετρώματα. Ιδιαίτερα, τα υπερβασικά πετρώματα είναι δυνατόν να διακριθούν κυρίως σε τρεις (3) πετρολογικές ενότητες–σχηματισμούς (όπως και στην Όθηρ), οι οποίοι από κάτω προς τα επάνω είναι (**Εικ. 4.9**):

(α) Σχιστώδεις σερπεντινίτες (se.s).

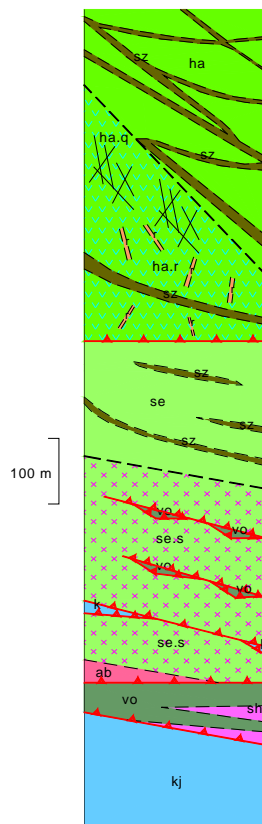
(β) Σερπεντινίτες (se).

(γ) Σερπεντινωμένοι περιδοτίτες (κυρίως χαρτσβουργίτες, ha).

Οι σχιστώδεις σερπεντινίτες και οι υπερκείμενοί τους σερπεντινίτες (70-100% σερπεντινώση) αποτελούν μια ενιαία μάζα, με συνεχή μείωση προς τα ανώτερα μέλη, της τεκτονικής παραμόρφωσης, στην οποία βρίσκονται επωθημένοι οι σερπεντινωμένοι περιδοτίτες (κυρίως χαρτσβουργίτες). Οι σχιστώδεις σερπεντινίτες (**Εικ. 4.10**) αποτελούν μια ανομοιογενή μάζα από πλήρως σερπεντινωμένους και σχιστοποιημένους σερπεντινίτες, που χαρακτηρίζονται από έντονη φυλλώδη δομή. Στο εσωτερικό των σχιστωδών σερπεντινιτών διαπιστώθηκαν και ζώνες διάτμησης (**Εικ. 4.9**). Λεπτομερής μελέτη των σχηματισμών αυτών έδειξε ότι πέραν της σχιστοποίησης έχουν υποστεί και έντονο κατακερματισμό, τέτοιο που να μπορεί σε πολλές θέσεις να τους χαρακτηρίσει και ως κατακλασίτες.

Οι σερπεντινίτες αποτελούν μια έντονα τεκτονισμένη και πλήρως σερπεντινωμένη υπερβασική μάζα με ποικίλο βαθμό παραμόρφωσης τύπου *boudinage*, συνήθως γκριζοπράσινου χρώματος (**Εικ. 4.11**). Αυτοί υπέρκεινται του σχιστώδους σερπεντινίτη και αποτελούν τα λιγότερο παραμορφωμένα τμήματα μιας σχεδόν πλήρους σερπεντινωμένης υπερβασικής μάζας. Στο εσωτερικό τους και με μεγαλύτερη συχνότητα

κοντά στην επαφή τους με τους υπερκείμενους σερπεντινωμένους χαρτσβουργίτες απαντώνται ζώνες διάτμησης. Οι ζώνες αυτές διάτμησης οριοθετούνται παράλληλα

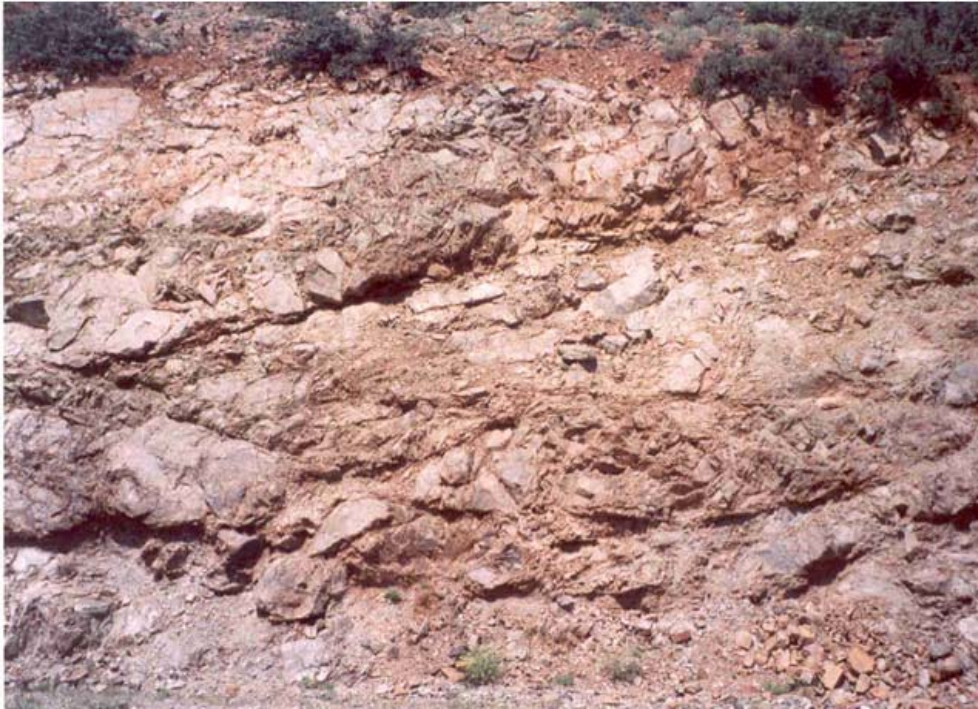


Εικόνα 4.9: Λιθοστρωματογραφική στήλη των υπερβασικών πετρωμάτων τα οποία είναι επωθημένα πάνω στους ασβεστόλιθους στην περιοχή του Καλλιδρόμου; kj: ασβεστόλιθοι, sh: σχιστοκερατολιθική διάπλαση (οφιολιθική mélange), Vo: ηφαιστειακά, ab: αμφιβολίτες, se.s: σχιστώδεις σερπεντινίτες, se: σερπεντινίτες, ha: χαρτσβουργίτες, sz: ζώνη διάτμησης (ΕΡΓΟΣΕ, 2003).



Εικόνα 4.10: Σχιστώδης σερπεντινίτης από την περιοχή του Καλλιδρόμου.

ή υποπαράλληλα με την όλη δομή του οφιολιθικού καλύμματος και χαρακτηρίζονται από έντονο κατακερματισμό (μυλονίτες ή/και κατακλασίτες).



Εικόνα 4.11: Σερπεντινίτες με χαρακτηριστικές μορφές boudinage από την περιοχή του Καλλιδρόμου.

Οι σερπεντινωμένοι περιδοτίτες (κυρίως χαρτσβουργίτες, **Εικ. 4.12**) καταλαμβάνουν τα ανώτερα μέλη του οφιολιθικού τεκτονικού καλύμματος διαφοροποιημένοι πλήρως από τις υποκείμενες έντονα παραμορφωμένες και εξολοκλήρου σερπεντινωμένες υπερβασικές μάζες στις οποίες και έχουν επωθηθεί. Πρόκειται για συμπαγή πετρώματα, τα οποία παρουσιάζουν ασαφή σχιστότητα. Στο νοτιοδυτικό τμήμα της μάζας εμφανίζονται μαζί με φλέβες, ενώ στο βορειοανατολικό τμήμα δεν υπάρχουν φλέβες. Οι σερπεντινωμένοι περιδοτίτες (30-100% σερπεντινίωση) γενικά αποτελούν μια ομοιογενή, ανισότροπη όμως μάζα, της οποίας η συνέχεια διακόπτεται από συστηματική παρουσία επιφανειών διάρρηξης και ζωνών διάτμησης. Οι ζώνες διάτμησης που τη διασχίζουν είναι τόσο θραυστιγενείς (brittle), όσο και θραυστιγενείς-πλαστικές (brittle-ductile). Το πάχος τους κυμαίνεται από λίγα εκατοστά μέχρι και 30-50m. Οι θραυστιγενείς ζώνες διάτμησης χαρακτηρίζονται από ασαφή σχιστότητα και παρουσία λατυποπαγών ή και κατακλασιτών, ενώ οι θραυστιγενείς-πλαστικές από ασαφή σχιστότητα, η οποία σε πολλές θέσεις παρουσιάζει και έντονη πτυχωσιγενή δομή. Καθώς κινούμαστε προς τα ανώτερα τμήματα των σερπεντινωμένων περιδοτιτών η παραμόρφωση και ο βαθμός σερπεντινίωσης μειώνονται και μάλιστα όταν αυτός γίνει μικρότερος από 30%, αυτοί χαρακτηρίζονται ως υγείς περιδοτίτες.



Εικόνα 4.12: Σερπεντινωμένοι χαρτσβουργίτες από την περιοχή του Καλλιδρόμου.

Όπως προαναφέραμε και στην Όθρη, μακροσκοπικά, οι σερπεντινίτες εμφανίζονται με σκουροπράσινα και κυανά χρώματα, ενώ παρουσιάζουν χαρακτηριστική σαπυνοειδή υφή και κυψελώδη ιστό (εξαιτίας του σερπεντίνη). Αντίθετα, οι λιγότερο ή μη σερπεντινωμένοι περιδοτίτες (υγείς) παρουσιάζουν συμπαγή υφή, σκουρότεφο χρώμα και ευδιάκριτους μακροσκοπικά πορφυροκρυστάλλους πυροξένων. Οι δουνίτες που αναγνωρίστηκαν στην περιοχή είναι γενικά λεπτόκοκκοι και ελαιοπράσινου χρώματος. Επίσης μέσα στους δουνίτες παρατηρούνται διάσπαρτοι σκουρόχρωμοι κόκκοι χρωμίτη. Κάποιες εμφανίσεις δουνίτη παρουσιάζουν ένα καστανοκίτρινο χρώμα, το οποίο όμως περιορίζεται στο εξωτερικό οξειδωμένο τμήμα του πετρώματος που περιβάλλει τον υγρή πυρήνα. Αυτό οφείλεται στο ότι έχουν εμποτιστεί με οξείδια. Σε ζώνες έντονης διάτμησης παρατηρήθηκαν σχιστοποιημένοι και λατυποπαγοποιημένοι περιδοτίτες, ενώ συχνά σε ασυνέχειες των υπερβασικών πετρωμάτων παρατηρήθηκε απόθεση ασβεστίτη, η οποία πραγματοποιείται κατά την σερπεντινίωσή τους.

4.3 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

4.3.1 Τεκτονική μελέτη της Όθρου

Η οροσειρά της Όθρου παρουσιάζει, όπως προαναφέραμε, μια ιδιαίτερα σύνθετη γεωλογική δομή που οφείλεται στην έντονη συμπιεστική και εφελκυστική τεκτονική. Η τεκτονική μελέτη εστιάστηκε κυρίως στην εξέταση πλαστικών (ductile, πτυχές, παραμόρφωση και προσανατολισμό των φαινοκρυστάλλων των πυροξένων και των

ολιβίνων) όσο και θραυσιγενών (brittle, ρήγματα, επιπέυσεις, επωθήσεις κ.τ.λ) δομών των υπερβασικών μαζών, που προκλήθηκαν εξαιτίας των παραμορφωτικών φάσεων, που έλαβαν χώρα από το Ιουρασικό ως και το Τεταρτογενές (FERRIERE, 1982; ΜΙΓΚΙΠΟΣ, 1990; RASSIOS, 1991; RASSIOS & KONSTANTOPOULOU, 1993; RASSIOS et al., 1994; RASSIOS & SMITH, 2000) Η ερμηνεία των δομών αυτών μπορεί να οδηγήσει σε χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά στην εξέλιξη και επώθηση των οφιολιθικών ακολουθιών.

Οι πλαστικές δομές στα υπερβασικά πετρώματα της Όθρυος αντιπροσωπεύονται από ανεστραμμένες ως κατακεκλιμένες πτυχές με διεύθυνση B30-40°Δ και μέση βύθιση του αξονικού επιπέδου 20-30° ΒΑ (ΜΙΓΚΙΠΟΣ, 1990), αλλά κυρίως από παραμόρφωση και ασθενή ως ισχυρό προσανατολισμό κυρίως των κρυστάλλων του ολιβίνη και των φαινοκρυστάλλων των πυροξένων. Κατά τους MERCIER & NICOLAS (1975) και NICOLAS et al. (1980), η παραμόρφωση αυτή και ο προσανατολισμός συμβαίνουν στη ζώνη μεταξύ ασθαινόσφαιρας και λιθόσφαιρας, σε θερμοκρασίες που φτάνουν τους 1200°C εξαιτίας της πλαστικής ροής του μανδουακού υλικού. Στις περιοχές αυτές παρατηρείται μερική τήξη και ανακρυστάλλωση. Η RASSIOS, 1991, ταξινόμησε τους τεκτονισμένους περιδοτίτες της Πίνδου, σε πέντε κατηγορίες όσον αφορά στον προσανατολισμό των κρυστάλλων. Η κατηγορία "0" περιλαμβάνει περιδοτίτες στους οποίους δε φαίνεται κανένας προσανατολισμός μακροσκοπικά. Οι περιδοτίτες που ανήκουν στην κατηγορία "1" χαρακτηρίζονται από ασθενή προσανατολισμό των ορθοπυροξένων, ενώ στην κατηγορία "2" εμφανίζουν πιο έντονο προσανατολισμό. Η κατηγορία "3" αποτελείται από περιδοτίτες με επιμήκεις ορθοπυροξένους (και νεοβλάστες ολιβίνη που είναι ορατοί μόνο στο μικροσκόπιο), ενώ στην κατηγορία "4" ανήκουν οι μυλονιτοποιημένοι περιδοτίτες (ο λόγος επιμήκυνσης των ορθοπυροξένων είναι μεγαλύτερος από 5: 1). Η RASSIOS (1991) και οι RASSIOS & SMITH (2000) κατατάσσουν τους περισσότερους περιδοτίτες της Όθρυος στην κατηγορία "4". Ο ΜΙΓΚΙΠΟΣ (1990), παρατήρησε πως η κύρια γράμμωση στην περιοχή είναι B40-60°Α και η δευτερεύουσα είναι η B360°Α, ενώ σπανίζει η γράμμωση με διεύθυνση ΒΔ.

Στο Άνω Ιουρασικό, η πρώτη συμπίεστική παραμορφωτική φάση έδωσε θραυσιγενείς δομές, αφού η θερμοκρασία των υπερβασικών πετρωμάτων ήταν χαμηλότερη από 750°C (κάτω από αυτή τη θερμοκρασία έχουμε θραυσιγενείς δομές). Τα χαρακτηριστικά των δομών αυτών φαίνονται παρακάτω:

- Σχιστότητα: Τόσο η σχιστότητα που παρουσιάζουν κατά θέσεις οι σερπεντινίτες, όσο και η έντονη σχιστότητα (foliation) που παρατηρείται στους σχιστώδεις

σερπεντινίτες έχει διεύθυνση B40°Δ και κλίση μικρότερη από 30° (κυρίως ΒΑ).

- Οι σερπεντινωμένοι περιδοτίτες δεν παρουσιάζουν εμφανή σχιστότητα, αλλά ένα κύριο ασυνεχές επίπεδο διάρρηξης με διεύθυνση B50°Δ και κλίση 30° ΒΑ, ΝΔ.
- Εφιππεύσεις-ανάστροφα ρήγματα (thrust-reverse faults) με διεύθυνση B320°-B10° και κλίση 50-60°, κατά τόπους και 45° (κυρίως ΒΑ). Αυτά συνδέονται με τη δημιουργία λεπιώσεων κυρίως στον άξονα Δομοκός-Άγ. Γεώργιος, αλλά και στην περιοχή του Αρχανίου (ΜΙΓΚΙΡΟΣ, 1990).
- Εφιππεύσεις μικρής γωνίας-επωθητικά ρήγματα (thrust faults) με διεύθυνση B315° και κλίση 30-45° κατά τόπους και 20° (κυρίως ΒΑ). Αυτά είναι υπεύθυνα για την επώθηση των οφιολιθικών πετρωμάτων της κεντρικής Όθρυος πάνω στη δυτική.
- Πλάγια ρήγματα με οριζόντια συνιστώσα ολίσθησης ή/και οριζόντιας μετατόπισης (oblique-slip or strike-slip faults):
 - i. B340-10° και κλίση 60° κυρίως ΒΑ ως Α, αλλά και ΝΔ ως Δ, δεξιόστροφο (right-handed).
 - ii. B40-60° και κλίση 60° (ΒΔ και ΝΑ), δεξιόστροφο (right-handed).
 - iii. B70-90° και κλίση 60° (Β και Ν), αριστερόστροφο (left-handed).Χαρακτηριστικό παράδειγμα η μεγάλη ρηξιγενής δομή, Δομοκός-Άνω Αγόριανη-Λουτρά Καΐτης.

Επομένως, οι εφιππεύσεις και οι επωθήσεις ακολουθούν με ελάχιστες μικρές αποκλίσεις τη σχιστότητα και το ασυνεχές επίπεδο διάρρηξης. Την ίδια παράταξη ακολουθούν και οι ζώνες διάτμησης.

Η έναρξη της μεταορογενετικής διάρρηξης γίνεται κυρίως την εποχή της δημιουργίας των μολασικών λεκανών (Ανώτερο Ηώκαινο-Πλειόκαινο) και έχει επηρεάσει όλους τους σχηματισμούς της Όθρυος. Στα υπερβασικά πετρώματα, η Ηωκαινική παροξυσμική φάση εκφράζεται κυρίως με ρήγματα και ρηξιγενείς ζώνες, οι οποίες στην περιοχή ενδιαφέροντος ακολουθούν κατά βάση τις μεγάλες τεκτονικές επιφάνειες-δομές (εφιππεύσεις, επωθήσεις και ρήγματα της Άνω Ιουρασικής ηλικίας). Χαρακτηρίζεται από γενικότερο εφελκυσμό και διαμορφώνει την περιοχή κατά το πλείστον με κανονικά / ή και πλαγιοκανονικά ρήγματα (normal faults), τοπικά με εμφάνιση και οριζόντιας ολίσθησης. Τα περισσότερα και πλέον σημαντικά από αυτά αποτελούν κατά κύριο λόγο επαναδραστηριοποίηση αλπικών τεκτονικών δομών κυρίως στις διευθύνσεις Α-Δ και ΒΔ-ΝΑ, αλλά δευτερευόντως και στη διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ.

Η μέγιστη κλίση των Α-Δ ρηγμάτων κυμαίνεται από 70-80°, με κύρια φορά βύθισης βόρεια. Πρόκειται για κανονικά αριστερόστροφα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η μεγάλη ρηξιγενής δομή, Δομοκός-Άνω Αγόριανη-Λουτρά Καΐτσης (όπως προαναφέραμε). Στα νότια της Όθρυος οι ζώνες αυτές συνδέονται με τη διάνοιξη της τάφρου του Σπερχειού.

Τα ρήγματα ΒΔ-ΝΑ (B30°Δ) είναι κυρίως κανονικά έως και πλαγιοκανονικά δεξιόστροφα, εφελκυστικού χαρακτήρα με μέγιστη κλίση 70-80° και κύρια φορά βύθισης βορειοανατολική. Παρουσιάζουν ίδια ποσοστά μήκους διάρρηξης (πυκνότητα) και πλήθους εμφάνισης (συχνότητα) και κατά το πλείστον η συνέχειά τους διακόπτεται από τα ρήγματα Α-Δ. Η πλέον σημαντική ΒΔ-ΝΑ ρηξιγενής δομή είναι αυτή της Εκκάρας-Άνω Αγόριανης.

Τα ρήγματα ΒΑ-ΝΔ (B40°Α) είναι κυρίως κανονικά έως και πλαγιοκανονικά, δεξιόστροφα με μέγιστη κλίση 70-80° και κύρια φορά βύθισης βορειοδυτική. Παρουσιάζουν μικρότερο μήκος διάρρηξης (πυκνότητα) έναντι του πλήθους εμφάνισής τους (συχνότητα) και διαμελίζονται από τα ρήγματα Α-Δ και ΒΔ-ΝΑ. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ΒΑ-ΝΔ ρηξιγενούς ζώνης είναι η Μακρυρράχη -Γαβράκια, που ουσιαστικά αποτελεί μια υπολειπόμενη δεξιόστροφη ρηξιγενή δομή της κύριας αλπικής δομής και συνδέεται με την προώθηση των οφιολίθων στους υποκείμενους σχηματισμούς.

Όλες οι τεκτονικές δομές των υπερβασικών πετρωμάτων από την περιοχή της Όθρυος συμπερασματικά παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.1**.

Τέλος η Ηωκαινική φάση παραμόρφωσης είναι υπεύθυνη για τις εσωτερικές ολισθήσεις σε όλους τους αλπικούς σχηματισμούς, αλλά κυρίως για την ολίσθηση των ΆνωΚρητιδικών ασβεστολίθων πάνω τους (αλπικούς σχηματισμούς).

4.3.2 Τεκτονική μελέτη του Καλλιδρόμου

Ύστερα από υπαίθρια μελέτη, αλλά και από βιβλιογραφικά στοιχεία (ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ κ.ά., 1962; CLEMENT, 1977; ΚΑΡΙΠΗ, 2004; ΜΙΓΚΙΡΟΣ κ.ά., 2005) που συλλέξαμε για τους σχηματισμούς και τις δομές τους στην περιοχή του Καλλιδρόμου, παρατηρήσαμε ότι πρόκειται για έντονα τεκτονικά παραμορφωμένα πετρώματα εξαιτίας των παραμορφωτικών φάσεων που έλαβαν χώρα, κυρίως από το Ιουρασικό έως το Τεταρτογενές, με αποτέλεσμα πολλές φορές να καθίσταται δύσκολος ο προσδιορισμός της τεκτονο-στρωματογραφικής σχέσης των πετρωμάτων που συμμετέχουν σε αυτά. Η περιοχή του Καλλιδρόμου αποτελεί μορφοτεκτονικά ένα σημαντικό ύβωμα, με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ (B75°Δ) και μέσο απόλυτο υψόμετρο 800m,

το οποίο διαχωρίζει τη λεκάνη του Ρεγκίνιου-Καλλιδρόμου στα βόρεια από τη λεκάνη του Μόδιου στα νότια. Κοιτάζοντας την ευρύτερα, χωρίζει τη λεκάνη του Σπερχειού (βόρεια) από τη λεκάνη του Βοιωτικού Κηφισσού (νότια).

Πίνακας 4.1: Τεκτονικά στοιχεία των υπερβασικών πετρωμάτων της Όθρυος.

	Σχιστώδεις Σερπεντινίτες	Σερπεντινίτες	Σερπεντινωμένοι Περιδοτίτες-Περιδοτίτες
Διεύθυνση και κλίση	050°/<30° σπανιότερα 230°/<30°	050°/<30° σπανιότερα 230°/<30°	040°/30° 220°/30
Ζώνη διάτμησης	050°/<30° σπανιότερα 230°/<30°	050°/<30° σπανιότερα 230°/<30°	040°/30° 220°/30
Επιπεύσεις- ανάστροφα ρήγματα	050-100°/45-60° σπανιότερα 230-280°/45-60°	050-100°/45-60° σπανιότερα 230-280°/45-60°	050-100°/45-60° σπανιότερα 230-280°/45-60°
Επιπεύσεις μικρής γωνίας-επώθητικά ρήγματα	045°/20-45° σπανιότερα 225°/20-45°	045°/20-45° σπανιότερα 225°/20-45°	045°/20-45° σπανιότερα 225°/20-45°
Ρήγματα	070-100°/60-80° σπανιότερα 250-280°/60-80° 310-330°/60-80° σπανιότερα 130-150°/60-80° 340-360°/60-80° σπανιότερα 160-180°/60-80°	070-100°/60-80° σπανιότερα 250-280°/60-80° 310-330°/60-80° σπανιότερα 130-150°/60-80° 340-360°/60-80° σπανιότερα 160-180°/60-80°	070-100°/60-80° σπανιότερα 250-280°/60-80° 310-330°/60-80° σπανιότερα 130-150°/60-80° 340-360°/60-80° σπανιότερα 160-180°/60-80°

Η τεκτονική μελέτη εστιάστηκε κυρίως στην εξέταση συνεχών και ασυνεχών δομών των υπερβασικών μαζών. Στους τεκτονισμένους περιδοτίτες έχουν παρατηρηθεί τόσο πλαστικές (ductile) όσο και θραυστιγενείς (brittle) δομές. Η ερμηνεία των δομών αυτών μπορεί να οδηγήσει σε χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά την εξέλιξη και επώθηση των οφιολιθικών ακολουθιών.

Οι πλαστικές δομές στα οφιολιθικά συμπλέγματα του Καλλιδρόμου περιορίζονται στην ενότητα των τεκτονισμένων περιδοτιτών και αντιπροσωπεύονται από παραμόρφωση και προσανατολισμό των φαινοκρυστάλλων των πυροξένων και των κόκκων του ολιβίνι, ενώ δεν παρουσιάζονται ιδιαίτερες πτυχές.

Χρησιμοποιώντας την ταξινόμηση της RASSIOS (1991), για τους τεκτονισμένους περιδοτίτες του Καλλιδρόμου, η ΚΑΡΙΠΗ (2004) παρατήρησε ότι αυτοί κατατάσσονται κυρίως στις κατηγορίες "2", "3" και λιγότερο στην κατηγορία "4". Οι γραμμώσεις (mineral

lineations) που δημιουργούν οι προσανατολισμένοι πυρόξενοι (**Εικ. 4.13**) στις κατηγορίες "2" και "3" έχουν γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, υποδεικνύοντας κίνηση στην ίδια διεύθυνση (ΒΑ-ΝΔ) (RASSIOS et al., 1994). Τα ορυκτά προσανατολίζονται παράλληλα με τη ροή του ασθαινοσφαιρικού υλικού κάθετα στην τάση που δέχεται (MERCIER & NICOLAS, 1975 και NICOLAS et al., 1980).

Στους σχιστώδεις σερπεντινίτες παρατηρήθηκε έντονη σχιστότητα και η στατιστική επεξεργασία όλων των μετρήσεων, έδειξε ότι ακολουθεί σε μέση τιμή τις παρακάτω κύριες διευθύνσεις:

- $020^{\circ}/40^{\circ}$, ($B70^{\circ}\Delta$, 40°BA),
- $195^{\circ}/40^{\circ}$, ($B75^{\circ}\Delta$, $40^{\circ}\text{N}\Delta$).



Εικόνα 4.13: Ορυκτολογικές γραμμώσεις από την περιοχή του Καλλιδρόμου.

Οι σερπεντινίτες είναι παραμορφωμένοι σε τύπο boudinage και εμφανίζουν μόνο κατά θέσεις σχιστότητα, η οποία με βάση τις μετρήσεις, που έγιναν, ακολουθεί πάντα αυτή του υποκείμενου σχιστώδους σερπεντινίτη. Οι εσωτερικές επιπεύσεις και γενικά ανάστροφες τεκτονικές επιφάνειες ακολουθούν με ελάχιστες μικρές αποκλίσεις τη σχιστότητα. Την ίδια παράταξη ακολουθούν και οι ζώνες διάτμησης.

Από την άλλη πλευρά, οι σερπεντινωμένοι περιδοτίτες δεν παρουσιάζουν εμφανή σχιστότητα, αλλά ένα κύριο ασυνεχές επίπεδο διάρρηξης. Το επίπεδο αυτό παρουσιάζει στοιχεία τα οποία, κατατάσσονται σε δύο μέσες κύριες διευθύνσεις:

- 1) $015^{\circ}/40^{\circ}$, ($B75^{\circ}\Delta$, 40°BA),
 $195^{\circ}/40^{\circ}$, ($B75^{\circ}\Delta$, $40^{\circ}\text{N}\Delta$).

- 2) $095^{\circ}/45^{\circ}$, ($B5^{\circ}A$, $45^{\circ}NA$),
 $275^{\circ}/45^{\circ}$, ($B5^{\circ}A$, $45^{\circ}B\Delta$).

Στους σερπεντινωμένους περιδοτίτες, οι ζώνες διάτμησης καθώς και οι επιπεύσεις και οι επωθήσεις αναπτύσσονται περίπου στις ίδιες διευθύνσεις με τα κύρια ασυνεχή επίπεδα διάρρηξης.

Σαφώς εκπεφρασμένα συστήματα διακλάσεων αναπτύσσονται κατά κανόνα στους σερπεντινωμένους περιδοτίτες. Πρόκειται για σαφείς και διαμπερείς επιφάνειες οι οποίες στατιστικά ταξινομούνται στα ακόλουθα τέσσερα επίπεδα:

- i. $070^{\circ}/45-60^{\circ}$ ($B20^{\circ}\Delta$, $45-60^{\circ}BA$)
 $250^{\circ}/45-60^{\circ}$ ($B20^{\circ}\Delta$, $45-60^{\circ}N\Delta$)
- ii. $130^{\circ}/60-70^{\circ}$ ($B40^{\circ}A$, $60-70^{\circ}NA$)
 $310^{\circ}/70-80^{\circ}$ ($B40^{\circ}A$, $70-80^{\circ}B\Delta$)
- iii. $030^{\circ}/60-80^{\circ}$ ($B60^{\circ}\Delta$, $60-80^{\circ}BA$)
 $210^{\circ}/60-70^{\circ}$ ($B60^{\circ}\Delta$, $60-70^{\circ}N\Delta$)
- iv. $170^{\circ}/60-70^{\circ}$ ($B80^{\circ}A$, $60-70^{\circ}NA$)
 $350^{\circ}/60-70^{\circ}$ ($B80^{\circ}A$, $60-70^{\circ}B\Delta$)

Η ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση των επιφανειών σχιστότητας εμφανίζεται και στα οφιολιθικά συστήματα της Πίνδου, της Όθρυος (όπως προαναφέραμε) και του Βούρινου (RASSIOS et al., 1994) και είναι παράλληλη με τη διεύθυνση τοποθέτησης των οφιολιθικών καλυμμάτων προς τα ΒΑ κατά την πρώτη παραμορφωτική φάση της παλαιοαλπικής ορογένεσης ενώ η ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση αποτυπώνει τη μεταγενέστερη παραμορφωτική φάση της επώθησης των εσωτερικών Ελληνίδων πάνω στις εξωτερικές.

Η περιοχή ενδιαφέροντος διαμορφώνεται από τέσσερις ομάδες συστημάτων ρηγμάτων ή/και ρηξιγενών ζωνών:

Ομάδα 1: Η ομάδα αυτή αντιπροσωπεύει ρήγματα με στοιχεία $350-020^{\circ}/60-80^{\circ}$ και $170-200^{\circ}/60-80^{\circ}$. Πρόκειται κυρίως για κανονικά ρήγματα (εφελκυσμός) παράλληλα με την ανάπτυξη των μεταλπικών λεκανών. Τα ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ δημιουργούν συχνά, στα βόρεια κράσπεδα του ορεινού όγκου του Καλλιδρόμου, ρηξιγενείς ζώνες. Σε αυτό το σύστημα ανήκει και η γνωστή ως ρηξιγενής ζώνη (κανονική-εφελκυσμός) του Καλλιδρόμου (**Εικ. 4.14**), διεύθυνσης ΔΒΔ-ΑΝΑ ($B80^{\circ}\Delta$) και κλίσης $75-80^{\circ}$ προς Β, η οποία για μήκος 36 τουλάχιστον χιλιομέτρων αποτελεί το κρασπεδικό όριο μεταξύ αλπικών και μεταλπικών σχηματισμών, στο βόρειο τμήμα του όρους. Η ζώνη αυτή θεωρείται ως ενεργή, αφού έχει επηρεάσει όλους τους μεταλπικούς σχηματισμούς του ανώτερου Πλειόκαινου-Ανώτερου Πλειστόκαινου, σε ορισμένες δε θέσεις φαίνεται να

έχει επηρεάσει και τις αποθέσεις αναβαθμίδων, καθώς και τα πλευρικά κορήματα.

Ομάδα 2: Η ομάδα 2 αντιπροσωπεύει ρήγματα με στοιχεία $110-130^{\circ}/60-80^{\circ}$ και $290-310^{\circ}/60-80^{\circ}$. Πρόκειται για κανονικά έως και πλαγιοκανονικά ρήγματα με αριστερόστροφο ή δεξιόστροφο χαρακτήρα.



Εικόνα 4.14: Κατοπτρική επιφάνεια της Ρηξιγενούς ζώνης του Καλλιδρόμου.

Ομάδα 3: Η ομάδα 3 αντιπροσωπεύει ρήγματα με στοιχεία $030-050^{\circ}/60-75^{\circ}$ και $210-230^{\circ}/60-75^{\circ}$. Πρόκειται για κανονικά έως και πλαγιοκανονικά ρήγματα με αριστερόστροφο ή δεξιόστροφο χαρακτήρα.

Ομάδα 4: Η ομάδα αυτή αντιπροσωπεύει ρήγματα με στοιχεία $080-100^{\circ}/70-75^{\circ}$ και $260-280^{\circ}/70-75^{\circ}$. Πρόκειται για ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης.

Όλα τα τεκτονικά στοιχεία από την περιοχή του Καλλιδρόμου συμπερασματικά παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.2**.

Πίνακας 4.2: Τεκτονικά στοιχεία των υπερβασικών πετρωμάτων του Καλλιδρόμου.

	Σχιστώδεις Σερπεντινίτες	Σερπεντινίτες	Σερπεντινωμένοι Περιδοτίτες-Περιδοτίτες
Διεύθυνση και κλίση			$015^{\circ}/40^{\circ}$
	$020^{\circ}/40^{\circ}$	$020^{\circ}/45^{\circ}$	$195^{\circ}/40^{\circ}$
	$195^{\circ}/40^{\circ}$	$195^{\circ}/40^{\circ}$	$095^{\circ}/45^{\circ}$
			$275^{\circ}/45^{\circ}$
Ζώνη διάτμησης	$020^{\circ}/45^{\circ}$	$020^{\circ}/45^{\circ}$	$015^{\circ}/40^{\circ}$
	$195^{\circ}/40^{\circ}$	$195^{\circ}/40^{\circ}$	$195^{\circ}/40^{\circ}$

4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ-ΓΕΩΛΟΓΙΑ-ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

	Σχιστώδεις Σερπεντινίτες	Σερπεντινίτες	Σερπεντινωμένοι Περιδοτίτες-Περιδοτίτες
			120°/45° 300°/45°
Εσωτερικές τεκτονικές ασυνέχειες (επιπέδους- επωθήσεις)	020°/40° 195°/40°	020°/45° 195°/40°	015°/40° 195°/40° 095°/45° 275°/45°
Διακλάσεις	-	-	030°/60-80° 210°/60-70° 070°/45-60° 250°/45-60° 130°/60-70° 310°/70-80° 170°/60-70° 350°/60-70°
Ρήγματα	350-020°/60-80° 170-200°/60-80° 110-130°/ 60-80° 290-310°/60-80° 030-050°/60-75° 210-230°/60-75° 080-100°/70-75° 260-280°/70-75°	350-020°/60-80° 170-200°/60-80° 110-130°/ 60-80° 290-310°/60-80° 030-050°/60-75° 210-230°/60-75° 080-100°/70-75° 260-280°/70-75°	350-020°/60-80° 170-200°/60-80° 110-130°/ 60-80° 290-310°/60-80° 030-050°/60-75° 210-230°/60-75° 080-100°/70-75° 260-280°/70-75°

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

5.1 Μεθοδολογία δειγματοληψίας-επιλογή και διαμόρφωση των κατάλληλων δοκιμών

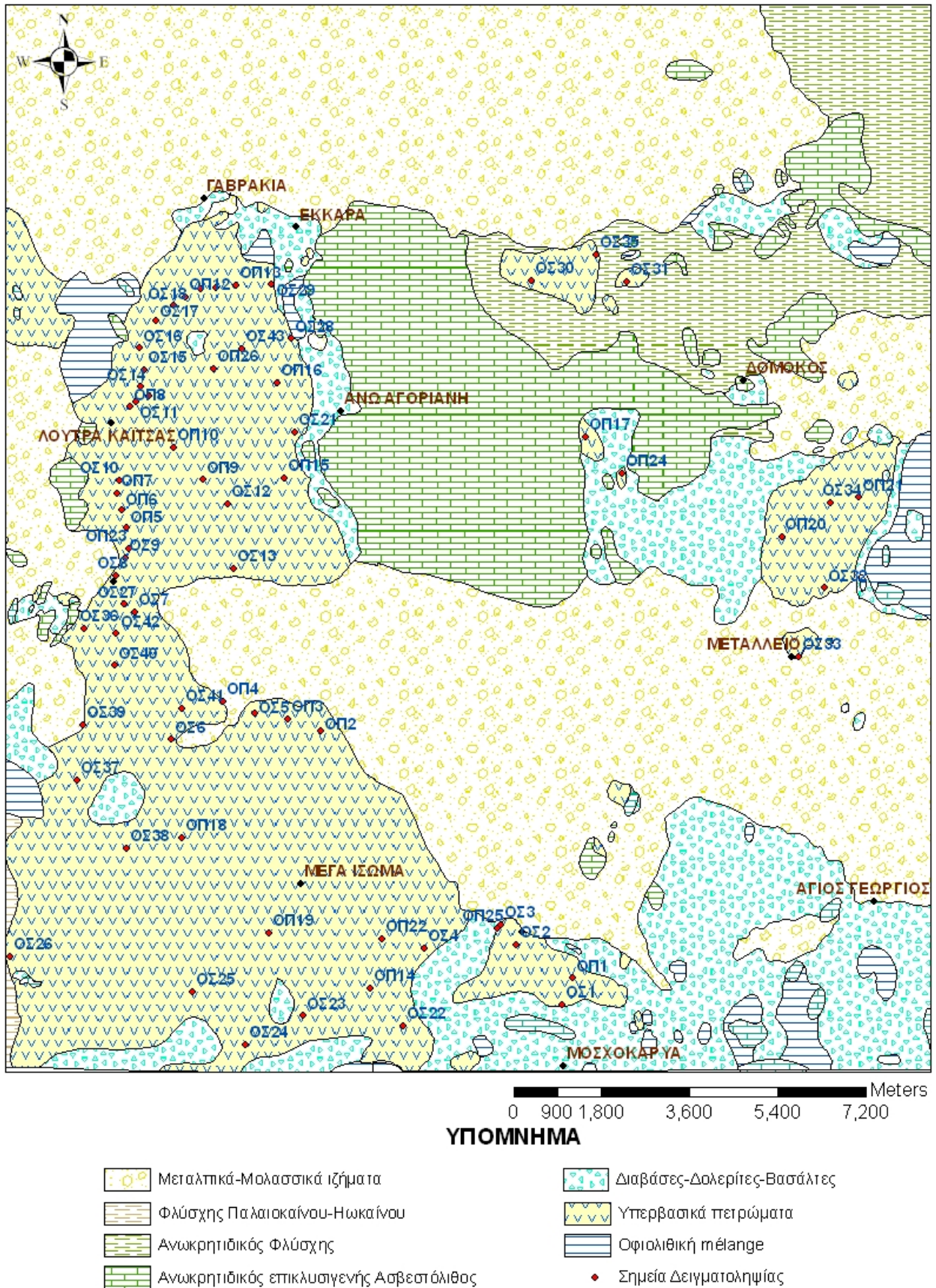
Πριν περιγράψουμε τις εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, κρίνεται σκόπιμο να παρατεθούν στοιχεία για τη λήψη των δειγμάτων, την επιλογή και τη διαμόρφωση των κατάλληλων δοκιμών. Η δειγματοληψία έγινε από επιφανειακές εμφανίσεις των υπερβασικών πετρωμάτων των ορεινών όγκων του Καλλιδρόμου και της δυτικής Όθρυος, γεγονός που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και πείρα, αφού τα δείγματα πρέπει: α) να είναι αναλλοίωτα, β) να μην παρουσιάζουν ασυνέχειες πριν και κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας (τουλάχιστον εμφανείς δια γυμνού οφθαλμού), γ) να είναι ομοιογενή και ισότροπα (στο βαθμό που αυτό μπορεί να γίνει) και δ) να είναι κατά το δυνατό αντιπροσωπευτικότερα της μάζας από την οποία προέρχονται. Στην παρούσα εργασία, επειδή μας ενδιαφέρει να εξετάσουμε εκτός των άλλων παραμέτρων και την επιρροή της σερπεντινίωσης στα φυσικά, δυναμικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των υπερβασικών πετρωμάτων, εκτός από τους υγιείς περιδοτίτες (σερπεντινίωση μικρότερη από 30%), συλλέξαμε και δείγματα που είχαν υποστεί σερπεντινίωση (σαν τη μόνη εξαλλοίωση).

Για να επιτευχθούν οι παραπάνω απαιτήσεις και να ξεπεραστούν τα τυχόν προβλήματα, επιφανειακοί όγκοι (δείγματα-block samples), διαστάσεων τουλάχιστον 30x30cm, υπερβασικών πετρωμάτων, από διάφορες θέσεις των περιοχών Καλλιδρόμου και δυτικής Όθρυος, ελήφθησαν υπό την επίβλεψη των Καθηγητών του ΓΠΑ, Γ. Μιγκίρου και Ε. Γκάρτζου. Έχοντας ως στόχο την όσο δυνατόν καλύτερη αντιπροσωπευτικότητα των δειγμάτων σε σχέση με το σύνολο της βραχομάζας από την οποία προέρχονται, όπου κρίθηκε σκόπιμο-όπου δηλαδή η εμφάνιση των εν λόγω πετρωμάτων παρουσίαζε σημαντική διαφοροποίηση σε όλη της την έκταση-ελήφθησαν περισσότερα από ένα δείγμα. Για λόγους ισοτροπίας και ομοιογένειας, από τους παραπάνω όγκους επιλέχθηκαν για να γίνουν δοκιμές, μόνο σερπεντινίτες και περιδοτίτες (αρχικά με μακροσκοπική εξέταση). Οι σερπεντινωμένοι περιδοτίτες (των οποίων η σερπεντινίωση κυμαίνεται από 30 έως

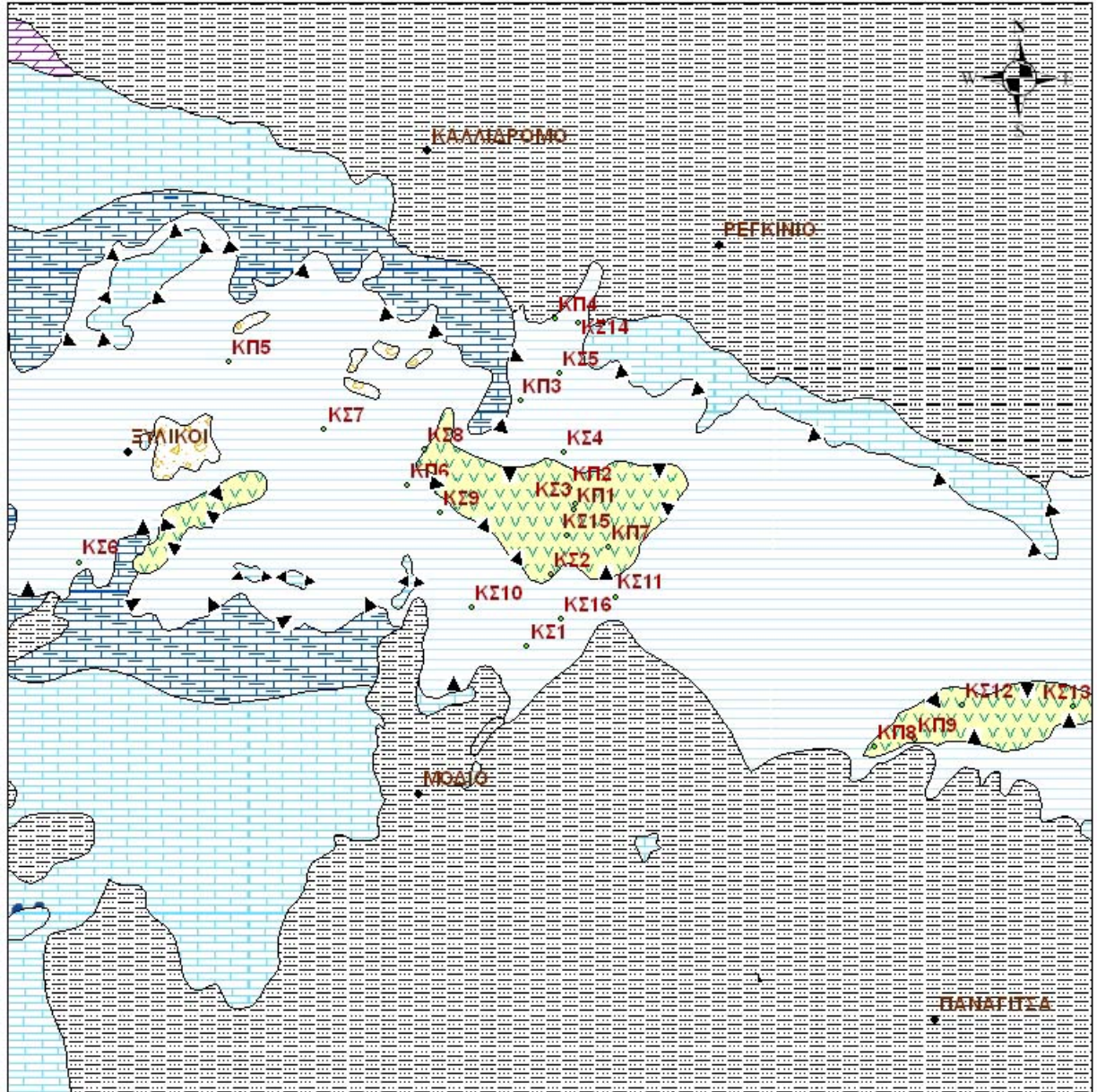
70% περίπου) θεωρούνται ανομοιογενή και ανισότροπα πετρώματα (DIAMANTIS et al., 2007), αφού παρουσιάζουν μεγάλο εύρος σερπεντινίωσης και χωρίς ομοιογενή κατανομή. Οι σχιστώδεις σερπεντινίτες θεωρούνται και αυτοί με τη σειρά τους ανισότροπα πετρώματα λόγω της σχιστότητας που παρουσιάζουν. Για τους λόγους αυτούς τα παραπάνω πετρώματα θεωρήθηκαν ακατάλληλα για να πραγματοποιηθούν δοκιμές και απορρίφθηκαν.

Στους χάρτες των **Εικόνων 5.1** και **5.2** παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης και απεικονίζονται οι 94 θέσεις δειγματοληψίας. Από την περιοχή της δυτικής Όθρυος ελήφθησαν, με μακροσκοπικά κριτήρια, δείγματα από 69 (43 σερπεντινίτες και 26 περιδοτίτες) θέσεις, ενώ από την περιοχή του Καλλιδρόμου 25 (16 σερπεντινίτες και 9 περιδοτίτες). Το γεγονός ότι ελήφθησαν περισσότερα δείγματα από την περιοχή της δυτικής Όθρυος σε σχέση με την περιοχή του Καλλιδρόμου, οφείλεται καθαρά στο γεγονός της διαφοράς στην έκταση και στη διασπορά των μελετηθέντων πετρωμάτων μεταξύ των δυο περιοχών. Το ότι τα περισσότερα δείγματα ήταν σερπεντινίτες, αυτό οφείλεται στο ότι στις δυο αυτές περιοχές είναι δυσκολότερο να εντοπίσουμε σχεδόν υγιείς περιδοτίτες-περιδοτίτες (<30% σερπεντινίωση) σε σχέση με τους σερπεντινίτες (>70% σερπεντινίωση) που πλειοψηφούν, αλλά και στο μεγαλύτερο βαθμό ανισοτροπίας που παρουσιάζουν οι περιδοτίτες (οι ανισότροποι απορρίφθηκαν) σε σχέση με τους σερπεντινίτες.

Στον **Πινάκα 5.1** παρουσιάζονται οι κωδικοί των θέσεων δειγματοληψίας, οι ακριβείς συντεταγμένες των θέσεων στο σύστημα προβολής ΕΓΣΑ '87, ο λιθολογικός τύπος και η περιοχή δειγματοληψίας. Ο κωδικός της κάθε θέσης δειγματοληψίας αποτελείται από δυο κεφαλαία γράμματα και από έναν αριθμό. Το πρώτο γράμμα περιγράφει αν το δείγμα είναι από την περιοχή της δυτικής Όθρυος (Ο) ή του Καλλιδρόμου (Κ), το δεύτερο γράμμα δηλώνει αν πρόκειται για σερπεντινίτη (Σ) ή περιδοτίτη (Π), ενώ ο αριθμός προκύπτει από τον αύξων αριθμό των θέσεων δειγματοληψίας.



Εικόνα 5.1: Η περιοχή μελέτης στη δυτική Θωρη και οι θέσεις δειγματοληψίας.



0 550 1,100 2,200 3,300 4,400 Meters

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- | | |
|--|-------------------------------------|
| Μεταλλικά ιζήματα | Βώξιτες κατώτερου ορίζοντα |
| Μολασσικές αποθέσεις | Ασβεστόλιθοι (Κάτω-Μέσο Ιουρασικοί) |
| Οφιολιθικό κάλυμμα (κυρίως υπερβασικά πετρώματα) | Δολομίτες (Τριαδικό-Ιουρασικοί) |
| Οφιολιθική μέλανγκε | Σημεία Δειγματοληψίας |
| Ασβεστόλιθοι (Άνω Ιουρασικοί) | Επωθήσεις |

Εικόνα 5.2: Η περιοχή μελέτης στο Καλιδρόμο και οι θέσεις δειγματοληψίας.

Πίνακας 5.1: Καταγραφή των ενενήντα τεσσάρων (94) θέσεων δειγματοληψίας. Δίνεται ο κωδικός και οι συντεταγμένες X και Y της κάθε θέσης δειγματοληψίας,, ο λιθολογικός τύπος του πετρώματος και η περιοχή από την οποία συλλέχτηκαν τα δείγματα.

Κωδικός Θέσεως	Συντεταγμένες X (ΕΓΣΑ '87)	Συντεταγμένες Y (ΕΓΣΑ '87)	Λιθολογικός Τύπος	Περιοχή
ΚΠ01	385976	4283099	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΠ02	385918	4283352	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΠ03	385354	4284358	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΠ04	385758	4285290	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΠ05	382011	4284799	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΠ06	384056	4283382	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΠ07	386375	4282675	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΠ08	389421	4280370	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΠ09	389896	4280456	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΣ01	385435	4281527	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΣ02	385709	4282357	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΣ03	385986	4283163	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΣ04	385858	4283766	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΣ05	385806	4284672	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΣ06	380290	4282496	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΣ07	383105	4284025	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΣ08	384248	4283795	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΣ09	384432	4283064	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΣ10	384799	4281974	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΣ11	386446	4282099	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΣ12	390430	4280852	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΣ13	391716	4280829	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΣ14	386017	4285253	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΣ15	385895	4282797	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΚΣ16	385821	4281841	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΑΛΛΙΔΡΟΜΟ
ΟΠ01	349696	4319768	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ02	344537	4324824	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ03	343864	4325080	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ04	342547	4325433	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ05	340579	4328994	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ06	340472	4329356	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ07	340373	4329696	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ08	340654	4331465	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ09	342143	4329975	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ10	341538	4330640	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ11	341037	4331689	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ12	341773	4333724	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ13	342808	4333966	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ14	345569	4319563	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ15	343813	4330014	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ16	343667	4331958	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ17	349970	4330854	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ

5. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Κωδικός Θέσεως	Συντεταγμένες Χ (ΕΓΣΑ '87)	Συντεταγμένες Υ (ΕΓΣΑ '87)	Λιθολογικός Τύπος	Περιοχή
ΟΠ18	341704	4322637	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ19	343482	4320694	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ20	353972	4328810	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ21	355557	4329612	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ22	345807	4320576	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ23	340629	4328560	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ24	350715	4330104	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ25	348151	4320788	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΠ26	342350	4332243	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ01	349473	4319221	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ02	348539	4320458	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ03	348232	4320870	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ04	346668	4320387	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ05	343204	4325183	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ06	341485	4324653	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ07	340740	4327268	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ08	340364	4328014	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ09	340548	4328377	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ10	340436	4329956	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ11	340768	4331566	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ12	342636	4329488	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ13	342766	4328164	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ14	340872	4331877	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ15	340937	4332227	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ16	340842	4332673	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ17	341180	4333245	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ18	341539	4333537	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ19	342085	4333881	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ20	342409	4333900	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ21	344025	4330952	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ22	346240	4318800	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ23	344184	4319002	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ24	343004	4318403	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ25	341913	4319497	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ26	338197	4320207	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ27	340530	4327426	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ28	344526	4324657	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ29	343250	4325245	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ30	340745	4327276	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ31	344056	4329880	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ32	343548	4333983	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ33	350170	4334586	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ34	350151	4328595	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ35	355053	4327637	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ36	354958	4329506	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ

Κωδικός Θέσεως	Συντεταγμένες Χ (ΕΓΣΑ '87)	Συντεταγμένες Υ (ΕΓΣΑ '87)	Λιθολογικός Τύπος	Περιοχή
ΟΣ37	339561	4323834	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ38	340576	4322431	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ39	339686	4324960	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ40	340326	4326174	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ41	341720	4325287	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ42	340372	4326821	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ
ΟΣ43	342925	4332667	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΟΘΡΥΣ

Από κάθε όγκο που μεταφέρθηκε στο εργαστήριο (ΚΕΔΕ/ΓΓΔΕ/ΥΠΕΧΩΔΕ), διαμορφώθηκαν κυλινδρικά δοκίμια (διαφόρων διαμέτρων από 5.37 έως 5.45cm) για τον εργαστηριακό προσδιορισμό των φυσικών, δυναμικών και μηχανικών παραμέτρων του βραχώδους υλικού. Τα δοκίμια αυτά ελήφθησαν με εργαστηριακό αδαμαντοτρύπανο (απλό πυρηνολήπτη), εφοδιασμένο με ειδικό κοπτικό άκρο λεπτού τοιχώματος με διαμάντια για οικονομία υλικού (**Εικ. 5.3**).



Εικόνα 5.3: Εργαστηριακός πυρηνολήπτης για τη διαμόρφωση κυλινδρικών δοκιμίων πετρώματος (ΚΕΔΕ).

Τα δοκίμια μορφής πυρήνα, που προέκυψαν από τη διάτρηση ελέγχθηκαν μακροσκοπικά και επιλέχθηκαν αυτά που χαρακτηρίζονται ως ακέραια, ομοιογενή και ισότροπα, αυτά δηλαδή που όπως προαναφέραμε δεν παρουσίαζαν ασυνέχειες, αποσάθρωση και εξαλλοιώσεις (εξαίρεση στην παρούσα διατριβή η σερπεντινίωση) εμφανείς δια γυμνού οφθαλμού (Κεφάλαιο 2). Το 66% των δοκιμίων (391), που

προέκυψαν από τη διάτρηση, θεωρήθηκαν κατάλληλα για να πραγματοποιηθούν εργαστηριακές δοκιμές. Γενικά τα υπερβασικά ανήκουν στην κατηγορία των πετρωμάτων, που η προετοιμασία κατάλληλων δοκιμίων για την πραγματοποίηση εργαστηριακών δοκιμών θεωρείται δύσκολη.

Η αξιολόγηση των δοκιμίων σχετικά με το αν πληρούν τις παραπάνω προϋποθέσεις, πραγματοποιήθηκε και μετά την εκτέλεση των δοκιμών, ιδιαίτερα στα δοκίμια που παρουσίασαν τις χαμηλότερες δυναμικές και μηχανικές ιδιότητες καθώς και σε εκείνα που οι τιμές τους ήρθαν σε αντίθεση με τις αναμενόμενες από τη διεθνή βιβλιογραφία (Κεφάλαιο 3). Έτσι, έγινε προσπάθεια να εξαιρεθούν οι περισσότεροι παράγοντες που είναι δυνατόν να προκαλέσουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στις ενόργανες μετρήσεις.

Μετά τη διαμόρφωση και τον έλεγχο, τα δοκίμια κόπηκαν με αδαμαντοτροχό (**Εικ. 5.4**) σε κατάλληλα μήκη, ανάλογα με το είδος της προβλεπόμενης εργαστηριακής δοκιμής (επιθυμητός λόγος μήκους προς διάμετρο δοκιμίου) και οι κυλινδρικές τους επιφάνειες λειάνθηκαν προσεχτικά σε ειδικό δίσκο λείανσης (**Εικ. 5.5**). Σε ένα ιδανικά διαμορφωμένο δοκίμιο, οι βάσεις πρέπει να είναι τελείως παράλληλες μεταξύ τους και κάθετες προς το μεγάλο άξονα του δοκιμίου. Στη συνέχεια δόθηκαν κωδικοί στα δοκίμια. Αυτοί προκύπτουν ουσιαστικά αν στους κωδικούς των θέσεων, από τις οποίες προήλθαν, προστεθεί ένα κεφαλαίο γράμμα του ελληνικού αλφάβητου (π.χ. ΟΣ1Α).



Εικόνα 5.4: Αδαμαντοτροχός για κόψιμο δοκιμίων (ΚΕΔΕ).



Εικόνα 5.5: Ειδικός δίσκος λείανσης πετρωμάτων (KELE).

5.2 Μεθοδολογία εκτέλεσης εργαστηριακών δοκιμών

Μετά την επιλογή και τη διαμόρφωση των κατάλληλων δοκιμών ακολούθησε στο εργαστήριο η εκτέλεση των εργαστηριακών δοκιμών. Με γνώμονα την οικονομία υλικού, πραγματοποιήθηκαν πρώτα, σε όλα τα δοκίμια, οι μη καταστροφικές δοκιμές, δηλαδή εκείνες οι εργαστηριακές δοκιμές που μετά το πέρας τους, το δοκίμιο παραμένει ακέραιο. Τέτοιες είναι όλες οι δοκιμές προσδιορισμού των φυσικών και δυναμικών παραμέτρων του βραχώδους υλικού με εξαίρεση τη δοκιμή χαλάρωσης (slake durability test) που είναι καταστροφική δοκιμή, αλλά δεν εκτελέστηκε στα πλαίσια της διδακτορικής αυτής διατριβής. Η δοκιμή χαλάρωσης συνίσταται μόνο σε αργιλικής σύστασης πετρώματα.

Οι ιδιότητες του ακέραίου πετρώματος που προσδιορίζονται με την εκτέλεση των εργαστηριακών δοκιμών, σχετίζονται άμεσα με τις συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιείται η εκάστοτε εργαστηριακή δοκιμή. Για το λόγο αυτό έχουν προταθεί διάφορα πρότυπα-προδιαγραφές:

- ASTM (American Society for Testing and Materials).
- ISRM (International Society for Rock Mechanics).
- BS (British Standards - Βρετανικά Πρότυπα).
- ΥΠΕΧΩΔΕ (E103-84): Ελληνικές προδιαγραφές του ΥΠΕΧΩΔΕ που αποτελούν την ελληνική απόδοση των διεθνών.

Οι εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της τρέχουσας διατριβής, οι προδιαγραφές από τις οποίες καθορίζονται καθώς και ο τόπος διεξαγωγής τους, παρατίθενται στον **Πίνακα 5.2**. Στη συνέχεια περιγράφονται όλες οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν, χωρίς να γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στον τρόπο εκτέλεσης τους, αφού αυτός περιγράφεται αναλυτικά στις προδιαγραφές τους. Αλλά, παρουσιάζονται κάποια βασικά στοιχεία των δοκιμών και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού ο οποίος χρησιμοποιήθηκε.

5.2.1 Προσδιορισμός φυσικών παραμέτρων

Ο προσδιορισμός όλων των φυσικών χαρακτηριστικών πραγματοποιήθηκε με δυο τρόπους-μεθόδους: α) με τη χρήση μικρομέτρου και συσκευής κενού (για λόγους ευκολίας από εδώ και στο εξής θα την αποκαλούμε «μέθοδο μικρομέτρου») και β) με τη μέθοδο της άνωσης και τη χρήση συσκευής κενού (για λόγους ευκολίας από εδώ και στο εξής θα την αποκαλούμε «μέθοδο άνωσης»). Είναι ευρέως γνωστό και απόλυτα λογικό πως οι όγκοι των δοκιμίων που προσδιορίζονται με τη μέθοδο του μικρομέτρου είναι μεγαλύτεροι των πραγματικών, ενώ αυτοί που υπολογίζονται με τη μέθοδο της άνωσης είναι οι πραγματικοί. Αυτό οφείλεται σε πιθανή απώλεια υλικού, η οποία δεν μπορεί να ληφθεί υπόψη με τη μέθοδο του μικρομέτρου. Επομένως, η μέθοδος της άνωσης δίνει μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα. Από την άλλη πλευρά η μέθοδος του μικρομέτρου είναι πιο εύκολα πραγματοποιήσιμη.

Πίνακας 5.2. Εργαστηριακές δοκιμές βραχομηχανικής, οι προδιαγραφές τους και τα εργαστήρια στα οποία πραγματοποιήθηκαν.

Εργαστηριακές δοκιμές	Προδιαγραφές	Εργαστήριο πραγματοποίησης
Προσδιορισμός πορώδους, λόγου κενών, φαινόμενου βάρους, απορρόφησης σε δείγματα βραχώδους υλικού με τη χρήση μικρομέτρου και συσκευής κενού.	ISRM, 1981; E 103-84 (2)	ΚΕΔΕ
Προσδιορισμός πορώδους, λόγου κενών, φαινόμενου βάρους, απορρόφησης σε δείγματα βραχώδους υλικού με τη μέθοδο της άνωσης και τη χρήση συσκευής κενού.	ISRM, 1981; E 103-84 (3)	ΚΕΔΕ
Προσδιορισμός ταχύτητας διάδοσης υπερήχων κυμάτων διαμέσου βραχωδών δειγμάτων.	ASTM, 1983	ΚΕΔΕ
Προσδιορισμός σκληρότητας βραχώδους υλικού με τη χρήση σφυριού Schmidt.	ISRM, 1981; E 103-84 (7)	ΚΕΔΕ

Εργαστηριακές δοκιμές	Προδιαγραφές	Εργαστήριο πραγματοποίησης
Προσδιορισμός της αντοχής σε μοναξονική θλίψη με σύγχρονο προσδιορισμό της παραμορφωσιμότητας του βραχώδους υλικού.	ASTM, 1986a; 1986b, 2001; E 103-84 (4)	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ (ΓΠΑ)
Προσδιορισμός της αντοχής σε σημειακή φόρτιση βραχώδους δοκιμίου.	ISRM, 1985; E 103-84 (5)	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ (ΓΠΑ)
Έμμεσος προσδιορισμός της αντοχής σε εφελκυσμό βραχώδους υλικού-θλίψη κατά γενέτειρα (Brazilian test).	ASTM, 1995a	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ (ΓΠΑ)
Προσδιορισμός της αντοχής βραχώδους δοκιμίου σε τριαξονική θλίψη.	ISRM, 1981; E 103-84 (6)	ΚΕΔΕ

Με τη μέθοδο του μικρομέτρου προσδιορίζονται το φαινόμενο βάρος (γ_m), το ενεργό πορώδες (n_{em}), ο λόγος των κενών (e_m) και η απορροφητικότητα (W_{am}) σε δοκίμια πετρώματος κανονικού γεωμετρικού σχήματος. Η εκτέλεση της έγινε σύμφωνα με την ISRM (1981) και την E 103-84 (2). Τα δείγματα μορφώθηκαν όπως προείπαμε σε κυλινδρικά δοκίμια, η μάζα των οποίων είναι τουλάχιστον 50gr και η ελάχιστη διάσταση τους τουλάχιστον 10 φορές το μέγεθος του μέγιστου κόκκου. Οι διαστάσεις τους μετρήθηκαν με μικρόμετρο με ακρίβεια 0.1mm και υπολογίστηκε ο όγκος. Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε συσκευή δημιουργίας κενού 800Pa (**Εικ. 5.6**) για μια ώρα βυθισμένα στο νερό, ώστε να υποστούν κορεσμό. Στη συνέχεια σκουπίστηκαν, μετρήθηκε η μάζα τους (M_{sat}) σε ζυγό με ακρίβεια 0.01% και ξηράθηκαν σε φούρνο σταθερής θερμοκρασίας $105 \pm 5^\circ C$ για 24 ώρες. Τέλος, τα δείγματα ξαναζυγίστηκαν (M_s). Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο ΚΕΔΕ χρησιμοποιώντας εξοπλισμό που πληρεί όλες τις προδιαγραφές της ISRM.

Με τη μέθοδο της άνωσης προσδιορίζεται το ενεργό πορώδες (n_{es}), ο λόγος των κενών (e_s), το φαινόμενο βάρος (γ_s) και η απορροφητικότητα (W_{as}) σε δοκίμια πετρώματος που μπορεί να είναι ακανόνιστου σχήματος. Η εκτέλεση της έγινε σύμφωνα με την ISRM (1981) και την E 103-84 (3). Τα δείγματα ζυγίστηκαν και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στη συσκευή κενού 800Pa (**Εικ. 5.6**) για μια ώρα βυθισμένα στο νερό, ώστε να υποστούν κορεσμό. Μετά την απομάκρυνση των δειγμάτων από τη συσκευή κενού, μεταφέρθηκαν σε συρμάτινο καλάθι και βυθίστηκαν στο νερό. Προσδιορίστηκε έτσι η μάζα του βυθισμένου δείγματος M_{sub} με ακρίβεια 0.01%. Στη συνέχεια σκουπίστηκαν, μετρήθηκε η μάζα τους (M_{sat}) σε ζυγό με ακρίβεια 0.01% και ξηράθηκαν σε φούρνο σταθερής θερμοκρασίας $105 \pm 5^\circ C$ για 24 ώρες. Τέλος, τα δείγματα

ξαναζυγίστηκαν (M_s). Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο ΚΕΔΕ χρησιμοποιώντας εξοπλισμό (Εικ. 5.6) που πληρεί όλες τις προδιαγραφές της ISRM.



Εικόνα 5.6: Συσκευή δημιουργίας κενού 800Pa.

5.2.2 Προσδιορισμός δυναμικών παραμέτρων

Η δοκιμή αυτή έχει ως στόχο τον προσδιορισμό των ταχυτήτων V_p και V_s των κυμάτων (επιμηκών και εγκάρσιων αντιστοίχως) των υπερήχων, που διαπερνούν το ακέραιο πέτρωμα και μέσα από τις τιμές τους, είναι δυνατή η εκτίμηση των δυναμικών παραμέτρων, όπως τα μέτρα ελαστικότητας (E_{ds} : με τη μέθοδο της άνωσης, E_{dm} : με τη μέθοδο του μικρομέτρου), ο λόγος Poisson (ν_d) και τα μέτρα διάτμησης (G_{ds} : με τη μέθοδο της άνωσης, G_{dm} : με τη μέθοδο του μικρομέτρου). Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο ΚΕΔΕ χρησιμοποιώντας εξοπλισμό (Εικ. 5.7) που πληρεί τις προδιαγραφές της ASTM (1983). Το σύστημα παραγωγής κυμάτων υπερήχων παρουσιάζει συχνότητα (περίπου 50kHz) και έχει δύο πιεζοηλεκτρικούς μετατροπείς που τοποθετούνται σε επαφή με τις δυο βάσεις του κυλινδρικού δοκιμίου, για την εκπομπή και τη λήψη των κυμάτων αντίστοιχα (Εικ. 5.7). Αρχικά μετριοούνται οι χρόνοι άφιξης των κυμάτων T_p και T_s και μέσω του ύψους των δοκιμίων υπολογίζονται οι ταχύτητες των επιμηκών και των εγκάρσιων κυμάτων.

5.2.3 Προσδιορισμός παραμέτρων αντοχής

5.2.3.1 Προσδιορισμός σκληρότητας με τη χρήση σφυριού Schmidt

Η δοκιμή αυτή έχει ως στόχο τον καθορισμό της σκληρότητας του ακέραιου πετρώματος και εν τέλει τον προσδιορισμό με έμμεσο τρόπο της αντοχής σε μοναξονική θλίψη. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο ΚΕΔΕ χρησιμοποιώντας σφυρί αναπήδησης



Εικόνα 5.7: Πλήρες σύστημα μέτρησης ταχύτητας υπερήχων σε βραχύδη δοκίμια.

Schmidt τύπου L (**Εικ. 5.8**) με ενέργεια κρούσης 0.74N, για τη μέτρηση της σκληρότητας του δοκιμίου και χαλύβδινη βάση διατομής V και μάζας μεγαλύτερης των 20kg, για τη συγκράτηση του δείγματος (**Εικ. 5.8**). Τα εξεταζόμενα δοκίμια προετοιμάστηκαν με βάση τις προδιαγραφές της ISRM (1981) και της E 103-84 (7). Σε κάθε δοκίμιο λάβαμε 20 μετρήσεις αναπήδησης από τις οποίες οι 10 με τις μικρότερες τιμές απορρίφθηκαν και από τις υπόλοιπες 10 λάβαμε το μέσο αριθμό των κρούσεων (SHV). Το σφυρί χρησιμοποιήθηκε σε κατακόρυφη θέση με το έμβολο προς τα κάτω και κάθε κρούση που επέφερε θραύση απορρίφθηκε.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής (οι μέσοι όροι) χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση των πετρωμάτων με βάση τον **Πίνακα 2.4**. Σε συνδυασμό με την ξηρή πυκνότητα μπορούν να δώσουν έμμεσα την αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη με τη βοήθεια του σχήματος (**Εικ. 2.3**).

5.2.3.2 Προσδιορισμός της αντοχής σε σημειακή φόρτιση (Point Load Test)

Η δοκιμή σημειακής φόρτισης είναι μια απλή δοκιμή που έχει ως σκοπό την ταξινόμηση του ακέραίου πετρώματος από πλευράς αντοχής, καθώς επίσης και τον έμμεσο προσδιορισμό της αντοχής σε μοναξονική θλίψη. Χρησιμοποιείται κυρίως στις περιπτώσεις πρόδρομων γεωτεχνικών ερευνών, όπου, κύριο μέλημα του ερευνητή είναι η κατ' αρχάς κατάταξη των πετρωμάτων της περιοχής ενδιαφέροντος και ο προσδιορισμός των θέσεων όπου θα πραγματοποιηθούν οι ερευνητικές γεωτρήσεις.



Εικόνα 5.8: Εκτέλεση δοκιμής σκληρότητας πετρώματος με το σφυρί Schmidt στο εργαστήριο.

Η μέθοδος του προσδιορισμού της αντοχής σε σημειακή φόρτιση (PLT) προτάθηκε αρχικά από τον PROTODYAKONOV (1963) και αφορούσε κυρίως τον προσδιορισμό του δείκτη αντοχής του πετρώματος σε ακανόνιστα δοκίμια. Αργότερα, οι BROCH & FRANKLIN (1972) πρότειναν τη χρήση της μεθόδου σε κυλινδρικά δοκίμια. Η δοκιμή πραγματοποιείται συνήθως στο εργαστήριο αλλά και επιτόπου του έργου, λόγω της σχετικά εύκολης μεταφοράς της ειδικής συσκευής που χρησιμοποιείται. Η αντοχή του πετρώματος μετριέται με την εφαρμογή μιας αντιδιαμετρικά ασκούμενης δύναμης από τα δυο κωνικά άκρα της ειδικής συσκευής και προσδιορίζεται ο δείκτης σημειακής φόρτισης.

Στα πλαίσια τις παρούσας διατριβής οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας και Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών από τη συσκευή AG-34 σημειακής φορτίσεως (Εικ. 5.9) που πληρεί όλες τις προϋποθέσεις της ISRM (1985) και της Ε 103-84 (5).

Για την εκτέλεση της δοκιμής χρησιμοποιούνται συνήθως κυλινδρικά δοκίμια του πετρώματος για διαμετρική ή αξονική φόρτιση, αλλά είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και δοκίμια σε μορφή κύβου ή ακόμα και σε ακανόνιστη μορφή (στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν μόνο κυλινδρικά δοκίμια). Βασική προϋπόθεση για την δοκιμή κάποιου συγκεκριμένου είδους (δηλαδή διαμετρική, αξονική ή σε ακανόνιστο δείγμα) είναι η ικανοποίηση των σχέσεων μεταξύ της απόστασης των κωνικών άκρων (D), του μήκους (L) και του πλάτους του δοκίμιου (W), όπως προβλέπεται από τις προδιαγραφές. Η διαμετρική δοκιμή δίνει τα πιο ακριβή αποτελέσματα για το λόγο αυτό σε όλα τα

δοκίμια που εξετάστηκαν για χάρη αυτής της διατριβής, οι δοκιμές ήταν διαμετρικές. Η χρήση μικρών τεμαχίων είναι επιθυμητή όταν το δείγμα μας παρουσιάζει μεγάλες αντοχές. Αντίθετα, μεγαλύτερα τεμάχια είναι επιθυμητά σε πετρώματα με μικρές αντοχές, έτσι ώστε να απαιτηθεί μεγαλύτερη δύναμη και να μπορέσουμε, έτσι να πάρουμε ακριβείς μετρήσεις. Δοκίμια, τα οποία δεν έσπασαν όπως προβλέπεται από τις προδιαγραφές, απερρίφθησαν και τα αποτελέσματά τους δεν ελήφθησαν υπόψη.



Εικόνα 5.9: Συσκευή σημειακής φόρτισης (AG-34).

5.2.3.3 Προσδιορισμός της αντοχής σε ανεμπόδιστη-μοναξονική θλίψη

Η δοκιμή αυτή έχει ως στόχο τον άμεσο και ακριβή προσδιορισμό της αντοχής σε μοναξονική θλίψη (UCS) των δοκιμίων και η εκτέλεση της έγινε σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ASTM (1986a, 2001) και της E 103-84 (4). Τα δείγματα μορφώθηκαν, όπως προαναφέραμε, σε κυλίνδρους και κόπηκαν κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο λόγος του ύψους (H) προς τη διάμετρο (D) να είναι μεταξύ 2.0 και 2.5. Η διάμετρος του δοκιμίου πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 47mm (πράγματι όλα τα δοκίμια μας είχαν διάμετρο μεγαλύτερη των 47mm). Επειδή σε αρκετές περιπτώσεις δεν είναι δυνατή η προσέγγιση του ιδανικού λόγου ύψους προς τη διάμετρο, η ASTM έχει προτείνει ένα συντελεστή διόρθωσης της αντοχής σε σχέση με το λόγο αυτό (στα δείγματα μας δε χρειάστηκε να χρησιμοποιηθεί):

$$\sigma_{cif} = \frac{\sigma_{ci}}{[0.88 + (0.24 \frac{D}{H})]} \quad (5.1)$$

όπου,

σ_{cif} , η διορθωμένη αντοχή σε μονοαξονική θλίψη που ισοδυναμεί σε κυλινδρικό δοκίμιο με λόγο ύψους προς διάμετρο 2,

σ_{ci} , η μετρούμενη αντοχή στο υπό δοκιμή δοκίμιο,

D, η διάμετρος του δοκιμίου και

H, το ύψος του δοκιμίου.

Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας και Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών από μηχανή φορτίσεως (**Εικ. 5.10**) που πληρεί όλες τις προϋποθέσεις της ASTM και του ΥΠΕΧΩΔΕ. Εκτός από την πρέσα, το εργαστήριο διαθέτει για τον καλύτερο και αρτιότερο υπολογισμό της αντοχής δίκαναλο ηλεκτρικό καταγραφέα (ADAMTECH 4019) και H/Y με κατάλληλο λογισμικό, όπου είναι δυνατή η μέτρηση του φορτίου που ασκείται στο δοκίμιο σε όλη τη φάση της δοκιμής όπως και της αξονικής παραμόρφωσης με ηλεκτρονικό μηκυσιόμετρο. (**Εικ. 5.10**) Οι μετρήσεις που λαμβάνονται, καταγράφονται στον υπολογιστή και αποθηκεύονται σε μαγνητικό μέσο. Έτσι, εκτός από την τελική δύναμη, ο χρήστης είναι σε θέση να εκτιμήσει και τη συμπεριφορά του δείγματος κατά τη διάρκεια της δοκιμής, αν δηλαδή το δείγμα παρουσίαζε μικροθραύσεις κατά τη δοκιμή.

5.2.3.4 Προσδιορισμός της αντοχής σε μονοαξονική (ανεμπόδιστη) θλίψη με σύγχρονη μέτρηση και προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας (E_{st}) και του λόγου Poisson (ν_{st})

Η δοκιμή αυτή γίνεται, όπως περιγράφεται ανωτέρω για τον προσδιορισμό της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη, μόνο που κατά τη διάρκεια εκτέλεσής της γίνεται ταυτόχρονη μέτρηση των αξονικών και διαμετρικών (πλευρικών) παραμορφώσεων του δοκιμίου, σύμφωνα με την ASTM (1986b, 2001). Για τη μέτρηση των αξονικών και διαμετρικών (πλευρικών) παραμορφώσεων χρησιμοποιούνται ειδικά συστήματα μέτρησης των παραμορφώσεων του δοκιμίου, τα ηλεκτρικά μηκυσιόμετρα (strain gauges), τα οποία επικολλούνται στο δοκίμιο παράλληλα και κάθετα στον άξονα φόρτισης αντιστοίχως. Από την τάση, την αξονική και διαμετρική παραμόρφωση υπολογίστηκαν το εφαπτομενικό στο 50% στατικό μέτρο ελαστικότητας (E_{st}) και ο στατικός λόγος Poisson (ν_{st}). Το στατικό μέτρο διάτμησης (G_{st}) δίνεται από τον τύπο:

$$G_{st} = \frac{E_{st}}{2(1 + \nu_{st})} \quad (5.2)$$

Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας και Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών από μηχανή φορτίσεως, που πληρεί όλες τις προδιαγραφές της ASTM και συνοδεύεται από δίκαναλο ηλεκτρικό καταγραφέα (ADAMTECH 4019) και Η/Υ με κατάλληλο λογισμικό (Εικ. 5.10).



Εικόνα 5.10: Μηχανή εκτέλεσης δοκιμής ανεμπόδιστης θλίψης και Brazilian, Η/Υ καταγραφής και δίκαναλος ηλεκτρικός καταγραφέας.

5.2.3.5 Έμμεσος προσδιορισμός της αντοχής σε εφελκυσμό του ακέραιου πετρώματος- θλίψη κατά γενέτειρα (Brazilian Test)

Εξ' ορισμού η αντοχή σε εφελκυσμό μετριέται με την άμεση εφελκυστική δοκιμή. Όμως η δοκιμή αυτή είναι δύσκολη και ακριβή για καθημερινή εφαρμογή. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται η δοκιμή έμμεσου εφελκυσμού-θλίψη κατά γενέτειρα (Brazilian Test), η οποία είναι απλούστερη και φτηνότερη. Σε δοκίμιο σχήματος δίσκου, το οποίο πληρεί της προδιαγραφές της ASTM (1995a) ασκείται συμπιεστική τάση κατά την διάμετρο του, η οποία οδηγεί σε σπάσιμο του δοκιμίου, εξαιτίας του εφελκυσμού κατά μήκος της φορτισμένης διαμέτρου.

Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας και Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών από μηχανή φορτίσεως (Εικ. 5.10) που πληρεί όλες τις προϋποθέσεις της ASTM.

Η εφελκυστική αντοχή (σ_t) του δοκιμίου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\sigma_t = 2 * P / (\pi * D * L * 100) \text{ (MPa)} \quad (5.3)$$

όπου,

P, το μέγιστο φορτίο που ασκείται στο δοκίμιο σε N,

D, η διάμετρος του δοκιμίου σε cm,

L, το ύψος/πάχος του δοκιμίου σε cm.

Οι YU, et al. (2006) κάνοντας τρισδιάστατες, FEM (Finite Element Method) αναλύσεις παρατήρησαν πως η αντοχή σε εφελκυσμό ενός δείγματος δεν είναι ομοιόμορφη σε όλο το δείγμα, είναι δηλαδή μεγαλύτερη στην περιφέρεια από ότι στο κέντρο. Επίσης, παρατήρησαν πως όσο μεγαλώνει το δείγμα αυξάνει η εφελκυστική αντοχή, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με την τιμή της εφελκυστικής αντοχής που υπολογίζεται από τη σχέση 5.3. Μετά από αυτή την παρατήρηση κατέληξαν, πως στην περίπτωση που ο λόγος $k=L/D$ είναι μεγαλύτερος από 0.5, η διορθωμένη εφελκυστική αντοχή (σ_{tc}) θα δίνεται από τον τύπο:

$$\sigma_{tc}=(0.2621*k+1)*(2P/\pi*D*L*100) \text{ (MPa)} \quad (5.4)$$

5.2.3.6 Προσδιορισμός της αντοχής σε τριαξονική θλίψη

Η δοκιμή αυτή έχει σαν στόχο τον καθορισμό των παραμέτρων της διατμητικής αντοχής, δηλαδή της γωνίας εσωτερικής τριβής (ϕ_{ci}) και της συνοχής (c_{ci}) του ακέραιου πετρώματος και εν συνεχεία της παραμέτρου m_i . Οι τιμές της αντοχής, όπως προσδιορίζονται με τη μέθοδο αυτή δίνονται σε τιμές ολικών τάσεων καθόσον δεν προβλέπεται η μέτρηση της πίεσης πόρων. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο ΚΕΔΕ από συσκευή φόρτισης για την εφαρμογή, τον έλεγχο και τη μέτρηση του αξονικού φορτίου που εφαρμόζεται στο βραχύδες δοκίμιο και συσκευή εφαρμογής και μέτρησης της πλευρικής πίεσης η οποία περιλάμβανε μια υδραυλική αντλία για την επιβολή σταθερής πλευρικής πίεσης και τη διατήρηση αυτής με απόκλιση όχι μεγαλύτερη του 2% της επιθυμητής τιμής καθώς και μηχανισμό για τη μέτρηση της πλευρικής πίεσης (Εικ. 5.11). Τα δοκίμια, αφού πρώτα περιβληθούν με μια αδιαπέρατη εύκαμπτη μεμβράνη έτσι ώστε το υδραυλικό υγρό να μην εισχωρήσει στο δείγμα, τοποθετούνται σε τριαξονικό κελί ((Εικ. 5.11) (ISRM, 1981 και E 103-84 (6)). Εφαρμόζοντας μια σταθερή πλευρική τάση (σ_3) περιμετρικά γύρω από το κυλινδρικό δοκίμιο και σε όλη την επιφάνεια του, ασκούμε μια συνεχώς αυξανόμενη αξονική τάση (σ_1) μέχρι τη θραύση. Η δοκιμή επαναλαμβάνεται για ακόμα τρία δοκίμια (ίσως και τέσσερα, όπου αυτό ήταν εφικτό) κάτω από διαφορετική κάθε φορά πλευρική πίεση και η οποία σε καμία από τις περιπτώσεις δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 50% της αντοχής του δοκιμίου σε μοναξονική θλίψη (Κεφάλαιο 2). Αφού γνωρίζουμε τις τιμές της πλευρικής τάσης και της μέγιστης αξονικής τάσης που ασκούμε

στο δοκίμιο, μπορούμε να καθορίσουμε τη περιβάλλουσα θραύσης, τις παραμέτρους της διατμητικής αντοχής του βραχώδους υλικού και εν συνεχεία την παράμετρο m_i (Κεφάλαιο 2).

Η σταθερά m_i , προσδιορίστηκε με βάση τα αποτελέσματα των τριαξονικών δοκιμών για κάθε ομάδα δοκιμών με τη χρήση του προγράμματος Roclab. Πρόκειται για ένα λογισμικό, όπως έχουμε προαναφέρει, το οποίο βασίζεται στο γενικευμένο κριτήριο θραύσης των Hoek and Brown.

Κλείνοντας το υποκεφάλαιο 5.2 είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως οι δοκιμές για τον προσδιορισμό των δυναμικών και μηχανικών χαρακτηριστικών πραγματοποιήθηκαν σε ξηρά δείγματα. Επιπλέον, για κάθε μια δοκιμή δημιουργήθηκε στο Microsoft Excel 2003 μια φόρμα (**Παράρτημα Α**) η οποία περιλαμβάνει, ποιός φορέας διενέργησε τη δοκιμή, την ημερομηνία της δοκιμής, την τοποθεσία από την οποία πάρθηκε το δείγμα και από τι βάθος, τον κωδικό του δοκιμίου, την περιγραφή του λιθολογικού τύπου, τα σχήματα θραύσης (στα μηχανικά χαρακτηριστικά), τα δεδομένα και τους τύπους που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και τις παραμέτρους που προσδιορίστηκαν από την κάθε δοκιμή.



Εικόνα 5.11: Πλήρες σύστημα τριαξονικής δοκιμής σε βράχο που αποτελείται από συσκευή αξονικής φόρτισης (πρέσα), σύστημα πλευρικής πίεσης και τριαξονικό κελί υψηλών πιέσεων.

Τέλος, από όσα ελέγχθησαν στο υποκεφάλαιο αυτό, γίνεται αντιληπτό ότι τα αποτελέσματα των φυσικοδυναμικομηχανικών δοκιμών, δεν μπορεί να αποτελέσουν αξιόπιστο στοιχείο, αν δεν αναφέρονται αυστηρά σε ορισμένες συμβατικές συνθήκες δοκιμής και αν η προετοιμασία των δοκιμών δεν είναι πρακτικά τέλεια. Για τον εργαστηριακό προσδιορισμό των φυσικοδυναμικομηχανικών χαρακτηριστικών ενός πετρώματος, δεν αρκεί η δοκιμή ενός μόνου δοκιμίου, αλλά ολόκληρης σειράς δοκιμών. Είναι φανερό ότι, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των δοκιμών, τόσο μεγαλύτερη είναι η προσέγγιση προς την πραγματική τιμή της ιδιότητας του πετρώματος. Τουλάχιστον 10 δοκίμια από κάθε πέτρωμα θα πρέπει να εξεταστούν για να θεωρούνται αξιόπιστα τα αποτελέσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται για κάθε δοκιμή ξεχωριστά οι τιμές που προσδιορίστηκαν στο εργαστήριο και δημιουργούνται τα ιστογράμματα της κατανομής τους. Επίσης, παρατίθενται σε πίνακες η διακύμανση, η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση και το πλήθος των δοκιμών για κάθε χαρακτηριστικό. Τα προγράμματα στατιστικής ανάλυσης, που χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό αυτό, είναι το Microsoft EXCEL Analysis ToolPak Program 2003 και το SPSS 8.0.

6.1 Φυσικά χαρακτηριστικά

6.1.1 Ενεργό πορώδες (n_e)

Το ενεργό πορώδες (n_e) προσδιορίστηκε σε 244 δοκίμια σερπεντινιτών και 147 δοκίμια περιδοτιτών τόσο με τη μέθοδο της άνωσης (n_{es}), όσο και με τη μέθοδο του μικρομέτρου (n_{em}) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον **Πίνακα 6.1**. Η διακύμανση των τιμών του ενεργού πορώδους, η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, αλλά και το πλήθος των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν παρατίθενται στον **Πίνακα 6.2**.

Πίνακας 6.1: Τιμές του ενεργού πορώδους τόσο με τη μέθοδο της άνωσης (n_{es}), όσο και με τη μέθοδο του μικρομέτρου (n_{em}).

Κωδικός Δοκιμίου	n_{es} (%)	n_{em} (%)	Κωδικός Δοκιμίου	n_{es} (%)	n_{em} (%)	Κωδικός Δοκιμίου	n_{es} (%)	n_{em} (%)
ΚΠ01Α	0.25	0.25	ΚΠ04Β	0.17	0.17	ΚΠ06Ε	0.06	0.06
ΚΠ01Β	0.24	0.24	ΚΠ04Γ	0.21	0.21	ΚΠ06Ζ	0.08	0.08
ΚΠ01Γ	0.25	0.24	ΚΠ04Δ	0.18	0.17	ΚΠ06Η	0.07	0.07
ΚΠ01Δ	0.24	0.23	ΚΠ04Ε	0.20	0.19	ΚΠ07Α	0.12	0.11
ΚΠ02Α	0.17	0.17	ΚΠ05Α	0.29	0.28	ΚΠ07Β	0.11	0.11
ΚΠ02Β	0.18	0.17	ΚΠ05Β	0.24	0.23	ΚΠ07Γ	0.11	0.10
ΚΠ02Γ	0.17	0.17	ΚΠ05Γ	0.25	0.25	ΚΠ07Δ	0.10	0.10
ΚΠ03Α	0.27	0.27	ΚΠ05Δ	0.27	0.26	ΚΠ07Ε	0.12	0.12
ΚΠ03Β	0.25	0.24	ΚΠ06Α	0.08	0.08	ΚΠ07Ζ	0.10	0.10
ΚΠ03Γ	0.25	0.25	ΚΠ06Β	0.07	0.07	ΚΠ07Η	0.13	0.13
ΚΠ03Δ	0.26	0.26	ΚΠ06Γ	0.10	0.10	ΚΠ08Α	0.07	0.07
ΚΠ04Α	0.18	0.18	ΚΠ06Δ	0.06	0.06	ΚΠ08Β	0.10	0.09

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ

Κωδικός Δοκιμίου	n _{es} (%)	n _{em} (%)
ΚΠ08Γ	0.09	0.09
ΚΠ08Δ	0.06	0.06
ΚΠ09Α	0.12	0.11
ΚΠ09Β	0.13	0.13
ΚΠ09Γ	0.15	0.14
ΚΠ09Δ	0.13	0.13
ΚΣ01Α	1.41	1.39
ΚΣ01Β	1.38	1.36
ΚΣ01Γ	1.16	1.15
ΚΣ01Δ	1.27	1.26
ΚΣ01Ε	1.47	1.44
ΚΣ02Α	0.71	0.70
ΚΣ02Β	0.70	0.70
ΚΣ02Γ	0.53	0.52
ΚΣ02Δ	0.73	0.72
ΚΣ03Α	2.33	2.30
ΚΣ03Β	2.25	2.23
ΚΣ03Γ	2.38	2.35
ΚΣ03Δ	2.42	2.29
ΚΣ04Α	0.53	0.52
ΚΣ04Β	0.48	0.47
ΚΣ04Γ	0.50	0.50
ΚΣ05Α	4.63	4.59
ΚΣ05Β	3.87	3.82
ΚΣ05Γ	5.21	5.16
ΚΣ05Δ	5.23	5.16
ΚΣ06Α	2.20	2.18
ΚΣ06Β	2.11	2.08
ΚΣ06Γ	2.38	2.35
ΚΣ07Α	0.43	0.43
ΚΣ07Β	0.48	0.48
ΚΣ07Γ	0.47	0.46
ΚΣ08Α	0.49	0.49
ΚΣ08Β	0.59	0.58
ΚΣ08Γ	0.78	0.77
ΚΣ08Δ	0.72	0.71
ΚΣ08Ε	0.63	0.63
ΚΣ08Ζ	0.63	0.62
ΚΣ09Α	2.15	2.13
ΚΣ09Β	2.17	2.15
ΚΣ09Γ	2.27	2.24
ΚΣ09Δ	2.39	2.35
ΚΣ10Α	0.85	0.85
ΚΣ10Β	0.66	0.66
ΚΣ10Γ	0.77	0.76
ΚΣ10Δ	0.70	0.69
ΚΣ10Ε	0.84	0.83
ΚΣ10Ζ	0.67	0.66
ΚΣ11Α	0.39	0.39
ΚΣ11Β	0.38	0.38

Κωδικός Δοκιμίου	n _{es} (%)	n _{em} (%)
ΚΣ11Γ	0.39	0.38
ΚΣ11Δ	0.40	0.39
ΚΣ11Ε	0.43	0.42
ΚΣ11Ζ	0.40	0.40
ΚΣ11Η	0.36	0.36
ΚΣ12Α	0.47	0.46
ΚΣ12Β	0.39	0.38
ΚΣ12Γ	0.40	0.39
ΚΣ12Δ	0.50	0.49
ΚΣ13Α	0.44	0.43
ΚΣ13Β	0.38	0.37
ΚΣ13Γ	0.47	0.47
ΚΣ14Α	0.81	0.80
ΚΣ14Β	0.71	0.70
ΚΣ14Γ	0.96	0.95
ΚΣ14Δ	0.98	0.97
ΚΣ14Ε	0.97	0.96
ΚΣ15Α	4.89	4.81
ΚΣ15Β	6.03	5.91
ΚΣ15Γ	5.39	5.30
ΚΣ15Δ	5.78	5.69
ΚΣ16Α	0.53	0.53
ΚΣ16Β	0.54	0.53
ΚΣ16Γ	0.62	0.61
ΟΠ01Α	0.19	0.19
ΟΠ01Β	0.20	0.19
ΟΠ01Γ	0.21	0.21
ΟΠ01Δ	0.17	0.17
ΟΠ01Ε	0.19	0.18
ΟΠ01Ζ	0.21	0.20
ΟΠ01Η	0.18	0.18
ΟΠ02Α	0.23	0.23
ΟΠ02Β	0.22	0.21
ΟΠ02Γ	0.24	0.23
ΟΠ02Δ	0.21	0.21
ΟΠ03Α	0.21	0.21
ΟΠ03Β	0.19	0.19
ΟΠ03Γ	0.21	0.21
ΟΠ04Α	0.20	0.19
ΟΠ04Β	0.20	0.20
ΟΠ04Γ	0.18	0.17
ΟΠ04Δ	0.20	0.20
ΟΠ04Ε	0.20	0.20
ΟΠ05Α	0.22	0.21
ΟΠ05Β	0.23	0.22
ΟΠ05Γ	0.23	0.22
ΟΠ05Δ	0.25	0.25
ΟΠ06Α	0.16	0.16
ΟΠ06Β	0.17	0.16
ΟΠ06Γ	0.17	0.16

Κωδικός Δοκιμίου	n _{es} (%)	n _{em} (%)
ΟΠ06Δ	0.19	0.18
ΟΠ07Α	0.14	0.14
ΟΠ07Β	0.15	0.15
ΟΠ07Γ	0.13	0.13
ΟΠ07Δ	0.15	0.15
ΟΠ07Ε	0.13	0.13
ΟΠ07Ζ	0.15	0.15
ΟΠ07Η	0.14	0.13
ΟΠ08Α	0.24	0.23
ΟΠ08Β	0.24	0.23
ΟΠ08Γ	0.25	0.24
ΟΠ08Δ	0.25	0.24
ΟΠ09Α	0.08	0.07
ΟΠ09Β	0.08	0.08
ΟΠ09Γ	0.07	0.07
ΟΠ10Α	0.09	0.08
ΟΠ10Β	0.08	0.07
ΟΠ10Γ	0.10	0.10
ΟΠ10Δ	0.11	0.11
ΟΠ11Α	0.14	0.14
ΟΠ11Β	0.13	0.13
ΟΠ11Γ	0.12	0.11
ΟΠ11Δ	0.16	0.15
ΟΠ12Α	0.13	0.13
ΟΠ12Β	0.14	0.14
ΟΠ12Γ	0.16	0.15
ΟΠ13Α	0.09	0.08
ΟΠ13Β	0.07	0.07
ΟΠ13Γ	0.07	0.07
ΟΠ14Α	0.09	0.09
ΟΠ14Β	0.09	0.09
ΟΠ14Γ	0.09	0.09
ΟΠ14Δ	0.11	0.11
ΟΠ14Ε	0.10	0.09
ΟΠ14Ζ	0.08	0.08
ΟΠ14Η	0.08	0.08
ΟΠ15Α	0.06	0.06
ΟΠ15Β	0.08	0.08
ΟΠ15Γ	0.07	0.07
ΟΠ15Δ	0.06	0.05
ΟΠ16Α	0.16	0.16
ΟΠ16Β	0.15	0.14
ΟΠ16Γ	0.17	0.16
ΟΠ17Α	0.11	0.11
ΟΠ17Β	0.09	0.09
ΟΠ17Γ	0.12	0.11
ΟΠ18Α	0.09	0.08
ΟΠ18Β	0.10	0.10
ΟΠ18Γ	0.09	0.09
ΟΠ19Α	0.10	0.10

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ

Κωδικός Δοκιμίου	n _{es} (%)	n _{em} (%)
ΟΠ19Β	0.07	0.07
ΟΠ19Γ	0.08	0.08
ΟΠ19Δ	0.09	0.09
ΟΠ19Ε	0.07	0.07
ΟΠ19Ζ	0.09	0.09
ΟΠ19Η	0.08	0.07
ΟΠ20Α	0.17	0.17
ΟΠ20Β	0.17	0.16
ΟΠ20Γ	0.18	0.18
ΟΠ20Δ	0.19	0.18
ΟΠ21Α	0.25	0.25
ΟΠ21Β	0.25	0.25
ΟΠ21Γ	0.27	0.26
ΟΠ21Δ	0.24	0.23
ΟΠ22Α	0.20	0.19
ΟΠ22Β	0.22	0.21
ΟΠ22Γ	0.21	0.21
ΟΠ23Α	0.06	0.06
ΟΠ23Β	0.07	0.07
ΟΠ23Γ	0.06	0.05
ΟΠ24Α	0.07	0.07
ΟΠ24Β	0.08	0.08
ΟΠ24Γ	0.08	0.08
ΟΠ25Α	0.23	0.22
ΟΠ25Β	0.23	0.23
ΟΠ25Γ	0.24	0.23
ΟΠ26Α	0.23	0.23
ΟΠ26Β	0.24	0.23
ΟΠ26Γ	0.26	0.26
ΟΣ01Α	0.60	0.59
ΟΣ01Β	0.49	0.49
ΟΣ01Γ	0.59	0.58
ΟΣ01Δ	0.70	0.69
ΟΣ02Α	3.54	3.50
ΟΣ02Β	3.59	3.56
ΟΣ02Γ	3.64	3.60
ΟΣ02Δ	3.54	3.50
ΟΣ02Ε	3.63	3.59
ΟΣ02Ζ	3.60	3.56
ΟΣ03Α	1.93	1.91
ΟΣ03Β	1.82	1.78
ΟΣ03Γ	2.00	1.99
ΟΣ04Α	1.52	1.49
ΟΣ04Β	1.32	1.31
ΟΣ04Γ	1.28	1.26
ΟΣ04Δ	1.45	1.43
ΟΣ05Α	1.27	1.26
ΟΣ05Β	1.25	1.23
ΟΣ05Γ	1.24	1.25
ΟΣ06Α	0.76	0.75

Κωδικός Δοκιμίου	n _{es} (%)	n _{em} (%)
ΟΣ06Β	0.85	0.82
ΟΣ07Α	2.26	2.24
ΟΣ07Β	2.33	2.31
ΟΣ07Γ	2.52	2.46
ΟΣ08Α	2.48	2.47
ΟΣ08Β	2.39	2.35
ΟΣ08Γ	2.33	2.32
ΟΣ08Δ	2.28	2.25
ΟΣ08Ε	2.32	2.31
ΟΣ08Ζ	2.34	2.31
ΟΣ09Α	2.25	2.23
ΟΣ09Β	2.27	2.26
ΟΣ09Γ	2.38	2.33
ΟΣ09Δ	2.25	2.22
ΟΣ09Ε	2.23	2.21
ΟΣ09Ζ	2.28	2.26
ΟΣ09Η	2.36	2.34
ΟΣ10Α	0.80	0.79
ΟΣ10Β	0.80	0.80
ΟΣ10Γ	0.83	0.82
ΟΣ11Α	0.50	0.48
ΟΣ11Β	0.56	0.55
ΟΣ11Γ	0.65	0.65
ΟΣ11Δ	0.53	0.53
ΟΣ12Α	0.69	0.68
ΟΣ12Β	0.71	0.70
ΟΣ12Γ	0.64	0.64
ΟΣ13Α	1.97	1.95
ΟΣ13Β	1.82	1.80
ΟΣ13Γ	1.89	1.87
ΟΣ14Α	2.26	2.24
ΟΣ14Β	2.19	2.17
ΟΣ14Γ	2.22	2.20
ΟΣ15Α	0.48	0.48
ΟΣ15Β	0.55	0.54
ΟΣ15Γ	0.74	0.73
ΟΣ16Α	1.62	1.60
ΟΣ16Β	1.81	1.79
ΟΣ16Γ	1.77	1.73
ΟΣ16Δ	1.87	1.86
ΟΣ17Α	2.40	2.39
ΟΣ17Β	2.33	2.31
ΟΣ17Γ	2.56	2.53
ΟΣ17Δ	2.51	2.49
ΟΣ18Α	0.48	0.48
ΟΣ18Β	0.44	0.44
ΟΣ18Γ	0.43	0.43
ΟΣ18Δ	0.40	0.39
ΟΣ19Α	2.44	2.44
ΟΣ19Β	2.67	2.66

Κωδικός Δοκιμίου	n _{es} (%)	n _{em} (%)
ΟΣ19Γ	2.10	2.08
ΟΣ19Δ	2.20	2.11
ΟΣ19Ε	2.29	2.28
ΟΣ20Α	0.47	0.46
ΟΣ20Β	0.49	0.49
ΟΣ20Γ	0.63	0.61
ΟΣ21Α	0.39	0.39
ΟΣ21Β	0.35	0.35
ΟΣ21Γ	0.47	0.47
ΟΣ21Δ	0.37	0.37
ΟΣ22Α	2.95	2.91
ΟΣ22Β	2.82	2.78
ΟΣ22Γ	2.96	2.91
ΟΣ22Δ	2.72	2.72
ΟΣ23Α	0.40	0.39
ΟΣ23Β	0.37	0.37
ΟΣ23Γ	0.39	0.38
ΟΣ24Α	0.74	0.73
ΟΣ24Β	0.77	0.76
ΟΣ24Γ	0.75	0.74
ΟΣ25Α	0.55	0.55
ΟΣ25Β	0.45	0.44
ΟΣ25Γ	0.56	0.55
ΟΣ25Δ	0.47	0.46
ΟΣ25Ε	0.53	0.53
ΟΣ25Ζ	0.50	0.50
ΟΣ26Α	1.02	1.00
ΟΣ26Β	1.21	1.18
ΟΣ26Γ	0.94	0.93
ΟΣ26Δ	1.15	1.09
ΟΣ27Α	1.38	1.37
ΟΣ27Β	1.44	1.38
ΟΣ27Γ	1.25	1.24
ΟΣ27Δ	1.11	1.09
ΟΣ27Ε	1.51	1.49
ΟΣ27Ζ	1.17	1.15
ΟΣ28Α	0.43	0.43
ΟΣ28Β	0.39	0.39
ΟΣ28Γ	0.52	0.51
ΟΣ28Δ	0.49	0.49
ΟΣ28Ε	0.38	0.37
ΟΣ29Α	0.55	0.54
ΟΣ29Β	0.73	0.72
ΟΣ29Γ	0.67	0.66
ΟΣ29Δ	0.73	0.72
ΟΣ30Α	1.60	1.58
ΟΣ30Β	1.56	1.53
ΟΣ30Γ	1.59	1.56
ΟΣ30Δ	1.68	1.66
ΟΣ30Ε	1.55	1.54

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ

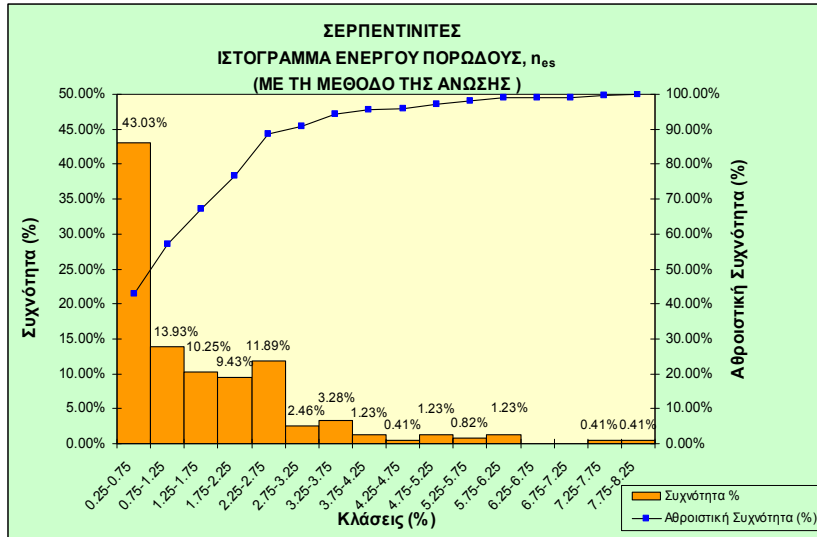
Κωδικός Δοκιμίου	n _{es} (%)	n _{em} (%)	Κωδικός Δοκιμίου	n _{es} (%)	n _{em} (%)	Κωδικός Δοκιμίου	n _{es} (%)	n _{em} (%)
ΟΣ30Ζ	1.61	1.59	ΟΣ35Δ	5.56	5.45	ΟΣ40Δ	3.22	3.06
ΟΣ31Α	0.71	0.70	ΟΣ36Α	0.48	0.47	ΟΣ40Ε	3.19	3.15
ΟΣ31Β	0.67	0.65	ΟΣ36Β	0.61	0.60	ΟΣ40Ζ	3.90	3.84
ΟΣ31Γ	0.76	0.76	ΟΣ36Γ	0.58	0.57	ΟΣ40Η	3.33	3.30
ΟΣ32Α	0.42	0.42	ΟΣ36Δ	0.53	0.52	ΟΣ41Α	0.62	0.61
ΟΣ32Β	0.53	0.53	ΟΣ36Ε	0.48	0.48	ΟΣ41Β	0.77	0.77
ΟΣ32Γ	0.43	0.43	ΟΣ36Ζ	0.55	0.54	ΟΣ41Γ	0.90	0.89
ΟΣ32Δ	0.48	0.48	ΟΣ36Η	0.45	0.45	ΟΣ42Α	0.47	0.46
ΟΣ33Α	0.68	0.68	ΟΣ37Α	0.37	0.37	ΟΣ42Β	0.68	0.67
ΟΣ33Β	0.75	0.73	ΟΣ37Β	0.50	0.49	ΟΣ42Γ	0.41	0.40
ΟΣ33Γ	0.73	0.71	ΟΣ37Γ	0.53	0.52	ΟΣ43Α	1.93	1.91
ΟΣ34Α	1.33	1.31	ΟΣ38Α	0.75	0.74	ΟΣ43Β	2.04	1.99
ΟΣ34Β	1.37	1.36	ΟΣ38Β	0.46	0.46	ΟΣ43Γ	1.98	1.96
ΟΣ34Γ	1.16	1.15	ΟΣ38Γ	0.56	0.56			
ΟΣ34Δ	1.20	1.19	ΟΣ39Α	1.17	1.16			
ΟΣ34Ε	1.29	1.28	ΟΣ39Β	1.11	1.09			
ΟΣ34Ζ	1.19	1.18	ΟΣ39Γ	1.28	1.27			
ΟΣ34Η	1.30	1.29	ΟΣ39Δ	1.17	1.15			
ΟΣ35Α	7.97	7.89	ΟΣ40Α	3.05	2.98			
ΟΣ35Β	7.54	7.33	ΟΣ40Β	3.78	3.74			
ΟΣ35Γ	5.87	5.73	ΟΣ40Γ	3.56	3.52			

Πίνακας 6.2: Στατιστική ανάλυση των τιμών του ενεργού πορώδους για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες και με τις δυο μεθόδους.

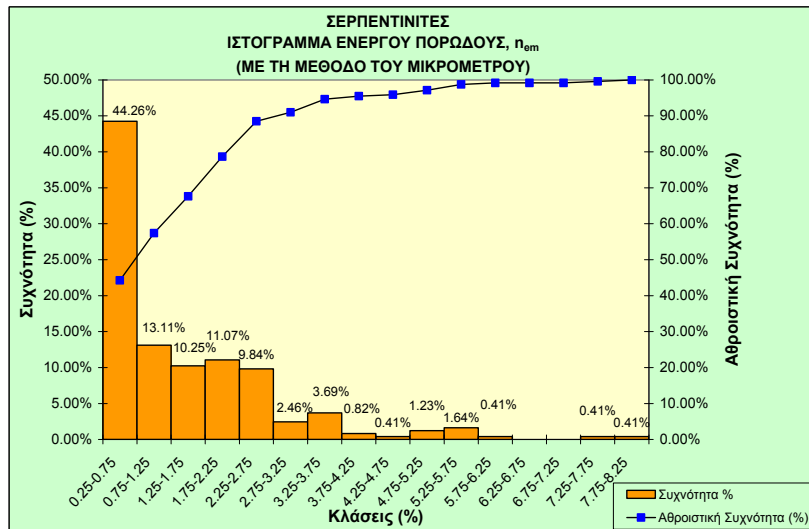
	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΕΣ		ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΕΣ	
	Ενεργό πορώδες, n _{es} (%)	Ενεργό πορώδες, n _{em} (%)	Ενεργό πορώδες, n _{es} (%)	Ενεργό πορώδες, n _{em} (%)
Μέγιστη τιμή	7.97	7.89	0.29	0.28
Ελάχιστη τιμή	0.35	0.35	0.06	0.05
Μέση τιμή	1.49	1.47	0.15	0.15
Τυπική απόκλιση	1.32	1.30	0.07	0.06
Πλήθος δοκιμών	244	244	147	147

Οι τιμές του ενεργού πορώδους (και με τις δύο μεθόδους, n_{es}, n_{em}) είναι εμφανώς μεγαλύτερες στους σερπεντινίτες (κυμαίνονται από 0.35 έως και 7.97 ανάλογα τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε) συγκριτικά με τους περιδοτίτες (κυμαίνονται από 0.05 έως και 0.29 ανάλογα τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε).

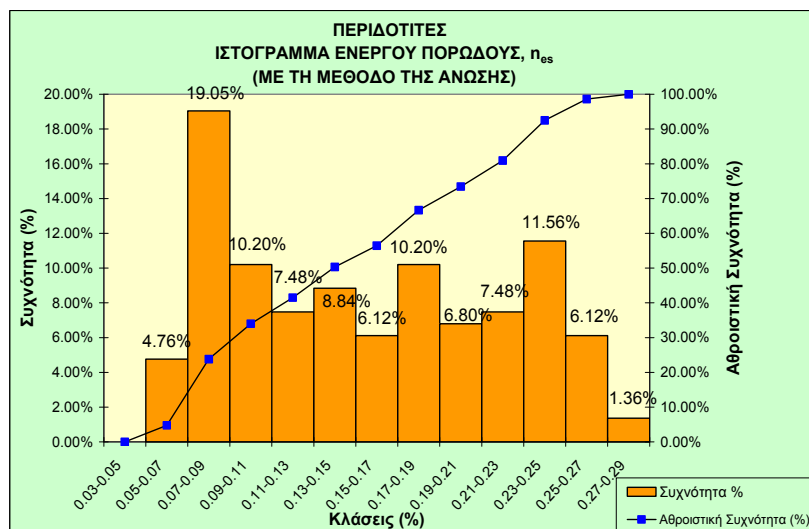
Στα ιστογράμματα (Εικ. 6.1, 6.2, 6.3, 6.4) προβάλλονται οι κατανομές των τιμών του ενεργού πορώδους τόσο για τους σερπεντινίτες, όσο και τους περιδοτίτες και με τις δυο μεθόδους προσδιορισμού τους.



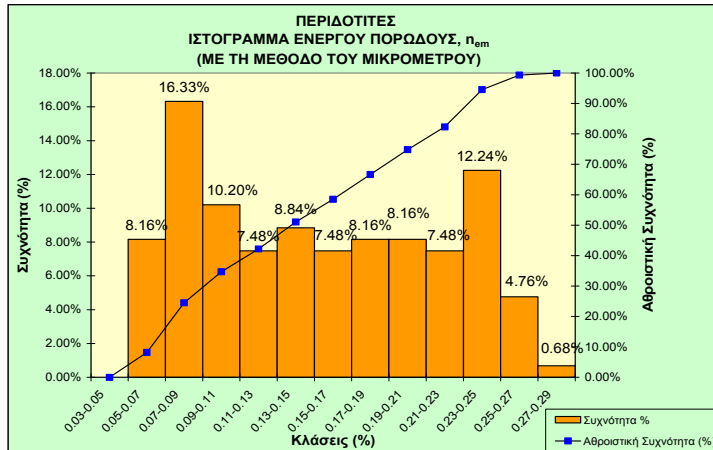
Εικόνα 6.1: Ιστόγραμμα κατανομής του ενεργού πορώδους (n_{es}) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.2: Ιστόγραμμα κατανομής του ενεργού πορώδους (n_{em}) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.3: Ιστόγραμμα κατανομής του ενεργού πορώδους (n_{es}) για τους περιδοτίτες.



Εικόνα 6.4: Ιστόγραμμα κατανομής του ενεργού πορώδους (n_{em}) για τους περιδοτίτες.

Από τις Εικόνες 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 είναι εμφανές πως το μεγαλύτερο ποσοστό των σερπεντινιτών παρουσιάζουν ενεργό πορώδες από 0.25 έως 0.75%, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό των περιδοτιτών έχουν ενεργό πορώδες από 0.07 έως 0.09%. Επίσης είναι εμφανές πως οι σερπεντινίτες παρουσιάζουν αρνητική εκθετική κατανομή, ενώ οι περιδοτίτες ομοιόμορφη.

6.1.2 Λόγος κενών (e)

Ταυτόχρονα με τον προσδιορισμό του πορώδους έγιναν και υπολογισμοί του λόγου των κενών (μέθοδος άνωσης, e_s και μέθοδος μικρομέτρου e_m) στα δοκίμια μας. Αναλυτικά οι τιμές τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3, ενώ τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης παρατίθενται στον Πίνακα 6.4.

Πίνακας 6.3: Τιμές του λόγου των κενών τόσο με τη μέθοδο της άνωσης (e_s) όσο και με τη μέθοδο του μικρομέτρου (e_m).

Κωδικός Δοκιμίου	e_s	e_m
ΚΠ01Α	0.0025	0.0025
ΚΠ01Β	0.0024	0.0024
ΚΠ01Γ	0.0025	0.0025
ΚΠ01Δ	0.0024	0.0024
ΚΠ02Α	0.0017	0.0017
ΚΠ02Β	0.0018	0.0018
ΚΠ02Γ	0.0018	0.0017
ΚΠ03Α	0.0027	0.0027
ΚΠ03Β	0.0025	0.0025
ΚΠ03Γ	0.0025	0.0025
ΚΠ03Δ	0.0026	0.0026
ΚΠ04Α	0.0018	0.0018
ΚΠ04Β	0.0017	0.0017
ΚΠ04Γ	0.0021	0.0021
ΚΠ04Δ	0.0018	0.0018

Κωδικός Δοκιμίου	e_s	e_m
ΚΠ04Ε	0.0020	0.0020
ΚΠ05Α	0.0029	0.0028
ΚΠ05Β	0.0024	0.0024
ΚΠ05Γ	0.0026	0.0025
ΚΠ05Δ	0.0027	0.0027
ΚΠ06Α	0.0008	0.0008
ΚΠ06Β	0.0007	0.0007
ΚΠ06Γ	0.0010	0.0010
ΚΠ06Δ	0.0007	0.0006
ΚΠ06Ε	0.0006	0.0006
ΚΠ06Ζ	0.0008	0.0008
ΚΠ06Η	0.0007	0.0007
ΚΠ07Α	0.0012	0.0011
ΚΠ07Β	0.0011	0.0011
ΚΠ07Γ	0.0011	0.0010

Κωδικός Δοκιμίου	e_s	e_m
ΚΠ07Δ	0.0010	0.0010
ΚΠ07Ε	0.0012	0.0012
ΚΠ07Ζ	0.0010	0.0010
ΚΠ07Η	0.0013	0.0013
ΚΠ08Α	0.0007	0.0007
ΚΠ08Β	0.0010	0.0009
ΚΠ08Γ	0.0009	0.0009
ΚΠ08Δ	0.0006	0.0006
ΚΠ09Α	0.0012	0.0011
ΚΠ09Β	0.0013	0.0013
ΚΠ09Γ	0.0015	0.0014
ΚΠ09Δ	0.0013	0.0013
ΚΣ01Α	0.0143	0.0141
ΚΣ01Β	0.0139	0.0138
ΚΣ01Γ	0.0118	0.0117

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ

Κωδικός Δοκιμίου	ϵ_s	ϵ_m
ΚΣ01Α	0.0129	0.0127
ΚΣ01Ε	0.0150	0.0146
ΚΣ02Α	0.0071	0.0071
ΚΣ02Β	0.0071	0.0070
ΚΣ02Γ	0.0053	0.0053
ΚΣ02Δ	0.0074	0.0073
ΚΣ03Α	0.0239	0.0236
ΚΣ03Β	0.0230	0.0228
ΚΣ03Γ	0.0244	0.0240
ΚΣ03Δ	0.0248	0.0235
ΚΣ04Α	0.0053	0.0053
ΚΣ04Β	0.0048	0.0047
ΚΣ04Γ	0.0050	0.0050
ΚΣ05Α	0.0485	0.0481
ΚΣ05Β	0.0403	0.0397
ΚΣ05Γ	0.0550	0.0545
ΚΣ05Δ	0.0552	0.0544
ΚΣ06Α	0.0225	0.0222
ΚΣ06Β	0.0215	0.0213
ΚΣ06Γ	0.0244	0.0241
ΚΣ07Α	0.0043	0.0043
ΚΣ07Β	0.0048	0.0048
ΚΣ07Γ	0.0047	0.0046
ΚΣ08Α	0.0050	0.0049
ΚΣ08Β	0.0059	0.0059
ΚΣ08Γ	0.0079	0.0078
ΚΣ08Δ	0.0073	0.0072
ΚΣ08Ε	0.0064	0.0063
ΚΣ08Ζ	0.0063	0.0063
ΚΣ09Α	0.0220	0.0218
ΚΣ09Β	0.0222	0.0220
ΚΣ09Γ	0.0232	0.0229
ΚΣ09Δ	0.0245	0.0241
ΚΣ10Α	0.0086	0.0085
ΚΣ10Β	0.0067	0.0066
ΚΣ10Γ	0.0078	0.0077
ΚΣ10Δ	0.0071	0.0070
ΚΣ10Ε	0.0084	0.0083
ΚΣ10Ζ	0.0067	0.0066
ΚΣ11Α	0.0040	0.0039
ΚΣ11Β	0.0038	0.0038
ΚΣ11Γ	0.0039	0.0039
ΚΣ11Δ	0.0040	0.0039
ΚΣ11Ε	0.0043	0.0042
ΚΣ11Ζ	0.0040	0.0040
ΚΣ11Η	0.0036	0.0036
ΚΣ12Α	0.0047	0.0047
ΚΣ12Β	0.0039	0.0039
ΚΣ12Γ	0.0040	0.0040
ΚΣ12Δ	0.0050	0.0049

Κωδικός Δοκιμίου	ϵ_s	ϵ_m
ΚΣ13Α	0.0044	0.0043
ΚΣ13Β	0.0038	0.0037
ΚΣ13Γ	0.0047	0.0047
ΚΣ14Α	0.0081	0.0080
ΚΣ14Β	0.0071	0.0070
ΚΣ14Γ	0.0097	0.0096
ΚΣ14Δ	0.0099	0.0098
ΚΣ14Ε	0.0098	0.0096
ΚΣ15Α	0.0514	0.0505
ΚΣ15Β	0.0642	0.0628
ΚΣ15Γ	0.0570	0.0559
ΚΣ15Δ	0.0614	0.0603
ΚΣ16Α	0.0054	0.0053
ΚΣ16Β	0.0054	0.0053
ΚΣ16Γ	0.0063	0.0062
ΟΠ01Α	0.0019	0.0019
ΟΠ01Β	0.0020	0.0020
ΟΠ01Γ	0.0021	0.0021
ΟΠ01Δ	0.0017	0.0017
ΟΠ01Ε	0.0019	0.0019
ΟΠ01Ζ	0.0021	0.0021
ΟΠ01Η	0.0018	0.0018
ΟΠ02Α	0.0023	0.0023
ΟΠ02Β	0.0022	0.0022
ΟΠ02Γ	0.0024	0.0023
ΟΠ02Δ	0.0021	0.0021
ΟΠ03Α	0.0021	0.0021
ΟΠ03Β	0.0019	0.0019
ΟΠ03Γ	0.0022	0.0021
ΟΠ04Α	0.0020	0.0019
ΟΠ04Β	0.0020	0.0020
ΟΠ04Γ	0.0018	0.0018
ΟΠ04Δ	0.0020	0.0020
ΟΠ04Ε	0.0020	0.0020
ΟΠ05Α	0.0022	0.0022
ΟΠ05Β	0.0023	0.0023
ΟΠ05Γ	0.0023	0.0022
ΟΠ05Δ	0.0025	0.0025
ΟΠ06Α	0.0016	0.0016
ΟΠ06Β	0.0017	0.0016
ΟΠ06Γ	0.0017	0.0016
ΟΠ06Δ	0.0019	0.0019
ΟΠ07Α	0.0014	0.0014
ΟΠ07Β	0.0015	0.0015
ΟΠ07Γ	0.0013	0.0013
ΟΠ07Δ	0.0015	0.0015
ΟΠ07Ε	0.0013	0.0013
ΟΠ07Ζ	0.0015	0.0015
ΟΠ07Η	0.0014	0.0013
ΟΠ08Α	0.0024	0.0023

Κωδικός Δοκιμίου	ϵ_s	ϵ_m
ΟΠ08Β	0.0024	0.0023
ΟΠ08Γ	0.0025	0.0025
ΟΠ08Δ	0.0025	0.0025
ΟΠ09Α	0.0008	0.0007
ΟΠ09Β	0.0008	0.0008
ΟΠ09Γ	0.0007	0.0007
ΟΠ10Α	0.0009	0.0008
ΟΠ10Β	0.0008	0.0007
ΟΠ10Γ	0.0010	0.0010
ΟΠ10Δ	0.0011	0.0011
ΟΠ11Α	0.0014	0.0014
ΟΠ11Β	0.0013	0.0013
ΟΠ11Γ	0.0012	0.0011
ΟΠ11Δ	0.0016	0.0015
ΟΠ12Α	0.0013	0.0013
ΟΠ12Β	0.0014	0.0014
ΟΠ12Γ	0.0016	0.0015
ΟΠ13Α	0.0009	0.0008
ΟΠ13Β	0.0007	0.0007
ΟΠ13Γ	0.0007	0.0007
ΟΠ14Α	0.0009	0.0009
ΟΠ14Β	0.0009	0.0009
ΟΠ14Γ	0.0009	0.0009
ΟΠ14Δ	0.0011	0.0011
ΟΠ14Ε	0.0010	0.0009
ΟΠ14Ζ	0.0008	0.0008
ΟΠ14Η	0.0008	0.0008
ΟΠ15Α	0.0006	0.0006
ΟΠ15Β	0.0008	0.0008
ΟΠ15Γ	0.0007	0.0007
ΟΠ15Δ	0.0006	0.0005
ΟΠ16Α	0.0016	0.0016
ΟΠ16Β	0.0015	0.0015
ΟΠ16Γ	0.0017	0.0016
ΟΠ17Α	0.0011	0.0011
ΟΠ17Β	0.0009	0.0009
ΟΠ17Γ	0.0012	0.0012
ΟΠ18Α	0.0009	0.0008
ΟΠ18Β	0.0010	0.0010
ΟΠ18Γ	0.0009	0.0009
ΟΠ19Α	0.0010	0.0010
ΟΠ19Β	0.0007	0.0007
ΟΠ19Γ	0.0008	0.0008
ΟΠ19Δ	0.0009	0.0009
ΟΠ19Ε	0.0007	0.0007
ΟΠ19Ζ	0.0009	0.0009
ΟΠ19Η	0.0008	0.0007
ΟΠ20Α	0.0017	0.0017
ΟΠ20Β	0.0017	0.0016
ΟΠ20Γ	0.0018	0.0018

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ

Κωδικός Δοκιμίου	ϵ_s	ϵ_m
ΟΠ20Α	0.0019	0.0019
ΟΠ21Α	0.0026	0.0025
ΟΠ21Β	0.0026	0.0025
ΟΠ21Γ	0.0027	0.0027
ΟΠ21Δ	0.0024	0.0024
ΟΠ22Α	0.0020	0.0020
ΟΠ22Β	0.0022	0.0022
ΟΠ22Γ	0.0021	0.0021
ΟΠ23Α	0.0006	0.0006
ΟΠ23Β	0.0007	0.0007
ΟΠ23Γ	0.0006	0.0005
ΟΠ24Α	0.0007	0.0007
ΟΠ24Β	0.0008	0.0008
ΟΠ24Γ	0.0008	0.0008
ΟΠ25Α	0.0023	0.0023
ΟΠ25Β	0.0024	0.0023
ΟΠ25Γ	0.0024	0.0024
ΟΠ26Α	0.0023	0.0023
ΟΠ26Β	0.0024	0.0023
ΟΠ26Γ	0.0027	0.0026
ΟΣ01Α	0.0060	0.0060
ΟΣ01Β	0.0049	0.0049
ΟΣ01Γ	0.0059	0.0058
ΟΣ01Δ	0.0070	0.0070
ΟΣ02Α	0.0367	0.0363
ΟΣ02Β	0.0373	0.0369
ΟΣ02Γ	0.0378	0.0374
ΟΣ02Δ	0.0367	0.0363
ΟΣ02Ε	0.0376	0.0373
ΟΣ02Ζ	0.0373	0.0369
ΟΣ03Α	0.0196	0.0195
ΟΣ03Β	0.0185	0.0181
ΟΣ03Γ	0.0204	0.0203
ΟΣ04Α	0.0154	0.0152
ΟΣ04Β	0.0134	0.0132
ΟΣ04Γ	0.0129	0.0128
ΟΣ04Δ	0.0147	0.0145
ΟΣ05Α	0.0129	0.0128
ΟΣ05Β	0.0126	0.0124
ΟΣ05Γ	0.0125	0.0126
ΟΣ06Α	0.0077	0.0075
ΟΣ06Β	0.0086	0.0082
ΟΣ07Α	0.0232	0.0229
ΟΣ07Β	0.0239	0.0236
ΟΣ07Γ	0.0259	0.0253
ΟΣ08Α	0.0254	0.0254
ΟΣ08Β	0.0245	0.0241
ΟΣ08Γ	0.0239	0.0237
ΟΣ08Δ	0.0233	0.0230
ΟΣ08Ε	0.0238	0.0236

Κωδικός Δοκιμίου	ϵ_s	ϵ_m
ΟΣ08Ζ	0.0239	0.0237
ΟΣ09Α	0.0230	0.0228
ΟΣ09Β	0.0232	0.0231
ΟΣ09Γ	0.0244	0.0238
ΟΣ09Δ	0.0230	0.0227
ΟΣ09Ε	0.0228	0.0226
ΟΣ09Ζ	0.0233	0.0231
ΟΣ09Η	0.0242	0.0240
ΟΣ10Α	0.0081	0.0080
ΟΣ10Β	0.0081	0.0080
ΟΣ10Γ	0.0084	0.0082
ΟΣ11Α	0.0050	0.0048
ΟΣ11Β	0.0056	0.0055
ΟΣ11Γ	0.0066	0.0065
ΟΣ11Δ	0.0054	0.0053
ΟΣ12Α	0.0070	0.0069
ΟΣ12Β	0.0071	0.0070
ΟΣ12Γ	0.0065	0.0064
ΟΣ13Α	0.0201	0.0199
ΟΣ13Β	0.0185	0.0183
ΟΣ13Γ	0.0192	0.0191
ΟΣ14Α	0.0231	0.0229
ΟΣ14Β	0.0224	0.0221
ΟΣ14Γ	0.0227	0.0224
ΟΣ15Α	0.0048	0.0048
ΟΣ15Β	0.0055	0.0055
ΟΣ15Γ	0.0075	0.0074
ΟΣ16Α	0.0164	0.0162
ΟΣ16Β	0.0185	0.0182
ΟΣ16Γ	0.0180	0.0176
ΟΣ16Δ	0.0191	0.0189
ΟΣ17Α	0.0246	0.0245
ΟΣ17Β	0.0238	0.0237
ΟΣ17Γ	0.0263	0.0259
ΟΣ17Δ	0.0258	0.0255
ΟΣ18Α	0.0048	0.0048
ΟΣ18Β	0.0044	0.0044
ΟΣ18Γ	0.0043	0.0043
ΟΣ18Δ	0.0040	0.0039
ΟΣ19Α	0.0250	0.0250
ΟΣ19Β	0.0274	0.0274
ΟΣ19Γ	0.0215	0.0213
ΟΣ19Δ	0.0225	0.0215
ΟΣ19Ε	0.0235	0.0233
ΟΣ20Α	0.0047	0.0047
ΟΣ20Β	0.0050	0.0049
ΟΣ20Γ	0.0063	0.0062
ΟΣ21Α	0.0039	0.0039
ΟΣ21Β	0.0035	0.0035
ΟΣ21Γ	0.0048	0.0048

Κωδικός Δοκιμίου	ϵ_s	ϵ_m
ΟΣ21Δ	0.0037	0.0037
ΟΣ22Α	0.0304	0.0300
ΟΣ22Β	0.0290	0.0286
ΟΣ22Γ	0.0305	0.0299
ΟΣ22Δ	0.0280	0.0280
ΟΣ23Α	0.0040	0.0039
ΟΣ23Β	0.0037	0.0037
ΟΣ23Γ	0.0039	0.0038
ΟΣ24Α	0.0075	0.0074
ΟΣ24Β	0.0078	0.0077
ΟΣ24Γ	0.0075	0.0074
ΟΣ25Α	0.0055	0.0055
ΟΣ25Β	0.0045	0.0044
ΟΣ25Γ	0.0057	0.0056
ΟΣ25Δ	0.0047	0.0046
ΟΣ25Ε	0.0054	0.0053
ΟΣ25Ζ	0.0050	0.0050
ΟΣ26Α	0.0103	0.0101
ΟΣ26Β	0.0122	0.0119
ΟΣ26Γ	0.0095	0.0093
ΟΣ26Δ	0.0116	0.0111
ΟΣ27Α	0.0140	0.0139
ΟΣ27Β	0.0146	0.0140
ΟΣ27Γ	0.0127	0.0125
ΟΣ27Δ	0.0112	0.0110
ΟΣ27Ε	0.0154	0.0151
ΟΣ27Ζ	0.0118	0.0117
ΟΣ28Α	0.0044	0.0043
ΟΣ28Β	0.0040	0.0039
ΟΣ28Γ	0.0052	0.0051
ΟΣ28Δ	0.0050	0.0049
ΟΣ28Ε	0.0038	0.0037
ΟΣ29Α	0.0055	0.0054
ΟΣ29Β	0.0074	0.0073
ΟΣ29Γ	0.0067	0.0066
ΟΣ29Δ	0.0073	0.0073
ΟΣ30Α	0.0162	0.0161
ΟΣ30Β	0.0159	0.0155
ΟΣ30Γ	0.0161	0.0158
ΟΣ30Δ	0.0171	0.0169
ΟΣ30Ε	0.0158	0.0156
ΟΣ30Ζ	0.0163	0.0161
ΟΣ31Α	0.0071	0.0070
ΟΣ31Β	0.0067	0.0066
ΟΣ31Γ	0.0077	0.0076
ΟΣ32Α	0.0042	0.0042
ΟΣ32Β	0.0054	0.0053
ΟΣ32Γ	0.0043	0.0043
ΟΣ32Δ	0.0049	0.0048
ΟΣ33Α	0.0069	0.0068

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ

Κωδικός Δοκιμίου	e_s	e_m
ΟΣ33Β	0.0076	0.0074
ΟΣ33Γ	0.0074	0.0072
ΟΣ34Α	0.0134	0.0132
ΟΣ34Β	0.0139	0.0138
ΟΣ34Γ	0.0117	0.0116
ΟΣ34Δ	0.0122	0.0121
ΟΣ34Ε	0.0131	0.0130
ΟΣ34Ζ	0.0121	0.0119
ΟΣ34Η	0.0132	0.0131
ΟΣ35Α	0.0866	0.0857
ΟΣ35Β	0.0816	0.0791
ΟΣ35Γ	0.0623	0.0608
ΟΣ35Δ	0.0589	0.0576
ΟΣ36Α	0.0048	0.0047
ΟΣ36Β	0.0062	0.0061
ΟΣ36Γ	0.0059	0.0058
ΟΣ36Δ	0.0053	0.0052

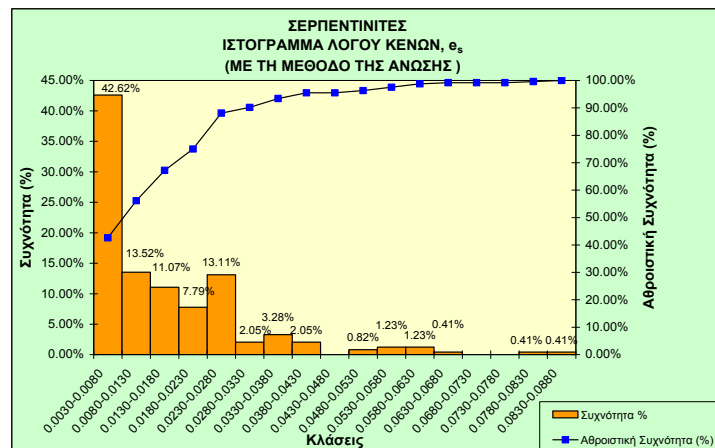
Κωδικός Δοκιμίου	e_s	e_m
ΟΣ36Ε	0.0048	0.0048
ΟΣ36Ζ	0.0055	0.0054
ΟΣ36Η	0.0046	0.0045
ΟΣ37Α	0.0038	0.0037
ΟΣ37Β	0.0050	0.0049
ΟΣ37Γ	0.0053	0.0053
ΟΣ38Α	0.0076	0.0075
ΟΣ38Β	0.0047	0.0046
ΟΣ38Γ	0.0057	0.0056
ΟΣ39Α	0.0119	0.0117
ΟΣ39Β	0.0112	0.0111
ΟΣ39Γ	0.0130	0.0129
ΟΣ39Δ	0.0118	0.0116
ΟΣ40Α	0.0315	0.0307
ΟΣ40Β	0.0393	0.0389
ΟΣ40Γ	0.0369	0.0365
ΟΣ40Δ	0.0333	0.0315

Κωδικός Δοκιμίου	e_s	e_m
ΟΣ40Ε	0.0329	0.0325
ΟΣ40Ζ	0.0406	0.0399
ΟΣ40Η	0.0344	0.0341
ΟΣ41Α	0.0062	0.0062
ΟΣ41Β	0.0078	0.0077
ΟΣ41Γ	0.0091	0.0089
ΟΣ42Α	0.0047	0.0046
ΟΣ42Β	0.0069	0.0068
ΟΣ42Γ	0.0041	0.0041
ΟΣ43Α	0.0197	0.0195
ΟΣ43Β	0.0209	0.0203
ΟΣ43Γ	0.0202	0.0200

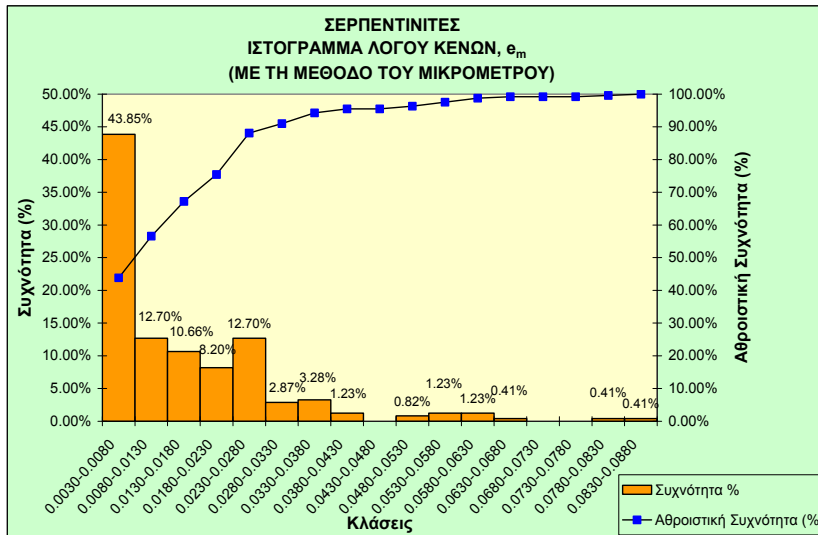
Πίνακας 6.4: Στατιστική ανάλυση των τιμών του λόγου των κενών για τους σερπεντινίτες και τους περιδοσίτες και με τις δυο μεθόδους.

	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΕΣ		ΠΕΡΙΔΟΣΙΤΕΣ	
	Λόγος κενών, e_s	Λόγος κενών, e_m	Λόγος κενών, e_s	Λόγος κενών, e_m
Μέγιστη τιμή	0.0866	0.0857	0.0029	0.0028
Ελάχιστη τιμή	0.0035	0.0035	0.0006	0.0005
Μέση τιμή	0.0153	0.0151	0.0015	0.0015
Τυπική απόκλιση	0.0140	0.0137	0.0007	0.0006
Πλήθος δοκιμών	244	244	147	147

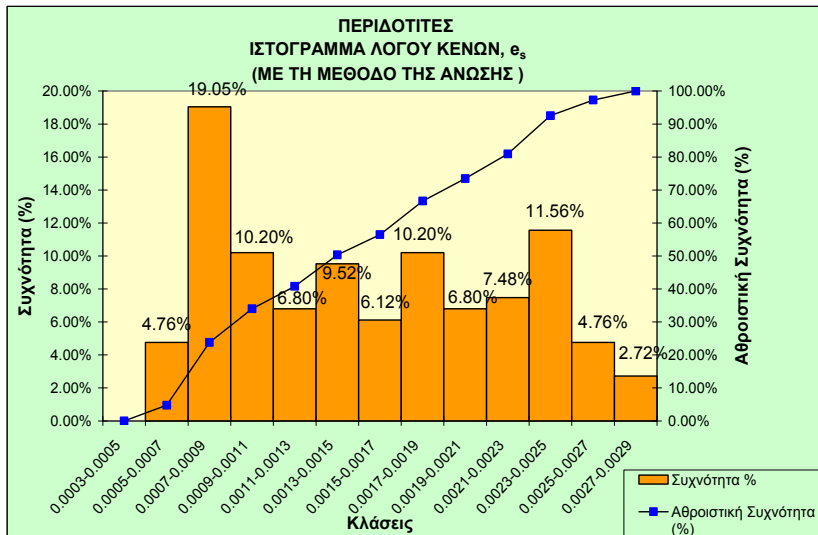
Στις Εικόνες 6.5, 6.6, 6.7, 6.8 εμφανίζονται οι κατανομές των λόγων των κενών ανά λιθολογικό τύπο και για τις δυο μεθόδους.



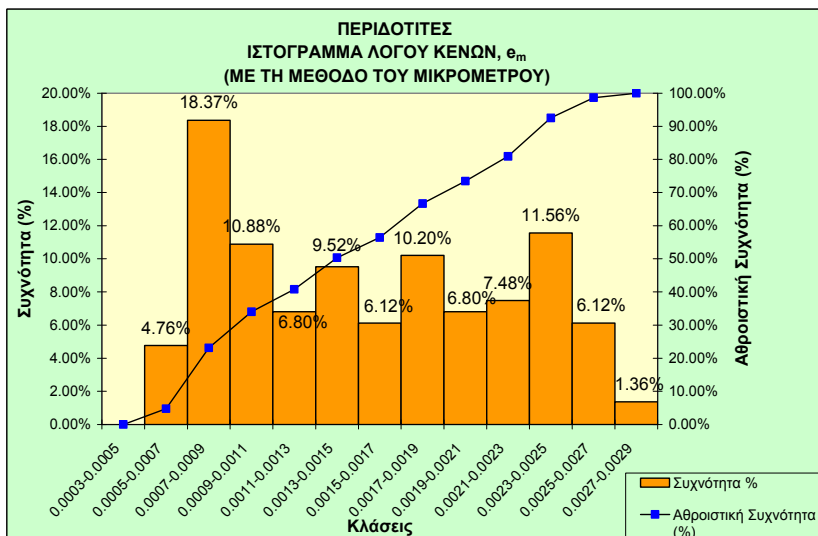
Εικόνα 6.5: Ιστογράμμο κατανομής του λόγου των κενών (e_s) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.6: Ιστόγραμμα κατανομής του λόγου των κενών (e_m) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.7: Ιστόγραμμα κατανομής του λόγου των κενών (e_s) για τους περιδοτίτες.



Εικόνα 6.8: Ιστόγραμμα κατανομής του λόγου των κενών (e_m) για τους περιδοτίτες.

Από τους πίνακες και τις εικόνες που παραθέσαμε ανωτέρω, είναι εμφανές πως οι σερπεντινίτες παρουσιάζουν μεγαλύτερους λόγους κενών από τους περιδοτίτες, κάτι που ήταν αναμενόμενο. Επίσης τα δοκίμια με το μεγαλύτερο πορώδες εμφανίζουν και τις μεγαλύτερες τιμές λόγων κενών (Κεφάλαια 2 και 3). Τέλος, οι περισσότεροι σερπεντινίτες παρουσιάζουν λόγους κενών μεταξύ 0.003-0.008, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό των περιδοτιτών παρουσιάζουν λόγους κενών μεταξύ 0.0007-0.0009.

6.1.3 Ξηρό Φαινόμενο Βάρος (γ_d)

Στα ίδια δοκίμια προσδιορίστηκαν και οι τιμές των ξηρών φαινόμενων βαρών (γ_{ds} , γ_{dm} , Πιν. 6.5). Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.6 που ακολουθεί, ενώ με βάση τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψαν τα ιστογράμματα (Εικ. 6.9, 6.10, 6.11, 6.12).

Πίνακας 6.5: Τιμές του ξηρού φαινόμενου βάρους τόσο με τη μέθοδο της άνωσης (γ_{ds}), όσο και με τη μέθοδο του μικρομέτρου (γ_{dm}).

Κωδικός Δοκιμίου	γ_{ds} (kN/m ³)	γ_{dm} (kN/m ³)
ΚΠ01Α	30.65	30.43
ΚΠ01Β	30.63	30.24
ΚΠ01Γ	30.61	30.08
ΚΠ01Δ	30.67	30.11
ΚΠ02Α	31.84	31.61
ΚΠ02Β	31.82	31.56
ΚΠ02Γ	31.94	31.49
ΚΠ03Α	31.17	30.94
ΚΠ03Β	31.19	31.00
ΚΠ03Γ	31.23	31.14
ΚΠ03Δ	31.01	30.83
ΚΠ04Α	31.55	31.19
ΚΠ04Β	31.62	31.34
ΚΠ04Γ	31.49	31.21
ΚΠ04Δ	31.58	31.31
ΚΠ04Ε	31.52	31.29
ΚΠ05Α	30.74	30.20
ΚΠ05Β	30.91	30.36
ΚΠ05Γ	30.93	30.38
ΚΠ05Δ	30.85	30.30
ΚΠ06Α	33.10	32.98
ΚΠ06Β	33.14	33.01
ΚΠ06Γ	32.97	32.84
ΚΠ06Δ	33.19	33.06
ΚΠ06Ε	33.05	32.95
ΚΠ06Ζ	33.16	33.03
ΚΠ06Η	33.07	32.94
ΚΠ07Α	32.90	32.48
ΚΠ07Β	32.98	32.51

Κωδικός Δοκιμίου	γ_{ds} (kN/m ³)	γ_{dm} (kN/m ³)
ΚΠ07Γ	32.91	32.34
ΚΠ07Δ	32.95	32.56
ΚΠ07Ε	32.89	32.41
ΚΠ07Ζ	32.93	32.32
ΚΠ07Η	32.86	32.34
ΚΠ08Α	33.30	33.19
ΚΠ08Β	33.11	33.00
ΚΠ08Γ	33.19	33.08
ΚΠ08Δ	33.23	33.12
ΚΠ09Α	32.23	32.10
ΚΠ09Β	32.20	32.07
ΚΠ09Γ	32.15	32.02
ΚΠ09Δ	32.26	32.28
ΚΣ01Α	25.66	25.27
ΚΣ01Β	25.64	25.42
ΚΣ01Γ	25.88	25.62
ΚΣ01Δ	25.74	25.40
ΚΣ01Ε	25.59	25.05
ΚΣ02Α	26.30	26.11
ΚΣ02Β	26.33	26.12
ΚΣ02Γ	26.49	26.14
ΚΣ02Δ	26.27	25.84
ΚΣ03Α	25.66	25.33
ΚΣ03Β	25.52	25.23
ΚΣ03Γ	25.49	25.14
ΚΣ03Δ	25.42	24.12
ΚΣ04Α	26.39	26.10
ΚΣ04Β	26.31	26.04
ΚΣ04Γ	26.32	26.17

Κωδικός Δοκιμίου	γ_{ds} (kN/m ³)	γ_{dm} (kN/m ³)
ΚΣ05Α	24.56	24.39
ΚΣ05Β	24.63	24.32
ΚΣ05Γ	24.46	24.23
ΚΣ05Δ	24.49	24.13
ΚΣ06Α	25.60	25.31
ΚΣ06Β	25.81	25.54
ΚΣ06Γ	25.48	25.15
ΚΣ07Α	26.70	26.45
ΚΣ07Β	26.50	26.35
ΚΣ07Γ	26.66	26.33
ΚΣ08Α	26.32	26.19
ΚΣ08Β	26.25	25.90
ΚΣ08Γ	26.08	25.86
ΚΣ08Δ	26.13	25.85
ΚΣ08Ε	26.24	25.92
ΚΣ08Ζ	26.21	25.89
ΚΣ09Α	25.57	25.27
ΚΣ09Β	25.60	25.34
ΚΣ09Γ	25.43	25.05
ΚΣ09Δ	25.35	24.96
ΚΣ10Α	25.99	25.77
ΚΣ10Β	26.22	25.98
ΚΣ10Γ	26.09	25.79
ΚΣ10Δ	26.16	25.78
ΚΣ10Ε	26.02	25.75
ΚΣ10Ζ	26.23	25.94
ΚΣ11Α	26.83	26.74
ΚΣ11Β	26.84	26.63
ΚΣ11Γ	26.81	26.53

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ

Κωδικός Δοκιμίου	γ_{ds} (kN/m ³)	γ_{dm} (kN/m ³)
ΚΣ11Α	26.79	26.62
ΚΣ11Ε	26.69	26.49
ΚΣ11Ζ	26.75	26.59
ΚΣ11Η	26.86	26.70
ΚΣ12Α	25.97	25.73
ΚΣ12Β	26.09	25.81
ΚΣ12Γ	26.01	25.75
ΚΣ12Δ	25.94	25.60
ΚΣ13Α	26.49	25.96
ΚΣ13Β	26.64	26.43
ΚΣ13Γ	26.30	26.07
ΚΣ14Α	25.90	25.58
ΚΣ14Β	25.98	25.65
ΚΣ14Γ	25.81	25.58
ΚΣ14Δ	25.82	25.55
ΚΣ14Ε	25.82	25.46
ΚΣ15Α	24.76	24.35
ΚΣ15Β	24.53	24.02
ΚΣ15Γ	24.67	24.23
ΚΣ15Δ	24.56	24.16
ΚΣ16Α	25.87	25.71
ΚΣ16Β	25.96	25.66
ΚΣ16Γ	25.74	25.34
ΟΠ01Α	31.75	31.45
ΟΠ01Β	31.67	31.26
ΟΠ01Γ	31.58	31.19
ΟΠ01Δ	31.71	31.27
ΟΠ01Ε	31.64	31.20
ΟΠ01Ζ	31.55	31.11
ΟΠ01Η	31.79	31.41
ΟΠ02Α	30.95	30.43
ΟΠ02Β	31.04	30.48
ΟΠ02Γ	30.89	30.44
ΟΠ02Δ	31.07	30.67
ΟΠ03Α	31.12	30.77
ΟΠ03Β	31.21	30.76
ΟΠ03Γ	31.09	30.42
ΟΠ04Α	31.26	31.08
ΟΠ04Β	31.33	31.14
ΟΠ04Γ	31.39	31.20
ΟΠ04Δ	31.24	30.96
ΟΠ04Ε	31.18	30.99
ΟΠ05Α	31.21	30.75
ΟΠ05Β	31.14	30.68
ΟΠ05Γ	31.22	30.76
ΟΠ05Δ	31.09	30.63
ΟΠ06Α	31.99	31.82
ΟΠ06Β	31.75	31.37
ΟΠ06Γ	32.02	31.65
ΟΠ06Δ	31.88	31.52

Κωδικός Δοκιμίου	γ_{ds} (kN/m ³)	γ_{dm} (kN/m ³)
ΟΠ07Α	32.08	31.87
ΟΠ07Β	32.13	31.94
ΟΠ07Γ	32.21	32.15
ΟΠ07Δ	32.01	31.95
ΟΠ07Ε	32.17	31.98
ΟΠ07Ζ	32.15	31.96
ΟΠ07Η	32.19	32.00
ΟΠ08Α	30.99	30.46
ΟΠ08Β	30.96	30.29
ΟΠ08Γ	30.91	30.33
ΟΠ08Δ	30.94	30.42
ΟΠ09Α	32.82	32.65
ΟΠ09Β	32.79	32.54
ΟΠ09Γ	32.85	32.68
ΟΠ10Α	33.27	32.81
ΟΠ10Β	33.36	32.89
ΟΠ10Γ	33.30	32.84
ΟΠ10Δ	33.25	32.82
ΟΠ11Α	32.48	32.38
ΟΠ11Β	32.41	32.31
ΟΠ11Γ	32.46	32.36
ΟΠ11Δ	32.37	32.27
ΟΠ12Α	32.47	32.01
ΟΠ12Β	32.41	32.00
ΟΠ12Γ	32.36	31.96
ΟΠ13Α	33.15	33.05
ΟΠ13Β	33.21	33.11
ΟΠ13Γ	33.24	33.14
ΟΠ14Α	33.02	32.92
ΟΠ14Β	33.08	32.94
ΟΠ14Γ	32.97	32.75
ΟΠ14Δ	32.94	32.84
ΟΠ14Ε	33.05	32.95
ΟΠ14Ζ	32.99	32.89
ΟΠ14Η	33.10	33.00
ΟΠ15Α	33.11	32.61
ΟΠ15Β	32.99	32.41
ΟΠ15Γ	33.02	32.15
ΟΠ15Δ	33.15	32.39
ΟΠ16Α	32.27	31.92
ΟΠ16Β	32.21	31.94
ΟΠ16Γ	32.19	31.49
ΟΠ17Α	32.44	32.41
ΟΠ17Β	32.52	32.58
ΟΠ17Γ	32.38	32.34
ΟΠ18Α	32.86	32.64
ΟΠ18Β	32.81	32.59
ΟΠ18Γ	32.84	32.66
ΟΠ19Α	33.18	33.01
ΟΠ19Β	33.23	32.85

Κωδικός Δοκιμίου	γ_{ds} (kN/m ³)	γ_{dm} (kN/m ³)
ΟΠ19Γ	33.16	32.71
ΟΠ19Δ	33.12	32.96
ΟΠ19Ε	33.19	33.02
ΟΠ19Ζ	33.11	32.95
ΟΠ19Η	33.21	33.04
ΟΠ20Α	32.22	31.74
ΟΠ20Β	32.25	31.82
ΟΠ20Γ	32.14	31.39
ΟΠ20Δ	32.09	31.49
ΟΠ21Α	31.10	30.52
ΟΠ21Β	31.05	30.47
ΟΠ21Γ	30.97	30.39
ΟΠ21Δ	31.16	30.49
ΟΠ22Α	31.80	31.36
ΟΠ22Β	31.73	31.29
ΟΠ22Γ	31.69	31.25
ΟΠ23Α	33.36	33.29
ΟΠ23Β	33.31	33.24
ΟΠ23Γ	33.32	33.25
ΟΠ24Α	33.30	32.84
ΟΠ24Β	33.27	32.93
ΟΠ24Γ	33.24	32.76
ΟΠ25Α	30.91	30.30
ΟΠ25Β	30.85	30.25
ΟΠ25Γ	30.87	30.26
ΟΠ26Α	31.29	30.74
ΟΠ26Β	31.35	30.43
ΟΠ26Γ	31.21	30.66
ΟΣ01Α	25.70	25.52
ΟΣ01Β	25.90	25.61
ΟΣ01Γ	25.73	25.37
ΟΣ01Δ	25.58	25.34
ΟΣ02Α	24.98	24.71
ΟΣ02Β	24.96	24.69
ΟΣ02Γ	24.88	24.62
ΟΣ02Δ	25.00	24.75
ΟΣ02Ε	24.90	24.67
ΟΣ02Ζ	24.95	24.72
ΟΣ03Α	25.49	25.31
ΟΣ03Β	25.52	25.06
ΟΣ03Γ	25.32	25.14
ΟΣ04Α	25.88	25.43
ΟΣ04Β	26.19	25.88
ΟΣ04Γ	26.29	25.94
ΟΣ04Δ	25.90	25.55
ΟΣ05Α	25.98	25.82
ΟΣ05Β	25.80	25.35
ΟΣ05Γ	25.82	26.05
ΟΣ06Α	26.70	26.09
ΟΣ06Β	26.44	25.33

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ

Κωδικός Δοκιμίου	γ_{ds} (kN/m ³)	γ_{dm} (kN/m ³)
ΟΣ07Α	25.38	25.14
ΟΣ07Β	25.36	25.10
ΟΣ07Γ	25.34	24.76
ΟΣ08Α	25.05	25.01
ΟΣ08Β	25.08	24.67
ΟΣ08Γ	25.02	24.87
ΟΣ08Δ	25.13	24.81
ΟΣ08Ε	25.11	24.96
ΟΣ08Ζ	25.09	24.85
ΟΣ09Α	25.35	25.21
ΟΣ09Β	25.38	25.23
ΟΣ09Γ	25.34	24.76
ΟΣ09Δ	25.40	25.12
ΟΣ09Ε	25.41	25.20
ΟΣ09Ζ	25.38	25.19
ΟΣ09Η	25.30	25.11
ΟΣ10Α	26.18	25.97
ΟΣ10Β	26.19	25.95
ΟΣ10Γ	26.15	25.73
ΟΣ11Α	26.53	25.62
ΟΣ11Β	26.50	26.07
ΟΣ11Γ	26.37	26.20
ΟΣ11Δ	26.57	26.21
ΟΣ12Α	26.18	25.84
ΟΣ12Β	26.08	25.81
ΟΣ12Γ	26.15	25.91
ΟΣ13Α	25.58	25.29
ΟΣ13Β	25.84	25.59
ΟΣ13Γ	25.68	25.49
ΟΣ14Α	25.54	25.33
ΟΣ14Β	25.76	25.43
ΟΣ14Γ	25.68	25.36
ΟΣ15Α	26.25	26.22
ΟΣ15Β	26.13	25.82
ΟΣ15Γ	25.82	25.60
ΟΣ16Α	25.77	25.46
ΟΣ16Β	25.58	25.25
ΟΣ16Γ	25.62	25.12
ΟΣ16Δ	25.40	25.19
ΟΣ17Α	25.26	25.14
ΟΣ17Β	25.22	25.07
ΟΣ17Γ	25.10	24.79
ΟΣ17Δ	25.12	24.90
ΟΣ18Α	26.38	26.14
ΟΣ18Β	26.26	26.09
ΟΣ18Γ	26.49	26.24
ΟΣ18Δ	26.51	26.04
ΟΣ19Α	25.13	25.14
ΟΣ19Β	25.02	25.00
ΟΣ19Γ	25.29	25.05

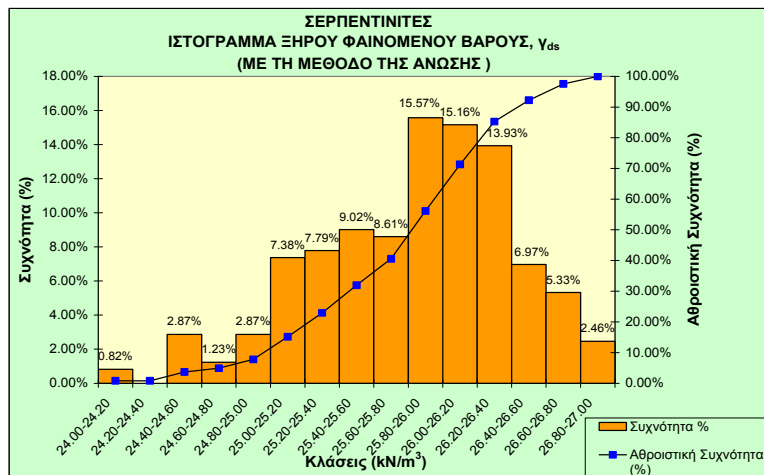
Κωδικός Δοκιμίου	γ_{ds} (kN/m ³)	γ_{dm} (kN/m ³)
ΟΣ19Δ	25.34	24.29
ΟΣ19Ε	25.17	25.04
ΟΣ20Α	26.44	26.19
ΟΣ20Β	26.37	26.14
ΟΣ20Γ	26.25	25.67
ΟΣ21Α	26.84	26.61
ΟΣ21Β	26.81	26.62
ΟΣ21Γ	26.46	26.41
ΟΣ21Δ	26.76	26.60
ΟΣ22Α	25.09	24.73
ΟΣ22Β	25.22	24.93
ΟΣ22Γ	25.14	24.69
ΟΣ22Δ	25.23	25.21
ΟΣ23Α	26.27	25.98
ΟΣ23Β	26.45	25.92
ΟΣ23Γ	26.26	25.73
ΟΣ24Α	26.09	25.79
ΟΣ24Β	25.90	25.56
ΟΣ24Γ	26.05	25.60
ΟΣ25Α	26.52	26.28
ΟΣ25Β	26.68	26.42
ΟΣ25Γ	26.61	26.23
ΟΣ25Δ	26.65	26.40
ΟΣ25Ε	26.55	26.31
ΟΣ25Ζ	26.60	26.36
ΟΣ26Α	26.10	25.65
ΟΣ26Β	25.86	25.26
ΟΣ26Γ	26.18	25.73
ΟΣ26Δ	26.01	24.80
ΟΣ27Α	25.76	25.48
ΟΣ27Β	25.54	24.53
ΟΣ27Γ	25.81	25.52
ΟΣ27Δ	25.87	25.36
ΟΣ27Ε	25.45	25.08
ΟΣ27Ζ	25.84	25.44
ΟΣ28Α	26.52	26.20
ΟΣ28Β	26.32	25.94
ΟΣ28Γ	26.28	25.58
ΟΣ28Δ	26.36	26.16
ΟΣ28Ε	26.61	26.32
ΟΣ29Α	26.01	25.71
ΟΣ29Β	25.77	25.49
ΟΣ29Γ	25.84	25.44
ΟΣ29Δ	25.73	25.49
ΟΣ30Α	25.62	25.42
ΟΣ30Β	25.67	25.18
ΟΣ30Γ	25.55	25.03
ΟΣ30Δ	25.53	25.25
ΟΣ30Ε	25.69	25.43
ΟΣ30Ζ	25.60	25.28

Κωδικός Δοκιμίου	γ_{ds} (kN/m ³)	γ_{dm} (kN/m ³)
ΟΣ31Α	26.11	25.81
ΟΣ31Β	26.19	25.60
ΟΣ31Γ	25.90	25.71
ΟΣ32Α	26.37	26.00
ΟΣ32Β	26.15	25.79
ΟΣ32Γ	26.20	25.96
ΟΣ32Δ	26.24	25.98
ΟΣ33Α	26.17	25.92
ΟΣ33Β	26.07	25.29
ΟΣ33Γ	26.10	25.51
ΟΣ34Α	25.84	25.48
ΟΣ34Β	25.75	25.55
ΟΣ34Γ	26.08	25.86
ΟΣ34Δ	26.02	25.84
ΟΣ34Ε	25.90	25.70
ΟΣ34Ζ	26.05	25.77
ΟΣ34Η	25.86	25.64
ΟΣ35Α	24.17	23.93
ΟΣ35Β	24.20	23.52
ΟΣ35Γ	24.52	23.94
ΟΣ35Δ	24.59	24.08
ΟΣ36Α	26.40	26.06
ΟΣ36Β	26.24	25.79
ΟΣ36Γ	26.29	25.82
ΟΣ36Δ	26.35	25.94
ΟΣ36Ε	26.41	26.08
ΟΣ36Ζ	26.32	25.99
ΟΣ36Η	26.46	26.13
ΟΣ37Α	26.19	25.99
ΟΣ37Β	25.94	25.60
ΟΣ37Γ	25.86	25.68
ΟΣ38Α	25.83	25.61
ΟΣ38Β	26.18	25.86
ΟΣ38Γ	25.92	25.72
ΟΣ39Α	25.94	25.64
ΟΣ39Β	26.00	25.62
ΟΣ39Γ	25.90	25.69
ΟΣ39Δ	25.94	25.53
ΟΣ40Α	25.21	24.58
ΟΣ40Β	24.95	24.70
ΟΣ40Γ	25.05	24.81
ΟΣ40Δ	25.04	23.74
ΟΣ40Ε	25.11	24.79
ΟΣ40Ζ	24.88	24.46
ΟΣ40Η	25.07	24.88
ΟΣ41Α	26.16	25.93
ΟΣ41Β	26.06	25.82
ΟΣ41Γ	25.92	25.59
ΟΣ42Α	26.32	26.02
ΟΣ42Β	26.05	25.66

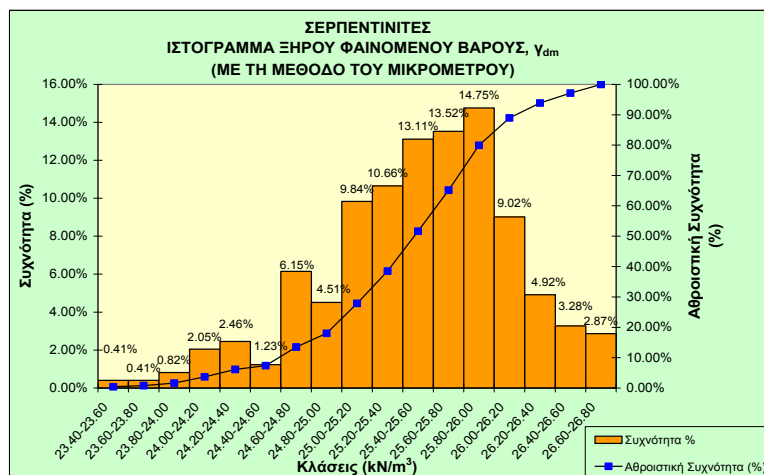
Κωδικός Δοκιμίου	γ_{ds} (kN/m ³)	γ_{dm} (kN/m ³)	Κωδικός Δοκιμίου	γ_{ds} (kN/m ³)	γ_{dm} (kN/m ³)
ΟΣ42Γ	26.39	25.96	ΟΣ43Β	25.47	24.84
ΟΣ43Α	25.55	25.36	ΟΣ43Γ	25.48	25.19

Πίνακας 6.6: Στατιστική ανάλυση των τιμών του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες και με τις δυο μεθόδους.

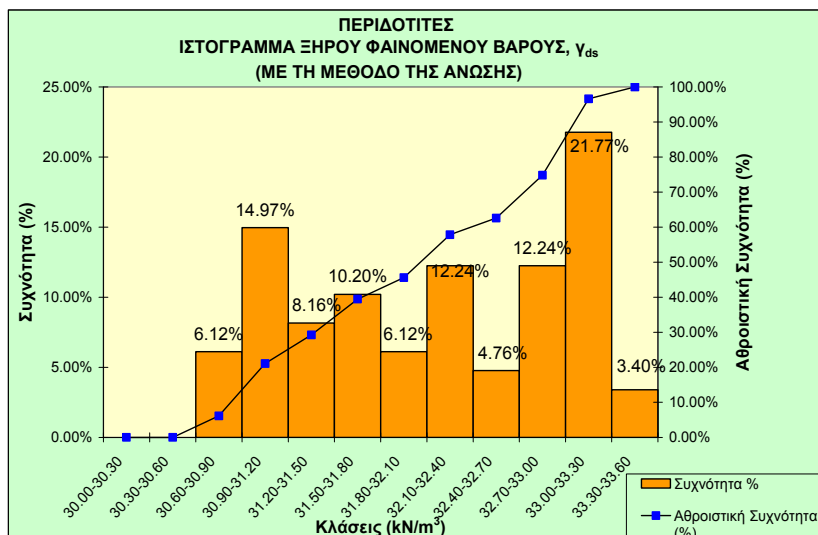
	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΕΣ		ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΕΣ	
	Ξηρό φαινόμενο βάρος, γ_{ds} (kN/m ³)	Ξηρό φαινόμενο βάρος, γ_{dm} (kN/m ³)	Ξηρό φαινόμενο βάρος, γ_{ds} (kN/m ³)	Ξηρό φαινόμενο βάρος, γ_{dm} (kN/m ³)
Μέγιστη τιμή	26.86	26.74	33.36	33.29
Ελάχιστη τιμή	24.17	23.52	30.61	30.08
Μέση τιμή	25.84	25.51	32.14	31.81
Τυπική απόκλιση	0.57	0.61	0.86	0.97
Πλήθος δοκιμών	244	244	147	147



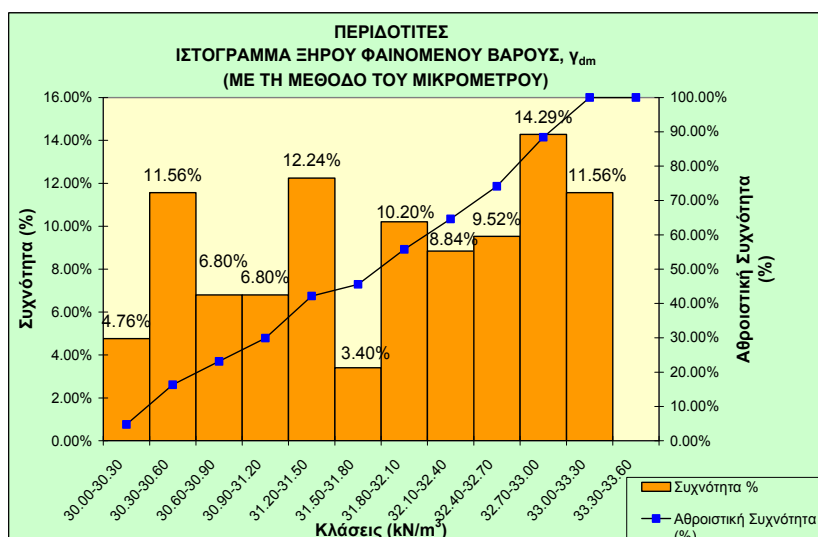
Εικόνα 6.9: Ιστογράμμο κατανομής του ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_{ds}) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.10: Ιστογράμμο κατανομής του ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_{dm}) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.11: Ιστόγραμμα κατανομής του ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_{ds}) για τους περιδοτίτες.



Εικόνα 6.12: Ιστόγραμμα κατανομής του ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_{dm}) για τους περιδοτίτες.

Τα ξηρά φαινόμενα βάρη των σερπεντινιτών παρουσιάζουν εμφανώς μικρότερες τιμές συγκρινόμενες με αυτές των περιδοτιτών, λόγω των διαφορετικών ορυκτολογικών και ιστολογικών χαρακτηριστικών των δύο ομάδων πετρωμάτων (Κεφάλαιο 3). Στους σερπεντινίτες, το ξηρό φαινόμενο βάρος κυμαίνεται από 23.52 έως 26.86kN/m³, ενώ στους περιδοτίτες από 30.08 έως 33.36kN/m³ (ανάλογα τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε). Είναι επίσης φανερό πως στην πλειοψηφία τους, τα δοκίμια με το μεγαλύτερο πορώδες παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές ξηρού φαινόμενου βάρους. Για τους σερπεντινίτες τα μεγαλύτερα ποσοστά ξηρού φαινόμενου βάρους κυμαίνονται από 25.80-26.00kN/m³ και μόνο ένα μικρό ποσοστό φανέρωνε τιμές μικρότερες από 24.20kN/m³ και μεγαλύτερες από 26.80kN/m³. Όσον αφορά τους περιδοτίτες τα μεγαλύτερα ποσοστά ξηρού φαινόμενου βάρους κυμαίνονται από 32.70 έως 33.30kN/m³.

6.1.4 Κορεσμένο Φαινόμενο Βάρος (γ_{sat})

Τα κορεσμένα φαινόμενα βάρη (γ_{sats} , γ_{satm}) προσδιορίστηκαν στα ίδια δοκίμια (244 δοκίμια σερπεντινιτών και 147 δοκίμια περιδοτιτών) που υπολογίστηκαν και οι προαναφερθείσες φυσικές ιδιότητες και οι τιμές τους πατραίθενται στον **Πίνακα 6.7**. Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης εμφανίζονται στον **Πίνακα 6.8** και στις **Εικόνες 6.13, 6.14, 6.15, 6.16**.

Πίνακας 6.7: Τιμές του κορεσμένου φαινομένου βάρους τόσο με τη μέθοδο της άνωσης (γ_{sats}), όσο και με τη μέθοδο του μικρομέτρου (γ_{satm}).

Κωδικός Δοκιμίου	γ_{sats} (kN/m ³)	γ_{satm} (kN/m ³)	Κωδικός Δοκιμίου	γ_{sats} (kN/m ³)	γ_{satm} (kN/m ³)	Κωδικός Δοκιμίου	γ_{sats} (kN/m ³)	γ_{satm} (kN/m ³)
ΚΠ01Α	30.68	30.46	ΚΠ08Γ	33.20	33.09	ΚΣ08Ε	26.31	25.98
ΚΠ01Β	30.65	30.26	ΚΠ08Δ	33.24	33.13	ΚΣ08Ζ	26.27	25.96
ΚΠ01Γ	30.63	30.10	ΚΠ09Α	32.24	32.11	ΚΣ09Α	25.78	25.48
ΚΠ01Δ	30.69	30.13	ΚΠ09Β	32.21	32.08	ΚΣ09Β	25.82	25.55
ΚΠ02Α	31.86	31.63	ΚΠ09Γ	32.16	32.04	ΚΣ09Γ	25.65	25.27
ΚΠ02Β	31.84	31.58	ΚΠ09Δ	32.27	32.29	ΚΣ09Δ	25.59	25.19
ΚΠ02Γ	31.96	31.51	ΚΣ01Α	25.80	25.41	ΚΣ10Α	26.07	25.85
ΚΠ03Α	31.20	30.97	ΚΣ01Β	25.77	25.56	ΚΣ10Β	26.28	26.05
ΚΠ03Β	31.21	31.03	ΚΣ01Γ	26.00	25.74	ΚΣ10Γ	26.16	25.86
ΚΠ03Γ	31.25	31.16	ΚΣ01Δ	25.87	25.52	ΚΣ10Δ	26.23	25.85
ΚΠ03Δ	31.04	30.85	ΚΣ01Ε	25.73	25.19	ΚΣ10Ε	26.11	25.83
ΚΠ04Α	31.57	31.21	ΚΣ02Α	26.37	26.17	ΚΣ10Ζ	26.30	26.00
ΚΠ04Β	31.64	31.36	ΚΣ02Β	26.40	26.19	ΚΣ11Α	26.87	26.78
ΚΠ04Γ	31.51	31.23	ΚΣ02Γ	26.54	26.20	ΚΣ11Β	26.87	26.66
ΚΠ04Δ	31.60	31.33	ΚΣ02Δ	26.34	25.91	ΚΣ11Γ	26.85	26.57
ΚΠ04Ε	31.54	31.31	ΚΣ03Α	25.89	25.55	ΚΣ11Δ	26.82	26.65
ΚΠ05Α	30.77	30.22	ΚΣ03Β	25.74	25.45	ΚΣ11Ε	26.73	26.53
ΚΠ05Β	30.93	30.39	ΚΣ03Γ	25.72	25.37	ΚΣ11Ζ	26.79	26.62
ΚΠ05Γ	30.95	30.41	ΚΣ03Δ	25.66	24.35	ΚΣ11Η	26.90	26.74
ΚΠ05Δ	30.88	30.33	ΚΣ04Α	26.45	26.15	ΚΣ12Α	26.02	25.78
ΚΠ06Α	33.11	32.99	ΚΣ04Β	26.36	26.08	ΚΣ12Β	26.12	25.85
ΚΠ06Β	33.15	33.02	ΚΣ04Γ	26.37	26.22	ΚΣ12Γ	26.04	25.79
ΚΠ06Γ	32.98	32.85	ΚΣ05Α	25.01	24.84	ΚΣ12Δ	25.99	25.65
ΚΠ06Δ	33.20	33.06	ΚΣ05Β	25.01	24.69	ΚΣ13Α	26.53	26.00
ΚΠ06Ε	33.06	32.96	ΚΣ05Γ	24.97	24.74	ΚΣ13Β	26.68	26.47
ΚΠ06Ζ	33.17	33.04	ΚΣ05Δ	25.00	24.64	ΚΣ13Γ	26.34	26.11
ΚΠ06Η	33.08	32.95	ΚΣ06Α	25.81	25.53	ΚΣ14Α	25.98	25.66
ΚΠ07Α	32.91	32.49	ΚΣ06Β	26.02	25.74	ΚΣ14Β	26.05	25.72
ΚΠ07Β	32.99	32.52	ΚΣ06Γ	25.71	25.38	ΚΣ14Γ	25.90	25.67
ΚΠ07Γ	32.92	32.35	ΚΣ07Α	26.74	26.50	ΚΣ14Δ	25.91	25.65
ΚΠ07Δ	32.96	32.57	ΚΣ07Β	26.54	26.40	ΚΣ14Ε	25.91	25.56
ΚΠ07Ε	32.90	32.42	ΚΣ07Γ	26.71	26.37	ΚΣ15Α	25.24	24.82
ΚΠ07Ζ	32.94	32.33	ΚΣ08Α	26.37	26.24	ΚΣ15Β	25.12	24.60
ΚΠ07Η	32.87	32.36	ΚΣ08Β	26.31	25.96	ΚΣ15Γ	25.20	24.75
ΚΠ08Α	33.31	33.20	ΚΣ08Γ	26.15	25.94	ΚΣ15Δ	25.13	24.71
ΚΠ08Β	33.12	33.01	ΚΣ08Δ	26.20	25.92	ΚΣ16Α	25.92	25.76

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ

Κωδικός Δοκιμίου	γ_{sats} (kN/m ³)	γ_{satm} (kN/m ³)
ΚΣ16Β	26.02	25.72
ΚΣ16Γ	25.80	25.40
ΟΠ01Α	31.77	31.47
ΟΠ01Β	31.69	31.28
ΟΠ01Γ	31.60	31.21
ΟΠ01Δ	31.73	31.29
ΟΠ01Ε	31.66	31.22
ΟΠ01Ζ	31.57	31.13
ΟΠ01Η	31.81	31.43
ΟΠ02Α	30.97	30.45
ΟΠ02Β	31.06	30.50
ΟΠ02Γ	30.91	30.46
ΟΠ02Δ	31.09	30.69
ΟΠ03Α	31.14	30.79
ΟΠ03Β	31.23	30.78
ΟΠ03Γ	31.11	30.44
ΟΠ04Α	31.28	31.09
ΟΠ04Β	31.35	31.16
ΟΠ04Γ	31.41	31.22
ΟΠ04Δ	31.26	30.98
ΟΠ04Ε	31.20	31.01
ΟΠ05Α	31.23	30.77
ΟΠ05Β	31.16	30.70
ΟΠ05Γ	31.25	30.78
ΟΠ05Δ	31.11	30.66
ΟΠ06Α	32.01	31.84
ΟΠ06Β	31.77	31.39
ΟΠ06Γ	32.04	31.67
ΟΠ06Δ	31.90	31.54
ΟΠ07Α	32.09	31.89
ΟΠ07Β	32.14	31.95
ΟΠ07Γ	32.22	32.16
ΟΠ07Δ	32.02	31.96
ΟΠ07Ε	32.18	31.99
ΟΠ07Ζ	32.16	31.97
ΟΠ07Η	32.20	32.01
ΟΠ08Α	31.01	30.48
ΟΠ08Β	30.98	30.31
ΟΠ08Γ	30.93	30.36
ΟΠ08Δ	30.96	30.45
ΟΠ09Α	32.83	32.66
ΟΠ09Β	32.80	32.55
ΟΠ09Γ	32.86	32.69
ΟΠ10Α	33.27	32.81
ΟΠ10Β	33.37	32.90
ΟΠ10Γ	33.31	32.85
ΟΠ10Δ	33.26	32.83
ΟΠ11Α	32.49	32.40
ΟΠ11Β	32.42	32.33
ΟΠ11Γ	32.47	32.37

Κωδικός Δοκιμίου	γ_{sats} (kN/m ³)	γ_{satm} (kN/m ³)
ΟΠ11Δ	32.39	32.29
ΟΠ12Α	32.48	32.02
ΟΠ12Β	32.42	32.01
ΟΠ12Γ	32.38	31.98
ΟΠ13Α	33.16	33.06
ΟΠ13Β	33.22	33.12
ΟΠ13Γ	33.25	33.15
ΟΠ14Α	33.03	32.93
ΟΠ14Β	33.09	32.95
ΟΠ14Γ	32.98	32.76
ΟΠ14Δ	32.95	32.85
ΟΠ14Ε	33.06	32.96
ΟΠ14Ζ	33.00	32.90
ΟΠ14Η	33.11	33.01
ΟΠ15Α	33.11	32.62
ΟΠ15Β	33.00	32.42
ΟΠ15Γ	33.03	32.16
ΟΠ15Δ	33.16	32.40
ΟΠ16Α	32.28	31.94
ΟΠ16Β	32.22	31.95
ΟΠ16Γ	32.21	31.51
ΟΠ17Α	32.45	32.42
ΟΠ17Β	32.53	32.59
ΟΠ17Γ	32.39	32.35
ΟΠ18Α	32.87	32.65
ΟΠ18Β	32.82	32.60
ΟΠ18Γ	32.85	32.67
ΟΠ19Α	33.19	33.02
ΟΠ19Β	33.24	32.86
ΟΠ19Γ	33.17	32.72
ΟΠ19Δ	33.13	32.96
ΟΠ19Ε	33.20	33.03
ΟΠ19Ζ	33.12	32.95
ΟΠ19Η	33.22	33.05
ΟΠ20Α	32.23	31.76
ΟΠ20Β	32.27	31.84
ΟΠ20Γ	32.16	31.40
ΟΠ20Δ	32.11	31.51
ΟΠ21Α	31.12	30.54
ΟΠ21Β	31.07	30.50
ΟΠ21Γ	31.00	30.42
ΟΠ21Δ	31.18	30.51
ΟΠ22Α	31.81	31.38
ΟΠ22Β	31.75	31.31
ΟΠ22Γ	31.71	31.27
ΟΠ23Α	33.37	33.30
ΟΠ23Β	33.32	33.25
ΟΠ23Γ	33.33	33.26
ΟΠ24Α	33.31	32.85
ΟΠ24Β	33.28	32.94

Κωδικός Δοκιμίου	γ_{sats} (kN/m ³)	γ_{satm} (kN/m ³)
ΟΠ24Γ	33.25	32.77
ΟΠ25Α	30.93	30.32
ΟΠ25Β	30.87	30.27
ΟΠ25Γ	30.89	30.29
ΟΠ26Α	31.32	30.76
ΟΠ26Β	31.37	30.45
ΟΠ26Γ	31.24	30.68
ΟΣ01Α	25.75	25.58
ΟΣ01Β	25.95	25.66
ΟΣ01Γ	25.79	25.43
ΟΣ01Δ	25.65	25.41
ΟΣ02Α	25.32	25.06
ΟΣ02Β	25.31	25.04
ΟΣ02Γ	25.24	24.97
ΟΣ02Δ	25.35	25.10
ΟΣ02Ε	25.26	25.02
ΟΣ02Ζ	25.31	25.07
ΟΣ03Α	25.68	25.49
ΟΣ03Β	25.69	25.23
ΟΣ03Γ	25.52	25.34
ΟΣ04Α	26.03	25.58
ΟΣ04Β	26.32	26.01
ΟΣ04Γ	26.42	26.07
ΟΣ04Δ	26.04	25.69
ΟΣ05Α	26.11	25.94
ΟΣ05Β	25.93	25.47
ΟΣ05Γ	25.94	26.18
ΟΣ06Α	26.78	26.16
ΟΣ06Β	26.52	25.41
ΟΣ07Α	25.60	25.36
ΟΣ07Β	25.59	25.33
ΟΣ07Γ	25.59	25.00
ΟΣ08Α	25.30	25.25
ΟΣ08Β	25.32	24.90
ΟΣ08Γ	25.25	25.09
ΟΣ08Δ	25.35	25.03
ΟΣ08Ε	25.34	25.18
ΟΣ08Ζ	25.32	25.08
ΟΣ09Α	25.58	25.43
ΟΣ09Β	25.61	25.45
ΟΣ09Γ	25.58	24.99
ΟΣ09Δ	25.62	25.34
ΟΣ09Ε	25.63	25.41
ΟΣ09Ζ	25.61	25.41
ΟΣ09Η	25.53	25.34
ΟΣ10Α	26.26	26.04
ΟΣ10Β	26.27	26.03
ΟΣ10Γ	26.23	25.81
ΟΣ11Α	26.58	25.67
ΟΣ11Β	26.56	26.13

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ

Κωδικός Δοκιμίου	γ_{sats} (kN/m ³)	γ_{satm} (kN/m ³)
ΟΣ11Γ	26.43	26.26
ΟΣ11Α	26.62	26.27
ΟΣ12Α	26.24	25.91
ΟΣ12Β	26.15	25.88
ΟΣ12Γ	26.21	25.97
ΟΣ13Α	25.77	25.49
ΟΣ13Β	26.02	25.76
ΟΣ13Γ	25.87	25.68
ΟΣ14Α	25.76	25.55
ΟΣ14Β	25.97	25.65
ΟΣ14Γ	25.90	25.57
ΟΣ15Α	26.30	26.27
ΟΣ15Β	26.18	25.87
ΟΣ15Γ	25.89	25.67
ΟΣ16Α	25.93	25.62
ΟΣ16Β	25.76	25.42
ΟΣ16Γ	25.79	25.29
ΟΣ16Δ	25.58	25.38
ΟΣ17Α	25.49	25.37
ΟΣ17Β	25.45	25.30
ΟΣ17Γ	25.35	25.04
ΟΣ17Δ	25.36	25.15
ΟΣ18Α	26.43	26.18
ΟΣ18Β	26.30	26.13
ΟΣ18Γ	26.53	26.29
ΟΣ18Δ	26.55	26.08
ΟΣ19Α	25.37	25.38
ΟΣ19Β	25.28	25.26
ΟΣ19Γ	25.50	25.26
ΟΣ19Δ	25.55	24.50
ΟΣ19Ε	25.40	25.26
ΟΣ20Α	26.48	26.23
ΟΣ20Β	26.42	26.19
ΟΣ20Γ	26.31	25.73
ΟΣ21Α	26.87	26.65
ΟΣ21Β	26.85	26.66
ΟΣ21Γ	26.50	26.45
ΟΣ21Δ	26.80	26.64
ΟΣ22Α	25.38	25.02
ΟΣ22Β	25.50	25.20
ΟΣ22Γ	25.43	24.97
ΟΣ22Δ	25.50	25.48
ΟΣ23Α	26.31	26.02
ΟΣ23Β	26.49	25.96
ΟΣ23Γ	26.30	25.76
ΟΣ24Α	26.16	25.86
ΟΣ24Β	25.97	25.63

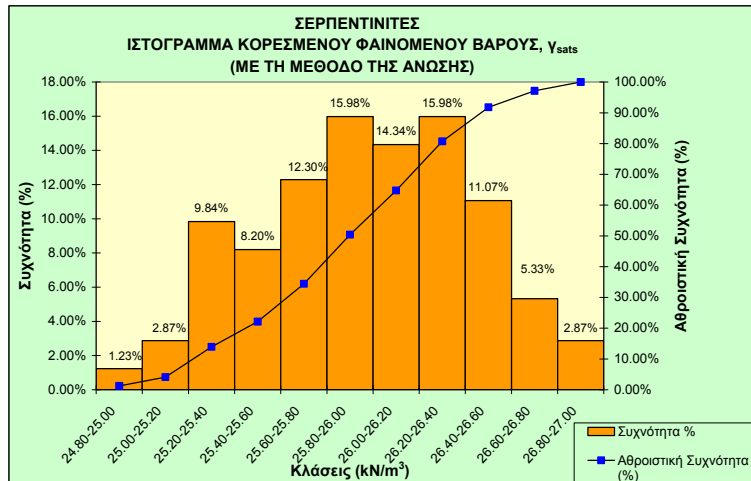
Κωδικός Δοκιμίου	γ_{sats} (kN/m ³)	γ_{satm} (kN/m ³)
ΟΣ24Γ	26.13	25.67
ΟΣ25Α	26.57	26.33
ΟΣ25Β	26.72	26.46
ΟΣ25Γ	26.66	26.29
ΟΣ25Δ	26.70	26.45
ΟΣ25Ε	26.60	26.36
ΟΣ25Ζ	26.65	26.41
ΟΣ26Α	26.20	25.74
ΟΣ26Β	25.98	25.38
ΟΣ26Γ	26.28	25.82
ΟΣ26Δ	26.13	24.91
ΟΣ27Α	25.90	25.61
ΟΣ27Β	25.68	24.67
ΟΣ27Γ	25.93	25.64
ΟΣ27Δ	25.98	25.46
ΟΣ27Ε	25.60	25.22
ΟΣ27Ζ	25.95	25.56
ΟΣ28Α	26.57	26.24
ΟΣ28Β	26.36	25.97
ΟΣ28Γ	26.33	25.63
ΟΣ28Δ	26.40	26.21
ΟΣ28Ε	26.64	26.35
ΟΣ29Α	26.06	25.76
ΟΣ29Β	25.85	25.56
ΟΣ29Γ	25.90	25.50
ΟΣ29Δ	25.80	25.56
ΟΣ30Α	25.78	25.57
ΟΣ30Β	25.82	25.33
ΟΣ30Γ	25.71	25.19
ΟΣ30Δ	25.70	25.41
ΟΣ30Ε	25.85	25.58
ΟΣ30Ζ	25.76	25.44
ΟΣ31Α	26.18	25.88
ΟΣ31Β	26.25	25.67
ΟΣ31Γ	25.98	25.78
ΟΣ32Α	26.41	26.04
ΟΣ32Β	26.20	25.85
ΟΣ32Γ	26.24	26.00
ΟΣ32Δ	26.29	26.03
ΟΣ33Α	26.24	25.98
ΟΣ33Β	26.14	25.36
ΟΣ33Γ	26.17	25.58
ΟΣ34Α	25.97	25.61
ΟΣ34Β	25.89	25.68
ΟΣ34Γ	26.19	25.97
ΟΣ34Δ	26.14	25.96
ΟΣ34Ε	26.02	25.83

Κωδικός Δοκιμίου	γ_{sats} (kN/m ³)	γ_{satm} (kN/m ³)
ΟΣ34Ζ	26.17	25.89
ΟΣ34Η	25.98	25.77
ΟΣ35Α	24.95	24.70
ΟΣ35Β	24.94	24.24
ΟΣ35Γ	25.10	24.51
ΟΣ35Δ	25.14	24.62
ΟΣ36Α	26.44	26.11
ΟΣ36Β	26.30	25.85
ΟΣ36Γ	26.35	25.88
ΟΣ36Δ	26.41	25.99
ΟΣ36Ε	26.46	26.13
ΟΣ36Ζ	26.37	26.05
ΟΣ36Η	26.51	26.17
ΟΣ37Α	26.23	26.03
ΟΣ37Β	25.99	25.65
ΟΣ37Γ	25.91	25.73
ΟΣ38Α	25.91	25.68
ΟΣ38Β	26.23	25.90
ΟΣ38Γ	25.97	25.78
ΟΣ39Α	26.06	25.75
ΟΣ39Β	26.11	25.73
ΟΣ39Γ	26.03	25.81
ΟΣ39Δ	26.05	25.64
ΟΣ40Α	25.51	24.87
ΟΣ40Β	25.33	25.06
ΟΣ40Γ	25.40	25.15
ΟΣ40Δ	25.35	24.04
ΟΣ40Ε	25.42	25.10
ΟΣ40Ζ	25.26	24.83
ΟΣ40Η	25.39	25.20
ΟΣ41Α	26.22	25.99
ΟΣ41Β	26.14	25.89
ΟΣ41Γ	26.01	25.68
ΟΣ42Α	26.37	26.07
ΟΣ42Β	26.11	25.72
ΟΣ42Γ	26.43	26.00
ΟΣ43Α	25.74	25.54
ΟΣ43Β	25.67	25.04
ΟΣ43Γ	25.68	25.39

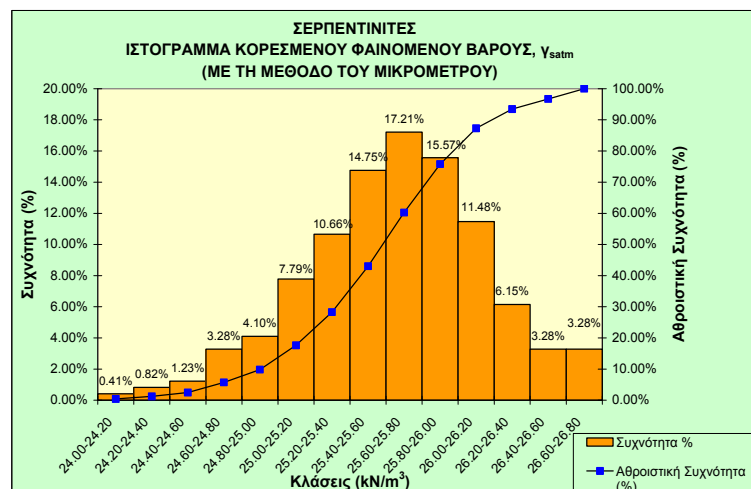
Πίνακας 6.8: Στατιστική ανάλυση των τιμών του κορεσμένου φαινομένου βάρους για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες και με τις δυο μεθόδους.

	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΕΣ		ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΕΣ	
	Κορεσμένο Φαινόμενο βάρος, γ_{sats} (kN/m^3)	Κορεσμένο Φαινόμενο βάρος, γ_{satm} (kN/m^3)	Κορεσμένο Φαινόμενο βάρος, γ_{sats} (kN/m^3)	Κορεσμένο Φαινόμενο βάρος, γ_{satm} (kN/m^3)
Μέγιστη τιμή	26.90	26.78	33.37	33.30
Ελάχιστη τιμή	24.94	24.04	30.63	30.10
Μέση τιμή	25.98	25.66	32.16	31.83
Τυπική απόκλιση	0.46	0.50	0.86	0.96
Πλήθος δοκιμών	244	244	147	147

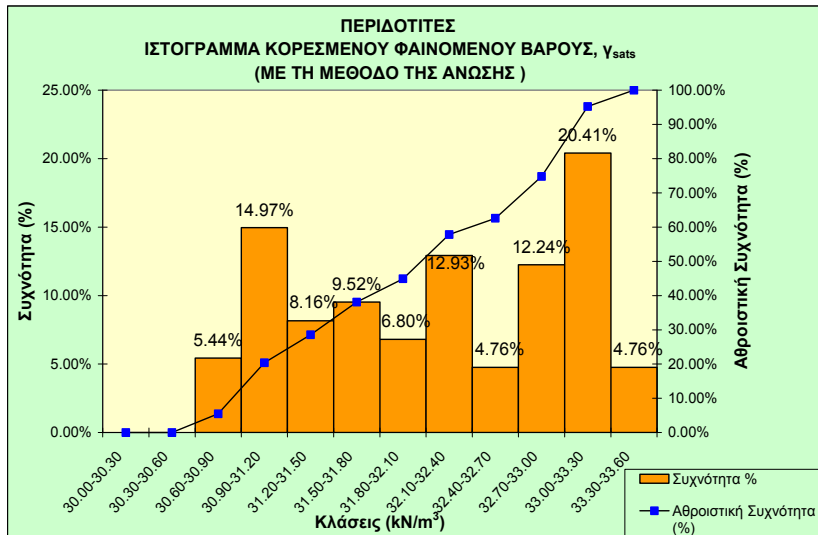
Στους σερπεντινίτες, το κορεσμένο φαινόμενο βάρος κυμαίνεται από 24.04 έως 26.90 kN/m^3 , ενώ στους περιδοτίτες από 30.10 έως και 33.37 kN/m^3 (άναλογα τη μέθοδο με την οποία προσδιορίστηκαν).



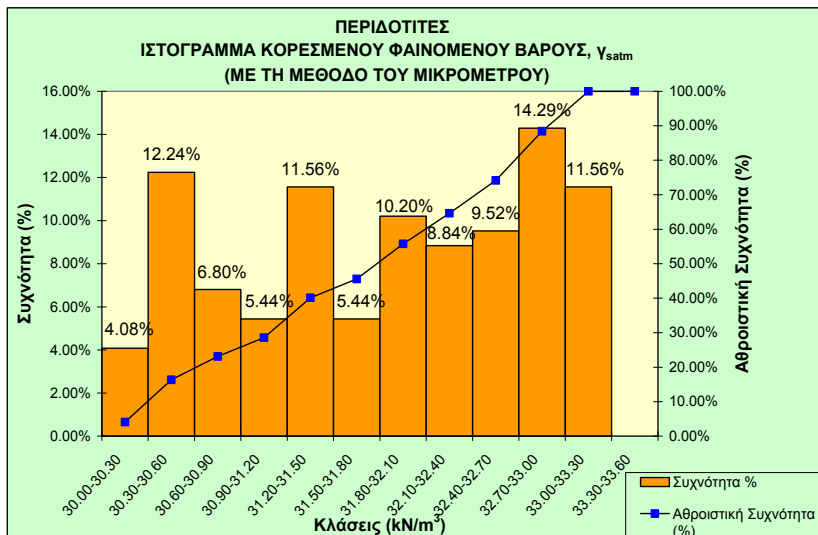
Εικόνα 6.13: Ιστόγραμμα κατανομής του κορεσμένου φαινομένου βάρους (γ_{sats}) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.14: Ιστόγραμμα κατανομής του κορεσμένου φαινομένου βάρους (γ_{satm}) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.15: Ιστόγραμμα κατανομής του κορεσμένου φαινομένου βάρους (γ_{sats}) για τους περιδοτίτες.



Εικόνα 6.16: Ιστόγραμμα κατανομής του κορεσμένου φαινομένου βάρους (γ_{satm}) για τους περιδοτίτες.

Παρόμοια συμπεράσματα με αυτά του ξηρού φαινομένου βάρους, προκύπτουν και για το κορεσμένο φαινόμενο βάρος. Οι περιδοτίτες δηλαδή, εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές από τους σερπεντινίτες (απόλυτα αναμενόμενο). Επίσης, τα δοκίμια με το μεγαλύτερο πορώδες εμφανίζουν τις μικρότερες τιμές κορεσμένου φαινομένου βάρους (Κεφάλαια 2 και 3). Για τους σερπεντινίτες η κλάση μέγιστης συχνότητας κορεσμένου φαινομένου βάρους είναι η 25.80-26.40kN/m³ όταν αυτά υπολογίζονται με τη μέθοδο της άνωσης και η 25.40-26.00kN/m³ όταν αυτά υπολογίζονται με τη χρήση μικρομέτρου. Μόνο ένα μικρό ποσοστό παρουσίαζε τιμές μικρότερες από 25.00kN/m³ και μεγαλύτερες από 26.60kN/m³ (παρατηρώντας τα αποτελέσματα και από τις δυο μεθόδους). Τα μεγαλύτερα ποσοστά των περιδοτιτών κυμαίνονται από 32.70 έως και 33.30kN/m³, ενώ τα μικρότερα ποσοστά από

32.40 έως και 32.70kN/m³ και από 33.30 και 33.60kN/m³ όταν αυτά μετριοούνται με τη μέθοδο της άνωσης. Όταν ο προσδιορισμός των τιμών του κορεσμένου φαινομένου βάρους πραγματοποιείται με τη χρήση μικρομέτρου το μικρότερο ποσοστό, παρουσιάζεται για τιμές μικρότερες του 30.30kN/m³.

6.1.5 Απορροφητικότητα (W_a)

Στα ίδια δοκίμια προσδιορίστηκαν και οι τιμές της απορροφητικότητας (W_{as} , W_{am} , Πίν. 6.9). Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης παρατίθενται στον Πίνακα 6.10 που ακολουθεί, ενώ με βάση τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψαν τα ιστογράμματα (Εικ. 6.17, 6.18, 6.19, 6.20).

Πίνακας 6.9: Τιμές της απορροφητικότητας τόσο με τη μέθοδο της άνωσης (W_{as}), όσο και με τη μέθοδο του μικρομέτρου (W_{am}).

Κωδικός Δοκιμίου	W_{as} (%)	W_{am} (%)	Κωδικός Δοκιμίου	W_{as} (%)	W_{am} (%)	Κωδικός Δοκιμίου	W_{as} (%)	W_{am} (%)
ΚΠ01Α	0.080	0.080	ΚΠ07Ε	0.036	0.036	ΚΣ06Α	0.843	0.843
ΚΠ01Β	0.078	0.078	ΚΠ07Ζ	0.030	0.030	ΚΣ06Β	0.800	0.800
ΚΠ01Γ	0.080	0.080	ΚΠ07Η	0.039	0.039	ΚΣ06Γ	0.916	0.916
ΚΠ01Δ	0.076	0.076	ΚΠ08Α	0.021	0.021	ΚΣ07Α	0.159	0.159
ΚΠ02Α	0.053	0.053	ΚΠ08Β	0.028	0.028	ΚΣ07Β	0.178	0.178
ΚΠ02Β	0.054	0.054	ΚΠ08Γ	0.027	0.027	ΚΣ07Γ	0.172	0.172
ΚΠ02Γ	0.054	0.054	ΚΠ08Δ	0.018	0.018	ΚΣ08Α	0.184	0.184
ΚΠ03Α	0.085	0.085	ΚΠ09Α	0.035	0.035	ΚΣ08Β	0.220	0.220
ΚΠ03Β	0.077	0.077	ΚΠ09Β	0.040	0.040	ΚΣ08Γ	0.293	0.293
ΚΠ03Γ	0.079	0.079	ΚΠ09Γ	0.044	0.044	ΚΣ08Δ	0.271	0.271
ΚΠ03Δ	0.083	0.083	ΚΠ09Δ	0.039	0.039	ΚΣ08Ε	0.236	0.236
ΚΠ04Α	0.057	0.057	ΚΣ01Α	0.540	0.540	ΚΣ08Ζ	0.235	0.235
ΚΠ04Β	0.053	0.053	ΚΣ01Β	0.526	0.526	ΚΣ09Α	0.826	0.826
ΚΠ04Γ	0.066	0.066	ΚΣ01Γ	0.441	0.441	ΚΣ09Β	0.833	0.833
ΚΠ04Δ	0.055	0.055	ΚΣ01Δ	0.485	0.485	ΚΣ09Γ	0.875	0.875
ΚΠ04Ε	0.061	0.061	ΚΣ01Ε	0.565	0.565	ΚΣ09Δ	0.925	0.925
ΚΠ05Α	0.091	0.091	ΚΣ02Α	0.264	0.264	ΚΣ10Α	0.322	0.322
ΚΠ05Β	0.076	0.076	ΚΣ02Β	0.262	0.262	ΚΣ10Β	0.248	0.248
ΚΠ05Γ	0.081	0.081	ΚΣ02Γ	0.197	0.197	ΚΣ10Γ	0.289	0.289
ΚΠ05Δ	0.086	0.086	ΚΣ02Δ	0.273	0.273	ΚΣ10Δ	0.263	0.263
ΚΠ06Α	0.024	0.024	ΚΣ03Α	0.891	0.891	ΚΣ10Ε	0.315	0.315
ΚΠ06Β	0.021	0.021	ΚΣ03Β	0.866	0.866	ΚΣ10Ζ	0.249	0.249
ΚΠ06Γ	0.028	0.028	ΚΣ03Γ	0.915	0.915	ΚΣ11Α	0.144	0.144
ΚΠ06Δ	0.019	0.019	ΚΣ03Δ	0.932	0.932	ΚΣ11Β	0.139	0.139
ΚΠ06Ε	0.017	0.017	ΚΣ04Α	0.197	0.197	ΚΣ11Γ	0.142	0.142
ΚΠ06Ζ	0.024	0.024	ΚΣ04Β	0.178	0.178	ΚΣ11Δ	0.145	0.145
ΚΠ06Η	0.021	0.021	ΚΣ04Γ	0.186	0.186	ΚΣ11Ε	0.156	0.156
ΚΠ07Α	0.035	0.035	ΚΣ05Α	1.847	1.847	ΚΣ11Ζ	0.148	0.148
ΚΠ07Β	0.033	0.033	ΚΣ05Β	1.541	1.541	ΚΣ11Η	0.132	0.132
ΚΠ07Γ	0.032	0.032	ΚΣ05Γ	2.090	2.090	ΚΣ12Α	0.177	0.177
ΚΠ07Δ	0.030	0.030	ΚΣ05Δ	2.096	2.096	ΚΣ12Β	0.146	0.146

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ

Κωδικός Δοκιμίου	W _{as} (%)	W _{am} (%)
ΚΣ12Γ	0.150	0.150
ΚΣ12Δ	0.188	0.188
ΚΣ13Α	0.163	0.163
ΚΣ13Β	0.138	0.138
ΚΣ13Γ	0.175	0.175
ΚΣ14Α	0.305	0.305
ΚΣ14Β	0.267	0.267
ΚΣ14Γ	0.365	0.365
ΚΣ14Δ	0.373	0.373
ΚΣ14Ε	0.368	0.368
ΚΣ15Α	1.938	1.938
ΚΣ15Β	2.411	2.411
ΚΣ15Γ	2.143	2.143
ΚΣ15Δ	2.308	2.308
ΚΣ16Α	0.202	0.202
ΚΣ16Β	0.203	0.203
ΚΣ16Γ	0.237	0.237
ΟΠ01Α	0.058	0.058
ΟΠ01Β	0.061	0.061
ΟΠ01Γ	0.066	0.066
ΟΠ01Δ	0.053	0.053
ΟΠ01Ε	0.058	0.058
ΟΠ01Ζ	0.065	0.065
ΟΠ01Η	0.055	0.055
ΟΠ02Α	0.074	0.074
ΟΠ02Β	0.069	0.069
ΟΠ02Γ	0.075	0.075
ΟΠ02Δ	0.067	0.067
ΟΠ03Α	0.065	0.065
ΟΠ03Β	0.061	0.061
ΟΠ03Γ	0.068	0.068
ΟΠ04Α	0.061	0.061
ΟΠ04Β	0.063	0.063
ΟΠ04Γ	0.055	0.055
ΟΠ04Δ	0.064	0.064
ΟΠ04Ε	0.064	0.064
ΟΠ05Α	0.069	0.069
ΟΠ05Β	0.072	0.072
ΟΠ05Γ	0.071	0.071
ΟΠ05Δ	0.080	0.080
ΟΠ06Α	0.049	0.049
ΟΠ06Β	0.051	0.051
ΟΠ06Γ	0.051	0.051
ΟΠ06Δ	0.057	0.057
ΟΠ07Α	0.042	0.042
ΟΠ07Β	0.045	0.045
ΟΠ07Γ	0.040	0.040
ΟΠ07Δ	0.046	0.046
ΟΠ07Ε	0.040	0.040
ΟΠ07Ζ	0.045	0.045

Κωδικός Δοκιμίου	W _{as} (%)	W _{am} (%)
ΟΠ07Η	0.041	0.041
ΟΠ08Α	0.075	0.075
ΟΠ08Β	0.074	0.074
ΟΠ08Γ	0.079	0.079
ΟΠ08Δ	0.079	0.079
ΟΠ09Α	0.022	0.022
ΟΠ09Β	0.024	0.024
ΟΠ09Γ	0.021	0.021
ΟΠ10Α	0.025	0.025
ΟΠ10Β	0.022	0.022
ΟΠ10Γ	0.028	0.028
ΟΠ10Δ	0.033	0.033
ΟΠ11Α	0.044	0.044
ΟΠ11Β	0.038	0.038
ΟΠ11Γ	0.035	0.035
ΟΠ11Δ	0.047	0.047
ΟΠ12Α	0.040	0.040
ΟΠ12Β	0.043	0.043
ΟΠ12Γ	0.047	0.047
ΟΠ13Α	0.025	0.025
ΟΠ13Β	0.022	0.022
ΟΠ13Γ	0.021	0.021
ΟΠ14Α	0.026	0.026
ΟΠ14Β	0.027	0.027
ΟΠ14Γ	0.027	0.027
ΟΠ14Δ	0.033	0.033
ΟΠ14Ε	0.028	0.028
ΟΠ14Ζ	0.024	0.024
ΟΠ14Η	0.024	0.024
ΟΠ15Α	0.018	0.018
ΟΠ15Β	0.024	0.024
ΟΠ15Γ	0.021	0.021
ΟΠ15Δ	0.017	0.017
ΟΠ16Α	0.049	0.049
ΟΠ16Β	0.045	0.045
ΟΠ16Γ	0.051	0.051
ΟΠ17Α	0.033	0.033
ΟΠ17Β	0.027	0.027
ΟΠ17Γ	0.035	0.035
ΟΠ18Α	0.025	0.025
ΟΠ18Β	0.030	0.030
ΟΠ18Γ	0.027	0.027
ΟΠ19Α	0.030	0.030
ΟΠ19Β	0.022	0.022
ΟΠ19Γ	0.024	0.024
ΟΠ19Δ	0.027	0.027
ΟΠ19Ε	0.021	0.021
ΟΠ19Ζ	0.027	0.027
ΟΠ19Η	0.022	0.022
ΟΠ20Α	0.053	0.053

Κωδικός Δοκιμίου	W _{as} (%)	W _{am} (%)
ΟΠ20Β	0.051	0.051
ΟΠ20Γ	0.056	0.056
ΟΠ20Δ	0.058	0.058
ΟΠ21Α	0.080	0.080
ΟΠ21Β	0.080	0.080
ΟΠ21Γ	0.085	0.085
ΟΠ21Δ	0.075	0.075
ΟΠ22Α	0.061	0.061
ΟΠ22Β	0.067	0.067
ΟΠ22Γ	0.066	0.066
ΟΠ23Α	0.018	0.018
ΟΠ23Β	0.021	0.021
ΟΠ23Γ	0.016	0.016
ΟΠ24Α	0.021	0.021
ΟΠ24Β	0.024	0.024
ΟΠ24Γ	0.024	0.024
ΟΠ25Α	0.073	0.073
ΟΠ25Β	0.075	0.075
ΟΠ25Γ	0.076	0.076
ΟΠ26Α	0.073	0.073
ΟΠ26Β	0.075	0.075
ΟΠ26Γ	0.083	0.083
ΟΣ01Α	0.229	0.229
ΟΣ01Β	0.186	0.186
ΟΣ01Γ	0.225	0.225
ΟΣ01Δ	0.268	0.268
ΟΣ02Α	1.389	1.389
ΟΣ02Β	1.412	1.412
ΟΣ02Γ	1.436	1.436
ΟΣ02Δ	1.388	1.388
ΟΣ02Ε	1.428	1.428
ΟΣ02Ζ	1.413	1.413
ΟΣ03Α	0.741	0.741
ΟΣ03Β	0.698	0.698
ΟΣ03Γ	0.776	0.776
ΟΣ04Α	0.576	0.576
ΟΣ04Β	0.496	0.496
ΟΣ04Γ	0.476	0.476
ΟΣ04Δ	0.547	0.547
ΟΣ05Α	0.480	0.480
ΟΣ05Β	0.474	0.474
ΟΣ05Γ	0.470	0.470
ΟΣ06Α	0.281	0.281
ΟΣ06Β	0.317	0.317
ΟΣ07Α	0.875	0.875
ΟΣ07Β	0.902	0.902
ΟΣ07Γ	0.976	0.976
ΟΣ08Α	0.970	0.970
ΟΣ08Β	0.935	0.935
ΟΣ08Γ	0.915	0.915

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ

Κωδικός Δοκιμίου	W _{as} (%)	W _{am} (%)
ΟΣ08Δ	0.889	0.889
ΟΣ08Ε	0.908	0.908
ΟΣ08Ζ	0.913	0.913
ΟΣ09Α	0.869	0.869
ΟΣ09Β	0.877	0.877
ΟΣ09Γ	0.922	0.922
ΟΣ09Δ	0.868	0.868
ΟΣ09Ε	0.861	0.861
ΟΣ09Ζ	0.879	0.879
ΟΣ09Η	0.915	0.915
ΟΣ10Α	0.300	0.300
ΟΣ10Β	0.301	0.301
ΟΣ10Γ	0.311	0.311
ΟΣ11Α	0.184	0.184
ΟΣ11Β	0.206	0.206
ΟΣ11Γ	0.242	0.242
ΟΣ11Δ	0.197	0.197
ΟΣ12Α	0.260	0.260
ΟΣ12Β	0.266	0.266
ΟΣ12Γ	0.241	0.241
ΟΣ13Α	0.757	0.757
ΟΣ13Β	0.691	0.691
ΟΣ13Γ	0.720	0.720
ΟΣ14Α	0.867	0.867
ΟΣ14Β	0.835	0.835
ΟΣ14Γ	0.849	0.849
ΟΣ15Α	0.179	0.179
ΟΣ15Β	0.207	0.207
ΟΣ15Γ	0.282	0.282
ΟΣ16Α	0.615	0.615
ΟΣ16Β	0.695	0.695
ΟΣ16Γ	0.677	0.677
ΟΣ16Δ	0.724	0.724
ΟΣ17Α	0.933	0.933
ΟΣ17Β	0.904	0.904
ΟΣ17Γ	1.000	1.000
ΟΣ17Δ	0.981	0.981
ΟΣ18Α	0.179	0.179
ΟΣ18Β	0.164	0.164
ΟΣ18Γ	0.159	0.159
ΟΣ18Δ	0.147	0.147
ΟΣ19Α	0.953	0.953
ΟΣ19Β	1.046	1.046
ΟΣ19Γ	0.815	0.815
ΟΣ19Δ	0.851	0.851
ΟΣ19Ε	0.894	0.894
ΟΣ20Α	0.174	0.174
ΟΣ20Β	0.183	0.183
ΟΣ20Γ	0.235	0.235
ΟΣ21Α	0.143	0.143

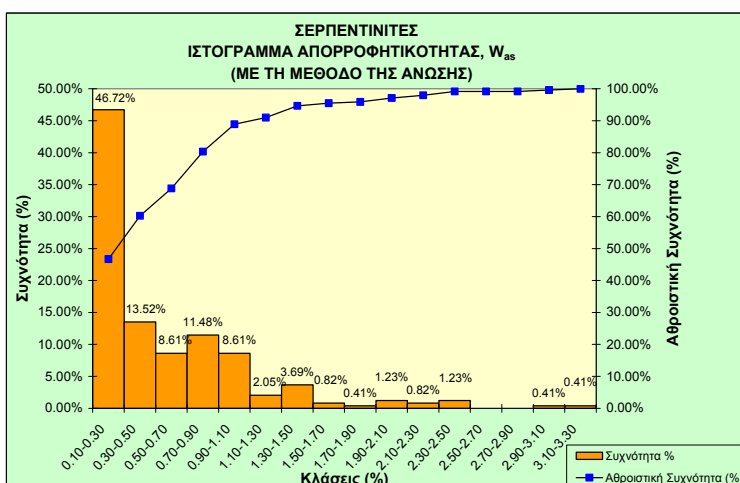
Κωδικός Δοκιμίου	W _{as} (%)	W _{am} (%)
ΟΣ21Β	0.128	0.128
ΟΣ21Γ	0.176	0.176
ΟΣ21Δ	0.135	0.135
ΟΣ22Α	1.154	1.154
ΟΣ22Β	1.095	1.095
ΟΣ22Γ	1.154	1.154
ΟΣ22Δ	1.058	1.058
ΟΣ23Α	0.148	0.148
ΟΣ23Β	0.138	0.138
ΟΣ23Γ	0.144	0.144
ΟΣ24Α	0.278	0.278
ΟΣ24Β	0.292	0.292
ΟΣ24Γ	0.282	0.282
ΟΣ25Α	0.203	0.203
ΟΣ25Β	0.164	0.164
ΟΣ25Γ	0.207	0.207
ΟΣ25Δ	0.172	0.172
ΟΣ25Ε	0.197	0.197
ΟΣ25Ζ	0.184	0.184
ΟΣ26Α	0.383	0.383
ΟΣ26Β	0.458	0.458
ΟΣ26Γ	0.353	0.353
ΟΣ26Δ	0.433	0.433
ΟΣ27Α	0.527	0.527
ΟΣ27Β	0.554	0.554
ΟΣ27Γ	0.476	0.476
ΟΣ27Δ	0.421	0.421
ΟΣ27Ε	0.583	0.583
ΟΣ27Ζ	0.444	0.444
ΟΣ28Α	0.161	0.161
ΟΣ28Β	0.147	0.147
ΟΣ28Γ	0.195	0.195
ΟΣ28Δ	0.184	0.184
ΟΣ28Ε	0.139	0.139
ΟΣ29Α	0.206	0.206
ΟΣ29Β	0.278	0.278
ΟΣ29Γ	0.253	0.253
ΟΣ29Δ	0.278	0.278
ΟΣ30Α	0.611	0.611
ΟΣ30Β	0.596	0.596
ΟΣ30Γ	0.610	0.610
ΟΣ30Δ	0.646	0.646
ΟΣ30Ε	0.593	0.593
ΟΣ30Ζ	0.616	0.616
ΟΣ31Α	0.266	0.266
ΟΣ31Β	0.250	0.250
ΟΣ31Γ	0.288	0.288
ΟΣ32Α	0.157	0.157
ΟΣ32Β	0.200	0.200
ΟΣ32Γ	0.161	0.161

Κωδικός Δοκιμίου	W _{as} (%)	W _{am} (%)
ΟΣ32Δ	0.181	0.181
ΟΣ33Α	0.256	0.256
ΟΣ33Β	0.284	0.284
ΟΣ33Γ	0.274	0.274
ΟΣ34Α	0.503	0.503
ΟΣ34Β	0.523	0.523
ΟΣ34Γ	0.436	0.436
ΟΣ34Δ	0.453	0.453
ΟΣ34Ε	0.488	0.488
ΟΣ34Ζ	0.449	0.449
ΟΣ34Η	0.494	0.494
ΟΣ35Α	3.234	3.234
ΟΣ35Β	3.057	3.057
ΟΣ35Γ	2.347	2.347
ΟΣ35Δ	2.218	2.218
ΟΣ36Α	0.177	0.177
ΟΣ36Β	0.229	0.229
ΟΣ36Γ	0.217	0.217
ΟΣ36Δ	0.196	0.196
ΟΣ36Ε	0.179	0.179
ΟΣ36Ζ	0.204	0.204
ΟΣ36Η	0.168	0.168
ΟΣ37Α	0.140	0.140
ΟΣ37Β	0.188	0.188
ΟΣ37Γ	0.199	0.199
ΟΣ38Α	0.285	0.285
ΟΣ38Β	0.174	0.174
ΟΣ38Γ	0.213	0.213
ΟΣ39Α	0.443	0.443
ΟΣ39Β	0.419	0.419
ΟΣ39Γ	0.486	0.486
ΟΣ39Δ	0.442	0.442
ΟΣ40Α	1.188	1.188
ΟΣ40Β	1.487	1.487
ΟΣ40Γ	1.393	1.393
ΟΣ40Δ	1.263	1.263
ΟΣ40Ε	1.245	1.245
ΟΣ40Ζ	1.538	1.538
ΟΣ40Η	1.301	1.301
ΟΣ41Α	0.232	0.232
ΟΣ41Β	0.291	0.291
ΟΣ41Γ	0.340	0.340
ΟΣ42Α	0.174	0.174
ΟΣ42Β	0.257	0.257
ΟΣ42Γ	0.152	0.152
ΟΣ43Α	0.740	0.740
ΟΣ43Β	0.786	0.786
ΟΣ43Γ	0.762	0.762

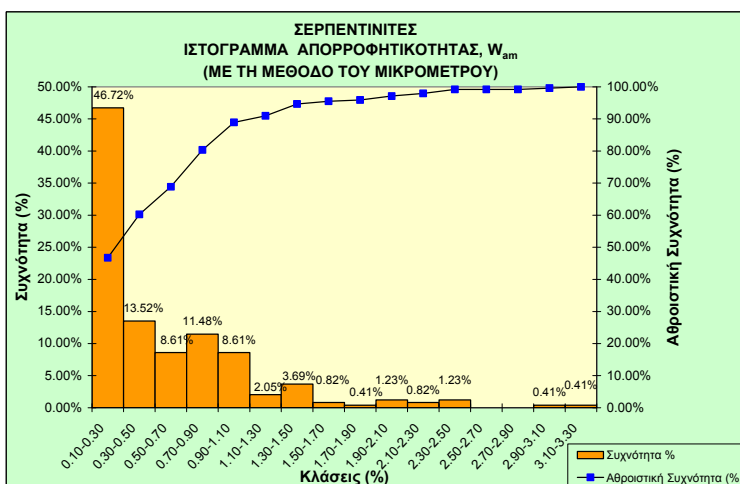
Πίνακας 6.10: Στατιστική ανάλυση των τιμών της απορροφητικότητας για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες και με τις δυο μεθόδους.

	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΕΣ		ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΕΣ	
	Απορροφητικότητα, W_{as} (%)	Απορροφητικότητα, W_{am} (%)	Απορροφητικότητα, W_{as} (%)	Απορροφητικότητα, W_{am} (%)
Μέγιστη τιμή	3.234	3.234	0.091	0.091
Ελάχιστη τιμή	0.128	0.128	0.016	0.016
Μέση τιμή	0.575	0.575	0.048	0.048
Τυπική απόκλιση	0.528	0.528	0.021	0.021
Πλήθος δοκιμών	244	244	147	147

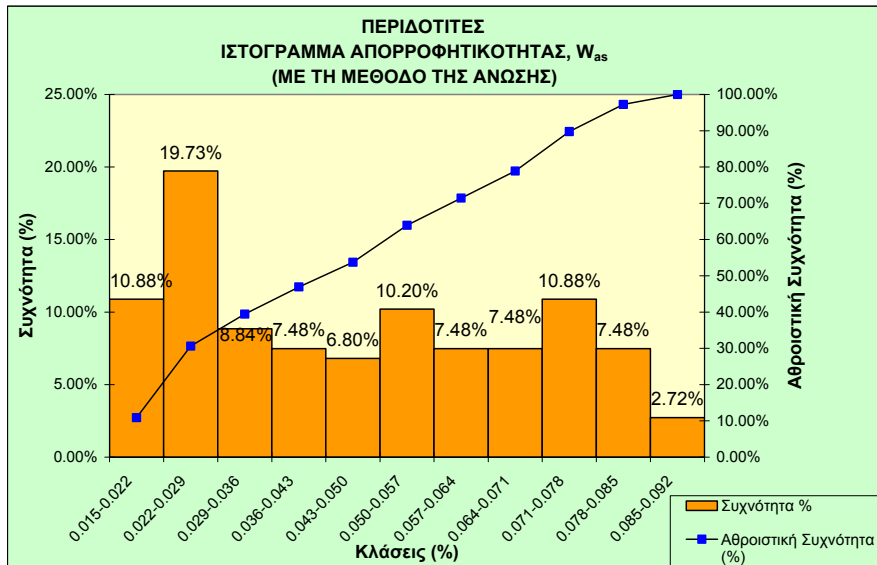
Στους σερπεντινίτες, η απορροφητικότητα κυμαίνεται από 0.13 έως 3.23%, η μέση τιμή είναι 0.57% και παρουσιάζει τυπική απόκλιση 0.53%, ενώ στους περιδοτίτες η απορροφητικότητα εμφανίζει τιμές από 0.016 έως και 0.091%, η μέση τιμή είναι 0.048% και η τυπική απόκλιση είναι 0.021%.



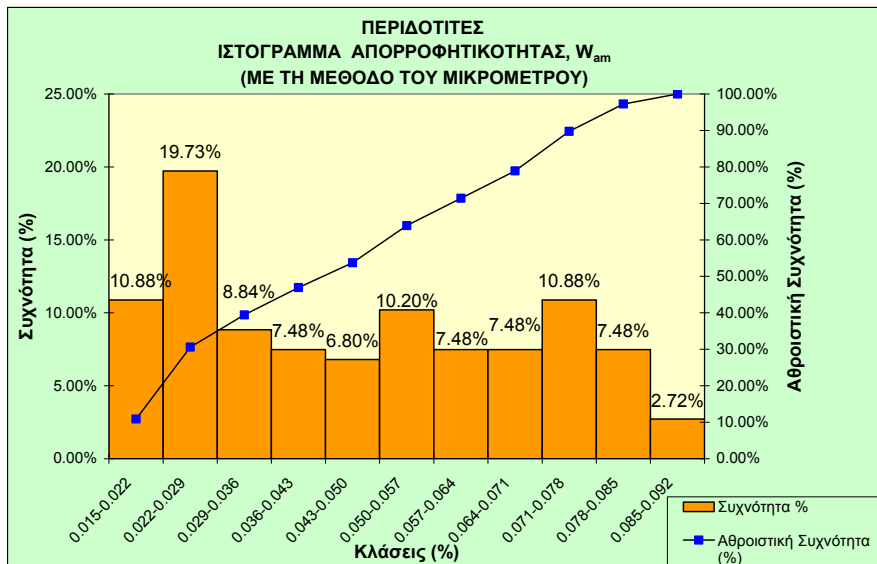
Εικόνα 6.17: Ιστογράμμο κατανομής της απορροφητικότητας (W_{as}) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.18: Ιστογράμμο κατανομής της απορροφητικότητας (W_{am}) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.19: Ιστόγραμμα κατανομής της απορροφητικότητας (W_{as}) για τους περιδοτίτες.



Εικόνα 6.20: Ιστόγραμμα κατανομής της απορροφητικότητας (W_{am}) για τους περιδοτίτες.

Από τα ανωτέρω ιστογράμματα και τους πίνακες είναι εμφανές πως οι σερπεντινίτες παρουσιάζουν μεγαλύτερη απορροφητικότητα από ότι οι περιδοτίτες και πως τα δοκίμια με το μεγαλύτερο πορώδες εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές απορροφητικότητας, κάτι το οποίο είναι απόλυτα λογικό, αφού η απορροφητικότητα και το ενεργό πορώδες είναι έννοιες με παρόμοια φυσική σημασία (Κεφάλαιο 2). Στους σερπεντινίτες τα μεγαλύτερα ποσοστά απορροφητικότητας (46.72%) κυμαίνονται από 0.10-0.30% και μόνο ένα μικρό ποσοστό παρουσιάζει τιμές μεγαλύτερες από 1.50%. Το σημείο μέγιστη συχνότητας απορροφητικότητας για τους περιδοτίτες είναι η τιμή 0.0255% γύρω από την οποία βρίσκεται το 19.73% των δειγμάτων που ερευνήθηκαν, ενώ τα μικρότερα ποσοστά εμφανίζονται για τιμές μεγαλύτερες από 0.085%.

Όλες οι τιμές των φυσικών χαρακτηριστικών, που παρουσιάστηκαν ανωτέρω, είναι σε γενικές γραμμές σύμφωνες με τις προτεινόμενες από τη βιβλιογραφία (BURK, 1964; CHRISTENSEN, 1966b; SAAD, 1969; RAO & RAMANA, 1974; WHITEFORD & LUMB, 1975; KOYMANΤΑΚΗΣ, 1978; TOFT, et al., 1990; CHRISTENSEN, 2004; COURTIER et al., 2004, ΡΗΓΟΠΟΥΛΟΣ, 2009), όπως αναλυτικά περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 3.

Ανακεφαλαιώνοντας, θεωρούμε σκόπιμο αλλά και χρήσιμο να παραθέσουμε τη διακύμανση, τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των τιμών των φυσικών χαρακτηριστικών που προκύπτουν μόνο από τη μέθοδο της άνωσης (αφού όπως προαναφέραμε και στο Κεφάλαιο 5, αυτή είναι η πιο ακριβής μέθοδος προσδιορισμού των φυσικών ιδιοτήτων) τόσο για τους σερπεντινίτες όσο και για τους περιδοτίτες (Πίν. 6.11, 6.12).

Πίνακας 6.11: Στατιστική ανάλυση των τιμών του ενεργού πορώδους, του λόγου των κενών, του ξηρού και κορεσμένου φαινομένου βάρους και της απορροφητικότητας για τους σερπεντινίτες (με τη μέθοδο της άνωσης).

ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΕΣ					
	Ενεργό πορώδες, n_{es} (%)	Λόγος κενών, e_s	Ξηρό φαινόμενο βάρος, γ_{ds} (kN/m ³)	Κορεσμένο φαινόμενο βάρος, γ_{sats} (kN/m ³)	Απορροφητικότητα, W_{as} (%)
Μέγιστη τιμή	7.97	0.0866	26.86	26.90	3.234
Ελάχιστη τιμή	0.35	0.0035	24.17	24.94	0.128
Μέση τιμή	1.49	0.0153	25.84	25.98	0.575
Τυπική απόκλιση	1.32	0.0140	0.57	0.46	0.528
Πλήθος δοκιμών	244	244	244	244	244

Πίνακας 6.12: Στατιστική ανάλυση των τιμών του ενεργού πορώδους, του λόγου των κενών, του ξηρού και κορεσμένου φαινομένου βάρους και της απορροφητικότητας για τους περιδοτίτες (με τη μέθοδο της άνωσης).

ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΕΣ					
	Ενεργό πορώδες, n_{es} (%)	Λόγος κενών, e_s	Ξηρό φαινόμενο βάρος, γ_{ds} (kN/m ³)	Κορεσμένο φαινόμενο βάρος, γ_{sats} (kN/m ³)	Απορροφητικότητα, W_{as} (%)
Μέγιστη τιμή	0.29	0.0029	33.36	33.37	0.091
Ελάχιστη τιμή	0.06	0.0006	30.61	30.63	0.016
Μέση τιμή	0.15	0.0015	32.14	32.16	0.048
Τυπική απόκλιση	0.07	0.0007	0.86	0.86	0.021
Πλήθος δοκιμών	147	147	147	147	147

6.2 Δυναμικά χαρακτηριστικά

6.2.1 Ταχύτητα διάδοσης επιμηκών κυμάτων (V_p)

Οι ταχύτητες των επιμηκών κυμάτων (V_p) προσδιορίστηκαν σε 103 δοκίμια σερπεντινιτών και 63 δοκίμια περιδοτιτών. Οι τιμές τους παρατίθενται στον Πίνακα 6.13 και τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.14. Με βάση τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων δημιουργήθηκαν τα ανάλογα ιστογράμματα (Εικ. 6.21, 6.22).

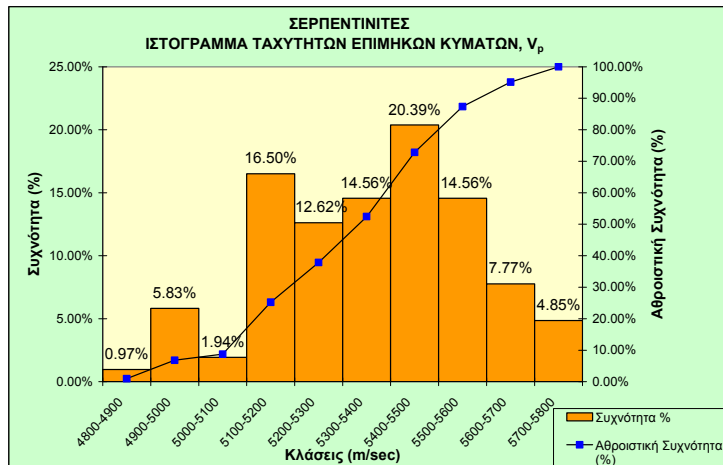
Πίνακας 6.13: Τιμές των ταχυτήτων των επιμηκών κυμάτων (V_p).

Κωδ. Δοκίμ.	V_p (m/sec)	Κωδ. Δοκίμ.	V_p (m/sec)	Κωδ. Δοκίμ.	V_p (m/sec)	Κωδ. Δοκίμ.	V_p (m/sec)	Κωδ. Δοκίμ.	V_p (m/sec)
ΚΠ01Α	7132	ΚΣ10Α	5452	ΟΠ12Α	7418	ΟΣ07Α	5128	ΟΣ28Α	5583
ΚΠ02Α	7356	ΚΣ10Ε	5425	ΟΠ13Α	7973	ΟΣ08Α	5158	ΟΣ28Δ	5396
ΚΠ03Α	7048	ΚΣ10Ζ	5541	ΟΠ14Α	7774	ΟΣ08Γ	5128	ΟΣ29Α	5464
ΚΠ04Α	7587	ΚΣ11Α	5789	ΟΠ14Δ	7709	ΟΣ08Ε	5159	ΟΣ29Γ	5474
ΚΠ05Α	7132	ΚΣ11Δ	5643	ΟΠ14Ε	7727	ΟΣ08Ζ	5163	ΟΣ30Α	5367
ΚΠ05Β	7141	ΚΣ11Ε	5602	ΟΠ14Ζ	7806	ΟΣ09Α	5170	ΟΣ30Δ	5248
ΚΠ06Α	7937	ΚΣ11Ζ	5621	ΟΠ14Η	7835	ΟΣ09Δ	5221	ΟΣ30Ε	5373
ΚΠ06Δ	8000	ΚΣ11Η	5715	ΟΠ15Α	7964	ΟΣ09Ε	5198	ΟΣ30Ζ	5263
ΚΠ06Ε	7908	ΚΣ12Β	5429	ΟΠ15Δ	7979	ΟΣ09Ζ	5143	ΟΣ31Α	5404
ΚΠ06Ζ	7965	ΚΣ13Β	5491	ΟΠ16Α	7463	ΟΣ09Η	5038	ΟΣ32Α	5568
ΚΠ06Η	7964	ΚΣ14Β	5420	ΟΠ17Α	7370	ΟΣ10Α	5483	ΟΣ32Δ	5513
ΚΠ07Α	7865	ΚΣ14Δ	5377	ΟΠ18Α	7733	ΟΣ11Α	5415	ΟΣ33Α	5369
ΚΠ07Δ	7876	ΚΣ16Α	5123	ΟΠ19Α	7927	ΟΣ12Α	5484	ΟΣ34Γ	5377
ΚΠ07Ε	7835	ΟΠ01Α	7404	ΟΠ19Δ	7993	ΟΣ13Α	5135	ΟΣ34Δ	5335
ΚΠ07Ζ	7909	ΟΠ01Δ	7420	ΟΠ19Ε	7972	ΟΣ14Α	5196	ΟΣ34Ε	5279
ΚΠ07Η	7782	ΟΠ01Ε	7409	ΟΠ19Ζ	7993	ΟΣ15Α	5561	ΟΣ34Ζ	5339
ΚΠ08Α	7910	ΟΠ01Ζ	7388	ΟΠ19Η	8007	ΟΣ16Α	5283	ΟΣ34Η	5270
ΚΠ9Α	7551	ΟΠ01Η	7431	ΟΠ20Α	7322	ΟΣ17Α	5149	ΟΣ36Α	5457
ΚΣ01Α	5243	ΟΠ02Α	7277	ΟΠ21Α	7298	ΟΣ18Α	5547	ΟΣ36Δ	5507
ΚΣ02Α	5502	ΟΠ03Α	7293	ΟΠ22Α	7384	ΟΣ19Α	5149	ΟΣ36Ε	5518
ΚΣ03Α	5238	ΟΠ04Α	7174	ΟΠ23Α	7923	ΟΣ19Γ	5181	ΟΣ36Ζ	5485
ΚΣ04Α	5534	ΟΠ04Ε	7536	ΟΠ24Α	7981	ΟΣ20Α	5589	ΟΣ36Η	5633
ΚΣ05Α	4843	ΟΠ05Α	7122	ΟΠ25Α	7311	ΟΣ21Α	5722	ΟΣ37Α	5300
ΚΣ06Α	5235	ΟΠ06Α	7643	ΟΠ26Α	7339	ΟΣ21Δ	5738	ΟΣ38Γ	5275
ΚΣ07Α	5671	ΟΠ06Β	7590	ΟΣ01Α	5304	ΟΣ22Α	4987	ΟΣ39Γ	5466
ΚΣ07Β	5598	ΟΠ07Α	7698	ΟΣ01Β	5359	ΟΣ22Δ	5111	ΟΣ40Α	4940
ΚΣ08Α	5595	ΟΠ07Δ	7667	ΟΣ02Α	4966	ΟΣ23Α	5447	ΟΣ41Β	5387
ΚΣ08Β	5543	ΟΠ07Ε	7767	ΟΣ02Δ	4996	ΟΣ24Α	5374	ΟΣ42Α	5628
ΚΣ08Δ	5430	ΟΠ07Ζ	7658	ΟΣ02Ε	4911	ΟΣ25Α	5522	ΟΣ43Α	5264
ΚΣ08Ε	5464	ΟΠ07Η	7726	ΟΣ02Ζ	4958	ΟΣ25Δ	5736	ΟΣ43Β	5238
ΚΣ08Ζ	5432	ΟΠ08Α	7297	ΟΣ03Α	5073	ΟΣ25Ε	5603		
ΚΣ09Α	5198	ΟΠ09Α	7961	ΟΣ04Α	5406	ΟΣ25Ζ	5688		
ΚΣ09Β	5199	ΟΠ10Α	7975	ΟΣ05Α	5388	ΟΣ26Β	5391		
ΚΣ10Α	5410	ΟΠ11Α	7568	ΟΣ06Α	5460	ΟΣ27Α	5372		

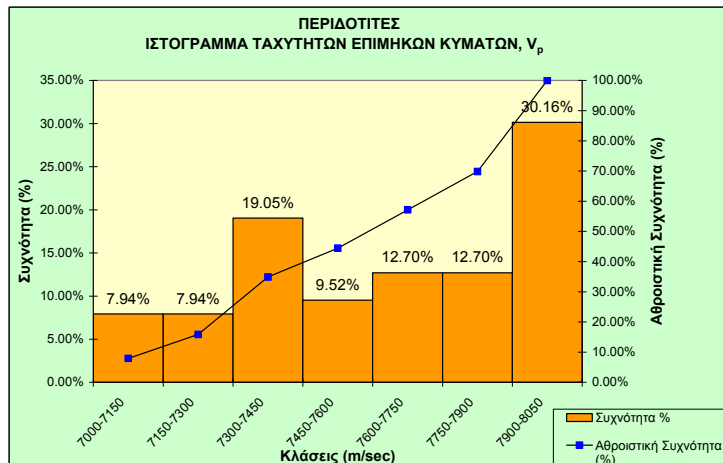
Πίνακας 6.14: Στατιστική ανάλυση των τιμών των ταχυτήτων των επιμηκών κυμάτων για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες.

	ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΕΠΙΜΗΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ, V_p (m/sec)	
	Σερπεντινίτες	Περιδοτίτες
Μέγιστη τιμή	5789	8007
Ελάχιστη τιμή	4843	7048
Μέση τιμή	5366	7637
Τυπική απόκλιση	206	291
Πλήθος δοκιμών	103	63

Στους σερπεντινίτες, οι ταχύτητες των επιμηκών κυμάτων κυμαίνονται από 4843 έως 5789m/sec, η μέση τιμή είναι 5366m/sec και η τυπική απόκλιση 206m/sec, ενώ στους περιδοτίτες οι ταχύτητες των επιμηκών κυμάτων εμφανίζουν τιμές από 7048 έως και 8007m/sec, η μέση τιμή είναι 7637m/sec και η τυπική απόκλιση τους 291m/sec.



Εικόνα 6.21: Ιστογράμμο κατανομής των ταχυτήτων των επιμηκών κυμάτων (V_p) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.22: Ιστογράμμο κατανομής των ταχυτήτων των επιμηκών κυμάτων (V_p) για τους περιδοτίτες.

Οι σερπεντινίτες παρουσιάζουν μικρότερες τιμές ταχυτήτων επιμηκών κυμάτων από ότι οι περιδοτίτες κάτι που είναι αναμενόμενο, αφού οι σερπεντινίτες εμφανίζουν μικρότερο φαινόμενο βάρος και μεγαλύτερο πορώδες από τους περιδοτίτες (Κεφάλαιο 3). Στους σερπεντινίτες η μεγαλύτερη συχνότητα (20.39%) προκύπτει για ταχύτητες από 5400 έως 5500m/sec και μόνο ένα μικρό ποσοστό εμφανίζει τιμές μικρότερες από 4900m/sec. Τα μεγαλύτερα ποσοστά των περιδοτιτών παρουσιάζουν ταχύτητες μεταξύ 7900 και 8050m/sec, ενώ τα μικρότερα ποσοστά εμφανίζονται για ταχύτητες μικρότερες από 7300m/sec.

6.2.2 Ταχύτητα διάδοσης εγκάρσιων κυμάτων (V_s)

Στα ίδια δοκίμια με αυτά, που προσδιορίστηκαν οι ταχύτητες διάδοσης των επιμηκών κυμάτων, μετρήθηκαν και οι τιμές των ταχυτήτων των εγκάρσιων κυμάτων (V_s , Πίν. 6.15). Ακολούθησε στατιστική ανάλυση των τιμών και τα αποτελέσματά της παρατίθενται στον Πίνακα 6.16.

Πίνακας 6.15: Τιμές των ταχυτήτων των εγκάρσιων κυμάτων (V_s).

Κωδ. Δοκμ.	V_s (m/sec)	Κωδ. Δοκμ.	V_s (m/sec)	Κωδ. Δοκμ.	V_s (m/sec)	Κωδ. Δοκμ.	V_s (m/sec)	Κωδ. Δοκμ.	V_s (m/sec)
ΚΠ01Α	3882	ΚΣ07Β	2985	ΟΠ01Ζ	4129	ΟΠ15Α	4517	ΟΣ05Α	2861
ΚΠ02Α	4107	ΚΣ08Α	2925	ΟΠ01Η	4211	ΟΠ15Δ	4573	ΟΣ06Α	2867
ΚΠ03Α	3816	ΚΣ08Β	2889	ΟΠ02Α	4000	ΟΠ16Α	4081	ΟΣ07Α	2605
ΚΠ04Α	4199	ΚΣ08Δ	2841	ΟΠ03Α	4015	ΟΠ17Α	4188	ΟΣ08Α	2665
ΚΠ05Α	3897	ΚΣ08Ε	2862	ΟΠ04Α	3942	ΟΠ18Α	4384	ΟΣ08Γ	2635
ΚΠ05Β	3904	ΚΣ08Ζ	2849	ΟΠ04Ε	4197	ΟΠ19Α	4437	ΟΣ08Ε	2670
ΚΠ06Α	4504	ΚΣ09Α	2667	ΟΠ05Α	3964	ΟΠ19Δ	4525	ΟΣ08Ζ	2691
ΚΠ06Δ	4567	ΚΣ09Β	2667	ΟΠ06Α	4238	ΟΠ19Ε	4524	ΟΣ09Α	2648
ΚΠ06Ε	4570	ΚΣ10Α	2822	ΟΠ06Β	4239	ΟΠ19Ζ	4516	ΟΣ09Δ	2684
ΚΠ06Ζ	4520	ΚΣ10Δ	2869	ΟΠ07Α	4315	ΟΠ19Η	4530	ΟΣ09Ε	2668
ΚΠ06Η	4500	ΚΣ10Ε	2852	ΟΠ07Δ	4253	ΟΠ20Α	4031	ΟΣ09Ζ	2637
ΚΠ07Α	4468	ΚΣ10Ζ	2944	ΟΠ07Ε	4345	ΟΠ21Α	3991	ΟΣ09Η	2563
ΚΠ07Δ	4478	ΚΣ11Α	3109	ΟΠ07Ζ	4257	ΟΠ22Α	4062	ΟΣ10Α	2889
ΚΠ07Ε	4445	ΚΣ11Δ	3049	ΟΠ07Η	4305	ΟΠ23Α	4511	ΟΣ11Δ	2838
ΚΠ07Ζ	4488	ΚΣ11Ε	3019	ΟΠ08Α	4055	ΟΠ24Α	4560	ΟΣ12Α	2871
ΚΠ07Η	4420	ΚΣ11Ζ	3032	ΟΠ09Α	4504	ΟΠ25Α	3977	ΟΣ13Α	2609
ΚΠ08Α	4493	ΚΣ11Η	3076	ΟΠ10Α	4516	ΟΠ26Α	4059	ΟΣ14Α	2721
ΚΠ9Α	4089	ΚΣ12Β	2924	ΟΠ11Α	4235	ΟΣ01Α	2742	ΟΣ15Α	2966
ΚΣ01Α	2658	ΚΣ13Β	2959	ΟΠ12Α	4111	ΟΣ01Β	2787	ΟΣ16Α	2721
ΚΣ02Α	2861	ΚΣ14Β	2836	ΟΠ13Α	4500	ΟΣ02Α	2478	ΟΣ17Α	2623
ΚΣ03Α	2684	ΚΣ14Δ	2851	ΟΠ14Α	4365	ΟΣ02Δ	2498	ΟΣ18Α	2962
ΚΣ04Α	2948	ΚΣ16Α	2609	ΟΠ14Δ	4338	ΟΣ02Ε	2427	ΟΣ19Α	2631
ΚΣ05Α	2425	ΟΠ01Α	4139	ΟΠ14Ε	4350	ΟΣ02Ζ	2467	ΟΣ19Γ	2671
ΚΣ06Α	2745	ΟΠ01Δ	4181	ΟΠ14Ζ	4391	ΟΣ03Α	2606	ΟΣ20Α	2972
ΚΣ07Α	3037	ΟΠ01Ε	4164	ΟΠ14Η	4409	ΟΣ04Α	2835	ΟΣ21Α	3071

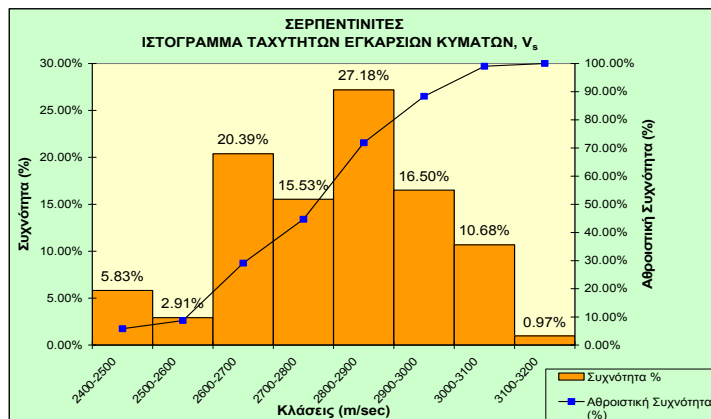
Κωδ. Δοκιμ.	V _s (m/sec)	Κωδ. Δοκιμ.	V _s (m/sec)	Κωδ. Δοκιμ.	V _s (m/sec)	Κωδ. Δοκιμ.	V _s (m/sec)	Κωδ. Δοκιμ.	V _s (m/sec)
ΟΣ21Α	3085	ΟΣ26Β	2709	ΟΣ30Ζ	2711	ΟΣ34Η	2699	ΟΣ40Α	2464
ΟΣ22Α	2542	ΟΣ27Α	2803	ΟΣ31Α	2862	ΟΣ36Α	2896	ΟΣ41Β	2849
ΟΣ22Α	2600	ΟΣ28Α	3026	ΟΣ32Α	2955	ΟΣ36Α	2908	ΟΣ42Α	2936
ΟΣ23Α	2869	ΟΣ28Α	2922	ΟΣ32Α	2921	ΟΣ36Ε	2929	ΟΣ43Α	2777
ΟΣ24Α	2870	ΟΣ29Α	2852	ΟΣ33Α	2796	ΟΣ36Ζ	2892	ΟΣ43Β	2761
ΟΣ25Α	2978	ΟΣ29Γ	2868	ΟΣ34Γ	2798	ΟΣ36Η	3013		
ΟΣ25Α	3050	ΟΣ30Α	2715	ΟΣ34Δ	2760	ΟΣ37Α	2883		
ΟΣ25Ε	2962	ΟΣ30Δ	2689	ΟΣ34Ε	2716	ΟΣ38Γ	2836		
ΟΣ25Ζ	3011	ΟΣ30Ε	2791	ΟΣ34Ζ	2764	ΟΣ39Γ	2860		

Πίνακας 6.16: Στατιστική ανάλυση των τιμών των ταχυτήτων των εγκάρσιων κυμάτων για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες.

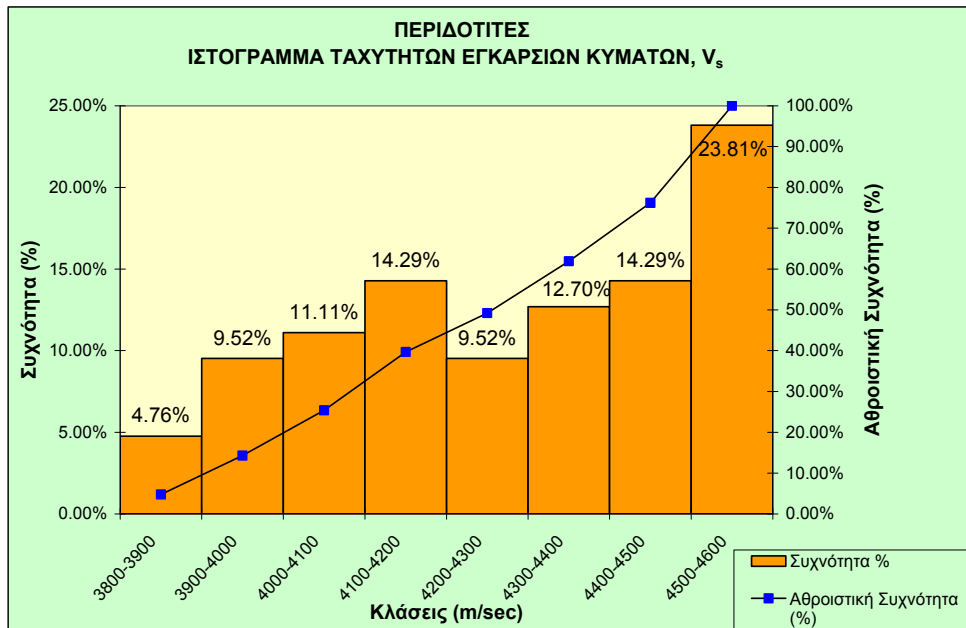
	ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ, V _s (m/sec)	
	Σερπεντινίτες	Περιδοτίτες
Μέγιστη τιμή	3109	4573
Ελάχιστη τιμή	2425	3816
Μέση τιμή	2805	4278
Τυπική απόκλιση	160	217
Πλήθος δοκιμών	103	63

Στους σερπεντινίτες, οι ταχύτητες των εγκάρσιων κυμάτων κυμαίνονται από 2425 έως 3109m/sec, η μέση τιμή τους είναι 2805m/sec και παρουσιάζουν τυπική απόκλιση 160m/sec, ενώ στους περιδοτίτες οι ταχύτητες των εγκάρσιων κυμάτων εμφανίζουν τιμές από 3816 έως και 4573m/sec, η μέση τιμή τους είναι 4278m/sec και η τυπική απόκλιση 217m/sec.

Στις **Εικόνες 6.23, 6.24** προβάλλονται οι κατανομές των ταχυτήτων των εγκάρσιων κυμάτων ανά λιθολογικό τύπο.



Εικόνα 6.23: Ιστογράμμο κατανομής των ταχυτήτων των εγκάρσιων κυμάτων (V_s) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.24: Ιστόγραμμα κατανομής των ταχυτήτων των εγκάρσιων κυμάτων (V_s) για τους περιδοτίτες.

Από τα στοιχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι προφανές πως οι ταχύτητες των εγκάρσιων κυμάτων είναι μικρότερες από αυτές των επιμηκών, κάτι που ήταν αναμενόμενο από τη βιβλιογραφία. Επίσης, οι ταχύτητες των εγκάρσιων κυμάτων, όπως και αυτές των επιμηκών, είναι μεγαλύτερες στους περιδοτίτες από ότι στους σερπεντινίτες. Κατά βάση τα πετρώματα με τα μεγαλύτερα φαινόμενα βάρη και τα μικρότερα πορώδη (όπως είναι οι περιδοτίτες συγκρινόμενοι με τους σερπεντινίτες), παρουσιάζουν και μεγαλύτερες ταχύτητες εγκάρσιων κυμάτων. Οι περισσότεροι περιδοτίτες (23.81%) παρουσιάζουν ταχύτητες μεταξύ 4500 και 4600m/sec και μόνο ένα μικρό ποσοστό (4.76%) παρουσιάζει τιμές μικρότερες από 3900m/sec. Το μεγαλύτερο ποσοστό των σερπεντινιτών (27.18%) εμφανίζουν ταχύτητες μεταξύ 2800 και 2900m/sec, ενώ ταχύτητες μεγαλύτερες από 3100m/sec παρουσιάζει μόλις το 0.97%.

6.2.3 Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας (E_d)

Το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας (E_d) υπολογίστηκε στα 103 δοκίμια σερπεντινιτών και στα 63 δοκίμια περιδοτιτών (Πίν. 6.17), στα οποία προσδιορίστηκαν και οι προαναφερόμενες δυναμικές ιδιότητες, σύμφωνα με τη σχέση 2.8. Στον τύπο αυτό χρησιμοποιείται το ξηρό φαινόμενο βάρος, το οποίο προσδιορίστηκε με δυο μεθόδους. Έτσι τελικά υπολογίστηκαν δυο δυναμικά μέτρα ελαστικότητας το (E_{ds}) και το (E_{dm}), με τη μέθοδο της άνωσης και του μικρομέτρου αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης παρατίθενται στον Πίνακα 6.18 και στις Εικόνες 6.25, 6.26, 6.27, 6.28.

Πίνακας 6.17: Τιμές του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας τόσο με τη μέθοδο της άνωσης (E_{ds}), όσο και με τη μέθοδο του μικρομέτρου (E_{dm}).

Κωδικός Δοκιμίου	E_{ds} (GPa)	E_{dm} (GPa)	Κωδικός Δοκιμίου	E_{ds} (GPa)	E_{dm} (GPa)	Κωδικός Δοκιμίου	E_{ds} (GPa)	E_{dm} (GPa)
ΚΠ01Α	121.5	120.6	ΟΠ01Α	141.2	139.8	ΟΣ02Α	41.7	41.3
ΚΠ02Α	139.5	138.5	ΟΠ01Δ	143.3	141.3	ΟΣ02Δ	42.4	42.0
ΚΠ03Α	119.7	118.8	ΟΠ01Ε	142.0	140.0	ΟΣ02Ε	40.0	39.7
ΚΠ04Α	145.1	143.5	ΟΠ01Ζ	139.6	137.7	ΟΣ02Ζ	41.4	41.0
ΚΠ05Α	122.5	120.4	ΟΠ01Η	145.3	143.5	ΟΣ03Α	46.6	46.3
ΚΠ05Β	123.6	121.4	ΟΠ02Α	129.6	127.4	ΟΣ04Α	55.6	54.6
ΚΠ06Α	172.9	172.3	ΟΠ03Α	131.2	129.7	ΟΣ05Α	56.5	56.2
ΚΠ06Δ	177.6	176.9	ΟΠ04Α	127.2	126.4	ΟΣ06Α	58.6	57.3
ΚΠ06Ε	175.8	175.3	ΟΠ04Ε	142.8	142.0	ΟΣ07Α	46.6	46.2
ΚΠ06Ζ	174.4	173.7	ΟΠ05Α	127.6	125.7	ΟΣ08Α	47.8	47.7
ΚΠ06Η	172.8	172.1	ΟΠ06Α	149.7	148.9	ΟΣ08Γ	46.8	46.5
ΚΠ07Α	169.0	166.9	ΟΠ06Β	148.2	146.4	ΟΣ08Ε	48.1	47.8
ΚΠ07Δ	170.0	167.9	ΟΠ07Α	154.8	153.8	ΟΣ08Ζ	48.7	48.2
ΚΠ07Ε	167.3	164.9	ΟΠ07Δ	150.9	150.6	ΟΣ09Α	47.9	47.7
ΚΠ07Ζ	170.8	167.6	ΟΠ07Ε	157.6	156.6	ΟΣ09Δ	49.3	48.7
ΚΠ07Η	165.2	162.6	ΟΠ07Ζ	151.7	150.8	ΟΣ09Ε	48.7	48.3
ΚΠ08Α	173.0	172.5	ΟΠ07Η	155.1	154.2	ΟΣ09Ζ	47.6	47.2
ΚΠ9Α	142.1	141.5	ΟΠ08Α	132.6	130.4	ΟΣ09Η	44.9	44.6
ΚΣ01Α	49.1	48.3	ΟΠ09Α	171.7	170.8	ΟΣ10Α	58.3	57.8
ΚΣ02Α	57.7	57.3	ΟΠ10Α	174.9	172.5	ΟΣ11Α	57.2	56.4
ΚΣ03Α	49.8	49.2	ΟΠ11Α	151.1	150.7	ΟΣ12Α	57.7	57.0
ΚΣ04Α	60.9	60.2	ΟΠ12Α	143.1	141.1	ΟΣ13Α	47.1	46.5
ΚΣ05Α	39.3	39.0	ΟΠ13Α	173.3	172.8	ΟΣ14Α	50.6	50.2
ΚΣ06Α	51.5	51.0	ΟΠ14Α	162.9	162.5	ΟΣ15Α	61.3	61.2
ΚΣ07Α	65.2	64.6	ΟΠ14Δ	160.4	159.9	ΟΣ16Α	51.3	50.7
ΚΣ07Β	62.7	62.3	ΟΠ14Ε	161.7	161.3	ΟΣ17Α	47.0	46.7
ΚΣ08Α	60.3	59.9	ΟΠ14Ζ	164.5	164.0	ΟΣ18Α	61.4	60.8
ΚΣ08Β	58.7	57.9	ΟΠ14Η	166.4	165.9	ΟΣ19Α	46.9	47.0
ΚΣ08Δ	56.4	55.8	ΟΠ15Α	174.0	171.4	ΟΣ19Γ	48.5	48.1
ΚΣ08Ε	57.5	56.8	ΟΠ15Δ	177.5	173.4	ΟΣ20Α	62.1	61.5
ΚΣ08Ζ	56.8	56.2	ΟΠ16Α	141.0	139.5	ΟΣ21Α	67.0	66.4
ΚΣ09Α	49.0	48.4	ΟΠ17Α	146.4	146.2	ΟΣ21Δ	67.3	66.9
ΚΣ09Β	49.1	48.6	ΟΠ18Α	162.7	161.6	ΟΣ22Α	43.8	43.2
ΚΣ10Α	55.4	54.9	ΟΠ19Α	169.4	168.5	ΟΣ22Δ	46.1	46.1
ΚΣ10Δ	57.5	56.6	ΟΠ19Δ	174.8	173.9	ΟΣ23Α	57.7	57.1
ΚΣ10Ε	56.5	55.9	ΟΠ19Ε	174.9	174.0	ΟΣ24Α	57.0	56.3
ΚΣ10Ζ	60.4	59.8	ΟΠ19Ζ	174.3	173.4	ΟΣ25Α	62.1	61.6
ΚΣ11Α	68.6	68.4	ΟΠ19Η	175.8	174.9	ΟΣ25Δ	65.9	65.3
ΚΣ11Δ	65.7	65.3	ΟΠ20Α	136.9	134.9	ΟΣ25Ε	62.0	61.5
ΚΣ11Ε	64.3	63.8	ΟΠ21Α	130.0	127.5	ΟΣ25Ζ	64.2	63.6
ΚΣ11Ζ	64.9	64.6	ΟΠ22Α	137.3	135.4	ΟΣ26Β	51.5	50.3
ΚΣ11Η	67.2	66.8	ΟΠ23Α	174.5	174.1	ΟΣ27Α	54.2	53.6
ΚΣ12Β	58.9	58.3	ΟΠ24Α	177.6	175.2	ΟΣ28Α	64.0	63.2
ΚΣ13Β	61.6	61.1	ΟΠ25Α	128.6	126.1	ΟΣ28Δ	59.3	58.9
ΚΣ14Β	55.9	55.2	ΟΠ26Α	134.6	132.2	ΟΣ29Α	56.6	56.0
ΚΣ14Δ	55.8	55.3	ΟΣ01Α	51.9	51.6	ΟΣ29Γ	56.8	55.9
ΚΣ16Α	47.6	47.3	ΟΣ01Β	53.9	53.3	ΟΣ30Α	51.2	50.7

Κωδικός Δοκιμίου	E_{ds} (GPa)	E_{dm} (GPa)
ΟΣ30Α	49.8	49.2
ΟΣ30Ε	53.7	53.1
ΟΣ30Ζ	50.6	50.0
ΟΣ31Α	56.9	56.3
ΟΣ32Α	61.2	60.4
ΟΣ32Δ	59.6	59.0
ΟΣ33Α	54.8	54.3
ΟΣ34Γ	54.7	54.3
ΟΣ34Δ	53.2	52.9
ΟΣ34Ε	51.4	51.0
ΟΣ34Ζ	53.4	52.9

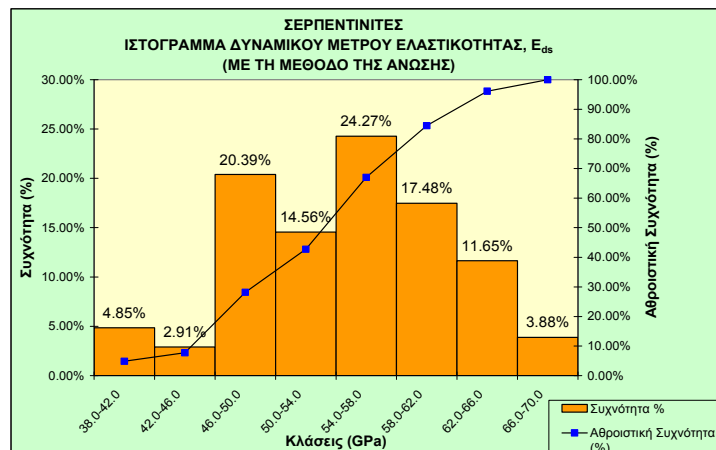
Κωδικός Δοκιμίου	E_{ds} (GPa)	E_{dm} (GPa)
ΟΣ34Η	50.8	50.4
ΟΣ36Α	58.9	58.1
ΟΣ36Δ	59.4	58.5
ΟΣ36Ε	60.2	59.5
ΟΣ36Ζ	58.7	58.0
ΟΣ36Η	63.7	62.9
ΟΣ37Α	57.3	56.8
ΟΣ38Γ	55.1	54.7
ΟΣ39Γ	56.7	56.2
ΟΣ40Α	41.7	40.6
ΟΣ41Β	56.3	55.8

Κωδικός Δοκιμίου	E_{ds} (GPa)	E_{dm} (GPa)
ΟΣ42Α	60.8	60.1
ΟΣ43Α	52.5	52.1
ΟΣ43Β	51.8	50.5

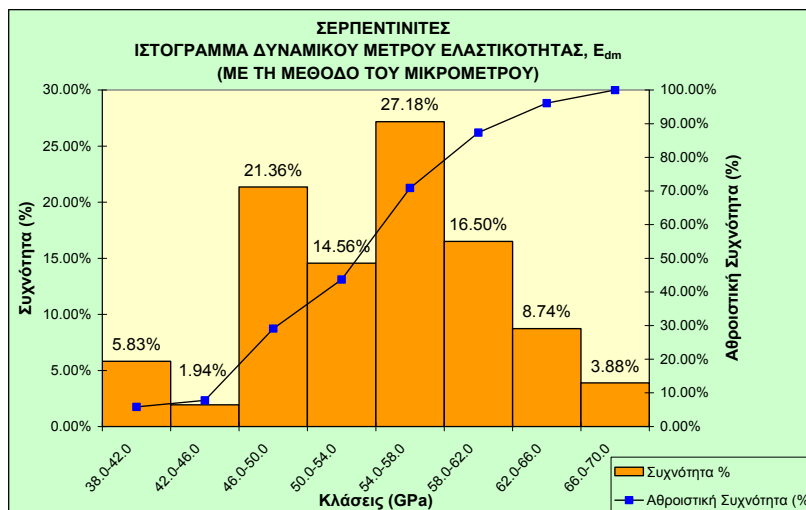
Πίνακας 6.18: Στατιστική ανάλυση των τιμών του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες και με τις δυο μεθόδους.

	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΕΣ		ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΕΣ	
	Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας, E_{ds} (GPa)	Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας, E_{dm} (GPa)	Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας, E_{ds} (GPa)	Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας, E_{dm} (GPa)
Μέγιστη τιμή	68.6	68.4	177.6	176.9
Ελάχιστη τιμή	39.3	39.0	119.7	118.8
Μέση Τιμή	54.8	54.3	153.9	152.5
Τυπική απόκλιση	6.81	6.77	18.0	18.2
Πλήθος δοκιμών	103	103	63	63

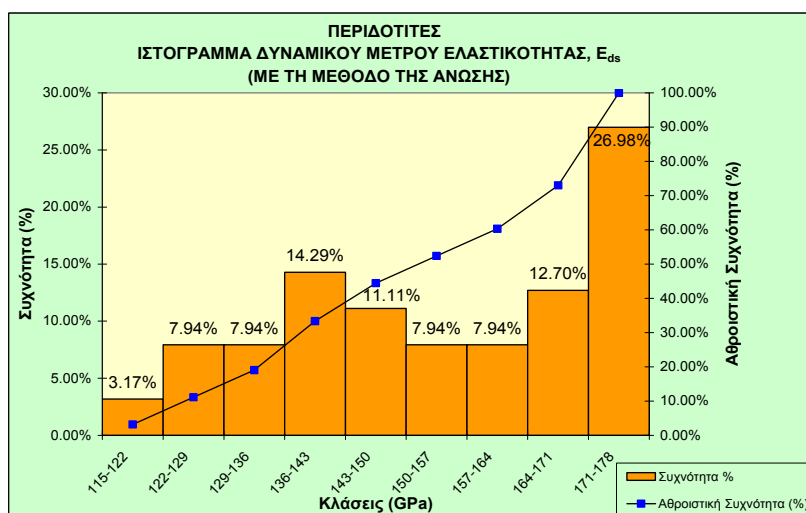
Στους σερπεντινίτες, το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας κυμαίνεται από 39.3 έως 68.6GPa όταν αυτό υπολογίζεται με τη μέθοδο της άνωσης και από 39.0 έως 68.4GPa όταν χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του μικρομέτρου. Στους περιδοτίτες οι τιμές της εξεταζόμενης παραμέτρου κυμαίνονται από 119.7 έως και 177.6GPa και από 118.8 έως 176.9GPa ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε.



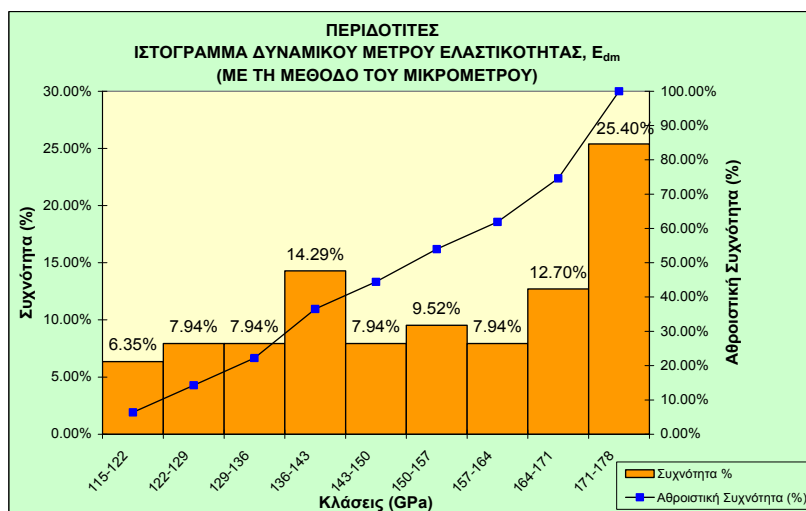
Εικόνα 6.25: Ιστόγραμμα κατανομής του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας, E_{ds} για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.26: Ιστογράμμο κατανομής του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας (E_{dm}) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.27: Ιστογράμμο κατανομής του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας (E_{ds}) για τους περιδοτίτες.



Εικόνα 6.28: Ιστογράμμο κατανομής του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας (E_{dm}) για τους περιδοτίτες.

Τα δυναμικά μέτρα ελαστικότητας, που προσδιορίστηκαν, φαίνεται να είναι μικρότερα στους σερπεντινίτες από αυτά που προσδιορίστηκαν στους περιδοτίτες. Τα δεύτερα είναι πιο άκαμπτα πετρώματα από τα πρώτα και επειδή το μέτρο ελαστικότητας είναι δείκτης της ακαμψίας (Κεφάλαιο 2), είναι απόλυτα λογικό να παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές. Για τους σερπεντινίτες το μεγαλύτερο ποσοστό παρουσιάζεται για δυναμικά μέτρα ελαστικότητας από 54 έως 58GPa και το μικρότερο ποσοστό εμφανίζεται για τιμές από 42 έως και 46GPa. Οι περισσότεροι περιδοτίτες παρουσιάζουν δυναμικά μέτρα ελαστικότητας μεταξύ 171 και 178GPa, ενώ τα μικρότερα ποσοστά παρουσιάζονται για τιμές μικρότερες από 122GPa.

6.2.4 Δυναμικός λόγος Poisson (ν_d)

Ταυτόχρονα με τον προσδιορισμό των ταχυτήτων των κυμάτων και του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας έγινε και ο υπολογισμός του δυναμικού λόγου Poisson (ν_d) στα δοκίμια, σύμφωνα με τη σχέση 2.10 και οι τιμές του παρατίθενται στον Πίνακα 6.19. Στη συνέχεια, έγινε στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων και καθορίστηκαν η διακύμανση, η μέση τιμή και η τυπική απόλιση, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.20.

Πίνακας 6.19: Οι τιμές του δυναμικού λόγου Poisson (ν_d).

Κωδ. Δοκμ.	ν_d	Κωδ. Δοκμ.	ν_d	Κωδ. Δοκμ.	ν_d	Κωδ. Δοκμ.	ν_d	Κωδ. Δοκμ.	ν_d
ΚΠ01Α	0.289	ΚΣ03Α	0.322	ΚΣ11Ζ	0.295	ΟΠ07Δ	0.278	ΟΠ19Α	0.272
ΚΠ02Α	0.274	ΚΣ04Α	0.302	ΚΣ11Η	0.296	ΟΠ07Ε	0.272	ΟΠ19Δ	0.264
ΚΠ03Α	0.293	ΚΣ05Α	0.333	ΚΣ12Β	0.296	ΟΠ07Ζ	0.276	ΟΠ19Ε	0.263
ΚΠ04Α	0.279	ΚΣ06Α	0.310	ΚΣ13Β	0.295	ΟΠ07Η	0.275	ΟΠ19Ζ	0.265
ΚΠ05Α	0.287	ΚΣ07Α	0.299	ΚΣ14Β	0.311	ΟΠ08Α	0.277	ΟΠ19Η	0.265
ΚΠ05Β	0.287	ΚΣ07Β	0.301	ΚΣ14Δ	0.304	ΟΠ09Α	0.265	ΟΠ20Α	0.283
ΚΠ06Α	0.263	ΚΣ08Α	0.312	ΚΣ16Α	0.325	ΟΠ10Α	0.264	ΟΠ21Α	0.287
ΚΠ06Δ	0.258	ΚΣ08Β	0.313	ΟΠ01Α	0.273	ΟΠ11Α	0.272	ΟΠ22Α	0.283
ΚΠ06Ε	0.249	ΚΣ08Δ	0.312	ΟΠ01Δ	0.267	ΟΠ12Α	0.278	ΟΠ23Α	0.260
ΚΠ06Ζ	0.263	ΚΣ08Ε	0.311	ΟΠ01Ε	0.269	ΟΠ13Α	0.266	ΟΠ24Α	0.258
ΚΠ06Η	0.265	ΚΣ08Ζ	0.310	ΟΠ01Ζ	0.273	ΟΠ14Α	0.270	ΟΠ25Α	0.290
ΚΠ07Α	0.262	ΚΣ09Α	0.321	ΟΠ01Η	0.264	ΟΠ14Δ	0.268	ΟΠ26Α	0.280
ΚΠ07Δ	0.261	ΚΣ09Β	0.321	ΟΠ02Α	0.284	ΟΠ14Ε	0.268	ΟΣ01Α	0.318
ΚΠ07Ε	0.263	ΚΣ10Α	0.313	ΟΠ03Α	0.283	ΟΠ14Ζ	0.269	ΟΣ01Β	0.315
ΚΠ07Ζ	0.263	ΚΣ10Δ	0.309	ΟΠ04Α	0.284	ΟΠ14Η	0.268	ΟΣ02Α	0.334
ΚΠ07Η	0.262	ΚΣ10Ε	0.309	ΟΠ04Ε	0.275	ΟΠ15Α	0.263	ΟΣ02Δ	0.333
ΚΠ08Α	0.262	ΚΣ10Ζ	0.303	ΟΠ05Α	0.276	ΟΠ15Δ	0.255	ΟΣ02Ε	0.338
ΚΠ9Α	0.293	ΚΣ11Α	0.297	ΟΠ06Α	0.278	ΟΠ16Α	0.287	ΟΣ02Ζ	0.335
ΚΣ01Α	0.327	ΚΣ11Δ	0.294	ΟΠ06Β	0.273	ΟΠ17Α	0.262	ΟΣ03Α	0.321
ΚΣ02Α	0.315	ΚΣ11Ε	0.295	ΟΠ07Α	0.271	ΟΠ18Α	0.263	ΟΣ04Α	0.310

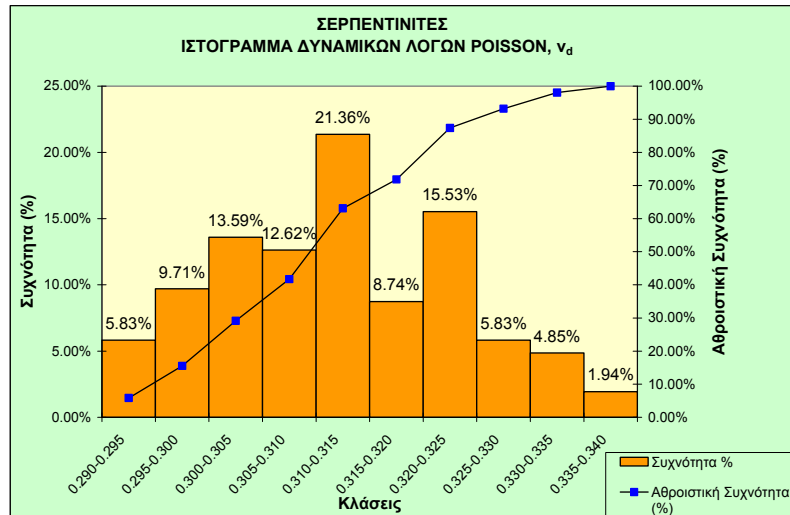
Κωδ. Δοκμ.	ν_d	Κωδ. Δοκμ.	ν_d	Κωδ. Δοκμ.	ν_d	Κωδ. Δοκμ.	ν_d	Κωδ. Δοκμ.	ν_d
ΟΣ05Α	0.304	ΟΣ12Α	0.311	ΟΣ23Α	0.308	ΟΣ30Ε	0.315	ΟΣ36Ζ	0.307
ΟΣ06Α	0.310	ΟΣ13Α	0.326	ΟΣ24Α	0.301	ΟΣ30Ζ	0.320	ΟΣ36Η	0.300
ΟΣ07Α	0.326	ΟΣ14Α	0.311	ΟΣ25Α	0.295	ΟΣ31Α	0.305	ΟΣ37Α	0.290
ΟΣ08Α	0.318	ΟΣ15Α	0.301	ΟΣ25Δ	0.303	ΟΣ32Α	0.304	ΟΣ38Γ	0.297
ΟΣ08Γ	0.321	ΟΣ16Α	0.319	ΟΣ25Ε	0.306	ΟΣ32Δ	0.305	ΟΣ39Γ	0.312
ΟΣ08Ε	0.317	ΟΣ17Α	0.325	ΟΣ25Ζ	0.305	ΟΣ33Α	0.314	ΟΣ40Α	0.334
ΟΣ08Ζ	0.313	ΟΣ18Α	0.301	ΟΣ26Β	0.331	ΟΣ34Γ	0.314	ΟΣ41Β	0.306
ΟΣ09Α	0.322	ΟΣ19Α	0.323	ΟΣ27Α	0.313	ΟΣ34Δ	0.317	ΟΣ42Α	0.313
ΟΣ09Δ	0.320	ΟΣ19Γ	0.319	ΟΣ28Α	0.292	ΟΣ34Ε	0.320	ΟΣ43Α	0.307
ΟΣ09Ε	0.321	ΟΣ20Α	0.303	ΟΣ28Δ	0.293	ΟΣ34Ζ	0.317	ΟΣ43Β	0.308
ΟΣ09Ζ	0.322	ΟΣ21Α	0.298	ΟΣ29Α	0.313	ΟΣ34Η	0.322		
ΟΣ09Η	0.325	ΟΣ21Δ	0.297	ΟΣ29Γ	0.311	ΟΣ36Α	0.304		
ΟΣ10Α	0.308	ΟΣ22Α	0.324	ΟΣ30Α	0.328	ΟΣ36Δ	0.307		
ΟΣ11Α	0.311	ΟΣ22Δ	0.325	ΟΣ30Δ	0.322	ΟΣ36Ε	0.304		

Πίνακας 6.20: Στατιστική ανάλυση των τιμών του δυναμικού λόγου Poisson για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες.

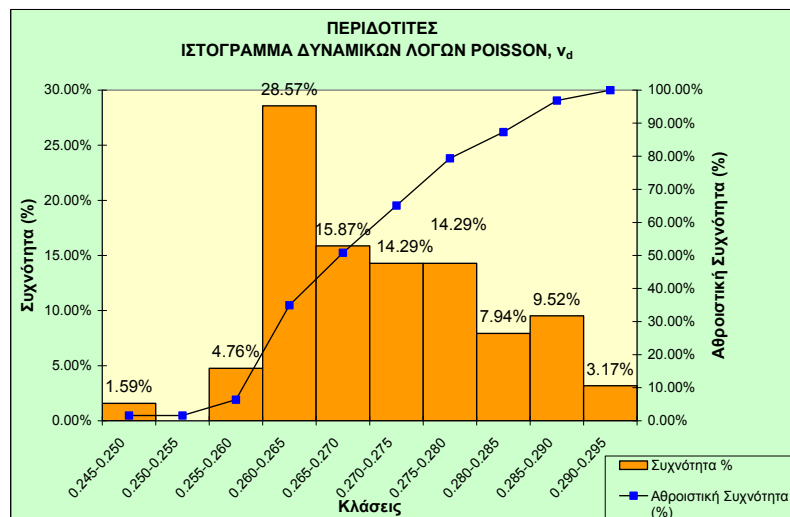
	ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ POISSON, ν_d	
	Σερπεντινίτες	Περιδοτίτες
Μέγιστη τιμή	0.338	0.293
Ελάχιστη τιμή	0.290	0.249
Μέση τιμή	0.312	0.271
Τυπική απόκλιση	0.011	0.010
Πλήθος δοκιμών	103	63

Στους σερπεντινίτες, ο δυναμικός λόγος Poisson κυμαίνεται από 0.290 έως 0.338, η μέση τιμή είναι 0.312 και παρουσιάζει τυπική απόκλιση 0.011, ενώ στους περιδοτίτες η παραπάνω παράμετρος εμφανίζει τιμές από 0.249 έως και 0.293, η μέση τιμή είναι 0.271 και η τυπική απόκλιση είναι 0.010.

Στα ακόλουθα διαγράμματα (Εικ. 6.29, 6.30) παρουσιάζονται οι κατανομές του δυναμικού λόγου Poisson ανά λιθολογικό τύπο.



Εικόνα 6.29: Ιστόγραμμα κατανομής του δυναμικού λόγου Poisson (ν_d) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.30: Ιστόγραμμα κατανομής του δυναμικού λόγου Poisson (ν_d) για τους περιδοτίτες.

Από τους πίνακες και τα διαγράμματα που παρατέθηκαν παραπάνω είναι σαφές πως οι σερπεντινίτες παρουσιάζουν μεγαλύτερους λόγους Poisson από τους περιδοτίτες, κάτι απόλυτα λογικό σύμφωνα με τα βιβλιογραφικά στοιχεία, τα οποία παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3. Στους σερπεντινίτες το μεγαλύτερο ποσοστό (21.36%) παρουσιάζεται για δυναμικούς λόγους Poisson από 0.310 έως 0.315 και το μικρότερο ποσοστό (1.94%) εμφανίζεται για τιμές μεγαλύτερες του 0.335. Οι περιδοτίτες παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συχνότητα λόγων Poisson (28.57%) για τιμές από 0.260 έως 0.265, ενώ τιμές μικρότερες από 0.255 εμφανίζουν το μικρότερο ποσοστό (1.59%).

6.2.5 Δυναμικό μέτρο διάτμησης (G_d)

Μια άλλη δυναμική παράμετρος, που υπολογίστηκε, είναι το δυναμικό μέτρο διάτμησης. Η παράμετρος αυτή υπολογίστηκε με τη χρήση της σχέσης 2.9 (Πίν. 6.21) στα

ίδια δοκίμια που προσδιορίστηκαν και οι άλλες δυναμικές ιδιότητες. Στον τύπο αυτό χρησιμοποιείται το ξηρό φαινόμενο βάρος, το οποίο προσδιορίστηκε όμως με δυο μεθόδους. Έτσι τελικά υπολογίστηκαν δυο δυναμικά μέτρα διάτμησης το (G_{ds}) και το (G_{dm}) (με τη μέθοδο της άνωσης και του μικρομέτρου αντίστοιχα). Ύστερα από στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων, προέκυψαν τα ιστογράμματα (Εικ. 6.31, 6.32, 6.33, 6.34) καθώς και ο Πίνακας 6.22.

Πίνακας 6.21: Τιμές του δυναμικού μέτρου διάτμησης τόσο με τη μεθοδό της άνωσης (G_{ds}), όσο και με τη μεθοδό του μικρομέτρου (G_{dm}).

Κωδικός Δοκιμίου	G_{ds} (GPa)	G_{dm} (GPa)
ΚΠ01Α	47.1	46.8
ΚΠ02Α	54.8	54.4
ΚΠ03Α	46.3	45.9
ΚΠ04Α	56.7	56.1
ΚΠ05Α	47.6	46.8
ΚΠ05Β	48.0	47.2
ΚΠ06Α	68.5	68.2
ΚΠ06Δ	70.6	70.3
ΚΠ06Ε	70.4	70.2
ΚΠ06Ζ	69.1	68.8
ΚΠ06Η	68.3	68.0
ΚΠ07Α	67.0	66.1
ΚΠ07Δ	67.4	66.6
ΚΠ07Ε	66.3	65.3
ΚΠ07Ζ	67.6	66.4
ΚΠ07Η	65.5	64.4
ΚΠ08Α	68.6	68.3
ΚΠ9Α	55.0	54.7
ΚΣ01Α	18.5	18.2
ΚΣ02Α	22.0	21.8
ΚΣ03Α	18.8	18.6
ΚΣ04Α	23.4	23.1
ΚΣ05Α	14.7	14.6
ΚΣ06Α	19.7	19.4
ΚΣ07Α	25.1	24.9
ΚΣ07Β	24.1	23.9
ΚΣ08Α	23.0	22.8
ΚΣ08Β	22.3	22.0
ΚΣ08Δ	21.5	21.3
ΚΣ08Ε	21.9	21.6
ΚΣ08Ζ	21.7	21.4
ΚΣ09Α	18.5	18.3
ΚΣ09Β	18.6	18.4
ΚΣ10Α	21.1	20.9
ΚΣ10Δ	22.0	21.6
ΚΣ10Ε	21.6	21.3
ΚΣ10Ζ	23.2	22.9
ΚΣ11Α	26.4	26.4

Κωδικός Δοκιμίου	G_{ds} (GPa)	G_{dm} (GPa)
ΚΣ11Δ	25.4	25.2
ΚΣ11Ε	24.8	24.6
ΚΣ11Ζ	25.1	24.9
ΚΣ11Η	25.9	25.8
ΚΣ12Β	22.7	22.5
ΚΣ13Β	23.8	23.6
ΚΣ14Β	21.3	21.0
ΚΣ14Δ	21.4	21.2
ΚΣ16Α	18.0	17.8
ΟΠ01Α	55.5	54.9
ΟΠ01Δ	56.5	55.7
ΟΠ01Ε	55.9	55.2
ΟΠ01Ζ	54.8	54.1
ΟΠ01Η	57.5	56.8
ΟΠ02Α	50.5	49.6
ΟΠ03Α	51.2	50.6
ΟΠ04Α	49.5	49.2
ΟΠ04Ε	56.0	55.7
ΟΠ05Α	50.0	49.3
ΟΠ06Α	58.6	58.3
ΟΠ06Β	58.2	57.5
ΟΠ07Α	60.9	60.5
ΟΠ07Δ	59.0	58.9
ΟΠ07Ε	61.9	61.6
ΟΠ07Ζ	59.4	59.1
ΟΠ07Η	60.8	60.5
ΟΠ08Α	51.9	51.1
ΟΠ09Α	67.9	67.5
ΟΠ10Α	69.2	68.2
ΟΠ11Α	59.4	59.2
ΟΠ12Α	56.0	55.2
ΟΠ13Α	68.4	68.2
ΟΠ14Α	64.2	64.0
ΟΠ14Δ	63.2	63.0
ΟΠ14Ε	63.8	63.6
ΟΠ14Ζ	64.8	64.7
ΟΠ14Η	65.6	65.4
ΟΠ15Α	68.9	67.8

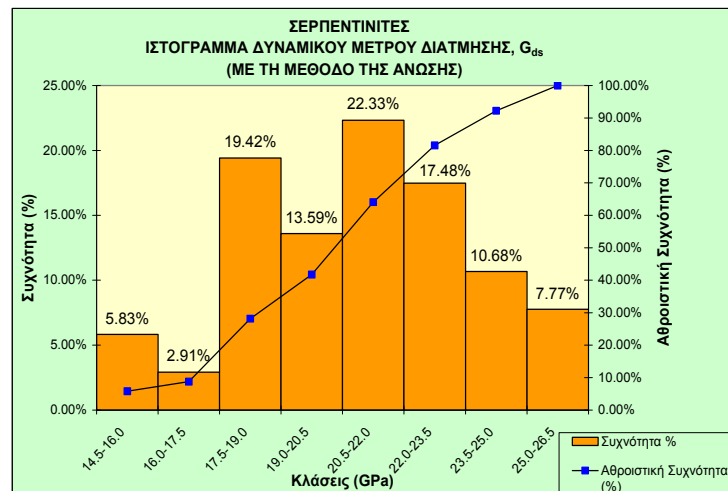
Κωδικός Δοκιμίου	G_{ds} (GPa)	G_{dm} (GPa)
ΟΠ15Δ	70.7	69.1
ΟΠ16Α	54.8	54.2
ΟΠ17Α	58.0	58.0
ΟΠ18Α	64.4	64.0
ΟΠ19Α	66.6	66.3
ΟΠ19Δ	69.1	68.8
ΟΠ19Ε	69.3	68.9
ΟΠ19Ζ	68.9	68.5
ΟΠ19Η	69.5	69.1
ΟΠ20Α	53.4	52.6
ΟΠ21Α	50.5	49.6
ΟΠ22Α	53.5	52.8
ΟΠ23Α	69.2	69.1
ΟΠ24Α	70.6	69.6
ΟΠ25Α	49.8	48.9
ΟΠ26Α	52.6	51.7
ΟΣ01Α	19.7	19.6
ΟΣ01Β	20.5	20.3
ΟΣ02Α	15.6	15.5
ΟΣ02Δ	15.9	15.7
ΟΣ02Ε	15.0	14.8
ΟΣ02Ζ	15.5	15.3
ΟΣ03Α	17.7	17.5
ΟΣ04Α	21.2	20.8
ΟΣ05Α	21.7	21.5
ΟΣ06Α	22.4	21.9
ΟΣ07Α	17.6	17.4
ΟΣ08Α	18.1	18.1
ΟΣ08Γ	17.7	17.6
ΟΣ08Ε	18.3	18.1
ΟΣ08Ζ	18.5	18.4
ΟΣ09Α	18.1	18.0
ΟΣ09Δ	18.7	18.5
ΟΣ09Ε	18.4	18.3
ΟΣ09Ζ	18.0	17.9
ΟΣ09Η	17.0	16.8
ΟΣ10Α	22.3	22.1
ΟΣ11Α	21.8	21.5

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ

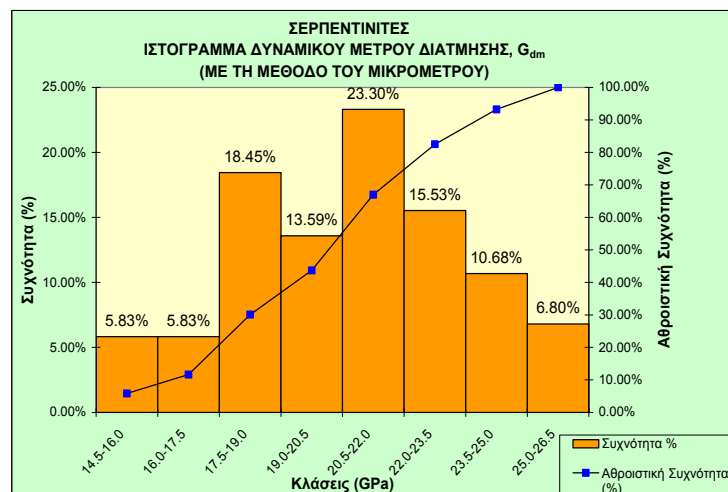
Κωδικός Δοκιμίου	G_{ds} (GPa)	G_{dm} (GPa)
ΟΣ12Α	22.0	21.7
ΟΣ13Α	17.7	17.6
ΟΣ14Α	19.3	19.1
ΟΣ15Α	23.5	23.5
ΟΣ16Α	19.5	19.2
ΟΣ17Α	17.7	17.6
ΟΣ18Α	23.6	23.4
ΟΣ19Α	17.7	17.7
ΟΣ19Γ	18.4	18.2
ΟΣ20Α	23.8	23.6
ΟΣ21Α	25.8	25.6
ΟΣ21Δ	26.0	25.8
ΟΣ22Α	16.5	16.3
ΟΣ22Δ	17.4	17.4
ΟΣ23Α	22.0	21.8
ΟΣ24Α	21.9	21.7
ΟΣ25Α	24.0	23.8
ΟΣ25Δ	25.3	25.1

Κωδικός Δοκιμίου	G_{ds} (GPa)	G_{dm} (GPa)
ΟΣ25Ε	23.7	23.5
ΟΣ25Ζ	24.6	24.4
ΟΣ26Β	19.4	18.9
ΟΣ27Α	20.6	20.4
ΟΣ28Α	24.8	24.5
ΟΣ28Δ	22.9	22.8
ΟΣ29Α	21.6	21.3
ΟΣ29Γ	21.7	21.3
ΟΣ30Α	19.3	19.1
ΟΣ30Δ	18.8	18.6
ΟΣ30Ε	20.4	20.2
ΟΣ30Ζ	19.2	18.9
ΟΣ31Α	21.8	21.6
ΟΣ32Α	23.5	23.2
ΟΣ32Δ	22.8	22.6
ΟΣ33Α	20.9	20.7
ΟΣ34Γ	20.8	20.6
ΟΣ34Δ	20.2	20.1

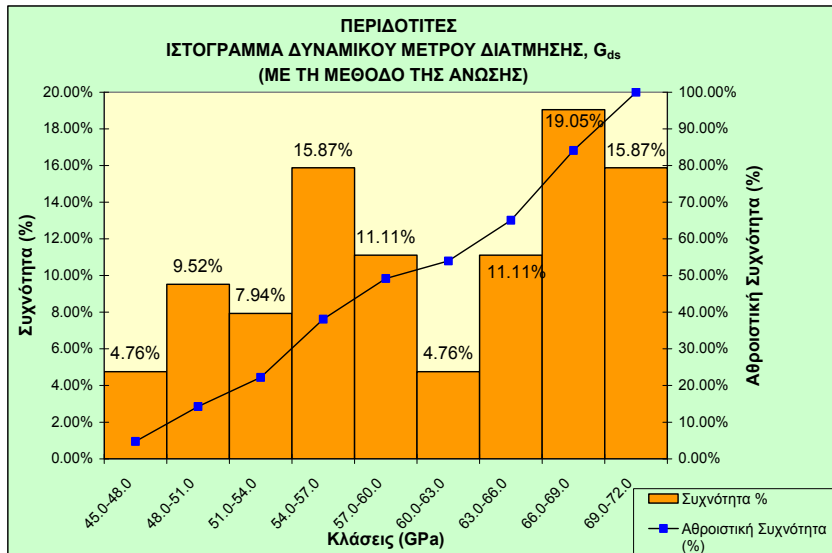
Κωδικός Δοκιμίου	G_{ds} (GPa)	G_{dm} (GPa)
ΟΣ34Ε	19.5	19.3
ΟΣ34Ζ	20.3	20.1
ΟΣ34Η	19.2	19.1
ΟΣ36Α	22.6	22.3
ΟΣ36Δ	22.7	22.4
ΟΣ36Ε	23.1	22.8
ΟΣ36Ζ	22.4	22.2
ΟΣ36Η	24.5	24.2
ΟΣ37Α	22.2	22.0
ΟΣ38Γ	21.3	21.1
ΟΣ39Γ	21.6	21.4
ΟΣ40Α	15.6	15.2
ΟΣ41Β	21.6	21.4
ΟΣ42Α	23.1	22.9
ΟΣ43Α	20.1	19.9
ΟΣ43Β	19.8	19.3



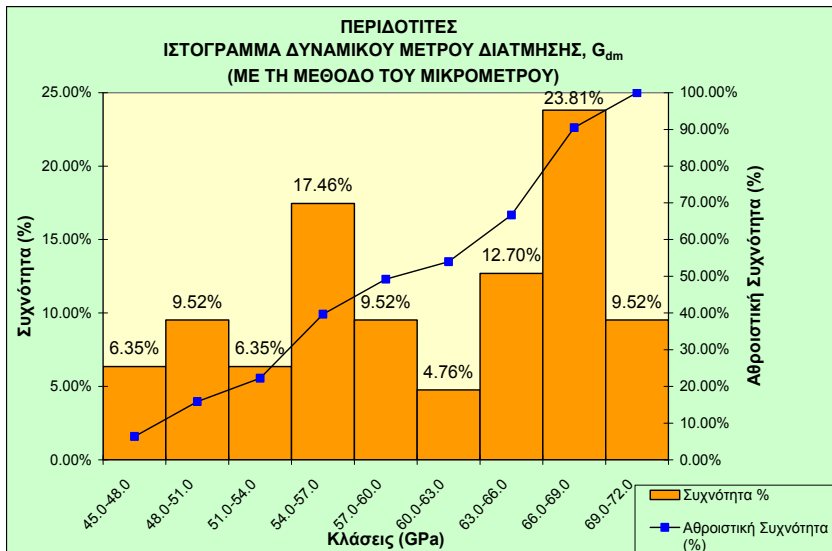
Εικόνα 6.31: Ιστόγραμμα κατανομής του δυναμικού μέτρου διάτμησης (G_{ds}) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.32: Ιστόγραμμα κατανομής του δυναμικού μέτρου διάτμησης (G_{dm}) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.33: Ιστόγραμμα κατανομής του δυναμικού μέτρου διάτμησης (G_{ds}) για τους περιδοτίτες.



Εικόνα 6.34: Ιστόγραμμα κατανομής του δυναμικού μέτρου διάτμησης (G_{dm}) για τους περιδοτίτες.

Πίνακας 6.22: Στατιστική ανάλυση των τιμών του δυναμικού μέτρου διάτμησης για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες και με τις δυο μεθόδους.

	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΕΣ		ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΕΣ	
	Δυναμικό μέτρο διάτμησης, G_{ds} (GPa)	Δυναμικό μέτρο διάτμησης, G_{dm} (GPa)	Δυναμικό μέτρο διάτμησης, G_{ds} (GPa)	Δυναμικό μέτρο διάτμησης, G_{dm} (GPa)
Μέγιστη τιμή	26.4	26.4	70.7	70.3
Ελάχιστη τιμή	14.7	14.6	46.3	45.9
Μέση Τιμή	20.9	20.7	60.6	60.0
Τυπική απόκλιση	2.8	2.7	7.5	7.6
Πλήθος δοκιμών	103	103	63	63

Στους σερπεντινίτες, που εξετάστηκαν, τα δυναμικά μέτρα διάτμησης είναι μικρότερα από τους περιδοτίτες, κάτι απόλυτα λογικό αφού όπως προαναφέραμε στο Κεφάλαιο 2, το δυναμικό μέτρο διάτμησης είναι ανάλογο με την ταχύτητα των εγκάρσιων κυμάτων. Για τους σερπεντινίτες, οι τιμές του δυναμικού μέτρου διάτμησης κυμαίνονται από 14.7 έως 26.4GPa, όταν αυτές υπολογίζονται με τη μέθοδο της άνωσης, ενώ όταν αυτές υπολογίζονται με τη χρήση μικρομέτρου κυμαίνονται από 14.6 έως 26.4GPa. Στους περιδοτίτες η παραπάνω παράμετρος παρουσιάζει τιμές από 46.3 έως 70.7GPa και από 45.9 έως 70.3GPa αντιστοίχως. Το μεγαλύτερο ποσοστό των σερπεντινιτών παρουσιάζει τιμές μεταξύ 20.5 και 22.0GPa, ενώ το μικρότερο ποσοστό εμφανίζεται για τιμές μικρότερες από 17.5GPa. Όσον αφορά τους περιδοτίτες, το μεγαλύτερο ποσοστό εμφανίζει δυναμικό μέτρο διάτμησης μεταξύ 66.0 και 69.0GPa, ενώ το μικρότερο ποσοστό παρουσιάζεται για τιμές από 60.0 έως και 63.0GPa.

Οι προτεινόμενες από τη βιβλιογραφία τιμές των δυναμικών χαρακτηριστικών (BIRCH, 1960; BRACE, 1965; CHRISTENSEN, 1966b; RAO & RAMANA, 1974; KERN AND FAKHIMI, 1975; KOYMANTAKHΣ, 1978; ESCARTIN, et al., 2001; CARLSON & MILLER, 2003; CHRISTENSEN, 2004; COURTIER et al., 2004; WANG et al., 2009; κ.ά.) βρίσκονται γενικά σε συμφωνία με τις τιμές που προσδιορίστηκαν στη διδακτορική αυτή διατριβή. Οι περιδοτίτες παρουσιάζουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις από τους σερπεντινίτες. Αυτό οφείλεται πιθανώς στην ανισοτροπία (μακροσκοπικά μη εμφανή), η οποία προκύπτει από τον προτιμηταίο προσανατολισμό των κρυστάλλων του ολιβίνη και των φαινοκρυστάλλων του πυροξένου (Κεφάλαιο 3). Ανακεφαλαιώνοντας, θεωρούμε σκόπιμο αλλά και χρήσιμο να παρουσιάσουμε συγκεντρωτικά τη διακύμανση, τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των τιμών των δυναμικών χαρακτηριστικών που προκύπτουν μόνο με τη μέθοδο της άνωσης (αφού όπως προαναφέραμε στο Κεφάλαιο 5, αυτή παρουσιάζει μεγαλύτερη ακρίβεια συγκρινόμενη με τη μέθοδο του μικρομέτρου) τόσο για τους σερπεντινίτες, όσο και για τους περιδοτίτες (Πίν. 6.23, 6.24).

6.3 Μηχανικά χαρακτηριστικά

6.3.1 Σκληρότητα με σφυρί Schmidt (SHV)

Η σκληρότητα (SHV) μετρήθηκε σε 103 δοκίμια σερπεντινιτών και 63 δοκίμια περιδοτιτών και οι τιμές τους παρατίθενται στον Πίνακα 6.25. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση των τιμών και τα αποτελέσματα της παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.26. Στις Εικόνες 6.35, 6.36 προβάλλονται τα ιστογράμματα με τις κατάνομες των αποτελεσμάτων της στατιστικής ανάλυσης.

Πίνακας 6.23: Στατιστική ανάλυση των τιμών των δυναμικών χαρακτηριστικών για τους σερπεντινίτες με τη μέθοδο της άνωσης.

ΣΕΡΠΗΝΤΙΝΙΤΕΣ					
	Ταχύτητες επιμηκών κυμάτων, V_p (m/sec)	Ταχύτητες εγκάρσιων κυμάτων, V_s (m/sec)	Δυναμικός λόγος Poisson, ν_d	Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας, E_{ds} (GPa)	Δυναμικό μέτρο διάτμησης, G_{ds} (GPa)
Μέγιστη τιμή	5789	3109	0.338	68.6	26.4
Ελάχιστη τιμή	4843	2425	0.290	39.3	14.7
Μέση Τιμή	5366	2805	0.312	54.8	20.9
Τυπική απόκλιση	206	160	0.011	6.8	2.7
Πλήθος δοκιμών	103	103	103	103	103

Πίνακας 6.24: Στατιστική ανάλυση των τιμών των δυναμικών χαρακτηριστικών για τους περιδοτίτες με τη μέθοδο της άνωσης.

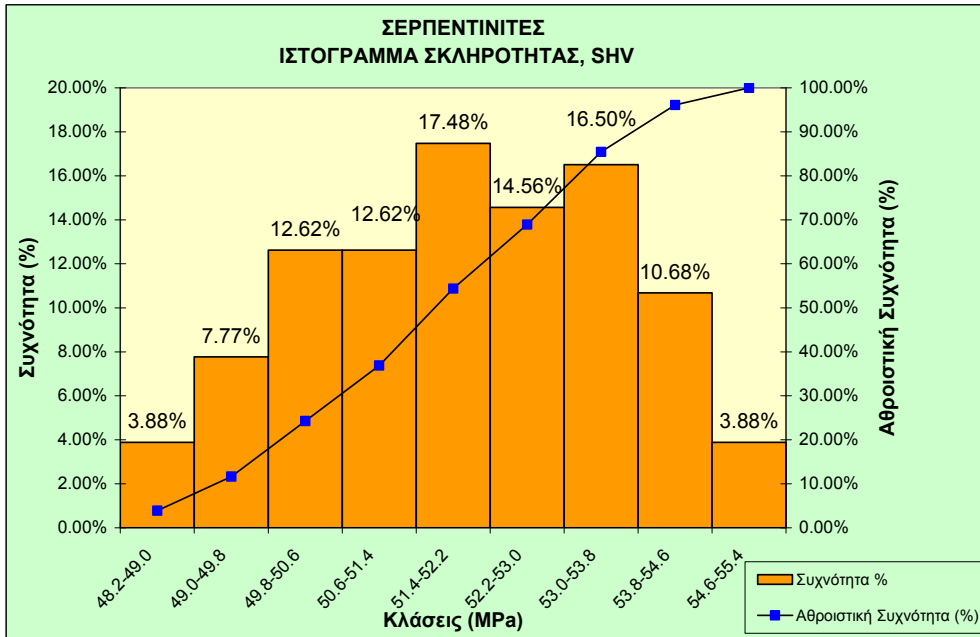
ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΕΣ					
	Ταχύτητες επιμηκών κυμάτων, V_p (m/sec)	Ταχύτητες εγκάρσιων κυμάτων, V_s (m/sec)	Δυναμικός λόγος Poisson, ν_d	Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας, E_{ds} (GPa)	Δυναμικό μέτρο διάτμησης, G_{ds} (GPa)
Μέγιστη τιμή	8007	4573	0.293	177.6	70.7
Ελάχιστη τιμή	7048	3816	0.249	119.7	46.3
Μέση Τιμή	7637	4278	0.271	153.9	60.6
Τυπική απόκλιση	291	217	0.010	18.0	7.5
Πλήθος δοκιμών	63	63	63	63	63

Πίνακας 6.25: Τιμές της σκληρότητας (SHV).

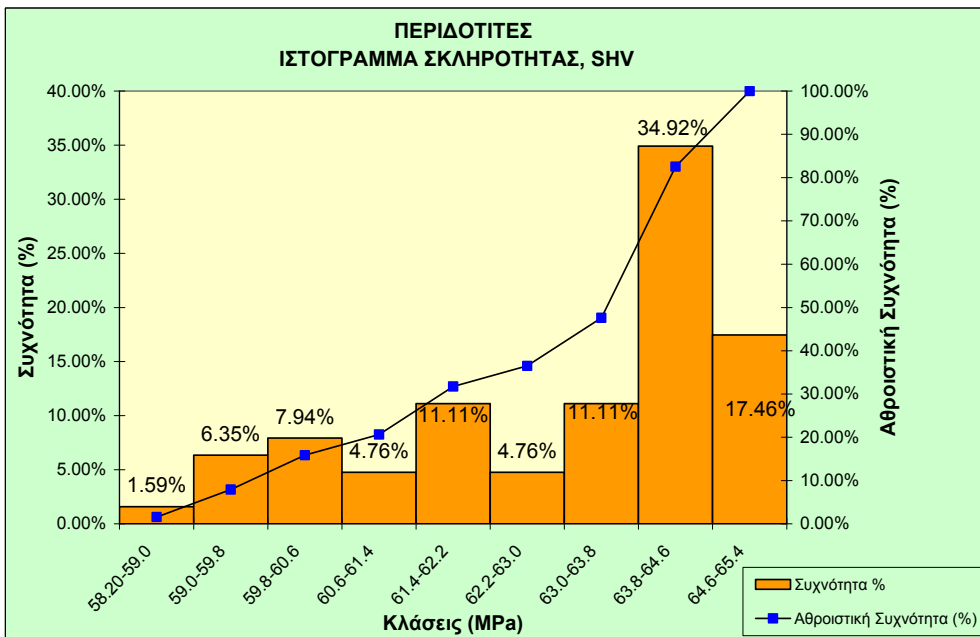
Κωδικός Δοκιμίου	SHV	Κωδικός Δοκιμίου	SHV	Κωδικός Δοκιμίου	SHV	Κωδικός Δοκιμίου	SHV	Κωδικός Δοκιμίου	SHV
ΚΠ01Α	60	ΚΣ10Δ	53	ΟΠ12Α	62	ΟΣ07Α	51	ΟΣ28Α	54
ΚΠ02Α	63	ΚΣ10Ε	53	ΟΠ13Α	65	ΟΣ08Α	50	ΟΣ28Δ	50
ΚΠ03Α	59	ΚΣ10Ζ	53	ΟΠ14Α	64	ΟΣ08Γ	50	ΟΣ29Α	53
ΚΠ04Α	62	ΚΣ11Α	55	ΟΠ14Δ	64	ΟΣ08Ε	51	ΟΣ29Γ	52
ΚΠ05Α	59	ΚΣ11Δ	55	ΟΠ14Ε	64	ΟΣ08Ζ	51	ΟΣ30Α	52
ΚΠ05Β	58	ΚΣ11Ε	54	ΟΠ14Ζ	65	ΟΣ09Α	51	ΟΣ30Δ	51
ΚΠ06Α	64	ΚΣ11Ζ	54	ΟΠ14Η	64	ΟΣ09Δ	51	ΟΣ30Ε	52
ΚΠ06Δ	64	ΚΣ11Η	55	ΟΠ15Α	65	ΟΣ09Ε	51	ΟΣ30Ζ	51
ΚΠ06Ε	64	ΚΣ12Β	53	ΟΠ15Δ	65	ΟΣ09Ζ	51	ΟΣ31Α	53
ΚΠ06Ζ	64	ΚΣ13Β	54	ΟΠ16Α	63	ΟΣ09Η	50	ΟΣ32Α	54
ΚΠ06Η	64	ΚΣ14Β	52	ΟΠ17Α	63	ΟΣ10Α	52	ΟΣ32Δ	53
ΚΠ07Α	65	ΚΣ14Δ	53	ΟΠ18Α	64	ΟΣ11Α	53	ΟΣ33Α	52
ΚΠ07Δ	65	ΚΣ16Α	53	ΟΠ19Α	64	ΟΣ12Α	53	ΟΣ34Γ	52
ΚΠ07Ε	65	ΟΠ01Α	60	ΟΠ19Δ	64	ΟΣ13Α	51	ΟΣ34Δ	52
ΚΠ07Ζ	65	ΟΠ01Δ	61	ΟΠ19Ε	64	ΟΣ14Α	50	ΟΣ34Ε	52
ΚΠ07Η	65	ΟΠ01Ε	62	ΟΠ19Ζ	64	ΟΣ15Α	53	ΟΣ34Ζ	52
ΚΠ08Α	65	ΟΠ01Ζ	61	ΟΠ19Η	64	ΟΣ16Α	52	ΟΣ34Η	52
ΚΠ9Α	64	ΟΠ01Η	62	ΟΠ20Α	63	ΟΣ17Α	50	ΟΣ36Α	53
ΚΣ01Α	48	ΟΠ02Α	60	ΟΠ21Α	61	ΟΣ18Α	53	ΟΣ36Δ	53
ΚΣ02Α	53	ΟΠ03Α	61	ΟΠ22Α	62	ΟΣ19Α	50	ΟΣ36Ε	54
ΚΣ03Α	49	ΟΠ04Α	61	ΟΠ23Α	64	ΟΣ19Γ	50	ΟΣ36Ζ	53
ΚΣ04Α	53	ΟΠ04Ε	62	ΟΠ24Α	65	ΟΣ20Α	53	ΟΣ36Η	54
ΚΣ05Α	49	ΟΠ05Α	60	ΟΠ25Α	61	ΟΣ21Α	55	ΟΣ37Α	53
ΚΣ06Α	49	ΟΠ06Α	63	ΟΠ26Α	62	ΟΣ21Δ	55	ΟΣ38Γ	51
ΚΣ07Α	54	ΟΠ06Β	64	ΟΣ01Α	52	ΟΣ22Α	50	ΟΣ39Γ	51
ΚΣ07Β	54	ΟΠ07Α	64	ΟΣ01Β	53	ΟΣ22Δ	50	ΟΣ40Α	51
ΚΣ08Α	51	ΟΠ07Δ	64	ΟΣ02Α	49	ΟΣ23Α	52	ΟΣ41Β	51
ΚΣ08Β	53	ΟΠ07Ε	64	ΟΣ02Δ	50	ΟΣ24Α	54	ΟΣ42Α	55
ΚΣ08Δ	53	ΟΠ07Ζ	65	ΟΣ02Ε	49	ΟΣ25Α	54	ΟΣ43Α	50
ΚΣ08Ε	53	ΟΠ07Η	64	ΟΣ02Ζ	49	ΟΣ25Δ	54	ΟΣ43Β	50
ΚΣ08Ζ	53	ΟΠ08Α	59	ΟΣ03Α	50	ΟΣ25Ε	54		
ΚΣ09Α	51	ΟΠ09Α	65	ΟΣ04Α	52	ΟΣ25Ζ	54		
ΚΣ09Β	50	ΟΠ10Α	64	ΟΣ05Α	52	ΟΣ26Β	51		
ΚΣ10Α	52	ΟΠ11Α	62	ΟΣ06Α	52	ΟΣ27Α	52		

Πίνακας 6.26: Στατιστική ανάλυση των τιμών της σκληρότητας για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες.

	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ, SHV	
	Σερπεντινίτες	Περιδοτίτες
Μέγιστη τιμή	55	65
Ελάχιστη τιμή	48	58
Μέση Τιμή	52	63
Τυπική απόκλιση	1.65	1.84
Πλήθος δοκιμών	103	63



Εικόνα 6.35: Ιστογράμμο κατανομής της σκληρότητας (SHV) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.36: Ιστογράμμο κατανομής της σκληρότητας (SHV) για τους περιδοτίτες.

Από τους ανωτέρω πίνακες και τα σχήματα είναι προφανές πως στους σερπεντινίτες οι τιμές της σκληρότητας είναι μικρότερες από τους περιδοτίτες, κάτι απόλυτα λογικό διότι όπως προαναφέραμε και στο Κεφάλαιο 3, οι σερπεντινίτες αποτελούνται από ορυκτά τα οποία έχουν μικρότερες σκληρότητες από αυτές των ορυκτών των περιδοτιτών. Οι τιμές της σκληρότητας στους σερπεντινίτες κυμαίνονται από 48 έως 55, η μέση τιμή είναι 52 και η τυπική απόκλιση τους 1.65. Στους περιδοτίτες η παραπάνω παράμετρος παρουσιάζει τιμές από 58 έως και 65, η μέση τιμή είναι 63 και η τυπική απόκλιση είναι

1.84. Το μεγαλύτερο ποσοστό (17.48%) στους σερπεντινίτες εμφανίζεται μεταξύ 51.4 έως και 52.2 και τα μικρότερα ποσοστά (3.88%) παρουσιάζονται για τιμές μικρότερες του 49.0 και μεγαλύτερες του 54.6. Το μεγαλύτερο ποσοστό (34.92%) των περιδοτιτών παρουσιάζουν τιμές σκληρότητας από 63.8 έως και 64.6, ενώ το μικρότερο ποσοστό (1.59%) παρουσιάζεται για τιμές μικρότερες από 59.0. Με βάση τις παραπάνω τιμές οι σερπεντινίτες χαρακτηρίζονται κυρίως ως σκληρά πετρώματα (με λίγες εξαιρέσεις που παρουσιάζουν μέτρια σκληρότητα), ενώ οι περιδοτίτες χαρακτηρίζονται ως πολύ σκληρά πετρώματα με ένα μικρό ποσοστό αυτών να χαρακτηρίζονται ως σκληρά (ΚΟΥΚΗΣ & ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ, 2002, Κεφάλαιο 2, Πίνακας 2.4).

6.3.2 Αντοχή σε μοναξονική θλίψη- στατικό μέτρο ελαστικότητας, λόγος Poisson και στατικό μέτρο διάτμησης

6.3.2.1 Αντοχή σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci})

Η αντοχή σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci}) μετρήθηκε σε 65 δοκίμια σερπεντινιτών και 39 περιδοτιτών (Πίν. 6.27). Τα αποτελέσματα της δοκιμής αυτής αναλύθηκαν στατιστικά και παρατίθενται στον Πίνακα 6.28, ενώ τα ιστογράμματα προβάλλονται στις Εικόνες 6.37, 6.38.

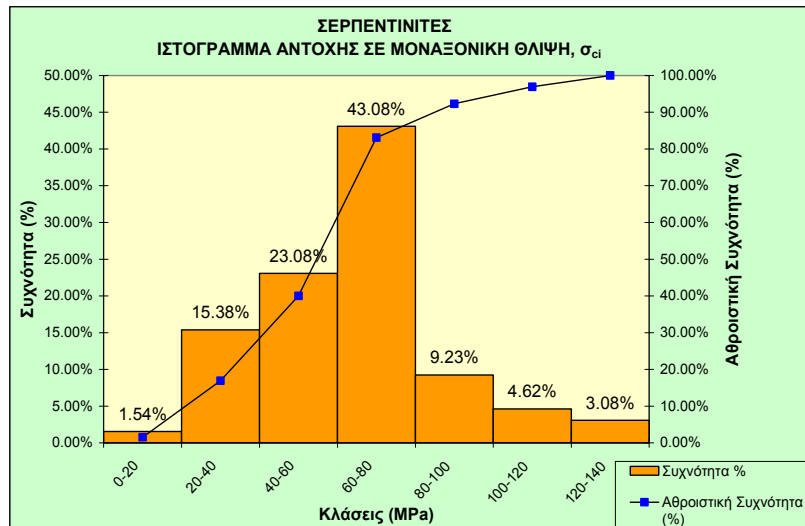
Πίνακας 6.27: Οι τιμές της αντοχής σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci}).

Κωδικός Δοκιμίου	σ_{ci} (MPa)	Κωδικός Δοκιμίου	σ_{ci} (MPa)	Κωδικός Δοκιμίου	σ_{ci} (MPa)	Κωδικός Δοκιμίου	σ_{ci} (MPa)	Κωδικός Δοκιμίου	σ_{ci} (MPa)
ΚΠ01Α	71.12	ΚΣ11Α	112.91	ΟΠ15Α	194.10	ΟΣ07Α	32.59	ΟΣ26Β	55.67
ΚΠ02Α	131.36	ΚΣ12Β	79.77	ΟΠ15Δ	216.68	ΟΣ08Α	37.63	ΟΣ27Α	73.55
ΚΠ03Α	65.21	ΚΣ13Β	96.40	ΟΠ16Α	117.41	ΟΣ09Α	47.80	ΟΣ28Α	96.31
ΚΠ04Α	112.36	ΚΣ14Β	70.80	ΟΠ17Α	123.58	ΟΣ10Α	79.10	ΟΣ28Δ	69.62
ΚΠ05Α	99.71	ΚΣ14Δ	57.92	ΟΠ18Α	178.15	ΟΣ11Δ	75.48	ΟΣ29Α	76.53
ΚΠ05Β	70.25	ΚΣ16Α	76.17	ΟΠ19Α	185.17	ΟΣ12Α	78.80	ΟΣ29Γ	63.17
ΚΠ06Α	179.61	ΟΠ01Α	96.23	ΟΠ20Α	92.35	ΟΣ13Α	39.45	ΟΣ30Α	52.14
ΚΠ07Α	198.71	ΟΠ02Α	135.61	ΟΠ21Α	131.60	ΟΣ14Α	37.70	ΟΣ31Α	72.24
ΚΠ08Α	185.60	ΟΠ03Α	112.37	ΟΠ22Α	156.06	ΟΣ15Α	76.44	ΟΣ32Α	84.31
ΚΠ9Α	107.75	ΟΠ04Α	107.38	ΟΠ23Α	189.14	ΟΣ16Α	51.42	ΟΣ32Δ	80.25
ΚΣ01Α	28.94	ΟΠ04Ε	138.31	ΟΠ24Α	241.56	ΟΣ17Α	43.80	ΟΣ33Α	69.83
ΚΣ02Α	66.01	ΟΠ05Α	74.44	ΟΠ25Α	121.34	ΟΣ18Α	77.78	ΟΣ34Γ	72.49
ΚΣ03Α	31.25	ΟΠ06Α	124.36	ΟΠ26Α	138.64	ΟΣ19Α	43.13	ΟΣ36Α	90.28
ΚΣ04Α	77.78	ΟΠ07Α	172.35	ΟΠ6Β	148.31	ΟΣ19Γ	49.36	ΟΣ37Α	79.48
ΚΣ05Α	19.21	ΟΠ08Α	79.31	ΟΣ01Α	77.18	ΟΣ20Α	88.65	ΟΣ38Γ	70.41
ΚΣ06Α	41.72	ΟΠ09Α	188.82	ΟΣ01Β	78.29	ΟΣ21Α	128.09	ΟΣ39Γ	64.66
ΚΣ07Α	112.33	ΟΠ10Α	197.44	ΟΣ02Α	32.12	ΟΣ21Δ	123.38	ΟΣ40Α	25.14
ΚΣ08Α	76.73	ΟΠ11Α	148.89	ΟΣ03Α	45.59	ΟΣ22Α	44.31	ΟΣ41Β	70.11
ΚΣ09Α	22.91	ΟΠ12Α	105.43	ΟΣ04Α	54.81	ΟΣ23Α	79.96	ΟΣ42Α	105.68
ΚΣ09Β	23.23	ΟΠ13Α	201.81	ΟΣ05Α	51.98	ΟΣ24Α	70.27	ΟΣ43Α	51.95
ΚΣ10Α	79.83	ΟΠ14Α	183.47	ΟΣ06Α	58.90	ΟΣ25Α	78.61		

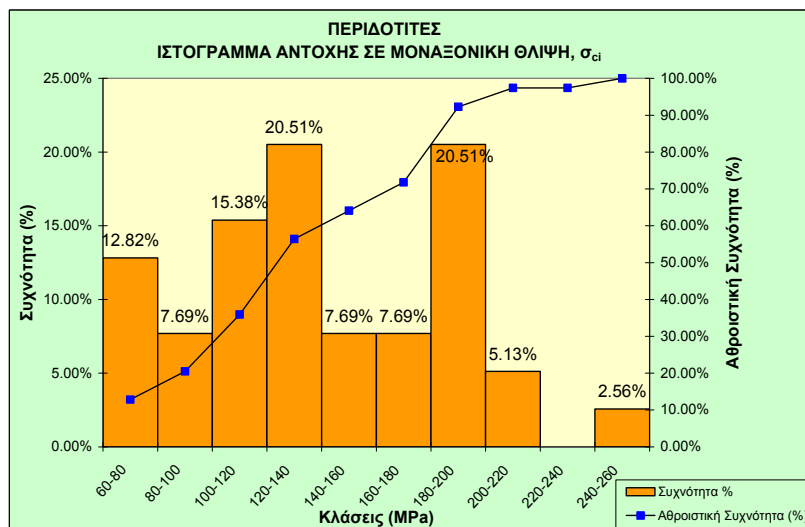
Πίνακας 6.28: Στατιστική ανάλυση των τιμών της αντοχής σε μοναξονική θλίψη για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες.

	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ, σ_{ci} (MPa)	
	Σερπεντινίτες	Περιδοτίτες
Μέγιστη τιμή	128.09	241.56
Ελάχιστη τιμή	19.21	65.21
Μέση Τιμή	65.85	141.59
Τυπική απόκλιση	24.39	45.95
Πλήθος δοκιμών	65	39

Στους σερπεντινίτες, η αντοχή σε μοναξονική θλίψη κυμαίνεται από 19.21 έως και 128.09MPa, η μέση τιμή είναι 65.85MPa και παρουσιάζουν τυπική απόκλιση 24.39MPa, ενώ στους περιδοτίτες η παραπάνω παράμετρος εμφανίζει τιμές από 65.21 έως και 241.56MPa, η μέση τιμή είναι 141.59MPa και η τυπική απόκλιση είναι 45.95MPa.



Εικόνα 6.37: Ιστόγραμμα κατανομής της αντοχής σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci}) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.38: Ιστόγραμμα κατανομής της αντοχής σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci}) για τους περιδοτίτες.

Στους σερπεντινίτες, που μελετήσαμε, οι τιμές της αντοχής σε μοναξονική θλίψη είναι μικρότερες από αυτές των περιδοτιτών (εκτός κάποιων εξαιρέσεων), γεγονός απόλυτα λογικό αφού σύμφωνα με τα προαναφερθέντα, οι σερπεντινίτες έχουν μικρότερα φαινόμενα βάρη και μεγαλύτερα πορώδη. Στο Κεφάλαιο 3 έχουμε αναφέρει πως η αντοχή είναι ανάλογη του φαινόμενου βάρους και αντιστρόφως ανάλογη του πορώδους.

Οι περισσότεροι περιδοτίτες (20.51%) παρουσιάζουν αντοχή σε μοναξονική θλίψη, η οποία κυμαίνεται από 120 έως 140MPa και από 180 έως 200MPa, ενώ το μικρότερο ποσοστό (2.56%) παρουσιάζεται για τιμές από 240 έως και 260MPa. Η μεγαλύτερη συχνότητα (43.08%), στους σερπεντινίτες, εμφανίζεται για τιμές μεταξύ 60 και 80MPa και η μικρότερη (1.54%) παρουσιάζεται για τιμές μικρότερες από 20MPa. Σύμφωνα με τους DEERE & MILLER (1966, Κεφάλαιο 2, **Πίνακας 2.5**) οι περιδοτίτες, που μελετήθηκαν στη διαρτριβή αυτή, χαρακτηρίζονται κυρίως ως πετρώματα υψηλής αντοχής, ενώ κάποιοι από αυτούς (μειοψηφία) ανήκουν στα πετρώματα πολύ υψηλής αντοχής και ένα άλλο μικρό ποσοστό στα μέσης. Οι σερπεντινίτες κυρίως χαρακτηρίζονται ως πετρώματα μέσης αντοχής, ενώ κάποιοι από αυτούς (μειοψηφία) ανήκουν στα πετρώματα υψηλής αντοχής. Επιπλέον, ένα μικρό ποσοστό αυτών χαρακτηρίζεται ως χαμηλής ακόμα και πολύ χαμηλής αντοχής. Με βάση την ταξινόμηση της ISRM (1981, Κεφάλαιο 2, **Πίνακας 2.7**), η πλειοψηφία των περιδοτιτών ($\approx 80\%$) χαρακτηρίζονται ως πετρώματα πολύ υψηλής αντοχής με ένα μικρό ποσοστό ($\approx 20\%$) αυτών να χαρακτηρίζεται ως υψηλής αντοχής. Αντίθετα η πλειοψηφία των σερπεντινιτών χαρακτηρίζονται ως πετρώματα υψηλής αντοχής, ενώ κάποιοι από αυτούς (7.70%) ανήκουν στα πετρώματα πολύ υψηλής αντοχής και ένα άλλο μικρό ποσοστό στα μέσης ως και χαμηλής αντοχής.

Η μεγάλη διακύμανση που παρουσιάζουν οι περιδοτίτες (φτάνουν να έχουν τιμές παρόμοιες με τους σερπεντινίτες) οφείλεται ως ένα μεγάλο βαθμό στο γεγονός ότι όταν η σερπεντινίωση τους ξεπεράσει το 10%, συμπεριφέρονται σαν «καθαροί» σερπεντινίτες και η αντοχή τους μειώνεται ως και στο μισό, πολλές φορές, της αντοχής των ανεξαλλοιώτων περιδοτιτών (SHIMADA et al., 1983; ESCARTIN et al., 2001).

Οι περιδοτίτες, όπως προείπαμε στο Κεφάλαιο 3, διαστέλλονται κατά τη διάρκεια της ψαθυρής παραμόρφωσης, ως συνέπεια του ανοίγματος των αξονικών μικρορωγμών και θραύονται δημιουργώντας κυρίως κατακόρυφα σπασίματα με έντονο κρότο και βίαιη εκτόξευση των θραυσμάτων. Αυτό οφείλεται στην μικρή παραμόρφωση των δοκιμίων, κατά την επιβολή των φορτίων, με αποτέλεσμα η συσσωρευμένη ελαστική ενέργεια να εκλυθεί απότομα κατά τη στιγμή της θραύσης. Αντίθετα, οι σερπεντινίτες εμφανίζουν κυρίως διατμητικές ρωγμές, χωρίς όμως να λείπουν και τα κατακόρυφα σπασίματα,

δημιουργώντας ελάχιστο ή κανένα κενό με συνέπεια την μη-διασταλτική παραμόρφωση. Δεν παρουσιάζουν σημαντικό κρότο ούτε ιδιαίτερη εκτόξευση θραυσμάτων.

6.3.2.2 Στατικό μέτρο ελαστικότητας (E_{st})

Το στατικό μέτρο ελαστικότητας (E_{st}) εξετάστηκε στα ίδια δοκίμια που μελετήθηκε και η αντοχή σε μοναξονική θλίψη και τα αποτελέσματα τους παρατίθενται στον Πίνακα 6.29. Όπως προαναφέραμε και στο Κεφάλαιο 2, ως στατικό μέτρο ελαστικότητας εννοούμε το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας, που αντιστοιχεί στο 50% της αντοχής. Τα αποτελέσματα, τα οποία προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση των τιμών, παρατίθενται στον Πίνακα 6.30.

Πίνακας 6.29: Οι τιμές του στατικού μέτρου ελαστικότητας (E_{st}).

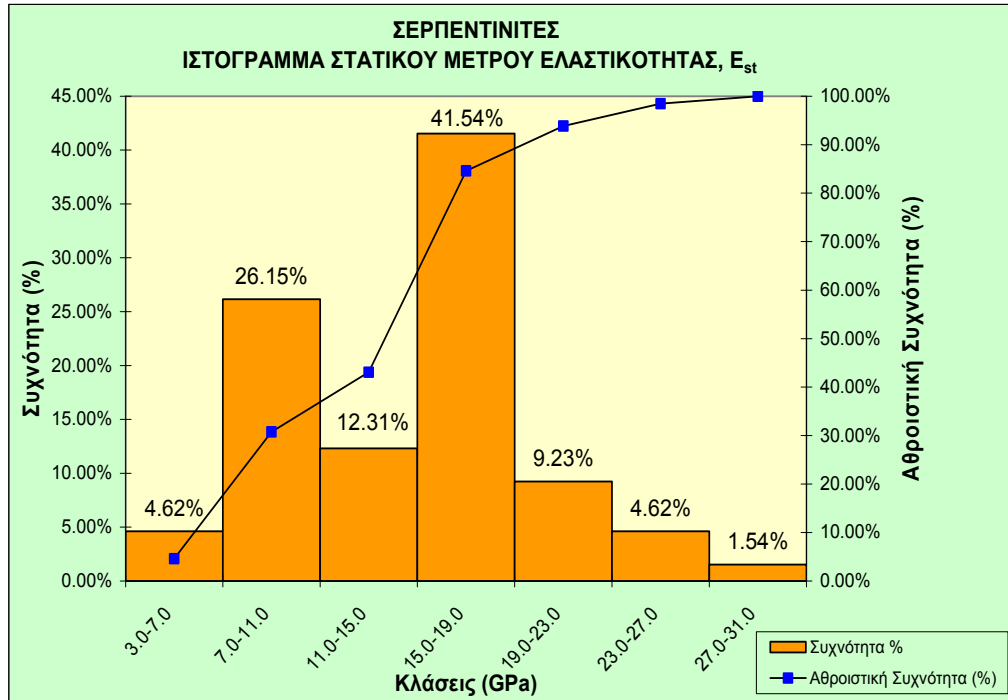
Κωδικός Δοκιμίου	E_{st} (GPa)	Κωδικός Δοκιμίου	E_{st} (GPa)	Κωδικός Δοκιμίου	E_{st} (GPa)	Κωδικός Δοκιμίου	E_{st} (GPa)	Κωδικός Δοκιμίου	E_{st} (GPa)
ΚΠ01Α	27.1	ΚΣ12Β	19.0	ΟΠ16Α	32.3	ΟΣ10Α	18.7	ΟΣ29Α	21.8
ΚΠ02Α	37.1	ΚΣ13Β	22.8	ΟΠ17Α	32.6	ΟΣ11Δ	16.8	ΟΣ29Γ	14.8
ΚΠ03Α	26.5	ΚΣ14Β	15.4	ΟΠ18Α	50.0	ΟΣ12Α	18.0	ΟΣ30Α	11.2
ΚΠ04Α	36.3	ΚΣ14Δ	16.7	ΟΠ19Α	54.4	ΟΣ13Α	9.7	ΟΣ31Α	16.2
ΚΠ05Α	26.1	ΚΣ16Α	16.9	ΟΠ20Α	29.1	ΟΣ14Α	10.3	ΟΣ32Α	17.6
ΚΠ05Β	36.5	ΟΠ01Α	38.9	ΟΠ21Α	26.4	ΟΣ15Α	19.4	ΟΣ32Δ	17.2
ΚΠ06Α	64.5	ΟΠ02Α	41.0	ΟΠ22Α	38.5	ΟΣ16Α	16.1	ΟΣ33Α	12.6
ΚΠ07Α	65.0	ΟΠ03Α	43.5	ΟΠ23Α	63.9	ΟΣ17Α	8.8	ΟΣ34Γ	14.7
ΚΠ08Α	49.6	ΟΠ04Α	32.3	ΟΠ24Α	69.3	ΟΣ18Α	18.1	ΟΣ36Α	22.1
ΚΠ9Α	34.7	ΟΠ04Ε	38.9	ΟΠ25Α	39.8	ΟΣ19Α	7.9	ΟΣ37Α	15.0
ΚΣ01Α	7.5	ΟΠ05Α	29.3	ΟΠ26Α	42.5	ΟΣ19Γ	11.0	ΟΣ38Γ	17.2
ΚΣ02Α	18.5	ΟΠ06Α	32.9	ΟΠ6Β	39.2	ΟΣ20Α	19.3	ΟΣ39Γ	17.1
ΚΣ03Α	8.0	ΟΠ07Α	60.1	ΟΣ01Α	16.2	ΟΣ21Α	29.4	ΟΣ40Α	6.4
ΚΣ04Α	15.4	ΟΠ08Α	29.6	ΟΣ01Β	11.9	ΟΣ21Δ	26.2	ΟΣ41Β	17.8
ΚΣ05Α	7.9	ΟΠ09Α	63.1	ΟΣ02Α	9.6	ΟΣ22Α	8.0	ΟΣ42Α	26.1
ΚΣ06Α	12.0	ΟΠ10Α	63.9	ΟΣ03Α	8.7	ΟΣ23Α	14.9	ΟΣ43Α	10.4
ΚΣ07Α	26.9	ΟΠ11Α	43.9	ΟΣ04Α	15.2	ΟΣ24Α	16.4		
ΚΣ08Α	17.4	ΟΠ12Α	42.5	ΟΣ05Α	9.6	ΟΣ25Α	16.9		
ΚΣ09Α	6.1	ΟΠ13Α	61.2	ΟΣ06Α	13.8	ΟΣ26Β	10.7		
ΚΣ09Β	4.4	ΟΠ14Α	54.4	ΟΣ07Α	8.1	ΟΣ27Α	16.7		
ΚΣ10Α	17.6	ΟΠ15Α	63.8	ΟΣ08Α	8.1	ΟΣ28Α	18.3		
ΚΣ11Α	20.4	ΟΠ15Δ	68.7	ΟΣ09Α	10.7	ΟΣ28Δ	15.8		

Πίνακας 6.30: Στατιστική ανάλυση του στατικού μέτρου ελαστικότητας για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες.

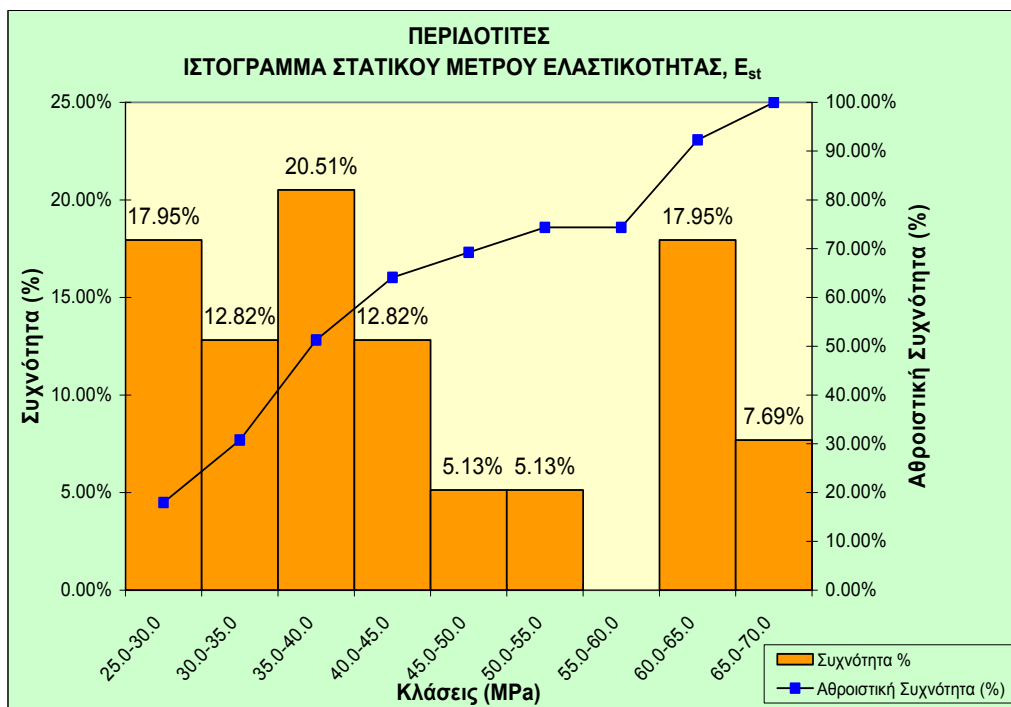
	ΣΤΑΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ, E_{st} (GPa)	
	Σερπεντινίτες	Περιδοτίτες
Μέγιστη τιμή	29.4	69.3
Ελάχιστη τιμή	4.4	26.1
Μέση Τιμή	14.9	44.3
Τυπική απόκλιση	5.4	13.8
Πλήθος δοκιμών	65	39

Το στατικό μέτρο ελαστικότητας κυμαίνεται από 4.4 έως 29.4GPa στους σερπεντινίτες και από 26.1 έως 69.3GPa στους περιδοτίτες, με μέσες τιμές 14.9 και 44.3GPa και τυπικές αποκλίσεις 5.4 και 13.8GPa αντιστοίχως.

Στα ιστογράμματα (Εικ. 8.39, 8.40), που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι κατανομές του στατικού μέτρου ελαστικότητας ανά λιθολογικό τύπο.



Εικόνα 6.39: Ιστόγραμμα κατανομής του στατικού μέτρου ελαστικότητας (E_{st}) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.40: Ιστόγραμμα κατανομής του στατικού μέτρου ελαστικότητας (E_{st}) για τους περιδοτίτες.

Στους περιδοτίτες τα στατικά μέτρα ελαστικότητας είναι μεγαλύτερα από αυτά των σερπεντινιτών, κάτι που φαίνεται λογικό, αφού οι περιδοτίτες είναι πιο άκαμπτα πετρώματα και το μέτρο ελαστικότητας είναι δείκτης της ακαμψίας (Κεφάλαιο 2). Για τους σερπεντινίτες το μεγαλύτερο ποσοστό (41.54%) παρουσιάζεται για στατικά μέτρα ελαστικότητας από 15.0 έως 19.0GPa, ενώ το μικρότερο ποσοστό (1.54%) εμφανίζεται για τιμές μεγαλύτερες από 27.0GPa. Οι περισσότεροι περιδοτίτες (20.51%) παρουσιάζουν στατικά μέτρα ελαστικότητας μεταξύ 35 και 40GPa, ενώ τα μικρότερα ποσοστά (0.00%) παρουσιάζονται για τιμές από 55 έως και 60GPa.

6.3.2.3 Στατικός λόγος Poisson (ν_{st})

Ταυτόχρονα με τον προσδιορισμό της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του στατικού μέτρου ελαστικότητας, έγινε και υπολογισμός του στατικού λόγου Poisson (ν_{st}). Όμως, ο στατικός λόγος Poisson υπολογίστηκε μόνο σε 36 δοκίμια σερπεντινιτών και 25 περιδοτιτών, οι τιμές των οποίων παρατίθενται στον **Πίνακα 6.31**. Αυτή η μείωση στον αριθμό των δοκιμίων, που εξετάστηκαν για τον προσδιορισμό του στατικού λόγου Poisson, οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι δε χρησιμοποιήθηκαν σε όλα τα δοκίμια strain gauges, αλλά και στο ότι κάποια strain gauges έσπασαν με αποτέλεσμα να μην έχουμε μετρήσεις, για τη διαμετρική κυρίως παραμόρφωση. Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν στατιστικά και παρουσιάζονται στον **Πίνακα 6.32**. Τα ιστογράμματα, τα οποία δείχνουν τις κατανομές των τιμών ανά λιθολογικό τύπο, προβάλλονται στις **Εικόνες 6.41, 6.42**.

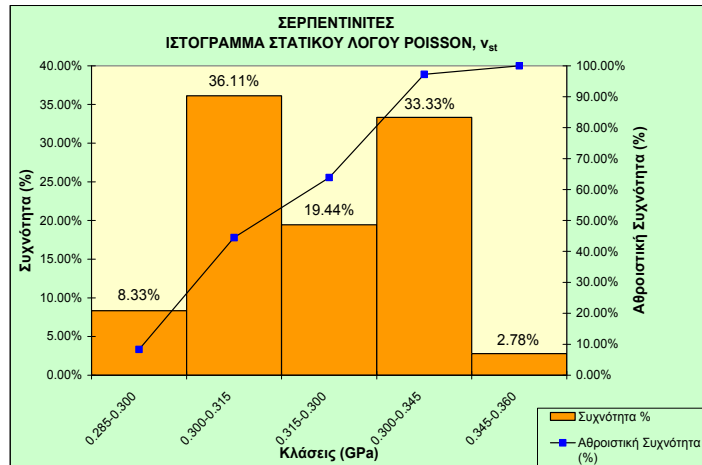
Πίνακας 6.31: Οι τιμές του στατικού λόγου Poisson (ν_{st}).

Κωδικός Δοκιμίου	ν_{st}	Κωδικός Δοκιμίου	ν_{st}	Κωδικός Δοκιμίου	ν_{st}	Κωδικός Δοκιμίου	ν_{st}
ΚΠ01Α	0.297	ΟΠ03Α	0.251	ΟΠ26Α	0.280	ΟΣ21Α	0.308
ΚΠ02Α	0.282	ΟΠ04Ε	0.282	ΟΣ01Α	0.338	ΟΣ21Δ	0.314
ΚΠ03Α	0.263	ΟΠ05Α	0.266	ΟΣ01Β	0.317	ΟΣ23Α	0.299
ΚΠ06Α	0.295	ΟΠ06Α	0.261	ΟΣ03Α	0.334	ΟΣ24Α	0.318
ΚΠ07Α	0.250	ΟΠ08Α	0.271	ΟΣ04Α	0.321	ΟΣ25Α	0.285
ΚΠ9Α	0.283	ΟΠ09Α	0.232	ΟΣ06Α	0.331	ΟΣ31Α	0.307
ΚΣ01Α	0.332	ΟΠ10Α	0.253	ΟΣ07Α	0.333	ΟΣ33Α	0.323
ΚΣ02Α	0.333	ΟΠ12Α	0.283	ΟΣ08Α	0.311	ΟΣ34Γ	0.285
ΚΣ03Α	0.315	ΟΠ13Α	0.251	ΟΣ09Α	0.321	ΟΣ36Α	0.333
ΚΣ04Α	0.332	ΟΠ14Α	0.256	ΟΣ10Α	0.333	ΟΣ37Α	0.303
ΚΣ06Α	0.331	ΟΠ15Α	0.252	ΟΣ11Δ	0.315	ΟΣ38Γ	0.301
ΚΣ08Α	0.305	ΟΠ16Α	0.282	ΟΣ12Α	0.314	ΟΣ41Β	0.313
ΚΣ10Α	0.337	ΟΠ20Α	0.285	ΟΣ14Α	0.324	ΟΣ42Α	0.321
ΚΣ16Α	0.359	ΟΠ22Α	0.283	ΟΣ17Α	0.309		
ΟΠ01Α	0.287	ΟΠ24Α	0.243	ΟΣ18Α	0.304		
ΟΠ02Α	0.287	ΟΠ25Α	0.266	ΟΣ19Α	0.337		

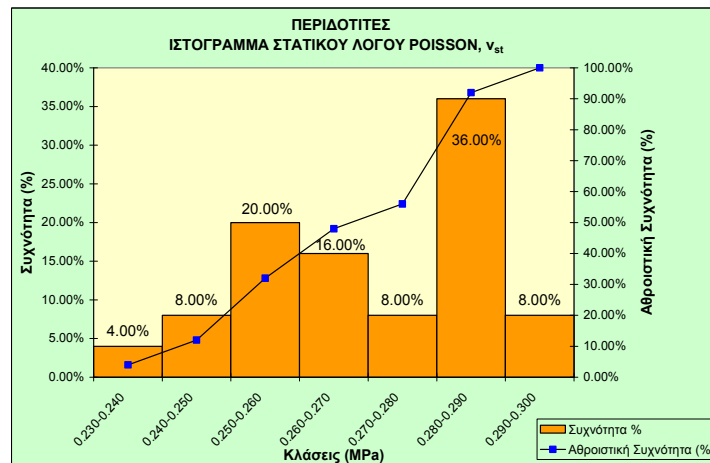
Πίνακας 6.32: Στατιστική ανάλυση των τιμών του στατικού λόγου Poisson για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες.

	ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ POISSON, ν_{st}	
	Σερπεντινίτες	Περιδοτίτες
Μέγιστη τιμή	0.359	0.297
Ελάχιστη τιμή	0.285	0.232
Μέση Τιμή	0.319	0.270
Τυπική απόκλιση	0.016	0.018
Πλήθος δοκιμών	36	25

Ο στατικός λόγος Poisson κυμαίνεται από 0.285 έως 0.359 στους σερπεντινίτες και από 0.232 έως 0.297 στους περιδοτίτες, με μέσες τιμές 0.319 και 0.270 και τυπικές αποκλίσεις 0.016 και 0.018 αντιστοίχως.



Εικόνα 6.41: Ιστογράμμο κατανομής του στατικού λόγου Poisson (ν_{st}) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.42: Ιστογράμμο κατανομής του στατικού λόγου Poisson (ν_{st}) για τους περιδοτίτες.

Από τους πίνακες και τα σχήματα που παρουσιάστηκαν ανωτέρω είναι προφανές πως οι σερπεντινίτες εμφανίζουν κατά βάση μεγαλύτερους λόγους Poisson από τους περιδοτίτες, γεγονός που συμφωνεί με τα βιβλιογραφικά στοιχεία, τα οποία

παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3. Οι όποιες διαφοροποιήσεις, οφείλονται σε πιθανή ανισοτροπία μη εμφανή δια γυμνού οφθαλμού. Στους σερπεντινίτες το μεγαλύτερο ποσοστό (36.11%) παρουσιάζεται για στατικούς λόγους Poisson από 0.300 έως 0.315, ενώ το μικρότερο ποσοστό (2.78%) για τιμές μεγαλύτερες του 0.345. Οι περιδοτίτες παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συχνότητα λόγων Poisson (36.00%) για τιμές από 0.280 έως 0.290, ενώ το μικρότερο ποσοστό (4.00%) παρουσιάζεται για τιμές μικρότερες από 0.240.

6.3.2.4 Στατικό μέτρο διάτμησης (G_{st})

Μια άλλη στατική παράμετρο, που μελετήσαμε στην παρούσα διδακτορική διατριβή, είναι το στατικό μέτρο διάτμησης (G_{st}). Η παράμετρος αυτή υπολογίστηκε, στα ίδια δοκίμια που προσδιορίστηκε και ο στατικός λόγος Poisson, χρησιμοποιώντας τον τύπο 5.2 και οι τιμές της παρατίθενται στον Πίνακα 6.33.

Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν στατιστικά και παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.34, ενώ στις Εικόνες 6.43, 6.44, που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι κατανομές του στατικού μέτρου διάτμησης ανά λιθολογικό τύπο.

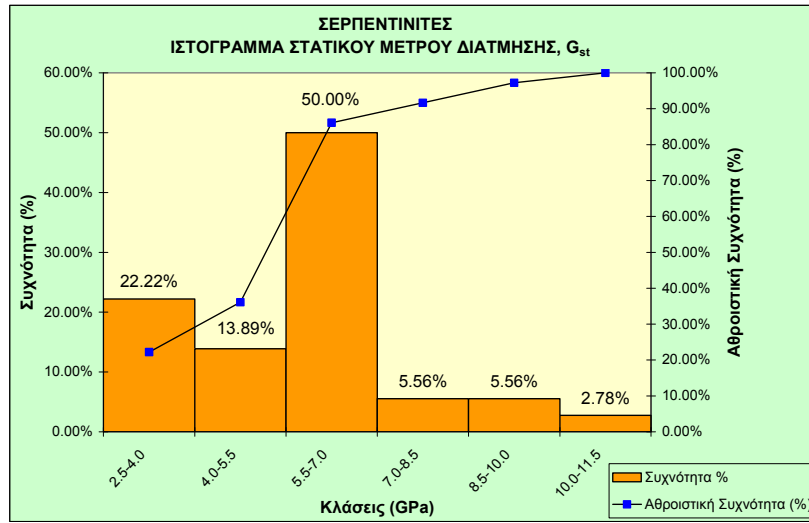
Πίνακας 6.33: Οι τιμές του στατικού μέτρου διάτμησης (G_{st}).

Κωδικός Δοκιμίου	G_{st}	Κωδικός Δοκιμίου	G_{st}	Κωδικός Δοκιμίου	G_{st}	Κωδικός Δοκιμίου	G_{st}
ΚΠ01Α	10.4	ΟΠ03Α	17.4	ΟΠ26Α	16.6	ΟΣ21Α	11.3
ΚΠ02Α	14.5	ΟΠ04Ε	15.2	ΟΣ01Α	6.1	ΟΣ21Δ	10.0
ΚΠ03Α	10.5	ΟΠ05Α	11.6	ΟΣ01Β	4.5	ΟΣ23Α	5.7
ΚΠ06Α	24.9	ΟΠ06Α	13.0	ΟΣ03Α	3.3	ΟΣ24Α	6.2
ΚΠ07Α	26.0	ΟΠ08Α	11.6	ΟΣ04Α	5.8	ΟΣ25Α	6.6
ΚΠ9Α	13.5	ΟΠ09Α	25.6	ΟΣ06Α	5.2	ΟΣ31Α	6.2
ΚΣ01Α	2.8	ΟΠ10Α	25.5	ΟΣ07Α	3.0	ΟΣ33Α	4.7
ΚΣ02Α	6.9	ΟΠ12Α	16.6	ΟΣ08Α	3.1	ΟΣ34Γ	5.7
ΚΣ03Α	3.0	ΟΠ13Α	24.5	ΟΣ09Α	4.0	ΟΣ36Α	8.3
ΚΣ04Α	5.8	ΟΠ14Α	21.6	ΟΣ10Α	7.0	ΟΣ37Α	5.8
ΚΣ06Α	4.5	ΟΠ15Α	25.5	ΟΣ11Α	6.4	ΟΣ38Γ	6.6
ΚΣ08Α	6.7	ΟΠ16Α	12.6	ΟΣ12Α	6.9	ΟΣ41Β	6.8
ΚΣ10Α	6.6	ΟΠ20Α	11.3	ΟΣ14Α	3.9	ΟΣ42Α	9.9
ΚΣ16Α	6.2	ΟΠ22Α	15.0	ΟΣ17Α	3.4		
ΟΠ01Α	15.1	ΟΠ24Α	27.9	ΟΣ18Α	6.9		
ΟΠ02Α	15.9	ΟΠ25Α	15.7	ΟΣ19Α	3.0		

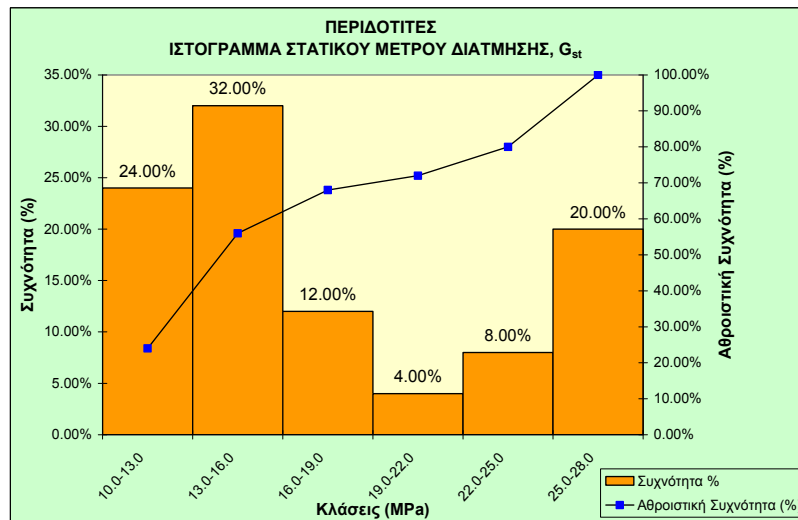
Πίνακας 6.34: Στατιστική ανάλυση των τιμών του στατικού μέτρου διάτμησης για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες.

	ΣΤΑΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ, G_{st} (GPa)	
	Σερπεντινίτες	Περιδοτίτες
Μέγιστη τιμή	11.3	27.9
Ελάχιστη τιμή	2.8	10.4
Μέση Τιμή	5.8	17.5
Τυπική απόκλιση	2.0	5.8
Πλήθος δοκιμών	36	25

Το στατικό μέτρο διάτμησης κυμαίνεται από 2.8 έως 11.3GPa στους σερπεντινίτες και από 10.4 έως 27.9GPa στους περιδοτίτες, με μέσες τιμές 5.8 και 17.5GPa και τυπικές αποκλίσεις 2.0 και 5.8GPa αντιστοίχως.



Εικόνα 6.43: Ιστόγραμμα κατανομής του στατικού μέτρου διάτμησης (G_{st}) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.44: Ιστόγραμμα κατανομής του στατικού μέτρου διάτμησης (G_{st}) για τους περιδοτίτες.

Τα στατικά μέτρα διάτμησης που προσδιορίσαμε στους σερπεντινίτες είναι γενικά μικρότερα από τους περιδοτίτες. Το μεγαλύτερο ποσοστό (50.00%) των σερπεντινιτών εμφανίζει τιμές μεταξύ 5.5 και 7.0GPa, ενώ το μικρότερο ποσοστό (2.78%) παρουσιάζεται για τιμές μεγαλύτερες του 10.0GPa. Όσον αφορά τους περιδοτίτες, το μεγαλύτερο ποσοστό (32.00%) εμφανίζει δυναμικό μέτρο διάτμησης μεταξύ 13.0 και 16.0GPa, ενώ το μικρότερο ποσοστό (4.00%) παρουσιάζεται για τιμές από 19.0 έως και 22.0GPa.

Οι μετρούμενες τιμές της αντοχής σε μοναξονική θλίψη, του στατικού λόγου Poisson, του στατικού μέτρου ελαστικότητας και διάτμησης βρίσκονται γενικά σε συμφωνία με τις τιμές που προτείνει η βιβλιογραφία (ROBERTSON, 1964; BRACE et al., 1966; DEERE &

MILLER, 1966; COATES & PARSONS, 1966; DEERE, 1968; RAO & RAMANA, 1974; KOYMANTAKΗΣ, 1978; SHIMADA et al., 1983; KILIC, 1995; PAVENTI et al., 1996; ESCARTIN et al., 1997a; ESCARTIN et al., 1997b; KILIC et al., 1998; ESCARTIN et al., 2001; PALMSTROM & SINGH, 2001; GLAWE & LINARD, 2003; DIAMANTIS et al., 2007; BRIDEAU, et al., 2007; ΡΗΓΟΠΟΥΛΟΣ, 2009), όπως περιγράφηκαν αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3.

6.3.3 Ανηγμένος δείκτης σημειακής φόρτισης (I_{s50})

Ο ανηγμένος δείκτης σημειακής φόρτισης (I_{s50}) προσδιορίστηκε σε 71 δοκίμια σερπεντινιτών και 45 δοκίμια περιδοτιτών και οι τιμές του παρατίθενται στον Πίνακα 6.35. Τα αποτελέσματα της δοκιμής αυτής αναλύθηκαν στατιστικά και παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.36, ενώ οι κατανομές των τιμών τόσο για τους σερπεντινίτες όσο και για τους περιδοτίτες προβάλλονται στις Εικόνες 6.45, 6.46.

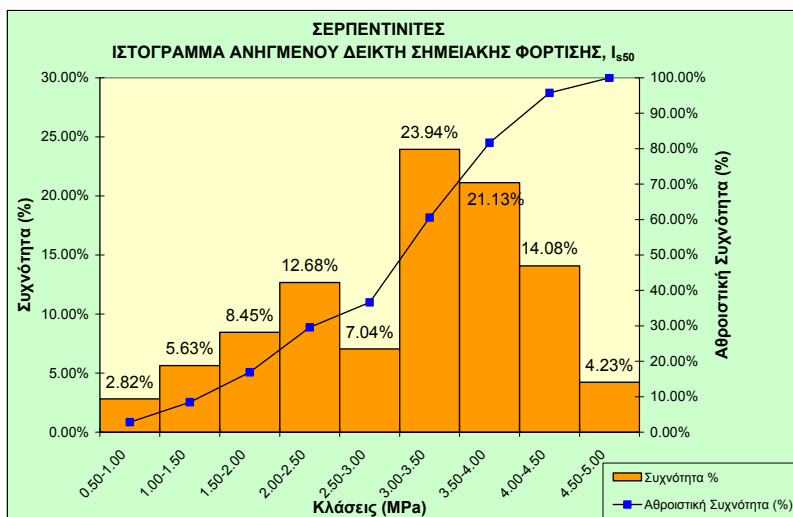
Πίνακας 6.35: Οι τιμές του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50}).

Κωδικός Δοκιμίου	I_{s50} (MPa)	Κωδικός Δοκιμίου	I_{s50} (MPa)	Κωδικός Δοκιμίου	I_{s50} (MPa)	Κωδικός Δοκιμίου	I_{s50} (MPa)
ΚΠ01Β	6.89	ΚΣ14Α	3.47	ΟΠ21Β	7.41	ΟΣ18Β	3.39
ΚΠ02Γ	8.99	ΚΣ15Δ	1.04	ΟΠ22Β	5.84	ΟΣ18Γ	4.03
ΚΠ03Γ	7.72	ΚΣ16Γ	3.50	ΟΠ23Β	11.21	ΟΣ18Δ	4.07
ΚΠ03Α	7.27	ΟΠ01Γ	8.27	ΟΠ24Β	12.82	ΟΣ19Β	2.50
ΚΠ04Β	8.87	ΟΠ02Γ	5.93	ΟΠ25Β	6.34	ΟΣ20Β	3.21
ΚΠ04Γ	6.41	ΟΠ03Β	7.13	ΟΠ26Β	6.14	ΟΣ21Γ	4.93
ΚΠ05Γ	5.55	ΟΠ04Β	8.49	ΟΣ01Γ	3.58	ΟΣ22Δ	2.98
ΚΠ05Α	5.30	ΟΠ05Β	6.52	ΟΣ01Δ	3.47	ΟΣ24Γ	3.54
ΚΠ06Β	10.63	ΟΠ05Γ	7.65	ΟΣ02Β	2.12	ΟΣ25Β	4.42
ΚΠ07Β	10.14	ΟΠ06Γ	9.14	ΟΣ02Γ	1.90	ΟΣ26Γ	3.20
ΚΠ08Β	10.60	ΟΠ07Β	7.39	ΟΣ03Γ	4.30	ΟΣ27Γ	3.02
ΚΠ09Γ	9.27	ΟΠ07Γ	7.14	ΟΣ04Β	3.77	ΟΣ28Β	3.87
ΚΠ9Β	8.63	ΟΠ08Β	7.79	ΟΣ04Γ	3.65	ΟΣ28Ε	4.55
ΚΣ01Β	3.34	ΟΠ08Γ	5.05	ΟΣ05Β	2.93	ΟΣ30Γ	3.23
ΚΣ01Δ	3.48	ΟΠ09Β	11.44	ΟΣ06Β	3.10	ΟΣ31Γ	3.23
ΚΣ01Ε	1.61	ΟΠ10Β	10.49	ΟΣ07Β	1.75	ΟΣ32Γ	4.04
ΚΣ02Β	4.03	ΟΠ10Δ	10.07	ΟΣ08Δ	2.28	ΟΣ33Β	3.43
ΚΣ03Β	1.84	ΟΠ11Β	7.43	ΟΣ09Β	3.19	ΟΣ34Β	2.81
ΚΣ04Β	3.62	ΟΠ11Δ	7.86	ΟΣ10Β	3.89	ΟΣ35Α	0.54
ΚΣ05Γ	1.04	ΟΠ12Β	7.57	ΟΣ11Γ	3.59	ΟΣ35Β	0.61
ΚΣ06Β	2.32	ΟΠ13Β	10.67	ΟΣ12Β	3.24	ΟΣ37Β	3.68
ΚΣ07Β	4.25	ΟΠ13Γ	9.67	ΟΣ12Γ	3.92	ΟΣ38Α	3.68
ΚΣ08Β	3.94	ΟΠ14Β	10.53	ΟΣ13Γ	2.19	ΟΣ39Δ	3.46
ΚΣ09Δ	1.34	ΟΠ15Β	11.93	ΟΣ14Β	2.14	ΟΣ40Β	1.30
ΚΣ10Γ	3.41	ΟΠ16Β	9.27	ΟΣ15Β	4.24	ΟΣ40Η	1.97
ΚΣ11Β	4.91	ΟΠ17Β	8.14	ΟΣ16Β	2.99	ΟΣ41Α	4.03
ΚΣ12Α	3.64	ΟΠ18Β	10.14	ΟΣ16Δ	2.35	ΟΣ42Β	3.84
ΚΣ12Δ	3.83	ΟΠ19Β	10.42	ΟΣ17Β	2.14	ΟΣ43Β	2.34
ΚΣ13Γ	4.11	ΟΠ20Β	8.27	ΟΣ17Δ	1.64	ΟΣ43Γ	2.97

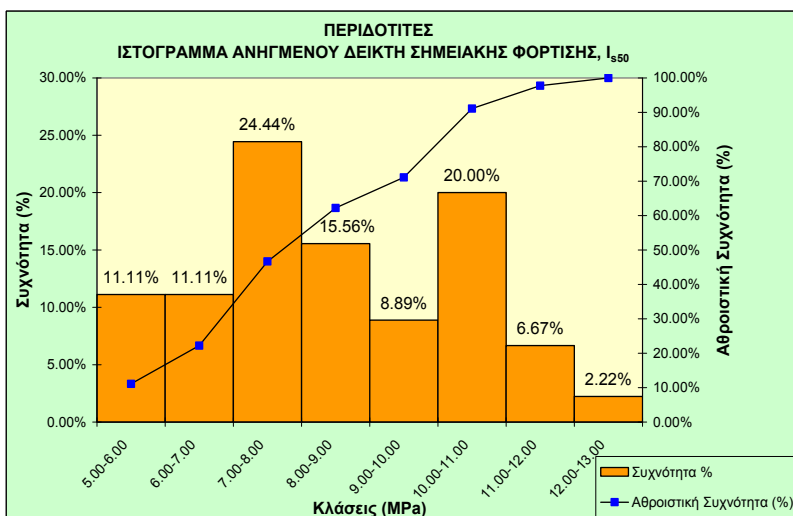
Πίνακας 6.36: Στατιστική ανάλυση των τιμών του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες.

ΑΝΟΙΓΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ, I_{s50} (MPa)		
	Σερπεντινίτες	Περιδοτίτες
Μέγιστη τιμή	4.93	12.82
Ελάχιστη τιμή	0.54	5.05
Μέση Τιμή	3.10	8.45
Τυπική απόκλιση	1.02	1.91
Πλήθος δοκιμών	71	45

Ο ανηγμένος δείκτης σημειακής φόρτισης κυμαίνεται από 0.54 έως 4.93MPa στους σερπεντινίτες και από 5.05 έως 12.82MPa στους περιδοτίτες, με μέσες τιμές 3.10 και 8.45MPa και τυπικές αποκλίσεις 1.02 και 1.91MPa αντιστοίχως.



Εικόνα 6.45: Ιστόγραμμα κατανομής του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50}) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.46: Ιστόγραμμα κατανομής του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50}) για τους περιδοτίτες.

Οι περιδοτίτες εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης σε σχέση με τους σερπεντινίτες. Το μεγαλύτερο ποσοστό (23.94%) των τιμών του I_{550} στους σερπεντινίτες παρουσιάζεται μεταξύ 3.00 και 3.50MPa και το μικρότερο ποσοστό (2.82%) παρουσιάζεται για τιμές μικρότερες από 1.00MPa. Όσον αφορά τους περιδοτίτες, το μεγαλύτερο ποσοστό (24.44%) εμφανίζει ανηγμένο δείκτη σημειακής φόρτισης μεταξύ 7.00 και 8.00MPa, ενώ το μικρότερο ποσοστό (2.22%) παρουσιάζεται για τιμές μεγαλύτερες από 12.0MPa. Συγκρίνοντας τις προαναφερόμενες τιμές με τις προτεινόμενες από τη βιβλιογραφία, (ΡΗΓΟΠΟΥΛΟΣ, 2009, Κεφάλαιο 3) είναι προφανές πως αυτές συμφωνούν σε μεγάλο βαθμό.

Με βάση την ταξινόμηση της ISRM (1981, Κεφάλαιο 2, **Πίνακας 2.7**), οι περιδοτίτες, που εξετάσαμε, χαρακτηρίζονται κυρίως ως πολύ υψηλής αντοχής πετρώματα, ενώ μερικοί άλλοι ως εξαιρετικά υψηλής αντοχής. Αντίθετα, οι σερπεντινίτες χαρακτηρίζονται κυρίως ως πετρώματα υψηλής αντοχής, ενώ κάποιοι από αυτούς (μειοψηφία) ανήκουν στα πετρώματα πολύ υψηλής αντοχής. Επιπλέον, ένα μικρό ποσοστό τοποθετείται στα μέσης ως και χαμηλής αντοχής πετρώματα. Σύμφωνα με την ταξινόμηση του BIENIAWSKI (1975, Κεφάλαιο 2, **Πίνακας 2.8**) οι περιδοτίτες, που μελετήθηκαν, χαρακτηρίζονται κυρίως (53.34%) ως πετρώματα πολύ υψηλής αντοχής, με τους υπόλοιπους να ανήκουν στα υψηλής αντοχής πετρώματα. Σε αντίθεση, οι σερπεντινίτες χαρακτηρίζονται κυρίως ως πετρώματα μέσης αντοχής, ενώ κάποιοι από αυτούς (μειοψηφία) ανήκουν στα πετρώματα υψηλής αντοχής και κάποιοι άλλοι στα χαμηλής ως και πολύ χαμηλής αντοχής.

Συγκρίνοντας τις ταξινομήσεις των πετρωμάτων με βάση την αντοχή σε μοναξονική θλίψη και το δείκτη σημειακής φόρτισης είναι σαφές πως, κυρίως στους περιδοτίτες, οι ταξινομήσεις που προέρχονται με βάση τη δοκιμή της μοναξονικής θλίψης φανερώνουν χαμηλότερης αντοχής πετρώματα, από αυτές που προέρχονται με βάση τη δοκιμή του δείκτη σημειακής φόρτισης. Αυτό είναι αναμενόμενο (Κεφάλαιο 3) γιατί κατά τους ESCARTIN et al. (2001), όταν το ποσοστό του σερπεντίνης ξεπεράσει περίπου το 9%, οι περιδοτίτες συμπεριφέρονται παρόμοια με τον «καθαρό» σερπεντίνη και η αντοχή τους σε μοναξονική θλίψη πολλές φορές μειώνεται ως και στο μισό αυτής των υγιών περιδοτιτών. Η μείωση αυτή οφείλεται στην πιθανή ανομοιογένεια που δημιουργείται στα δοκίμια αυτά. Οι τιμές του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης δεν παρουσιάζουν μείωση σε τόσο μεγάλο βαθμό γιατί τα δείγματα που χρησιμοποιούμε στη δοκιμή αυτή είναι μικρότερου μεγέθους.

6.3.4 Εφελκυστική αντοχή (σ_t)-διορθωμένη εφελκυστική αντοχή (σ_{tc})

Η αντοχή σε εφελκυσμό (σ_t) προσδιορίστηκε σε 73 δοκίμια σερπεντινιτών και σε 39 περιδοτιτών (Πίν. 6.37). Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 5 οι YU, et al. (2006) πρότειναν ένα συντελεστή για τη διόρθωση της εφελκυστικής αντοχής, η οποία υπολογίζεται με έμμεσο τρόπο (Brazilian). Σύμφωνα με τη σχέση 5.4 υπολογίστηκαν οι διορθωμένες εφελκυστικές αντοχές και παρατίθενται στον Πίνακα 6.37. Οι τιμές των δυο αυτών παραμέτρων (σ_t και σ_{tc}) αναλύθηκαν στατιστικά και τα αποτελέσματα εμφανίζονται στον Πίνακα 6.38.

Πίνακας 6.37: Οι τιμές της εφελκυστικής (σ_t) και της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής (σ_{tc}).

Κωδικός Δοκιμίου	σ_t (MPa)	σ_{tc} (MPa)	Κωδικός Δοκιμίου	σ_t (MPa)	σ_{tc} (MPa)	Κωδικός Δοκιμίου	σ_t (MPa)	σ_{tc} (MPa)
ΚΠ01Γ	13.15	15.23	ΟΠ02Δ	10.69	12.40	ΟΣ14Γ	4.15	4.15
ΚΠ01Α	12.68	15.10	ΟΠ03Γ	14.28	16.54	ΟΣ15Γ	6.16	6.98
ΚΠ02Β	16.64	19.06	ΟΠ04Γ	15.92	18.17	ΟΣ16Γ	4.27	4.27
ΚΠ03Β	13.66	16.30	ΟΠ04Α	15.58	17.88	ΟΣ17Γ	3.35	3.35
ΚΠ04Δ	15.49	17.64	ΟΠ05Α	11.76	11.76	ΟΣ19Α	3.76	3.76
ΚΠ04Ε	13.83	15.84	ΟΠ06Α	15.83	18.60	ΟΣ19Ε	3.59	4.07
ΚΠ06Γ	20.46	20.46	ΟΠ08Α	13.59	13.59	ΟΣ20Γ	6.14	6.99
ΚΠ07Γ	18.80	22.33	ΟΠ09Γ	20.37	23.09	ΟΣ21Β	9.34	10.69
ΚΠ08Γ	20.95	24.20	ΟΠ10Γ	21.36	21.36	ΟΣ22Β	4.62	5.24
ΚΠ08Α	21.34	25.38	ΟΠ11Γ	14.75	17.32	ΟΣ22Γ	4.40	4.40
ΚΠ09Α	17.55	20.69	ΟΠ12Γ	16.44	16.44	ΟΣ23Β	8.41	8.41
ΚΣ01Γ	5.01	5.01	ΟΠ14Γ	19.45	22.50	ΟΣ23Γ	7.93	9.01
ΚΣ02Γ	6.69	6.69	ΟΠ15Γ	20.10	23.55	ΟΣ24Β	5.43	5.43
ΚΣ02Α	6.01	6.86	ΟΠ16Γ	16.94	19.67	ΟΣ25Γ	7.93	8.99
ΚΣ03Γ	3.85	4.36	ΟΠ17Γ	15.07	17.75	ΟΣ26Α	5.43	6.17
ΚΣ03Α	3.91	3.91	ΟΠ18Γ	19.28	19.28	ΟΣ26Δ	5.18	5.18
ΚΣ04Γ	7.82	9.06	ΟΠ19Γ	19.64	22.50	ΟΣ27Β	4.40	5.05
ΚΣ05Β	2.58	2.92	ΟΠ20Γ	17.01	20.33	ΟΣ27Δ	4.98	5.74
ΚΣ05Α	2.24	2.24	ΟΠ20Α	16.40	18.76	ΟΣ27Ε	4.21	4.21
ΚΣ06Γ	3.79	3.79	ΟΠ21Γ	13.12	13.12	ΟΣ27Ζ	4.96	5.61
ΚΣ07Γ	7.68	8.73	ΟΠ21Α	14.76	17.24	ΟΣ28Γ	6.34	6.34
ΚΣ08Γ	5.66	5.66	ΟΠ22Γ	14.61	16.56	ΟΣ29Β	5.30	6.05
ΚΣ09Γ	3.82	4.43	ΟΠ23Γ	21.61	24.64	ΟΣ29Δ	5.27	6.07
ΚΣ10Β	6.01	6.89	ΟΠ24Γ	21.46	24.93	ΟΣ30Β	4.42	4.42
ΚΣ11Γ	8.29	9.44	ΟΠ25Γ	12.10	13.97	ΟΣ31Β	5.96	5.96
ΚΣ12Γ	7.36	8.39	ΟΠ26Γ	11.94	13.67	ΟΣ32Β	6.11	7.05
ΚΣ13Α	8.52	8.52	ΟΣ03Β	6.74	6.74	ΟΣ33Γ	5.80	5.80
ΚΣ14Γ	5.09	5.09	ΟΣ04Α	4.83	4.83	ΟΣ34Α	4.83	4.83
ΚΣ14Ε	5.11	5.11	ΟΣ05Γ	4.85	4.85	ΟΣ35Γ	2.22	2.22
ΚΣ15Α	2.50	2.88	ΟΣ07Γ	3.64	3.64	ΟΣ35Α	2.09	2.09
ΚΣ15Β	2.15	2.44	ΟΣ08Β	4.70	4.70	ΟΣ36Β	6.66	6.66
ΚΣ15Γ	2.48	2.48	ΟΣ09Γ	4.60	4.60	ΟΣ36Γ	7.11	7.11
ΚΣ16Β	5.84	6.61	ΟΣ10Γ	5.72	5.72	ΟΣ37Γ	6.55	6.55
ΟΠ01Β	14.73	16.76	ΟΣ11Β	6.69	6.69	ΟΣ38Β	6.27	6.27
ΟΠ02Β	11.54	11.54	ΟΣ13Β	4.54	4.54	ΟΣ39Α	5.10	5.82

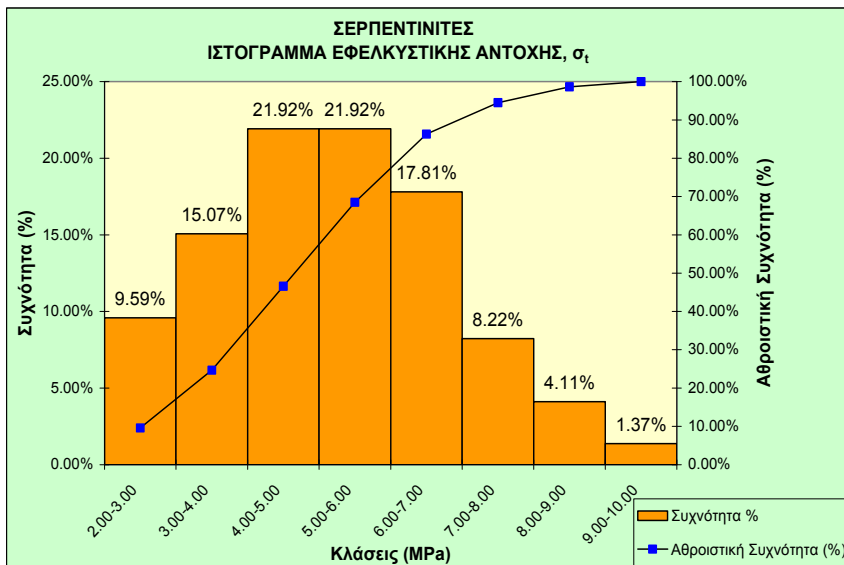
Κωδικός Δοκιμίου	σ_t (MPa)	σ_{tc} (MPa)	Κωδικός Δοκιμίου	σ_t (MPa)	σ_{tc} (MPa)
ΟΣ39B	5.22	6.10	ΟΣ40Z	4.16	4.77
ΟΣ40Γ	3.03	3.43	ΟΣ41Γ	5.87	6.88
ΟΣ40Δ	3.10	3.10	ΟΣ42Γ	6.77	7.78
ΟΣ40Ε	3.19	3.19			

Πίνακας 6.38: Στατιστική ανάλυση των τιμών της εφελκυστικής και της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες.

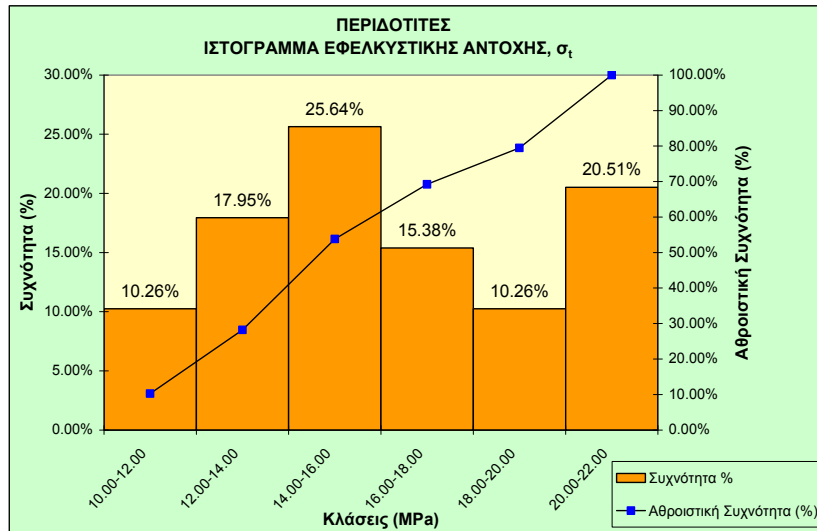
	ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ, σ_t (MPa)		ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ, σ_{tc} (MPa)	
	Σερπεντινίτες	Περιδοτίτες	Σερπεντινίτες	Περιδοτίτες
Μέγιστη τιμή	9.34	21.61	10.69	25.38
Ελάχιστη τιμή	2.09	10.69	2.09	11.54
Μέση Τιμή	5.19	16.28	5.53	18.36
Τυπική απόκλιση	1.68	3.23	1.91	3.82
Πλήθος δοκιμών	73	39	73	39

Η εφελκυστική αντοχή κυμαίνεται από 2.09 έως 9.34MPa στους σερπεντινίτες και από 10.69 έως 21.61MPa στους περιδοτίτες, με μέσες τιμές 5.19 και 16.28MPa και τυπικές αποκλίσεις 1.68 και 3.23MPa αντιστοίχως. Η διορθωμένη εφελκυστική αντοχή κυμαίνεται από 2.09 έως 10.69MPa στους σερπεντινίτες και από 11.54 έως 25.38MPa στους περιδοτίτες, με μέσες τιμές 5.53 και 18.36MPa και τυπικές αποκλίσεις 1.91 και 3.82MPa αντιστοίχως.

Με βάση τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψαν τα ιστογράμματα κατανομών της εφελκυστικής αντοχής ανά λιθολογικό τύπο (Εικ. 6.47, 6.48).



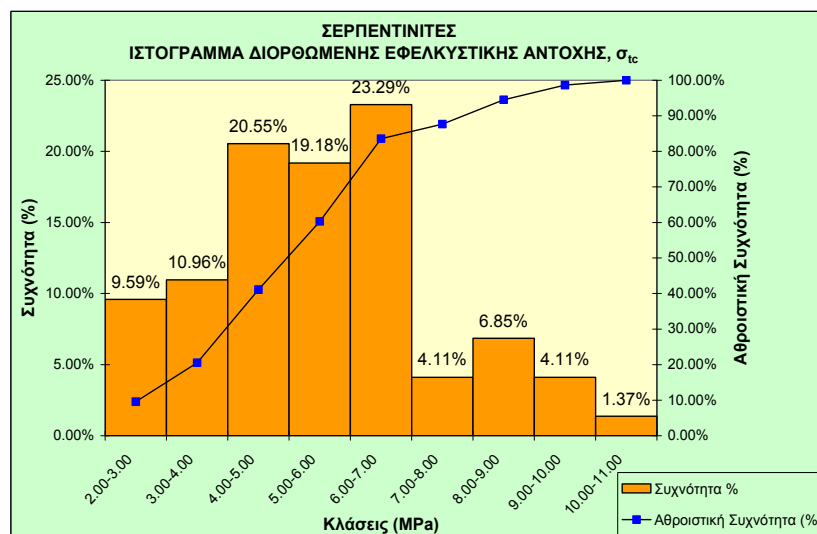
Εικόνα 6.47: Ιστόγραμμα κατανομής της εφελκυστικής αντοχής (σ_t) για τους σερπεντινίτες.



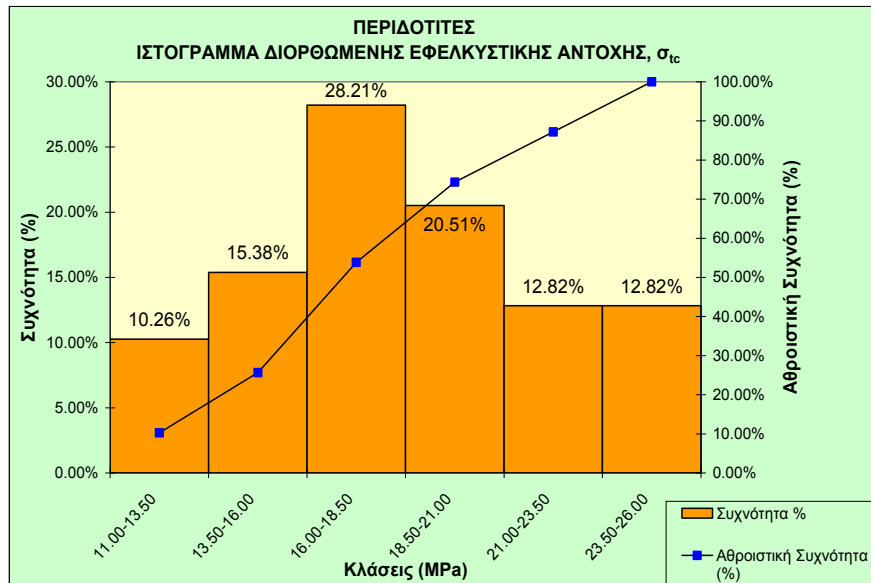
Εικόνα 6.48: Ιστόγραμμα κατανομής της εφελκυστικής αντοχής (σ_t) για τους περιδοτίτες.

Οι περιδοτίτες εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές εφελκυστικής αντοχής από τους σερπεντινίτες. Αυτό είναι απόλυτα ορθό αφού οι περιδοτίτες παρουσιάζουν μεγαλύτερα φαινόμενα βάρη και μικρότερα πορώδη. Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα η αντοχή αυξάνει με την αύξηση της πυκνότητας. Στους σερπεντινίτες, το μεγαλύτερο ποσοστό (43.84%) των τιμών της σ_t παρουσιάζεται μεταξύ 4.00 και 6.00MPa και το μικρότερο ποσοστό (1.37%) παρουσιάζεται για τιμές μεγαλύτερες από 9.00MPa. Όσον αφορά τους περιδοτίτες, το μεγαλύτερο ποσοστό (25.64%) εμφανίζει σ_t μεταξύ 14.00 και 16.00MPa, ενώ τα μικρότερα ποσοστά (10.26%) παρουσιάζονται για τιμές από 10.00 έως 12.00MPa και από 18.00 έως 20.00MPa.

Οι κατανομές της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής τόσο για τους σερπεντινίτες, όσο και για τους περιδοτίτες προβάλλονται στις **Εικόνες 6.49, 6.50**.



Εικόνα 6.49: Ιστόγραμμα κατανομής της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής (σ_{tc}) για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 6.50: Ιστόγραμμα κατανομής της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής (σ_{ic}) για τους περιδοτίτες.

Από τους ανωτέρω πίνακες και τα ιστογράμματα, είναι προφανές πως οι περιδοτίτες παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής από τους σερπεντινίτες (απόλυτα λογικό και αναμενόμενο). Επίσης, οι διορθωμένες εφελκυστικές αντοχές είναι μεγαλύτερες ή ίσες συγκρινόμενες με τις εφελκυστικές αντοχές. Η πλειονότητα (63.02%) των τιμών της σ_{ic} στους σερπεντινίτες παρουσιάζεται μεταξύ 4.00 και 7.00MPa και το μικρότερο ποσοστό (1.37%) παρουσιάζεται για τιμές μεγαλύτερες από 10.00MPa. Όσον αφορά τους περιδοτίτες, το μεγαλύτερο ποσοστό (28.21%) εμφανίζει σ_{ic} μεταξύ 16.00 και 18.50MPa, ενώ το μικρότερο ποσοστό (10.26%) παρουσιάζεται για τιμές από 11.00 έως 13.50MPa. Επιπροσθέτως, είναι φανερό πως οι περιδοτίτες παρουσιάζουν μεγαλύτερη διασπορά τιμών από ότι οι σερπεντινίτες. Αυτή οφείλεται κατά μεγάλο βαθμό στο γεγονός ότι οι περιδοτίτες παρουσιάζουν πιο ψαθυρή συμπεριφορά από τους σερπεντινίτες. Οι μετρούμενες τιμές της αντοχής σε εφελκυσμό και της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής βρίσκονται σε συμφωνία με τις τιμές που προτείνουν οι ROBERTSON (1964) και ΤΣΟΥΤΡΕΛΗΣ (1972).

6.3.5 Τριαξονική δοκιμή

Όπως προαναφέραμε και στο Κεφάλαιο 2, για να μπορέσουμε να προσδιορίσουμε τη συνοχή (c_{ci}), τη γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ_{ci}) και την παράμετρο m_i των ακέραιων πετρωμάτων, θα πρέπει να εκτελέσουμε τη δοκιμή της τριαξονικής θλίψης σε τουλάχιστον 4-5 δοκίμια για κάθε δείγμα. Όμως είναι δύσκολο, όπως έχουμε προαναφέρει, να μορφώσουμε πολλά δοκίμια περιδοτιτών-σερπεντινιτών, πόσο μάλλον όταν αυτά θα

πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες προϋποθέσεις (δοκιμή τριαξονικής θλίψης). Αφού καταβλήθηκε μεγάλη προσπάθεια, από 10 δείγματα σερπεντινιτών και 6 περιδοτιτών μορφώθηκαν 3 έως 4 δοκίμια (στο καθένα) στα οποία πραγματοποιήθηκε η δοκιμή της τριαξονικής θλίψης. Στον **Πίνακα 6.39** παρατίθενται τα αποτελέσματα για κάθε δοκίμιο, ενώ στους **Πίνακες 6.40, 6.41** παρουσιάζονται οι στατιστικές αναλύσεις των αποτελεσμάτων για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες αντιστοίχως. Από τους πίνακες αυτούς είναι εμφανές πως η συνοχή κυμαίνεται από 9.88 έως 24.48MPa στους σερπεντινίτες και από 20.96 έως 35.54MPa στους περιδοτίτες, με μέσες τιμές 16.37, 30.95MPa και τυπικές αποκλίσεις 4.68 και 5.19MPa αντιστοίχως. Η γωνία εσωτερικής τριβής κυμαίνεται από 38.05 έως 46.58MPa στους σερπεντινίτες και από 48.17 έως 55.01MPa στους περιδοτίτες, με μέσες τιμές 42.61, 53.26MPa και τυπικές αποκλίσεις 2.83 και 2.56MPa αντιστοίχως. Οι περιδοτίτες παρουσιάζουν, κατά βάση, μεγαλύτερη συνοχή και γωνία εσωτερικής τριβής από τους σερπεντινίτες. Παρά την εκτεταμένη βιβλιογραφική έρευνα δεν εντοπίστηκαν τιμές για τη συνοχή και τη γωνία εσωτερικής τριβής των υπερβασικών πετρωμάτων.

Πίνακας 6.39: Αποτελέσματα τριαξονικής δοκιμής στα δοκίμια σερπεντινιτών και περιδοτιτών.

Κωδικός Δοκιμίου	Ορθό φορτίο, P (kN)	Ορθή τάση, $\sigma_1=P/A$ (MPa)	Πλευρική πίεση, σ_3 (MPa)	Παράμετρος, m_i	Γωνία εσωτερικής τριβής, ϕ_{ci} ($^\circ$)	Συνοχή, c_{ci} (MPa)
ΚΠ06Δ	520	224.66	3	26.58	54.13	32.18
ΚΠ06Ε	605	261.39	6			
ΚΠ06Ζ	857	370.26	18			
ΚΠ06Η	651	281.26	9			
ΚΠ07Δ	573	247.56	3	28.16	54.78	35.54
ΚΠ07Ε	609	263.12	6			
ΚΠ07Ζ	906	391.43	18			
ΚΠ07Η	809	349.53	9			
ΚΣ08Δ	220	95.05	3	14.27	44.10	16.98
ΚΣ08Ε	269	116.22	6			
ΚΣ08Ζ	338	146.03	12			
ΚΣ10Δ	232	102.11	3	14.39	44.64	17.94
ΚΣ10Ε	276	121.47	6			
ΚΣ10Ζ	350	154.04	12			
ΚΣ11Δ	337	148.87	3	16.04	46.58	24.48
ΚΣ11Ε	344	151.96	6			
ΚΣ11Ζ	539	238.11	18			
ΚΣ11Η	406	179.35	9			
ΟΠ01Δ	284	122.70	3	21.09	48.17	20.96
ΟΠ01Ε	369	159.43	6			
ΟΠ01Ζ	534	230.71	18			
ΟΠ01Η	398	171.95	9			
ΟΠ07Δ	486	214.69	3	25.20	53.37	30.33
ΟΠ07Ε	531	233.70	6			

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥΣ

Κωδικός Δοκιμίου	Ορθό φορτίο, P (kN)	Ορθή τάση, $\sigma_1=P/A$ (MPa)	Πλευρική πίεση, σ_3 (MPa)	Παράμετρος, m_i	Γωνία εσωτερικής τριβής, φ_{ci} ($^\circ$)	Συνοχή, c_{ci} (MPa)
ΟΠ07Ζ	789	348.54	18			
ΟΠ07Η	596	263.29	9			
ΟΠ14Α	582	250.53	3			
ΟΠ14Ε	609	262.15	6	27.76	55.01	33.85
ΟΠ14Ζ	918	395.16	18			
ΟΠ14Η	726	312.51	9			
ΟΠ19Α	520	229.71	3			
ΟΠ19Ε	567	250.48	6	26.69	54.09	32.84
ΟΠ19Ζ	837	369.75	18			
ΟΠ19Η	685	302.60	9			
ΟΣ02Α	116	50.12	3	12.76	38.05	9.88
ΟΣ02Ε	163	70.42	6			
ΟΣ02Ζ	208	89.54	12			
ΟΣ08Γ	133	57.25	3	13.10	39.59	10.44
ΟΣ08Ε	168	72.32	6			
ΟΣ08Ζ	228	98.14	12			
ΟΣ09Α	161	69.30	3	13.52	39.44	12.54
ΟΣ09Ε	174	74.90	6			
ΟΣ09Ζ	311	133.87	18			
ΟΣ09Η	222	95.56	9			
ΟΣ25Α	238	102.45	3	14.82	44.92	18.15
ΟΣ25Ε	291	125.73	6			
ΟΣ25Ζ	362	155.83	12			
ΟΣ30Α	174	74.90	3	13.67	42.00	13.81
ΟΣ30Ε	222	95.56	6			
ΟΣ30Ζ	282	121.39	12			
ΟΣ34Α	221	97.27	3	13.86	42.17	18.24
ΟΣ34Ε	246	108.27	6			
ΟΣ34Ζ	391	172.08	18			
ΟΣ34Η	305	134.23	9			
ΟΣ36Α	268	117.95	3	15.52	44.64	21.21
ΟΣ36Ε	297	131.20	6			
ΟΣ36Ζ	460	202.45	18			
ΟΣ36Η	365	160.05	9			

Πίνακας 6.40: Στατιστική ανάλυση των τιμών της συνοχής, της γωνίας εσωτερικής τριβής και της παραμέτρου m_i για τους σερπεντινίτες.

	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΕΣ		
	Συνοχή, c_{ci} (MPa)	Γωνία εσωτερικής τριβής, φ_{ci} ($^\circ$)	Παράμετρος, m_i
Μέγιστη τιμή	24.48	46.58	16.04
Ελάχιστη τιμή	9.88	38.05	12.76
Μέση Τιμή	16.37	42.61	14.20
Τυπική απόκλιση	4.68	2.83	1.04
Πλήθος δοκιμών	10	10	10

Πίνακας 6.41: Στατιστική ανάλυση των τιμών της συνοχής, της γωνίας εσωτερικής τριβής και της παραμέτρου m_i για τους περιδοτίτες.

	ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΕΣ		
	Συνοχή, c_{ci} (MPa)	Γωνία εσωτερικής τριβής, φ_{ci} (°)	Παράμετρος, m_i
Μέγιστη τιμή	35.54	55.01	28.16
Ελάχιστη τιμή	20.96	48.17	21.09
Μέση Τιμή	30.95	53.26	25.91
Τυπική απόκλιση	5.19	2.56	2.58
Πλήθος δοκιμών	6	6	6

Η παράμετρος m_i κυμαίνεται από 12.76 έως 16.04 στους σερπεντινίτες και από 21.09 έως 28.16 στους περιδοτίτες, με μέσες τιμές 14.20, 25.91 και τυπικές αποκλίσεις 1.04 και 2.58 αντιστοίχως. Οι προτεινόμενες από τη βιβλιογραφία τιμές του m_i , (HOEK & MARINOS, 2000 και MARINOS & HOEK, 2000; 2001, **Πίνακας 2.13**) για τους περιδοτίτες είναι 25 ± 5 , ενώ δεν έχουν προταθεί τιμές για τους σερπεντινίτες.

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να τονίσουμε πως κάποια δείγματα που παρουσίασαν χαμηλές τιμές στις μηχανικές ιδιότητες εξετάστηκαν μακροσκοπικά μετά τη θραύση για πιθανές εσωτερικές μικροασυνέχειες οι οποίες μπορεί να τα επηρέασαν.

Ανακεφαλαιώνοντας, θεωρούμε σκόπιμο αλλά και χρήσιμο να παραθέσουμε συγκεντρωτικά τη διακύμανση, τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των τιμών των μηχανικών χαρακτηριστικών τόσο για τους σερπεντινίτες όσο και για τους περιδοτίτες (**Πίν. 6.42, 6.43**).

Πίνακας 6.42: Στατιστική ανάλυση των τιμών των μηχανικών χαρακτηριστικών για τους σερπεντινίτες.

ΣΕΡΠΗΝΤΙΝΙΤΕΣ						
	Σκληρότητα, SHV	Αντοχή σε μοναξονική θλίψη, σ_{ci} (MPa)	Στατικό μέτρο ελαστικότητας, E_{st} (GPa)	Στατικός λόγος Poisson, ν_{st}	Στατικό μέτρο διάτμησης, G_{st} (GPa)	Ανημένος δείκτης σημειακής φόρτισης, I_{SS0} (MPa)
Μέγιστη τιμή	55	128.09	29.4	0.359	11.3	4.93
Ελάχιστη τιμή	48	19.21	4.4	0.285	2.8	0.54
Μέση Τιμή	52	65.85	14.9	0.319	5.8	3.10
Τυπική απόκλιση	1.65	24.39	5.4	0.016	2.0	1.02
Πλήθος δοκιμών	103	65	65	36	36	71

ΣΕΡΠΗΝΤΙΝΙΤΕΣ					
	Εφελκυστική αντοχή, σ_t (MPa)	Διορθωμένη εφελκυστική αντοχή, σ_{te} (MPa)	Συνοχή, c_{ei} (MPa)	Γωνία εσωτερικής τριβής, ϕ_{ei} (°)	Παράμετρος, m_i
Μέγιστη τιμή	9.34	10.69	24.48	46.58	16.04
Ελάχιστη τιμή	2.09	2.09	9.88	38.05	12.76
Μέση Τιμή	5.19	5.53	16.37	42.61	14.20
Τυπική απόκλιση	1.68	1.91	4.68	2.83	1.04
Πλήθος δοκιμών	73	73	10	10	10

Πίνακας 6.43: Στατιστική ανάλυση των τιμών των μηχανικών χαρακτηριστικών για τους περιδοτίτες.

ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΕΣ						
	Σκληρότητα, SHV	Αντοχή σε μοναξονική θλίψη, σ_{ci} (MPa)	Στατικό μέτρο ελαστικότητας, E_{st} (GPa)	Στατικός λόγος Poisson, ν_{st}	Στατικό μέτρο διάτμησης, G_{st} (GPa)	Ανηγμένος δείκτης σημειακής φόρτισης, I_{SS0} (MPa)
Μέγιστη τιμή	65	241.56	69.3	0.297	27.9	12.82
Ελάχιστη τιμή	58	65.21	26.1	0.232	10.4	5.05
Μέση Τιμή	63	141.59	44.3	0.270	17.5	8.45
Τυπική απόκλιση	1.84	45.95	13.8	0.018	5.8	1.91
Πλήθος δοκιμών	63	39	39	25	25	45
ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΕΣ						
	Εφελκυστική αντοχή, σ_t (MPa)	Διορθωμένη εφελκυστική αντοχή, σ_{tc} (MPa)	Συνοχή, c_{ci} (MPa)	Γωνία εσωτερικής τριβής, φ_{ci} (°)	Παράμετρος, m_i	
Μέγιστη τιμή	21.61	25.38	35.54	55.01	28.16	
Ελάχιστη τιμή	10.69	11.54	20.96	48.17	21.09	
Μέση Τιμή	16.28	18.36	30.95	53.26	25.91	
Τυπική απόκλιση	3.23	3.82	5.19	2.56	2.58	
Πλήθος δοκιμών	39	39	6	6	6	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

7.1 Εισαγωγικά

Αφού ολοκληρώθηκαν όλες οι φυσικοδυναμικομηχανικές δοκιμές και αξιολογήθηκαν όλα τα αποτελέσματα, πραγματοποιήθηκαν λεπτές τομές σε 47 αντιπροσωπευτικά δείγματα. Μερικά από αυτά (12) εξετάστηκαν με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων X (X-ray diffraction-XRD), ενώ ένας αριθμός (4) από αυτά μελετήθηκε και σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Scanning Electron Microscope, SEM).

Η παρασκευή των λεπτών τομών έγινε σύμφωνα με τις προβλεπόμενες προδιαγραφές και η εξέταση τους έγινε με πολωτικό μικροσκόπιο διερχόμενου φωτός, τύπου Leitz-Orthoplan και φακούς 4/012P, 6.3/020P και 16/045P. Το πολωτικό μικροσκόπιο έχει όλα τα εξαρτήματα και τα παρελκόμενα που διαθέτει το εργοστάσιο παραγωγής του, για την παρατήρηση σε διερχόμενο και ανακλώμενο φως. Επιπλέον το μικροσκόπιο είναι εξοπλισμένο με ψηφιακή φωτογραφική κάμερα Canon (**Εικ. 7.1**). Τόσο η παρασκευή, όσο και η πετρογραφική μελέτη των λεπτών τομών πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Ορυκτολογίας και Γεωλογίας του Γενικού τμήματος του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Η πετρογραφική μελέτη των δειγμάτων αφορά τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των ορυκτών καθώς επίσης την αναγνώριση του ιστού και της υφής τους με τη χρήση του μικροσκοπίου.

Η μέθοδος της περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD) αποτελεί μια ευρέως διαδεδομένη, απλή και γρήγορη τεχνική προσδιορισμού των ορυκτολογικών συστατικών, τα οποία συμμετέχουν στα πετρώματα. Επιπλέον μπορεί να πραγματοποιηθεί και ημιοσοτικός προσδιορισμός της εκατοστιαίας σύστασης των ορυκτών με τη χρήση ειδικών προγραμμάτων. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί βελτιωμένες διαδικασίες που στοχεύουν στην ποσοτικοποίηση των ανιχνευθέντων φάσεων των ορυκτών. Η όλη διαδικασία βασίζεται στην ερμηνεία των ακτινογραφημάτων που προκύπτουν από την ανάλυση κόνεως με ακτίνες X (ανάκλαση ακτίνων X). Επειδή κάθε ορυκτό παρουσιάζει ανακλάσεις σε συγκεκριμένες γωνίες, μπορούμε σχετικά εύκολα να αναλύσουμε ποιοτικά τα δείγματα. Η ημιοσοτική ανάλυση δίνεται ουσιαστικά από την αναλογία των εμβαδών, που προκύπτουν στο ακτινογράφημα, των διαφόρων ορυκτών που αποτελούν το δείγμα.

Στην παρούσα διατριβή η μέθοδος XRD χρησιμοποιήθηκε κατά κύριο λόγο με σκοπό τη διάκριση των ορυκτών του σερπεντίνης. Ο σερπεντίνης, όπως έχουμε προαναφέρει, εμφανίζεται με τη μορφή τριών πολυτύπων (λιζαρδίτης, αντιγορίτης, χρυσοτίλης), οι οποίοι δεν μπορούν να διαχωριστούν εύκολα στο πολωτικό μικροσκόπιο. Οι δοκιμές XRD πραγματοποιήθηκαν στο ΙΓΜΕ από το μηχάνημα X'pertPro της Panalytical και η επεξεργασία των ακτινογραφημάτων από το πρόγραμμα X'pert Highscore.

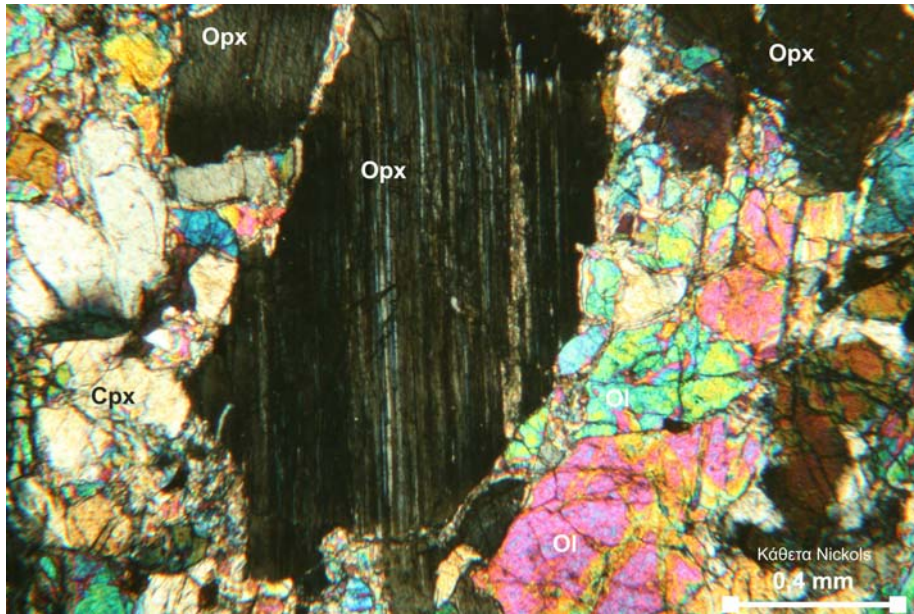
Η χρήση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου συνέβαλε στην επιβεβαίωση πως τα δοκίμια δεν περιέχουν ινώδη μορφή σερπεντίνη (χρυσοτίλης) ο οποίος θα μπορούσε να προξενήσει ανισοτροπία και πως οι φυλλώδεις σερπεντίνες (λιζαρδίτης, αντιγορίτης) δεν παρουσιάζουν κανένα προσανατολισμό.



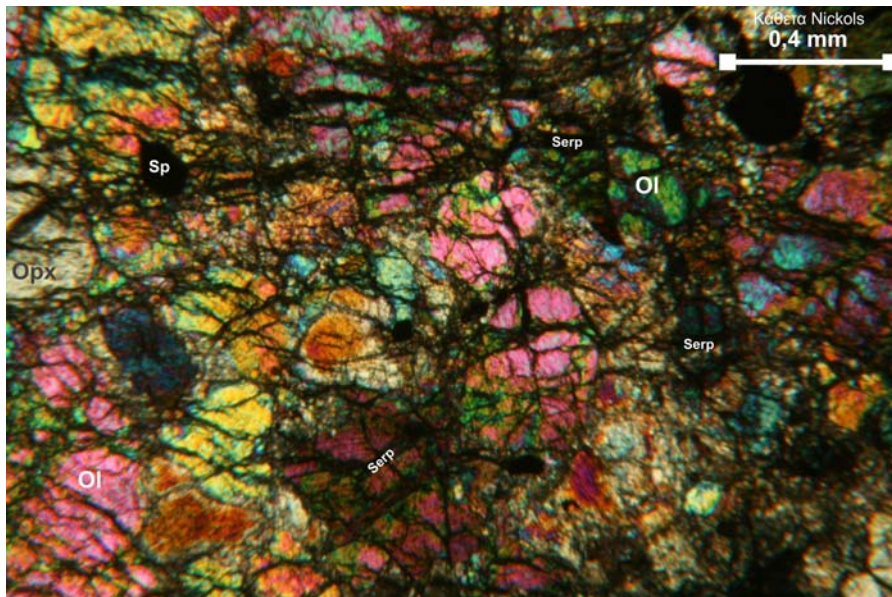
Εικόνα 7.1: Πολωτικό μικροσκόπιο με διερχόμενο φως τύπου Leitz-Orthoplan και ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Canon.

7.2 Πετρογραφική περιγραφή και ανάλυση

Οι περιδοτίτες, που εξετάστηκαν, συλλέχθηκαν τόσο από το Καλλίδρομο, όσο και τη δυτική Όθρη. Παρουσιάζουν κυρίως πορφυροειδή ή κοκκώδη ιστό (φαινοκρύσταλλοι ορθοπυροξένου ή κλινοπυροξένου και κόκκοι ολιβίνη **Εικ. 7.2**), χωρίς προσανατολισμό των ορυκτών και συμπαγή ακανόνιστη υφή. Σε μερικά δείγματα ο ιστός χαρακτηρίζεται ως πορφυροκλαστικός, αφού οι κρύσταλλοι τόσο του ολιβίνης όσο και του πυροξένου είναι κερματισμένοι σε πάρα πολλά κομμάτια (**Εικ. 7.3**). Οι περιδοτίτες είναι κυρίως μεσόκκοκα πετρώματα, ενώ μερικοί από αυτούς μπορεί να χαρακτηριστούν ως λεπτόκοκκα και κάποιοι άλλοι ως χονδρόκοκκα.



Εικόνα 7.2: Πορφυροειδής ιστός-αλλοτριόμορφοι κρύσταλλοι ολιβίνη και πορφυροκρύσταλλοι ορθοπυροξένου και κλινοπυροξένου με έναρξη σερπεντινίωσης μέσα στις ρωγμές τους (δοκίμιο ΟΠ15Β).



Εικόνα 7.3: Πορφυροκλαστικός ιστός. Οι κρύσταλλοι είναι κερματισμένοι σε πολλά κομμάτια (δοκίμιο ΟΠ02Δ).

Ο ολιβίνης (κυρίως φορστερίτης) που είναι το κυριότερο ορυκτό των πετρωμάτων αυτών, συμμετέχει σε ποσοστό από 50 έως 85%. Οι ορθοπυροξένοι (κυρίως ενστατίτης) κυμαίνονται από 4 έως 26%, οι σερπεντίνες από 2 έως 22%, τα αδιαφανή ορυκτά (σπινέλιοι, κυρίως χρωμίτης, **Εικ. 7.3, 7.5**) από 1 έως 3%, ενώ σε μερικά δείγματα διακρίναμε αμφίβλους (ακτινόλιθους), τάλκη και άλλα δευτερογενή ορυκτά (χλωρίτης, βρουσίτης κ.ά) σε πολύ μικρές ποσότητες. Προβάλλοντας τα ποσοστά των παραπάνω ορυκτών στο τρίγωνο του STRECKEISEN (1976) διαπιστώνουμε ότι πρόκειται για λίγο

7. ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

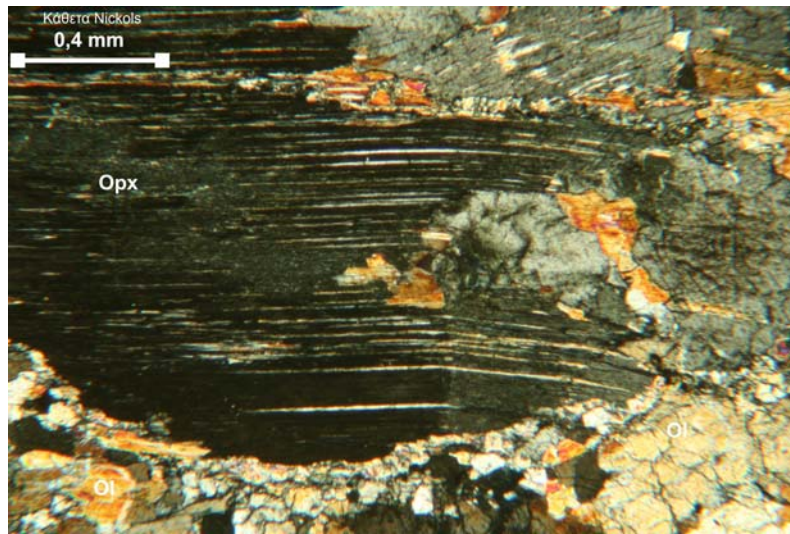
έως και σχεδόν καθόλου σερπεντινωμένους χαρτσβουργίτες. Εκτός από τα παραπάνω ορυκτά, σε κάποια λίγα δείγματα περιδοτιτών εντοπίσαμε κλινοπυρόξενους (3-12%). Επιπλέον σε δείγματα, που συλλέχθηκαν, από την Όθρη αναγνωρίστηκαν και πλαγιόκλαστα (σε πολύ μικρά ποσοστά, <4%). Σύμφωνα με το τρίγωνο του STRECKEISEN (1976) τα πετρώματα αυτά χαρακτηρίζονται αντιστοίχως ως λερζόλιθοι και πλαγιοκλαστομιγείς λερζόλιθοι. Τέλος, ένας πολύ μικρός αριθμός περιδοτιτών, περιέχουν ολιβίνη σε ποσοστό μεγαλύτερο από 79% και την παραγένεσή τους συμπληρώνουν οι ορθοπυρόξενοι, τα αδιαφανή ορυκτά και ο σερπεντίνης. Οι περιδοτίτες αυτοί χαρακτηρίζονται ως δουνίτες (Πίν. 7.1).

Πίνακας 7.1: Πετρογραφικά χαρακτηριστικά αντιπροσωπευτικών δοκιμίων περιδοτιτών από την Όθρη και το Καλλίδρομο ύστερα από εξέταση λεπτών τομών.

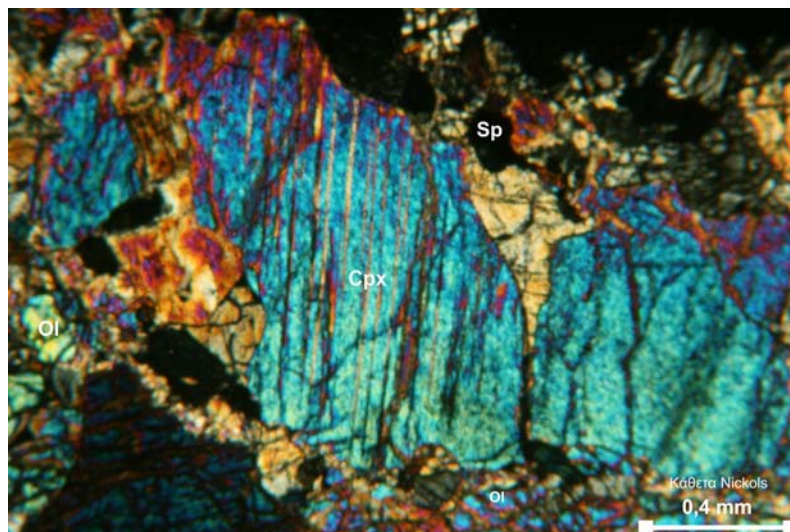
Κωδικός Δοκιμίου	Λιθότυπος	Ιστός	Oi (%)	Orx (%)	Cpx (%)	Pl (%)	Sp (%)	Serp (%)	Chl (%)	Tc (%)	Act (%)
ΚΠ05Β	ΛΕΡΖΟΛΙΘΟΣ	ΠΟΡΦΥΡΟΕΙΔΗΣ	50	11	12	-	1	22	2	1	1
ΚΠ09Α	ΛΕΡΖΟΛΙΘΟΣ	ΠΟΡΦΥΡΟΕΙΔΗΣ	72	11	4	-	2	9	1	-	1
ΟΠ02Δ	ΧΑΡΤΣΒΟΥΡΓΙΤΗΣ	ΚΟΚΚΩΔΗΣ	67	4	-	-	2	21	5	-	1
ΟΠ04Ε	ΧΑΡΤΣΒΟΥΡΓΙΤΗΣ	ΚΟΚΚΩΔΗΣ	70	9	-	-	-	16	3	2	-
ΟΠ06Β	ΧΑΡΤΣΒΟΥΡΓΙΤΗΣ	ΚΟΚΚΩΔΗΣ	71	14	-	-	-	12	2	1	-
ΟΠ07Α	ΧΑΡΤΣΒΟΥΡΓΙΤΗΣ	ΠΟΡΦΥΡΟΕΙΔΗΣ	66	21	-	-	2	10	1	-	-
ΟΠ08Γ	ΧΑΡΤΣΒΟΥΡΓΙΤΗΣ	ΠΟΡΦΥΡΟΕΙΔΗΣ	60	14	-	-	-	22	2	1	1
ΟΠ09Β	ΔΟΥΝΙΤΗΣ	ΚΟΚΚΩΔΗΣ	85	10	-	-	1	2	2	-	-
ΟΠ11Γ	ΔΟΥΝΙΤΗΣ	ΚΟΚΚΩΔΗΣ	79	12	-	-	-	8	1	-	-
ΟΠ12Α	ΛΕΡΖΟΛΙΘΟΣ	ΠΟΡΦΥΡΟΕΙΔΗΣ	55	24	5	2	3	10	1	-	-
ΟΠ15Β	ΛΕΡΖΟΛΙΘΟΣ	ΠΟΡΦΥΡΟΕΙΔΗΣ	74	19	3	-	-	3	1	-	-
ΟΠ17Γ	ΧΑΡΤΣΒΟΥΡΓΙΤΗΣ	ΠΟΡΦΥΡΟΕΙΔΗΣ	68	19	-	-	2	7	2	1	1
ΟΠ20Α	ΧΑΡΤΣΒΟΥΡΓΙΤΗΣ	ΠΟΡΦΥΡΟΕΙΔΗΣ	73	15	-	-	-	8	1	2	1
ΟΠ24Α	ΧΑΡΤΣΒΟΥΡΓΙΤΗΣ	ΚΟΚΚΩΔΗΣ	75	21	-	-	1	3	-	-	-

Οι ολιβίνες παρουσιάζονται με τη μορφή αλλοτριόμορφων κόκκων (Εικ. 7.2, 7.3), ενώ κατά τόπους τους συναντάμε και ως νεοβλάστες. Οι διαστάσεις τους κυμαίνονται από 0.2 ως 0.5mm, παρουσιάζουν έντονο θραυσμό και κυματοειδή κατάσβεση. Οι ορθοπυρόξενοι εμφανίζονται κυρίως ως πορφυροκλάστες με τη μορφή υπιδιόμορφων, ως και αλλοτριόμορφων πρισμάτων με μέσο μέγεθος από 2 ως 3mm (μέγιστη διάσταση 5mm, Εικ. 7.2, 7.4). Οι περισσότεροι από αυτούς παρουσιάζουν λαμέλλες απόμειξης κλινοπυροξένου (Εικ. 7.2, 7.4). Η πλαστική παραμόρφωση εκφράζεται με την εμφάνιση της κυματοειδούς κατάσβεσης και με την κάμψη των λαμελλών απόμειξης (Εικ. 7.4). Οι κλινοπυρόξενοι, εκτός από την απομειγνυομένη φάση μέσα στους ορθοπυρόξενους, εμφανίζονται και ως πορφυροκλάστες με τη μορφή υπιδιόμορφων συνήθως πρισμάτων

(**Εικ. 7.2, 7.5**). Τα πλαγιόκλαστα (βασικά) εμφανίζονται υπό μορφή πολύ μικρού μεγέθους (τόσο μικρών που δεν διακρίνονται εύκολα) αλλοτριόμορφων κρυστάλλων ανάμεσα στους κόκκους του ολιβίνη, των πυροξένων και των αδιαφανών ορυκτών.



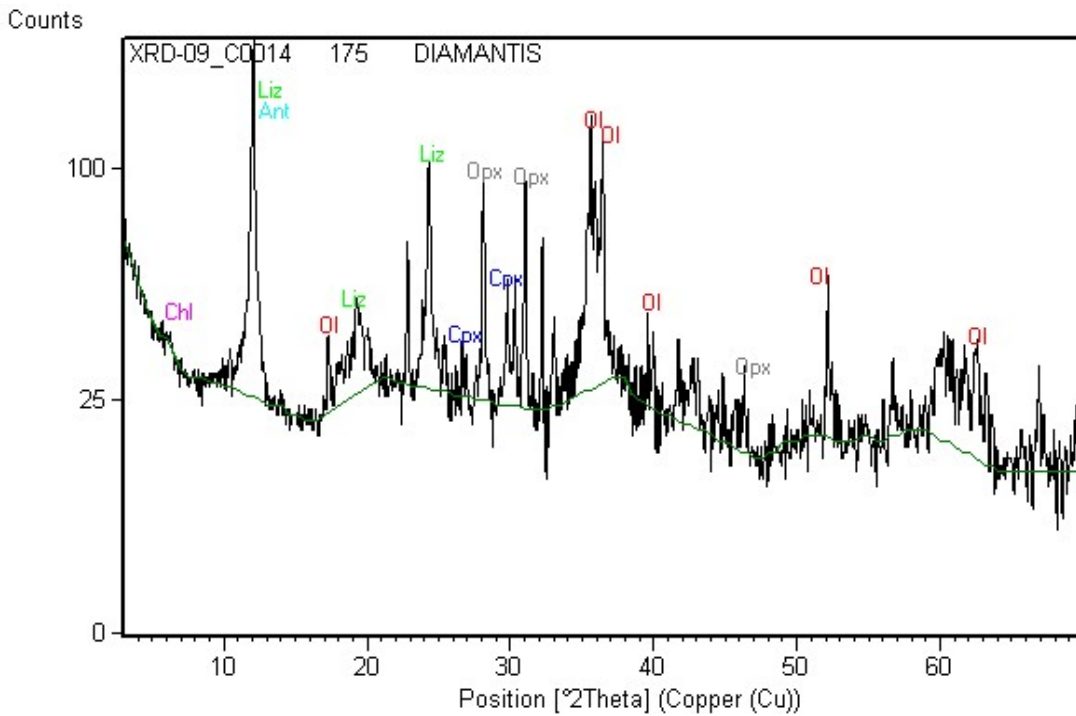
Εικόνα 7.4: Πορφυροκρύσταλλοι ορθοπυροξένων με λαμέλλες απόμειξης (δοκίμιο ΚΠ09Α).



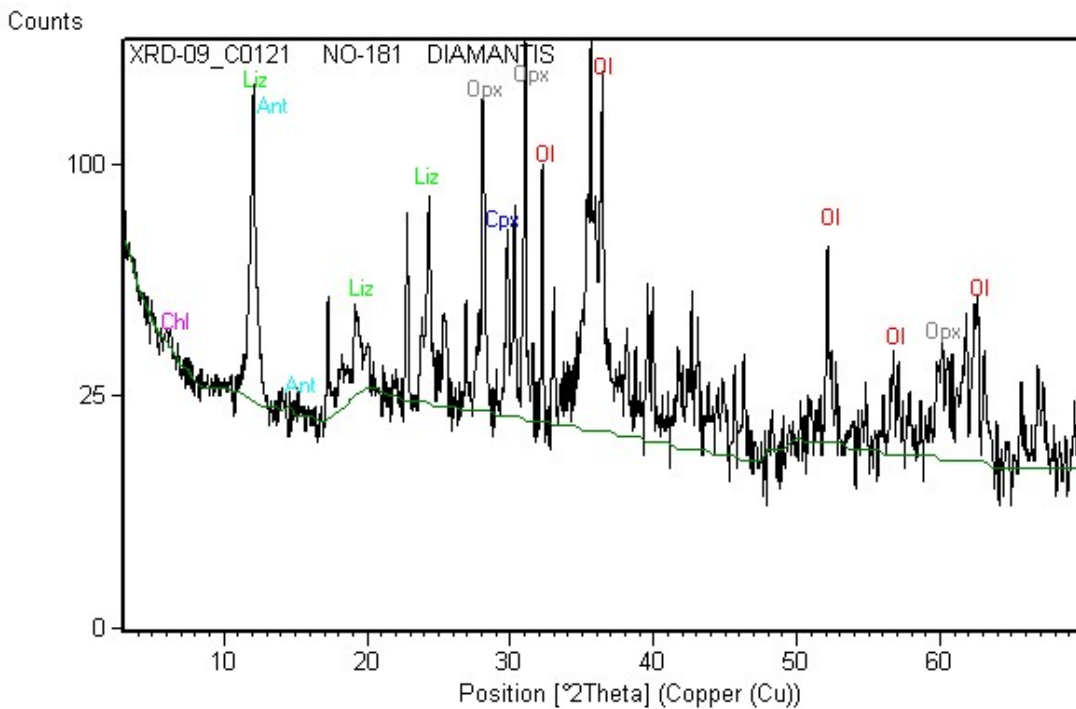
Εικόνα 7.5: Υπιδιόμορφος πορφυροκρύσταλλος κλινοπυροξένου και αλλοτριόμορφοι κρύσταλλοι ολιβίνη (δοκίμιο ΟΠ07Α).

Ο ολιβίνης, όπως προαναφέρθηκε, είναι το πρώτο ορυκτό που υφίσταται σερπεντινίωση. Η εξαλλοίωση αυτή ξεκινά κυρίως από τα επίπεδα θραυσμού του ολιβίνη. Στη συνέχεια, σερπεντινώνονται οι ορθοπυροξένοι, ενώ οι κλινοπυροξένοι διατηρούνται σε μεγαλύτερα ποσοστά, αφού επηρεάζονται λιγότερο από αυτή. Η σερπεντινίωση των ορθοπυροξένων εμφανίζεται κυρίως κατά μήκος των ρωγμών και του σχισμού και συνήθως δίνουν τους λεγόμενους βαστίτες, (ψευδομόρφωση). Η μελέτη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD) έδειξε ότι οι σερπεντίνες που εντοπίστηκαν ήταν ο λιζαρδίτης και ο αντιγορίτης (**Εικ. 7.6**,

7.7, 7.8, 7.9) και ότι στα περισσότερα από αυτά υπερισχύει ο λιζαρδίτης. Επίσης από τα ακτινογραφήματα είναι εμφανές πως σε κάποια από τα δείγματα, που μελετήθηκαν, εντοπίστηκαν και βασικά πλαγιόκλαστα.

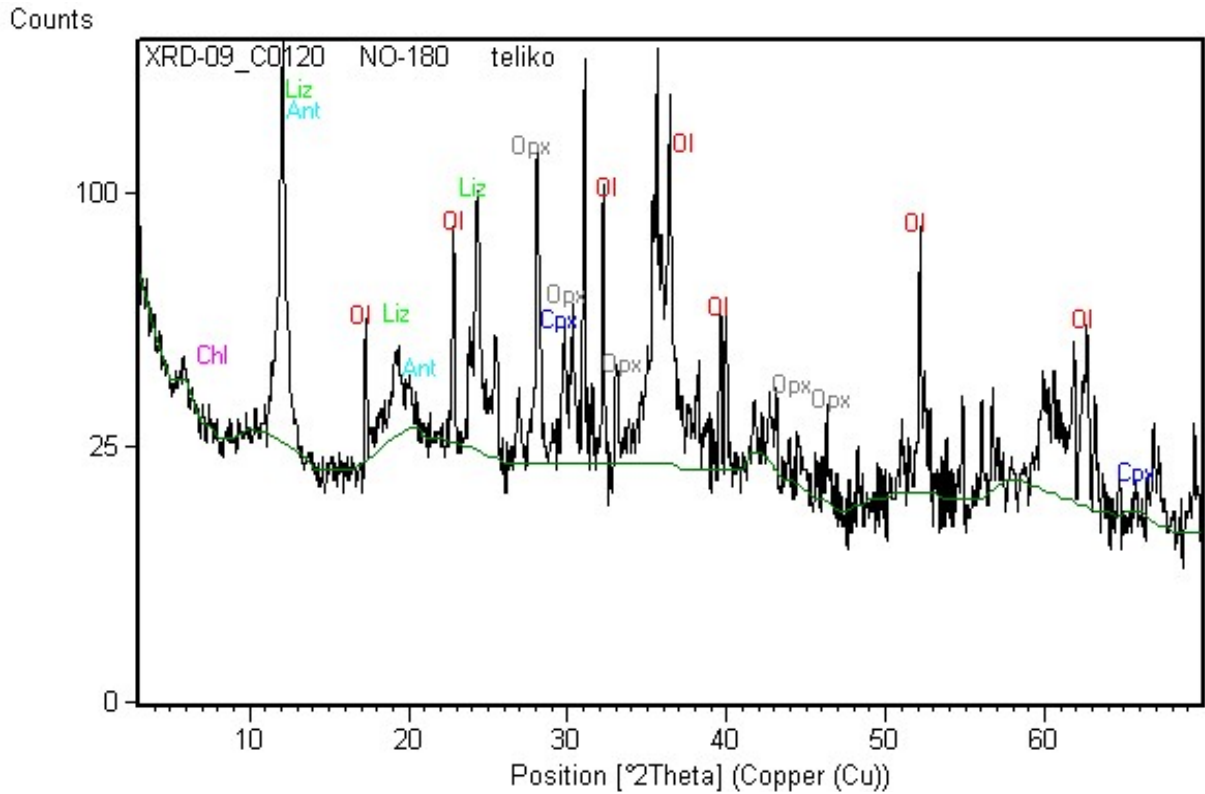


Εικόνα 7.6: Ακτινογράφημα που δείχνει ότι τα ορυκτά που εντοπίστηκαν στους μελετηθέντες περιδοτίτες είναι: ο ολιβίνης (Ol), ο ορθοπυρόξενος (Opx), ο κλινοπυρόξενος (Cpx), ο λιζαρδίτης (Liz), ο αντιγορίτης (Ant) και ο χλωρίτης (Chl) (δοκίμιο KΠ01Α).

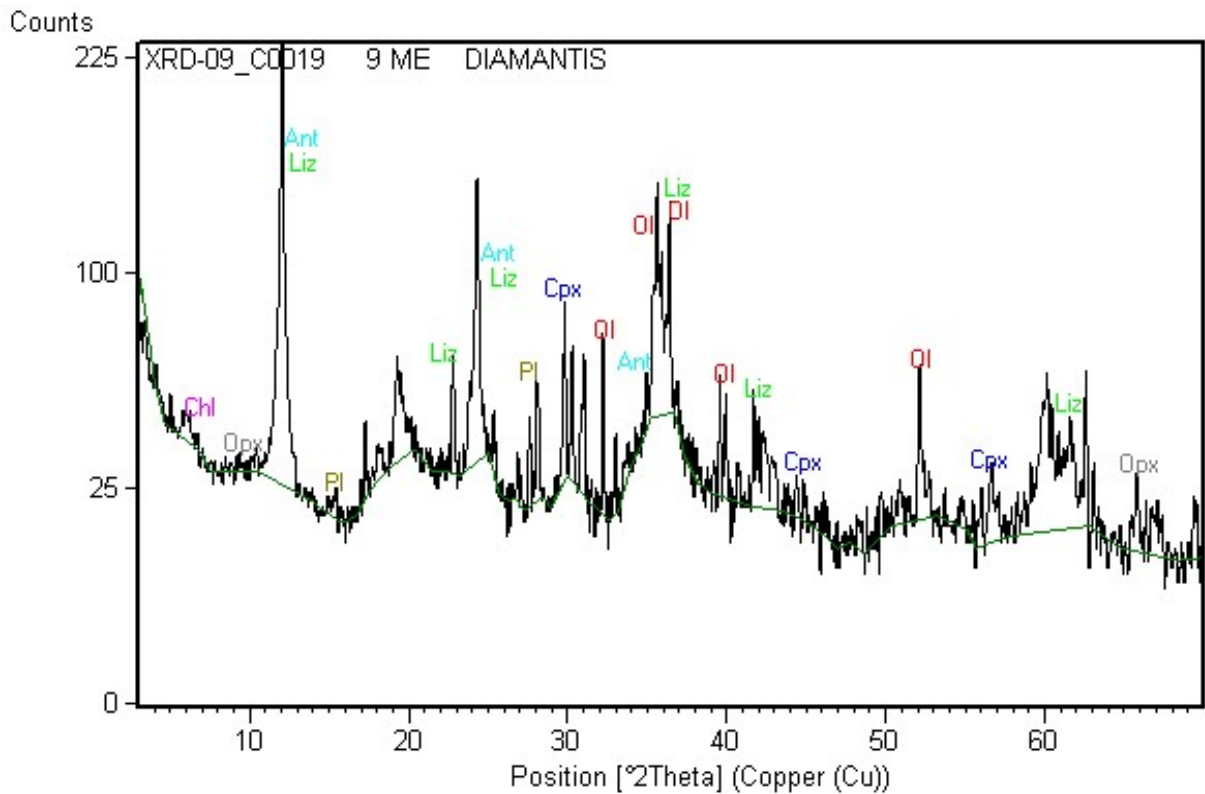


Εικόνα 7.7: Ακτινογράφημα που δείχνει ότι τα ορυκτά που εντοπίστηκαν στους μελετηθέντες περιδοτίτες είναι: ο ολιβίνης (Ol), ο ορθοπυρόξενος (Opx), ο κλινοπυρόξενος (Cpx), ο λιζαρδίτης (Liz), ο αντιγορίτης (Ant) και ο χλωρίτης (Chl) (δοκίμιο KΠ03Α).

7. ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

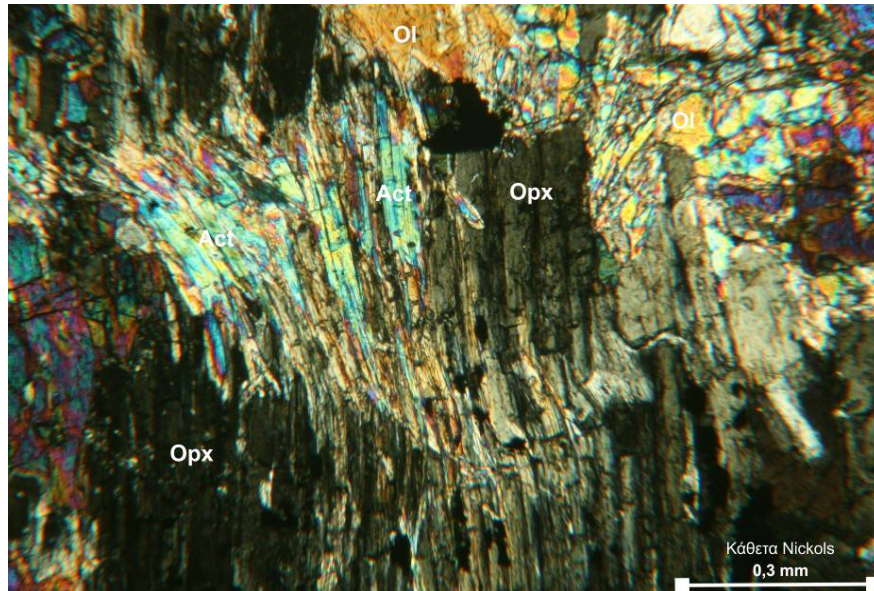


Εικόνα 7.8: Ακτινογράφημα που δείχνει ότι τα ορυκτά που εντοπίστηκαν στους μελετηθέντες περιδοτίτες είναι: ο ολιβίνης (*Ol*), ο ορθοπυρόξενος (*Opx*), ο κλινοπυρόξενος (*Cpx*), ο λιζαρδίτης (*Liz*), ο αντιγορίτης (*Ant*) και ο χλωρίτης (*Chl*) (δοκίμιο ΟΠ1Α).



Εικόνα 7.9: Ακτινογράφημα που δείχνει ότι τα ορυκτά που εντοπίστηκαν στους μελετηθέντες περιδοτίτες είναι: ο ολιβίνης (*Ol*), ο ορθοπυρόξενος (*Opx*), ο κλινοπυρόξενος (*Cpx*), ο λιζαρδίτης (*Liz*), ο αντιγορίτης (*Ant*), ο χλωρίτης (*Chl*) και το πλαγιόκλαστο (*Pl*) (δοκίμιο ΟΠ22Β).

Τέλος, οι ορθοπυρόξενοι αντικαθίστανται δευτερογενώς και από τάλκη, χλωρίτη και ακτινόλιθο. Ο ακτινόλιθος προκύπτει από την εξαλλοίωση των πυροξένων σε αμφίβλους (ουραλιτίωση, **Εικ. 7.10**) και παρατηρήθηκε ότι σχηματίζει ένα περιθώριο εξαλλοίωσης γύρω τους.



Εικόνα 7.10: Ουραλιτίωση ορθοπυροξένου (δοκίμιο ΟΠ15Β).

Όσον αφορά τους σερπεντινίτες, αυτοί αποτελούν την πλειοψηφία των υπερβασικών πετρωμάτων και εμφανίζονται τόσο στη δυτική Όθρη, όσο και στο Καλλίδρομο. Στην παραγένεσή τους συμμετέχουν κυρίως δευτερογενή ορυκτά σε ποσοστό 69-97% (ύστερα από εξέταση λεπτών τομών, **Πίν. 7.2**), ενώ η συμμετοχή των υπολειμματικών ορυκτών περιορίζεται σε <30%. Το κύριο ορυκτολογικό συστατικό είναι ο σερπεντίνης σε ποσοστό συμμετοχής 62-84% (**Πίν. 7.2**) και συνήθως βρίσκεται με τη μορφή του αντιγορίτη ή του λιζαρδίτη (φυλλώδη μορφή), απουσιάζουν δε οι ινώδεις δομές (χρυσοτίλης).

Πίνακας 7.2: Πετρογραφικά χαρακτηριστικά αντιπροσωπευτικών δοκιμών σερπεντινιτών από την Όθρη και το Καλλίδρομο ύστερα από εξέταση λεπτών τομών.

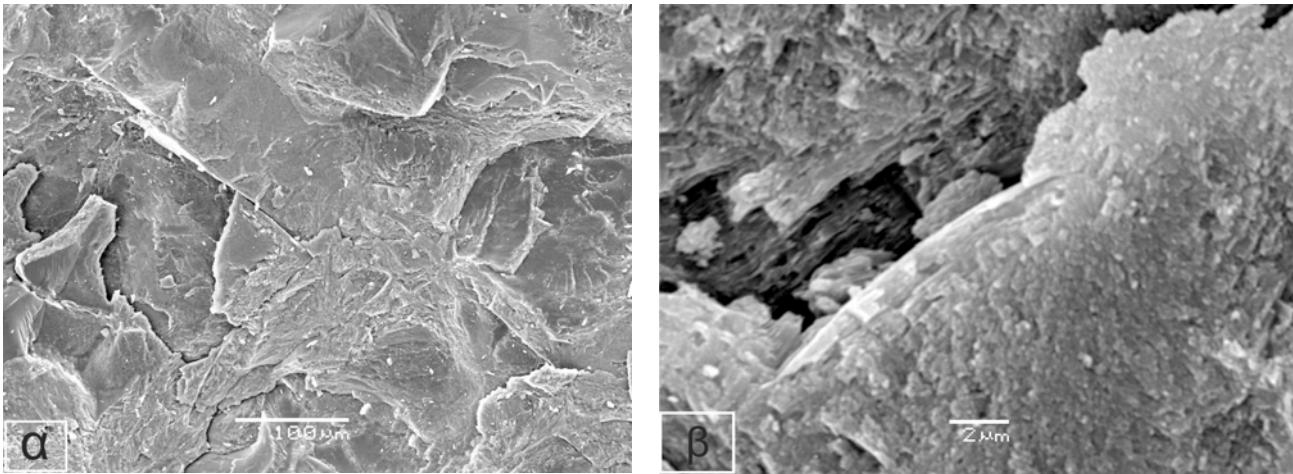
Κωδικός Δοκιμίου	Λιθότυπος	Ιστός	Ol (%)	Orpx (%)	Cpx (%)	Pl (%)	Sp (%)	Serp (%)	Chl (%)	Tc (%)	Act (%)
ΚΣ01Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	2	6	1	-	1	84	2	2	2
ΚΣ03Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	4	8	2	-	1	76	3	5	1
ΚΣ05Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	1	-	-	-	2	82	6	6	3
ΚΣ06Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	4	7	1	-	2	74	6	3	3
ΚΣ08Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	9	9	5	-	1	63	4	5	4
ΚΣ09Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	6	-	-	-	2	83	4	3	2
ΚΣ10Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	10	6	3	-	1	71	2	7	-

7. ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

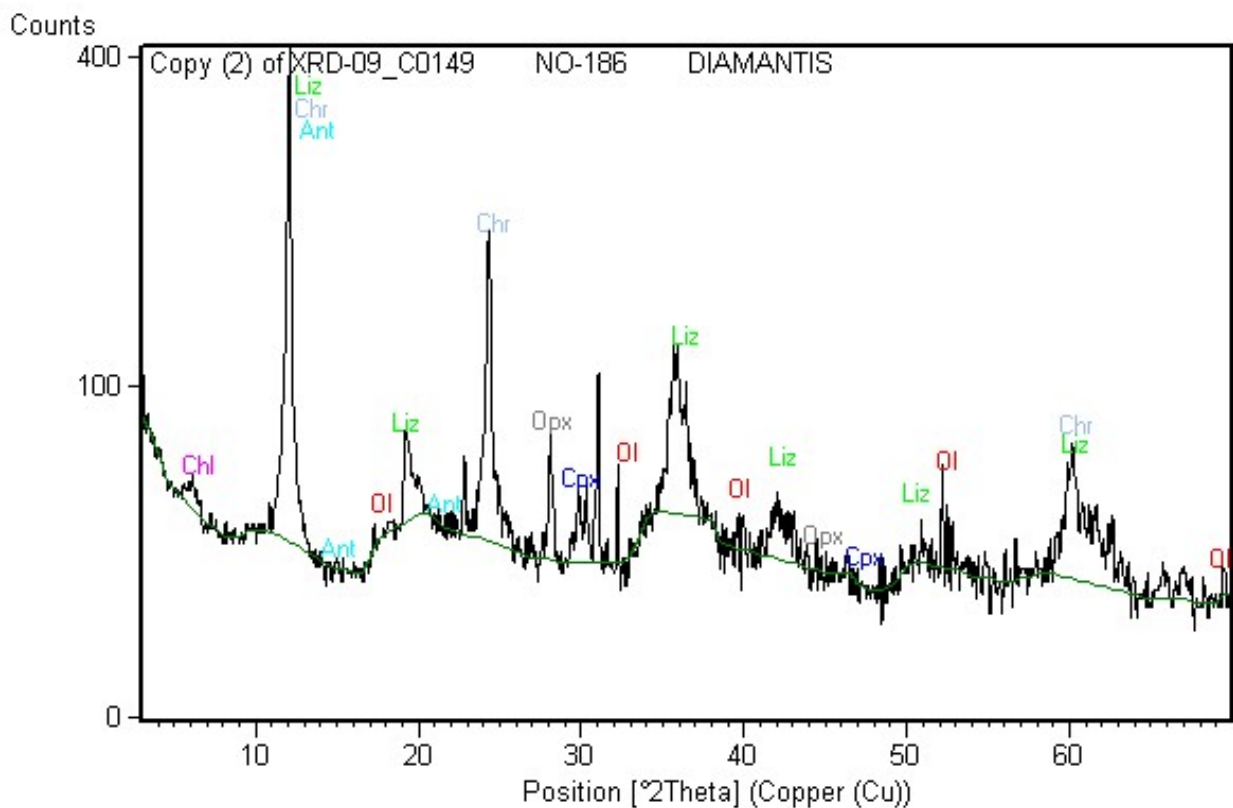
Κωδικός Δοκιμίου	Λιθότυπος	Ιστός	O1 (%)	Opx (%)	Cpx (%)	Pl (%)	Sp (%)	Serp (%)	Chl (%)	Tc (%)	Act (%)
ΚΣ11Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	10	7	11	-	2	62	7	1	-
ΚΣ12Γ	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	9	12	2	-	2	68	4	3	-
ΚΣ13Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	17	12	-	-	-	68	2	1	-
ΚΣ16Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	13	7	3	-	-	67	5	3	2
ΟΣ01Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	5	10	-	-	1	76	2	5	1
ΟΣ02Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	5	3	-	-	-	84	5	2	1
ΟΣ03Γ	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	9	5	-	-	1	77	4	4	-
ΟΣ05Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	12	6	1	-	1	72	6	1	1
ΟΣ06Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	11	7	1	-	4	66	4	5	2
ΟΣ08Β	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	8	6	-	-	-	76	6	3	1
ΟΣ09Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	7	6	-	-	-	79	7	1	-
ΟΣ11Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	14	8	-	-	2	63	8	3	2
ΟΣ17Δ	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	8	5	-	-	-	79	5	2	1
ΟΣ21Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	17	11	-	-	3	62	5	2	-
ΟΣ22Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	5	8	-	-	1	78	6	2	-
ΟΣ23Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	11	7	5	-	2	67	6	1	1
ΟΣ25Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	8	11	7	-	1	66	4	2	1
ΟΣ28Δ	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	13	8	1	-	1	66	4	5	2
ΟΣ29Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	12	9	-	-	-	72	6	1	-
ΟΣ30Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	6	9	-	-	2	79	2	1	1
ΟΣ34Γ	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	13	8	-	-	1	68	5	4	1
ΟΣ36Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	14	11	-	-	1	69	4	1	-
ΟΣ37Γ	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	9	10	2	-	1	72	4	2	-
ΟΣ38Γ	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	14	6	-	-	2	72	5	1	-
ΟΣ40Ζ	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	4	9	-	-	-	75	8	4	-
ΟΣ42Α	ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΤΗΣ	ΚΥΨΕΛΩΔΗΣ	14	10	1	-	1	64	6	3	1

Οι φυλλώδεις δομές επιβεβαιώθηκαν επίσης, από τη μελέτη σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM, **Εικ. 7.11 α, β**) κάποιων δειγμάτων που θεωρήθηκε πιθανό, να περιέχουν ινώδεις κρυστάλλους σερπεντίνη (χρυσοτίλη). Σε 8 δείγματα πραγματοποιήθηκε μελέτη και με τη μέθοδο της περιθλασιομετρίας των ακτίνων Χ (XRD). Σε κάποια από αυτά, σε αντίθεση με όσα έδειξε η εξέταση στο πολωτικό και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, εντοπίστηκε και χρυσοτίλης (**Εικ. 7.12**). Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην ύπαρξη μικροφλέβας χρυσοτίλη στο κομμάτι που προετοιμάστηκε για τη δοκιμή XRD. Επίσης θα πρέπει να τονιστεί ότι στην περίπτωση που σε κάποιο λιθότυπο συμμετέχουν φάσεις που έχουν παρόμοια κρυσταλλική δομή (όπως τα πολύμορφα του σερπεντίνη), ο βαθμός αλληλεπικάλυψης των ανακλάσεων είναι σημαντικός, καθιστώντας

ιδιαίτερα δύσκολο ή ακόμα και αδύνατο τον ακριβή προσδιορισμό των συγκεκριμένων ορυκτών (WICKS & O'HANLEY, 1988; O'HANLEY, 1996).

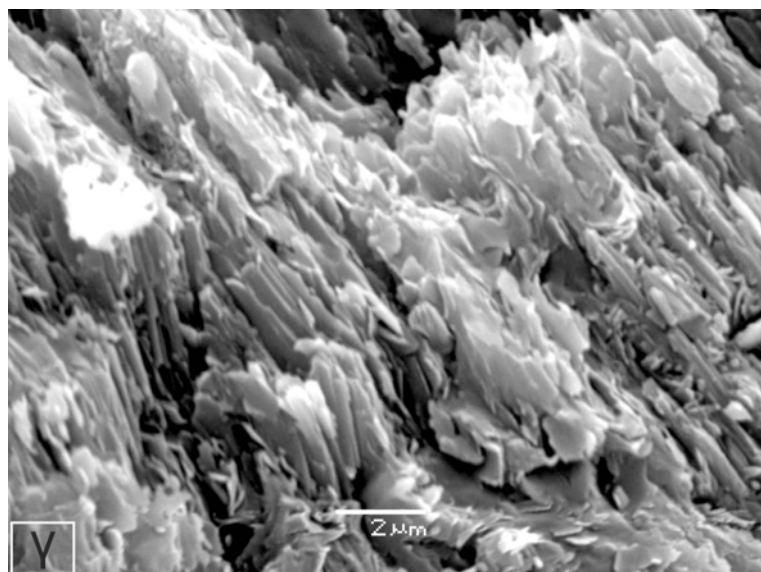
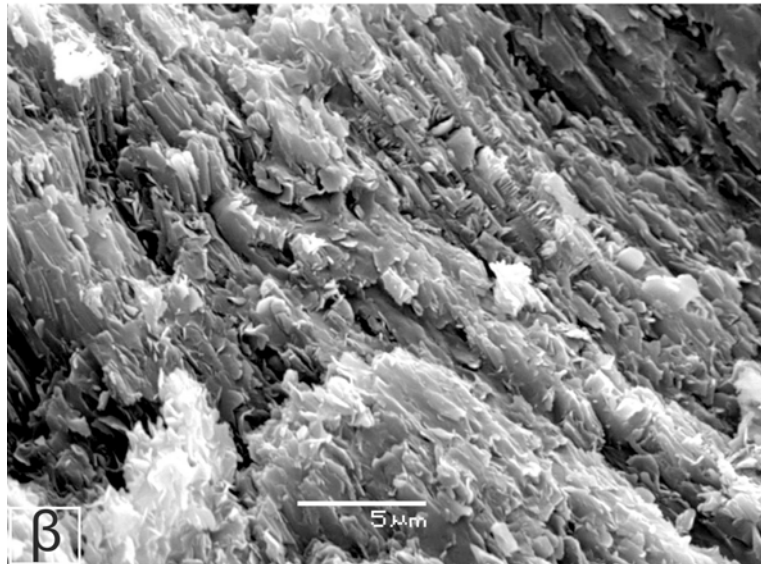
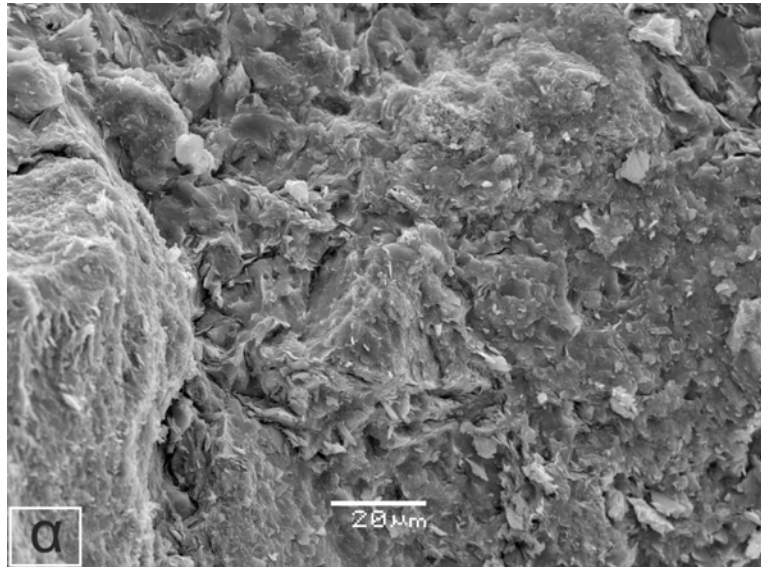


Εικόνα 7.11: α) Γενική εικόνα σερπεντινίτη (δείγμα ΟΣ06Α) από SEM. Οι σερπεντίνες είναι φυλλώδεις και όχι ινώδεις, χωρίς προτιμητέο προσανατολισμό. β) Μεγέθυνση της προηγούμενης εικόνας.

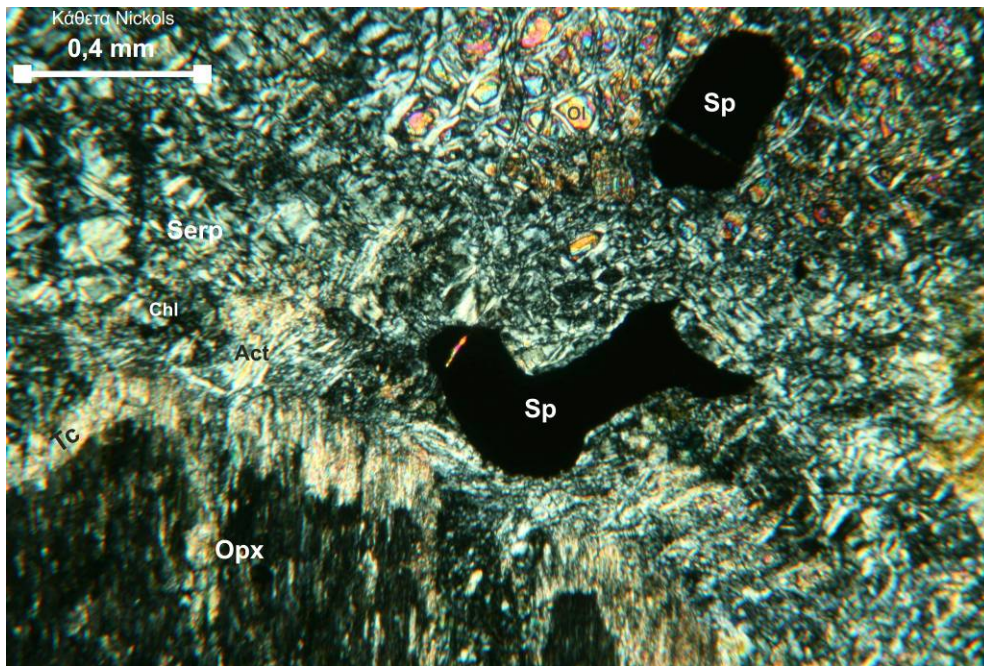


Εικόνα 7.12: Ακτινογράφημα σερπεντινίτη στο οποίο φαίνεται πως το κυρίαρχο πολύμορφο του σερπεντίνης είναι ο χρυσοσίλης (Chr). Επίσης εντοπίστηκαν λιζαρδίτης (Liz), ολιβίνης (Ol), αντιγορίτης (Ant), ορθοπυρόξενος (Opx), κλινοπυρόξενος (Cpx), χλωρίτης (Chl) (δείγμα ΟΣ06Α).

Στους σερπεντινίτες συμμετέχουν επίσης ως δευτερογενή ορυκτά ο χλωρίτης, ο ακτινόλιθος και ο τάλκης (Ευκ. 7.13 α, β, γ, 7.14).

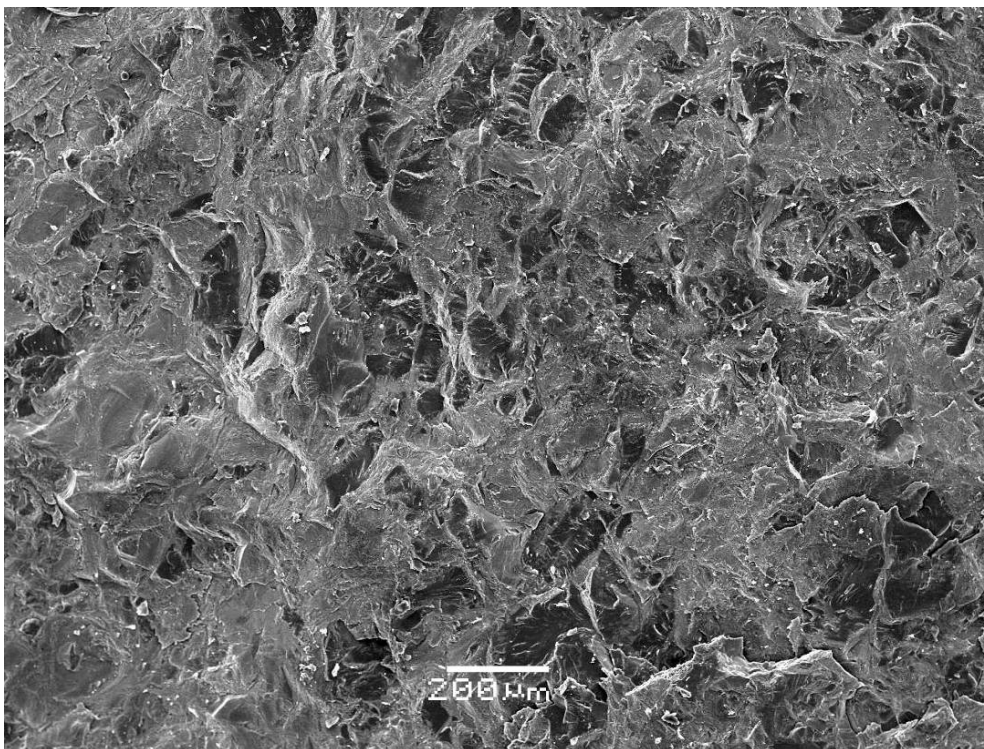


Εικόνα 7.13 : α), β) ,γ) Παρουσιάζονται σε διαφορετικές μεγεθύνσεις ο τάλκης (ανοιχτό γκρι) και ο σερπεντίνης (σκούρο γκρι), χωρίς προτιμητέο προσανατολισμό(SEM, δοκίμιο ΚΣ10Α).

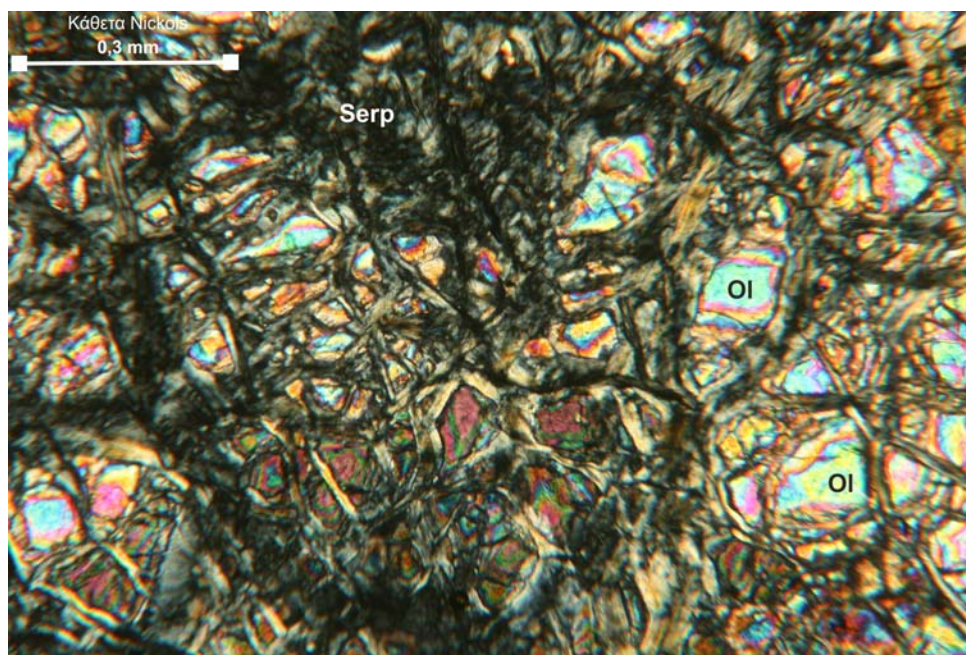


Εικόνα 7.14: Σερπεντινίτης με παρουσία τάλκη, ακτινολίθου, χλωρίτη σπινέλιου (δοκίμιο ΟΣ01Α).

Η συμμετοχή των υπολειμματικών ορυκτών φάσεων στην παραγένεση έχει ιδιαίτερη σημασία στον προσδιορισμό του πρωτόλιθου των σερπεντινιτών. Τα ορυκτά που διατηρούνται με τη μορφή υπολειμματικών κρυστάλλων είναι ο ολιβίνης, οι πυρόξενοι και τα αδιαφανή ορυκτά. Οι υπολειμματικοί κρύσταλλοι ολιβίνης παρουσιάζονται στην **Εικόνα 7.15** (ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, SEM) και στην **Εικόνα 7.16** (πολωτικό μικροσκόπιο).

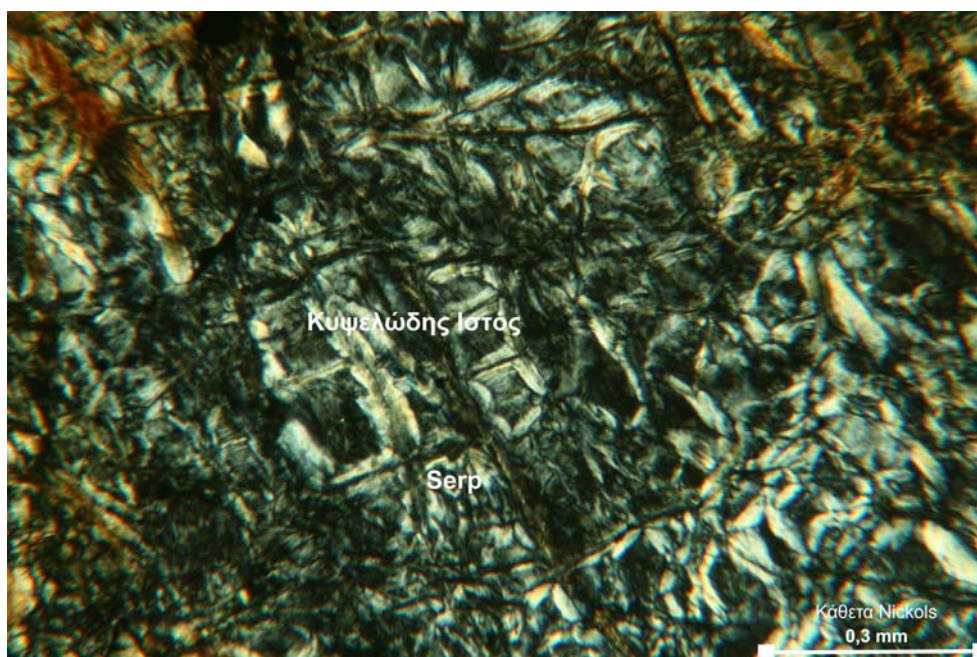


Εικόνα 7.15: Υπολειμματικές νησίδες κρυστάλλων ολιβίνης περιτριγυρισμένοι από σερπεντίνες σε ένα δείγμα σερπεντινίτη (SEM, δοκίμιο ΟΣ05Α).

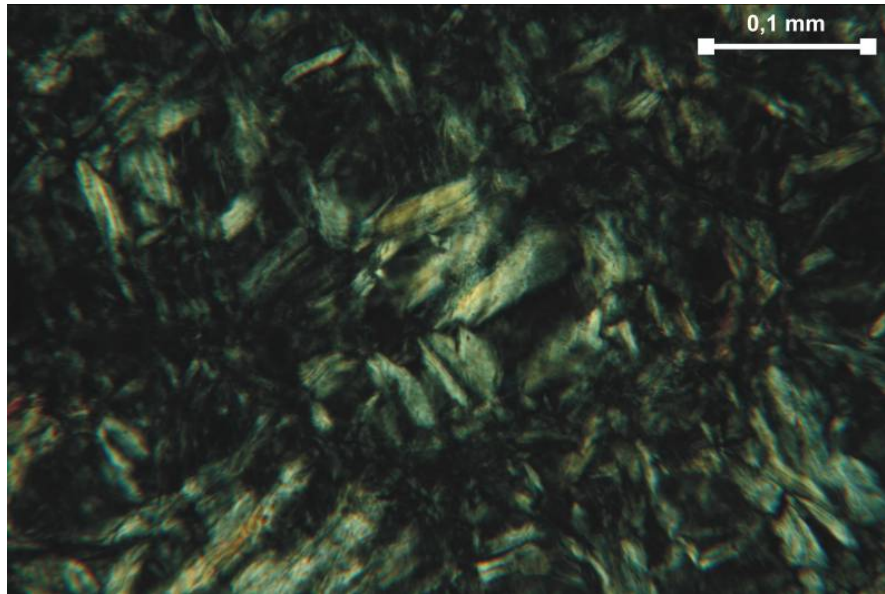


Εικόνα 7.16: Κυψελώδης ιστός. Στα κέντρα των κυψελίδων υπάρχουν υπολειμματικοί κρύσταλλοι ολιβίνη (ΟΣ05Α).

Οι σερπεντινίτες είναι κυρίως αδρόκοκκοι και παρουσιάζουν κατά βάση κυψελώδη ιστό (Εικ. 7.16, 7.17), ενώ κατά τόπους παρατηρείται και ενδοδιεισδυτικός (Εικ. 7.18) χωρίς κανένα προτιμητέο προσανατολισμό των ορυκτών του σερπεντίνης (Εικ. 7.11, 7.13 SEM). Οι μορφές κλειψύδρας σπανίζουν και όπου εμφανίζονται δεν είναι καλά αναπτυγμένες. Οι κυψέλες πολυγωνικού σχήματος έχουν κυρίως δημιουργηθεί από σερπεντινωμένους κόκκους ολιβίνης, για αυτό σε κάποια δείγματα στο κέντρο της κυψελίδας παρατηρείται υπολειμματικός κρύσταλλος ολιβίνης (Εικ. 7.15, 7.16).



Εικόνα 7.17: Κυψελώδης ιστός (δοκίμιο ΚΣ09Α).



Εικόνα 7.18: Ενδοδιδεισδυτικός ιστός (δοκίμιο ΟΣ02Α).

Ανακεφαλαιώνοντας μπορούμε να αναφέρουμε πως στην πλειοψηφία τους, οι μη αναμενόμενες τιμές των δυναμικών και μηχανικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων (πολύ μεγάλες ή πολύ μικρές), οι οποίες προσδιορίστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, μπορούν να εξηγηθούν από α) τον ποικίλο βαθμό σερπεντινίωσης, β) τη διαφορετική ορυκτολογική σύσταση και γ) τον διαφορετικό ιστό (κοκκώδης, κυψελώδης, λεπτοκοκκώδης, μεσόκοκκώδης, χονδροκοκκώδης, ισοκοκκώδης, ανισοκοκκώδης, αναλυτικά στοιχεία παρατίθενται στο Παράρτημα Β). Παραδείγματος χάριν, το δοκίμιο ΟΠ24Α παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αντοχή από όλα τα δοκίμια που εξετάστηκαν. Αυτό οφείλεται πρωτίστως στο μικρό βαθμό σερπεντινίωσης (3%) και επομένως μεγάλο βαθμό πρωτογενών ορυκτών καθώς και στο γεγονός ότι ο ιστός του είναι λεπτοκοκκώδης έως μεσοκοκκώδης με κρυστάλλους ίσου μεγέθους. Είναι ευρέως γνωστό πως τα πετρώματα με λεπτοκοκκώδεις ιστούς παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές δυναμικών και μηχανικών ιδιοτήτων από αυτά που εμφανίζουν μεσοκοκκώδη ή χονδροκοκκώδη ιστό. Επίσης, τα πετρώματα με κόκκους ίσου μεγέθους εμφανίζουν υψηλότερα δυναμικά και μηχανικά χαρακτηριστικά σε σχέση με αυτά που περιέχουν άνισου μεγέθους κόκκους, ακόμα και αν κάποιοι από τους δεύτερους είναι μικρότεροι.

Τέλος είναι σημαντικό να τονιστεί, πως η προσπάθεια που καταβλήθηκε με στόχο τη συσχέτιση των τιμών των δυναμικομηχανικών χαρακτηριστικών των σερπεντινιτών με το είδος του σερπεντίνης που περιέχουν (λιζαρδίτης, αντιγορίτης, χρυσοτίλης) δεν ευδόωσε, αφού τόσο στο μικροσκόπιο (πολωτικό και ηλεκτρονικό), όσο και με τη μέθοδο XRD δεν κατέστη δυνατό να πραγματοποιηθεί με βεβαιότητα η διάκρισή τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ-ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

8.1 Εισαγωγή

Ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που αντιμετωπίζουμε στον ερευνητικό τομέα στην Ελλάδα, είναι πως παρά το γεγονός ότι έχουν πραγματοποιηθεί πάρα πολλές μελέτες και έρευνες, ελάχιστα στοιχεία έχουν καταγραφεί σε ένα ενιαίο σύστημα βάσης δεδομένων, με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτή η αξιοποίησή τους. Έχοντας ως γνώμονα την κατάσταση αυτή αποφασίσαμε να δημιουργήσουμε μια βάση δεδομένων στην οποία θα καταχωρηθούν οι τιμές των χαρακτηριστικών, τα οποία εξετάσαμε στη διατριβή αυτή και η οποία θα είναι ελεύθερα προσβάσιμη σε όλους για τη λήψη στοιχείων, αλλά και την καταχώρηση νέων.

8.2 Σχεδιασμός-δημιουργία της βάσης δεδομένων

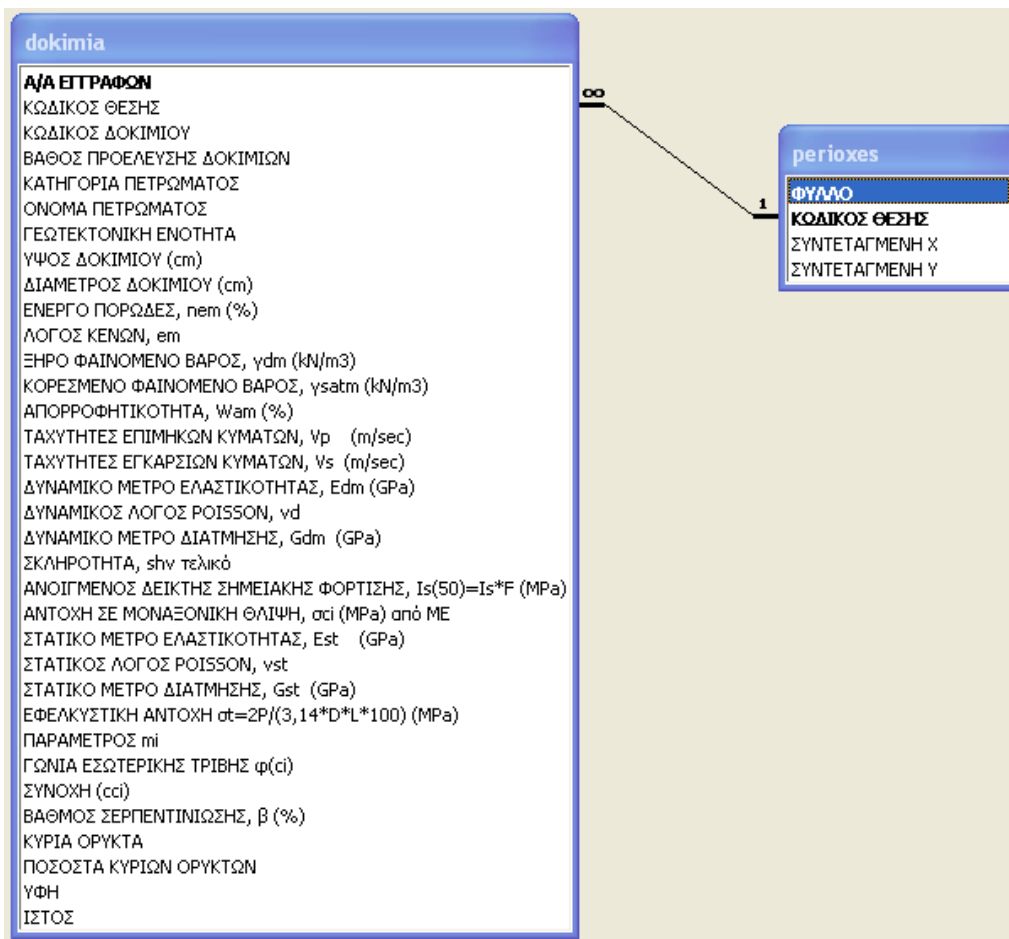
Οι βάσεις δεδομένων είναι χρήσιμες για τη συλλογή, την αποθήκευση, την οργάνωση, την επεξεργασία και την εξαγωγή αποτελεσμάτων. Ουσιαστικά πρόκειται για συλλογές από εγγραφές και αρχεία, τα οποία είναι οργανωμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να εξυπηρετούν ένα συγκεκριμένο σκοπό. Μας δίνουν τη δυνατότητα να παρουσιάζουμε τα δεδομένα μας με διάφορους τρόπους, να τα ταξινομούμε, να τα φιλτράρουμε και να χρησιμοποιούμε τα κατάλληλα κριτήρια ώστε να λαμβάνουμε ακριβώς τις πληροφορίες που επιθυμούμε. Το λογισμικό, που χρησιμοποιείται για την οργάνωση και τη διαχείριση των περιεχομένων μιας βάσης δεδομένων ονομάζεται *σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων* (Database Management System-DBMS). Σήμερα τα περισσότερα σύγχρονα συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων χρησιμοποιούν το σχεσιακό μοντέλο, γι' αυτό και ονομάζονται *συστήματα διαχείρισης σχεσιακών βάσεων δεδομένων* (Relational Database Management System-RDBMS). Το πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων σε σχέση με τα παλαιότερα, είναι πως μας επιτρέπουν να καταχωρούμε *μοναδικά στοιχεία* σε κάθε εγγραφή και παράλληλα να συσχετίζουμε τους πίνακες της βάσης μεταξύ τους. Επομένως, αποφεύγουμε έτσι να καταχωρούμε τα ίδια στοιχεία δύο φορές.

Μια βάση δεδομένων αποτελείται κυρίως από τα εξής στοιχεία : α) τους πίνακες, β) τις φόρμες, γ) τα ερωτήματα και δ) τις εκθέσεις. Από τα παραπάνω στοιχεία μόνο οι πίνακες είναι υποχρεωτικοί, όλα τα υπόλοιπα χρησιμοποιούνται για να μας διευκολύνουν στην καταχώρηση, την επεξεργασία και την παρουσίαση των δεδομένων.

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε μια βάση δεδομένων με το πρόγραμμα Microsoft Access 2003. Το λογισμικό αυτό είναι ένα από τα πιο γνωστά συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων, διότι είναι πολύ εύχρηστο, φιλικό και διαθέσιμο σε όλους τους χρήστες Η/Υ. Βασίζεται στο σχεσιακό μοντέλο και συνδέεται εύκολα με άλλες εφαρμογές εκτός της Microsoft. Όμως παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα, όπως για παράδειγμα δεν μπορεί να διαχειριστεί πάρα πολύ μεγάλο όγκο πληροφοριών.

Αρχικά σχεδιάστηκε η δομή της βάσης και αποφασίστηκε ότι θα αποτελείται από δυο πίνακες, οι οποίοι θα συνδέονται μεταξύ τους. Στη συνέχεια, εισήχθησαν στο πρόγραμμα τα πεδία των δυο αυτών πινάκων. Στον πρώτο πίνακα, ο οποίος ονομάζεται «perioxes», υπάρχουν τα εξής πεδία: α) «ΦΥΛΛΟ», β) «ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ», γ) «ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΗ Χ», δ) «ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΗ Υ» με πρωτεύον κλειδί (Primary key) το πεδίο «ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ», ενώ ο δεύτερος πίνακας, με όνομα «dokimia», θα αποτελείται από τα: 1) «Α/Α ΕΓΓΡΑΦΩΝ», 2) «ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ» 3) «ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ» 4) «ΒΑΘΟΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ», 5) «ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ», 6) «ΟΝΟΜΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ», 7) «ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ» 8) «ΥΨΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ», 9) «ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ», 10) «ΕΝΕΡΓΟ ΠΟΡΩΔΕΣ», 11) «ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ», 12) «ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ», 13) «ΚΟΡΕΣΜΕΝΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ», 14) «ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ», 15) «ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΕΠΙΜΗΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ», 16) «ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ», 17) «ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ», 18) «ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ POISSON», 19) «ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ», 20) «ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ», 21) «ΑΝΟΙΓΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ», 22) «ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ», 23) «ΣΤΑΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ», 24) «ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ POISSON», 25) «ΣΤΑΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ», 26) «ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ», 27) «ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ m_1 », 28) «ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ», 29) «ΣΥΝΟΧΗ», 30) «ΒΑΘΜΟΣ ΣΕΡΠΕΝΤΙΝΙΩΣΗΣ», 31) «ΚΥΡΙΑ ΟΡΥΚΤΑ» 32) «ΠΟΣΟΣΤΑ ΚΥΡΙΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ» 33) «ΥΦΗ», 34) «ΙΣΤΟΣ», με πρωτεύον κλειδί (Primary

key) το πεδίο «Α/Α ΕΓΓΡΑΦΩΝ». Το πεδίο «ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ» του πρώτου πίνακα είναι εξωτερικό κλειδί (Foreign key) στο δεύτερο πίνακα. Αυτό το πεδίο βοηθάει στη σύνδεση των δυο πινάκων (Εικ. 8.1). Ως πρωτεύον κλειδί του πίνακα της βάσης θεωρείται το πεδίο εκείνο που έχει μοναδικά στοιχεία (δεν παρουσιάζει διπλοεγγραφές) και όλες οι εγγραφές του είναι γεμάτες (δεν έχει κενά). Εξωτερικό κλειδί σε ένα πίνακα καλείται το πεδίο εκείνο που σε ένα άλλον πίνακα είναι πρωτεύον κλειδί.



Εικόνα 8.1: Οι δυο πίνακες της βάσης, τα πεδία και η σχέση τους.

8.3 Καταχώρηση των αποτελεσμάτων

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, στη βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε, καταγράφηκαν (Εικ. 8.2) 391 εγγραφές (αριθμός δοκιμίων) από 94 θέσεις δειγματοληψίας (69 από την περιοχή της δυτικής Όθρυος και 25 από το Καλλίδρομο). Στο πεδίο «Φύλλο» καταγράφουμε το όνομα του φύλλου του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ 1:50000, που αντιστοιχεί στην εκάστοτε θέση δειγματοληψίας. Επίσης, σε κάθε θέση δόθηκε ένας μοναδικός κωδικός («ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ») που έχει σαν πρόθεμα τα 4 πρώτα γράμματα από το όνομα του φύλλου του χάρτη στον οποίο εντοπίζεται και έναν

αύξοντα αριθμό (π.χ. ο κωδικός ΛΕΟΝ1 αντιστοιχεί στην πρώτη θέση δειγματοληψίας που εντοπίζεται στο φύλλο του χάρτη του ΙΓΜΕ με όνομα ΛΕΟΝΤΑΡΙΟ). Από κάθε θέση συλλέχθηκε, όπως προείπαμε, ένας μεγάλος όγκος δείγματος και διαμορφώθηκαν από τρία ως και έξι δοκίμια. Επιπροσθέτως κάθε δοκίμιο έχει έναν μοναδικό κωδικό («ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ») που αποτελείται από τον «ΚΩΔΙΚΟ ΘΕΣΗΣ» και ένα κεφαλαίο γράμμα της ελληνικής αλφαβήτου για να ξεχωρίζουν τα δοκίμια, που προέρχονται από την ίδια θέση (π.χ. οι κωδικοί ΛΕΟΝ1Α και ΛΕΟΝ1Β αντιστοιχούν σε δυο διαφορετικά δοκίμια που διαμορφώθηκαν από δείγμα που συλλέχθηκε από τη θέση ΛΕΟΝ1). Στη συνέχεια, στη βάση δεδομένων καταχωρήθηκαν οι ακριβείς συντεταγμένες (X και Y) της θέσης δειγματοληψίας σύμφωνα με το ΕΓΣΑ '87, οι οποίες έχουν ληφθεί με τη χρήση GPS. Πραγματοποιήθηκε η καταγραφή του βάθους προέλευσης των δοκιμίων (εν προκειμένου, όλα είναι επιφανειακά), η κατηγορία και το όνομα του πετρώματος, η γεωτεκτονική ενότητα στην οποία ανήκει η θέση δειγματοληψίας καθώς επίσης το ύψος και η διάμετρος του δοκιμίου. Τέλος καταχωρήθηκαν οι τιμές των φυσικών, δυναμικών, μηχανικών και πετρογραφικών χαρακτηριστικών των πετρωμάτων (Η βάση δεδομένων με όλα τα στοιχεία παρουσιάζεται στο Παράρτημα Γ).

<p>A/A ΕΓΓΡΑΦΩΝ : (AutoNumber)</p> <p>ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΗ X : ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΗ Y :</p> <p>ΑΝ ΔΕ ΒΡΕΙΤΕ ΤΙΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΠΑΤΗΣΤΕ ΕΔΩ</p> <p>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΘΕΣΗΣ</p> <p>ΚΩΔΙΚΟΣ ΘΕΣΗΣ: <input type="text"/></p> <p>ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΗ X <input type="text"/></p> <p>ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΗ Y <input type="text"/></p> <p>ΠΕΡΙΟΧΗ <input type="text"/></p> <p>ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</p> <p>ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ: <input type="text"/></p> <p>ΒΑΘΟΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ (m): <input type="text"/></p> <p>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ: <input type="text"/></p> <p>ΟΝΟΜΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ: <input type="text"/></p> <p>ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ: <input type="text"/></p> <p>ΥΨΟΣ (cm): <input type="text"/> ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (cm): <input type="text"/></p> <p>ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</p> <p>ΕΝΕΡΓΟ ΠΟΡΩΔΕΣ, ne (%): <input type="text"/></p> <p>ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ, em: <input type="text"/></p> <p>ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ, γd (kN/m³): <input type="text"/></p> <p>ΚΟΡΕΣΜΕΝΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ, γsat (kN/m³): <input type="text"/></p> <p>ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ, Wa (%): <input type="text"/></p>	<p>ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</p> <p>ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΕΠΙΜΗΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ, Vp (m/sec): <input type="text"/></p> <p>ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ, Vs (m/sec): <input type="text"/></p> <p>ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ, Ed (GPa): <input type="text"/></p> <p>ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ POISSON, νd: <input type="text"/></p> <p>ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ, Gd (GPa): <input type="text"/></p> <p>ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</p> <p>ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ, SHV: <input type="text"/></p> <p>ΑΝΟΙΓΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ, Is(50): <input type="text"/></p> <p>ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ, σci (MPa): <input type="text"/></p> <p>ΣΤΑΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ, Est (GPa): <input type="text"/></p> <p>ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ POISSON, νst: <input type="text"/></p> <p>ΣΤΑΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ, Gst (GPa): <input type="text"/></p> <p>ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ, σt (MPa): <input type="text"/></p> <p>ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΙΑ</p> <p>ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ, mi: <input type="text"/></p> <p>ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ, φci (o): <input type="text"/></p> <p>ΣΥΝΟΧΗ, cci (kPa): <input type="text"/></p>	<p>ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</p> <p>ΒΑΘΜΟΣ ΣΕΡΠΙΝΤΙΝΙΩΣΗΣ (%): <input type="text"/></p> <p>ΚΥΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟ 1: <input type="text"/></p> <p>ΠΟΣΟΣΤΟ (%): <input type="text"/></p> <p>ΚΥΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟ 2: <input type="text"/></p> <p>ΠΟΣΟΣΤΟ (%): <input type="text"/></p> <p>ΚΥΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟ 3: <input type="text"/></p> <p>ΠΟΣΟΣΤΟ (%): <input type="text"/></p> <p>ΚΥΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟ 4: <input type="text"/></p> <p>ΠΟΣΟΣΤΟ (%): <input type="text"/></p> <p>ΚΥΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟ 5: <input type="text"/></p> <p>ΠΟΣΟΣΤΟ (%): <input type="text"/></p> <p>ΙΣΤΟΣ: <input type="text"/></p> <p>ΥΦΗ: <input type="text"/></p>
---	---	---

Εικόνα 8.2: Η φόρμα εισαγωγής δεδομένων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ-ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

9.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Όπως έχει προαναφερθεί, ένας από τους στόχους της διατριβής αυτής είναι η προσπάθεια διατύπωσης αξιόπιστων συσχετισμών και εμπειρικών σχέσεων που περιγράφουν την αλληλεξάρτηση των διαφόρων χαρακτηριστικών. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να μπορούμε να εκτιμήσουμε την τιμή μιας παραμέτρου από μια άλλη, η οποία μπορεί να μετρηθεί πιο εύκολα ή πιο οικονομικά. Παρέχεται έτσι ένας τρόπος ώστε να υπολογίζονται προσεγγιστικά οι τιμές των διαφόρων ιδιοτήτων του βραχώδους υλικού κατά το σχεδιασμό ενός τεχνικού έργου, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι η μέθοδος αυτή θα πρέπει να υποκαθιστά την εκτέλεση των αντίστοιχων εργαστηριακών δοκιμών.

Στην παρούσα διατριβή πραγματοποιείται ανάλυση παλινδρόμησης (regression analysis), προκειμένου να προσδιοριστεί η συνάρτηση η οποία ορίζει την καλύτερη καμπύλη συσχέτισης. Συγκεκριμένα εφαρμόστηκε απλή ανάλυση παλινδρόμησης, η οποία υπολογίζει τη σχέση μεταξύ δυο μεταβλητών (x-y) και μας παρέχει τη δυνατότητα να προβλέψουμε την τιμή της εξαρτημένης (y) όταν γνωρίζουμε την τιμή της ανεξάρτητης (x). Σε κάθε διάγραμμα παρουσιάζεται ο λιθολογικός τύπος, οι παράμετροι που συσχετίζονται, η εξίσωση συσχέτισης, το πλήθος των τιμών, το διάστημα εμπιστοσύνης 95% και ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 (coefficient of determination). Η τιμή R^2 είναι ένας δείκτης, που εκφράζει το βαθμό συσχέτισης της εξαρτημένης μεταβλητής y με την ανεξάρτητη μεταβλητή x, και παίρνει τιμές από 0 έως και 1. Όσο η τιμή του R^2 πλησιάζει πιο κοντά στη μονάδα, τόσο πιο αξιόπιστο θεωρείται το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε. Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για να συσχετιστούν τα φυσικά, δυναμικά, μηχανικά και πετρογραφικά χαρακτηριστικά είναι το EXCEL Analysis ToolPak Program 2003 και το SPSS 8.0.

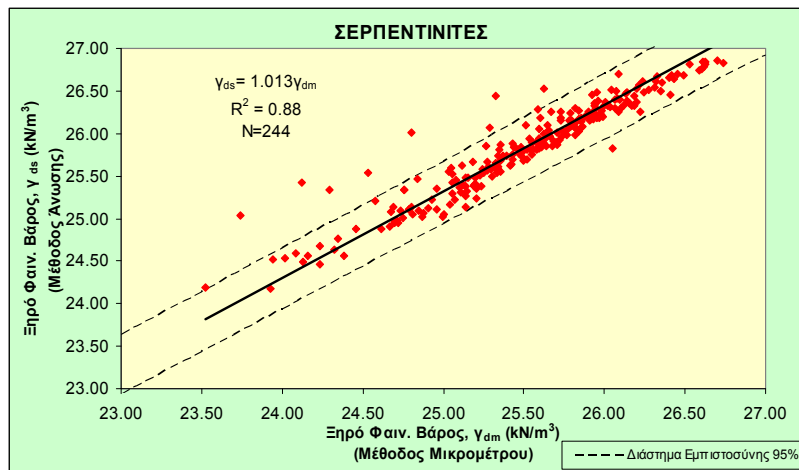
9.2 Συσχετίσεις-Εμπειρικές σχέσεις

Από τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 6 είναι σαφές πως όλα τα φυσικά χαρακτηριστικά τα υπολογίσαμε με δύο μεθόδους, τη μέθοδο της άνωσης και τη

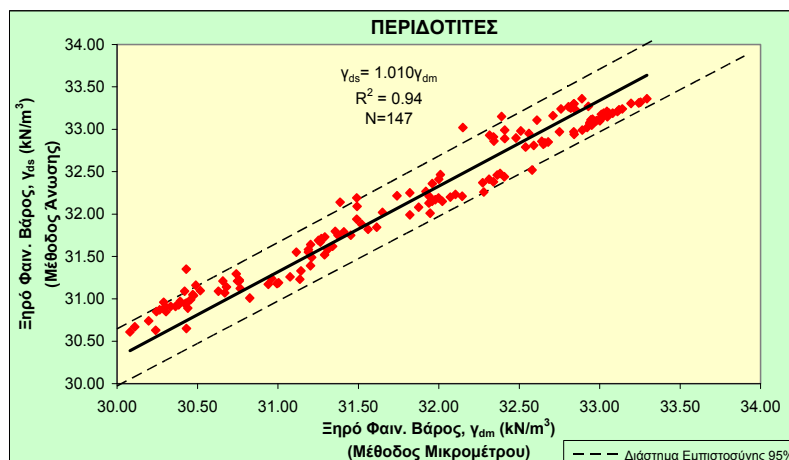
μέθοδο του μικρομέτρου. Η μέθοδος της άνωσης είναι πιο ακριβής (υποκεφάλαιο 5.2.1), αλλά και πιο χρονοβόρα σε σχέση με αυτή του μικρομέτρου. Επομένως είναι πολύ σημαντικό να συσχετίσουμε τις τιμές των φυσικών χαρακτηριστικών που προέρχονται από τη μέθοδο της άνωσης με αυτές από τη μέθοδο του μικρομέτρου. Επίσης, είναι απαραίτητο, στο σημείο αυτό, να αναφερθεί πως στους συσχετισμούς των φυσικών χαρακτηριστικών με τα δυναμικά, τα μηχανικά και τα πετρογραφικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι τιμές που προέκυψαν από τη μέθοδο της άνωσης, αφού αυτές παρουσιάζουν μεγαλύτερη ακρίβεια.

9.2.1 Συσχέτιση των φυσικών χαρακτηριστικών μεταξύ τους

Αρχικά συσχετίζονται το ξηρό φαινόμενο βάρος, το οποίο υπολογίστηκε με τη μέθοδο της άνωσης, με το ξηρό φαινόμενο βάρος που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο του μικρομέτρου (Εικ. 9.1, 9.2) τόσο για τους σερπεντινίτες όσο και για τους περιδοτίτες.



Εικόνα 9.1: Συσχέτιση μεταξύ ξηρού φαινόμενου βάρους προσδιορισμένου με τη μέθοδο της άνωσης και αυτού προσδιορισμένου με τη μέθοδο του μικρομέτρου για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.2: Συσχέτιση μεταξύ ξηρού φαινόμενου βάρους προσδιορισμένου με τη μέθοδο της άνωσης και αυτού προσδιορισμένου με τη μέθοδο του μικρομέτρου για τους περιδοτίτες.

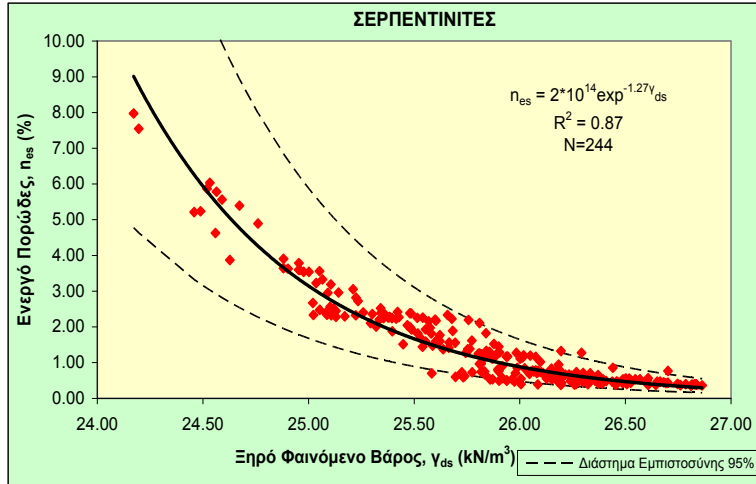
Από τις **Εικόνες 9.1, 9.2**, είναι προφανής η πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ του ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_{ds} , προσδιορισμένου με τη μέθοδο της άνωσης) σε σχέση με αυτό που προσδιορίζεται από τη μέθοδο του μικρομέτρου (γ_{dm}) και πως οι περιδοτίτες παρουσιάζουν υψηλότερο βαθμό συσχέτιση από τους σερπεντινίτες. Αυτό είναι απόλυτα λογικό και αναμενόμενο αφού οι σερπεντινίτες είναι πιο εύθρυπτα πετρώματα από τους περιδοτίτες και άρα κατά τον προσδιορισμό του γ_{dm} , η απώλεια υλικού είναι πιθανόν μεγαλύτερη από ότι στους περιδοτίτες. Επίσης, από τα ανωτέρω διαγράμματα προκύπτει πως το γ_{ds} είναι αυξημένο κατά 1.3% (κατά μέσο όρο) στους σερπεντινίτες και κατά 1.0% στους περιδοτίτες σε σχέση με το γ_{dm} . Παρόμοιες συσχετίσεις αναφέρονται και από τον ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗ (1978), σύμφωνα με τον οποίο, το φαινόμενο βάρος προσδιοριζόμενο με τη μέθοδο του μικρομέτρου υπολείπεται κατά 1-2% αυτού που υπολογίζεται με τη μέθοδο της άνωσης.

Είναι ευρέως γνωστό πως το πορώδες μειώνεται με την αύξηση του φαινόμενου βάρους. Πολλοί ερευνητές (DALLY et al., 1966; RAMANA & VENKATANARAYANA, 1971; GOODMAN, 1989; TUGRUL AND ZARIF, 2000; ΚΟΥΚΙΣ et al., 2001; ΚΟΥΚΗΣ & ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2002; TUGRUL, 2004 κ.ά.) έχουν ασχοληθεί με τη συσχέτιση του πορώδους με το φαινόμενο βάρος-πυκνότητα για διάφορα πετρώματα. Η πλειοψηφία από αυτούς έχουν προτείνει γραμμικές αντιστρόφως ανάλογες εξισώσεις. Από τα στοιχεία που προσδιορίσαμε στη διδακτορική αυτή διατριβή προκύπτει ότι η σχέση μεταξύ του ενεργού πορώδους και του ξηρού φαινόμενου βάρους αποδίδεται καλύτερα από γραμμικές και εκθετικές εξισώσεις (**Πίν. 9.1**). Στους σερπεντινίτες, η εκθετική εξίσωση φαίνεται να εκφράζει καλύτερα ($R^2=0.87$) τη συσχέτιση των δυο χαρακτηριστικών από ότι η γραμμική εξίσωση ($R^2=0.81$), ενώ στους περιδοτίτες η γραμμική εξίσωση παρουσιάζει μεγαλύτερη συσχέτιση ($R^2=0.93$) από ότι η εκθετική ($R^2=0.90$). Ο ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ (1978) πρότεινε για τις δυο προαναφερόμενες φυσικές ιδιότητες τη σχέση $n=-32.5g_d + 87$ (για $g_d < 2.6 \text{ gr/cm}^3$), όπου g_d η ξηρή πυκνότητα (gr/cm^3).

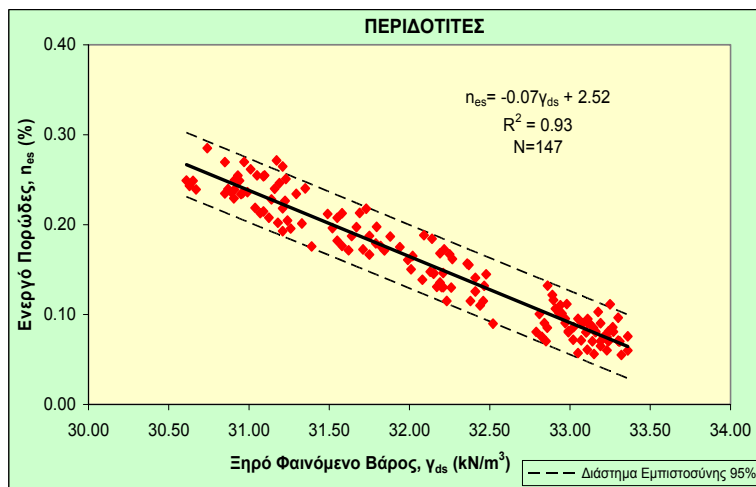
Πίνακας 9.1: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) μεταξύ ξηρού φαινόμενου βάρους και ενεργού πορώδους.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις Παλινδρόμησης	R^2
Σερπεντινίτες	Ενεργό Πορώδες και Ξηρό Φαινόμενο Βάρος	$n_{es}=2*10^{14} \exp^{-1.27\gamma_{ds}}$	0.87
		$n_{es}=-2.09\gamma_{ds} + 55.47$	0.81
$n_{es}=-0.07\gamma_{ds} + 2.52$		0.93	
$n_{es}=2*10^6 \exp^{-0.51\gamma_{ds}}$		0.90	
Περιδοτίτες			

Στις **Εικόνες 9.3, 9.4** παρουσιάζονται οι γραμμές συσχέτισης με τους υψηλότερους συντελεστές και τα διαστήματα εμπιστοσύνης (95%) για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες αντιστοίχως. Οι εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης τόσο για τους σερπεντινίτες, όσο και για τους περιδοτίτες περιγράφονται αναλυτικά στον **Πίνακα 9.2**.



Εικόνα 9.3: Συσχέτιση μεταξύ ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_{ds}) και ενεργού πορώδους (n_{es}) για τους σερπεντινίτες.

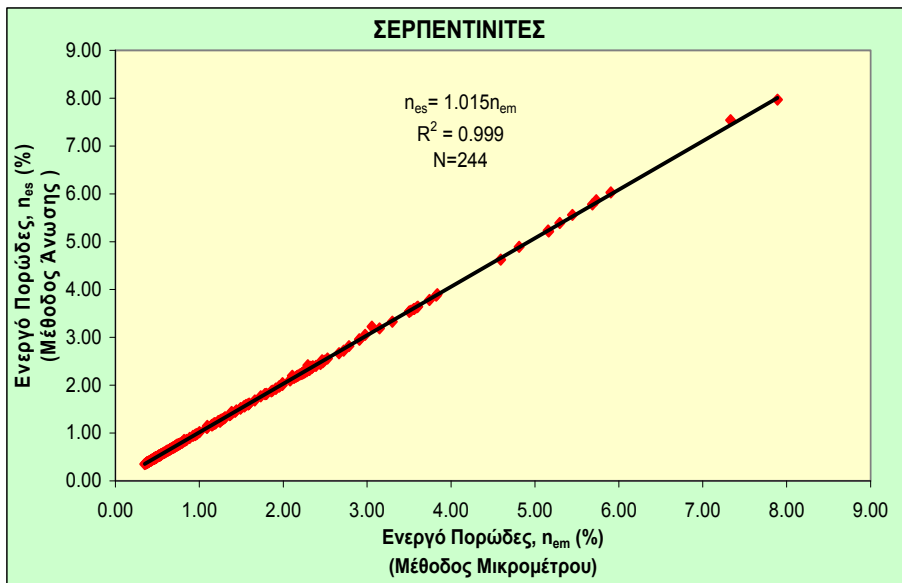


Εικόνα 9.4: Συσχέτιση μεταξύ ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_{ds}) και ενεργού πορώδους (n_{es}) για τους περιδοτίτες.

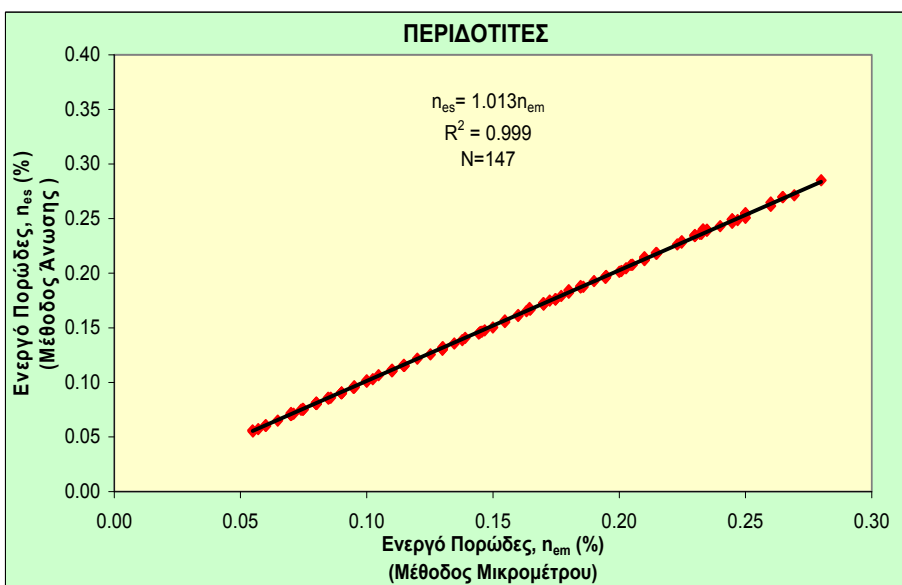
Πίνακας 9.2: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ ξηρού φαινόμενου βάρους και ενεργού πορώδους.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Ενεργό Πορώδες και Ξηρό Φαινόμενο	$n_{es} = 4 \cdot 10^{14} \exp^{-1.27 \gamma_{ds}}$	+95%
		$n_{es} = 1 \cdot 10^{14} \exp^{-1.27 \gamma_{ds}}$	-95%
Περιδοτίτες	Βάρος	$n_{es} = -0.07 \gamma_{ds} + 2.55$	+95%
		$n_{es} = -0.07 \gamma_{ds} + 2.48$	-95%

Σημαντικές επίσης είναι οι σχέσεις που προσδιορίστηκαν ανάμεσα στο ενεργό πορώδες n_{em} (μέθοδος μικρομέτρου) και σε αυτό που προσδιορίζεται με τη μέθοδο της άνωσης (n_{es}), γιατί ενώ από τη μια πλευρά το n_{es} παρουσιάζει μεγαλύτερη ακρίβεια, από την άλλη πλευρά όμως είναι δυσκολότερος ο προσδιορισμός του συγκρινόμενος πάντα με το n_{em} (Εικ. 9.5, 9.6). Οι συντελεστές προσδιορισμού είναι παρά πολύ υψηλοί (κοντά στη μονάδα). Αυτό σημαίνει πως μπορούμε με μεγάλη ακρίβεια να υπολογίζουμε το n_{es} , αν γνωρίζουμε το n_{em} . Επιπλέον είναι εμφανές πως το n_{es} είναι αυξημένο κατά 1.3% στους περιδοτίτες και κατά 1.5% στους σερπεντινίτες συσχετιζόμενο με το n_{em} .



Εικόνα 9.5: Συσχέτιση μεταξύ ενεργού πορώδους προσδιορισμένου με τη μέθοδο της άνωσης και αυτού προσδιορισμένου με τη μέθοδο του μικρομέτρου στους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.6: Συσχέτιση μεταξύ ενεργού πορώδους προσδιορισμένου με τη μέθοδο της άνωσης και αυτού προσδιορισμένου με τη μέθοδο του μικρομέτρου στους περιδοτίτες.

9.2.2 Συσχέτιση των δυναμικών χαρακτηριστικών μεταξύ τους, αλλά και με τα φυσικά χαρακτηριστικά

Πολλοί ερευνητές (D'ANDREA et al., 1965; YOUASH, 1970; SAITO et al., 1974; LAMA AND VUTUKURI, 1978; GAVIGLIO, 1989 κ.ά.) έχουν μελετήσει τη σχέση μεταξύ των ταχυτήτων των επιμηκών και των εγκάρσιων κυμάτων με τις φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων και έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα πως παρουσιάζουν υψηλούς βαθμούς συσχέτισης. Σύμφωνα με τον IRFAN & DEARMAN (1978) στους γρανίτες, οι ταχύτητες των κυμάτων μειώνονται λογαριθμικά με την αύξηση του πορώδους και αυξάνονται εκθετικά με την αύξηση του ξηρού φαινομένου βάρους. Οι KOUKIS et al. (1998) εξετάζοντας ασβεστόλιθους από ολόκληρη την Ελλάδα πρότειναν επίσης μια εκθετική συσχέτιση ανάμεσα στις ταχύτητες των κυμάτων και το ξηρό φαινόμενο βάρος. Οι ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ κ.ά. (2002), με τη σειρά τους, μελετώντας διάφορα δείγματα πετρωμάτων από ολόκληρη την Ελλάδα, παρατήρησαν μια εκθετική συσχέτιση μεταξύ του πορώδους και των ταχυτήτων των κυμάτων. Όσον αφορά τα υπερβασικά πετρώματα, σύμφωνα με τους CHRISTENSEN (1966a, 2004) και ESCARTIN et al. (2001), οι ταχύτητες των κυμάτων μειώνονται με τη μείωση της πυκνότητας-του φαινομένου βάρους. Χρησιμοποιώντας στοιχεία από τους BIRCH (1960), SIMMONS (1964), CHRISTENSEN (1966a, 1972, 1978, 1979) και αδημοσίευτα στοιχεία από το «Cypress Island» και την Ουάσιγκτον, ο CHRISTENSEN (2004) προτείνει τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$V_p=0.00363\rho-4.10 (R^2=0.94)$$

$$V_s=0.00254\rho-3.95 (R^2=0.90), \text{ όπου}$$

ρ : η πυκνότητα (kg/m^3).

Επιπλέον, είναι ευρέως γνωστό πως οι ταχύτητες των επιμηκών κυμάτων παρουσιάζουν πολύ καλή συσχέτιση με τις ταχύτητες των εγκάρσιων κυμάτων. Οι COURTIER et al. (2004) εξετάζοντας 14 έντονα σερπεντινωμένα υπερβασικά δείγματα, που είχαν ληφθεί από το «south Chamorro seamount» στην περιοχή Mariana Trench και κάτω από πίεση 200MPa, κατέληξαν στην παρακάτω εξίσωση:

$$V_p=0.757V_s+3.5375 (R^2=0.81), \text{ όπου}$$

V_p, V_s : μετρημένες σε Km/sec.

Οι SABATAKAKIS et al. (1993), MARINOS et al. (1994) και ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ κ.ά. (2002), χρησιμοποιώντας αποτελέσματα δοκιμών από διάφορα πετρώματα της

Ελλάδας, πρότειναν σχέσεις μεταξύ V_p και V_s της μορφής: $y=ax$ αντί $y=ax+b$. Ο CHRISTENSEN (2004) χρησιμοποίησε συνάρτηση της μορφής $y=ax$ για να περιγράψει τη σχέση μεταξύ των ταχυτήτων των επιμηκών κυμάτων. Επίσης διαπίστωσε πως ο λόγος V_p/V_s αυξάνει (από 1.78 έως 2.21) με την αύξηση του πορώδους και τη μείωση του φαινόμενου βάρους (Κεφάλαιο 5).

Όπως φαίνεται στον **Πίνακα 9.3** και στις **Εικόνες 9.7, 9.8**, η σχέση μεταξύ των ταχυτήτων V_p και V_s , στα υπό μελέτη πετρώματα, αποδίδεται καλύτερα από ευθείες γραμμές.

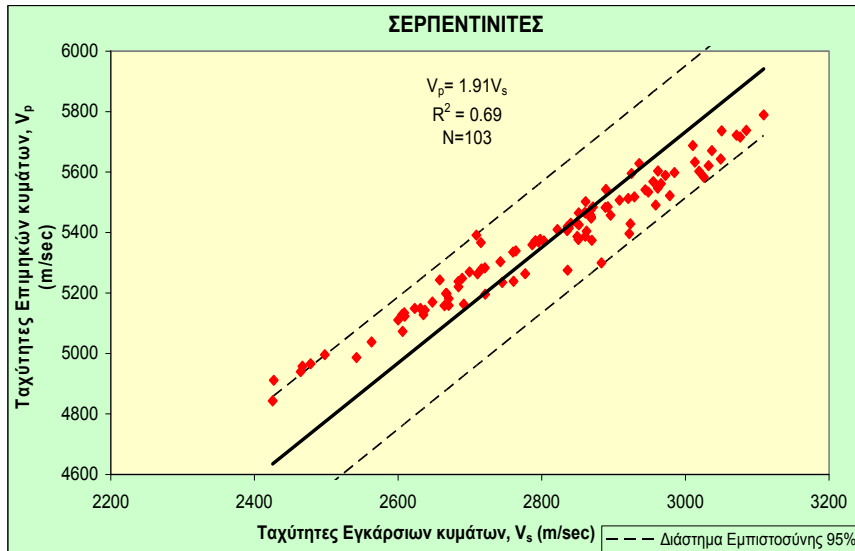
Πίνακας 9.3: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) μεταξύ των ταχυτήτων των επιμηκών και των εγκάρσιων κυμάτων.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις Παλινδρόμησης	R^2
Σερπεντινίτες	Ταχύτητες V_p και Ταχύτητες V_s	$V_p=1.26V_s + 1845$	0.95
		$V_p=1.91V_s$	0.69
$V_p=1.32V_s + 2006$		0.97	
$V_p=1.78V_s$		0.85	
Περιδοτίτες			

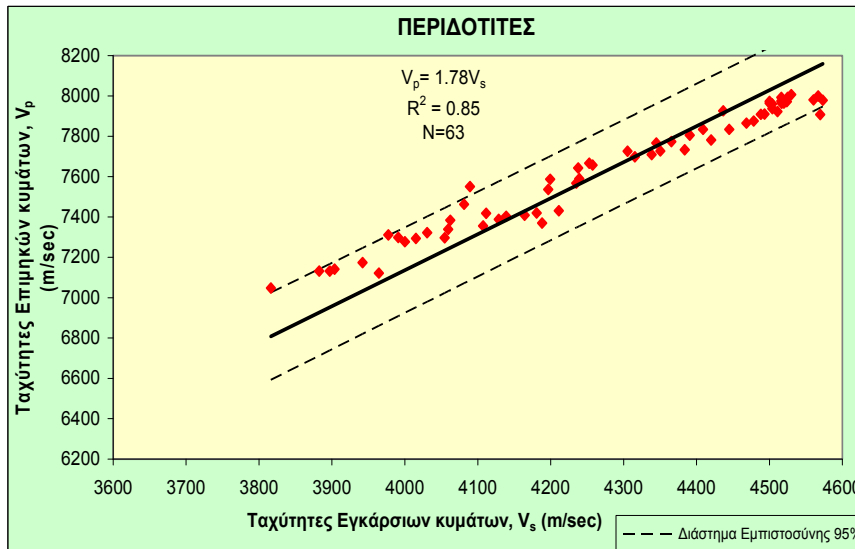
Αν και η εξίσωση της μορφής $y=ax+b$ παρουσιάζει καλύτερη συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων στους υπό μελέτη σερπεντινίτες ($R^2=0.95$) και περιδοτίτες ($R^2=0.97$) από ότι η εξίσωση $y=ax$ που έχει αντίστοιχα $R^2=0.69$ και $R^2=0.85$, πιστεύουμε ότι ο τύπος $y=ax$ περιγράφει με ρεαλιστικότερο τρόπο τη φυσική σημασία της σχέσης των ταχυτήτων και επομένως τον προτείνουμε. Η παραπάνω άποψη συμφωνεί απόλυτα με τις προτάσεις των SABATAKAKIS et al. (1993), MARINOS et al. (1994) και ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ κ.ά. (2002) και CHRISTENSEN (2004) που προαναφέραμε.

Επιπλέον, με βάση τον **Πίνακα 9.3** είναι προφανές πως οι περιδοτίτες παρουσιάζουν υψηλότερου βαθμού συσχέτιση μεταξύ των V_p και V_s σε σχέση με τους σερπεντινίτες. Αυτό είναι απόλυτα κατανοητό και αναμενόμενο αφού όσο πιο συμπαγές και πυκνό είναι ένα πέτρωμα (όπως οι περιδοτίτες), τόσο πιο εύκολα ξεχωρίζουμε τους χρόνους άφιξης των επιμηκών (T_p) και των εγκάρσιων (T_s) κυμάτων και επομένως τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια έχουμε στις μετρήσεις των V_p και V_s .

Στις **Εικόνες 9.7, 9.8** παρουσιάζονται οι γραμμές συσχέτισης της μορφής $y=ax$ και τα διαστήματα εμπιστοσύνης τους (95%) για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες αντιστοίχως. Οι εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης τόσο για τους σερπεντινίτες, όσο και για τους περιδοτίτες περιγράφονται αναλυτικά στον **Πίνακα 9.4**.



Εικόνα 9.7: Συσχέτιση μεταξύ ταχυτήτων επιμηκών κυμάτων και εγκάρσιων κυμάτων για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.8: Συσχέτιση μεταξύ ταχυτήτων επιμηκών κυμάτων και εγκάρσιων κυμάτων για τους περιδοτίτες.

Επιπρόσθετα, όπως φαίνεται στις **Εικόνες 9.9, 9.10** υπάρχει υψηλός βαθμός θετικής γραμμικής συσχέτισης μεταξύ του ξηρού φαινομένου βάρους (γ_{ds}) και των ταχυτήτων των κυμάτων (V_p , V_s) για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες.

Για τους σερπεντινίτες ισχύει:

$$V_p = 362.02\gamma_{ds} - 4024.5 \quad (9.1)$$

$$V_s = 281.37\gamma_{ds} - 4493.6 \quad (9.2)$$

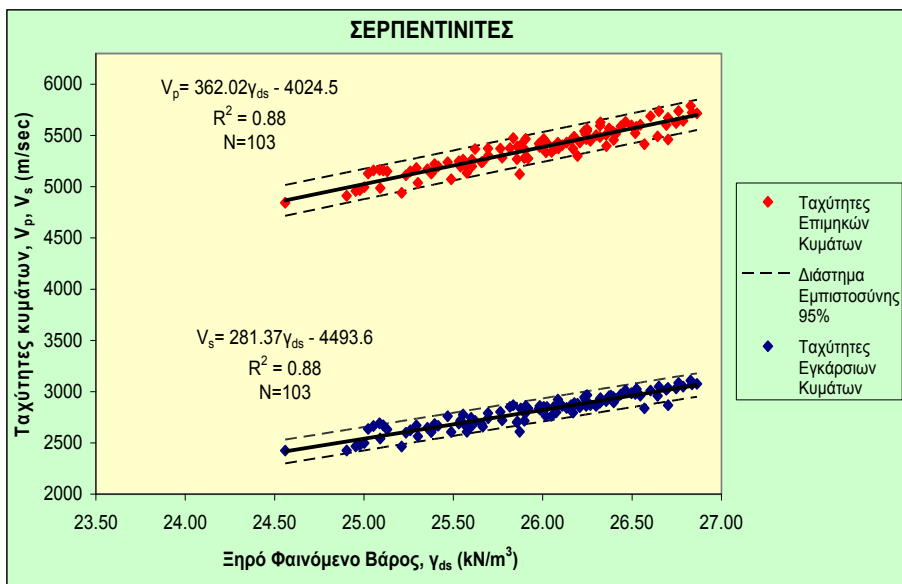
και για τους περιδοτίτες:

$$V_p = 319.87\gamma_{ds} - 2695 \quad (9.3)$$

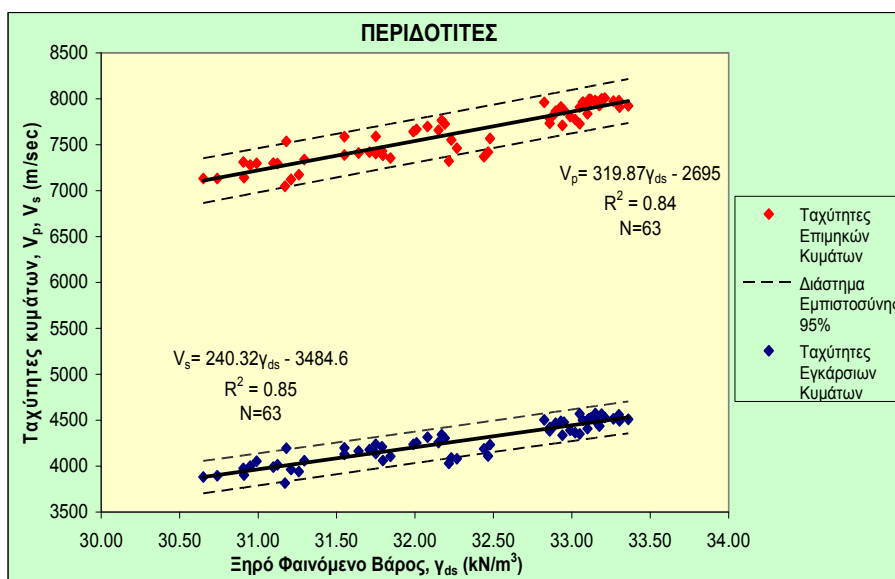
$$V_s = 240.32\gamma_{ds} - 3484.6 \quad (9.4)$$

Πίνακας 9.4: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ των ταχυτήτων των επιμηκών και των εγκάρσιων κυμάτων.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Ταχύτητες V_p και Ταχύτητες V_s	$V_p=1.91V_s + 223.79$	+95%
		$V_p=1.91V_s - 223.79$	-95%
$V_p=1.78V_s + 220.57$		+95%	
$V_p=1.78V_s - 220.57$		-95%	



Εικόνα 9.9: Συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων των κυμάτων και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.10: Συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων των κυμάτων και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους περιδοτίτες.

Από τα διαγράμματα των **Εικόνων 9.9, 9.10** είναι εμφανές, πως οι σερπεντινίτες παρουσιάζουν υψηλότερους συντελεστές συσχέτισης από ότι οι περιδοτίτες. Αυτό πιθανώς οφείλεται στο γεγονός πως οι περιδοτίτες παρουσιάζουν μικρή σερπεντινίωση, η οποία αν δεν είναι καλά κατανομημένη, προκαλεί στα δείγματα ανισοτροπία και ανομοιογένεια. Από την άλλη πλευρά οι σερπεντινίτες εμφανίζουν μεγάλη σερπεντινίωση, η οποία κατανέμεται παντού και έτσι συμπεριφέρονται ως ισότροπα και ομοιογενή πετρώματα (O'HANLEY, 1996; HOREN et al., 1996; CHRISTENSEN, 2004; WATANABE et al., 2007; SCHMITT et al., 2007).

Οι εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης τόσο για τους σερπεντινίτες, όσο και για τους περιδοτίτες περιγράφονται αναλυτικά στον **Πίνακα 9.5**.

Πίνακας 9.5: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ των ταχυτήτων των κυμάτων και του ξηρού φαινόμενου βάρους.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Ταχύτητες Κυμάτων και Ξηρό Φαινόμενο Βάρος	$V_p=362\gamma_{ds} - 3867.7$	+95%
		$V_p=362\gamma_{ds} - 4181.3$	-95%
		$V_s=281\gamma_{ds} - 4372.5$	+95%
		$V_s=281\gamma_{ds} - 4614.7$	-95%
Περιδοτίτες		$V_p=320\gamma_{ds} - 2427.6$	+95%
		$V_p=320\gamma_{ds} - 2962.4$	-95%
		$V_s=240\gamma_{ds} - 3290.6$	+95%
		$V_s=240\gamma_{ds} - 3678.6$	-95%

Επιπροσθέτως, μελετήθηκε η σχέση μεταξύ των ταχυτήτων των κυμάτων (V_p , V_s) και του ενεργού πορώδους (n_{es}) και παρατηρήθηκαν υψηλού βαθμού αρνητικές συσχετίσεις (**Εικ. 9.11, 9.12**). Οι συναρτήσεις, οι οποίες αποδίδουν καλύτερα τη σχέση μεταξύ των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών είναι ευθείες:

Για τους σερπεντινίτες έχουμε:

$$V_p = -192.05n_{es} + 5609.2 \quad (9.5)$$

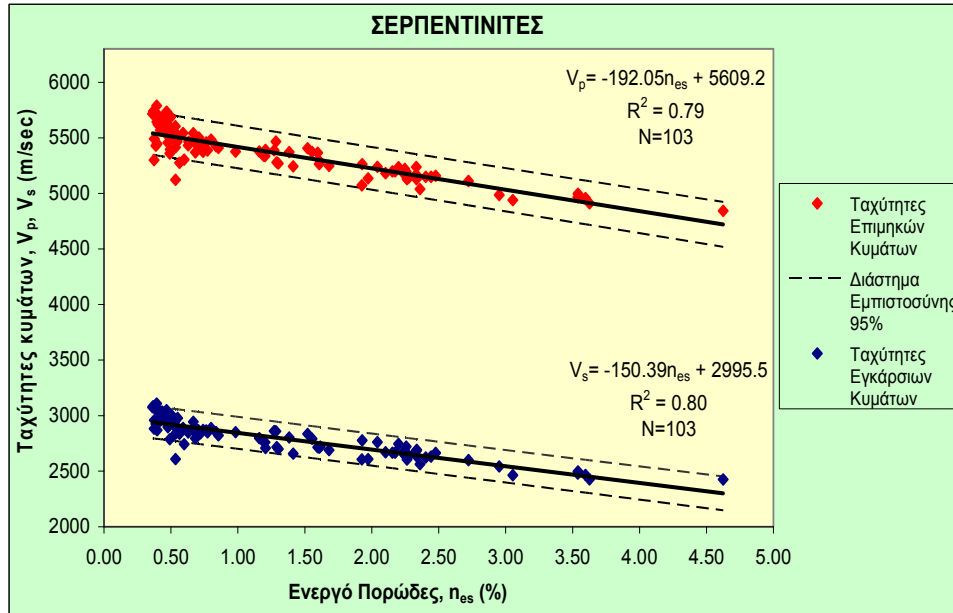
$$V_s = -150.39n_{es} + 2995.5 \quad (9.6)$$

Για τους περιδοτίτες ισχύει:

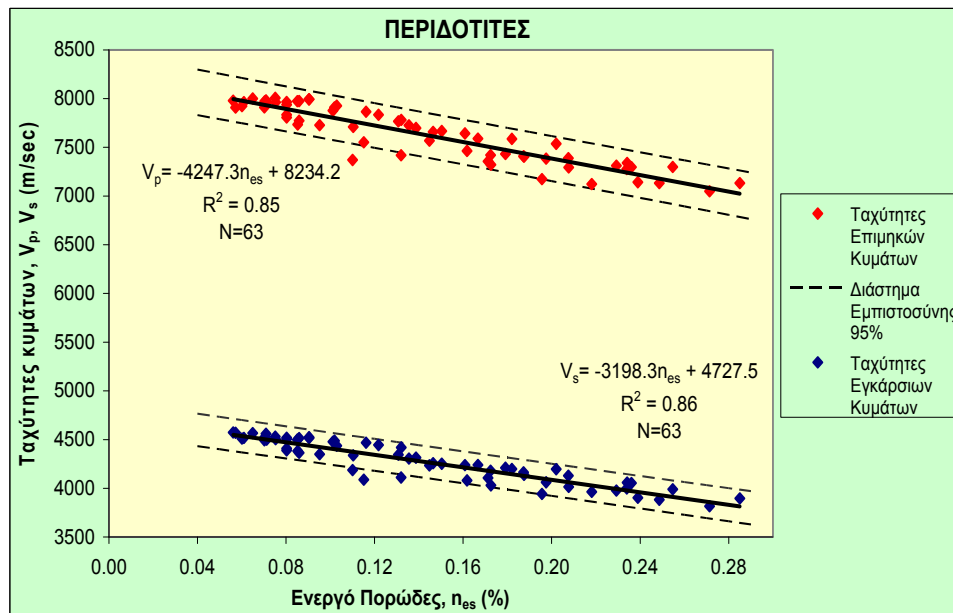
$$V_p = -4247.3n_{es} + 8234.2 \quad (9.7)$$

$$V_s = -3198.3n_{es} + 4727.5 \quad (9.8)$$

Όπως φαίνεται στις **Εικόνες 9.11, 9.12**, οι περιδοτίτες έχουν υψηλότερους συντελεστές συσχέτισης από τους σερπεντινίτες. Αυτό οφείλεται στο ότι οι περιδοτίτες παρουσιάζουν μικρή διακύμανση τιμών ενεργού πορώδους (από 0.06 έως 0.29%), ενώ οι σερπεντινίτες μεγάλη (0.35 έως 7.97%).



Εικόνα 9.11: Συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων των κυμάτων και του ενεργού πορώδους για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.12: Συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων των κυμάτων και του ενεργού πορώδους για τους περιδοτίτες.

Οι εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης τόσο για τους σερπεντινίτες, όσο και για τους περιδοτίτες περιγράφονται αναλυτικά στον **Πίνακα 9.6**.

Πίνακας 9.6: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ των ταχυτήτων των κυμάτων και του ενεργού πορώδους.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Ταχύτητες Κυμάτων και Ενεργό Πορώδες	$V_p = -192n_{es} + 5800$	+95%
		$V_p = -192n_{es} + 5418.5$	-95%
		$V_s = -150n_{es} + 3139.1$	+95%
		$V_s = -150n_{es} + 2852$	-95%
Περιδοτίτες		$V_p = -4247n_{es} + 8462.6$	+95%
		$V_p = -4247n_{es} + 8005.8$	-95%
		$V_s = -3198n_{es} + 4890.6$	+95%
		$V_s = -3198n_{es} + 4564.4$	-95%

9.2.3 Συσχέτιση των μηχανικών χαρακτηριστικών με τα φυσικά χαρακτηριστικά

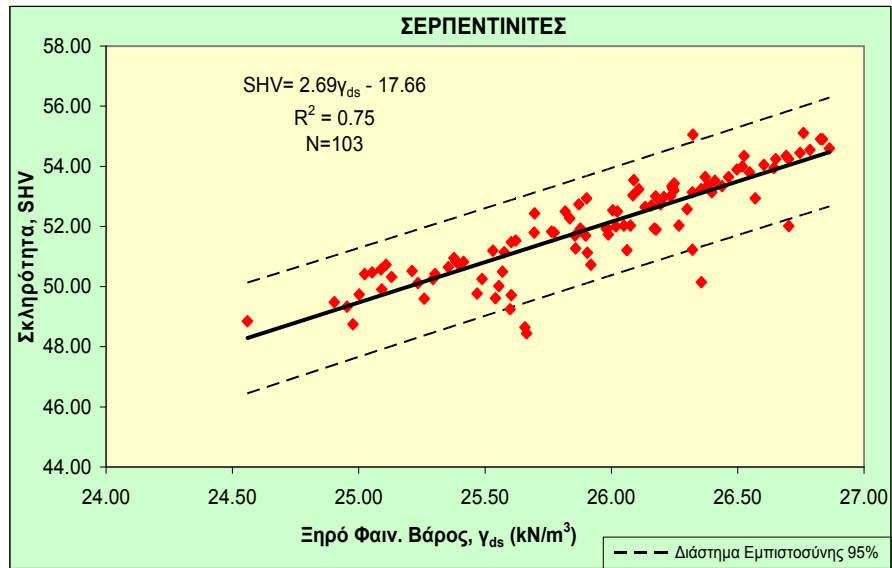
Όπως είναι ευρέως γνωστό, η αντοχή και η σκληρότητα των πετρωμάτων αυξάνουν με την αύξηση του φαινόμενου βάρους και μειώνονται με την αύξηση του πορώδους. Οι ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ κ.ά. (2002), για διάφορους λιθολογικούς τύπους πρότειναν τη σχέση $SHV=3.7\gamma_d-52$. Παρόμοιες γραμμικές συσχετίσεις έδωσαν πάρα πολλοί επιστήμονες, για διάφορους τύπους πετρωμάτων. Στις **Εικόνες 9.13, 9.14** παρουσιάζονται οι συσχετίσεις μεταξύ της σκληρότητας (SHV) και του ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_{ds}). Από τα διαγράμματα αυτά είναι κατανοητό πως η σκληρότητα των υπό μελέτη πετρωμάτων αυξάνει γραμμικά με την αύξηση του γ_{ds} και πως η σχέση τους παρουσιάζει αρκετά ως πολύ καλή συσχέτιση. Οι εξισώσεις που εκφράζουν τη συσχέτιση των δύο αυτών παραμέτρων είναι οι ακόλουθες:

$$SHV=2.69\gamma_{ds}-17.66 (R^2=0.75) \text{ (Σερπεντινίτες)} \quad (9.9)$$

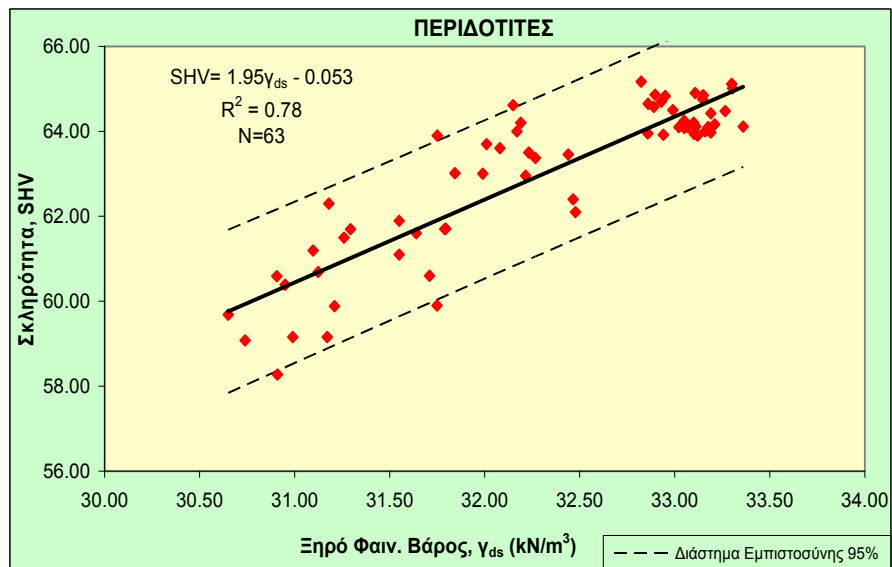
$$SHV=1.95\gamma_{ds}-0.053 (R^2=0.78) \text{ (Περιδοτίτες)} \quad (9.10)$$

Εκτός των άλλων στις **Εικόνες 9.13, 9.14** εμφανίζονται και οι γραμμές εμπιστοσύνης 95%, των οποίων οι εξισώσεις παρατίθενται αναλυτικά στον **Πίνακα 9.7**.

Παρόμοιου βαθμού συναρτήσεις προέκυψαν από τη συσχέτιση της σκληρότητας (SHV) με το ενεργό πορώδες (n_{es}). Λογαριθμικές ($R^2=0.77$) και υπερβολικές ($R^2=0.76$) είναι οι γραμμές που περιγράφουν καλύτερα τις σχέσεις ανάμεσα στις δυο αυτές ιδιότητες στους σερπεντινίτες (**Πίνακας 9.8**), ενώ στους περιδοτίτες οι εξισώσεις που παρουσιάζουν τους μεγαλύτερους συντελεστές προσδιορισμού είναι γραμμικού ($R^2=0.80$) και εκθετικού τύπου ($R^2=0.79$) (**Πίνακας 9.8**). Οι διαφοροποιήσεις αυτές οφείλονται στη διαφορετική ορυκτολογική σύσταση των εν λόγω πετρωμάτων.



Εικόνα 9.13: Συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας και του ξηρού φαινομένου βάρους για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.14: Συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας και του ξηρού φαινομένου βάρους για τους περιδοτίτες.

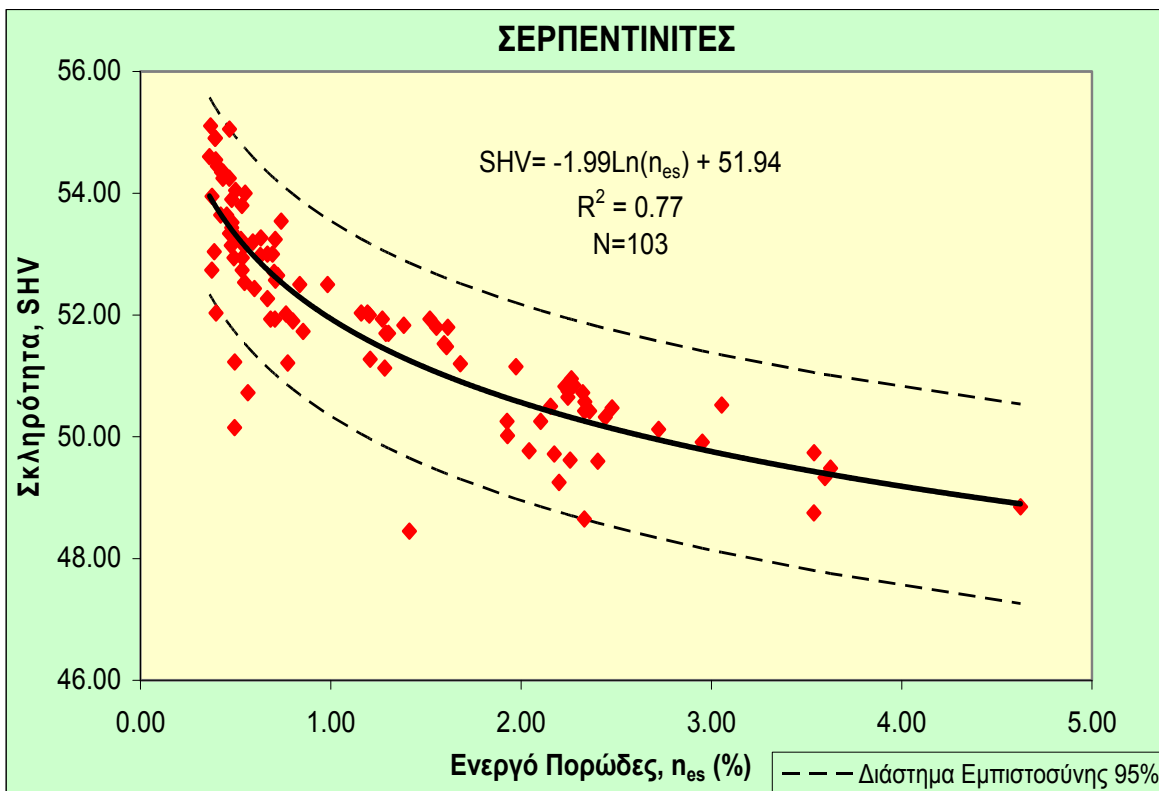
Πίνακας 9.7: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της σκληρότητας και του ξηρού φαινομένου βάρους.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Σκληρότητα και Ξηρό Φαινόμενο Βάρος	SHV=2.69 γ_{ds} - 15.91	+95%
		SHV=2.69 γ_{ds} - 19.43	-95%
SHV=1.95 γ_{ds} + 2.06		+95%	
SHV=1.95 γ_{ds} - 2.16		-95%	

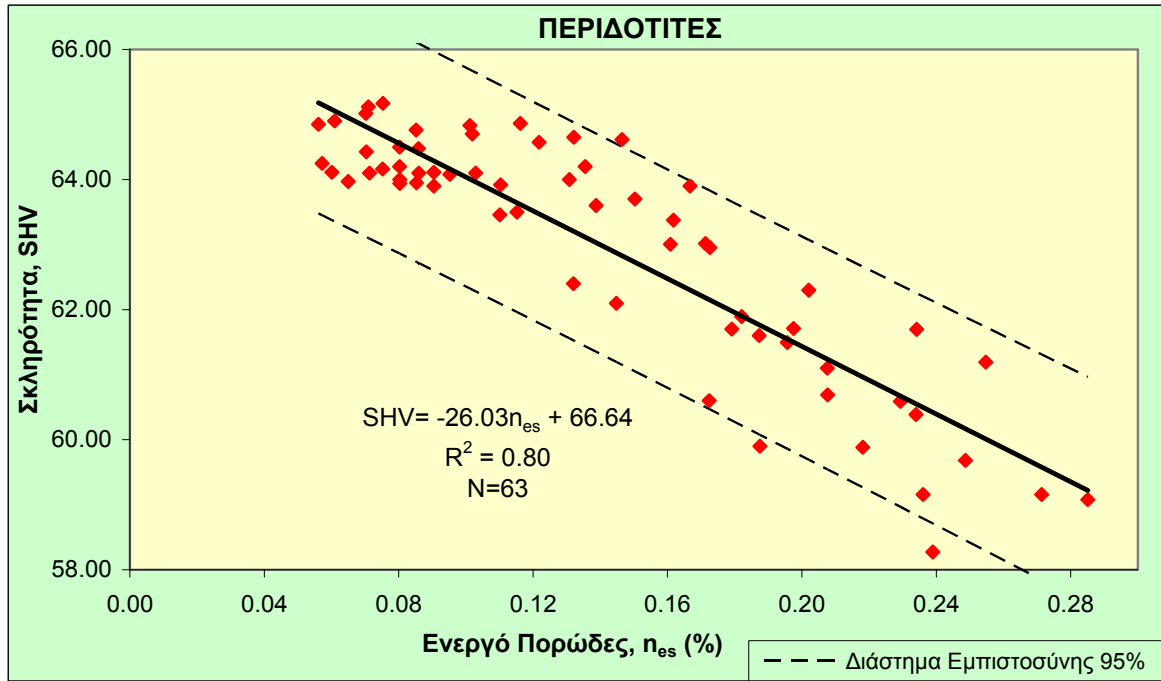
Πίνακας 9.8: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) μεταξύ της σκληρότητας και του ενεργού πορώδους.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις Παλινδρόμησης	R^2
Σερπεντινίτες	Ενεργό Πορώδες και Σκληρότητα	$SHV = -1.99 \ln(n_{es}) + 51.94$	0.77
		$SHV = 51.91 n_{es}^{-0.038}$	0.76
$SHV = -26.03 n_{es} + 66.64$		0.80	
$SHV = 66.77 \exp^{-0.42 n_{es}}$		0.79	
Περιδοτίτες			

Στις **Εικόνες 9.15, 9.16** προβάλλονται οι γραμμές συσχέτισης με τους υψηλότερους συντελεστές και τα διαστήματα εμπιστοσύνης (95%) για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες αντιστοίχως. Από τα διαγράμματα αυτά και τον **Πίνακα 9.8** είναι προφανές πως οι περιδοτίτες παρουσιάζουν υψηλότερους συντελεστές συσχέτισης από αυτούς που εμφανίζουν οι σερπεντινίτες κάτι που είναι αναμενόμενο αφού στους περιδοτίτες το ενεργό πορώδες παρουσιάζει μικρότερη διακύμανση και τυπική απόκλιση, από ότι στους σερπεντινίτες. Τέλος, οι εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης, των προαναφερθέντων ιδιοτήτων, τόσο για τους σερπεντινίτες, όσο και για τους περιδοτίτες περιγράφονται αναλυτικά στον **Πίνακα 9.9**.



Εικόνα 9.15: Συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας και του ενεργού πορώδους για τους σερπεντινίτες.

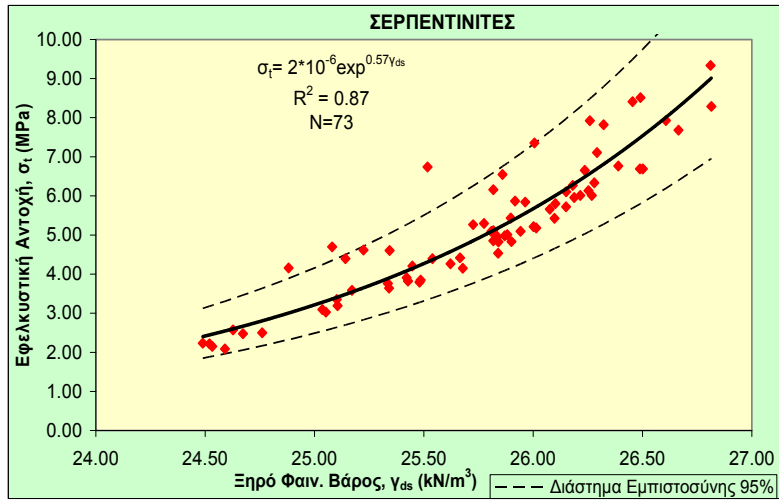


Εικόνα 9.16: Συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας και του ενεργού πορώδους για τους περιδοτίτες.

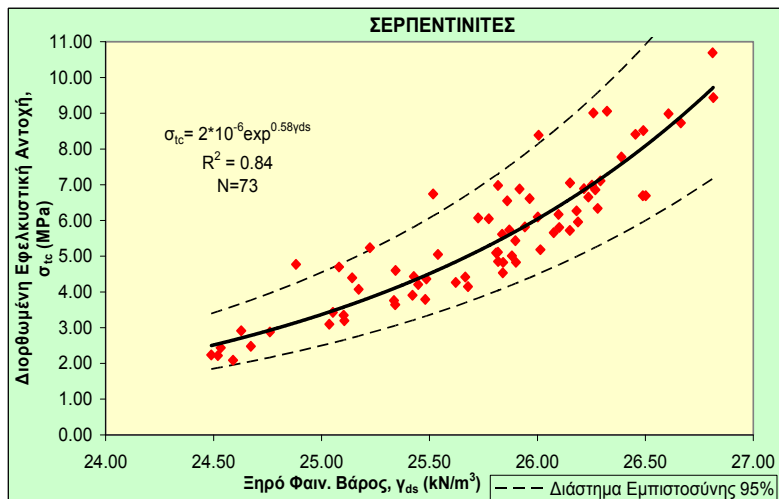
Πίνακας 9.9: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της σκληρότητας και του ενεργού πορώδους.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Σκληρότητα και Ενεργό Πορώδες	$SHV = -1.99 \ln(n_{es}) + 53.55$	+95%
		$SHV = -1.99 \ln(n_{es}) + 50.33$	-95%
$SHV = -26.03 n_{es} + 68.32$		+95%	
$SHV = -26.03 n_{es} + 64.96$		-95%	

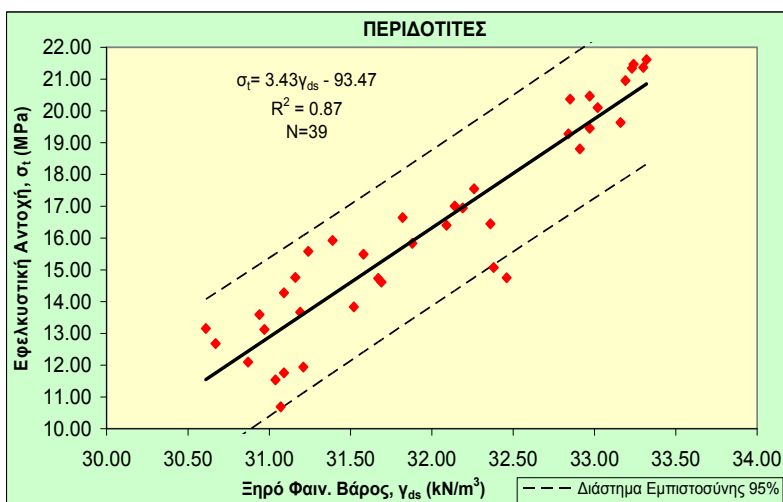
Είναι επίσης αξιοσημείωτο να παρουσιαστούν οι συσχετίσεις που προσδιορίστηκαν ανάμεσα στις φυσικές παραμέτρους (ξηρό φαινόμενο βάρος και ενεργό πορώδες) και την εφελκυστική καθώς και τη διορθωμένη εφελκυστική αντοχή. Η εκθετική συνάρτηση φαίνεται να εκφράζει καλύτερα τη συσχέτιση μεταξύ της εφελκυστικής αντοχής (σ_t) και του ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_{ds}) στους σερπεντινίτες, ενώ στους περιδοτίτες η γραμμική συνάρτηση παρουσιάζει τη μέγιστη συσχέτιση (Εικόνες 9.17, 9.18, 9.19, 9.20). Από τα ίδια διαγράμματα παρατηρούμε πως η σ_t εμφανίζει μεγαλύτερη συσχέτιση με το γ_{ds} από ότι παρουσιάζει η διορθωμένη εφελκυστική αντοχή (σ_{tc}) και στους δυο λιθότυπους. Οι TUĞRUL & ZARIF (1999) καθώς και άλλοι επιστήμονες πρότειναν γραμμικές συσχετίσεις μεταξύ της εφελκυστικής αντοχής και των φυσικών ιδιοτήτων για διάφορα πετρώματα.



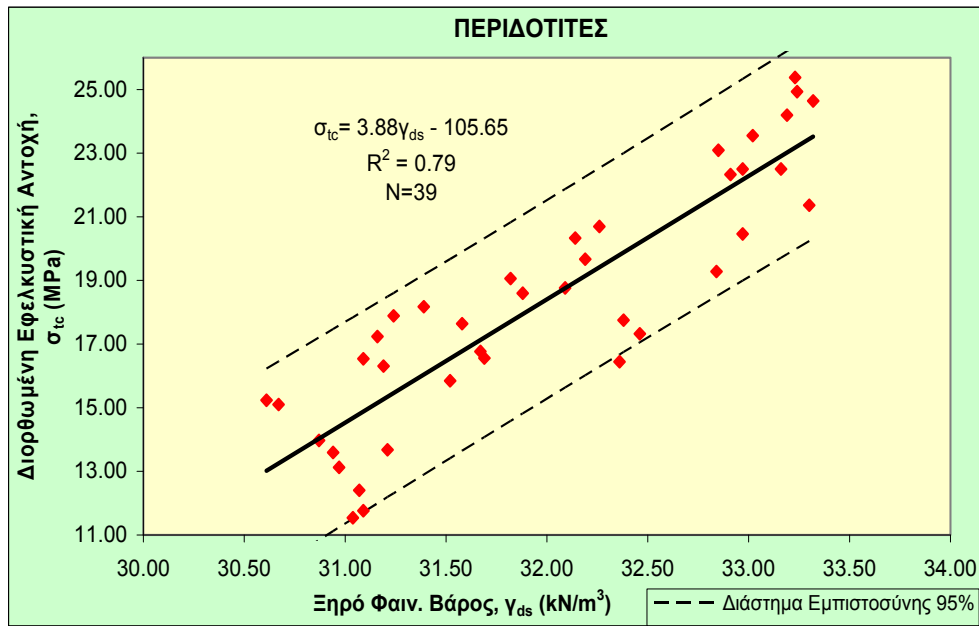
Εικόνα 9.17: Συσχέτιση μεταξύ της εφελκυστικής αντοχής και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.18: Συσχέτιση μεταξύ της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους σερπεντινίτες.

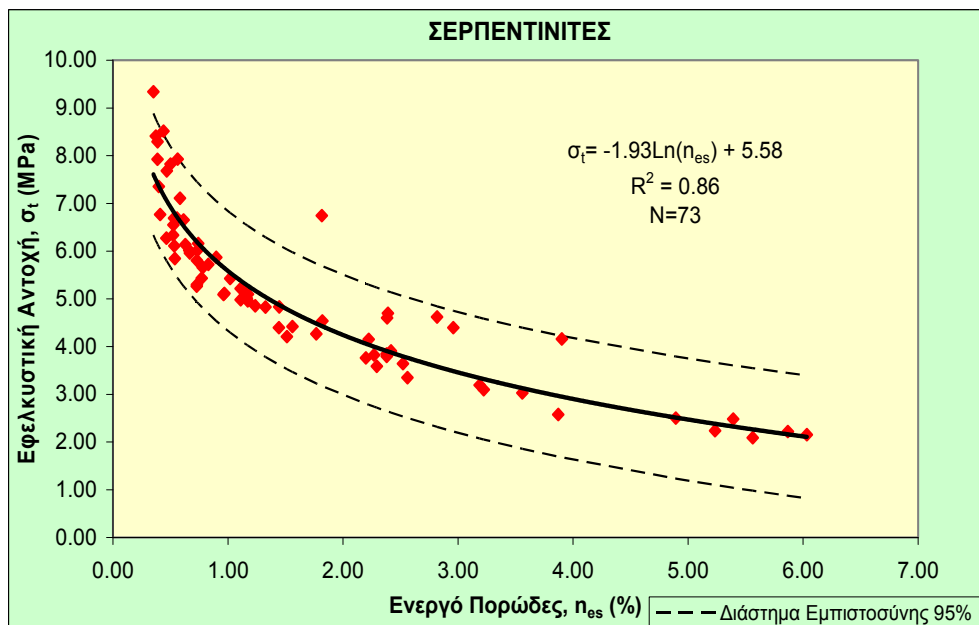


Εικόνα 9.19: Συσχέτιση μεταξύ της εφελκυστικής αντοχής και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους περιδοτίτες.

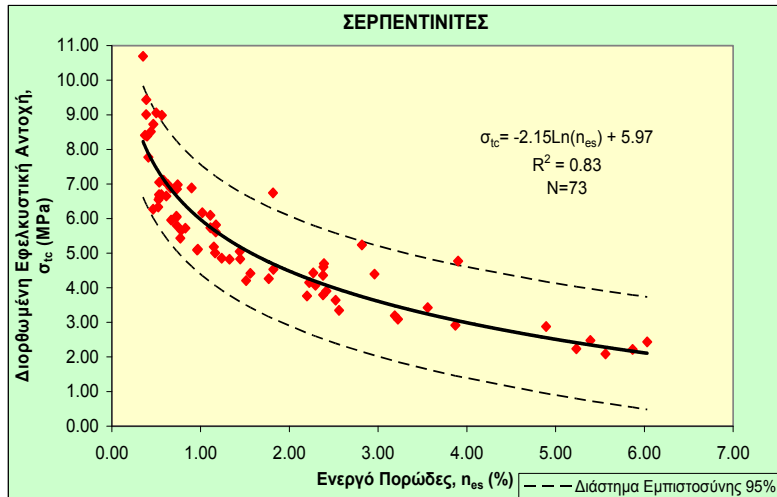


Εικόνα 9.20: Συσχέτιση μεταξύ της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους περιδοτίτες.

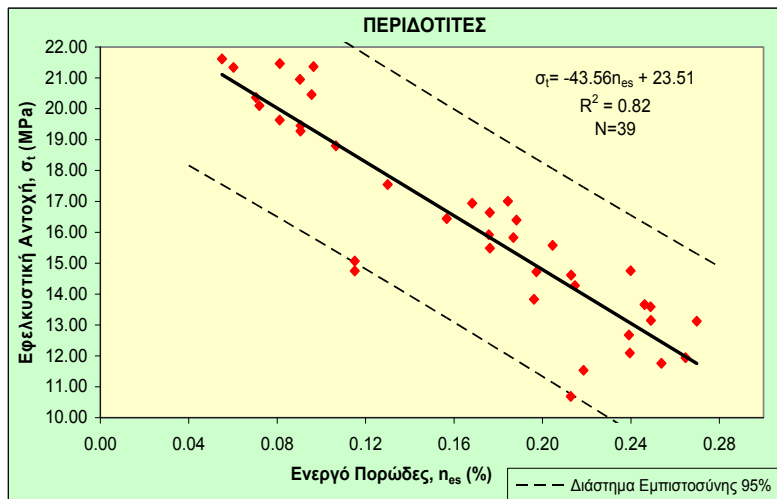
Συσχετίζοντας εν συνεχεία τη σ_t και τη σ_{tc} με το n_{es} παρατηρούμε πως στους σερπεντινίτες, η συνάρτηση που καλύτερα περιγράφει τη σχέση τους είναι η λογαριθμική, ενώ στους περιδοτίτες η καλύτερη συσχέτισή τους αποδίδεται με ευθεία γραμμή (**Εικόνες 9.21, 9.22, 9.23, 9.24**). Οι σερπεντινίτες εμφανίζουν υψηλότερη συσχέτιση των δυο παραμέτρων από αυτήν των περιδοτιτών. Επίσης, η σ_t εμφανίζει πολύ καλύτερη συσχέτιση με τις φυσικές ιδιότητες, από τη συσχέτιση που παρουσιάζει η σ_{tc} .



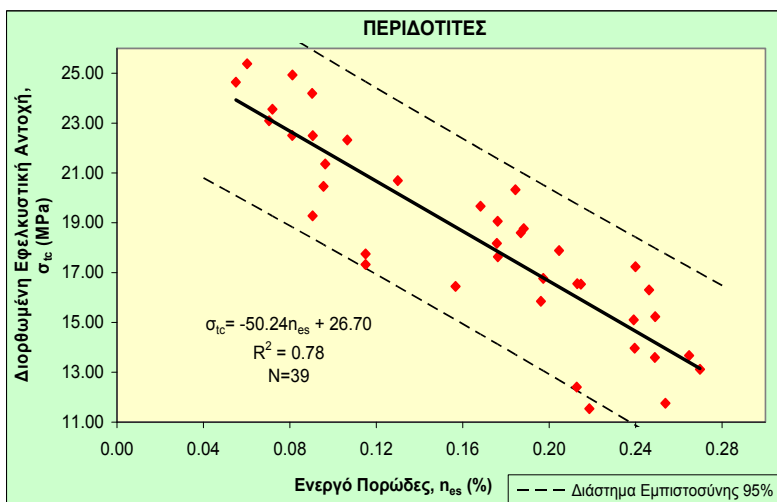
Εικόνα 9.21: Συσχέτιση μεταξύ της εφελκυστικής αντοχής και του ενεργού πορώδους για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.22: Συσχέτιση μεταξύ της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής και του ενεργού πορώδους για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.23: Συσχέτιση μεταξύ της εφελκυστικής αντοχής και του ενεργού πορώδους για τους περιδοτίτες.



Εικόνα 9.24: Συσχέτιση μεταξύ της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής και του ενεργού πορώδους για τους περιδοτίτες.

Οι εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης που προβλήθηκαν στα παραπάνω διαγράμματα παρατίθενται αναλυτικά στους Πίνακες 9.10, 9.11, 9.12, 9.13.

Πίνακας 9.10: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της εφελκυστικής αντοχής και του ξηρού φαινομένου βάρους.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Εφελκυστική Αντοχή και Ξηρό Φαινόμενο Βάρος	$\sigma_t = 3 \cdot 10^{-6} \exp^{0.57\gamma_{ds}}$	+95%
		$\sigma_t = 2 \cdot 10^{-6} \exp^{0.56\gamma_{ds}}$	-95%
$\sigma_t = 3.43\gamma_{ds} - 91.12$		+95%	
$\sigma_t = 3.43\gamma_{ds} - 95.81$		-95%	
Περιδοτίτες			

Πίνακας 9.11: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής και του ξηρού φαινομένου βάρους.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Διορθωμένη Εφελκυστική Αντοχή και Ξηρό Φαινόμενο Βάρος	$\sigma_{tc} = 2 \cdot 10^{-6} \exp^{0.583\gamma_{ds}}$	+95%
		$\sigma_{tc} = 1 \cdot 10^{-6} \exp^{0.585\gamma_{ds}}$	-95%
$\sigma_{tc} = 3.88\gamma_{ds} - 102.66$		+95%	
$\sigma_{tc} = 3.88\gamma_{ds} - 108.64$		-95%	
Περιδοτίτες			

Πίνακας 9.12: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της εφελκυστικής αντοχής και του ενεργού πορώδους.

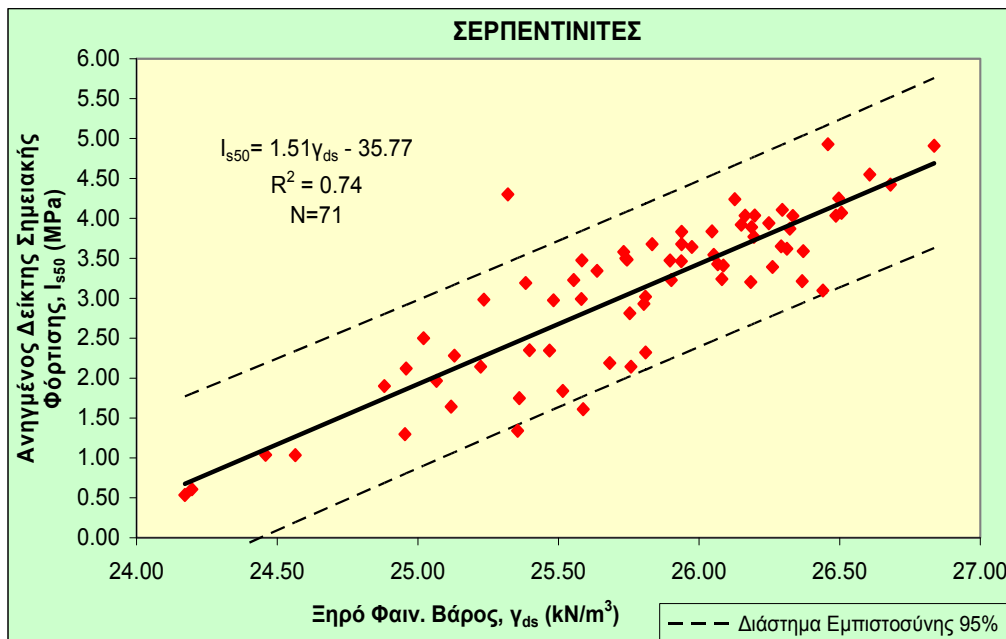
	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Εφελκυστική Αντοχή και Ενεργό Πορώδες	$\sigma_t = -1.93 \ln(n_{es}) + 6.85$	+95%
		$\sigma_t = -1.93 \ln(n_{es}) + 4.32$	-95%
$\sigma_t = -43.56n_{es} + 27.01$		+95%	
$\sigma_t = -43.56n_{es} + 20.00$		-95%	
Περιδοτίτες			

Πίνακας 9.13: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής και του ενεργού πορώδους.

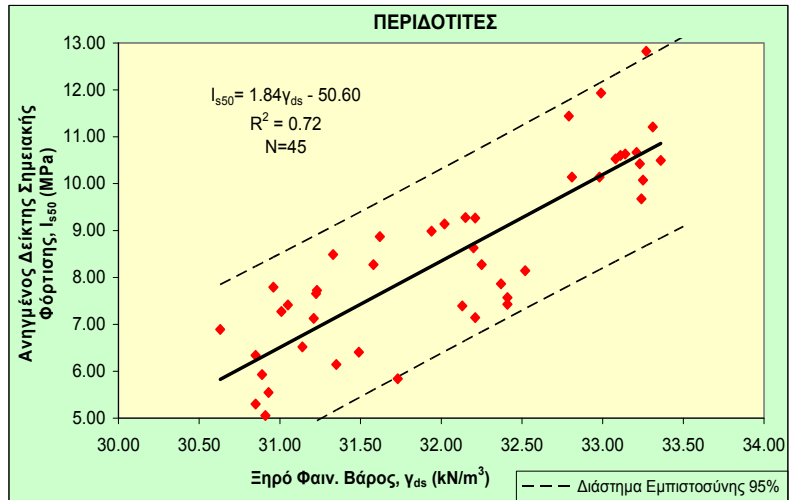
	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Διορθωμένη Εφελκυστική Αντοχή και Ενεργό Πορώδες	$\sigma_{tc} = -2.15 \ln(n_{es}) + 7.57$	+95%
		$\sigma_{tc} = -2.15 \ln(n_{es}) + 4.38$	-95%
$\sigma_{tc} = -50.24n_{es} + 30.48$		+95%	
$\sigma_{tc} = -50.24n_{es} + 22.91$		-95%	
Περιδοτίτες			

Μια άλλη μηχανική παράμετρος που συσχετίστηκε με τα φυσικά χαρακτηριστικά είναι ο ανηγμένος δείκτης σημειακής φόρτισης. Όπως προαναφέραμε, ισχύει ευρύτερα πως ο ανηγμένος δείκτης σημειακής φόρτισης αυξάνει με την αύξηση του φαινομένου βάρους και μειώνεται με την αύξηση του πορώδους. Πολλοί είναι οι επιστήμονες οι οποίοι πρότειναν γραμμικές συσχετίσεις ανάμεσα στον ανηγμένο δείκτη σημειακής φόρτισης και τα φυσικά χαρακτηριστικά.

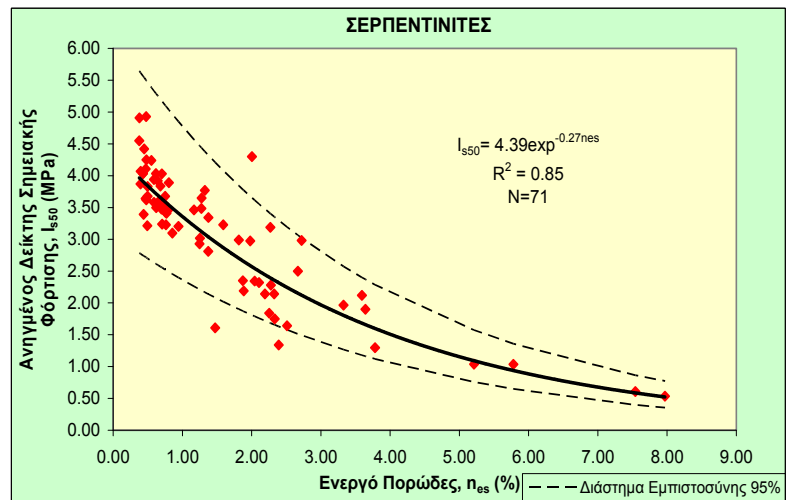
Από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών που επεξεργαστήκαμε στη διατριβή αυτή, δημιουργήθηκαν τα παρακάτω διαγράμματα (Εικ. 9.25, 9.26, 9.27, 9.28). Στα διαγράμματα αυτά προβάλλονται οι συσχετίσεις του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50}) με τα φυσικά χαρακτηριστικά (ξηρό φαινόμενο βάρος, γ_{ds} και ενεργό πορώδες, n_{es}), οι συντελεστές προσδιορισμού, το πλήθος των δοκιμών που εξετάστηκαν και τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95%. Τόσο στους σερπεντινίτες, όσο και στους περιδοτίτες, οι γραμμές που αποδίδουν καλύτερα τη σχέση μεταξύ του γ_{ds} και του I_{s50} είναι ευθείες του τύπου $y=ax+b$. Αντίθετα η εξίσωση που εκφράζει καλύτερα τη σχέση μεταξύ του ενεργού πορώδους και του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης είναι εκθετικού τύπου στους σερπεντινίτες και λογαριθμικού στους περιδοτίτες (Πίνακας 9.14). Και στα τέσσερα σχήματα οι συντελεστές συσχέτισης είναι αρκετά ως πολύ υψηλοί και μάλιστα στους σερπεντινίτες υπάρχει καλύτερη συσχέτιση των παραμέτρων από ότι στους περιδοτίτες. Οι εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης περιγράφονται αναλυτικά στους Πίνακες 9.15, 9.16.



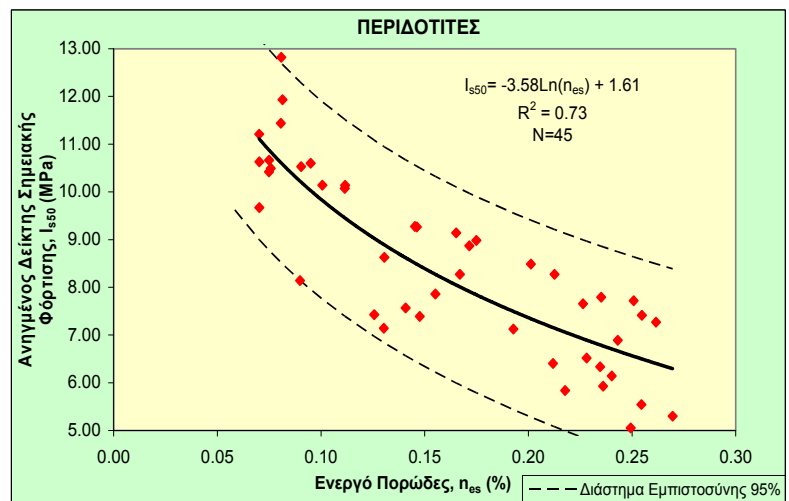
Εικόνα 9.25: Συσχέτιση μεταξύ του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης και του ξηρού φαινομένου βάρους για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.26: Συσχέτιση μεταξύ του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους περιδοτίτες.



Εικόνα 9.27: Συσχέτιση μεταξύ του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης και του ενεργού πορώδους για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.28: Συσχέτιση μεταξύ του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης και του ενεργού πορώδους για τους περιδοτίτες.

Πίνακας 9.14: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) μεταξύ του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης και του ενεργού πορώδους.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις Παλινδρόμησης	R^2
Σερπεντινίτες	Ενεργό Πορώδες και Ανηγμένος Δείκτης Σημειακής Φόρτισης	$I_{s50}=4.39\exp^{-0.27n_{es}}$	0.85
		$I_{s50}=-1.12\ln(n_{es}) + 3.24$	0.78
Περιδοτίτες		$I_{s50}=-3.58\ln(n_{es}) + 1.61$	0.73
		$I_{s50}=-24.13n_{es} + 12.37$	0.72

Πίνακας 9.15: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης και του ξηρού φαινομένου βάρους.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Ξηρό Φαινόμενο Βάρος και Ανηγμένος Δείκτης Σημειακής Φόρτισης	$I_{s50}=1.51\gamma_{ds} - 34.49$	+95%
		$I_{s50}=1.51\gamma_{ds} - 37.05$	-95%
Περιδοτίτες		$I_{s50}=1.84\gamma_{ds} - 48.51$	+95%
		$I_{s50}=1.84\gamma_{ds} - 52.69$	-95%

Πίνακας 9.16: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης και του ενεργού πορώδους.

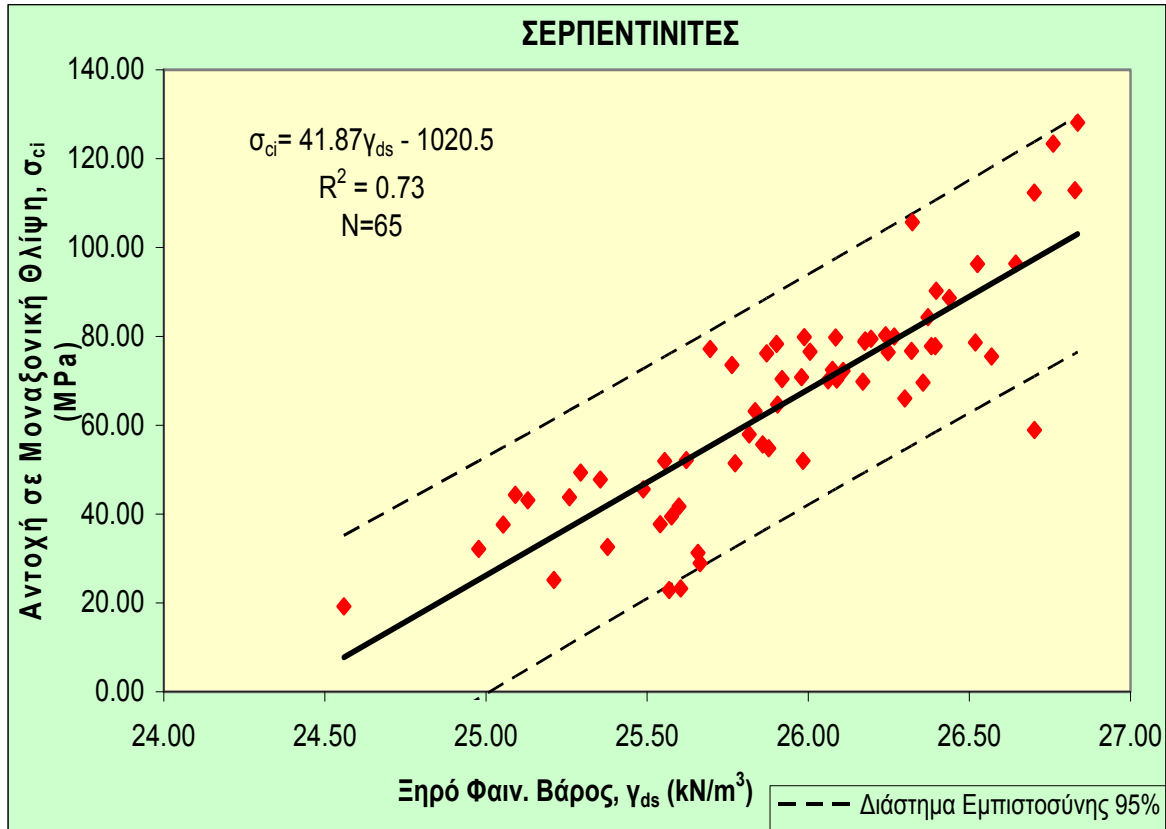
	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Ενεργό Πορώδες και Ανηγμένος Δείκτης Σημειακής Φόρτισης	$I_{s50}=6.21\exp^{-0.27n_{es}}$	+95%
		$I_{s50}=3.10\exp^{-0.27n_{es}}$	-95%
Περιδοτίτες		$I_{s50}=-3.58\ln(n_{es}) + 3.65$	+95%
		$I_{s50}=-3.58\ln(n_{es}) - 0.43$	-95%

Από τις πιο σημαντικές παραμέτρους (όπως έχουμε προαναφέρει) για την κατασκευή ενός τεχνικού έργου είναι η αντοχή σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci}). Παρά τη σχετική απλότητά της, είναι αρκετά χρονοβόρα και απαιτεί καλά προετοιμασμένα δοκίμια. Επομένως, είναι σημαντικό να μπορούμε να προσδιορίσουμε τις τιμές της μέσω εμπειρικών σχέσεων συνδυάζοντάστες με άλλες ιδιότητες που προκύπτουν από έμμεσες, πιο γρήγορες και περισσότερο οικονομικές μεθόδους.

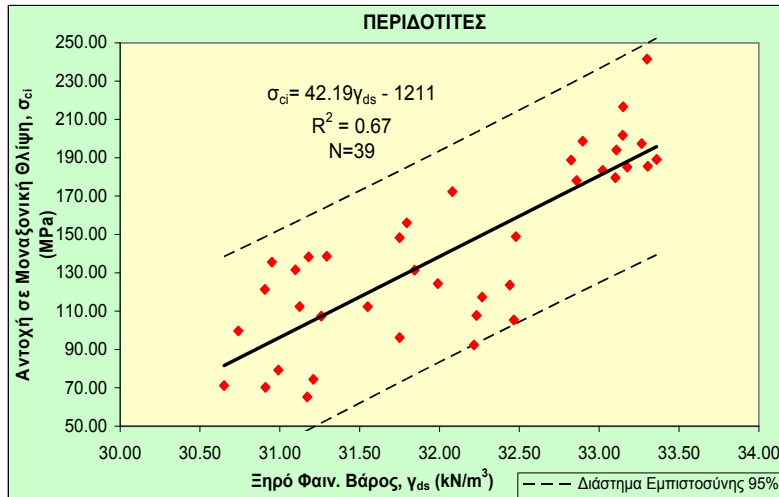
Για διάφορους λιθολογικούς τύπους οι DEARMAN et al. (1978), VERNIK et al. (1993), AL-HARTHI et al. (1999), TUGRUL (2004) και ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ κ.ά. (2002) πρότειναν εκθετικές σχέσεις ανάμεσα στην αντοχή σε μοναξονική θλίψη και το πορώδες, ενώ οι Tuğrul & Zarif (1999) διατύπωσαν γραμμικές συσχετίσεις ανάμεσα στην αντοχή σε

μοναξονική θλίψη και τις φυσικές ιδιότητες (πορώδες και φαινόμενο βάρος). Ο ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ, 1978 πρότεινε γραμμικές συσχετίσεις μεταξύ των προαναφερθέντων παραμέτρων.

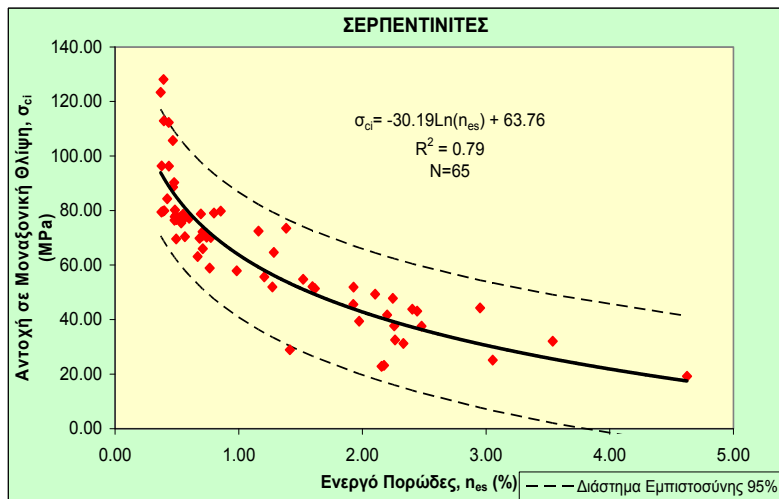
Στη διατριβή αυτή, η προσπάθεια να συσχετιστεί η αντοχή σε μοναξονική θλίψη με τα φυσικά χαρακτηριστικά, κατέληξε στα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στις **Εικόνες 9.29, 9.30, 9.31, 9.32**. Από τα διαγράμματα αυτά παρατηρούμε πως η καλύτερη γραμμή συσχέτισης ανάμεσα στην αντοχή σε μοναξονική θλίψη και το ξηρό φαινόμενο βάρος είναι ευθεία τόσο για τους σερπεντινίτες όσο και τους περιδοτίτες. Όσον αφορά τη συσχέτιση της αντοχής σε μοναξονική θλίψη με το ενεργό πορώδες, η γραμμή που καλύτερα την αποδίδει είναι λογαριθμικής μορφής (**Πίνακας 9.17**). Και τα τέσσερα σχήματα παρουσιάζουν πολύ καλούς συντελεστές συσχέτισης και μάλιστα οι σερπεντινίτες εμφανίζουν υψηλότερους από τους περιδοτίτες. Αυτό είναι απόλυτα λογικό και αναμενόμενο, αφού όπως προείπαμε και στο Κεφάλαιο 3 (SHIMADA et al., 1983; ESCARTIN et al., 2001), οι περιδοτίτες παρουσιάζουν ανισοτροπία ως προς την αντοχή σε μοναξονική θλίψη. Στα διαγράμματα αυτά επίσης προβάλλονται και τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95%, οι εξισώσεις των οποίων παρατίθενται στον **Πίνακα 9.18, 9.19**.



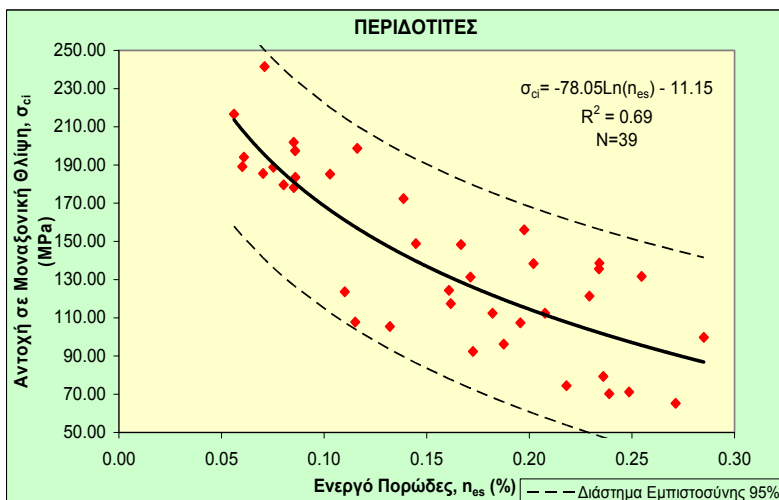
Εικόνα 9.29: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.30: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους περιδοτίτες.



Εικόνα 9.31: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ενεργού πορώδους για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.32: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ενεργού πορώδους για τους περιδοτίτες.

Πίνακας 9.17: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ενεργού πορώδους.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις Παλινδρόμησης	R^2
Σερπεντινίτες	Ενεργό Πορώδες και Αντοχή Σε Μοναξονική Θλίψη	$\sigma_{ci} = -30.19 \ln(n_{es}) + 63.76$	0.79
		$\sigma_{ci} = 98.83 \exp^{-0.40 n_{es}}$	0.77
$\sigma_{ci} = -78.05 \ln(n_{es}) - 11.15$		0.69	
$\sigma_{ci} = -544.2 n_{es} + 227.15$		0.66	
Περιδοτίτες			

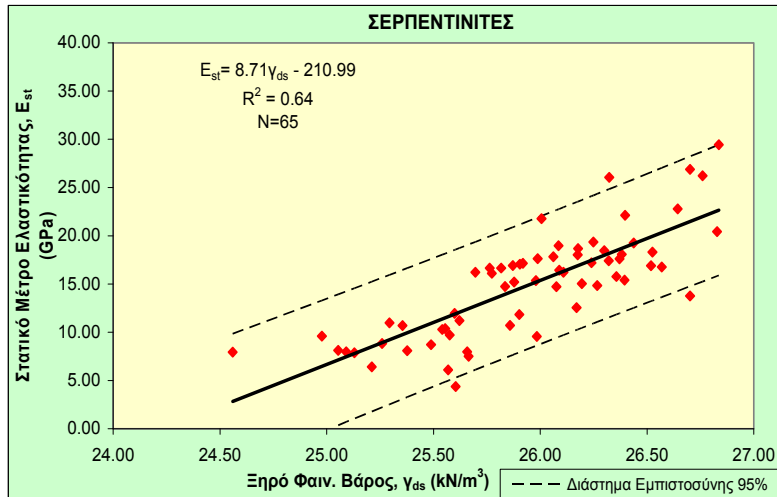
Πίνακας 9.18: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ξηρού φαινομένου βάρους.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Ξηρό Φαινόμενο Βάρους και Αντοχή Σε Μοναξονική Θλίψη	$\sigma_{ci} = 41.87 \gamma_{ds} - 990.62$	+95%
		$\sigma_{ci} = 41.87 \gamma_{ds} - 1050.3$	-95%
$\sigma_{ci} = 42.19 \gamma_{ds} - 1155.5$		+95%	
$\sigma_{ci} = 42.19 \gamma_{ds} - 1267.3$		-95%	
Περιδοτίτες			

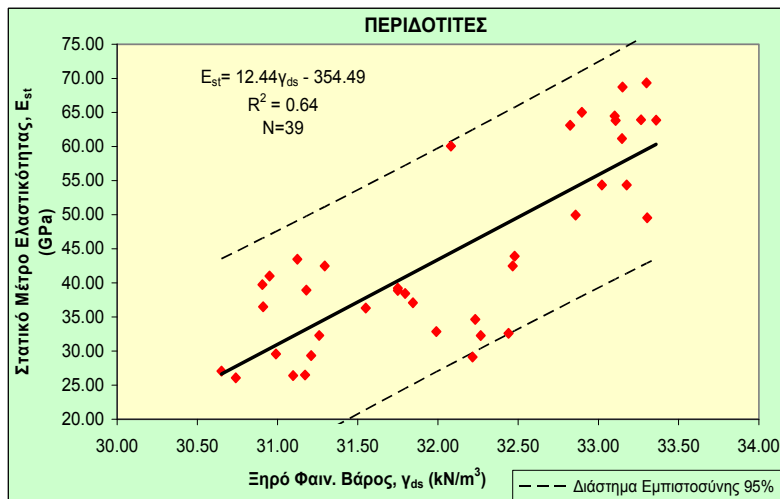
Πίνακας 9.19: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ενεργού πορώδους.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Ενεργό Πορώδες και Αντοχή Σε Μοναξονική Θλίψη	$\sigma_{ci} = -30.19 \ln(n_{es}) + 86.85$	+95%
		$\sigma_{ci} = -30.19 \ln(n_{es}) + 40.66$	-95%
$\sigma_{ci} = -78.05 \ln(n_{es}) + 41.87$		+95%	
$\sigma_{ci} = -78.05 \ln(n_{es}) - 64.17$		-95%	
Περιδοτίτες			

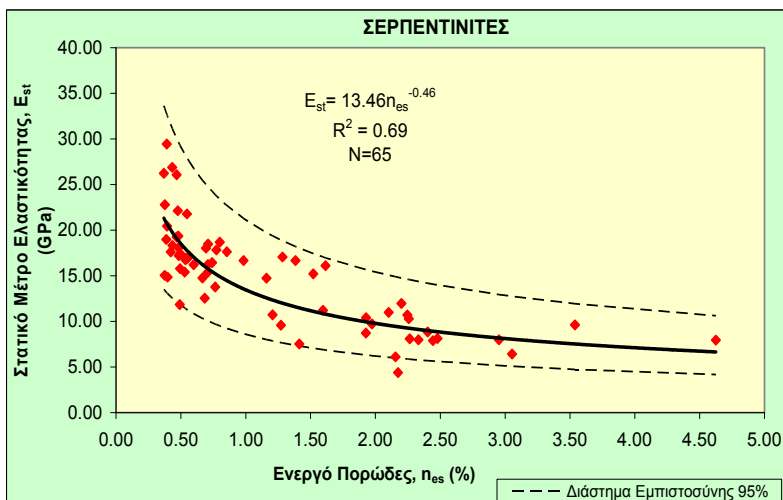
Όπως προαναφέραμε και στο Κεφάλαιο 5, ταυτόχρονα με τη μέτρηση της αντοχής σε μοναξονική θλίψη προσδιορίζεται και το στατικό μέτρο ελαστικότητας (E_{st}). Στις **Εικόνες 9.33, 9.34, 9.35, 9.36** προβάλλεται η σχέση μεταξύ των φυσικών χαρακτηριστικών και του E_{st} . Από τα διαγράμματα αυτά προκύπτει ότι το E_{st} αυξάνει γραμμικά με την αύξηση του γ_{ds} . Η εξίσωση που αποδίδει καλύτερα τη σχέση ανάμεσα στο ενεργό πορώδες (n_{es}) και το E_{st} στους σερπεντινίτες είναι υπερβολικού τύπου (**Πίνακας 9.20**), ενώ στους περιδοτίτες είναι λογαριθμικού (**Πίνακας 9.20**). Είναι προφανές και από τα τέσσερα σχήματα πως το γ_{ds} και το n_{es} συσχετιζόμενα με το E_{st} εμφανίζουν αρκετά υψηλούς συντελεστές συσχέτισης, δηλαδή αρκετά καλή συσχέτιση.



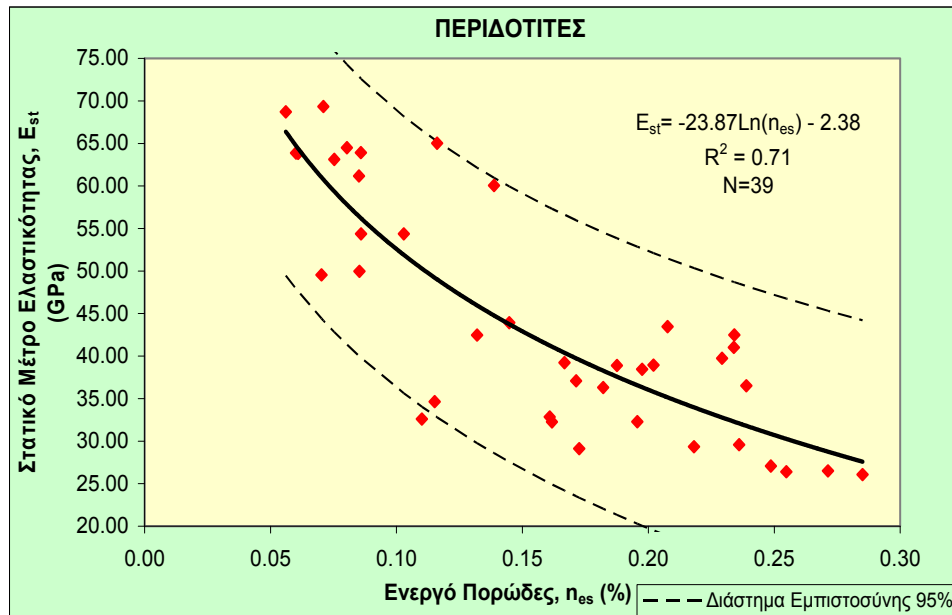
Εικόνα 9.33: Συσχέτιση μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.34: Συσχέτιση μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και του ξηρού φαινόμενου βάρους για τους περιδοτίτες.



Εικόνα 9.35: Συσχέτιση μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και του ενεργού πορώδους για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.36: Συσχέτιση μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και του ενεργού πορώδους για τους περιδοτίτες.

Επίσης, από τα παραπάνω διαγράμματα, προκύπτει πως το στατικό μέτρο ελαστικότητας αυξάνεται με την αύξηση του ξηρού φαινόμενου βάρους και μειώνεται με την αύξηση του ενεργού πορώδους. Στους **Πίνακες 9.21, 9.22** παρουσιάζονται οι εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης και για τους δυο λιθολογικούς τύπους.

Πίνακας 9.20: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και του ενεργού πορώδους.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις Παλινδρόμησης	R^2
Σερπεντινίτες	Ενεργό Πορώδες και Στατικό Μέτρο Ελαστικότητας	$E_{st}=13.46n_{es}^{-0.46}$	0.69
		$E_{st}=-6.15Ln(n_{es})+14.5$	0.66
$E_{st}=-23.87Ln(n_{es}) - 2.38$		0.71	
$E_{st}=15.08n_{es}^{-0.53}$		0.69	
Περιδοτίτες			

Πίνακας 9.21: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και του ξηρού φαινόμενου βάρους.

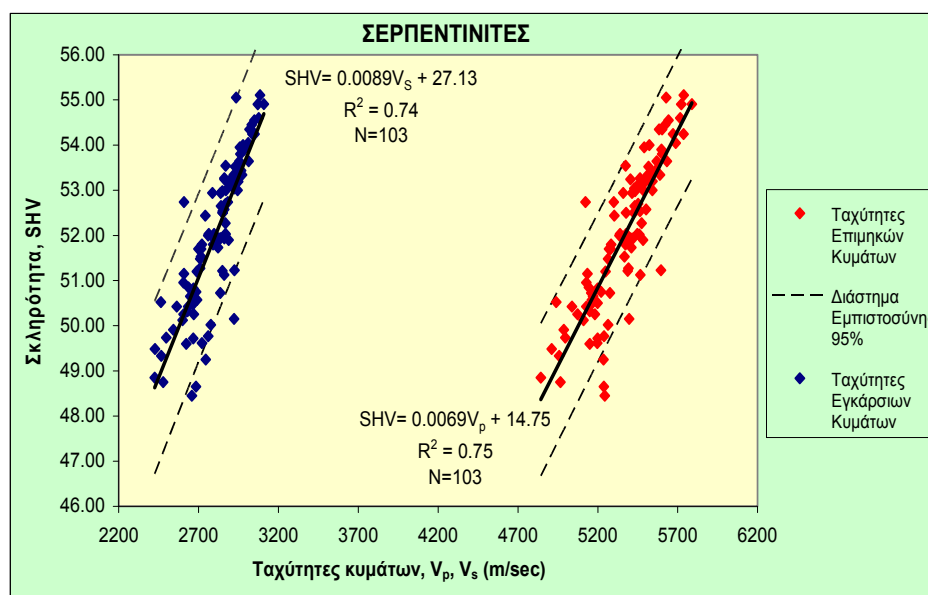
	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Ξηρό Φαινόμενο Βάρος και Στατικό Μέτρο Ελαστικότητας	$E_{st}=8.71\gamma_{ds} - 203.37$	+95%
		$E_{st}=8.71\gamma_{ds} - 217.54$	-95%
$E_{st}=12.44\gamma_{ds} - 336.92$		+95%	
$E_{st}=12.44\gamma_{ds} - 372.03$		-95%	
Περιδοτίτες			

Πίνακας 9.22: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και του ενεργού πορώδους.

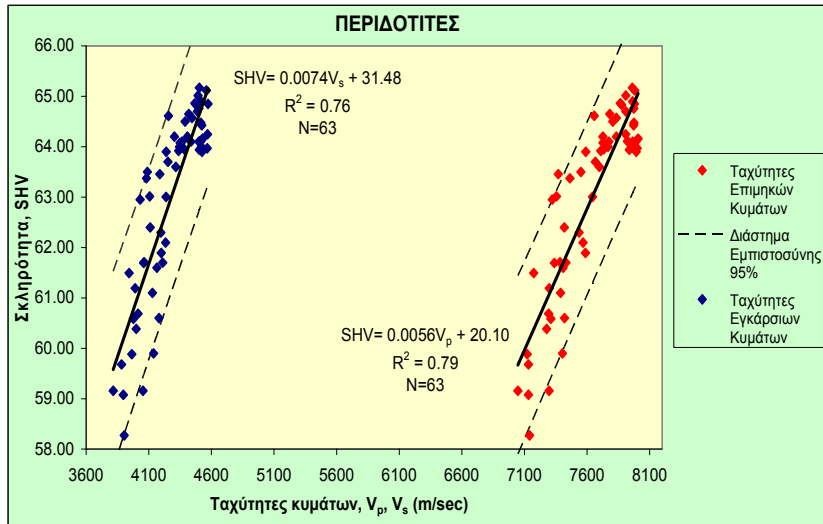
	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Ενεργό Πορώδες και Στατικό Μέτρο Ελαστικότητας	$E_{st}=21.19n_{es}^{-0.46}$	+95%
		$E_{st}=8.54n_{es}^{-0.46}$	-95%
$E_{st}=-23.87\ln(n_{es}) + 13.70$		+95%	
$E_{st}=-23.87\ln(n_{es}) - 18.46$		-95%	
Περιδοτίτες			

9.2.4 Συσχέτιση των μηχανικών χαρακτηριστικών με τα δυναμικά χαρακτηριστικά

Όπως προαναφέρθηκε στα Κεφάλαια 2, 3 τα μηχανικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων αυξάνουν με την αύξηση των δυναμικών χαρακτηριστικών. Από την επεξεργασία των δεδομένων της διατριβής αυτής προκύπτει πως η σκληρότητα με σφυρί Schmidt (SHV) συσχετίζεται θετικά με τις ταχύτητες των κυμάτων (V_p , V_s). Οι παράμετροι αυτοί παρουσιάζουν υψηλό βαθμό συσχέτισης (**Εικ. 9.37, 9.38**) και μάλιστα στους περιδοτίτες φαίνεται να υπάρχει καλύτερη συσχέτιση από αυτή που υπάρχει στους σερπεντινίτες. Αυτό είναι αναμενόμενο και λογικό, αφού στα πιο συμπαγή πετρώματα (όπως είναι οι περιδοτίτες συγκρινόμενοι με τους σερπεντινίτες) είναι πιο εύκολο να ξεχωρίσουμε τους χρόνους άφιξης των επιμηκών (T_p) και των εγκάρσιων (T_s) κυμάτων (μεγαλύτερη ακρίβεια) και κατ' επέκταση τις ταχύτητες των κυμάτων. Εκτός των άλλων στις **Εικόνες 9.37, 9.38** προβάλλονται και οι γραμμές εμπιστοσύνης 95%, των οποίων οι εξισώσεις παρατίθενται αναλυτικά στους **Πίνακες 9.23, 9.24**.



Εικόνα 9.37: Συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας και των ταχυτήτων των κυμάτων για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.38: Συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας και των ταχυτήτων των κυμάτων για τους περιδοτίτες.

Επιπλέον, από τα παραπάνω διαγράμματα είναι εμφανές πως η σκληρότητα συσχετίζεται καλύτερα με τις ταχύτητες των επιμηκών κυμάτων από ότι με αυτές των εγκάρσιων.

Πίνακας 9.23: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της σκληρότητας και των ταχυτήτων των επιμηκών κυμάτων.

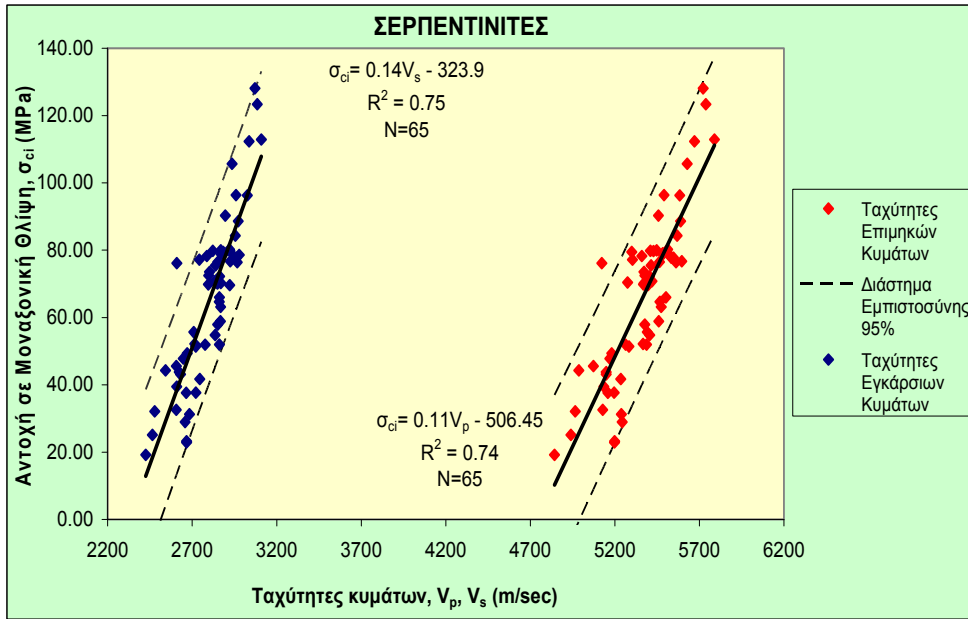
	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Σκληρότητα και Ταχύτητες Επιμηκών Κυμάτων	$SHV=0.0069V_p + 16.46$	+95%
		$SHV=0.0069V_p + 13.05$	-95%
Περιδοτίτες		$SHV=0.0056V_p + 21.94$	+95%
		$SHV=0.0056V_p + 18.26$	-95%

Πίνακας 9.24: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της σκληρότητας και των ταχυτήτων των εγκάρσιων κυμάτων.

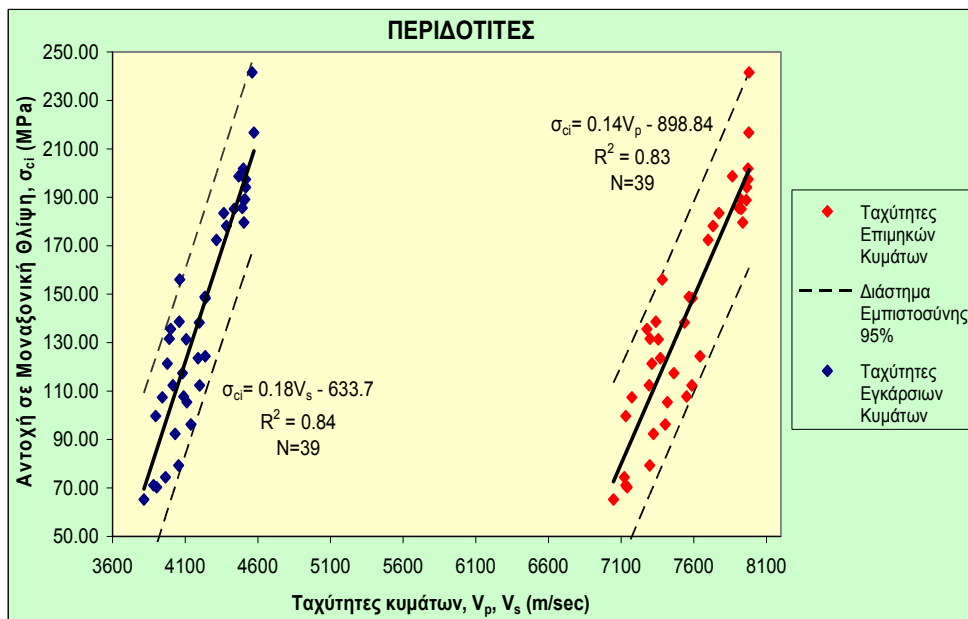
	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Σκληρότητα και Ταχύτητες Εγκάρσιων Κυμάτων	$SHV=0.0089V_s + 29.05$	+95%
		$SHV=0.0089V_s + 25.21$	-95%
Περιδοτίτες		$SHV=0.0074V_s + 33.46$	+95%
		$SHV=0.0074V_s + 29.49$	-95%

Οι D' ANDREA et al. (1965), JUDD & HUBER (1961), IRFAN & DEARMAN (1978), TUĞRUL & ZARIF (1999), KAHRAMAN (2001), YASAR & ERDOGAN (2004) κ.ά. με τη σειρά τους, πρότειναν διάφορες σχέσεις μεταξύ της αντοχής σε

μοναξονική θλίψη (σ_{ci}) και των ταχυτήτων των κυμάτων (V_p , V_s) για πολλούς τύπους πετρωμάτων. Από τις **Εικόνες 9.39, 9.40**, όπου παρουσιάζεται η συσχέτιση μεταξύ της σ_{ci} και των V_p , V_s , γίνεται κατανοητό πως οι γραμμικές συναρτήσεις αποδίδουν καλύτερα τη σχέση των παραμέτρων και πως οι περιδοτίτες παρουσιάζουν υψηλότερους βαθμούς συσχέτισης συγκρινόμενοι με τους σερπεντινίτες. Στα προαναφερθέντα διαγράμματα προβάλλονται και τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95%, των οποίων οι εξισώσεις παρατίθενται στους **Πίνακες 9.25, 9.26**.



Εικόνα 9.39: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και των ταχυτήτων των κυμάτων για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.40: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και των ταχυτήτων των κυμάτων για τους περιδοτίτες.

Πίνακας 9.25: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και των ταχυτήτων των επιμηκών κυμάτων.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Αντοχή Σε Μοναξονική Θλίψη και Ταχύτητες Επιμηκών Κυμάτων	$\sigma_{ci}=0.11V_p - 479.45$	+95%
		$\sigma_{ci}=0.11V_p - 533.46$	-95%
$\sigma_{ci}=0.14V_p - 860.6$		+95%	
$\sigma_{ci}=0.14V_p - 937.09$		-95%	
Περιδοτίτες			

Πίνακας 9.26: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και των ταχυτήτων των εγκάρσιων κυμάτων.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Αντοχή Σε Μοναξονική Θλίψη και Ταχύτητες Εγκάρσιων Κυμάτων	$\sigma_{ci}=0.14V_s - 297.87$	+95%
		$\sigma_{ci}=0.14V_s - 349.92$	-95%
$\sigma_{ci}=0.18V_s - 596.56$		+95%	
$\sigma_{ci}=0.18V_s - 670.84$		-95%	
Περιδοτίτες			

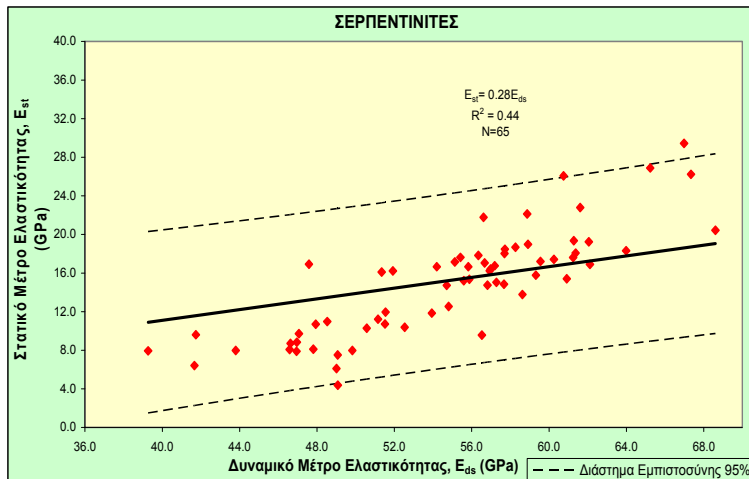
Το στατικό μέτρο ελαστικότητας και η αντοχή σε μοναξονική θλίψη είναι δυο από τις σημαντικότερες μηχανικές παραμέτρους. Για το λόγο αυτό μια άλλη συσχέτιση που αξίζει να εξεταστεί είναι αυτή του στατικού μέτρου ελαστικότητας (E_{st}) με τα δυναμικά χαρακτηριστικά και συγκεκριμένα με το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας (E_{ds}). Είναι λογικό πως όταν αυξηθεί το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας, θα αυξηθεί και το στατικό.

Στον **Πίνακα 9.27** παρατίθενται τρεις εξισώσεις με τους υψηλότερους συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στο E_{st} και στο E_{ds} για τα υπό μελέτη πετρώματα. Από τον πίνακα αυτό, προκύπτει ότι το στατικό και το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας παρουσιάζουν αρκετά καλή συσχέτιση. Η συνάρτηση που αποδίδει καλύτερα τη συσχέτιση των δυο παραμέτρων είναι γραμμική της μορφής $y=ax+b$ (**Πίνακας 9.27**). Τελικά όμως προτείνεται η χρήση της συνάρτησης, με μορφή $y=ax$ (παρά το γεγονός ότι δίνει πολύ χαμηλούς συντελεστές συσχέτισης, **Πίνακας 9.27**) διότι κατά τη γνώμη μας, αυτή περιγράφει με ρεαλιστικότερο τρόπο τη φυσική σημασία της σχέσης των μέτρων ελαστικότητας. Οι γραμμές της μορφής $y=ax$ τόσο για τους σερπεντινίτες όσο και για τους περιδοτίτες παρουσιάζονται αντιστοίχως στις **Εικόνες 9.41, 9.42**. Στα διαγράμματα αυτά παρατηρούνται μεγάλα (σε εύρος) διαστήματα εμπιστοσύνης, τα οποία έρχονται σε

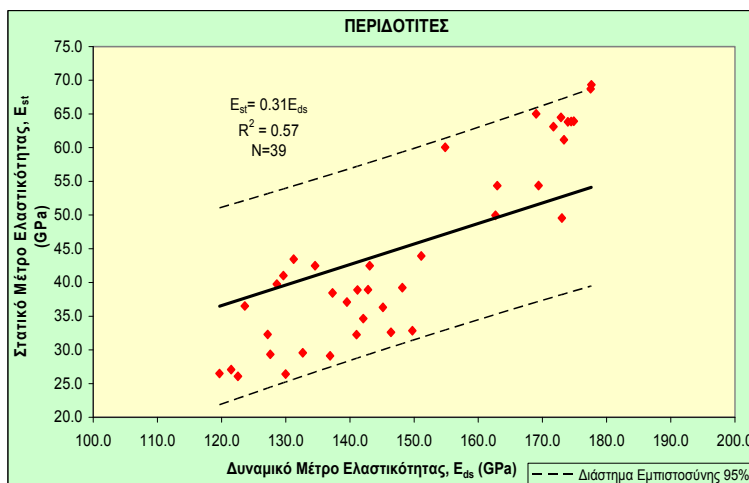
συμφωνία με τους χαμηλούς συντελεστές συσχέτισης. Οι εξισώσεις των γραμμών των διαστημάτων εμπιστοσύνης παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.28.

Πίνακας 9.27: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) μεταξύ του στατικού και του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις Παλινδρόμησης	R^2
Σερπεντινίτες	Στατικό και Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας	$E_{st}=0.70E_{ds} - 23.7$	0.70
		$E_{st}=0.84\exp^{0.05E_{ds}}$	0.69
		$E_{st}=0.28E_{ds}$	0.44
Περιδοτίτες		$E_{st}=0.66E_{ds} - 53.736$	0.81
		$E_{st}=4.82\exp^{0.015E_{ds}}$	0.80
		$E_{st}=0.31E_{ds}$	0.57



Εικόνα 9.41: Συσχέτιση μεταξύ του στατικού και δυναμικού μέτρου ελαστικότητας για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.42: Συσχέτιση μεταξύ του στατικού και δυναμικού μέτρου ελαστικότητας για τους περιδοτίτες.

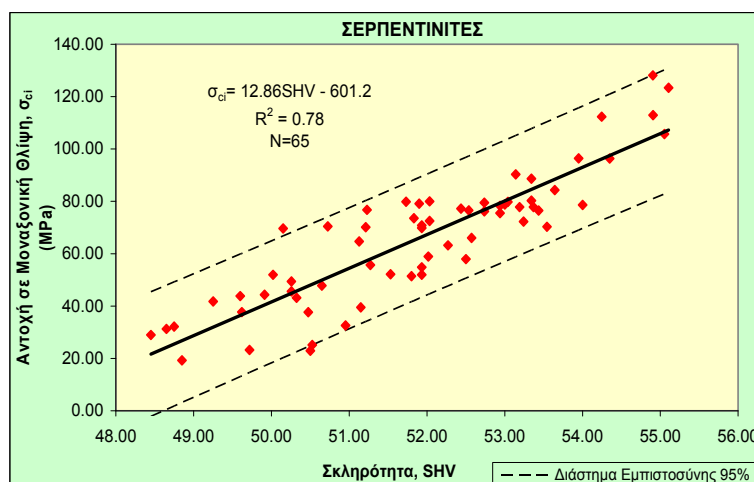
Πίνακας 9.28: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ του στατικού και δυναμικού μέτρου ελαστικότητας.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Στατικό και Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας	$E_{st}=0.28E_{ds} + 9.19$	+95%
		$E_{st}=0.28E_{ds} - 9.19$	-95%
$E_{st}=0.31E_{ds} + 14.04$		+95%	
$E_{st}=0.31E_{ds} - 14.04$		-95%	

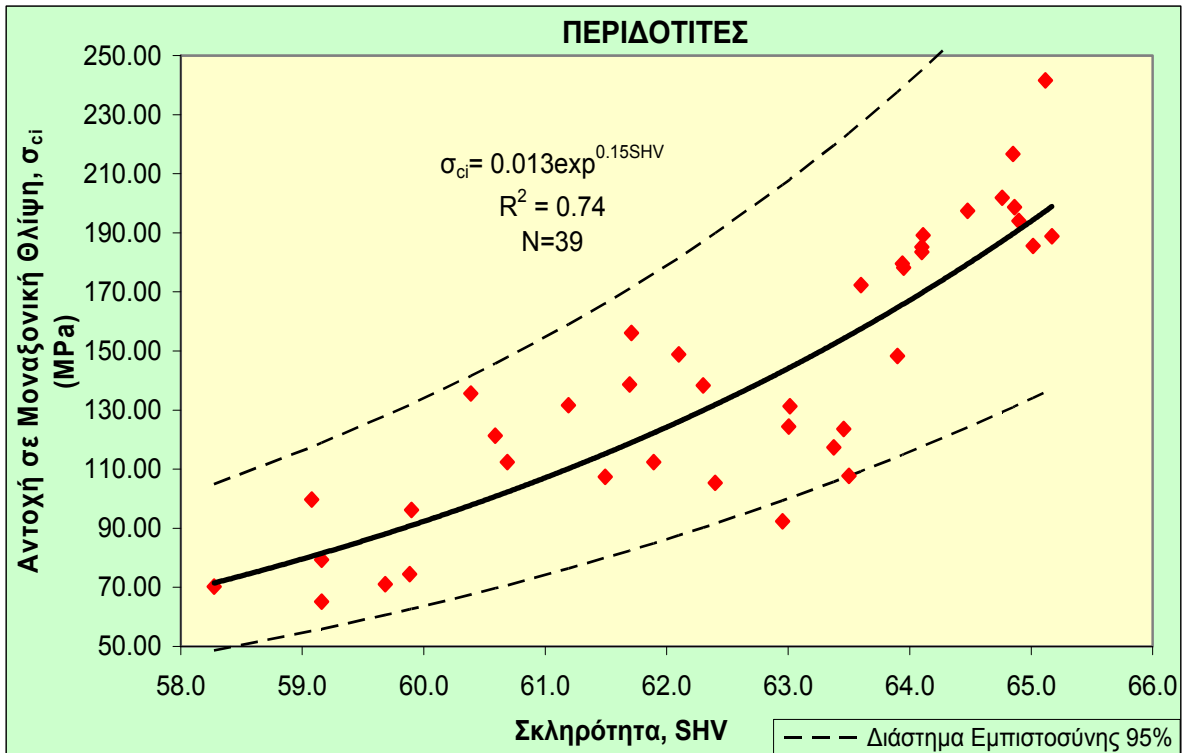
9.2.5 Συσχέτιση των μηχανικών χαρακτηριστικών μεταξύ τους

Οι σχέσεις που προσδιορίστηκαν μεταξύ των διαφόρων μηχανικών ιδιοτήτων είναι εξαιρετικής σημασίας, αφού μας επιτρέπουν την εκτίμηση μιας ιδιότητας από μια άλλη.

Από τις **Εικόνες 9.43, 9.44** προκύπτει ότι η αντοχή σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci}) συσχετίζεται θετικά με τη σκληρότητα (SHV). Η σχέση των δυο παραμέτρων αποδίδεται καλύτερα από γραμμική εξίσωση στους σερπεντινίτες και από εκθετικού τύπου στους περιδοτίτες. Επειδή οι σχέσεις αυτές χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές R^2 θεωρούνται κατάλληλες για την εκτίμηση της σ_{ci} με βάση την SHV. Συσχετίσεις μεταξύ των παραπάνω παραμέτρων αναφέρονται από πολλούς ερευνητές για πετρώματα όλων των κατηγοριών (BIENIAWSKI, 1975; SADAGAH, 1989; CARGILL & SHAKOOR, 1990; SINGH & SINGH 1993; AGGISTALIS et al., 1996; DINCER et al., 2004; TSIAMBAOS & SABATAKAKIS, 2004 SABATAKAKIS et al., 2008; ΡΗΓΟΠΟΥΛΟΣ, 2009). Στον **Πίνακα 9.29** παρατίθενται οι εξισώσεις των γραμμών των διαστημάτων εμπιστοσύνης 95%.



Εικόνα 9.43: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της σκληρότητας για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.44: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της σκληρότητας για τους περιδοτίτες.

Πίνακας 9.29: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της σκληρότητας.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Αντοχή Σε Μοναξονική Θλίψη	$\sigma_{ci}=12.86SHV - 577.45$	+95%
		$\sigma_{ci}=12.86SHV - 624.96$	-95%
Περιδοτίτες	Αντοχή Σε Μοναξονική Θλίψη και Σκληρότητα	$\sigma_{ci}=0.019exp^{0.15SHV}$	+95%
		$\sigma_{ci}=0.008exp^{0.15SHV}$	-95%

Είναι ευρέως γνωστό πως η εφελκυστική αντοχή είναι μικρότερη από την αντοχή σε μοναξονική θλίψη κατά 10% περίπου. Ο HOBBS (1964), ο SCHRODER (1972) και ο HENDRON (1972) παρατήρησαν πως, για διάφορα πετρώματα, ο λόγος της αντοχής σε μοναξονική θλίψη με την εφελκυστική αντοχή κυμαίνεται από 5 έως 16. Στην περιοχή των χαμηλών αντοχών και συγκεκριμένα για αντοχή σε εφελκυσμό, σε ξηρή κατάσταση, μικρότερη από 10MPa, η σχέση του λόγου σ_{ci}/σ_t κυμαίνεται από 7 έως 12.5, με μέση τιμή περίπου στο 10. Όταν η εφελκυστική αντοχή είναι μεγαλύτερη από 10MPa, ο παραπάνω λόγος πλησιάζει το 7 και μπορεί να πέφτει και κάτω από αυτό. Ο ΤΣΟΥΤΡΕΛΗΣ (1972)

πρότεινε τη σχέση $\sigma_{ci}=1.82\sigma_t+620$ (όπου η σ_{ci} και η σ_t μετρούνται σε kg/cm^2) για εφελκυστική αντοχή μικρότερη από 10MPa μελετώντας περιδοτίτες και σερπεντινίτες από τον ελληνικό χώρο.

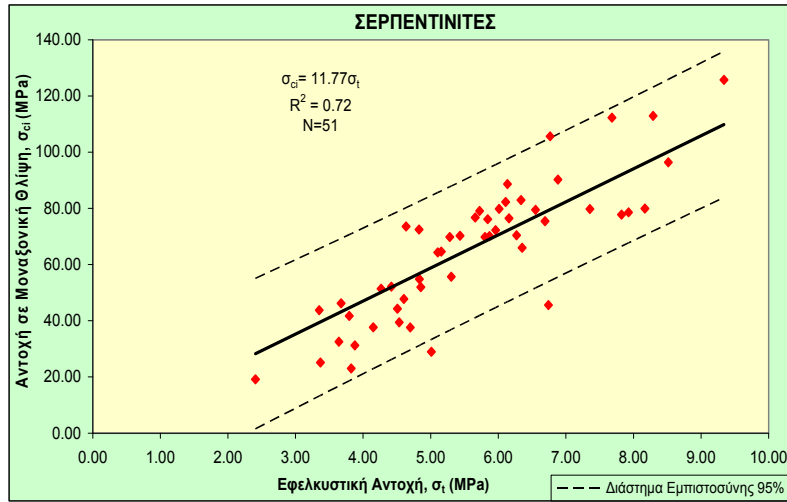
Στους Πίνακες 9.30, 9.31 εμφανίζονται οι εξισώσεις με τους υψηλότερους συντελεστές συσχέτισης μεταξύ της εφελκυστικής και διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής με την αντοχή σε μοναξονική θλίψη (που προσδιορίστηκαν στη διατριβή αυτή) τόσο για τους σερπεντινίτες, όσο και για τους περιδοτίτες. Από τους πίνακες αυτούς, φαίνεται ότι οι παραπάνω παράμετροι παρουσιάζουν αρκετά καλή συσχέτιση. Η συνάρτηση που αποδίδει καλύτερα τη σχέση των χαρακτηριστικών αυτών είναι γραμμική της μορφής $y=ax+b$ (Πίν. 9.30, 9.31). Όμως προτείνουμε τελικά τη χρήση της συνάρτησης, με μορφή $y=ax$ (παρά το γεγονός ότι δίνει χαμηλότερους συντελεστές συσχέτισης, Πίν. 9.30, 9.31), διότι κατά τη γνώμη μας, αυτή περιγράφει με ρεαλιστικότερο τρόπο τη φυσική σημασία της σχέσης των αντοχών. Οι γραμμές της μορφής $y=ax$, για τα υπό μελέτη πετρώματα, καθώς και τα διαστήματα εμπιστοσύνης παρουσιάζονται στις Εικόνες 9.45, 9.46, 9.47, 9.48, ενώ οι συναρτήσεις των γραμμών των διαστημάτων εμπιστοσύνης παρατίθενται στους Πίνακες 9.32, 9.33.

Πίνακας 9.30: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της εφελκυστικής αντοχής.

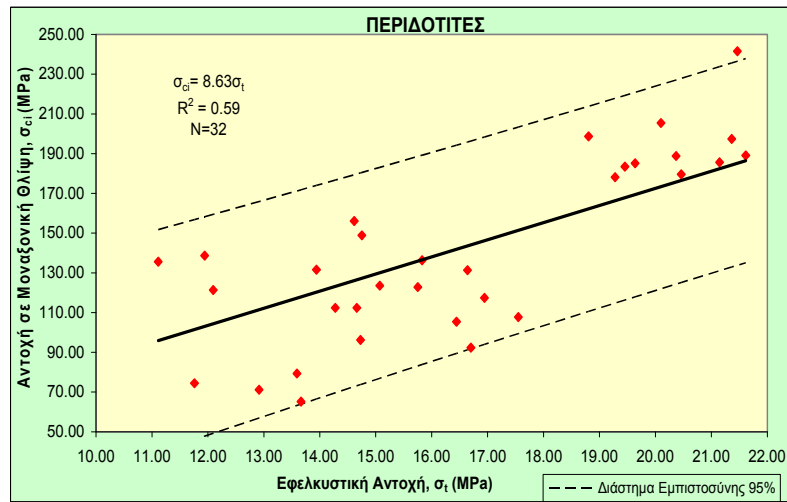
	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις Παλινδρόμησης	R^2
Σερπεντινίτες	Αντοχή Σε Μοναξονική Θλίψη και Εφελκυστική Αντοχή	$\sigma_{ci}=13.75\sigma_t - 11.91$	0.74
		$\sigma_{ci}=11.77\sigma_t$	0.72
$\sigma_{ci}=11.04\sigma_t - 41.42$		0.62	
$\sigma_{ci}=8.63\sigma_t$		0.59	
Περιδοτίτες			

Πίνακας 9.31: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής.

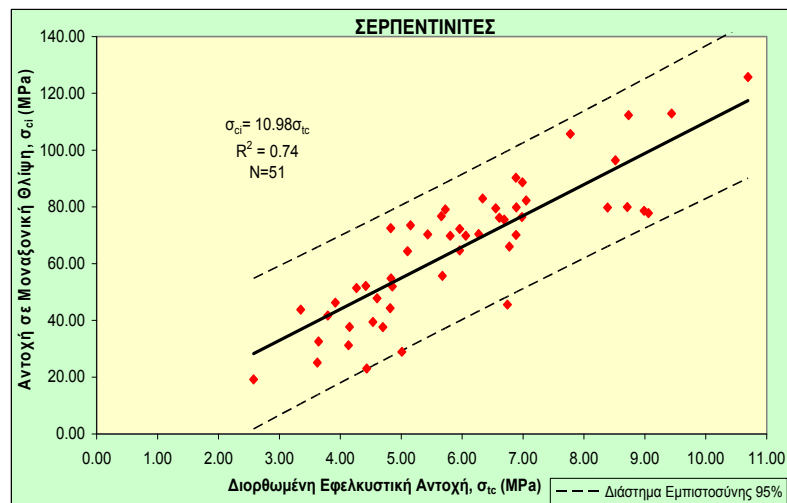
	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις Παλινδρόμησης	R^2
Σερπεντινίτες	Αντοχή Σε Μοναξονική Θλίψη και Διορθωμένη Εφελκυστική Αντοχή	$\sigma_{ci}=11.69\sigma_{tc} - 4.61$	0.75
		$\sigma_{ci}=10.98\sigma_{tc}$	0.74
$\sigma_{ci}=9.20\sigma_{tc} - 29.97$		0.58	
$\sigma_{ci}=7.65\sigma_{tc}$		0.56	
Περιδοτίτες			



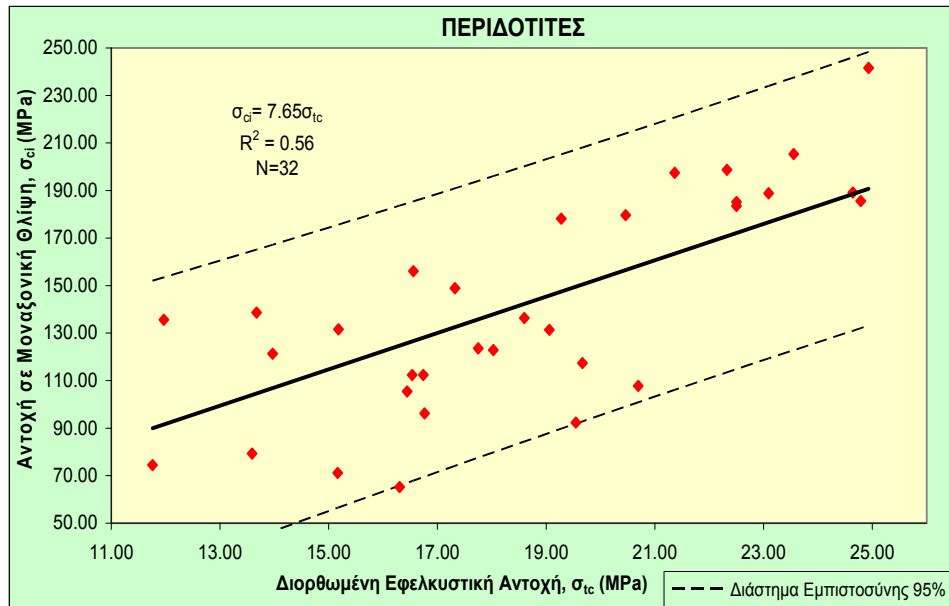
Εικόνα 9.45: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της εφελκυστικής αντοχής για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.46: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της εφελκυστικής αντοχής για τους περιδοτίτες.



Εικόνα 9.47: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.48: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής για τους περιδοτίτες.

Πίνακας 9.32: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της εφελκυστικής αντοχής.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Αντοχή Σε Μοναξονική Θλίψη και Εφελκυστική Αντοχή	$\sigma_{ci}=11.77\sigma_t + 26.28$	+95%
		$\sigma_{ci}=11.77\sigma_t - 26.28$	-95%
$\sigma_{ci}=8.63\sigma_t + 59.54$		+95%	
$\sigma_{ci}=8.63\sigma_t - 59.54$		-95%	
Περιδοτίτες			

Πίνακας 9.33: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Αντοχή Σε Μοναξονική Θλίψη και Διορθωμένη Εφελκυστική Αντοχή	$\sigma_{ci}=10.98\sigma_{tc} + 25.44$	+95%
		$\sigma_{ci}=10.98\sigma_{tc} - 25.44$	-95%
$\sigma_{ci}=7.65\sigma_{tc} + 64.39$		+95%	
$\sigma_{ci}=7.65\sigma_{tc} - 64.39$		-95%	
Περιδοτίτες			

Από τα παραπάνω διαγράμματα και τους πίνακες είναι σαφές πως οι περιδοτίτες παρουσιάζουν πολύ χαμηλότερους συντελεστές συσχέτισης από τους σερπεντινίτες και πως αυτά συμφωνούν με τις διεθνείς βιβλιογραφικές αναφορές.

Η δοκιμή σημειακής φόρτισης είναι η πιο ευρεία χρησιμοποιημένη μέθοδος για τον προσδιορισμό της αντοχής σε μοναξονική θλίψη στην ύπαιθρο και θεωρείται η γρηγορότερη, φθηνότερη εργαστηριακή και in situ παράμετρος της αντοχής. Είναι ευρύτερα γνωστό ότι η αντοχή σε μοναξονική θλίψη αυξάνει, με την αύξηση του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης. Πολλές έρευνες, για διάφορους λιθολογικούς τύπους, έχουν καταλήξει ότι δεν υπάρχει ένας μοναδικός συντελεστής που να συσχετίζει τις δυο αυτές παραμέτρους (D'ANDREA et al., 1964; DEERE & MILLER, 1966; BROCH & FRANKLIN, 1972; BIENIAWSKI, 1975; IRFAN & DEARMAN, 1978; HASSANI et al., 1980; READ et al., 1980; SINGH, 1981; GUNSALLUS & KULHAWY, 1984; ISRM, 1985; VALLEJO et al., 1989; CARGILL & SHAKOOR, 1990; GHOSH & SRIVASTAVA, 1991; KOUKIS & SABATAKAKIS, 1991; GRASSO et al., 1992; CHAU & WONG, 1996; SMITH, 1997; HAWKINS, 1998; ROMANA, 1999; KAHRAMAN, 2001; THURO & PLINNINGER, 2001; QUANE & RUSSEL, 2003; TSIAMBAOS & SABATAKAKIS, 2004; KAHRAMAN et al., 2005; FENER et al., 2005; BASU και AYDIN, 2006, κ.ά. **Πίνακας 9.34**). Μερικοί από τους παραπάνω επιστήμονες διατύπωσαν εξισώσεις υπερβολικής μορφής, αλλά η πλειοψηφία πρότεινε γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στις δυο αυτές μηχανικές παραμέτρους.

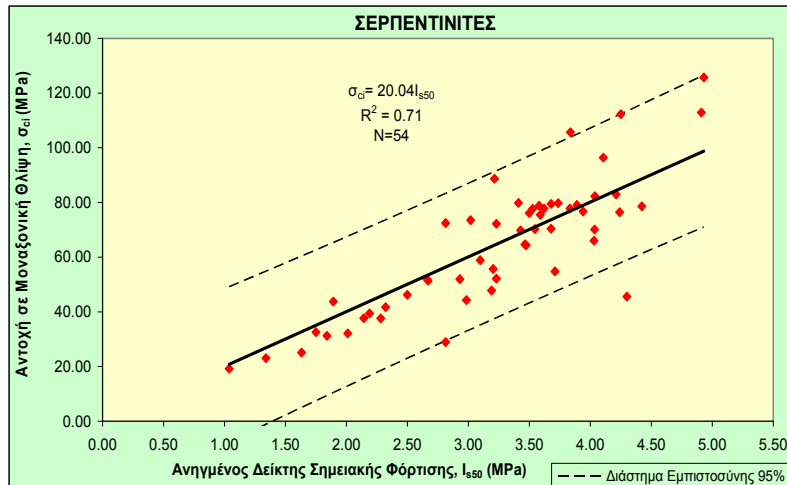
Πίνακας 9.34: Οι συγγραφείς, οι λιθολογικοί τύποι και οι εξισώσεις που πρότειναν για τη συσχέτιση της αντοχής σε μοναξονική θλίψη με τον ανηγμένο δείκτη σημειακής φόρτισης.

Συγγραφείς	Λιθολογικός Τύπος	Εξίσωση
D'ANDREA et al., 1964	Διάφορα Πετρώματα	$\sigma_{ci}=15.3I_{s50} +16.3$
DEERE & MILLER, 1966	Διάφορα Πετρώματα	$\sigma_{ci}=20.7I_{s50} +29.6$
BROCH & FRANKLIN, 1972	Διάφορα Πετρώματα	$\sigma_{ci}=24I_{s50}$
BIENIAWSKI, 1975	Διάφορα Πετρώματα	$\sigma_{ci}=23I_{s50}$
IRFAN & DEARMAN, 1978	Γρανίτες	$\sigma_{ci}=30I_{s50}$
HASSANI et al., 1980	Διάφορα Πετρώματα	$\sigma_{ci}=29I_{s50}$
READ et al., 1980	Ιζηματογενή Πετρώματα	$\sigma_{ci}=16I_{s50}$
	Βασάλτες	$\sigma_{ci}=20I_{s50}$
SINGH, 1981	Χαμηλής Αντοχής Πετρώματα	$\sigma_{ci}=18.7I_{s50} -13.2$
GUNSALLUS & KULHAWY, 1984	Διάφορα Πετρώματα	$\sigma_{ci}=16.5I_{s50} +51.0$

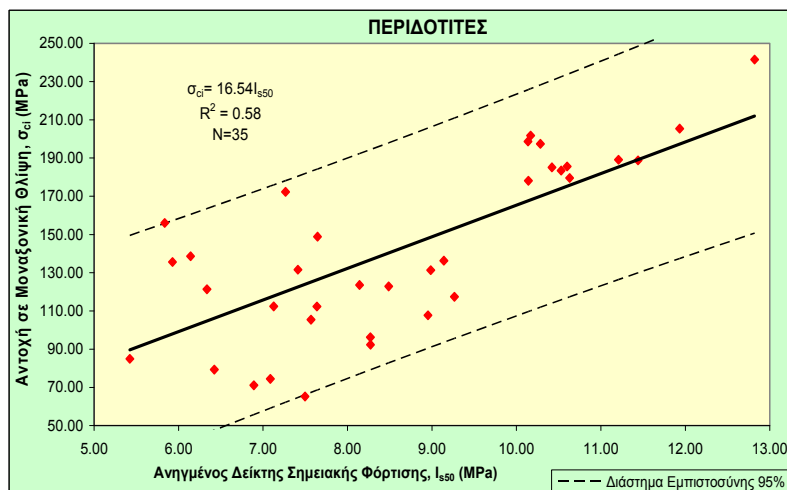
Συγγραφείς	Λιθολογικός Τύπος	Εξίσωση
ISRM, 1985	Διάφορα Πετρώματα	$\sigma_{ci}=20...25I_{s50}$
VALLEJO et al., 1989	Διάφορα Πετρώματα	$\sigma_{ci}=8.6...16I_{s50}$
CARGILL & SHAKOOR, 1990	Ψαμμίτες, Ανθρακικά Πετρώματα και Γνεύσιοι	$\sigma_{ci}=23I_{s50} + 13$
GHOSH & SRIVASTAVA, 1991	Διάφορα Πετρώματα	$\sigma_{ci}=16I_{s50}$
KOUKIS & SABATAKAKIS, 1991	Μαργαϊκοί και Δολομιτικοί Ασβεστόλιθοι	Από $\sigma_{ci}=5I_{s50}$ Έως $\sigma_{ci}=13I_{s50}$
GRASSO et al., 1992	Διάφορα Πετρώματα	$\sigma_{ci}=9.30I_{s50} + 20.04$ ΚΑΙ $\sigma_{ci}=25.67I_{s50}^{0.57}$
CHAU & WONG, 1996	Διάφορα Πετρώματα	$\sigma_{ci}=12.5I_{s50}$
SMITH, 1997	Διάφορα Πετρώματα	$\sigma_{ci}=14.3I_{s50}$
HAWKINS, 1998	Διάφορα Πετρώματα και Συνθήκες	$\sigma_{ci}=7...68I_{s50}$
ROMANA, 1999	Ιζηματογενή	$\sigma_{ci}=5...27I_{s50}$
KAHRAMAN, 2001	Ανθρακικά Πετρώματα	$\sigma_{ci}=23.62I_{s50} - 2.69$
	Τα Υπόλοιπα Πετρώματα	$\sigma_{ci}=8.41I_{s50} + 9.51$
THURO & PLINNINGER, 2001	Χαλαζίτες Φυλίτες	$\sigma_{ci}=19.9I_{s50}$
QUANE & RUSSEL, 2003	Υψηλής Αντοχής Πετρώματα	$\sigma_{ci}=24.4I_{s50}$
	Χαμηλής Αντοχής Πετρώματα	$\sigma_{ci}=3.86(I_{s50})^2 + 5.65I_{s50}$
TSIAMBAOS & SABATAKAKIS, 2004	Ιζηματογενή Πετρώματα	$\sigma_{ci}=23I_{s50}$
		$\sigma_{ci}=7.3I_{s50}^{1.71}$
FENER et al., 2005	Διάφορα Πετρώματα	$\sigma_{ci}=9.08I_{s50} + 39.32$
KAHRAMAN et al., 2005	Διάφορα Πετρώματα	$\sigma_{ci}=10.91I_{s50} + 27.41$
BASU και AYDIN, 2006	Γρανίτες	$\sigma_{ci}=18I_{s50}$

Στον Πίνακα 9.35 παρουσιάζονται οι εξισώσεις με τους μεγαλύτερους συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στις τιμές της αντοχής σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci}) και του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50}), τόσο για τους σερπεντινίτες όσο και για τους περιδοτίτες, που μελετήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής. Στους σερπεντινίτες, η καλύτερη συσχέτιση ($R^2=0.79$) φαίνεται να δίνεται από εξίσωση υπερβολικής μορφής (Πίν. 9.35), ενώ στους περιδοτίτες η καλύτερη συσχέτιση ($R^2=0.58$) είναι γραμμική της μορφής $y=ax+b$. Όμως προτείνουμε τελικά και για τους δυο λιθολογικούς τύπους τη

χρήση της συνάρτησης, με μορφή $y=ax$ (παρά το γεγονός ότι δίνει χαμηλότερους συντελεστές συσχέτισης, Πίν. 9.35, Εικ. 9.49, 9.50) διότι κατά τη γνώμη μας, αυτή περιγράφει με ρεαλιστικότερο τρόπο τη φυσική σημασία της σχέσης των αντοχών. Άλλωστε όπως προαναφέραμε και η πλειοψηφία των επιστημόνων προτείνουν γραμμική μορφή συσχέτισης. Από τις Εικόνες 9.49, 9.50 και τον Πίνακα 9.35 είναι εμφανές, πως στους σερπεντινίτες, οι προαναφερόμενες παράμετροι παρουσιάζουν πολύ καλύτερη συσχέτιση, από αυτήν που εμφανίζουν στους περιδοτίτες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως στους περιδοτίτες με ποσοστό σερπεντινιώσεως πάνω από 10%, η αντοχή σε μοναξονική θλίψη μπορεί να μειωθεί ως και το μισό της πραγματικής. Παρουσιάζουν δηλαδή μια ανισοτροπία (μη εμφανή δια γυμνού οφθαλμού) ως προς την αντοχή σε μοναξονική θλίψη. Οι εξισώσεις των γραμμών των διαστημάτων εμπιστοσύνης παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.36.



Εικόνα 9.49: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.50: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης για τους περιδοτίτες.

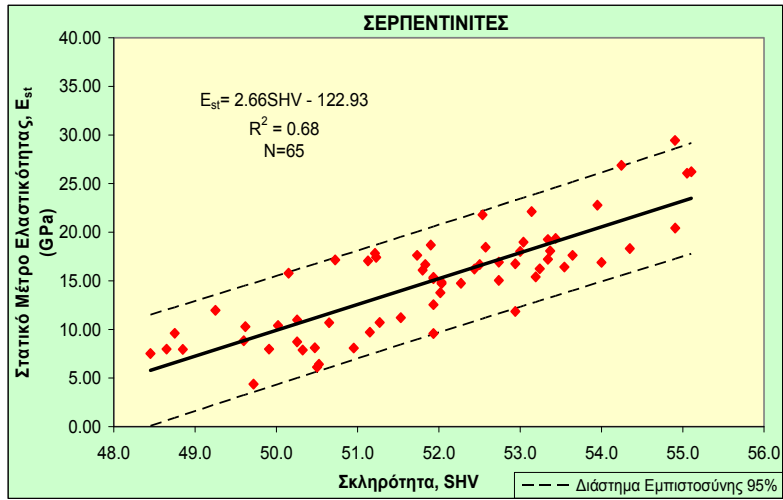
Πίνακας 9.35: Εξισώσεις παλινδρόμησης και συντελεστές προσδιορισμού (R^2) μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις Παλινδρόμησης	R^2
Σερπεντινίτες	Αντοχή Σε Μοναξονική Θλίψη και Ανηγμένος Δείκτης Σημειακής Φόρτισης	$\sigma_{ci}=16.36I_{s50}^{1.14}$	0.79
		$\sigma_{ci}=15.47\exp^{0.42I_{s50}}$	0.77
		$\sigma_{ci}=22.9I_{s50} - 9.95$	0.72
		$\sigma_{ci}=20.04I_{s50}$	0.71
Περιδοτίτες		$\sigma_{ci}=18.12I_{s50} - 14.26$	0.58
		$\sigma_{ci}=16.54I_{s50}$	0.57
		$\sigma_{ci}=146.72\ln(I_{s50}) - 170.56$	0.52
		$\sigma_{ci}=44.97\exp^{0.13I_{s50}}$	0.51

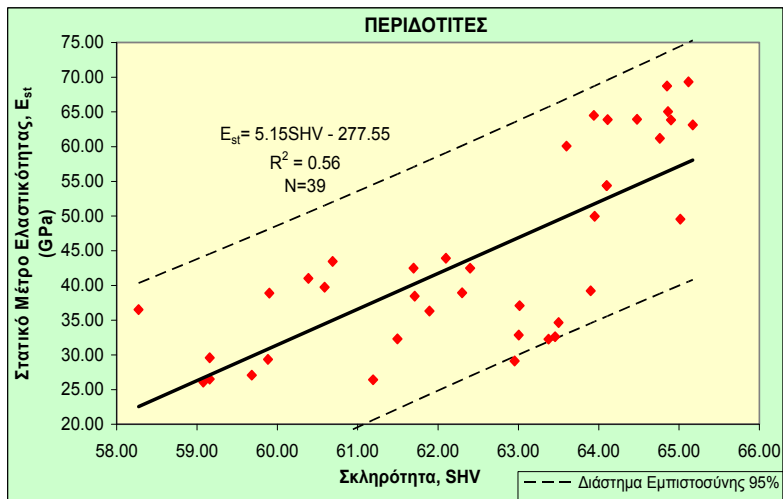
Πίνακας 9.36: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Αντοχή Σε Μοναξονική Θλίψη και	$\sigma_{ci}=20.04I_{s50}+27.55$	+95%
		$\sigma_{ci}=20.04I_{s50}-27.55$	-95%
Περιδοτίτες	Ανηγμένος Δείκτης Σημειακής Φόρτισης	$\sigma_{ci}=16.54I_{s50}+57.50$	+95%
		$\sigma_{ci}=16.54I_{s50}-57.50$	-95%

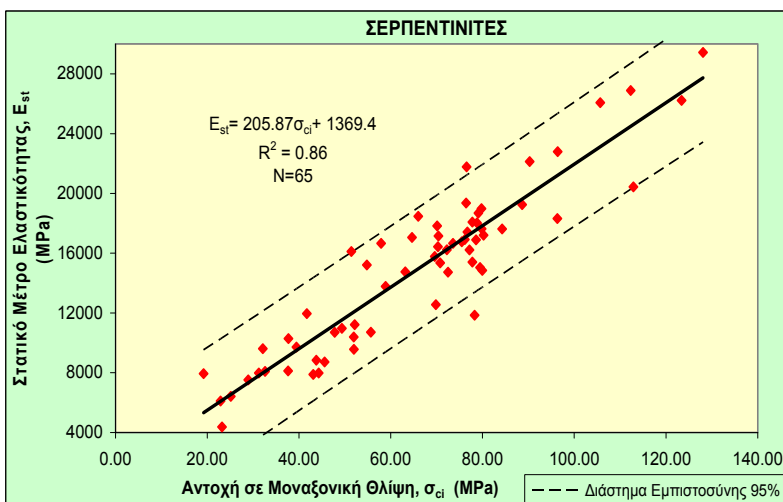
Εξετάζοντας επίσης τις σχέσεις της αντοχής σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci}) και της σκληρότητας με το σφυρί Schmidt (SHV) με το στατικό μέτρο ελαστικότητας (E_{st}), οι τάσεις που παρατηρούνται υποδεικνύουν ότι όσο αυξάνονται η SHV και η σ_{ci} τόσο αυξάνουν και οι τιμές του E_{st} και μάλιστα με γραμμικό τρόπο (Εικόνες 9.51, 9.52, 9.53, 9.54). Από τις εικόνες αυτές γίνεται αντιληπτό πως το στατικό μέτρο ελαστικότητας συσχετίζεται καλύτερα με την αντοχή σε μοναξονική θλίψη, παρά με τη σκληρότητα και πως οι σερπεντινίτες παρουσιάζουν υψηλότερο συντελεστή συσχέτισης από αυτό των περιδοτιτών. Στα προαναφερθέντα διαγράμματα έχουν προβληθεί και οι γραμμές των διαστημάτων εμπιστοσύνης 95%, οι εξισώσεις των οποίων παρουσιάζονται στους Πίνακες 9.37, 9.38.



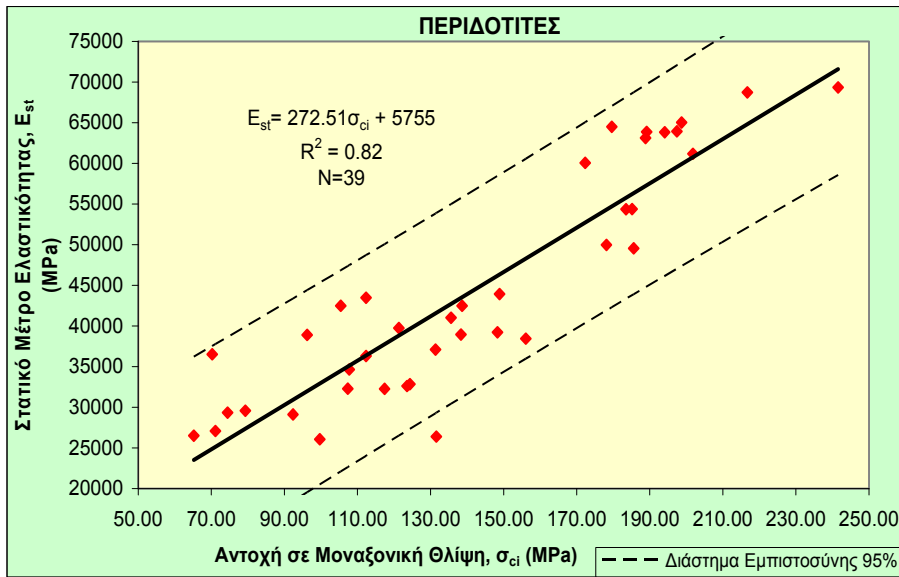
Εικόνα 9.51: Συσχέτιση μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και της σκληρότητας για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.52: Συσχέτιση μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και της σκληρότητας για τους περιδοτίτες.



Εικόνα 9.53: Συσχέτιση μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.54: Συσχέτιση μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη για τους περιδοτίτες.

Πίνακας 9.37: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και της σκληρότητας.

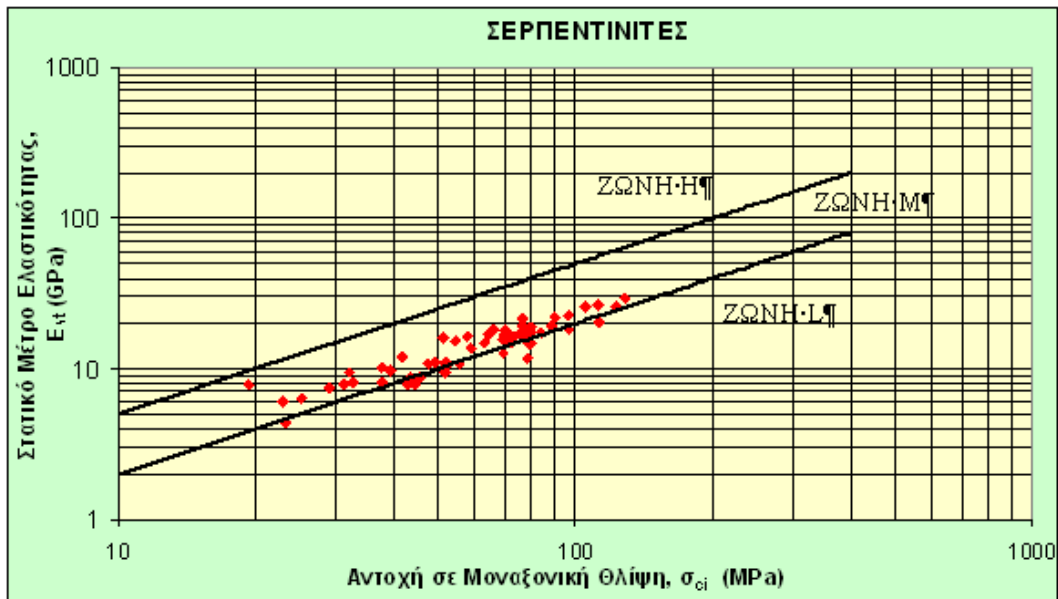
	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Στατικό Μέτρο Ελαστικότητας και Σκληρότητα	$E_{st}=2.66SHV-117.23$	+95%
		$E_{st}=2.66SHV-128.63$	-95%
$E_{st}=5.15SHV-257.52$		+95%	
$E_{st}=5.15SHV-297.58$		-95%	

Πίνακας 9.38: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ του στατικού μέτρου ελαστικότητας και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη.

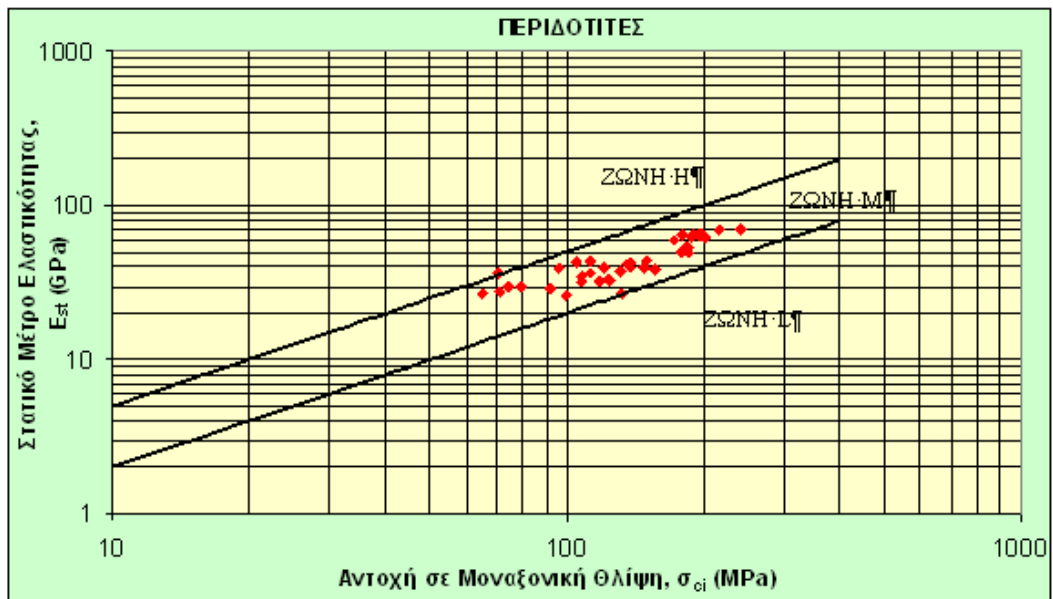
	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Στατικό Μέτρο Ελαστικότητας και Αντοχή Σε Μοναξονική Θλίψη	$E_{st}=205.87\sigma_{ci}+5478.3$	+95%
		$E_{st}=205.87\sigma_{ci}-2739.5$	-95%
$E_{st}=272.51\sigma_{ci}+17971$		+95%	
$E_{st}=272.51\sigma_{ci}-6461.5$		-95%	

Όπως προαναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2, οι DEERE & MILLER (1966) ταξινομούν τα ανέπαφα πετρώματα με βάση την **Εικόνα 2.7**, σε τρεις κατηγορίες (τη ζώνη υψηλού, μέσου και χαμηλού λόγου, $M_R=E_{st}/\sigma_{ci}$). Στις **Εικόνες 9.55, 9.56** έχουν προβληθεί οι τιμές

του στατικού μέτρου ελαστικότητας και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη, που προήλθαν από τη διδακτορική αυτή διατριβή πάνω στο σχήμα των DEERE & MILLER.



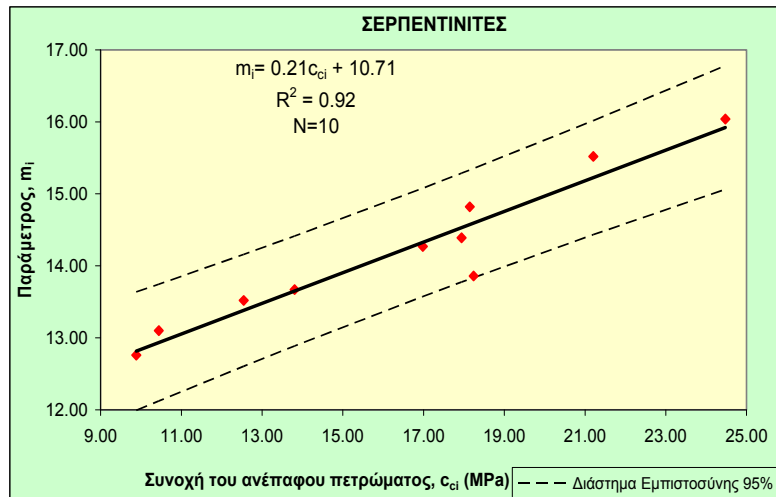
Εικόνα 9.55: Τοποθέτηση των αποτελεσμάτων που εξάγαμε από τη διατριβή αυτή στο διάγραμμα των DEERE & MILLER για τους σερπεντινίτες.



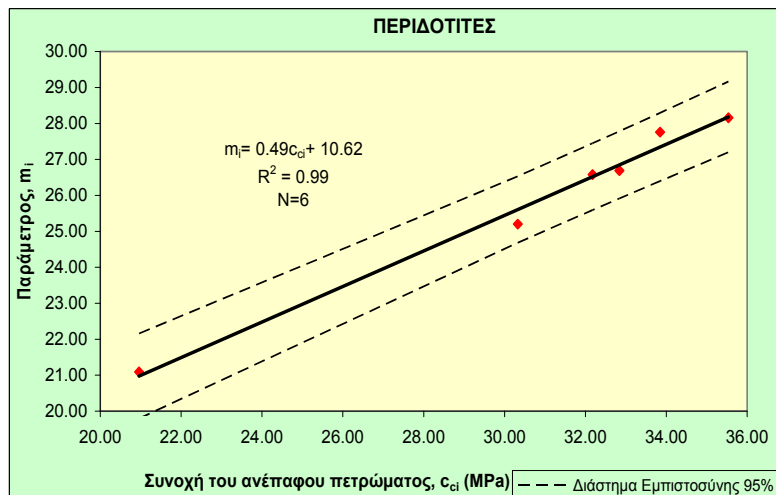
Εικόνα 9.56: Τοποθέτηση των αποτελεσμάτων που εξάγαμε από τη διατριβή αυτή στο διάγραμμα των DEERE & MILLER για τους περιδοτίτες.

Από τα παραπάνω διαγράμματα είναι εμφανές πως οι σερπεντινίτες, τοποθετούνται κυρίως στη Ζώνη M (Μέσου λόγου, με M_R από 200 έως 500) και ένα μικρό ποσοστό αυτών στη Ζώνη L (χαμηλού λόγου, με M_R < 200). Οι περιδοτίτες από την πλευρά τους τοποθετούνται αποκλειστικά και μόνο στη Ζώνη μέσου λόγου. Τα αποτελέσματα είναι αναμενόμενα και λογικά, αφού κατά τους DEERE & MILLER (1966) τα εκρηξιγενή πετρώματα τοποθετούνται στην Ζώνη μέσου λόγου.

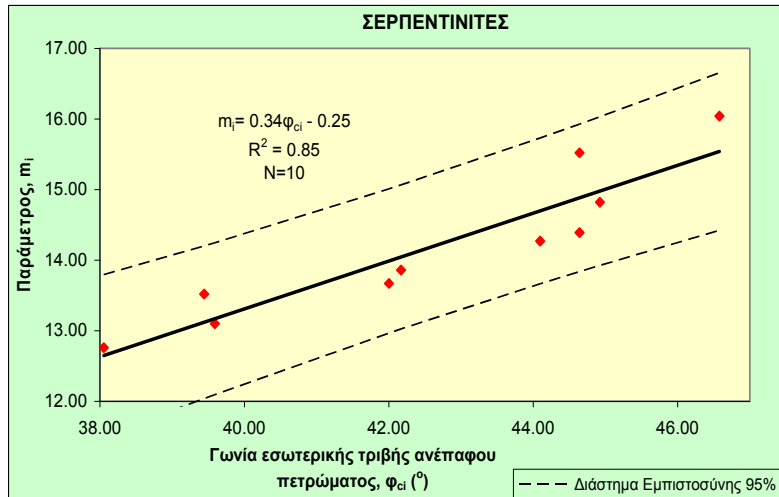
Τέλος, συσχετίστηκαν οι παράμετροι της διατμητικής αντοχής (c_{ci} , ϕ_{ci}) και η m_i μεταξύ τους, αλλά και με την αντοχή σε μοναξονική θλίψη. Στις **Εικόνες 9.57, 9.58, 9.59, 9.60, 9.61, 9.62, 9.63, 9.64, 9.65, 9.66** φαίνεται η τάση συσχέτισης μεταξύ των προαναφερθέντων παραμέτρων τόσο για τους σερπεντινίτες, όσο και για τους περιδοτίτες. Από τα διαγράμματα αυτά προκύπτει πως η παράμετρος m_i αυξάνει γραμμικά, όσο αυξάνει η αντοχή σε μοναξονική θλίψη, η συνοχή και η γωνία εσωτερικής τριβής του ανέπαφου πετρώματος. Γραμμική συσχέτιση παρατηρούμε επίσης και μεταξύ της συνοχής και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη, αλλά και μεταξύ της γωνίας εσωτερικής τριβής και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη. Όλα τα προαναφερθέντα σχήματα παρουσιάζουν πάρα πολύ υψηλούς συντελεστές συσχέτισης. Στους **Πίνακες 9.39, 9.40, 9.41, 9.42, 9.43** παρατίθενται οι εξισώσεις των γραμμών των διαστημάτων εμπιστοσύνης για όλα τα ζεύγη συσχετίσεων και για τους δύο λιθολογικούς σχηματισμούς.



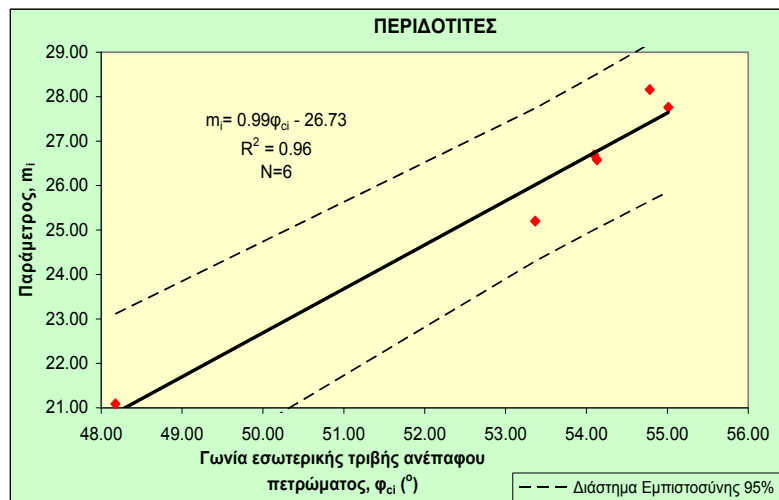
Εικόνα 9.57: Συσχέτιση μεταξύ της παραμέτρου m_i και της συνοχής του ανέπαφου πετρώματος για τους σερπεντινίτες.



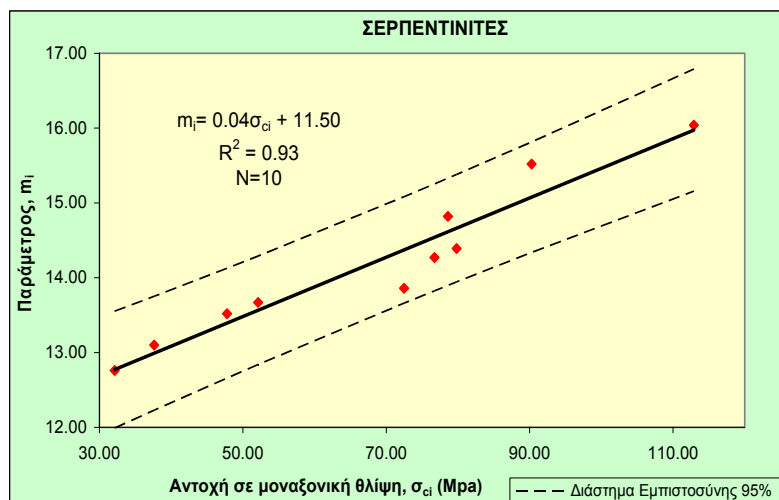
Εικόνα 9.58: Συσχέτιση μεταξύ της παραμέτρου m_i και της συνοχής του ανέπαφου πετρώματος για τους περιδοτίτες.



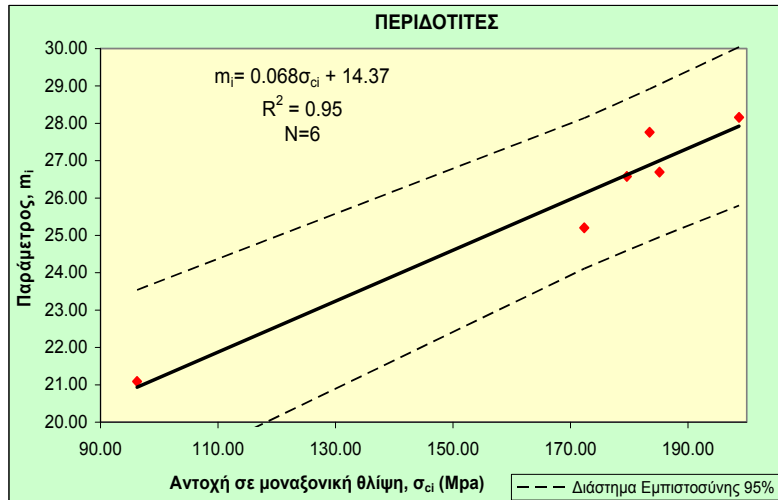
Εικόνα 9.59: Συσχέτιση μεταξύ της παραμέτρου m_i και της γωνίας εσωτερικής τριβής του ανέπαφου πετρώματος για τους σερπεντινίτες.



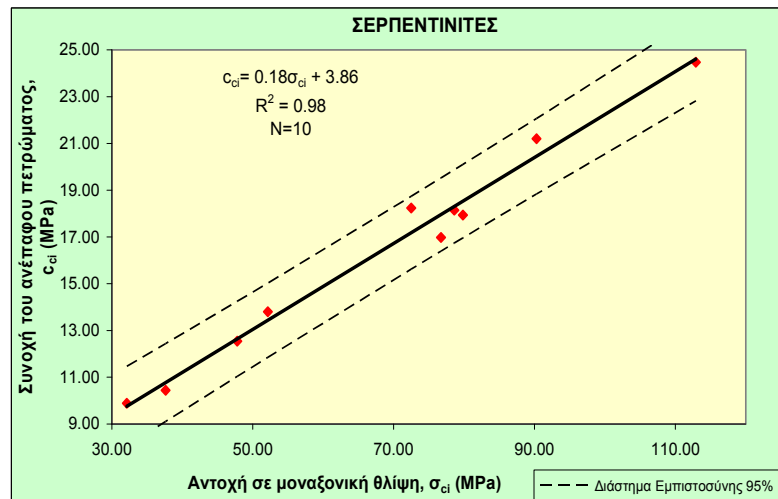
Εικόνα 9.60: Συσχέτιση μεταξύ της παραμέτρου m_i και της γωνίας εσωτερικής τριβής του ανέπαφου πετρώματος για τους περιδοτίτες.



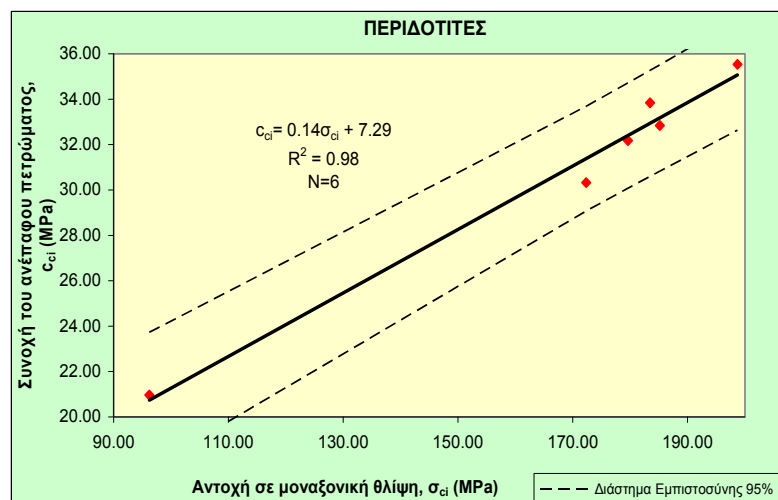
Εικόνα 9.61: Συσχέτιση μεταξύ της παραμέτρου m_i και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη για τους σερπεντινίτες.



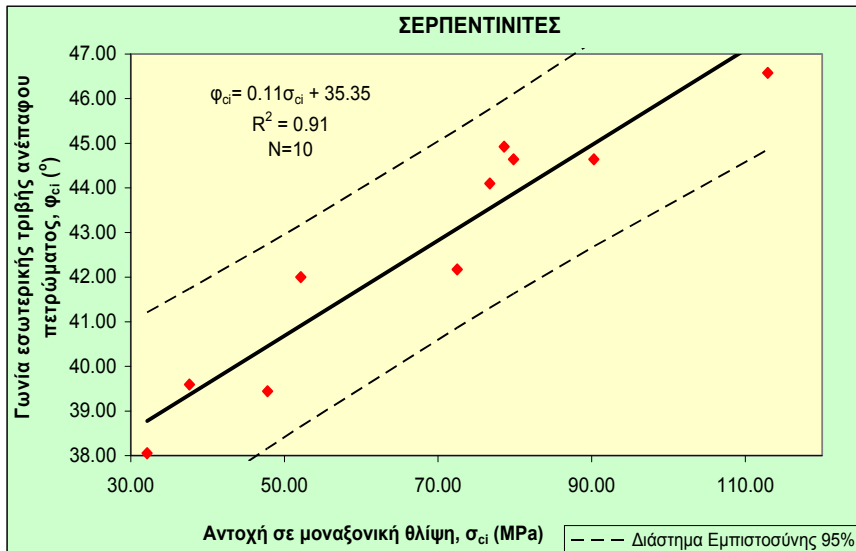
Εικόνα 9.62: Συσχέτιση μεταξύ της παραμέτρου m_i και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη για τους περιδοτίτες.



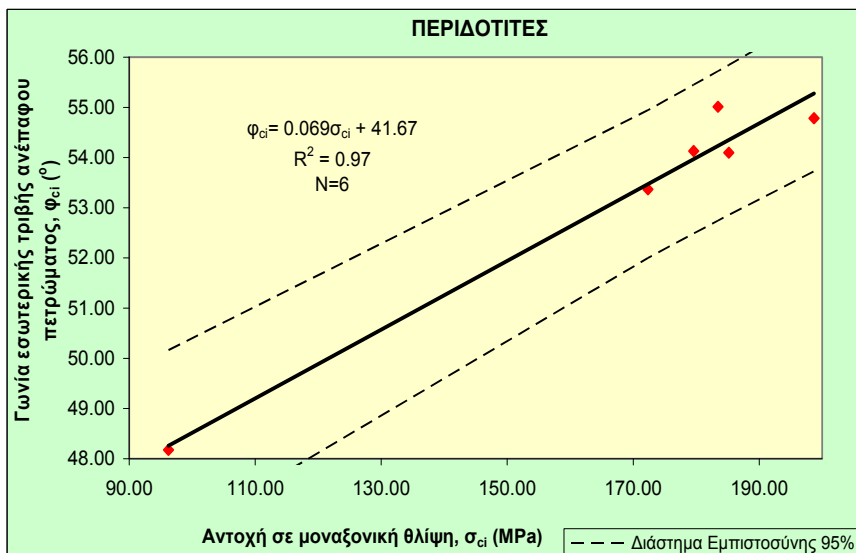
Εικόνα 9.63: Συσχέτιση μεταξύ της συνοχής του ανέπαφου πετρώματος και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.64: Συσχέτιση μεταξύ της συνοχής του ανέπαφου πετρώματος και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη για τους περιδοτίτες.



Εικόνα 9.65: Συσχέτιση μεταξύ της γωνίας εσωτερικής τριβής του ανέπαφου πετρώματος και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.66: Συσχέτιση μεταξύ της γωνίας εσωτερικής τριβής του ανέπαφου πετρώματος και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη για τους περιδοτίτες.

Πίνακας 9.39: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της παραμέτρου m_i και της συνοχής του ανέπαφου πετρώματος.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Παράμετρος m_i και Συνοχή	$m_i = 0.21c_{ci} + 11.48$	+95%
		$m_i = 0.21c_{ci} + 9.94$	-95%
$m_i = 0.49c_{ci} + 12.11$		+95%	
$m_i = 0.49c_{ci} + 9.13$		-95%	
Περιδοτίτες			

Πίνακας 9.40: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της παραμέτρου m_i και της γωνίας εσωτερικής τριβής του ανέπαφου πετρώματος.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Παράμετρος m_i και Γωνία Εσωτερικής Τριβής	$m_i=0.34\varphi_{ci} + 1.03$	+95%
		$m_i=0.34\varphi_{ci} - 1.53$	-95%
Περιδοτίτες		$m_i=0.99\varphi_{ci} - 21.07$	+95%
		$m_i=0.99\varphi_{ci} - 32.40$	-95%

Πίνακας 9.41: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της παραμέτρου m_i και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Παράμετρος m_i και Αντοχή Σε Μοναξονική Θλίψη	$m_i=0.040\sigma_{ci} + 12.23$	+95%
		$m_i=0.040\sigma_{ci} + 10.77$	-95%
Περιδοτίτες		$m_i=0.068\sigma_{ci} + 17.49$	+95%
		$m_i=0.068\sigma_{ci} + 11.26$	-95%

Πίνακας 9.42: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της συνοχής του ανέπαφου πετρώματος και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Συνοχή και Αντοχή Σε Μοναξονική Θλίψη	$c_{ci}=0.18\sigma_{ci} + 5.46$	+95%
		$c_{ci}=0.18\sigma_{ci} + 2.25$	-95%
Περιδοτίτες		$c_{ci}=0.14\sigma_{ci} + 10.86$	+95%
		$c_{ci}=0.14\sigma_{ci} + 3.71$	-95%

Πίνακας 9.43: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της γωνίας εσωτερικής τριβής του ανέπαφου πετρώματος και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Γωνία Εσωτερικής Τριβής και Αντοχή Σε Μοναξονική Θλίψη	$\varphi_{ci}=0.11\sigma_{ci} + 37.63$	+95%
		$\varphi_{ci}=0.11\sigma_{ci} + 33.07$	-95%
Περιδοτίτες		$\varphi_{ci}=0.069\sigma_{ci} + 43.95$	+95%
		$\varphi_{ci}=0.069\sigma_{ci} + 39.39$	-95%

9.2.6 Συσχέτιση των πετρογραφικών χαρακτηριστικών με τα φυσικά, δυναμικά και μηχανικά χαρακτηριστικά

Είναι ευρέως γνωστό πως τα φυσικοδυναμικομηχανικά χαρακτηριστικά εξαρτώνται αφενός από τα γενετικά και τα επιγενετικά χαρακτηριστικά (τη χημική και ορυκτολογική σύσταση, τον ιστό, την υφή, το πορώδες και τις ασυνέχειες) και αφετέρου από έναν αριθμό εξωτερικών παραγόντων, οι κυριότεροι των οποίων είναι:

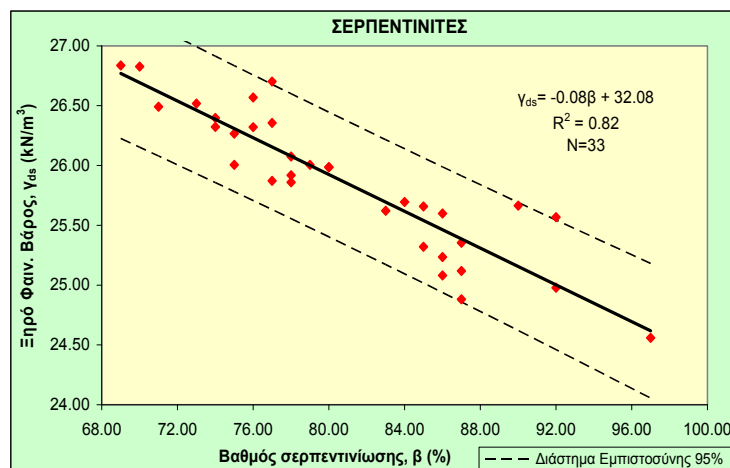
- Οι φυσικές και χημικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η διαβρωτική φύση του περιβάλλοντος κ.ά.
- Η πίεση κάτω από την οποία θα μετρηθούν τα δυναμικά χαρακτηριστικά. Με την αύξηση της πίεσης έχουμε και αύξηση των ταχυτήτων των κυμάτων, αφού μειώνεται το πορώδες.
- Ο τύπος και η κατανομή των εξωτερικών φορτίων (μοναξονική ή τριαξονική φόρτιση, μοναξονική ή σημειακή φόρτιση, θλιπτική ή εφελκυστική κ.λ.π).
- Ο τρόπος επιβολής των φορτίων (σταθερή φόρτιση, ομαλή ή κατά βαθμίδα αύξηση φορτίσεως).

Όμως, κατά τη διεξαγωγή των δοκιμών στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής, οι φυσικοχημικές συνθήκες, η πίεση κάτω από την οποία μετρήθηκαν τα δυναμικά χαρακτηριστικά καθώς και ο τρόπος επιβολής των φορτίων για τον προσδιορισμό των μηχανικών παραμέτρων διατηρήθηκαν σταθερά. Επίσης, όπως προαναφέραμε, τα δοκίμια που εξετάσαμε δεν παρουσίαζαν εξαλλοιώσεις (μόνο σερπεντινίωση), ασυνέχειες (δια γυμνού οφθαλμού) και επομένως από μακροσκοπικής απόψεως θεωρήθηκαν ομοιογενή και ισότροπα. Επομένως, το μεγάλο εύρος τιμών, που παρατηρήθηκε σε κάποια από τα χαρακτηριστικά (κυρίως στα μηχανικά), οφείλονται κυρίως στις εγγενείς ιδιότητες τους, στα ορυκτολογικά και ιστολογικά χαρακτηριστικά τους.

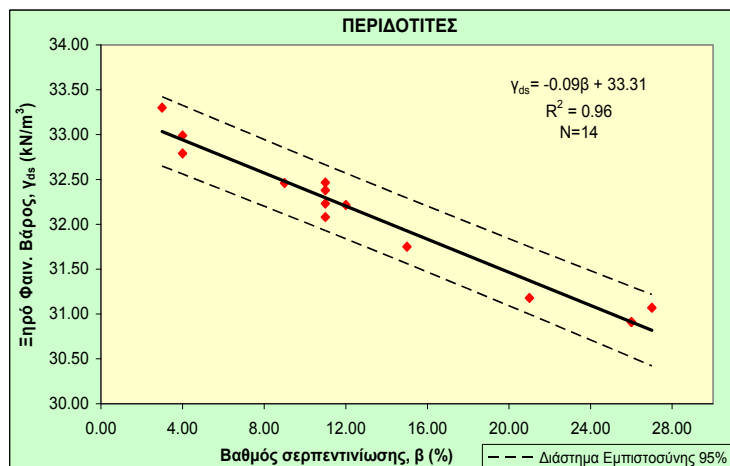
Όπως ήδη έχει περιγραφεί διεξοδικά στα Κεφάλαια 3 και 7, στα οφιολιθικά πετρώματα, και συγκεκριμένα στα υπερβασικά που εξετάζουμε στη διατριβή αυτή, έχει επιδράσει η σερπεντινίωση (χαρακτηριστική εξαλλοίωση τους) με αποτέλεσμα την ποικιλότητα μεταβολή των ορυκτοπετρογραφικών τους χαρακτηριστικών. Τα πετρώματα αυτά παρουσιάζουν δηλαδή, σημαντικές διαφοροποιήσεις στην ορυκτολογική και ιστολογική τους σύσταση, οι οποίες οδηγούν τελικά σε μεγάλες μεταβολές των φυσικών δυναμικών και μηχανικών ιδιοτήτων.

Έτσι καταβλήθηκε προσπάθεια να προσδιοριστούν οι συσχετίσεις ανάμεσα στο βαθμό σερπεντινίωσης και τις φυσικές, δυναμικές και μηχανικές ιδιότητες των υπό μελέτη πετρωμάτων.

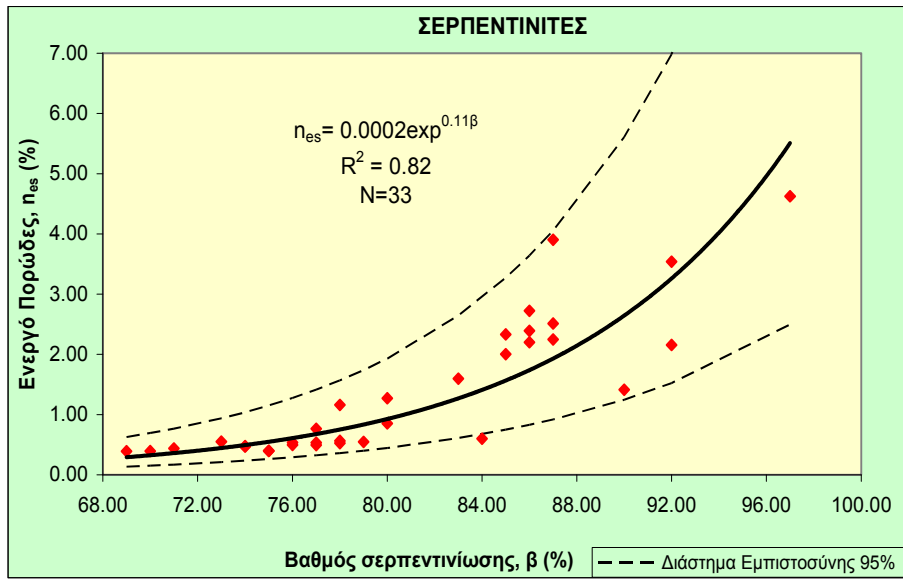
Στις **Εικόνες 9.67, 9.68, 9.69, 9.70** παρουσιάζονται οι συσχετίσεις του βαθμού σερπεντινίωσης (β) με τα φυσικά χαρακτηριστικά. Από τα διαγράμματα αυτά είναι προφανές πως το ξηρό φαινόμενο βάρος μειώνεται γραμμικά, με την αύξηση του β , ενώ το ενεργό πορώδες αυξάνει (εκθετικά στους σερπεντινίτες, γραμμικά στους περιδοτίτες) με την αύξηση του βαθμού σερπεντινίωσης. Επειδή οι σχέσεις αυτές χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές R^2 θεωρούνται κατάλληλες για την εκτίμηση των φυσικών χαρακτηριστικών με βάση το β . Επίσης, από τα προαναφερόμενα διαγράμματα προκύπτει πως οι περιδοτίτες παρουσιάζουν μεγαλύτερους συντελεστές συσχέτισης από τους σερπεντινίτες. Στους **Πίνακες 9.44, 9.45** παρατίθενται οι εξισώσεις των γραμμών των διαστημάτων εμπιστοσύνης 95 %, που προβάλλονται στα διαγράμματα.



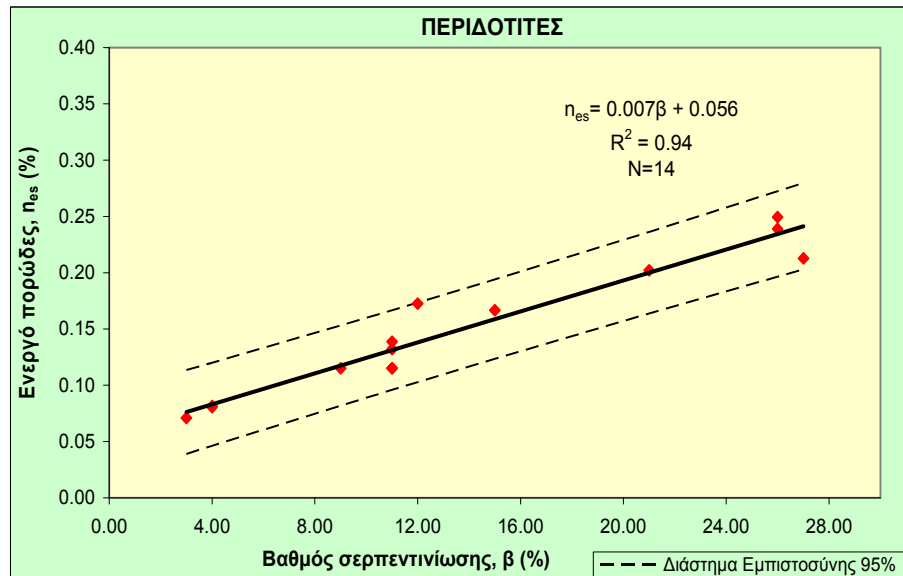
Εικόνα 9.67: Συσχέτιση μεταξύ του ξηρού φαινόμενου βάρους και του βαθμού σερπεντινίωσης για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.68: Συσχέτιση μεταξύ του ξηρού φαινόμενου βάρους και του βαθμού σερπεντινίωσης για τους περιδοτίτες.



Εικόνα 9.69: Συσχέτιση μεταξύ του ενεργού πορώδους και του βαθμού σερπεντινίωσης για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.70: Συσχέτιση μεταξύ του ενεργού πορώδους και του βαθμού σερπεντινίωσης για τους περιδοτίτες.

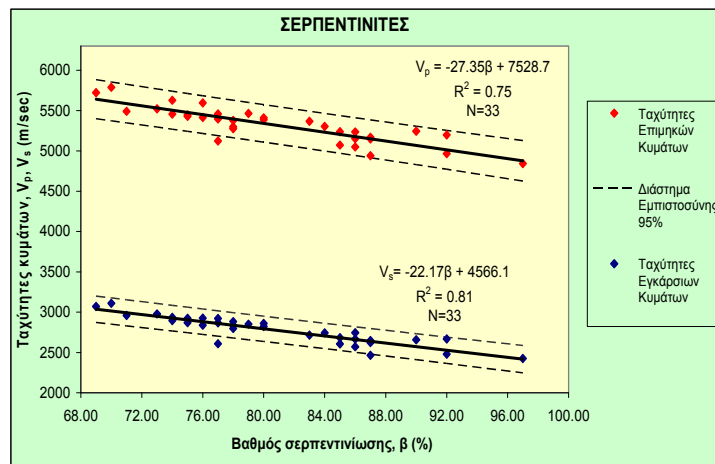
Πίνακας 9.44: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ του ξηρού φαινόμενου βάρους και του βαθμού σερπεντινίωσης.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Ξηρό Φαινόμενο Βάρος και Βαθμός Σερπεντινίωσης	$\gamma_{ds} = -0.08\beta + 32.58$	+95%
		$\gamma_{ds} = -0.08\beta + 31.58$	-95%
$\gamma_{ds} = -0.09\beta + 33.67$		+95%	
$\gamma_{ds} = -0.09\beta + 32.95$		-95%	
Περιδοτίτες			

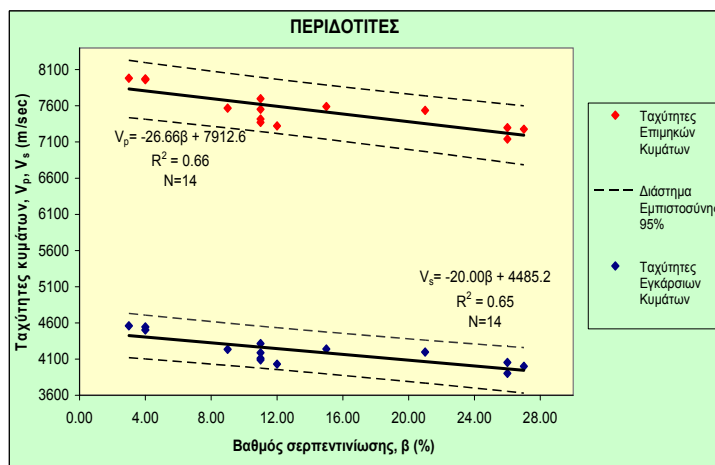
Πίνακας 9.45: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ του ενεργού πορώδους και του βαθμού σερπεντινίωσης.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Ενεργό Πορώδες και Βαθμός Σερπεντινίωσης	$n_{es}=0.0004\exp^{0.11\beta}$	+95%
		$n_{es}=0.0001\exp^{0.11\beta}$	-95%
$n_{es}=0.007\beta+0.092$		+95%	
$n_{es}=0.007\beta+0.020$		-95%	

Συσχετίζοντας εν συνεχεία τις ταχύτητες των κυμάτων (V_p , V_s) με το βαθμό σερπεντινίωσης (β) παρατηρούμε πως τόσο για τους σερπεντινίτες, όσο και τους περιδοτίτες οι συναρτήσεις που καλύτερα αποδίδουν τη σχέση των χαρακτηριστικών είναι ευθείες της μορφής $y=ax+b$ (Εικόνες 9.71, 9.72).



Εικόνα 9.71: Συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων των κυμάτων και του βαθμού σερπεντινίωσης για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.72: Συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων των κυμάτων και του βαθμού σερπεντινίωσης για τους περιδοτίτες.

Οι σερπεντινίτες παρουσιάζουν υψηλότερη συσχέτιση των παραμέτρων από ότι οι περιδοτίτες. Στα προαναφερθέντα διαγράμματα προβάλλονται και τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95%, των οποίων οι εξισώσεις παρατίθενται στον **Πίνακα 9.46**.

Πίνακας 9.46: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ των ταχυτήτων των κυμάτων και του βαθμού σερπεντινίωσης.

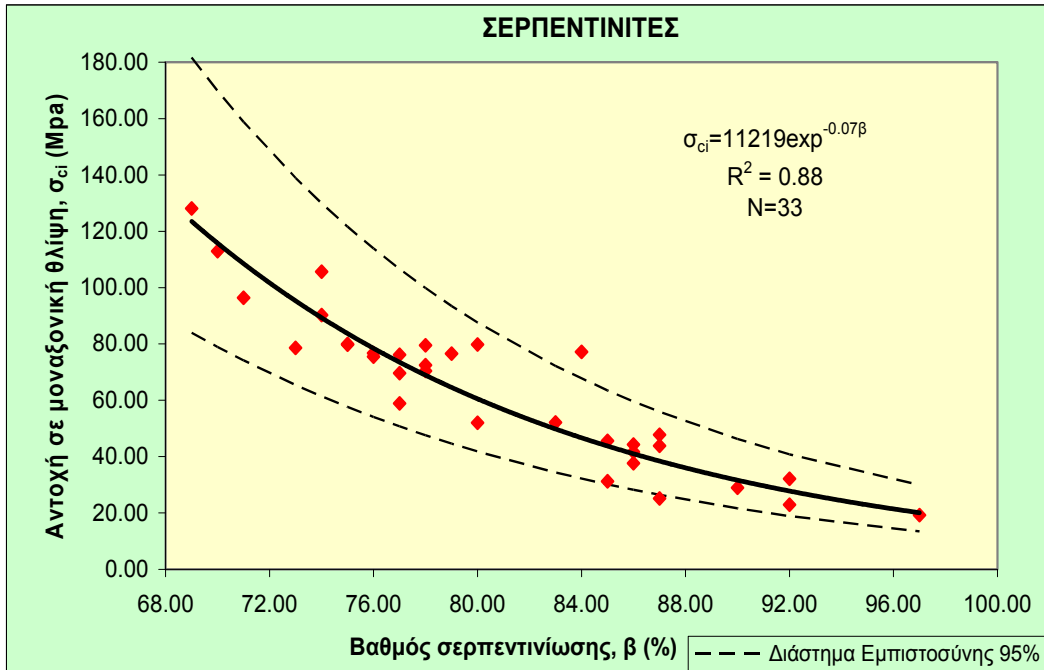
	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Ταχύτητες Κυμάτων και Βαθμός Σερπεντινίωσης	$V_p = -27.35\beta + 7749.1$	+95%
		$V_p = -27.35\beta + 7308.2$	-95%
		$V_s = -22.17\beta + 4715.1$	+95%
		$V_s = -22.17\beta + 4417.0$	-95%
Περιδοτίτες	Σερπεντινίωσης	$V_p = -26.66\beta + 8289.0$	+95%
		$V_p = -26.66\beta + 7536.2$	-95%
		$V_s = -20.00\beta + 4775.7$	+95%
		$V_s = -20.00\beta + 4194.7$	-95%

Οι παραπάνω συσχετίσεις έρχονται σε συμφωνία με όσα πρότειναν οι CHRISTENSEN (1966a, 2004) και ESCARTIN et al. (2001) για υπερβασικά πετρώματα. Σύμφωνα με αυτούς το ξηρό φαινόμενο βάρος και οι ταχύτητες των κυμάτων μειώνονται γραμμικά με την αύξηση της σερπεντινίωσης. Επίσης, ο CHRISTENSEN (2004) διαπίστωσε πως ο λόγος V_p/V_s αυξάνει (από 1.78 έως 2.21) με την αύξηση της σερπεντινίωσης.

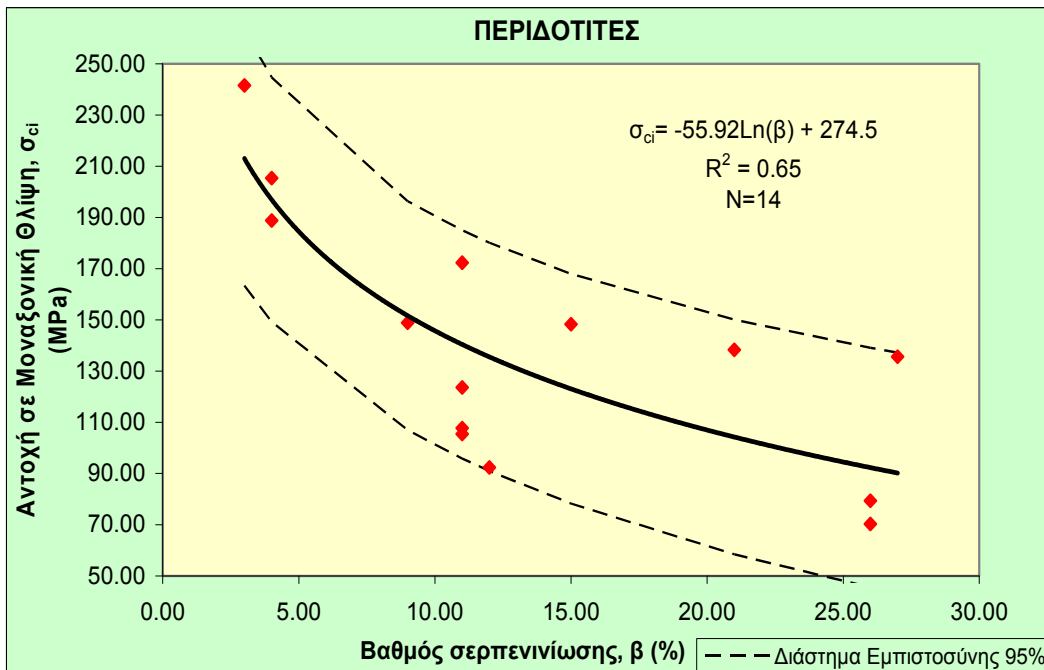
Οι ROBERTSON (1964), BRACE et al. (1966), COATES & PARSONS (1966), RAO & RAMANA (1974), KOYMANTAKHIS (1978), SHIMADA et al. (1983), KILIC (1995), PAVENTI et al. (1996), ESCARTIN et al. (1997a), KILIC et al. (1998), ESCARTIN et al. (2001), GLAWE & LINARD (2003), BRIDEAU, et al. (2007) μελέτησαν τη σχέση μεταξύ της σερπεντινίωσης και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και πρότειναν διάφορες εξισώσεις. Κοινό συμπέρασμα ήταν πως η αντοχή των υπερβασικών πετρωμάτων είναι μη γραμμική σε σχέση με τη σερπεντινίωση, αντίθετα από τις φυσικές και τις δυναμικές ιδιότητες.

Στη διατριβή αυτή, μια προσπάθεια να συσχετιστεί η αντοχή σε μοναξονική θλίψη με το βαθμό σερπεντινίωσης, κατέληξε στις εξισώσεις που προβάλλονται στις **Εικόνες 9.73, 9.74**. Από τα διαγράμματα αυτά παρατηρούμε πως η καλύτερη γραμμή συσχέτισης ανάμεσα στην σ_{ci} και το β είναι εκθετικής μορφής στους σερπεντινίτες και λογαριθμικής

στους περιδοτίτες. Οι σερπεντινίτες παρουσιάζουν πολύ υψηλότερη συσχέτιση ($R^2=0.88$) από ότι οι περιδοτίτες ($R^2=0.65$) κάτι που πιθανώς εξηγείται, όπως προαναφέραμε (Κεφάλαιο 3), από το μεγαλύτερο βαθμό ανισοτροπίας που παρουσιάζουν οι περιδοτίτες σε σχέση με τους σερπεντινίτες. Στα διαγράμματα επίσης προβάλλονται και τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95%, οι εξισώσεις των οποίων παρατίθενται στον Πίνακα 9.47.



Εικόνα 9.73: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του βαθμού σερπεντινίωσης για τους σερπεντινίτες.



Εικόνα 9.74: Συσχέτιση μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του βαθμού σερπεντινίωσης για τους περιδοτίτες.

Πίνακας 9.47: Εξισώσεις των διαστημάτων εμπιστοσύνης μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και του βαθμού σερπεντινίωσης.

	Παράμετροι Συσχέτισης	Εξισώσεις	Διαστήματα Εμπιστοσύνης
Σερπεντινίτες	Αντοχή Σε Μοναξονική Θλίψη	$\sigma_{ci}=15785\exp^{-0.07\beta}$	+95%
		$\sigma_{ci}=7974\exp^{-0.07\beta}$	-95%
Περιδοτίτες	και Βαθμός Σερπεντινίωσης	$\sigma_{ci}=-55.92\ln(\beta)+322.85$	+95%
		$\sigma_{ci}=-55.92\ln(\beta)+226.15$	-95%

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

10.1 Εισαγωγή

Μετά την ολοκλήρωση του προσδιορισμού των χαρακτηριστικών του ακέραίου πετρώματος καταβλήθηκε προσπάθεια να εκτιμηθούν τα χαρακτηριστικά της βραχομάζας. Άλλωστε, αυτό που εν τέλει αποζητάμε είναι η συμπεριφορά της βραχομάζας, καθόσον μέσα ή πάνω σε αυτή θα κατασκευαστεί ένα τεχνικό έργο. Τα χαρακτηριστικά της βραχομάζας εκτιμούνται με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος Roclab αρκεί να εισάγουμε τις τιμές του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής (GSI), του παράγοντα διατάραξης (D), της αντοχής σε μοναξονική θλίψη του ακέραίου πετρώματος (σ_{ci}), της παραμέτρου m_i (προσδιορισμένη από την τριαξονική θλίψη) και του στατικού μέτρου ελαστικότητας του ακέραίου πετρώματος (E_{st}). Η σ_{ci} , η m_i και το E_{st} υπολογίζονται, όπως προαναφέραμε, από τις εργαστηριακές δοκιμές, ενώ ο δείκτης GSI και ο παράγοντας D προσδιορίζονται από τις υπαίθριες παρατηρήσεις.

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής καταβλήθηκε προσπάθεια να διασαφηνιστούν τα χαρακτηριστικά της βραχομάζας σε κάθε μία από τις 16 θέσεις που έγινε δοκιμή τριαξονικής θλίψης (αφού μόνο στις θέσεις αυτές προσδιορίστηκε η παράμετρος m_i). Έπειτα από συστηματικές παρατηρήσεις υπαίθρου υπό την εποπτεία του επιβλέποντος Καθηγητή, κ. Γ. Μιγκίρου εκτιμήθηκαν οι τιμές του GSI και του D (Πίν. 10.1, αναλυτικά Παράρτημα Δ). Σύμφωνα με τους HOEK & MARINOS (2000) είναι πιο σωστό να δίνεται το εύρος τιμών για το GSI, παρά μια συγκεκριμένη τιμή. Έτσι στους σερπεντινίτες, που μελετήθηκαν, ο GSI κυμαίνεται από 31 έως 58 (Εικ. 10.1), ενώ στους περιδοτίτες παρουσιάζει μια διακύμανση κυρίως από 53 έως 75 (Εικ. 10.2). Ο παράγοντας D κυμαίνεται από 0.7 έως και 1. Οι GLAWE & LINARD (2003) πρότειναν τιμές GSI από 40 έως και 60 έπειτα από τη μελέτη σερπεντινιτών για την κατασκευή ενός φράγματος στην Ινδονησία. Σύμφωνα δε με τους MARINOS et al. (2006) οι τιμές του GSI κυμαίνονται από 80 έως και 90 στους συμπαγείς σκληρούς περιδοτίτες που συλλέχθηκαν από μεγάλα βάθη και μειώνονται πολύ με την αύξηση των ασυνεχειών. Φτάνει δε την τιμή 10 έως 20 στους σχιστώδεις-αποσαθρωμένους σερπεντινίτες. Τέλος οι BRIDEAU et al. (2007) εξετάζοντας



μα κατολίσθηση στην πόλη Dawson, εκτίμησαν τις τιμές του GSI για τα υπερβασικά πετρώματα από 20 έως 70. Από τα παραπάνω είναι προφανές, πως οι τιμές του GSI που προέκυψαν από την εργασία αυτή συμφωνούν σε γενικές γραμμές με αυτές που προτείνονται από τη διεθνή βιβλιογραφία.

Πίνακας 10.1: Οι τιμές του δείκτη GSI και του παράγοντα D για τις 16 θέσεις.

Θέσεις	Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής, GSI	Παράγοντας Διατάραξης, D
ΚΠ06	63-67	0.7
ΚΠ07	71-75	0.7
ΚΣ08	44-48	0.7
ΚΣ10	45-49	0.7
ΚΣ11	54-58	0.7
ΟΠ01	53-57	0.7
ΟΠ07	61-65	0.7
ΟΠ14	67-71	0.7
ΟΠ19	60-64	0.7
ΟΣ02	31-35	1.0
ΟΣ08	35-39	1.0
ΟΣ09	39-43	0.7
ΟΣ25	43-47	0.7
ΟΣ30	38-42	0.7
ΟΣ34	41-45	0.7
ΟΣ36	50-54	0.7





Οι τιμές του GSI, του παράγοντα D, της σ_{ci} , της παραμέτρου m_i και του E_{st} εισάγονται στο πρόγραμμα Roclab (**Εικ. 10.3**) και υπολογίζονται οι παραμέτροι m_b , s και a της βραχομάζας (**Εικ. 10.3**) καθώς και η τιμή της σ_{3max} , δηλαδή η μέγιστη τιμή της σ_3 για την οποία υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του κριτηρίου θραύσης Hoek and Brown και του κριτηρίου Mohr – Coulomb (**Εικ. 10.3**). Στη συνέχεια το πρόγραμμα σχεδιάζει αυτόματα τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων, των ορθών και των διατμητικών τάσεων και προβάλλει την περιβάλλουσα θραύσης αρκεί να του παρέχουμε στοιχεία για τη θέση δειγματοληψίας, αν δηλαδή πρόκειται για δείγμα που πάρθηκε από σήραγγα, πρηνές ή την επιφάνεια του εδάφους. Τέλος, πραγματοποιείται υπολογισμός των ισοδύναμων παραμέτρων αντοχής Mohr - Coulomb (συνοχή c και γωνία εσωτερικής τριβής ϕ) με βάση τις εφαρμογές του κριτηρίου θραύσης Hoek and Brown, προσδιορίζονται η αντοχή σε μοναξονική θλίψη (σ_c), η γενικευμένη ή συνολική αντοχή (σ_{cm}), η εφελκυστική αντοχή (σ_{tm}) και το μέτρο παραμόρφωσης της βραχομάζας (E_{rm}) (**Εικ. 10.3**).

10. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

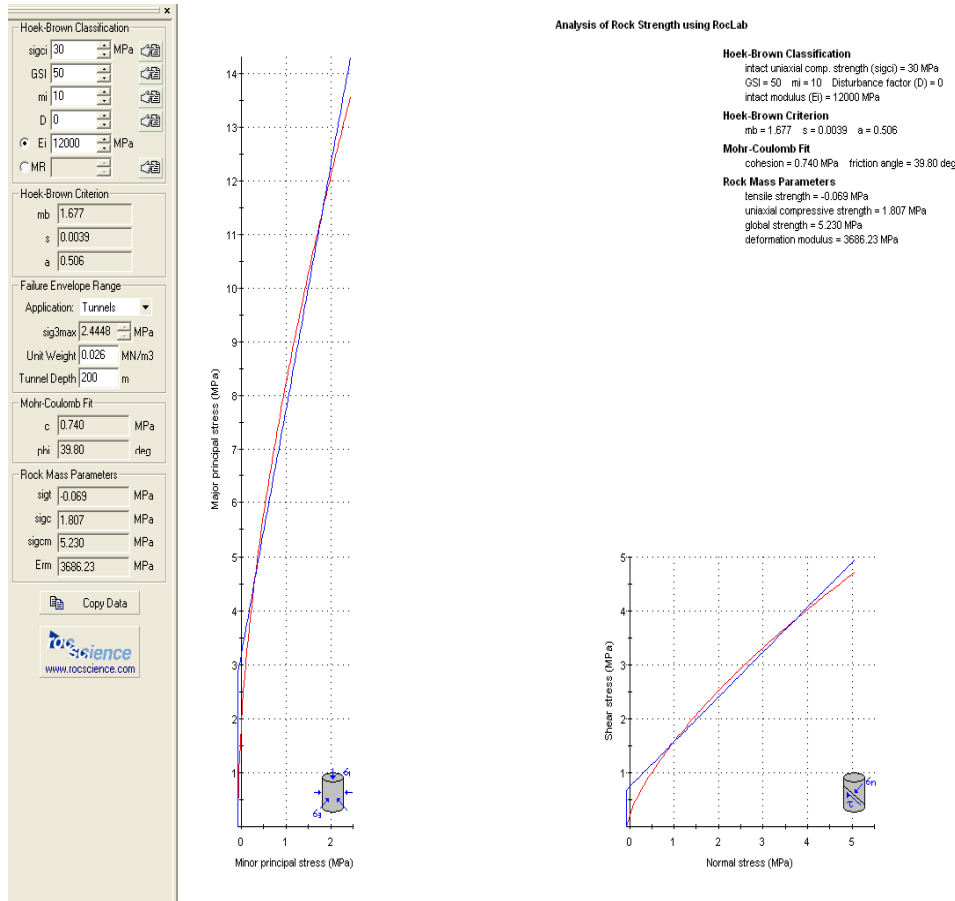
ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ GSI ΣΕ ΡΩΓΜΑΤΩΜΕΝΕΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΕΣ (Hoek and Marinos, 2000)		ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
<p>Βασίζομενοι στην εμφάνιση της βραχομάζας (περιγραφή της δομής και της κατάστασης της επιφάνειας των ασυνεχειών) εκτιμάται η τιμή του GSI. Δεν απαιτείται ακριβής προσδιορισμός αφού αυτό δεν είναι πάντα δυνατό. Η επilogή εύρους τιμών π.χ. από 33 ως 37 είναι πιο ρεαλιστική από μια συγκεκριμένη τιμή π.χ. GSI=35. Σημειώνεται ότι ο δείκτης χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου η βραχομάζα συμπεριφέρεται ιστροπικά και δεν υπάρχει εκλεκτικός προσανατολισμός αστάθειας (ολίσθηση κατά μήκος συγκεκριμένων ασυνεχειών). Στην περίπτωση όπου οι ασυνέχειες έχουν εμμόνη στην ανάπτυξή τους και δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με το μέτωπο εκσκαφής, τότε αυτές είναι που ελέγχουν την συμπεριφορά της βραχομάζας. Η διατμητική αντοχή των ασυνεχειών μειώνεται με την παρουσία νερού στα πετρώματα ή υλικού πλήρωσης ασυνεχειών που είναι επιδεκτικά σε εξασθένηση από μεταβολές της περιεχόμενης υγρασίας. Έτσι, σε περίπτωση μέτριας έως πολύ πτωχής κατάστασης στην επιφάνεια των ασυνεχειών η παρουσία νερού πρέπει να οδηγεί σε μετακίνηση δεξιότερα στον Πίνακα. Η πίεση του νερού λαμβάνεται υπόψη ανεξαρτήτως των ανωτέρω με την ανάλυση με ενεργές τάσεις.</p>		ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες μη αποσθρωμμένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρά αποσθρωμμένες και οξειδωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Ομαλές, μέτρια αποσθρωμμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες	ΠΤΩΧΗ Με ολισθηρές επιφάνειες, πολύ αποσθρωμμένες με συμπαγείς υμένες ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα πετρώματος	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Ολισθηρές επιφάνειες, πολύ αποσθρωμμένες, με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης.
ΔΟΜΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →				
	ΑΡΡΗΚΤΗ Η ΣΥΜΠΑΓΗΣ (INTACT OR MASSIVE) – Άρρηκτο πέτρωμα ή άστρωτος, συμπαγής βράχος με λίγες και αραιές ασυνέχειες	80			N/A	N/A
	ΤΕΜΑΧΙΣΜΕΝΗ (BLOCKY) – Αδιατάρακτη βραχομάζα με πολύ καλό αλληλοκλειδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών.	80	70			
	ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΙΣΜΕΝΗ (VERY BLOCKY) – Μερικώς διαταραγμένη βραχομάζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια με σχετικά καλό αλληλοκλειδωμα που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών.		80	50		
	ΚΕΡΜΑΤΙΣΜΕΝΗ/ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ/ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ (BLOCKY/DISTURBED/SEAMY) – Πτυχωμένη βραχομάζα με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμόνη στρώσης ή σχιστότητας.			40	30	
	ΑΠΟΔΟΜΗΜΕΝΗ (DISINTEGRATED) – Ισχυρά κερματισμένη βραχομάζα (αποδι-οργανωμένη) με πτωχό αλληλοκλειδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστρωγγυλωμένων τεμαχίων.				20	
	ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΗ (LAMINATED/SHEARED) – Φυλλώδης ή έντονα σχιστοποιημένη και τεκτονικά διατμημένη ασθενής βραχομάζα. Απουσία γωνιωδών ή άλλων τεμαχίων λόγω της πυκνής σχιστότητας ή των επιφανειών δίκτυσης.					10
	ΜΕΙΟΥΜΕΝΟ ΑΛΛΗΛΟΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ ↓					
		N/A	N/A			

Εικόνα 10.1: Διακόμανση των τιμών του GSI για τους σερπεντινίτες.

10. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

<p>ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ GSI ΣΕ ΡΩΓΜΑΤΩΜΕΝΕΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΕΣ (Hoek and Marinos, 2000)</p> <p>Βασιζόμενοι στην εμφάνιση της βραχομάζας (περιγραφή της δομής και της κατάστασης της επιφάνειας των ασυνεχειών) εκτιμάται η τιμή του GSI. Δεν απαιτείται ακριβής προσδιορισμός αφού αυτό δεν είναι πάντα δυνατό. Η επilogή εύρους τιμών π.χ. από 33 ως 37 είναι πιο ρεαλιστική από μια συγκεκριμένη τιμή π.χ. GSI=35. Σημειώνεται ότι ο δείκτης χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου η βραχομάζα συμπεριφέρεται ιστροτροπικά και δεν υπάρχει εκλεκτικός προσανατολισμός αστάθειας (ολίσθηση κατά μήκος συγκεκριμένων ασυνεχειών). Στην περίπτωση όπου οι ασυνεχείες έχουν εμμονή στην ανάπτυξή τους και δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με το μέτωπο εκσκαφής, τότε αυτές είναι που ελέγχουν την συμπεριφορά της βραχομάζας. Η διατμητική αντοχή των ασυνεχειών μειώνεται με την παρουσία νερού στα πετρώματα ή υλικού πλήρωσης ασυνεχειών που είναι επιδεκτικά σε εξασθένιση από μεταβολές της περιεχόμενης υγρασίας. Έτσι, σε περίπτωση μέτριας έως πολύ πτωχής κατάστασης στην επιφάνεια των ασυνεχειών η παρουσία νερού πρέπει να οδηγεί σε μετακίνηση δεξιότερα στον Πίνακα. Η πίεση του νερού λαμβάνεται υπόψη ανεξαρτήτως των ανωτέρω με την ανάλυση με ενεργές τάσεις.</p>		<p>ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ</p>		<p>ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες μη αποσθρωμμένες επιφάνειες</p>	<p>ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρά αποσθρωμμένες και οξειδωμένες επιφάνειες</p>	<p>ΜΕΤΡΙΑ Ομαλές, μέτρια αποσθρωμμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες</p>	<p>ΠΤΩΧΗ Με ολισθηρές επιφάνειες, πολύ αποσθρωμμένες με συμπαγείς υμένες ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα πετρώματος</p>	<p>ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Ολισθηρές επιφάνειες, πολύ αποσθρωμμένες, με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης.</p>				
<p>ΔΟΜΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ</p>		<p>ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →</p>										
	<p>ΑΡΡΗΚΤΗ Η ΣΥΜΠΑΓΗΣ (INTACT OR MASSIVE) – Άρρηκτο πέτρωμα ή άστρωτος, συμπαγής βράχος με λίγες και αραιές ασυνεχείες</p>	<p>ΜΕΙΟΥΜΕΝΟ ΑΛΛΗΛΟΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΩΝ</p>	90	80	70	60	50	40	30	20	10	
	<p>ΤΕΜΑΧΙΣΜΕΝΗ (BLOCKY) – Αδιατάρακτη βραχομάζα με πολύ καλό αλληλοκλειδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών.</p>		80	70	60	50	40	30	20	10	N/A	N/A
	<p>ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΙΣΜΕΝΗ (VERY BLOCKY) – Μερικώς διαταραγμένη βραχομάζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια με σχετικά καλό αλληλοκλειδωμα που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών.</p>		70	60	50	40	30	20	10	N/A	N/A	N/A
	<p>ΚΕΡΜΑΤΙΣΜΕΝΗ/ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ/ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ (BLOCKY/DISTURBED/SEAMY) – Πτυχωμένη βραχομάζα με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας.</p>		60	50	40	30	20	10	N/A	N/A	N/A	N/A
	<p>ΑΠΟΔΟΜΗΜΕΝΗ (DISINTEGRATED) – Ισχυρά κερματισμένη βραχομάζα (αποδιοργανωμένη) με πτωχό αλληλοκλειδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστρογγυλωμένων τεμαχίων.</p>		50	40	30	20	10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	<p>ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΗ (LAMINATED/SHEARED) – Φυλλώδης ή έντονα σχιστοποιημένη και τεκτονικά διατμημένη ασθενής βραχομάζα. Απουσία γωνιωδών ή άλλων τεμαχίων λόγω της πυκνής σχιστότητας ή των επιφανειών διάτμησης.</p>		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Εικόνα 10.2: Διακύμανση των τιμών του GSI για τους περιδοτίτες.



Εικόνα 10.3: Το περιβάλλον εργασίας του προγράμματος Roclab- εισαγωγή τιμών - αποτελέσματα- διαγράμματα.

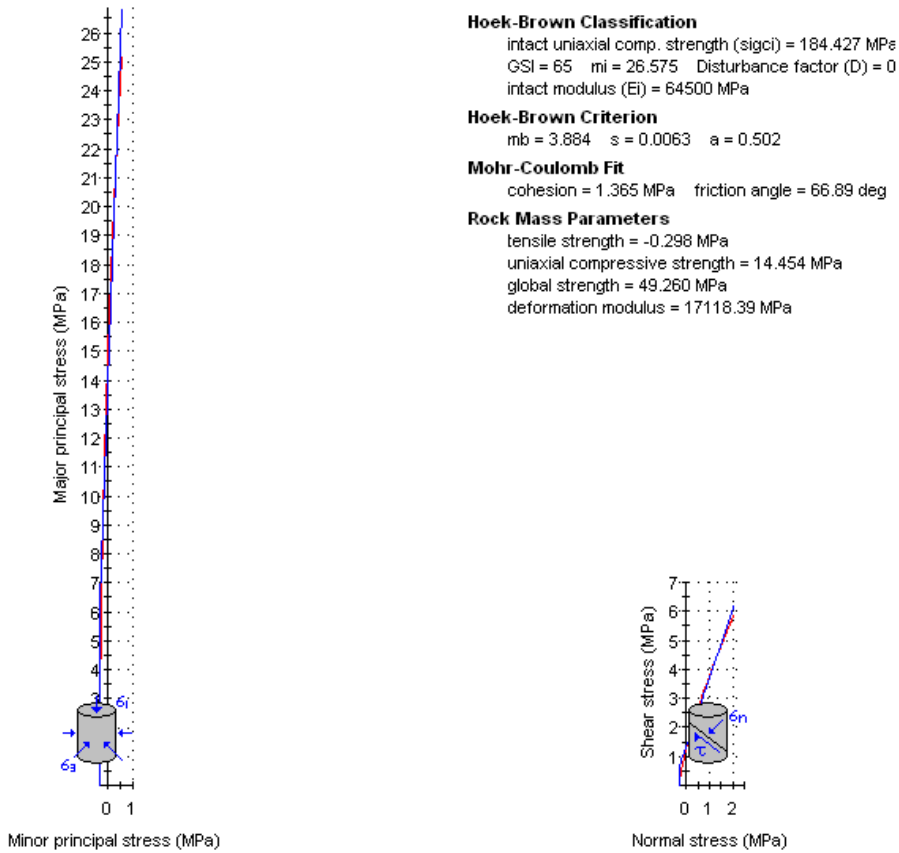
10.2 Εκτίμηση της αντοχής και παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή οι παράμετροι της αντοχής και της παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας εκτιμήθηκαν συνολικά σε 16 θέσεις δειγματοληψίας. Οι 11 από αυτές ήταν στην περιοχή της δυτικής Όθρυος και οι 5 στην περιοχή του Καλλιδρόμου. Στον **Πίνακα 10.2** παρουσιάζονται οι 16 θέσεις και οι παράμετροι (σ_{ci} , GSI, m_i , D και E_{st}), που εισήχθησαν στο πρόγραμμα Roclab για κάθε θέση έρευνας. Στις **Εικόνες 10.4-10.19** παρουσιάζονται: α) οι τιμές των παραμέτρων της βραχομάζας, β) τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων και γ) τα διαγράμματα μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων, όπως προέκυψαν από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων και των παρατηρήσεων της έρευνας δια μέσου του Roclab, για εφαρμογή σε πρανές (αναλυτικά στο Παράρτημα Δ). Στα διαγράμματα αυτά προβάλλονται η περιβάλλουσα θραύσης του κριτηρίου Hoek and Brown (κόκκινο χρώμα) και η περιβάλλουσα θραύσης του Mohr – Coulomb (μπλε χρώμα). Τέλος, στον **Πίνακα 10.3** παρατίθενται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις προαναφερθείσες εφαρμογές.

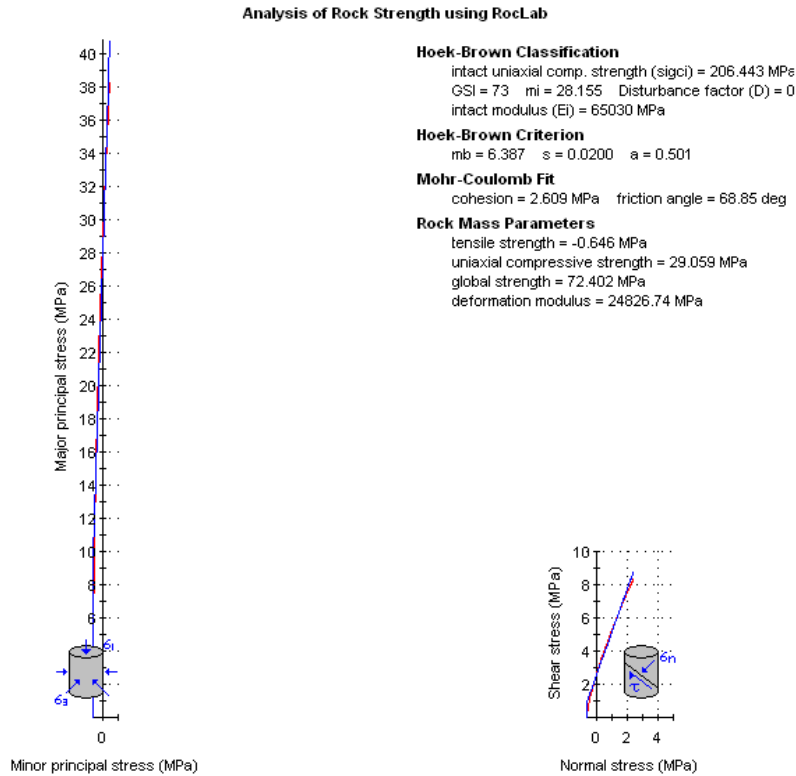
Πίνακας 10.2: Παράμετροι που εισήχθησαν στο πρόγραμμα Roclab για την εκτίμηση των παραμέτρων της βραχομάζας.

Θέσεις	Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής, GSI	Αντοχή σε Μοναξονική Θλίψη, σ_{ci} (MPa)	Παράγοντας Διατάραξης, D	Παράμετρος, m_i	Μέτρο Ελαστικότητας Ακέραιου Πετρώματος, E_{st} (GPa)
ΚΠ06	65	184.43	0.7	26.58	64.50
ΚΠ07	73	206.44	0.7	28.16	65.03
ΚΣ08	46	73.97	0.7	14.27	17.42
ΚΣ10	47	79.95	0.7	14.39	17.63
ΚΣ11	56	115.37	0.7	16.04	20.44
ΟΠ01	55	95.89	0.7	21.09	38.90
ΟΠ07	63	170.27	0.7	25.20	60.07
ΟΠ14	69	200.41	0.7	27.76	54.37
ΟΠ19	62	187.52	0.7	26.69	54.38
ΟΣ02	33	33.55	1.0	12.76	9.61
ΟΣ08	37	37.96	1.0	13.10	8.12
ΟΣ09	41	45.00	0.7	13.52	10.70
ΟΣ25	45	81.01	0.7	14.82	16.90
ΟΣ30	40	55.47	0.7	13.67	11.22
ΟΣ34	43	73.90	0.7	13.86	14.73
ΟΣ36	52	92.32	0.7	15.52	22.13

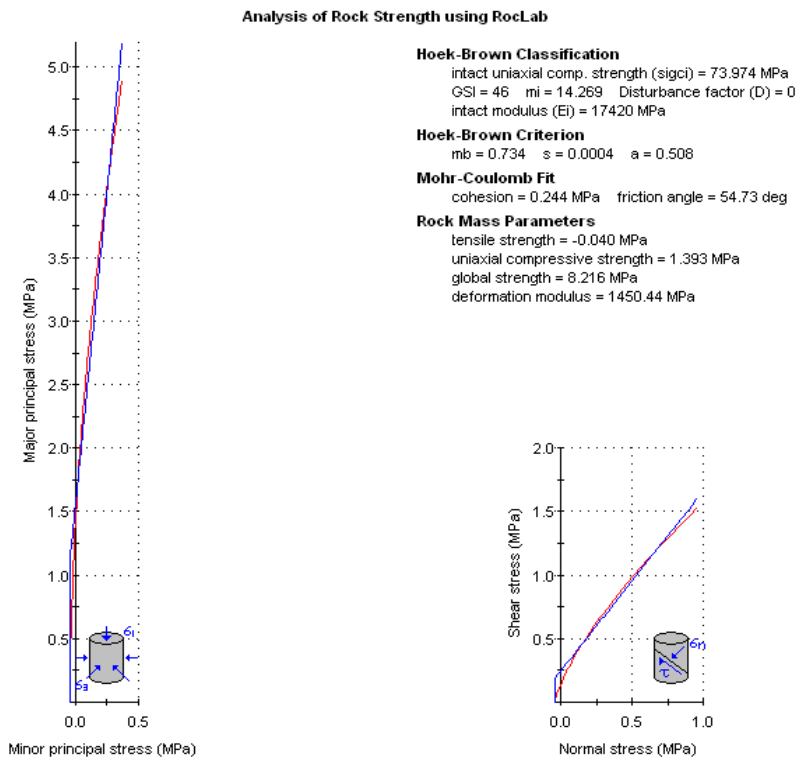
Analysis of Rock Strength using RocLab



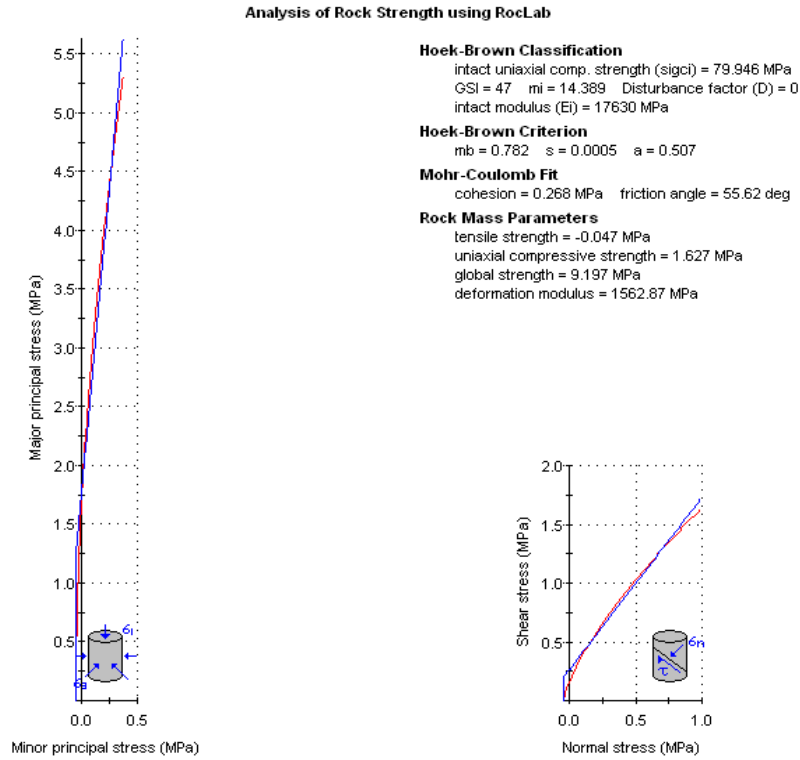
Εικόνα 10.4: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΚΠ06.



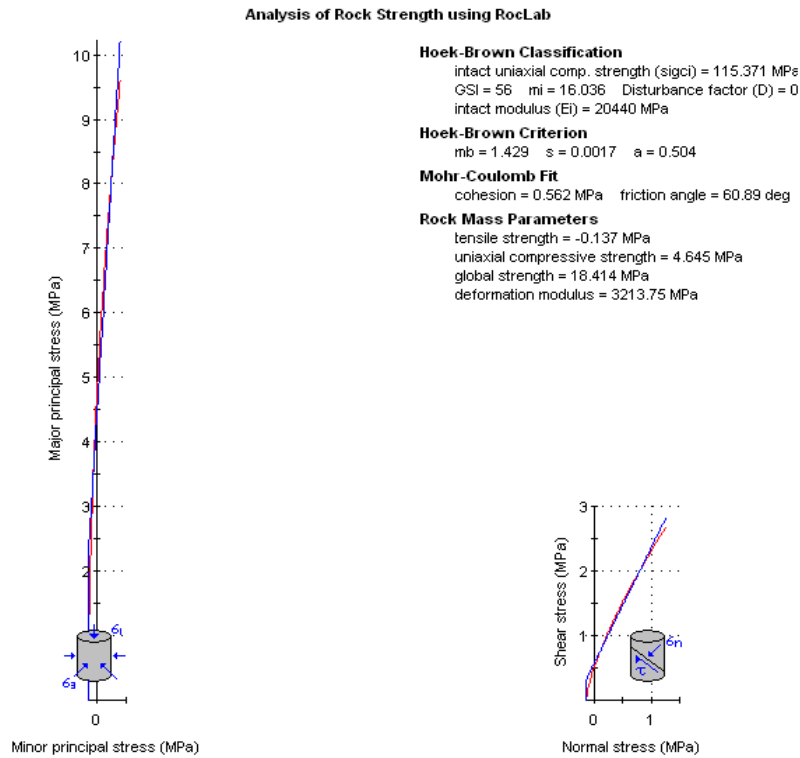
Εικόνα 10.5: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΚΙΙ07.



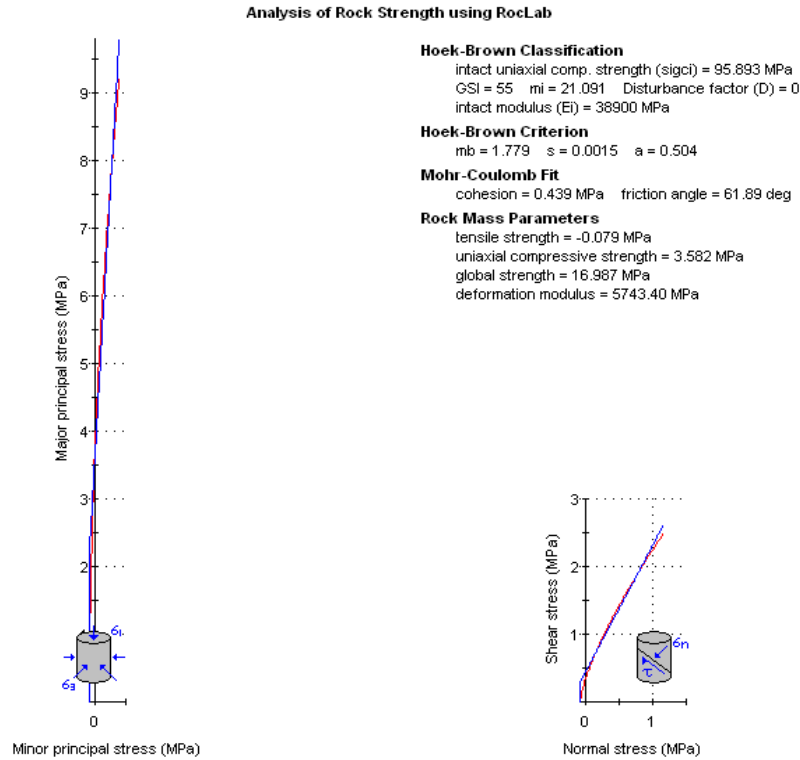
Εικόνα 10.6: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΚΣ08.



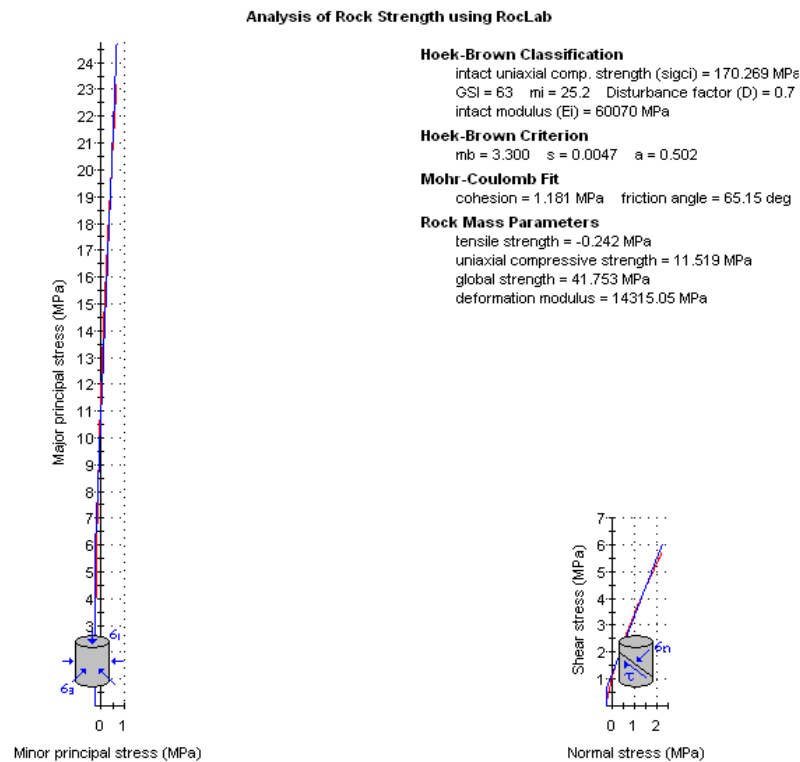
Εικόνα 10.7: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΚΣ10.



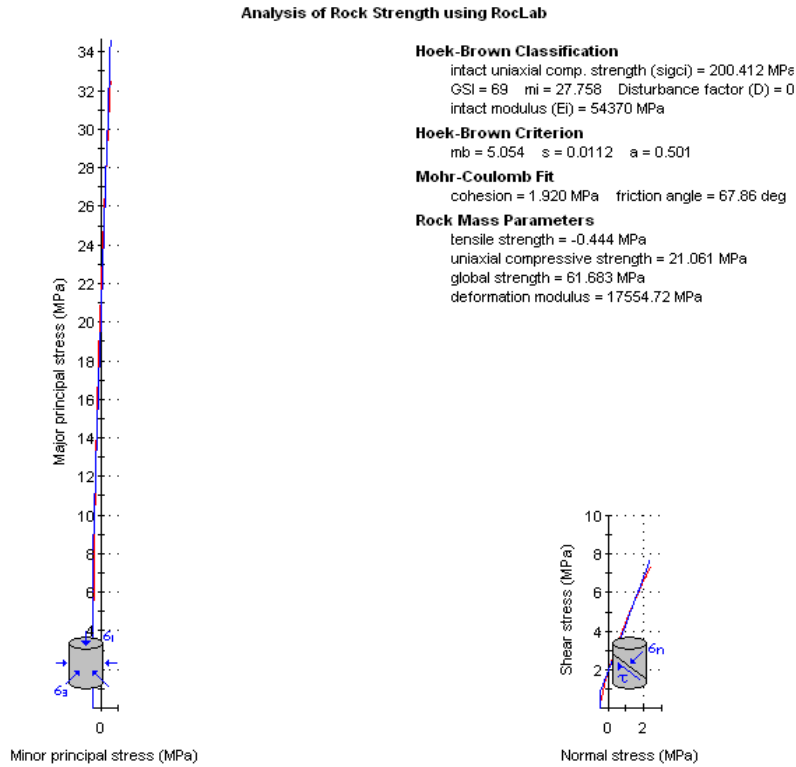
Εικόνα 10.8: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΚΣ11.



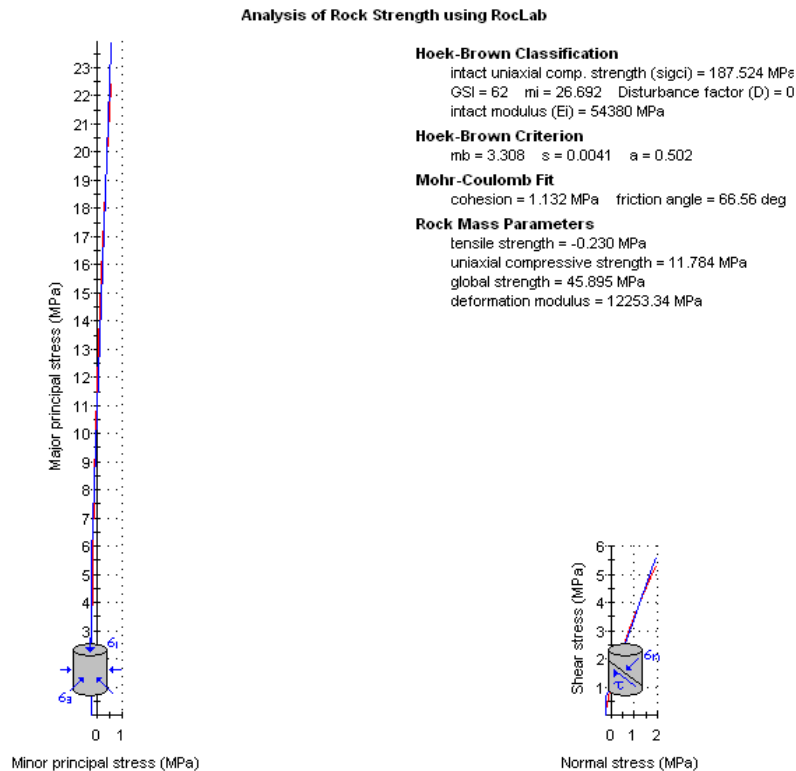
Εικόνα 10.9: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα OI01.



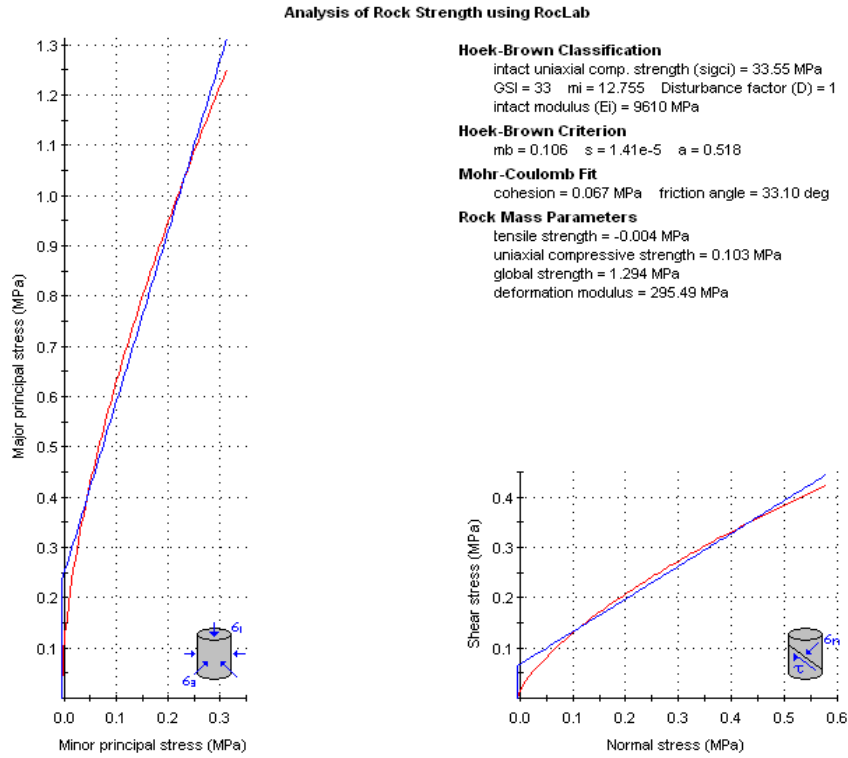
Εικόνα 10.10: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα OI07.



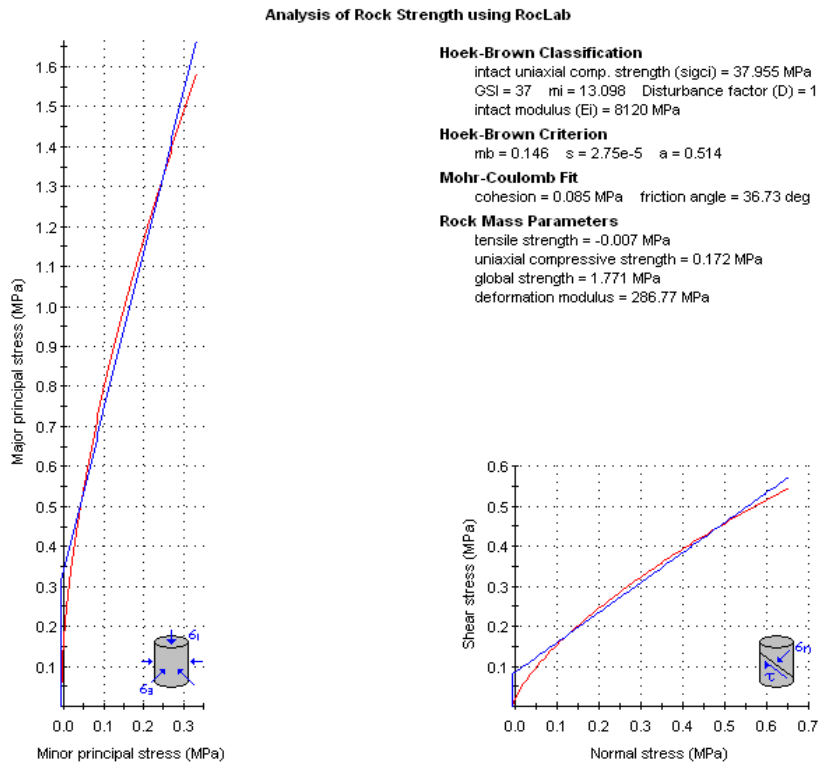
Εικόνα 10.11: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΟΠ14.



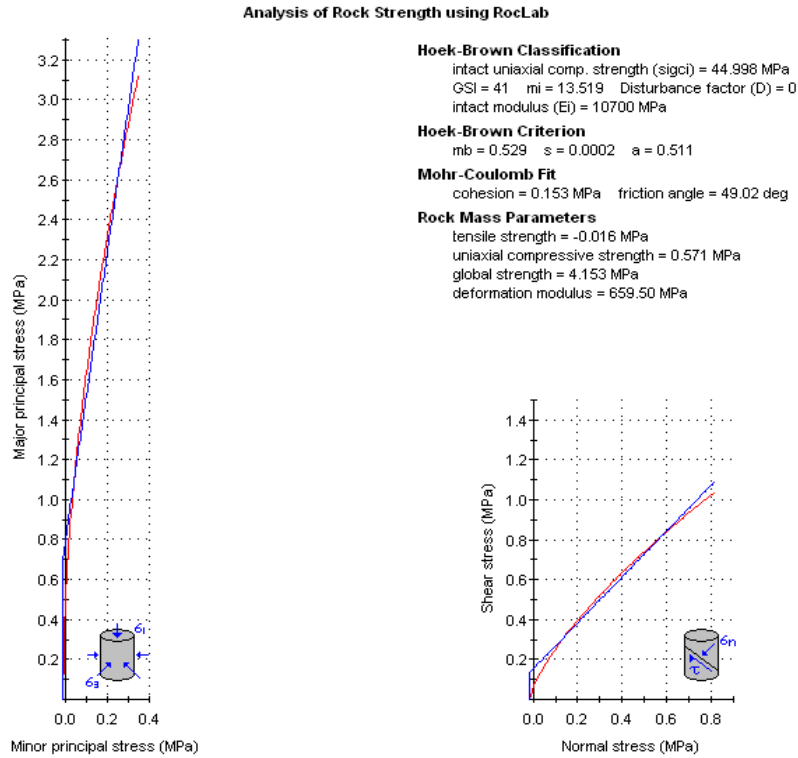
Εικόνα 10.12: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΟΠ19.



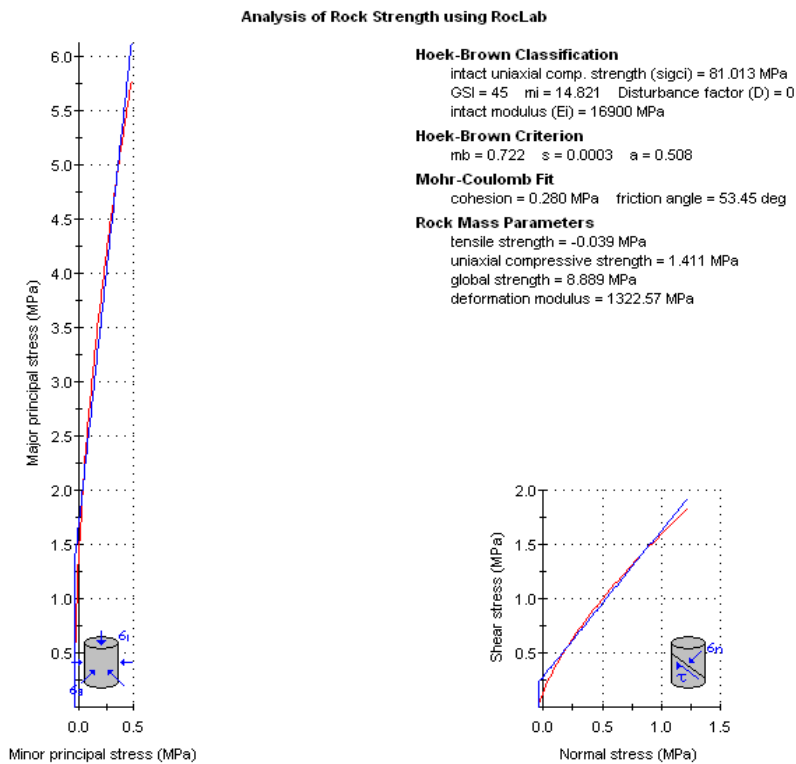
Εικόνα 10.13: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΟΣ02.



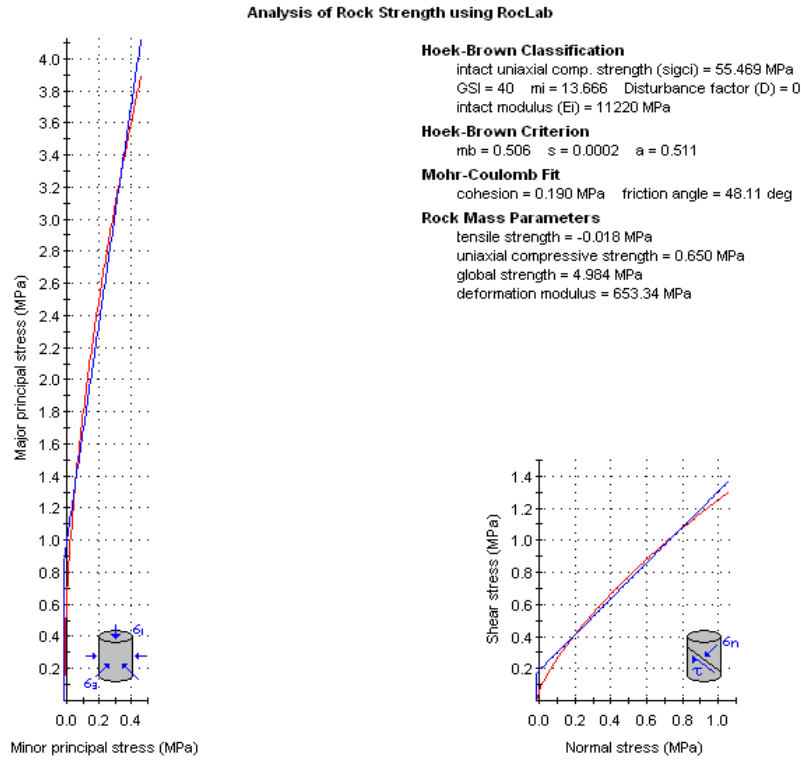
Εικόνα 10.14: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΟΣ08.



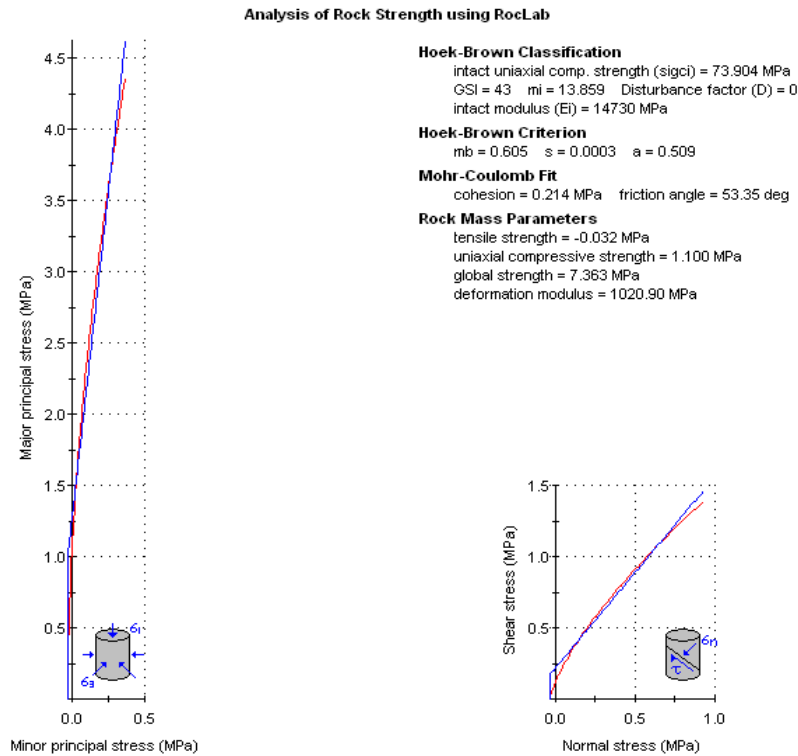
Εικόνα 10.15: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΟΣ09.



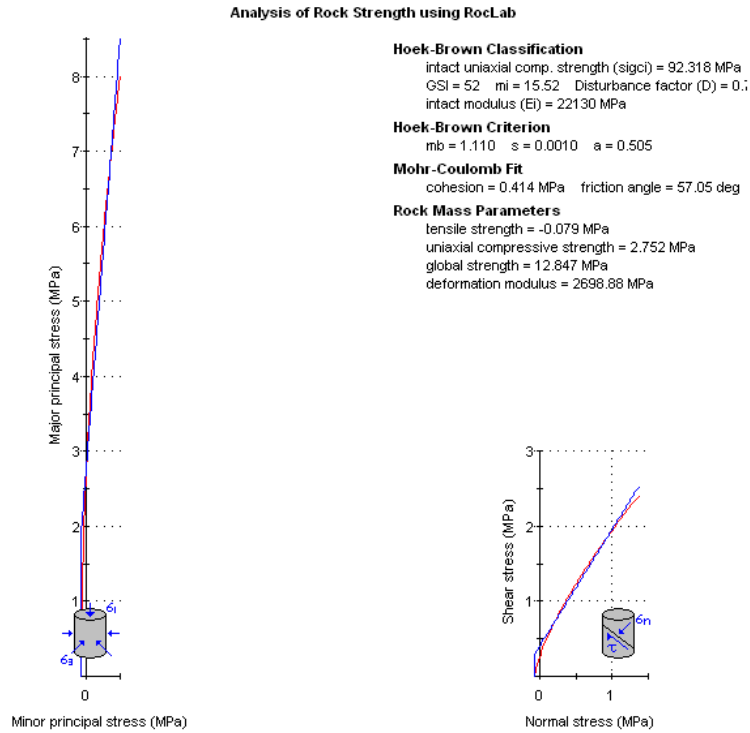
Εικόνα 10.16: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΟΣ25.



Εικόνα 10.17: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΟΣ30.



Εικόνα 10.18: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΟΣ34.



Εικόνα 10.19: Οι τιμές που εισήχθησαν στο πρόγραμμα, τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα μεταξύ των κύριων τάσεων καθώς και μεταξύ των ορθών και των διατμητικών τάσεων για το δείγμα ΟΣ36.

Πίνακας 10.3: Δίνονται οι τιμές των παραμέτρων των *HOEK-BROWN* και *MOHR-COULOMB*, οι τιμές της σ_{3max} για την οποία υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο κριτηρίων και οι τιμές των παραμέτρων της βραχομετρίας που προέκυψαν ύστερα από τη χρήση του προγράμματος *Roclab*.

Θέσεις	HOEK-BROWN ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ			ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΠΡΑΞΗ σ_{3max} για την οποία υπάρχει συσχέτιση των δύο κριτηρίων	MOHR-COULOMB ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ		ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ			
	m_b	s	a		c (MPa)	ϕ (°)	σ_{tm} (MPa)	σ_c (MPa)	σ_{cm} (MPa)	E_{rm} (MPa)
KΠ06	3.884	0.0063	0.502	0.5639	1.365	66.89	-0.298	14.455	49.260	17118.40
KΠ07	6.387	0.0200	0.501	0.4493	2.609	68.85	-0.646	29.059	72.402	24826.70
KΣ08	0.734	0.0004	0.508	0.3694	0.244	54.73	-0.040	1.393	8.216	1450.44
KΣ10	0.782	0.0005	0.507	0.3732	0.268	55.62	-0.047	1.627	9.197	1562.87
KΣ11	1.429	0.0017	0.504	0.3973	0.562	60.89	-0.137	4.645	18.414	3213.75
ΟΠ01	1.779	0.0015	0.504	0.3944	0.439	61.89	-0.079	3.582	16.987	5743.40
ΟΠ07	3.300	0.0047	0.502	0.6807	1.181	65.15	-0.242	11.519	41.753	14315.10
ΟΠ14	5.054	0.0112	0.501	0.5755	1.920	67.86	-0.444	21.061	61.683	17554.70
ΟΠ19	3.308	0.0041	0.502	0.5603	1.132	66.56	-0.230	11.784	45.895	12253.30
ΟΣ02	0.106	0.000014	0.518	0.3128	0.067	33.10	-0.004	0.103	1.294	295.49
ΟΣ08	0.146	0.000027	0.514	0.3330	0.085	36.73	-0.007	0.172	1.771	286.77
ΟΣ09	0.529	0.0002	0.511	0.3474	0.153	49.02	-0.016	0.571	4.153	659.50
ΟΣ25	0.722	0.0003	0.508	0.4834	0.280	53.45	-0.039	1.412	8.889	1322.57
ΟΣ30	0.506	0.0002	0.511	0.4589	0.190	48.11	-0.018	0.650	4.984	653.34
ΟΣ34	0.605	0.0003	0.509	0.3658	0.214	53.35	-0.032	1.100	7.363	1020.90
ΟΣ36	1.110	0.0010	0.505	0.4997	0.414	57.05	-0.079	2.752	12.847	2698.88

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πάρα το γεγονός πως πολλοί επιστήμονες σε ολόκληρο τον κόσμο έχουν ασχοληθεί με τη διερεύνηση των φυσικών, δυναμικών, μηχανικών και πετρογραφικών χαρακτηριστικών πολλών πετρωμάτων και τις συσχετίσεις ανάμεσα σε αυτά (κυρίως της αντοχής με τις υπόλοιπες), ελάχιστες έρευνες έχουν επικεντρωθεί στο οφιολιθικό σύμπλεγμα και συγκεκριμένα στα υπερβασικά πετρώματα και τις εξαλλοιώσεις τους. Το γεγονός όμως ότι τα πετρώματα αυτά εμφανίζονται σε πάρα πολλές περιοχές και το ότι πολλά τεχνικά έργα εδράζονται πάνω ή μέσα σε αυτά, μας προξένησε το αρχικό έναυσμα για προβληματισμό που εν τέλει μας ώθησε στη διερεύνηση των χαρακτηριστικών των πετρωμάτων αυτών.

Στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής πραγματοποιήθηκε γεωλογική έρευνα στην περιοχή μελέτης (δυτική Όθρυς και Καλλίδρομο) και εν συνεχεία συλλέχθηκαν ομοιογενή, ισότροπα και αντιπροσωπευτικά δείγματα υπερβασικών πετρωμάτων. Στα δείγματα αυτά συντελέστηκαν φυσικές, δυναμικές και μηχανικές δοκιμές.

Τα υπερβασικά πετρώματα των εξεταζόμενων περιοχών διακρίνονται σε τρεις (3) πετρολογικές ενότητες-σχηματισμούς, οι οποίοι από κάτω προς τα επάνω είναι: οι σχιστώδεις σερπεντινίτες, οι σερπεντινίτες και οι σερπεντινωμένοι περιδοτίτες.

Για λόγους ομοιογένειας και ισοτροπίας δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε σερπεντινίτες (βαθμός σερπεντινώσεως μεγαλύτερος από 70%) και σε ελαφρά ως και σχεδόν καθόλου σερπεντινωμένους περιδοτίτες (βαθμός σερπεντινώσεως μικρότερος από 30%). Οι σερπεντινωμένοι περιδοτίτες (βαθμός σερπεντινώσεως από 30 έως και 70%) και οι σχιστώδεις σερπεντινίτες δεν εξετάστηκαν αφού παρουσιάζουν μεγάλη ανισοτροπία και ανομοιογένεια.

A) Φυσικές ιδιότητες: Οι φυσικές ιδιότητες προσδιορίστηκαν με δυο μεθόδους α) τη μέθοδο της άνωσης και β) τη μέθοδο του μικρομέτρου.

1) Στους σερπεντινίτες το ενεργό πορώδες (n_e) κυμαίνεται α) από 0.35 έως και 7.97%, όταν αυτό μετρήθηκε με τη μέθοδο της άνωσης (n_{es}) και β) από 0.35 έως και 7.89% όταν μετρήθηκε με τη μέθοδο του μικρομέτρου (n_{em}). Αντιστοίχως στους περιδοτίτες το ενεργό πορώδες κυμαίνεται α) από 0.06 έως 0.29% και β) από 0.05 έως

0.28%. Παρατηρούμε δηλαδή πως οι σερπεντινίτες εμφανίζουν μεγαλύτερο ενεργό πορώδες από τους περιδοτίτες.

2) Οι τιμές του ξηρού και κορεσμένου φαινομένου βάρους στους σερπεντινίτες κυμαίνονται αντιστοίχως από 24.17 έως 26.86kN/m³ και από 24.94 έως 26.90kN/m³ όταν προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο της άνωσης (γ_{ds} , γ_{sats}), ενώ όταν αυτές προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο του μικρομέτρου (γ_{dm} , γ_{satm}) οι αντίστοιχες διακυμάνσεις είναι από 23.52 έως 26.74kN/m³ και από 24.04 έως 26.78kN/m³. Στους περιδοτίτες το ξηρό φαινόμενο βάρος κυμαίνεται από 30.61 έως 33.36kN/m³ και το κορεσμένο φαινόμενο βάρος από 30.63 έως 33.37kN/m³ όταν αυτά προσδιορίζονται με τη μέθοδο της άνωσης, ενώ όταν αυτά μετριοούνται με τη μέθοδο του μικρομέτρου οι τιμές του ξηρού και του κορεσμένου φαινομένου βάρους κυμαίνονται αντιστοίχως από 30.08 έως 33.29kN/m³ και από 30.10 έως 33.30kN/m³. Επομένως, οι σερπεντινίτες παρουσιάζουν μικρότερα φαινόμενα βάρη από τους περιδοτίτες.

3) Όσον αφορά τους λόγους των κενών οι περιδοτίτες κυμαίνονται από 0.0006 έως 0.0029 όταν προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο της άνωσης (e_s) και από 0.0005 έως 0.0028 όταν αυτοί μετρήθηκαν με τη μέθοδο του μικρομέτρου (e_m). Οι σερπεντινίτες με τη σειρά τους παρουσιάζουν διακυμάνσεις από 0.0035 έως 0.0857 και από 0.0035 έως 0.0857 ανάλογα με τον τρόπο προσδιορισμού (μέθοδος της άνωσης και μέθοδο του μικρομέτρου). Άρα οι περιδοτίτες παρουσιάζουν μικρότερες τιμές από αυτές που παρουσιάζουν οι σερπεντινίτες.

4) Οι περιδοτίτες εμφανίζουν πολύ μικρότερη απορροφητικότητα από αυτή που παρουσιάζουν οι σερπεντινίτες και δεν παρατηρούνται αλλαγές ανάλογα με τον τρόπο προσδιορισμού (μέθοδος άνωσης (W_{as}) ή χρήση μικρομέτρου (W_{am})). Συγκεκριμένα στους περιδοτίτες η απορροφητικότητα κυμαίνεται από 0.016 έως και 0.091, ενώ στους σερπεντινίτες από 0.128 έως και 3.234.

Συμπερασματικά μπορούμε να αναφέρουμε πως τα δοκίμια που παρουσιάζουν τα μικρότερα πορώδη, έχουν τα μεγαλύτερα φαινόμενα βάρη, τις μικρότερες απορροφητικότητες και τους μικρότερους λόγους κενών. Επίσης στους σερπεντινίτες το ενεργό πορώδες, ο λόγος των κενών και η απορροφητικότητα παρουσιάζουν αρνητική εκθετική κατανομή, ενώ οι περιδοτίτες παρουσιάζουν ομοιόμορφη κατανομή.

B) Δυναμικές ιδιότητες:

1) Οι ταχύτητες των επιμηκών κυμάτων (V_p) που μετρήθηκαν στους σερπεντινίτες παρουσιάζουν τιμές από 4843 έως 5789m/sec και είναι μικρότερες από αυτές που μετρήθηκαν στους περιδοτίτες και κυμαίνονται από 7048 έως 8007m/sec.

2) Αντιστοίχως, οι ταχύτητες των εγκάρσιων κυμάτων (V_s) στους περιδοτίτες κυμαίνονται από 3816 έως και 4573m/sec, ενώ στους σερπεντινίτες η μέγιστη τιμή είναι 3109m/sec και η ελάχιστη 2425m/sec. Επομένως, οι σερπεντινίτες εμφανίζουν μικρότερες ταχύτητες κυμάτων από αυτές που παρουσιάζουν οι περιδοτίτες, όπως και αναμενόταν.

3) Το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας προσδιορίστηκε και με τις δυο μεθόδους, τη μέθοδο της άνωσης και τη μέθοδο του μικρομέτρου. Όταν χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της άνωσης το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας (E_{ds}) διαπιστώθηκε ότι κυμαίνεται από 39.3 έως και 68.6GPa στους σερπεντινίτες και από 119.7 έως και 177.6GPa στους περιδοτίτες. Αντιστοίχως το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας που προσδιορίζεται με τη μέθοδο του μικρομέτρου (E_{dm}) παρουσιάζει τιμές από 39.0 έως και 68.4GPa και από 118.8 έως και 176.9GPa.

4) Όσον αφορά τους δυναμικούς λόγους Poisson (ν_d), αυτοί κυμαίνονται από 0.290 έως και 0.338 στους σερπεντινίτες και από 0.249 έως και 0.293 στους περιδοτίτες.

5) Στους σερπεντινίτες τα δυναμικά μέτρα διάτμησης κυμαίνονται από 14.7 έως και 26.4GPa όταν υπολογίζονται με τη μέθοδο της άνωσης (G_{ds}) και από 14.6 έως και 26.4GPa (G_{dm}) όταν αυτά υπολογίζονται με τη μέθοδο του μικρομέτρου. Αντιστοίχως στους περιδοτίτες το δυναμικό μέτρο διάτμησης κυμαίνεται από 46.3 έως και 70.7GPa και από 45.9 έως και 70.3GPa.

Συμπερασματικά, για τις δυναμικές ιδιότητες, μπορεί να αναφερθεί πως τα δοκίμια με το μεγαλύτερο φαινόμενο βάρος παρουσίασαν κατά βάση τις μεγαλύτερες ταχύτητες των κυμάτων, το μικρότερο λόγο Poisson και τα μεγαλύτερα δυναμικά μέτρα ελαστικότητας και διάτμησης.

Γ) Μηχανικές ιδιότητες:

1) Στους περιδοτίτες η σκληρότητα με σφυρί Schmidt (SHV) κυμαίνεται από 58 έως και 65 και είναι μεγαλύτερη από αυτή που μετρείται στους σερπεντινίτες (από 48 έως 55). Με βάση τις παραπάνω τιμές και σύμφωνα με τον πίνακα των ΚΟΥΚΗ & ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗ (2002) οι σερπεντινίτες χαρακτηρίζονται κυρίως ως σκληρά πετρώματα (με λίγες εξαιρέσεις που παρουσιάζουν μέτρια σκληρότητα), ενώ οι περιδοτίτες χαρακτηρίζονται ως πολύ σκληρά πετρώματα με ένα μικρό ποσοστό αυτών να χαρακτηρίζονται ως σκληρά.

2) Οι τιμές της αντοχής σε μοναξονική θλίψη εμφανίζουν σημαντικό εύρος. Στους σερπεντινίτες κυμαίνονται από 19.21 έως και 128.09 και στους περιδοτίτες από 65.21 έως και 241.56MPa.

Σύμφωνα με τους DEERE & MILLER (1966) οι περιδοτίτες, που μελετήθηκαν στη διατριβή αυτή, χαρακτηρίζονται κυρίως ως πετρώματα υψηλής αντοχής, ενώ κάποιοι από

αυτούς (μειοψηφία) ανήκουν στα πετρώματα πολύ υψηλής αντοχής και ένα άλλο μικρό ποσοστό στα μέσης. Οι σερπεντινίτες κυρίως χαρακτηρίζονται ως πετρώματα μέσης αντοχής, ενώ κάποιοι από αυτούς (μειοψηφία) ανήκουν στα πετρώματα υψηλής αντοχής. Επιπλέον, ένα μικρό ποσοστό αυτών χαρακτηρίζεται ως χαμηλής ακόμα και πολύ χαμηλής αντοχής. Με βάση την ταξινόμηση της ISRM (1981), η πλειοψηφία των περιδοτιτών ($\approx 80\%$) χαρακτηρίζονται ως πετρώματα πολύ υψηλής αντοχής με ένα μικρό ποσοστό ($\approx 20\%$) αυτών να χαρακτηρίζεται ως υψηλής αντοχής. Αντίθετα η πλειοψηφία των σερπεντινιτών χαρακτηρίζονται ως πετρώματα υψηλής αντοχής, ενώ κάποιοι από αυτούς (7.70%) ανήκουν στα πετρώματα πολύ υψηλής αντοχής και ένα άλλο μικρό ποσοστό στα μέσης ως και χαμηλής αντοχής.

Η μεγάλη διακύμανση που παρουσιάζουν οι περιδοτίτες (φτάνουν να έχουν τιμές παρόμοιες με τους σερπεντινίτες) οφείλεται ως ένα μεγάλο βαθμό στο γεγονός ότι όταν η σερπεντινίωση τους ξεπεράσει το 10% , συμπεριφέρονται σαν «καθαροί» σερπεντινίτες και η αντοχή τους μειώνεται ως και στο μισό, πολλές φορές, της αντοχής των ανεξαλλοιώτων περιδοτιτών.

Οι περιδοτίτες διαστέλλονται κατά τη διάρκεια της ψαθυρής παραμόρφωσης, ως συνέπεια του ανοίγματος των αξονικών μικρορωγμών και θραύονται δημιουργώντας κυρίως κατακόρυφα σπασίματα με έντονο κρότο και βίαιη εκτόξευση των θραυσμάτων. Αυτό οφείλεται στην μικρή παραμόρφωση των δοκιμίων, κατά την επιβολή των φορτίων, με αποτέλεσμα η συσσωρευμένη ελαστική ενέργεια να εκλυθεί απότομα κατά τη στιγμή της θραύσης. Αντίθετα, οι σερπεντινίτες εμφανίζουν κυρίως διατμητικές ρωγμές, χωρίς όμως να λείπουν και τα κατακόρυφα σπασίματα, δημιουργώντας ελάχιστο ή κανένα κενό με συνέπεια την μη-διασταλτική παραμόρφωση. Δεν παρουσιάζουν σημαντικό κρότο ούτε ιδιαίτερη εκτόξευση θραυσμάτων.

3) Όσον αφορά το στατικό μέτρο ελαστικότητας (E_{st}), στους σερπεντινίτες κυμαίνεται από 4.4 έως 29.4GPa και στους περιδοτίτες από 26.1 έως 69.3GPa , με μέσες τιμές 14.9 και 44.3GPa και τυπικές αποκλίσεις 5.4 και 13.8GPa αντιστοίχως.

4) Η μέγιστη μέση τιμή (0.319) του στατικού λόγου Poisson (ν_{st}) παρατηρείται στους σερπεντινίτες, με μέγιστη τιμή 0.359 και ελάχιστη 0.285 . Οι περιδοτίτες παρουσιάζουν τιμές που κυμαίνονται από 0.232 έως 0.297 , με μέση τιμή 0.270 και τυπική απόκλιση 0.018 .

5) Το στατικό μέτρο διάτμησης (G_{st}) εμφανίζει στους περιδοτίτες μεγαλύτερες τιμές από ότι στους σερπεντινίτες. Οι τιμές του κυμαίνονται από 10.4 έως 27.9GPa με μέση τιμή

17.5GPa και τυπική απόκλιση 5.8GPa. Στους σερπεντινίτες προκύπτουν τιμές από 2.8 έως και 11.3, η μέση τιμή είναι 5.8 και η τυπική απόκλιση 2.0.

6) Ο ανηγμένος δείκτης σημειακής φόρτισης (I_{s50}) παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές στους περιδοτίτες με μέση τιμή 8.45MPa. Η ελάχιστη τιμή που έχει μετρηθεί στα πετρώματα αυτά είναι 5.05MPa και η μέγιστη 12.82MPa. Στους σερπεντινίτες ο παραπάνω δείκτης κυμαίνεται από 0.54 έως και 4.93MPa, με μέση τιμή 3.10MPa. Οι τυπικές αποκλίσεις είναι 1.91MPa στους περιδοτίτες και 1.02MPa στους σερπεντινίτες.

Με βάση την ταξινόμηση της ISRM (1981), οι περιδοτίτες, που εξετάσαμε, χαρακτηρίζονται κυρίως ως πολύ υψηλής αντοχής πετρώματα, ενώ μερικοί άλλοι ως εξαιρετικά υψηλής αντοχής. Αντίθετα, οι σερπεντινίτες θεωρούνται κυρίως ως πετρώματα υψηλής αντοχής, ενώ κάποιοι από αυτούς (μειοψηφία) ανήκουν στα πετρώματα πολύ υψηλής αντοχής. Επιπλέον, ένα μικρό ποσοστό τοποθετείται στα μέσης ως και χαμηλής αντοχής πετρώματα. Σύμφωνα με την ταξινόμηση του BIENIAWSKI (1975) οι περιδοτίτες, που μελετήθηκαν, χαρακτηρίζονται κυρίως (53.34%) ως πετρώματα πολύ υψηλής αντοχής, με τους υπόλοιπους να ανήκουν στα υψηλής αντοχής πετρώματα. Σε αντίθεση, οι σερπεντινίτες θεωρούνται κυρίως ως πετρώματα μέσης αντοχής, ενώ κάποιοι από αυτούς (μειοψηφία) ανήκουν στα πετρώματα υψηλής αντοχής και κάποιοι άλλοι στα χαμηλής ως και πολύ χαμηλής αντοχής.

7) Η μεγαλύτερη τιμή (16.28MPa) μέσης αντοχής σε εφελκυσμό (σ_t) παρουσιάζεται στους περιδοτίτες με μέγιστη τιμή 21.61 και ελάχιστη 10.69MPa. Οι σερπεντινίτες εμφανίζουν τιμές από 2.09 έως και 9.34MPa με μέση τιμή 5.19MPa. Η διορθωμένη εφελκυστική αντοχή (προσδιορισμένη από τον τύπο των YU, et al., 2006) κυμαίνεται από 2.09 έως 10.69MPa στους σερπεντινίτες και από 11.54 έως 25.38MPa στους περιδοτίτες, με μέσες τιμές 5.53 και 18.36MPa και τυπικές αποκλίσεις 1.91 και 3.82MPa αντιστοίχως. Από τα ανωτέρω είναι προφανές πως οι περιδοτίτες παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής από τους σερπεντινίτες (απόλυτα λογικό και αναμενόμενο) και πως οι διορθωμένες εφελκυστικές αντοχές είναι μεγαλύτερες ή ίσες συγκρινόμενες με τις εφελκυστικές αντοχές. Επιπροσθέτως, είναι φανερό πως οι περιδοτίτες παρουσιάζουν μεγαλύτερη διασπορά τιμών από ότι οι σερπεντινίτες. Αυτή οφείλεται κατά μεγάλο βαθμό στο γεγονός ότι οι περιδοτίτες παρουσιάζουν πιο ψαθυρή συμπεριφορά από τους σερπεντινίτες.

8) Στους σερπεντινίτες η συνοχή (c_{ci}) κυμαίνεται από 9.88 έως και 24.48MPa, ενώ στους περιδοτίτες από 20.96 έως 35.54MPa. Οι μέσες τιμές τους είναι αντιστοίχως 16.37, 30.95MPa και οι τυπικές αποκλίσεις 4.68 και 5.19MPa. Η γωνία εσωτερικής τριβής

κυμαίνεται από 38.05 έως 46.58MPa στους σερπεντινίτες και από 48.17 έως 55.01MPa στους περιδοτίτες, με μέσες τιμές 42.61, 53.26MPa και τυπικές αποκλίσεις 2.83 και 2.56MPa αντιστοίχως.

9) Όσον αφορά την παράμετρο m_i , αυτή κυμαίνεται από 12.76 έως 16.04 στους σερπεντινίτες και από 21.09 έως 28.16 στους περιδοτίτες, με μέσες τιμές 14.20, 25.91 και τυπικές αποκλίσεις 1.04 και 2.58 αντιστοίχως.

Αφού ολοκληρώθηκαν όλες οι φυσικοδυναμικομηχανικές δοκιμές και αξιολογήθηκαν όλα τα αποτελέσματα, πραγματοποιήθηκαν λεπτές τομές σε 47 αντιπροσωπευτικά δείγματα. Μερικά από αυτά (12) εξετάστηκαν με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων X (X-ray diffraction-XRD), ενώ ένας αριθμός (4) από αυτά μελετήθηκε και σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Scanning Electron Microscope, SEM). Από τα παραπάνω καταλήξαμε στα εξής συμπεράσματα:

1) Οι περιδοτίτες που μελετήθηκαν χαρακτηρίζονται κυρίως ως χαρτσβουργίτες και σε μικρότερα ποσοστά λερζόλιθοι, πλαγιόκλαστομιγείς λερζόλιθοι και σπανιότερα δουνίτες. Παρουσιάζουν κυρίως πορφυροειδή ή κοκκώδη ιστό χωρίς προσανατολισμό των ορυκτών και συμπαγή, ακανόνιστη υφή.

Ο ολιβίνης (κυρίως φορστερίτης) που είναι το κυριότερο ορυκτό των πετρωμάτων αυτών, συμμετέχει σε ποσοστό από 50 έως 85%. Οι ορθοπυρόξενοι (κυρίως ενστατίτης) κυμαίνονται από 4 έως 26%, οι σερπεντίνες από 2 έως 22%, τα αδιαφανή ορυκτά από 1 έως 3%, ενώ σε μερικά δείγματα διακρίναμε αμφίβολου (ακτινόλιθους), τάλκη και άλλα δευτερογενή ορυκτά σε πολύ μικρές ποσότητες. Εκτός από τα παραπάνω ορυκτά, σε κάποια λίγα δείγματα περιδοτιτών εντοπίσαμε κλινοπυρόξενους (3-12%). Επιπλέον σε δείγματα, που συλλέχθηκαν, από την Όθρη αναγνωρίστηκαν και πλαγιόκλαστα (σε πολύ μικρά ποσοστά, <4%). Τέλος, ένας πολύ μικρός αριθμός περιδοτιτών, περιέχουν ολιβίνη σε ποσοστό μεγαλύτερο από 79% και την παραγένεσή τους συμπληρώνουν οι ορθοπυρόξενοι, τα αδιαφανή ορυκτά και ο σερπεντίνης.

Η μελέτη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD) έδειξε ότι οι σερπεντίνες που εντοπίστηκαν ήταν ο λιζαρδίτης και ο αντιγορίτης και ότι στα περισσότερα από αυτά υπερισχύει ο λιζαρδίτης. Επίσης από τα ακτινογραφήματα είναι εμφανές πως σε κάποια από τα δείγματα, που μελετήθηκαν, εντοπίστηκαν και βασικά πλαγιόκλαστα.

2) Όσον αφορά τους σερπεντινίτες, αυτοί αποτελούν την πλειοψηφία των υπερβασικών πετρωμάτων και εμφανίζονται τόσο στη δυτική Όθρη, όσο και στο Καλλίδρομο. Στην παραγένεσή τους συμμετέχουν κυρίως δευτερογενή ορυκτά σε

ποσοστό 69-97% (ύστερα από εξέταση λεπτών τομών), ενώ η συμμετοχή των υπολειμματικών ορυκτών περιορίζεται σε <30%. Το κύριο ορυκτολογικό συστατικό είναι ο σερπεντίνης σε ποσοστό συμμετοχής 62-84% και συνήθως βρίσκεται με τη μορφή του αντιγορίτη ή του λιζαρδίτη (φυλλώδη μορφή), απουσιάζουν δε οι ινώδεις δομές (χρυσοτίλης). Οι φυλλώδεις δομές επιβεβαιώθηκαν επίσης, από τη μελέτη σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) κάποιων δειγμάτων που θεωρήθηκε πιθανό, να περιέχουν ινώδεις κρυστάλλους σερπεντίνης (χρυσοτίλη). Σε αντίθεση με το πολωτικό και το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο η μέθοδος της περιθλασιομετρίας των ακτίνων X (XRD) εντόπισε και χρυσοτίλη. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην ύπαρξη μικροφλέβας χρυσοτίλη στο κομμάτι που προετοιμάστηκε για τη δοκιμή XRD. Οι σερπεντινίτες είναι κυρίως αδρόκοκκοι και παρουσιάζουν κατά βάση κυψελώδη ιστό, ενώ κατά τόπους παρατηρείται και ενδοδιεισδυτικός, χωρίς κανένα προτιμητέο προσανατολισμό των ορυκτών του σερπεντίνης. Οι μορφές κλεψύδρας σπανίζουν και όπου εμφανίζονται δεν είναι καλά αναπτυγμένες.

Συμπερασματικά είναι σημαντικό να τονιστεί, πως τόσο από το μικροσκόπιο (πολωτικό και ηλεκτρονικό), όσο και με τη μέθοδο XRD δεν κατέστη δυνατό να πραγματοποιηθεί με βεβαιότητα η διάκριση των σερπεντινών (λιζαρδίτης, αντιγορίτης, χρυσοτίλης).

Η συσχέτιση των φυσικών χαρακτηριστικών μεταξύ τους ανέδειξε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1) Τόσο στους σερπεντινίτες, όσο και στους περιδοτίτες η σχέση του γ_{ds} με το γ_{dm} , είναι γραμμική. Οι παραπάνω σχέσεις περιγράφονται αντιστοίχως από τις εξισώσεις $\gamma_{ds}=1.013\gamma_{dm}$ και $\gamma_{ds}= 1.010\gamma_{dm}$ με συντελεστές συσχέτισης $R^2=0.88$ και $R^2=0.92$. Το ξηρό φαινόμενο βάρος προσδιορισμένο με τη μέθοδο της άνωσης (γ_{ds}) είναι αυξημένο κατά 1.3% (κατά μέσο όρο) στους σερπεντινίτες και κατά 1.0% στους περιδοτίτες σε σχέση με το ξηρό φαινόμενο βάρος προσδιορισμένο με τη χρήση του μικρομέτρου (γ_{dm}). Οι τιμές αυτές συμφωνούν με αυτές που υπολόγισε ο ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ (1978).

2) Για τους περιδοτίτες η εξίσωση που καλύτερα περιγράφει τη σχέση του ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_{ds}) με το ενεργό πορώδες (n_{es}) είναι η $n_{es}=-0.07\gamma_{ds} + 2.52$ με συντελεστή συσχέτισης $R^2=0.93$, ενώ στους σερπεντινίτες η καλύτερη συσχέτιση δίνεται από την $n_{es}=2*10^{14}\exp^{-1.27\gamma_{ds}}$ ($R^2=0.87$). Επίσης, παρατηρήσαμε πως οι περιδοτίτες παρουσιάζουν καλύτερη συσχέτιση από τους σερπεντινίτες στην περιοχή έρευνάς μας.

3) Μεταξύ των ενεργών πορώδων προτείνονται γραμμικές συσχετίσεις με πολύ υψηλούς συντελεστές συσχέτισης. Για τους περιδοτίτες $n_{es}=1.013n_{em}$ με συντελεστή συσχέτισης $R^2=0.999$, ενώ στους σερπεντινίτες $n_{es}= 1.015n_{em}$ με συντελεστή συσχέτισης $R^2=0.999$. Αυτό σημαίνει πως μπορούμε με πολύ μεγάλη ακρίβεια να υπολογίζουμε το n_{es} , αν γνωρίζουμε το n_{em} . Επιπλέον παρατηρούμε πως το n_{es} είναι περίπου κατά 1.3 και 1.5% αυξημένο σε σχέση με το n_{em} για τους περιδοτίτες και τους σερπεντινίτες αντίστοιχα.

Η συσχέτιση των δυναμικών χαρακτηριστικών μεταξύ τους, αλλά και με τα φυσικά χαρακτηριστικά ανέδειξε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1) Οι εξισώσεις που καλύτερα αποδίδουν τη σχέση μεταξύ των επιμηκών (V_p) και των εγκάρσιων (V_s) κυμάτων για τους σερπεντινίτες και τους περιδοτίτες είναι γραμμικές της μορφής $y=ax+b$ (η $V_p=1.26V_s + 1845$ για σερπεντινίτες και η $V_p=1.32V_s + 2006$ για περιδοτίτες). Αν και η εξίσωση της μορφής $y=ax+b$ παρουσιάζει καλύτερη συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων στους υπό μελέτη σερπεντινίτες ($R^2=0.95$) και περιδοτίτες ($R^2=0.97$) από ότι η εξίσωση $y=ax$ που έχει αντίστοιχα $R^2=0.69$ και $R^2=0.85$, πιστεύουμε ότι ο τύπος $y=ax$ περιγράφει με ρεαλιστικότερο τρόπο τη φυσική σημασία της σχέσης των ταχυτήτων και επομένως προτείνουμε τη σχέση $V_p=1.91V_s$ για τους σερπεντινίτες και $V_p=1.78V_s$ για τους περιδοτίτες. Η παραπάνω άποψη συμφωνεί απόλυτα με τις προτάσεις των SABATAKAKIS et al. (1993), MARINOS et al. (1994) και ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ κ.ά. (2002) και CHRISTENSEN (2004).

2) Μεταξύ των ταχυτήτων (V_p, V_s) των κυμάτων και του ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_{ds}) προτείνουμε γραμμικές συσχετίσεις. Όσο αυξάνει το φαινόμενο βάρος, αυξάνουν και οι ταχύτητες. Για τους σερπεντινίτες οι εξισώσεις είναι $V_p=362.02\gamma_{ds} - 4024.5$ και $V_s=281.37\gamma_{ds} - 4493.6$ με συντελεστές συσχέτισης $R^2=0.88$ και $R^2=0.88$ αντιστοίχως, ενώ για τους περιδοτίτες $V_p=319.87\gamma_{ds} - 2695$ και $V_s= 240.32\gamma_{ds} - 3484.6$ με $R^2=0.84$ και $R^2=0.85$ αντιστοίχως. Πρόκειται όπως παρατηρούμε για εξισώσεις με πολύ καλούς συντελεστές συσχέτισης και τους σερπεντινίτες να συσχετίζονται καλλίτερα από τους περιδοτίτες.

3) Οι ταχύτητες (V_p, V_s) των κυμάτων παρουσιάζουν επίσης και γραμμική συσχέτιση με το ενεργό πορώδες (n_{es}) τόσο στους σερπεντινίτες όσο και στους περιδοτίτες. Όσο αυξάνει το ενεργό πορώδες, τόσο μειώνονται οι ταχύτητες. Οι εξισώσεις που περιγράφουν καλύτερα τις σχέσεις των παραπάνω παραμέτρων είναι οι: $V_p=-192.05n_{es} + 5609.2$ και $V_s=-150.39n_{es} + 2995.5$ για τους σερπεντινίτες και $V_p=-4247.3n_{es} +$

8234.2 και $V_s = -3198.3n_{es} + 4727.5$ για τους περιδοτίτες. Οι συντελεστές συσχέτισης είναι αρκετά μεγάλοι, δείχνοντας πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων. Οι περιδοτίτες παρουσιάζουν υψηλότερους συντελεστές συσχέτισης ($R^2=0.85$ και $R^2=0.86$ αντιστοίχως για τα επιμήκη και τα εγκάρσια κύματα) από ότι οι σερπεντινίτες ($R^2=0.79$ $R^2=0.80$ αντιστοίχως για τα επιμήκη και τα εγκάρσια κύματα).

Η συσχέτιση των μηχανικών χαρακτηριστικών με τα φυσικά χαρακτηριστικά ανέδειξε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1) Η εξίσωση που καλύτερα περιγράφει τη σχέση της σκληρότητας (SHV) με το ξηρό φαινόμενο βάρος (γ_{ds}) είναι γραμμική. Γενικά παρουσιάζεται μείωση της σκληρότητας, με τη μείωση του ξηρού φαινόμενου βάρους. Για τους σερπεντινίτες ισχύει η σχέση $SHV = 2.69\gamma_{ds} - 17.66$ με συντελεστή συσχέτισης ($R^2=0.75$), ενώ για τους περιδοτίτες η εξίσωση είναι : $SHV = 1.95\gamma_{ds} - 0.053$ ($R^2=0.78$).

2) Η σκληρότητα (SHV) δείχνει μια τάση μείωσης με την αύξηση του ενεργού πορώδους (n_{es}). Οι σχέσεις ανάμεσα στις δυο παραμέτρους με τους υψηλότερους συντελεστές συσχέτισης είναι λογαριθμικού τύπου στους σερπεντινίτες ($SHV = -1.99\ln(n_{es}) + 51.94$, με $R^2=0.77$) και γραμμικού τύπου στους περιδοτίτες ($SHV = -26.03n_{es} + 66.64$, με $R^2=0.80$).

4) Μεταξύ της εφελκυστικής αντοχής (σ_t), της διορθωμένης εφελκυστικής αντοχής (σ_{tc}) και του ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_{ds}) προτείνουμε εκθετικές συσχετίσεις ($\sigma_t = 2 \cdot 10^{-6} \exp^{0.57\gamma_{ds}}$, με $R^2=0.87$ και $\sigma_{tc} = 2 \cdot 10^{-6} \exp^{0.58\gamma_{ds}}$ με $R^2=0.84$) για τους σερπεντινίτες και γραμμικές ($\sigma_t = 3.43\gamma_{ds} - 93.47$ με $R^2=0.87$ και $\sigma_t = 3.88\gamma_{ds} - 105.65$ με $R^2=0.79$) για τους περιδοτίτες. Όπως είναι εμφανές η εφελκυστική αντοχή παρουσιάζει μεγαλύτερη συσχέτιση με το ξηρό φαινόμενο βάρος από ότι παρουσιάζει η διορθωμένη εφελκυστική αντοχή, τόσο για τους σερπεντινίτες, όσο και για τους περιδοτίτες.

5) Οι εξισώσεις που καλύτερα περιγράφουν τις σχέσεις του ενεργού πορώδους (n_{es}) με την εφελκυστική αντοχή (σ_t) και τη διορθωμένη εφελκυστικής αντοχή (σ_{tc}) είναι λογαριθμικές ($\sigma_t = -1.93\ln(n_{es}) + 5.58$ με $R^2=0.86$ και $\sigma_{tc} = -2.15\ln(n_{es}) + 5.97$ με $R^2=0.83$) στους σερπεντινίτες και γραμμικές ($\sigma_t = -43.56\gamma_{ds} + 23.51$ με $R^2=0.82$ και $\sigma_{tc} = -50.24n_{es} + 26.70$ με $R^2=0.78$) στους περιδοτίτες. Οι σερπεντινίτες εμφανίζουν μεγαλύτερη συσχέτιση των παραμέτρων από αυτήν που παρουσιάζουν οι περιδοτίτες. Επίσης είναι φανερό πως η εφελκυστική αντοχή παρουσιάζει πολύ καλύτερη συσχέτιση με τις φυσικές ιδιότητες, από τη συσχέτιση που παρουσιάζει η διορθωμένη εφελκυστική αντοχή.

6) Μια άλλη μηχανική παράμετρο που συσχετίσαμε με το ξηρό φαινόμενο βάρος (γ_{ds}) είναι ο ανηγμένος δείκτης σημειακής φόρτισης (I_{s50}). Ο I_{s50} αυξάνει γραμμικά με την αύξηση του γ_{ds} τόσο στους σερπεντινίτες ($I_{s50}=1.51\gamma_{ds} - 35.77$, με $R^2=0.74$), όσο και στους περιδοτίτες ($I_{s50}=1.84\gamma_{ds} - 50.60$, με $R^2=0.72$).

7) Για τους περιδοτίτες, η εξίσωση που καλύτερα περιγράφει τη σχέση του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50}) με το ενεργό πορώδες (n_{es}) είναι η $I_{s50}=-3.58\ln(n_{es}) + 1.61$ με συντελεστή συσχέτισης $R^2=0.73$, ενώ στους σερπεντινίτες η καλύτερη συσχέτιση δίνεται από την $I_{s50}=4.39\exp^{-0.27n_{es}}$ με $R^2=0.85$.

8) Το ξηρό φαινόμενο βάρος (γ_{ds}) παρουσιάζει επίσης γραμμική συσχέτιση με την αντοχή σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci}) τόσο στους σερπεντινίτες, όσο και στους περιδοτίτες. Όσο αυξάνει το γ_{ds} , τόσο αυξάνει και η σ_{ci} . Οι εξισώσεις που περιγράφουν καλύτερα τις σχέσεις των παραπάνω παραμέτρων είναι η: $\sigma_{ci}=41.87\gamma_{ds} - 1020.5$ με $R^2=0.73$ για τους σερπεντινίτες και η $\sigma_{ci}=42.19\gamma_{ds} - 1211$ με $R^2=0.67$ για τους περιδοτίτες.

9) Μεταξύ του ενεργού πορώδους (n_{es}) και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci}) υπάρχει λογαριθμική συσχέτιση. Για τους σερπεντινίτες ισχύει $\sigma_{ci}=-30.19\ln(n_{es}) + 63.76$ με $R^2=0.79$, ενώ $\sigma_{ci}=-78.05\ln(n_{es}) - 11.15$ με $R^2=0.69$ προτείνεται στους περιδοτίτες.

10) Το στατικό μέτρο ελαστικότητας (E_{st}), όπως και η αντοχή σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci}), εμφανίζει γραμμική συσχέτιση με το ξηρό φαινόμενο βάρος (γ_{ds}) τόσο στους σερπεντινίτες ($E_{st}=8.71\gamma_{ds} - 210.99$, με $R^2=0.64$), όσο και στους περιδοτίτες ($E_{st}=12.44\gamma_{ds} - 354.49$, με $R^2=0.64$).

11) Επίσης έγινε προσπάθεια να συσχετιστεί το στατικό μέτρο ελαστικότητας (E_{st}) με το ενεργό πορώδες (n_{es}), τόσο στους σερπεντινίτες, όσο και στους περιδοτίτες. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν πως στους σερπεντινίτες η εξίσωση που καλύτερα περιγράφει τη σχέση είναι υπερβολικού τύπου ($E_{st}=13.46n_{es}^{-0.46}$, με $R^2=0.69$), ενώ στους περιδοτίτες η καλύτερη συσχέτιση δίνεται από την $E_{st}=-23.87\ln(n_{es}) - 2.38$, με $R^2=0.71$.

Συσχέτιση των μηχανικών χαρακτηριστικών με τα δυναμικά χαρακτηριστικά

1) Μεταξύ των ταχυτήτων (V_p , V_s) των κυμάτων και της σκληρότητας (SHV) προτείνουμε γραμμικές συσχετίσεις. Όσο αυξάνει η σκληρότητα, αυξάνουν και οι ταχύτητες. Για τους σερπεντινίτες οι εξισώσεις είναι: $SHV=0.0069V_p + 14.75$, με $R^2=0.75$ και $SHV=0.0089V_s + 27.13$ με $R^2=0.74$, ενώ για τους περιδοτίτες καταλήξαμε στις: $SHV=0.0056V_p + 20.10$ με $R^2=0.79$ και $SHV=0.0074V_s + 31.48$ με $R^2=0.76$. Είναι προφανές πως οι προαναφερόμενες ιδιότητες συσχετίζονται καλύτερα στους περιδοτίτες, παρά στους σερπεντινίτες.

2) Οι ταχύτητες (V_p , V_s) των κυμάτων παρουσιάζουν επίσης και γραμμική συσχέτιση με την αντοχή σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci}), τόσο στους σερπεντινίτες όσο και στους περιδοτίτες. Όσο αυξάνουν οι ταχύτητες, τόσο αυξάνει και η αντοχή σε μοναξονική θλίψη. Οι εξισώσεις που περιγράφουν καλύτερα τις σχέσεις των παραπάνω παραμέτρων είναι οι: $\sigma_{ci}=0.11V_p - 506.45$ και $\sigma_{ci}=0.14V_s - 323.9$ για τους σερπεντινίτες και $\sigma_{ci}=0.14V_p - 898.84$ και $\sigma_{ci}=0.18V_s - 633.7$ για τους περιδοτίτες. Οι συντελεστές συσχέτισης είναι αρκετά μεγάλοι, δείχνοντας πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων. Οι περιδοτίτες εμφανίζουν υψηλότερους συντελεστές συσχέτισης ($R^2=0.83$ και $R^2=0.84$ αντιστοίχως για τα επιμήκη και τα εγκάρσια κύματα) από ότι οι σερπεντινίτες ($R^2=0.74$ $R^2=0.75$ αντιστοίχως για τα επιμήκη και τα εγκάρσια κύματα).

3) Η προσπάθεια που έγινε για να συσχετιστεί το δυναμικό (E_{ds}) με το στατικό μέτρο ελαστικότητας (E_{st}), έδειξε πως αυτά παρουσιάζουν αρκετά καλή συσχέτιση. Η συνάρτηση που αποδίδει καλύτερα τη συσχέτιση τους είναι γραμμική της μορφής $y=ax+b$ (με $R^2=0.70$ για τους σερπεντινίτες και $R^2=0.81$ για τους περιδοτίτες). Τελικά όμως προτείνεται η χρήση της συνάρτησης, με μορφή $y=ax$ (παρά το γεγονός ότι δίνει πολύ χαμηλούς συντελεστές συσχέτισης) διότι κατά τη γνώμη μας, αυτή περιγράφει με ρεαλιστικότερο τρόπο τη φυσική σημασία της σχέσης των μέτρων ελαστικότητας. Έτσι οι εξισώσεις που προτείνονται είναι $E_{st}=0.28E_{ds}$ με $R^2=0.44$ για τους σερπεντινίτες και $E_{st}=0.31E_{ds}$ με $R^2=0.57$ για τους περιδοτίτες.

Συσχέτιση των μηχανικών χαρακτηριστικών μεταξύ τους

1) Η αντοχή σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci}) δείχνει μια τάση αύξησης με την αύξηση της σκληρότητας (SHV). Στους σερπεντινίτες η συνάρτηση που καλύτερα περιγράφει τη σχέση τους είναι γραμμική ($\sigma_{ci}=12.86SHV - 601.2$, με $R^2=0.78$), ενώ στους περιδοτίτες είναι εκθετική ($\sigma_{ci}=0.013\exp^{0.15SHV}$, με $R^2=0.74$).

2) Η αντοχή σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci}) παρουσιάζει γραμμική συσχέτιση με την εφελκυστική αντοχή (σ_t) και τη διορθωμένη εφελκυστικής αντοχή (σ_{tc}), τόσο στους σερπεντινίτες, όσο και στους περιδοτίτες. Όσο αυξάνουν οι σ_t , σ_{tc} , τόσο αυξάνει και η σ_{ci} . Οι συναρτήσεις που αποδίδουν καλύτερα τη συσχέτιση τους είναι γραμμικές της μορφής $y=ax+b$. Όμως προτείνουμε τελικά τη χρήση της συνάρτησης, με μορφή $y=ax$ (παρά το γεγονός ότι δίνει χαμηλότερους συντελεστές συσχέτισης), διότι κατά τη γνώμη μας, αυτή περιγράφει με ρεαλιστικότερο τρόπο τη φυσική σημασία της σχέσης των αντοχών. Η ίδια τύπου σχέση προτείνεται και από τη βιβλιογραφία. Έτσι οι τελικές εξισώσεις είναι

$\sigma_{ci}=11.77\sigma_t$ με $R^2=0.72$ και $\sigma_{ci}=10.98\sigma_{tc}$ με $R^2=0.74$ για τους σερπεντινίτες και $\sigma_{ci}=8.63\sigma_t$ με $R^2=0.59$ και $\sigma_{ci}=7.65\sigma_{tc}$ με $R^2=0.56$ για τους περιδοτίτες.

3) Στην παρούσα διατριβή, για τους σερπεντινίτες, η καλύτερη συσχέτιση ($R^2=0.79$) μεταξύ της δοκιμής σε σημειακή φόρτιση και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη δίνεται από εξίσωση υπερβολικής μορφής, ενώ στους περιδοτίτες η καλύτερη συσχέτιση ($R^2=0.58$) είναι γραμμική της μορφής $y=ax+b$. Όμως προτείνουμε τελικά και για τους δυο λιθολογικούς τύπους τη χρήση της συνάρτησης, με μορφή $y=ax$ (παρά το γεγονός ότι δίνει χαμηλότερους συντελεστές συσχέτισης) διότι κατά τη γνώμη μας, αυτή περιγράφει με ρεαλιστικότερο τρόπο τη φυσική σημασία της σχέσης των αντοχών. Άλλωστε όπως προαναφέραμε, η πλειοψηφία των επιστημόνων προτείνουν γραμμική μορφή συσχέτισης. Έτσι οι προτεινόμενες εξισώσεις είναι $\sigma_{ci}=20.04I_{s50}$ με $R^2=0.71$ για τους σερπεντινίτες και $\sigma_{ci}=16.54I_{s50}$ με $R^2=0.57$ για τους περιδοτίτες. Από τα παραπάνω είναι εμφανές, πως στους σερπεντινίτες, οι προαναφερόμενες παράμετροι παρουσιάζουν πολύ καλύτερη συσχέτιση, από αυτήν που εμφανίζουν στους περιδοτίτες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως στους περιδοτίτες με ποσοστό σερπεντινιώσεως πάνω από 10%, η αντοχή σε μοναξονική θλίψη μπορεί να μειωθεί ως και το μισό της πραγματικής. Παρουσιάζουν δηλαδή μια ανισοτροπία (μη εμφανή δια γυμνού οφθαλμού) ως προς την αντοχή σε μοναξονική θλίψη.

4) Το στατικό μέτρο ελαστικότητας αυξάνει γραμμικά, τόσο με την αύξηση της σκληρότητας, όσο και με την αύξηση της αντοχής σε μοναξονική θλίψη. Οι εξισώσεις που καλύτερα περιγράφουν τις σχέσεις των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών είναι: $E_{st}=2.66SHV-122.93$ με $R^2=0.68$ και $E_{st}=205.87\sigma_{ci}+1369.4$ με $R^2=0.86$ για τους σερπεντινίτες και $E_{st}=5.15SHV-277.55$ με $R^2=0.56$ και $E_{st}=272.51\sigma_{ci}+5755$ με $R^2=0.82$ για τους περιδοτίτες. Από τα παραπάνω είναι προφανές πως το στατικό μέτρο ελαστικότητας συσχετίζεται καλύτερα με την αντοχή σε μοναξονική θλίψη, παρά με τη σκληρότητα και πως οι σερπεντινίτες παρουσιάζουν υψηλότερο συντελεστή συσχέτισης από τους περιδοτίτες. Με βάση τα διαγράμματα των DEERE & MILLER (1966) οι μελετηθέντες σερπεντινίτες, τοποθετούνται κυρίως στη Ζώνη M (Μέσου λόγου, με M_R από 200 έως 500) και ένα μικρό ποσοστό αυτών στη Ζώνη L (χαμηλού λόγου, με $M_R < 200$). Οι περιδοτίτες από την πλευρά τους τοποθετούνται αποκλειστικά και μόνο στη Ζώνη μέσου λόγου. Τα αποτελέσματα είναι αναμενόμενα και λογικά, αφού κατά τους DEERE & MILLER (1966) τα εκρηξιγενή πετρώματα τοποθετούνται στην Ζώνη μέσου λόγου.

5) Τέλος έγινε προσπάθεια να συσχετίσουμε τις παραμέτρους της διατμητικής αντοχής (c_{ci} , ϕ_{ci}) και την m_i μεταξύ τους, αλλά και με την αντοχή σε μοναξονική θλίψη. Η παράμετρος m_i αυξάνει γραμμικά, όσο αυξάνει η αντοχή σε μοναξονική θλίψη ($m_i=0.04\sigma_{ci} + 11.50$ για τους σερπεντινίτες και $m_i=0.068\sigma_{ci} + 14.37$ για τους περιδοτίτες), η συνοχή ($m_i=0.21c_{ci} + 10.71$ για τους σερπεντινίτες και $m_i=0.49c_{ci} + 10.62$ για τους περιδοτίτες) και η γωνία εσωτερικής τριβής ($m_i=0.34\phi_{ci} - 0.25$ για τους σερπεντινίτες και $m_i=0.99\phi_{ci} - 26.73$ για τους περιδοτίτες) του ανέπαφου πετρώματος. Γραμμική συσχέτιση παρατηρήθηκε επίσης και μεταξύ της συνοχής και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη ($c_{ci}=0.18\sigma_{ci} + 3.86$ για τους σερπεντινίτες και $c_{ci}=0.14\sigma_{ci} + 7.29$ για τους περιδοτίτες), αλλά και μεταξύ της γωνίας εσωτερικής τριβής και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη ($\phi_{ci}=0.11\sigma_{ci} + 35.35$ για τους σερπεντινίτες και $\phi_{ci}=0.069\sigma_{ci} + 41.67$ για τους περιδοτίτες). Όλες οι προαναφερθείσες συναρτήσεις παρουσιάζουν πάρα πολύ υψηλούς συντελεστές συσχέτισης και μάλιστα οι περιδοτίτες υψηλότερους από ότι οι σερπεντινίτες.

Η συσχέτιση των πετρογραφικών χαρακτηριστικών με τα φυσικά, δυναμικά και μηχανικά χαρακτηριστικά ανέδειξε τα παρακάτω συμπεράσματα:

1) Το ξηρό φαινόμενο βάρος (γ_{ds}) παρουσιάζει θετική γραμμική συσχέτιση με το βαθμό σερπεντινίωσης (β), ενώ το ενεργό πορώδες αυξάνει (εκθετικά στους σερπεντινίτες, γραμμικά στους περιδοτίτες) με την αύξηση του βαθμού σερπεντινίωσης. Οι εξισώσεις που περιγράφουν καλύτερα τις σχέσεις των παραπάνω παραμέτρων είναι οι: $\gamma_{ds}=-0.08\beta+32.08$ με $R^2=0.82$ και $n_{es}=0.0002\exp^{0.11\beta}$ με $R^2=0.82$ για τους σερπεντινίτες και οι $\gamma_{ds}=-0.09\beta+33.31$ με $R^2=0.96$ και $n_{es}=0.007\beta+0.056$ με $R^2=0.94$. Επειδή οι σχέσεις αυτές χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές R^2 θεωρούνται κατάλληλες για την εκτίμηση των φυσικών χαρακτηριστικών με βάση το β . Επίσης, από τα προαναφερόμενα προκύπτει πως οι περιδοτίτες παρουσιάζουν μεγαλύτερους συντελεστές συσχέτισης από τους σερπεντινίτες.

2) Μεταξύ των ταχυτήτων (V_p , V_s) των κυμάτων και του βαθμού σερπεντινίωσης (β) προτείνουμε γραμμικές συσχετίσεις της μορφής $y=ax+b$. Όσο αυξάνει ο β , μειώνονται οι ταχύτητες. Για τους σερπεντινίτες οι εξισώσεις που καλύτερα περιγράφουν τις προαναφερθείσες σχέσεις είναι: $V_p=-27.35\beta + 7528.7$, με $R^2=0.75$ και $V_s=-22.17\beta + 4566.1$ με $R^2=0.81$, ενώ για τους περιδοτίτες καταλήξαμε στις: $V_p=-26.66\beta + 7912.6$ με $R^2=0.66$ και $V_s=-20.00\beta + 4485.2$ με $R^2=0.65$. Είναι προφανές πως οι προαναφερόμενες ιδιότητες συσχετίζονται καλύτερα στους σερπεντινίτες, από ότι στους περιδοτίτες.

3) Επίσης έγινε μια προσπάθεια να συσχετιστεί η αντοχή σε μοναξονική θλίψη με το βαθμό σερπεντινίωσης. Η σ_{ci} δείχνει μια τάση μείωσης με την αύξηση του β . Η καλύτερη γραμμή συσχέτισης ανάμεσα στην σ_{ci} και το β είναι εκθετικής μορφής ($\sigma_{ci}=11219\exp^{-0.07\beta}$) στους σερπεντινίτες και λογαριθμικής ($\sigma_{ci}=-55.92\ln(\beta)+274.5$) στους περιδοτίτες. Οι σερπεντινίτες παρουσιάζουν πολύ υψηλότερη συσχέτιση ($R^2=0.88$) από ότι οι περιδοτίτες ($R^2=0.65$) κάτι που πιθανώς εξηγείται, από το μεγαλύτερο βαθμό ανισοτροπίας που παρουσιάζουν οι περιδοτίτες σε σχέση με τους σερπεντινίτες.

Τελειώνοντας, θα πρέπει να αναφέρουμε πως όσες αποκλίσεις τιμών παρατηρήθηκαν στα διαγράμματα που παραθέσαμε για τα φυσικοδυναμικομηχανικά χαρακτηριστικά των υπερβασικών πετρωμάτων, οφείλονται στην πιθανή ανισοτροπία, στην πετρογραφική ποικιλία των υπερβασικών πετρωμάτων, στο διαφορετικό βαθμό σερπεντινίωσης, στη δομική πολυπλοκότητά τους, αλλά και στην πιθανά εσωτερικά αποτυπωμένη τεκτονική παραμόρφωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **AGGISTALIS, G., ALIVIZATOS, A., STAMOULIS, D., STOURNARAS, G., 1996:** *Correlating uniaxial compressive strength with schmidt hardness, point load index, young's modulus, and mineralogy of gabbros and basalts (Northern Greece)*. Paris No 54.
2. **AL-JASSAR, SH., HAWKINS, AB., 1979:** *Geotechnical properties of the carboniferous limestone of the Bristol area*. Proc 4th Congr Int Soc Rock Mech. Montreux 1, pp 3-14.
3. **AL-HARTHI, A.A., AL-AMRI, R.M., SHEHATA, W.M., 1999:** *The porosity and engineering properties of vesicular basalt in Saudi Arabia*. Eng. Geol. 54, 313–320.
4. **ANONYMOUS, 1972:** *Penrose field conference on ophiolites*. Geotimes, 17, 24-25.
5. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1983:** *Standard test method for ultra violet velocities determination*. Annual Book of Standards, Vol. 04.08, D2845.
6. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1986a:** *Standard test method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock core specimens*. Annual Book of Standards, Vol. 04.08, D2938.
7. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1986b:** *Standard test method for Elastic Moduli of intact rock core Specimens in Uniaxial compression*. Annual Book of Standards, D3148.
8. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1995a:** *Standard test method for splitting tensile strength of intact rock core specimens*. Annual Book of Standards, D3967.
9. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2001:** *Standard practices for preparing rock core specimens and determining dimensional and*

- shape tolerances*. Annual Book of Standards, Vol. 04.03, D4543.
10. **ASHBY MF., & HALLAM SD., 1986:** *The failure of brittle solids containing small cracks under compressive stress states*. Acta Metall;34: 497–510.
 11. **AVON, 1972:** *The preparation of maps and plans in terms of engineering geology*. Q Journal Engng Geol. 5, pp. 293 – 382.
 12. **BALMER, G., 1952:** *A general analytical solution for Mohr's envelope*. Am. Soc. Test. Mat. 52, 1269-1271.
 13. **BARTON, N.R., LIEN, R. & LUNDE, J., 1974:** *Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support*. Rock Mech. 6(4), 189-239.
 14. **BAUMGARTNER, P.O., 1985:** *Jurassic sedimentary evolution and nappe emplacement in the Argolis peninsula (Peloponnesus, Greece)*. Mew. Soc. Helv. Sci. Nat., 99, 111.
 15. **BASU A., AYDIN A., 2006:** *Predicting Uniaxial Compressive Strength by Point Load Test: Significance of Cone Penetration*. Rock Mech. Rock Engng. DOI 10.1007/s00603 -006-0082-y.
 16. **BAYLISS, P., 1981:** *Unit cell data of serpentine group minerals*. Mineral. Mag., 44: 153—156.
 17. **BEAVIS, F.C., ROBERTS, F.I. and MINSKAYA L., 1982:** *Engineering aspects of weathering of a low grade metapelites in an arid climatic zone*. Q Journ. Engng. Geol. 15, pp. 29-45.
 18. **BEBIEN, J., OHNESTETTER, D., OHNESTETTER, M. & VERGELY, P., 1980:** *Diversity of the Greek ophiolites: birth of oceanic basins in transcurrent systems*. Ofloliti, sp. Iss. Tethyan ophiolites, 2, 129-197.
 19. **BECCALUVA, L., OHNESTETTER, D., OHNESTETTER, M. & PAUPY, A., 1984:** *Two magmatic series with island arc affinities within the Vourinos ophiolites*. Contrib. Mineral. Petrol., 85, 253-271.
 20. **BERMAN, R.G., 1988:** *Internally-consistent thermodynamic data for minerals in the system $K_2O-Na_2O-CaO-MgO-FeO-Fe_2O_3-Al_2O_3-SiO_2-TiO_2-H_2O-CO_2$* . J. Petrol. 29: 455–522.
 21. **BERNULLI, D. & LAUBSCHER, H., 1972:** *The palinspastic problem of the Hellenides*. Eclog. Geol. Helv., 65, 107-118.
 22. **BIENIAWSKI, Z.T., 1973:** *Engineering classification of jointed rock masses*. Trans S. Afr. Inst. Civ. Engrs., 15, 335-344.
 23. **BIENIAWSKI, Z.T., 1974a:** *Estimating the strength of rock materials*. Jl. S. Afr. Inst.

- Min. Metall. 74, No 8, pp. 312 – 320.
24. **BIENIAWSKI, Z.T., 1974b:** *Geomechanics classification of rock masses and its application in tunnelling*. In *Advances in Rock Mechanics 2, part A*: pp.27-32. Washington, D.C. National Academy of Sciences.
25. **BIENIAWSKI, Z.T., 1975:** *The point load test in geotechnical practice*. *Engng. Geology*, 9. pp. 1-11.
26. **BIENIAWSKI, Z.T., 1976:** *Rock mass classification in rock engineering*. In *Exploration for rock engineering, Proc. Of the symp. 1*, 97-106. Balkema, Cape Town.
27. **BIENIAWSKI, Z.T., 1978:** *Determining rock mass deformability. Experience from case histories*. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, Vol. 15, No 5, pp. 237 – 247.
28. **BIENIAWSKI, Z.T., 1989:** *Engineering Rock mass classifications*. *New York, Willey*.
29. **BIGGAZZI, G., DEL MORO, A., INNOCENTI, F., KYRIAKOPOULOS, K., MANETTI, P., PAPADOPOULOS, P., NORELLITI, P. AND MAGGANAS, A., 1989:** *The magmatic intrusive complex of Petrota, west Thrace: age and geodynamic significance*. *Geol. Rhodopica* 1, pp. 290–297.
30. **BIRCH, F., 1960:** *The velocity of compressional waves in rocks to 10 kbar*. Part 1. *J. Geophys. Res.*, 65: 1083-1102.
31. **BIRCH, F., 1961:** *The velocity of compressional waves in rocks to 10 kilobars, part 2*. *Journal of Geophysical Research*, v. 66, p. 2199–2224.
32. **BIRCH, F., 1969:** *Density and composition of the upper mantle: First approximation as an olivine layer*, in *Hart, P. J., ed., The earth's crust and upper mantle*. American Geophysical Union Monograph 13, p. 119–140.
33. **BOWEN, N.L., 1927:** *The origin of ultrabasic and related rocks*. *Am. J. Sci.*, 14, 89-108.
34. **BOWEN, N.L. & TUTTLE, O.E., 1949:** *The system MgO-SiO₂-H₂O*. *Geol. Soc. Am. Bull*, 60.
35. **BRACE, W.F., 1965:** *Some new measurements of linear compressibility of rocks*. *J. Geophys. Res.*, 70: 391-398.
36. **BRACE, W.F., PAULDING, B.W., SCHOLZ, C., 1966:** *Dilatancy in the fracture of crystalline rocks*: *Journal of Geophysical Research*, v. 71, p. 3939–3953.
37. **BPAX. E103-84 (2,3), 1985:** *Προτεινόμενες μέθοδοι για τον προσδιορισμό πορώδους-πυκνότητας*. Φ.Ε.Κ, υπ'αρ. 70/8-2-1985, ΚΕΔΕ.

38. **BPAX. E103-84 (4), 1985:** *Προτεινόμενη μέθοδος για τον προσδιορισμό της αντοχής σε μοναξονική θλίψη.* Φ.Ε.Κ, υπ'αρ. 70/8-2-1985, ΚΕΔΕ.
39. **BPAX. E103-84 (5), 1985:** *Προτεινόμενη μέθοδος για τον προσδιορισμό της αντοχής σε σημειακή φόρτιση.* Φ.Ε.Κ, υπ'αρ. 70/8-2-1985, ΚΕΔΕ.
40. **BPAX. E103-84 (6), 1985:** *Προτεινόμενη μέθοδος για τον προσδιορισμό της αντοχής σε τριαξονική θλίψη.* Φ.Ε.Κ, υπ'αρ. 70/8-2-1985, ΚΕΔΕ.
41. **BPAX. E103-84 (7), 1985:** *Προτεινόμενη μέθοδος για τον προσδιορισμό της σκληρότητας με το σφυρί Schmidt.* Φ.Ε.Κ, υπ'αρ. 70/8-2-1985, ΚΕΔΕ.
42. **BRIDEAU, M.A., STEAD, D., ROOTS, C., ORWIN, J., 2007:** *Geomorphology and engineering geology of a landslide in ultramafic rocks, Dawson City, Yukon.* Eng. Geol. Vol. 89, pp. 171-194.
43. **BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BS 5930) 1981:** Αντικαταστάθηκε από το BS 5930 1999: *British Standards code of practice for site investigation.* Available from: BSI British Standards Institution Standard Sales, 389, Chiswick High Rd, London, W4 4AJ. ISBN 0 580 33059 1.
44. **BROCH, E.M., FRANKLIN, J.A., 1972:** *The point load strength test.* Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 9, 669-697.
45. **BROGNIART, A., 1813:** *Essai d'une classification mineralogique des roches melangees.* J. Des Mines, Paris, No. 199.
46. **BROGNIART, A., 1827:** *Classification et caracteres mineralogiques des roches homogenes et heterogenes.* F. G. Levrault, Paris.
47. **BROMILEY, G. D., AND PAWLEY, A. R., 2003:** *The stability of antigorite in the systems MgO-SiO₂-H₂O(MSH) and MgO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O (MASH): The effects of Al³ substitution on high-pressure stability:* American Mineralogist, v. 28, p. 99-108.
48. **BROOK, N., 1985:** *The equivalent core diameter method of size and shape correction in point load test.* Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 22, 61-70.
49. **BROWN, E.T., 1970:** *Strength of models of rock with intermittent joints.* J. Soil Mech. Foundn Div., ASCE 96, SM6, 1935-1949.
50. **BURCH, S.H., 1965:** *Tectonic emplacement of the Burro Mountain ultramafic body, southern Santa Lucia Range, California.* Ph.D. Dissertation, Stanford University, Stanford, CA.
51. **BURK, C.A., 1964:** *A Study of Sempentinite: The AMSOC Core Hole Near Mayaguez, Puerto Rico.* Nat. Acad. Sciences, Washington, DC, 175 pp.
52. **CAMERON, M.E. AND PAPIKE, J.J., 1980:** *Crystal chemistry of silicate*

- pyroxenes*. In: C.T. Prewitt (Editor), *Pyroxenes*. Reviews in Mineralogy, Vol. 7, Mineral Soc. Am., Washington, DC, pp. 5—92.
53. **CAPEDRI, S., LEKKAS, E., PAPANIKOLAOU, D., SCARPELIS, N., VENTURELLI, G. & GALLO, J., 1985:** *The ophiolite of the Koziakas range, Western Thessaly (Greece)*. N. Jb. Miner. Abh., 152, 45-64.
54. **CAPEDRI, S., VENTURELLI, G., BEBIEN, J. & TOSCANI, L., 1981:** *Low and high Ti ophiolites in northern Pindos: petrological and geological constraints*. Bull. Vol., 44, 439-449.
55. **CAPEDRI, S., VENTURELLI, G., BOCCHI, G., DOSTAL, J., GARUTI, G. & ROSSI, A., 1980:** *The geochemistry and petrogenesis of an ophiolite sequence from Pindos, Greece*. Contrib.Mineral. Petrol, 74, 189-200.
56. **CARGILL, J.S., SHAKOOR, A., 1990:** *Evaluation of empirical methods for measuring of the uniaxial compressive strength*. Int J Rock Mech Min Sci.; 27:495-503.
57. **CARLSON, R. L., AND MILLER, D. J., 2003:** *Mantle wedge water contents estimated from seismic velocities in partially serpentinized peridotites*. Geophysical Research Letters, v. 30, no. 5, p.1250.
58. **CARTER, P.G. & SNEDDON, M., 1977:** *Comparison of Schmidt hammer, point load and unconfined compression tests in carboniferous strata*. Proc Conf on Rock Engng. Newcastle, UK, pp. 197–210.
59. **CAVAGNARO, R.L., 1980:** *Geotechnical testing for Leigh Creek Coalfield*. Proc. 3rd Aust. New Zealand Conf. on Geomech. Wellington 1, pp. 237 – 242.
60. **CELET, P., 1962:** *Contribution a l' etude geologique du Parnasse-Kiona et d'une partie des regions meridionales de la Grece continentale*. Ann. Geol. Pays Hellen., 13, 1-446, Athenes.
61. **CELET, P., 1976:** *A propos du melange de type "volcano-sedimentaire" de l' Iti (Grece meridionale)*. Bull. Soc. Geol. Fr., 18, 299-307 et Coll. Int. C.N.R.S., Paris, n° 244, 103-111.
62. **CELET, P., CLEMENT, B. & FERRIERE, J., 1976:** *La zone beotienne en Grèce: Implications paleogeographiques et structurales*. Eclogae Geol. Helv., 63/3, 577-599.
63. **CELET, P., FERRIERE, J. & WIGNIOLLE, E., 1977:** *Le probleme de l' origine des blocs exogenes du melange a elements ophiolitiques au Sud du Sperchios et dans le massif de l Othrys (Grece)*. Bull. Soc. Geol. Fr., 19/4, 935-942.

64. **CHAU, K.T., WONG, R.H.C., 1996:** *Uniaxial compressive strength and point load strength of rocks*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 33, 183-188.
65. **CHRISTENSEN, N.I., 1966a:** *Shear-wave velocities in metamorphic rocks at pressures to 10 kbar*. J. Geophys. Res., 71: 3549-3556.
66. **CHRISTENSEN, N.I., 1966b:** *Elasticity of ultrabasic rocks*. Journal of Geophysical Research, v. 71, p. 5921–5931.
67. **CHRISTENSEN, N. I., 1971:** *Fabric, seismic anisotropy, and tectonic history of the Twin Sisters Dunite, Washington*. Geological Society of America Bulletin, v. 82, p. 1681-1694.
68. **CHRISTENSEN, N. I., 1972:** *The abundance of serpentinites in the oceanic crust*. Journal of Geology, v. 80, p. 709-719.
69. **CHRISTENSEN, N. I., 1978:** *Ophiolites, seismic velocities and oceanic crustal structure*: Tectonophysics, v. 47, p.131-157.
70. **CHRISTENSEN, N. I., 1979:** *Compressional Wave Velocities in Rocks at High Temperatures and Pressures, Critical Thermal Gradients, and Crustal Low-velocity Zones*. J. Geophys. Res. 84 (B12), 6849–6857.
71. **CHRISTENSEN, N. I. 1984:** *The Magnitude Symmetry and Origin of Upper Mantle Anisotropy Based on Fabric Analysis of Ultramafic Tectonites*. Geophys. J. R. Astr. Soc. 76, 89–111.
72. **CHRISTENSEN, N. I., 1989:** *Pore pressure, seismic velocities, and crustal structure, in Pakiser, L. C., and Mooney, W. D., Geophysical framework of the continental United States*. Geological Society of America Memoir 172, p. 783–798.
73. **CHRISTENSEN, N. I., 1996:** *Poisson's ratio and crustal seismology*. Journal of Geophysical Research, v. 101, p. 3139–3156.
74. **CHRISTENSEN, N. I., 2004:** *Serpentinites, peridotites and seismology*. Int. Geol. Rev., Vol. 46, 2004, p. 795-816.
75. **CHRISTENSEN, N. I., LUNDQUIST, S. M., 1982:** *Pyroxene Orientation within the Upper Mantle*. Geol. Soc. Am. Bull. 93, 279–288.
76. **CLEMENT, B., 1977:** *Relations structurales entre la zone du Parnasse et la zone Pelagonienne en Beotie (Grece continentale)*. VI Colloquium on the Geology of the Aegean Region, Edit. G. Kalergis, IGME, Vol. 1, 237-245, Athens.
77. **CLIFT, P.D. & DIXON, J.E., 1998:** *Jurassic ridge collapse, subduction initiation and ophiolite obduction in the southern Greek Tethys*. Eclogae geol. Helv., 91, 128-138.

78. **COATES, D.F., 1964:** *Classification of rocks for rock mechanics*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 1, 421-431.
79. **COATES, D.F., PARSONS, R.D., 1966:** *Experimental criteria for classification of rock substances*. Int. J. Rock. Min. Sci., 3/3, p. 181-189.
80. **COLEMAN, R.G., 1971:** *Petrology and geophysical nature of serpentinites*. Bull. Geol. Soc. Am. 82, 897-918,
81. **COLEMAN, G. & KEITH, E., 1971:** *A chemical study of serpentinization - Burro Mountain, California*. J. Petrol. 12: 311-328.
82. **CONDIE, K.C., & MADISON, J., 1969:** *Composition and volume change accompanying progressive serpentinisation of dunites from Webster-Addie ultramafic body, N.C.* Am. Mineral. 54, 1173-1179.
83. **COURTIER, A., HART, D. AND CHRISTENSEN, N.I., 2004:** *Sismic properties of leg 195 serpentinites and their geophysical implications*. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results Volume 195.
84. **ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ ΙΓΜΕ. (κλίμακας 1:50.000): Φύλλα Δομοκός, Λεοντάριο, Ελάτεια, Αμφίκλεια.** Εκδόσεις Ι. Γ. Μ. Ε.
85. **DALLY, R.A., MANGER, G.E. & CLARK, S.P., 1966:** *Density of rocks*. In *Handbook of Physical Constants* by S.P. Clark (editor). Geol. Soc. Am. Mem. 97, pp. 19-26.
86. **D'ANDREA, D.V., FISHER, R.L., FOGELSON, D.E., 1964:** *Prediction of compression strength from other rock properties*. Colo Sch Mines Q.; 59(4B):623-40.
87. **D'ANDREA, D.V., FISCHER, R.L., FOGELSON, D.E., 1965:** *Prediction of compressive strength of rock from other properties*. US Bureau of Mines Rep. Investigation, No. 6702.
88. **DANELIAN, T. & ROBERTSON, A.H.F., 1995:** *Radiolarian evidence of Middle Jurassic collapse of the Pelagonian carbonate platform (Kallidromon mountains, Central Greece)*. Geol. Soc. Greece, Sp. Publ, 4, & Proceed. 15th Congress of Carpatho-Balkan Geol. Assoc, 175-180, September 1995, Athens, Greece.
89. **DAVIS, L., 1971:** *Peridotite, Gabbro-Basalt complex in Papua New Guinea*. Bull. Bir. Mineral. Res. Geol. Geophys. Aust. 128, 1-47.
90. **DEARMAN, W.R., BAYNES, E.J., IRFAN, T.Y., 1978:** *Engineering grading of weathered granite*. Eng. Geol. 12, 345-374.
91. **DEER, W.A., HOWIE, R.A. ZUSSMAN, J., 1962:** *Rock-Forming Minerals*. Vol. 5,

- Non-Silicates. Longmans, London, pp. 89—92.
92. **DEERE, D.U., 1964:** *Technical description of rock cores for engineering purposes.* Rock Mechanics and Engineering Geology, Vol. 1, No 1, 17 – 22.
93. **DEERE, D.U., 1968:** *Geological considerations.* In «Rock Mechanics in Engineering Practice" edited by Stagg and Zienkewicz, John Willey & Sons.
94. **DEERE, D.U. & MILLER, R.P., 1966:** *Engineering classification and index properties for intact rock.* Tech. Rept. No AFWAL - TR -65 -116, Air Force Weapons Ltd. Kirtland Airforce Base. New Mexico.
95. **DENGO, C. A., LOGAN, J.M., 1981:** *Implications of the Mechanical and Frictional Behavior of Serpentinite to Seismogenic Faulting.* J. Geophys. Res. 86, 10771-10782.
96. **DESCHAMPS, F., GUILLOT, S., GODARD, M., CHAUVEL, C., ANDREANI, M., HATTORI, K., 2009:** *In situ characterization of serpentinites from forearc mantle wedges: Timing of serpentinization and behavior of fluid-mobile elements in subduction zones.* Chem. Geol. In press.
97. **DIAMANTIS K., KARAMOUSALIS TH., ANTONIOU VAS., MIGIROS G., 2007:** *Uniaxial compressive strength, dry unit weight and fracture patterns of ultrabasic rocks in othrys mountain (central greece): correlations and evaluation.* Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ. τομ. XXXVII, pp. 264-274.
98. **DIAMANTIS K., GARTZOS, E., MIGIROS G., 2009:** *Study on uniaxial compressive strength, point load strength index, dynamic and physical properties of serpentinites from Central Greece: Test results and empirical relations.* Eng. Geol., 108, pp. 199-207.
99. **DINCER, I., ACAR, A., COBANOGLU, I. & URAS, Y. 2004:** *Correlation between Schmidt hardness uniaxial compressive strength and Young's modulus for andesites, basalts and tuffs* Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 63, 141-148.
100. **DIXON, J.E. & DIMITRIADIS, S., (1984):** *Metamorphosed ophiolitic rocks from the Serbo-Macedonian Massif, near Lake Volvi, Northeast Greece.* In: DIXON, J.E. & ROBERTSON, A.H.F. (eds.), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, Geol. Soc. London, Sp. Publ, 17, 603-618.
101. **DOSTAL, J., TOSCANI, L., PHOTIADES, A. & CAPEDE, S., 1991:** *Geochemistry and petrogenesis of Tethyan ophiolites from northern Argolis (Peloponnesus, Greece).* Eur. J. Mineral., 3, 105-121.
102. **ECONOMOU, M., 1983:** *A short note on the evolution of the Vermion ophiolite*

- complex (Macedonia-Greece)*. *Ophioliti*, 8, 333-338.
103. **ENDERLE, U., MECHIE, J., SOBOLEV, S., FUCHS, K., 1996:** *Seismic Anisotropy within the Uppermost Mantle of Southern Germany*. *Geophys. J. Int.* 125, 747–767.
104. **ΕΡΓΟΣΕ Α.Ε., 2003:** Γεωλογική μελέτη Σήραγγας Καλλιδρόμου.
105. **ESCARTIN, J., HIRTH, G. & EVANS, B., 1997a:** *Nondilatant brittle deformation of serpentinites: Implications for Mohr-Coulomb theory and the strength of faults*. *Journal of Geophysical Research*, v. 102, p. 2897–2913.
106. **ESCARTIN, J., HIRTH, G. & EVANS, B., 1997b:** *Effects of serpentization on the lithospheric strength and the style of normal faulting at slow-spreading ridges*. *Earth and Planetary Science Letters* 151_1997.181–189.
107. **ESCARTIN, J., HIRTH, G. & EVANS, B., 2001:** *Strength of slightly serpentized peridotites: Implications for the tectonics of oceanic lithosphere*. *Geological Society of America*. v. 29; no. 11; p. 1023–1026.
108. **EVANS, B. W., 2004:** *The serpentine multisystem revisited: Chrysotile is metastable*. *International Geology Review*, v. 46, p. 479–506.
109. **EVANS, B. W. & FROST, B.R., 1975:** *Chrome-spinel in progressive metamorphism-a preliminary analysis*. *Geochim. Cosmochim. Acta* 39, 959-972.
110. **FARMER, I., 1983:** *Engineering behaviour of rocks*. Second Edition. Chapman and Hall, London New York, 204 p.
111. **FAUPL, P., PETRAKAKIS, K., MIGIROS, G., PAVLOPOULOS A., 2002:** *Detrital blue amphiboles from the western Othrys Mountain and their relationship to the blueschist terrains of the Hellenides (Greece)*. *Int. J. Earth. Sci. (Geol. Rundsch)*, 91, 433-444.
112. **FENER, M., KAHRAMAN, S., BILGIL, A., GUNAYDIN, O., 2005:** *A comparative evaluation of indirect methods to estimate the compressive strength of rocks*. *Rock Mech. Rock Eng.* 38 (4), 329–343.
113. **FERRIERE, J., 1982:** *Paléogéographies et tectoniques superposées dans les Hellénides internes au niveau de l' Othrys et du Pélion (Grece)*. Thèse, sciences, Univ. Lille, 1982 et *Soc. Geol. Nord. Publ. No 8*, 970p., Lille.
114. **FORSTER, I.R., 1983:** *The influence of core sample geometry on the axial point load test*. *Int Journ Rock Mech Min Sci* 20, pp. 291 – 285.
115. **FUCHS, K., 1983:** *Recently Formed Elastic Anisotropy and Petrological Models for the Continental Subcrustal Lithosphere in Southern Germany*. *Phys. Earth Planet. Int.*

- 31, 93–118.
116. **GANSSER, A., 1974:** *The ophiolitic melange, a world-wide problem on Tethyan examples.* Eclog. Geol. Helv., 67, 479-507.
117. **GARTZOS, E., DIETRICH, V.J., MIGIROS, G., SERELIS, K., LYMPEROPOULOU, TH., 2008:** *The origin of amphibolite from metamorphic soles beneath the ultramafic ophiolites in Evia and Lesvos (Greece) and their geotectonic implication.* Lithos, Vol.: 108 Issue: 1-4 Pages: 224-242.
118. **GARTZOS, E., MIGIROS, G., PARHARIDIS, I., 1990:** *Chromites from ultramafic rocks of northern Evia (Greece) and their geotectonic significance.* S.M.P.M., 70, 301-307, 1990.
119. **GARTZOS, E., MIGIROS, G., SERELIS, K., PARHARIDIS, I., 1994:** *The ultramafic rocks of Evia - E. Thessaly and the hosted chromitites.* 7th Int Congress of the Geological Society of Greece. Bull. of the Geological Society of Greece. XXX/3, 137-153.
120. **GAVIGLIO, P., 1989:** *Longitudinal waves propagation in a limestone: the relationship between velocity and density.* Rock Mech. Rock Eng. 22, 299-306.
121. **GHOSH, D.K, SRIVASTAVA M., 1991:** *Point-load strength: an index for classification of rock material.* Bull Int Assoc Eng Geol;44:27–33.
122. **GLAWE, U., LINARD, J., 2003:** *High concrete dam on serpentinite.* Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology 36, 273–285.
123. **GOKCEOGLU, C., SOMMEZ, H., KAYABASI, A., 2003:** *Predicting the deformation moduli of rock masses.* Int J Rock Mech Min Sci, 40, 703 – 12.
124. **GOODMAN, R.E., 1989:** *Introduction to Rockmechanics.* Second Edition. John Wiley & Sons, 562 p.
125. **GRASSO, P., XU, S., MAHTAB, A., 1992.** *Problems and promises of index testing of rocks.* In: Tillerson, Wawersik, editors. Rock Mechanics. Balkema, Rotterdam, ISBN 9054100451, 1992. p. 879-88.
126. **GUNSALLUS, K.L., KULHAWY, F.H., 1984:** *A comparative evaluation of rockstrength measures.* Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 21, 233-248.
127. **HASSANI, F.P., SCOBLE, M.J., WHITTAKER, B.N., 1980:** *Application of point load index test to strength determination of rock and proposals for new size-correction chart.* In: Proceedings of the 21st US Symposium on Rock Mechanics, Rolla, p. 543-64.
128. **HATZIPANAGIOTOU, K., 1983:** *Die oberste Einheit des sud-agaischen*

- deckenstapels auf Rodos und Karpathos (Dodecanes/Griechenland) – Relikte eines ophiolith-komplexes*. Diss., 163, TU Braunschweig.
129. **HATZIPANAGIOTOU, K., 1990:** *Petrography of the ophiolite complex in central Argolis (Peloponnesus, Greece)*. *Ofioliti*, 15, 61-77.
130. **HATZIPANAGIOTOU, K., 1991:** *K – Ar dating of ophiolites from Rhodes and Karpathos islands, Dodekanese, Greece*. – *Geologica Balcanica*, 21/5, 69-76.
131. **HATZIPANAGIOTOU, K., PE-PIPER, G., 1995:** *Ophiolitic and sub-ophiolitic metamorphic rocks of the Vatera area, southern Lesvos (Greece): geochemistry and geochronology*. *Ofioliti*, 20, 17-29.
132. **HATZIPANAGIOTOU, K., PE-PIPER, G. & PYRGIOTIS, L., 1994:** *Sub-ophiolitic amphibolite soles from the Dafnospilia-Kedros area, western Thessaly, Greece*.- *N. Jb. Miner. Mh.*, 1994, 391-402.
133. **HATZIPANAGIOTOU, K., TSIKOURAS, B., MIGIROS, G., GARTZOS, E. AND SERELIS, K., 2003:** *Origin of rodingites in ultramafic rocks from Lesvos Island (NE Aegean, Greece)*. *Ofioliti*, 28(1), 13-23.
134. **HAWKES I., MELLOR M., 1970:** *Uniaxial testing in rock mechanics laboratories*. *Eng/ng. Geol.* 4, pp. 177-285.
135. **HAWKINS, A.B., 1998:** *Aspects of rock strength*. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, vol. 57. Springer, Berlin, pp. 17 – 30.
136. **HENDRON, A.J., 1972:** *Mechanical properties of rock*. In *Rock Mechanics in Engineering Practice* (eds K. G. Stagg & O. C. Zienkiewicz). London:Wiley.
137. **HESS, H.H., 1955:** *Serpentinities, orogeny and epeirogeny*. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, 62, 391-408.
138. **HESS, H. H., 1959:** *The AMSOC hole to the Earth's mantle*. *American Geophysical Union Transactions*, v. 40, p. 340–345.
139. **HOBBS, D.W., 1964:** *The tensile strength of rocks*. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* Vol. I, p. 385-396 Pergamon, Great Britain.
140. **HOEK, E., 1968:** *Brittle fracture of rock*. In *Rock Mechanics in Engineering practice* (eds K. G. Stagg & O. C. Zienkiewicz), pp. 99 - 124. London:Wiley.
141. **HOEK, E., 1983:** *Strength of jointed rock masses, 23rd Rankine lecture*. *Geotechnique* 33 (3), pp. 187-223.
142. **HOEK, E., 1994:** *Strength of rock and rock masses*. *ISRM News Journal*, 2 (2), pp. 4-16.
143. **HOEK, E., 2000:** *Practical rock Engineering*. (Course notes available at internet site:

- <http://www.roscience.com>).
144. **HOEK, E. & BROWN, E.T., 1980a:** *Underground excavations in rock*. Inst. of Mining and Metallurgy, London, 527 p.
145. **HOEK, E. & BROWN, E.T., 1980b:** *Empirical strength criterion for rock masses*. J. Geotech. Engng Div., ASCE 106 (GT9), pp. 1013-1035.
146. **HOEK, E. & BROWN, E.T., 1988:** *The Hoek-Brown failure criterion - a 1988 update*. Proc. 15th Canadian Rock Mech. Symp. (ed. J.C. Curran), pp. 31-38. Toronto, Dept. Civil Engineering, University of Toronto.
147. **HOEK, E. & BROWN, E.T., 1997:** *Practical estimates of rock mass strength*. Int. J. Rock Mech. & Mining Sci. & Geomechanics Abstracts. 34 (8), pp. 1165-1186.
148. **HOEK, E., CARRANZA TORRES, C, CORKUM, B., 2002:** *The Hoek-Brown failure criterion-a 2002 edition*. Proc. 5th North American Rock Mechanics Symposium and 17th Tunneling Association of Canada Conference: NARMS-TAC. University of Toronto Press, Toronto, Canada, pp. 267 - 271.
149. **HOEK, E. & DIEDERICHS, M.S., (2006):** *Empirical estimation of rock mass modulus*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, **43**, 203–215.
150. **HOEK, E., KAISER P. K. & BAWDEN, W.F., 1995:** *Support of underground excavations in hard rock*. Rotterdam, Balkema.
151. **HOEK, E. & MARINOS, P., 2000:** *Predicting Tunnel Squeezing problems in weak heterogenous rockmasses*. Tunnels and Tunnelling International. Part 1-November 2000, Part 2 - December, 2000.
152. **HOEK, E., MARINOS, P., BENISSI, M., 1998:** *Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses*. The case of the Athens schist formation. Bull. Eng. Geol. Environ., vol. 57 (2). Springer, Berlin, pp. 151 – 160.
153. **HOEK, E., MARINOS, P.G., MARINOS V.P., 2005:** *Characterization and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses*. Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 42, 277 – 285.
154. **HOEK, E. WOOD D., SHAH, S. 1992:** *A modified Hoek-Brown criterion for jointed rock masses*. Proc. Rock Characterization, Symp. Int. Soc. Rock Mech.: Eurock '92, (ed. J.A. Hudson), pp. 209-214. London, Brit. Geotech. Soc.
155. **HOREN, H., ZAMORA, M., DUBUISSON, G., 1996:** *Seismic wave velocities and anisotropy in serpentinitized peridotites from Xigaze ophiolite*. Abundance of

- serpentine in slow spreading ridge: *Geophysical Research Letters*, v. 23, p. 9–12.
156. **HYNES, A.J., NISBET, E.G., SMITH, A.G., WELLAND, M.J.P. & REX, D.C., 1972:** *Spreading and emplacement ages of some ophiolites in the Othris region (eastern central Greece)*. *Z. dt.geol. Ges.*, 123,455-468.
157. **IAEG, 1997:** Status of impact assessment and evaluation in the CGIAR: Proceedings of CGIAR Impact Assessment and Evaluation Workshop held at ISNAR, The Hague 15-17 April 1996.
158. **INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS SUGGESTED METHODS, 1981:** *Rock Characterization Testing and Monitoring*. Editor E. Brown, Pergamon Press, 211p.
159. **INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS. SUGGESTED METHODS, 1985:** *Suggested method for determining point load strength*. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr.* 22, pp. 51 – 62.
160. **IRFAN, T.Y. & DEARMAN, W.R., 1978:** *Engineering classification and index properties of a weathered granite*. *Bull. Int. Assoc. Engng. Geol.*, No 17, 79-90.
161. **JACKSON, E.D., 1961:** *Primary textures and mineral associations in the ultramafic zone of the still water complex, Montana, U.S.* *Geol. Surv. Prof. Paper* 358, 1-106.
162. **JACKSON, E.D., GREEN, H.W., MOORES, E.M., 1975:** *The Vourinos ophiolite Greece*. *Geol. Soc. Am. Bull.* 86, 390-398.
163. **JACOBSHAGEN, V., DURR, S., KOCKEL, F., KOPP, K.O. & KAWALCZYK, G., 1978:** *Structure and geodynamic evolution of the Aegean region*. In: CLOSS, H., ROEDER, D. & SCHMIDT, K. (eds.), *Alps, Apennines, Hellenides*, 537-564.
164. **JACOBSHAGEN, V., 1986:** *Geologie von Griechenland*. Gebruder, Bomtraeger, Stuttgart, 363.
165. **JAEGER, C., 1972:** *Rock Mechanics and Engineering*. Cambridge: at the University Press 417 pages.
166. **JAEGER, J.C., COOK, N.G., 1969:** *Fundamentals of Rock Mechanics*. London: Chapman and Hall.
167. **JENNI, J.P. & BALISSAT, M., 1979:** *Rock testing methods performed to predict the utilization possibilities of a tunnel boring machine*. *Proc. 4th Congr. Int. Soc. Rock Mech.*, Montreux 2, pp. 267 – 273.
168. **JOHANNES, W., 1968:** *Experimental investigation of the reaction forsterite+*

- water = serpentine+brucite*. Contrib. Mineral. Petrol., 19: 309—315.
169. **JOHNSON, R.B. & DE GRAFF, J.V., 1988:** *Principles of Engineering Geology*. John Wiley & Sons, pp. 497.
170. **JONES, G. & ROBERTSON, A.H.F. 1991:** *Tectono-stratigraphy and evolution of the Mesozoic Pindos ophiolite and related units, northwestern Greece*. – J. Geol. Soc. London, 148, 267-288.
171. **JONES, G., ROBERTSON, A.H.F. & CANN, J.R., 1991:** *Genesis and Emplacement of the Supra-Subduction Zone Pindos Ophiolite, Northwestern Greece*. In: PETERS, T.J. Et al. (eds.): *Ophiolite Genesis and Evolution of the Oceanic Lithosphere*, 771-799.
172. **JUDD, W.R., HUBER, C., 1961:** *Correlation of rock properties by statistical methods*. In: Proc. of the Int. Symp. of Mining Resources, University of Missouri at Rolla, MO, pp. 621-648.
173. **JUNG, D., MUSSALLAM, K., BURGATH, K., KOCKEL, F., MOHR, M., RASCHKA, H., 1980:** *Ultramafic and related rocks of Chalkidiki*. Proc. Int. Symp. Metal. Maf. Ultramaf. Complexes, Athens.
174. **KAHRAMAN, S., 2001:** *Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 38,981-994.
175. **KAHRAMAN, S., GUNAYDIN, O., FENER, M., 2005:** *The effect of porosity on the relation between uniaxial compressive strength and point load index*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 42, 584–589.
176. **KALAMARAS, G.S., BIENIAWSKI, Z.T., 1995:** *A rock strength concept for coal seams incorporating the effect of time*. Proc. Of the Eighth Int. Con. On rock Mechanics, vol 1, p.295-302.
177. **KAYABASI, A., GOKCEOGLU, C., ERNANOGLU, M., 2003:** *Estimating the deformation modulus of rock masses: a comparative study*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci, 40, 55 – 63.
178. **ΚΑΡΙΠΠΗ, Σ., 2004:** *Οι οφιολιθικές εμφανίσεις της Οίτης και του Καλλιδρόμου. Γεωλογική μελέτη, πετρογενετική εξέλιξη, γεωτεκτονική ερμηνεία*. Διδακτ. Διατριβή, Πάτρα, 2004.
179. **KERN, H., 1974:** *Gefugeregung und elastische Anisotropie eines Marmors*. Contrib. Mineral. Petrol., 43: 47-54.
180. **KERN, H. & FAKHIMI, M., 1975:** *Effect of fabric anisotropy on compressional-wave propagation in various metamorphic rocks for the range 20-700° c at 2 kbars*.

- Tectonophysics, 28 (1975) 227-244.
181. **KILIC, R., 1995:** *Geomechanical properties of the ophiolites (Cankiri/Turkey) and alteration degree of diabase*. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 51, 63–69.
182. **KILIC, R., KOCBAY, A., SEL, T., 1998:** *The geomechanical properties and alteration degree of serpentinite in the Ankara Ophiolitic Melange, Turkey*. In: Hungr, O., Moore, E. (Eds.), 8th International IAEG Congress. Balkema, Rotterdam, pp. 243–251.
183. **KOEPKE, J., 1986:** *Die Ophiolithe der südägäischen Inselbrücke*. Thesis, Tech. Univ. Braunschweig, 204 pp.
184. **KOEPKE, J., KREUZER, H. & SEIDEL, E., 1985:** *Ophiolites in the southern Aegean arc (Crete, Karpathos, Rhodes) – Linking the ophiolite belts of the Hellenides and the Taurides*. – *Ofioliti*, 10, 343-354.
185. **KOMAROV, A.G., 1965:** *Oceanic ridges and rift structure: geologic nature of the magnetic and gravity anomalies over the rift valley (in Russian)*. *Priroda*, 7: 95-98.
186. **KOSTOPOULOS, D.K., 1988:** *Geochemistry, Petrogenesis and Tectonic Setting of the Pindos Ophiolite, NW Greece*. Ph.D. Thesis, Univ. Newcastle, 468.
187. **KOUKIS, G., SABATAKAKIS, N., 1991:** *Index properties and their correlations for the marly and dolomitic limestones of the Athens basin, Greece*. *Mineral Wealth*, 72, pp. 27 - 33.
188. **KOUKIS, G., SABATAKAKIS, N., TSIAMBAOS, G., 1998:** *Geotechnical Properties of Greek Limestones*. Proc. 8th Intern. Congress of IAEG, Vancouver, pp. 2883 - 2888.
189. **KOUKIS, G., SABATAKAKIS, N., TSIAMBAOS, G., BOUROUNIS, CH., 2001:** *Correlations physical and mechanical properties of rocks in Greek territory*. *Bull. of Geol. Soc. Greece*. Vol., XXXIV/5, 1689-1695.
190. **ΚΟΥΚΗΣ, Γ., ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ, Ν., 2002:** *Τεχνική Γεωλογία*. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 514 σ., Αθήνα.
191. **ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ, Ι., 1978:** *Συμπεριφορά των περιδοτιτών και σερπεντινιτών εις τα τεχνικά έργα*. Υφηγεσία.
192. **ΚΩΝΣΤΑΝΤΟΠΟΥΛΟΥ, Π.Γ., 1990:** *Κατανομή των στοιχείων της ομάδας του λευκόχρυσου (PGE) και του χρυσού σε χρωμιτικά μεταλλεύματα και πετρώματα του οφιολιθικού συμπλέγματος του Βούρινου*. Διδακτορική Διατριβή, Παν/μιο Αθηνών, 262.
193. **LAMA, R.D., VUTUKURI, V.S., 1978:** *Handbook on mechanical properties of*

- rocks. Trans. Tech. Publ.,2.
194. **LAPPIN, M.A., 1971:** *The petrofabric orientation of olivine and seismic anisotropy of the mantle.* J. Geol., 79: 730-740.
195. **LAUFFER, H., 1958:** *Gebirgsklassifizierung fur den Stollebau.* Geologie und Bauwesen, Vol. 24, No 1, 46 – 51.
196. **ΛΕΚΚΑΣ, Ε., 1988:** *Γεωλογική δομή και γεωδυναμική εξέλιξη της οροσειράς του Κόζιακα (Δυτική Θεσσαλία).* Γεωλ. Μονογραφίες, 1, 281.
197. **LELUC, H., 1978:** *Contribution a l' etude geologique du Massif du Kallidromon (Grece continentale).* D.E.A., Univ.Lille, p. 74.
198. **LLOYD, J.W., 1999:** *Water Resources of hard rock aquifers in arid and semi-arid zones.* UNESCO Publishing.
199. **MAGGANAS, A., 2002:** *Constraints on the petrogenesis of Evros ophiolite extrusives, NE Greece.* Lithos, 65, 165-182.
200. **MAGGANAS, A., SIDERIS, C. & KOKKINAKIS, A., (1991):** *Marginal basin-volcanic arc origin of the metabasic rocks of the Circum-Rhodope belt, Thrace, Greece.* Mineral. Petrol, 44, 235- 252.
201. **MAINPRICE, D., SILVER, P. G., 1993:** *Interpretation of SKS-waves Using Samples from the Subcontinental Lithosphere.* Phys. Earth Planet. Inter. 78, 257–280.
202. **MAKSIMOVIC, Z. & MAJER, V., 1981:** *Accessory spinels of two main zones of Alpine ultramafic rocks in Yugoslavia.* Bull. Acad. Serbe Sci., 21, 47-58.
203. **MALTMAN, A.J., 1976:** *Serpentine textures in Anglesey, North Wales, U.K.* Geol. Soc. Am. Bull. 89, 972-980.
204. **MARINOS, G., 1974:** *Geology of Orthrys and issues on its ophiolites.* Ann Geol d Pa.yJieneiiciue.s26, University of Athens, pp 118 148.
205. **MARINOS, P., HOEK, E., 2000:** *GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation.* Proc. GeoEng2000 Conference, Melbourne. Invited papers, vol. 1. Technomic Publishing Co., Inc., Pennsylvania, pp. 1422- 1440.
206. **MARINOS, P., HOEK, E., 2001:** *Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch.* Bull. Int. Assoc. Eng. Geol. 60, 85 -92.
207. **MARINOS, P., HOEK, E., MARINOS, V., 2006:** *Variability of the engineering properties of rock masses quantified by the geological strength index: the case of ophiolites with special emphasis on tunneling.* Bull. Eng. Geol. Env. Vol. 65. 129-142.
208. **MARINOS P., KOUKIS, G., SABATAKAKIS N. and TSIAMBAOS G., 1994:**

- Laboratory testing aspects of Athenian Schist*. 7th Congress of the International Association of Engineering Geology (IAEG), Lisboa, Portugal, 5-9 Sept., Vol.2, pp. 975-982.
209. **MENZIES, M., 1973:** *Mineralogy and partial melt textures within an ultramafic-mafic body, Greece*. Contrib. Mineral. Petrol, 42, 273-285.
210. **MENZIES, M., 1976:** *Rifting of a Tethyan continent. Rare earth evidence of an accreting plate margin*. Earth Planet. Sci. Lett., 28, 427-438.
211. **MENZIES, M. & ALLEN, C., 1974:** *Plagioclase lherzolite-residual mantle: relationships within two eastern mediterranean ophiolites*. Contr. Min. Petr. , 46; 2, 454-487.
212. **MERCIER, J. & NICOLAS, A., 1975:** *Textures and fabrics of upper-mantle peridotites as illustrated by xenoliths from basalts*. J.Petrol, 16, 464-487.
213. **MIGIROS, G. & ECONOMOU, M., 1988:** *Chromites in the ultrabasic rocks East Thessaly complex (central Greece)*. Ofioliti, 7, 397-406.
214. **MIGIROS, G., HATZIPANAGIOTOU, K., GARTZOS, E., SERELIS, K. & TSIKOURAS, B., 2000:** *Petrogenetic Evolution of Ultramafic Rocks from Lesbos Island (NE Aegean, Greece)*. Chemie der Erde 60, 27-46.
215. **ΜΙΓΚΙΡΟΣ, Γ., 1990:** *Η λιθοστρωματογραφική-τεκτονική δομή της Όθρυος (Κεντρική Ελλάδα)*. Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ., XXVI, σελ. 107-120.
216. **ΜΙΓΚΙΡΟΣ, Γ., 1996:** *Βασικές αρχές & έννοιες στη Γεωλογία*. Εκδόσεις Access Pre-Press, Αθήνα.
217. **ΜΙΓΚΙΡΟΣ, Γ., ΜΑΝΑΚΟΣ, Κ., ΣΚΟΥΡΤΣΗ-ΚΟΡΩΝΑΙΟΥ, Β. & ΚΑΡΦΑΚΗΣ, Ι., 1989:** *Η γεωλογική δομή της οροσειράς του Κόζιακα (Δ. Θεσσαλία, Ελλάδα)*. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., 23/1, 381-393, Αθήνα.
218. **ΜΙΓΚΙΡΟΣ, Γ., ΣΤΑΜΑΤΗΣ Γ., ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΒΑΣ. & ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ Χ., 2005:** *Σχέση τεκτονικής δομής και υδροφορίας της οφιολιθικής μάζας του όρους Καλλιδρόμου και ποιοτική σύσταση των υπόγειων νερών (Κεντρική Ελλάδα)*. 7^ο Πανελλ. Συν. Υδρογεωλογίας, Αθήνα, τόμος 3, 355-365.
219. **MITRI, H.S., EDRISSI, R., HENNING, J., 1994:** *Finite element modeling of cablebolted slopes in hard rock ground mines*. Presented at the SME Annual Meeting. New Mexico: Albuquerque; 1994. p. 94-116.
220. **MITROPOULOS, P., KALOGEROPOULOS, S.I. & BALTAZIS, E., 1987:** *Geochemical characteristics of ophiolitic rocks from Iti, Central Greece*. Ofloliti, 12/1, 37-42.

221. **MIYASHIRO, A., 1973:** *The Troodos ophiolitic complex was probably formed in an island arc-Earth Planet. Sci. Lett.*, 19, 218-224.
222. **MOODY, J. B., 1976:** *An experimental study on the serpentinisation of iron-bearing olivines.* Con. Mineral., in press.
223. **MOORE, D.E., LOCKNER, L.D.A., SUMMERS, R., SHENGLI, M., BYERLEE, J.D., 1996:** *Strength of chrysotile-serpentine gouge under hydrothermal conditions: Can it explain a weak San Andreas fault?* Geology, v. 24, p. 1041–1044.
224. **MOORES, E.M., 1982:** *Origin and emplacement of ophiolites.* Rev. Geoph. Sp. Phys., 20, 735-760.
225. **MOORES, E.M. & TWISS, R.J., 1995:** *Tectonics.* W.H. Freeman & Company, England, 415.
226. **MOUNTRAKIS, D., 1982:** *Emplacement of the Kastoria ophiolite on the western edge of the Internal Hellenides.* Ofloliti, 7, 397-406.
227. **MOUNTRAKIS, D., 1984:** *Structural evolution of the Pelagonian Zone in NW Macedonia, Greece.-In: DIXON, J.E. & ROBERTSON, A.H.F. (eds.), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean.* Geol. Soc. London, Spec. Publ., 17, 581-590.
228. **MOUNTRAKIS, D., 1986:** *The Pelagonian zone in Greece: a polyphased deformed fragment of the Cimmerian continent and its role in the geological evolution of the eastern Mediterranean.* J. Geol., 94, 335-347.
229. **MOYNTPAKHΣ, Δ., 1985:** *Γεωλογία της Ελλάδος.* Γεωλογικό Τμήμα Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.
230. **NICHOLSON, G.A, BIENIAWSKI, Z.T., 1990:** *A nonlinear deformation modulus based on rock mass classification.* Int J Min Geol Eng 1990;8: 181–202.
231. **NICOLAS, A., 1995:** *The Mid-oceanic Ridges: Mountains below Sea Level.* Springer Verlag, Berlin–New York–Heidelberg.
232. **NICOLAS, A., BOUDIER, F. & BOUCHEZ, J.L., 1980:** *Interpretation of peridotite structures from ophiolitic and oceanic environments.* Amer.J.Sci., 280, 192-210. NISBET, E.G. (1974): *The geology of the Neraida area, Othris Mountains, Greece.- Ph.D. Thesis, Cambridge University, England, 226.*
233. **NORBURY, D.R., 1984:** *The point load test.* Engin. Group of the Geological Society, 20th reg. meet. Univ. of Surey, Sept., pp. 344 – 352.
234. **O'HANLEY, D. S., 1996:** *Serpentinites: Records of tectonic and petrologic history.* New York, NY, Oxford University Press, 277 p.

235. **PAGE, N. J., 1966:** *Mineralogy and chemistry of the serpentine group minerals and the serpentinisation process*. Ph.D., University of California, Berkeley, Calif.
236. **PALMSTROM, A., SINGH, R., 2001:** *The deformation modulus of rock masses: comparisons between in situ tests and indirect estimates*. *Tunnling Underground Space Technol*, 16: 115-131.
237. **ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ., 1986:** *Γεωλογία της Ελλάδος*. Γεωλογικό Τμήμα Πανεπιστημίου Αθηνών.
238. **ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ., ΚΑΡΟΤΣΙΕΡΗΣ, Ζ., 2005:** *Τεκτονική Γεωλογία*. Βιβλίο. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
239. **ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ. & ΛΕΚΚΑΣ, Ε., 1979:** *Πλευρική μετάβαση μεταξύ της ζώνης της Πίνδου και της ενότητας Δυτικής Θεσσαλίας στην περιοχή Ταυρωπού*. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ. ΧΤV/1. 70 – 84.
240. **ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ, Ι., ΤΑΤΑΡΗΣ, Α., ΒΕΤΟΥΛΗΣ, Δ., ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ, Γ., ΛΑΛΕΧΟΣ, Ν. & ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ, Α., 1962:** *Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο «ΑΜΦΙΚΛΕΙΑ»*. ΙΓΕΥ, κλίμακα 1:50.000.
241. **ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ, Ι., ΤΑΤΑΡΗΣ, Α., ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ, Γ., ΒΕΤΟΥΛΗΣ, Δ., ΖΑΦΕΙΡΗΣ, Γ., ΛΑΛΕΧΟΣ, Ν. & ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ, Α., 1959:** *Γεωλογική χαρτογράφηση φύλλου Αμφίκλειας*. Δελτ. Ι.Γ.Ε.Υ., 4-5, Αθήνα.
242. **PAVENTI, M., SCOBLE, M., STEAD, D., 1996:** *Characteristics of a complex Serpentinised Ultramafic Rock Mass at the Birchtree Mine*. Manitoba. In: H. Aubertin. Mitri (Editor). *North American Rock Mechanics Symposium*. Rotterdam. pp. 339-346.
243. **PEARCE, J.A., LIPPARD, S.J., ROBERTS, S., 1984:** *Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites*. In: *Marginal Basin Geology* (KOKELAAR, B.P. & HOWELLS, M.F., Editors), Geol. Soc. Lond. Spec. Publ, 16, 77-94.
244. **PESELNICK, L., NICOLAS, A., STEVENSON, P.R., 1974:** *Velocity anisotropy in a mantle peridotite from the Ivrea zone: Application to upper-mantle anisotropy*. *J. Geophys. Res.*, 79: 1175-1182.
245. **POMONIS, P., TSIKOURAS, B. & HATZIPANAGIOTOU, K., 2005:** *Geological evolution of the Koziakas ophiolitic complex (western Thessaly, Greece)*. *Ofioliti*, 30 (2), 77-86.
246. **PRICHARD, H.M., 1979:** *A Petrographic Study of the Process of Serpentinisation in Ophiolites and the Ocean Crust*. *Contrib. Mineral. Petrol.* 68, 231-241.

247. **PROTODYAKONOV, M., M., 1963:** *Mechanical properties and drillability of rocks*. Proc. 5th Symp. Rock Mech., Machillan, New York, 103 – 118.
248. **QUANE, S.L., RUSSEL, J.K., 2003:** *Rock strength as a metric of welding intensity in pyroclastic deposits*. Eur J Mineral 15: 855-64,2.
249. **RALEIGH, C. B., 1967:** *Tectonic implications of serpentine weakening*. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, v. 14, p. 113–118.
250. **RALEIGH, C. B., PATERSON, M. S., 1965:** *Experimental deformation of serpentine and its tectonic implications*. Journal of Geophysical Research, v. 70, p. 3965–3985.
251. **RAMAMURTHY, T., 2001:** *Shear strength response of some geological materials in triaxial compression*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci.; 38: p. 683-697.
252. **RAMAMURTHY, T., 2004:** *A geo-engineering classification for rocks and rock masses*. Int. J. of Rock Mech. And Min. Sci., 41: p.89-101.
253. **RAMANA, Y.V., 1969:** *Elastic behaviour of some indian rocks under confined pressure*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol 6, pp. 191-201, Pergamon press.
254. **RAMANA, Y.V., VENKATANARYANA, B., 1971:** *An air porosimeter for the porosity of rocks*. Int. J. Rock Min. Sci. Vol. 8, No 1, pp. 2953-2960.
255. **RAO M. V. M. S., RAMANA Y. V., 1974:** *Dilatant Behaviour of Ultramafic Rocks During Fracture*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 11, pp. 193-203. Pergamon Press 1974. Printed in Great Britain.
256. **RASSIOS, A., 1990:** *Geology and copper mineralization of the Vrinera area, east Othris ophiolite, Greece*. Ofioliti, 15, 287-304.
257. **RASSIOS, A., 1991:** *Internal structure and pseudo-stratigraphy of the Dramala peridotite massif, Pindos Mountains, Greece*. Bull. Geol. Soc. Greece, 25/1, 293-305.
258. **RASSIOS, A., GRIVAS, E., KONSTANTOPOULOU, G. & VACONDIOS, I., 1994:** *The geometry of structures forming around the ductile-brittle transition in the Vourinos-Pindos-Othris oceanic slab*. 7th Congr., Thessaloniki, Bull. Geol. Soc. Greece, 30/2, 109-121.
259. **RASSIOS, A. & KONSTANTOPOULOU, G., 1993:** *Emplacement tectonism and the position of chrome ores in the Mega Isoma peridotites, SW Othris, Greece*. Bull. Geol. Soc. Greece, 28/2, 463-474.
260. **RASSIOS, A. & SMITH, A.G., 2000:** *Constraints on the formation and emplacement age of western Greek ophiolites (Vourinos, Pindos, and Othris)*

- inferred from deformation structures in peridotites*. Geol. Soc. Amer. Sp. Pap., 349, 473-483.
261. **READ, J.R.L., THORNTEN, P.N., REGAN, W.M., 1980:** *A rational approach to the point load test*. In: Proceedings Aust-N.Z. Geomechanics, vol. 2, p. 35-9.
262. **REINEN, L.A., 2000:** *Seismic and aseismic slip indicators in serpentinite gouge*. Geology, v. 28, p. 135–138.
263. **REINEN, L., WEEKS, J., TULLIS, T., 1994:** *The Frictional Behavior of Lizardite and Antigorite Serpentinites: Experiments, Constitutive Models, and Implications for Natural Faults*. PAGEOPH, Vol. 143, No. 1/2/3.
264. **ΡΗΓΟΠΟΥΛΟΣ, Ι., 2009:** *Συσχετισμός ορυκτοπετρογραφικών και φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των οφιολιθικών πετρωμάτων Πίνδου και Βούρινου και εκτίμηση της καταλληλότητας τους ως αδρανών υλικών σε κατασκευαστικές-βιομηχανικές εφαρμογές*. Διδακτορική διατριβή, Πάτρα.
265. **RICHTER, D., MULLER, C., RISCH, H., 1996a:** *Die Flysch-Zonen Griechelands XI: Neue Daten zur Stratigraphie und Palaogeographie des Flysches und seiner Unterlage in der Pelagonischen Zone (Griecheland)*. Neues Jahrb Geol Palaeont Abh 201: 327-366.
266. **ROBERTSON, A.H.F., 1991:** *Origin and emplacement of an inferred late Jurassic subduction accretion complex, Euboea, eastern Greece*. Geol. Mag., 128, 27-41.
267. **ROBERTSON, A.H.F., CLIFT, P.D., DEGNAN, P.J. & JONES, G., 1991:** *Palaeogeographic and palaeotectonic evolution of the Eastern Mediterranean Neotethys*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 87, 289-343.
268. **ROBERTSON, A.H.F. & DIXON, J.E., 1984:** *Introduction: aspects of the geological evolution of the Eastern Mediterranean*. In: DIXON, J.E. & ROBERTSON, A.H.F. (eds.), *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*, Geol. Soc. London, sp. publ., 17, 1-74.
269. **ROBERTSON, E., 1964:** *Strengths and elastic moduli of Serpentinite from Mayaguez, Puerto Rico*. NASR-A, NII88, pp. 118-125.
270. **ROBERTSON, A.H.F., 2002:** *Overview of the genesis and emplacement of Mesozoic ophiolites in the Eastern Mediterranean Tethyan region*. – Lithos, 65, 1-67.
271. **ROBERTSON, A.H.F., 2004:** *Development of concepts concerning the genesis and emplacement of Tethyan ophiolites in the Eastern Mediterranean and Oman regions*. Earth-Sci. Rev., 66, 331-387.

272. **ROBIE, R.A., HEMINGWAY, B.S. AND FISHER, JR., 1979:** *Thermo-dynamic properties of minerals and related substances at 298,15 K and 1 bar (10~Pascals) pressure and at higher temperatures, reprinted with corrections.* Geol. Surv. Am. Bull., 1452, 456 pp.
273. **ROMANA, M., 1999.** *Correlation between uniaxial compressive and point-load (Franklin test) strengths for different rock classes.* 9th ISRM Congress, vol. 1. Balkema, Paris, pp. 673-676.
274. **SAAD, A.H., 1969:** *Magnetic properties of ultramafic rocks from Red Mountain, California.* Geophysics, 34: 974—987.
275. **SABATAKAKIS, N., KOUKIS, G., TSIAMBAOS, G. & PAPANAKLI, S., 2008:** *Index properties and strength variation controlled by microstructure for sedimentary rocks.* Engineering Geology, 97, 80-90.
276. **SABATAKAKIS N., TSIAMBAOS, G. & KOUKIS, G., 1993:** *Index properties of soft marly rocks of the Athens basin, Greece.* Proc. Int. Symp. Geotech. Engin. of Hard soils and Soft Rocks, Athens, Vol. I, 275-279.
277. **ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ, Ν., ΤΣΙΑΜΠΑΟΣ, Γ., ΓΕΡΟΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ Δ., 2002:** *Εκτίμηση φυσικών και μηχανικών παραμέτρων του Βραχώδους υλικού.* Δελτ. ΚΕΔΕ, Ειδική έκδοση, pp. 3-8.
278. **SADAGAH, B.H., 1989:** *Engineering geological maps for road design and construction in Saudi Arabia.* PhD Thesis, Imperial College of Science and Technology, University of London.
279. **SAITO, T., MAMORU, A.B.E., KUNDRI, S., 1974:** *Study on weathering of igneous rock.* Mech. Japan, Vol.2, p. 28-30.
280. **SCHMITT, D.R., HAN, Z., KRAVCHINSKY V.A., ESCARTIN, J., 2007:** *Seismic and magnetic anisotropy of serpentinized ophiolite: Implications for oceanic spreading rate dependent anisotropy.* Earth and Planetary Science Letters: 261, pp 590–601.
281. **SCHRODER, C., 1972:** *Influence de la lithologie sur le comportement mécanique des roches soumises a essais de compression simple et Brazilliens.* Eng. Geology, Vol. 6, Amsterdam.
282. **SEIDEL, E., OKRUSCH, M., KREUZER, H., RASCHKA, H. AND HARRE W., 1981:** *Eo-Alpine metamorphism in the uppermost unit of the Cretan nappe system—petrology and geochronology: Part 2. Synopsis of high-temperature metamorphics and associated ophiolites.* Contrib. Mineral. Petrol. 76, pp. 351–361.

283. **SERAFIM, J.L., PEREIRA J.P., 1983:** *Consideration of the geomechanical classification of Bieniawski*. Proc. Int. Symp. On Engineering geology and underground construction, Lisbon 1 (II), 33-44.
284. **SERELIS, K. & GARTZOS, E., 1994:** *The ultramafic rocks of Lesvos*. 7th Int. Cong. of the Geological Soc. of Greece, Thessaloniki, 1994. Bull. of the Geological Society of Greece, XXX/3, 113-124.
285. **SHIMADA, M., CHO, A., AND YUKUTAKE, H., 1983:** *Fracture strength of dry silicate rocks at high confining pressures and activity of acoustic emission*. Tectonophysics, v. 96, p. 159-172.
286. **SIMANTOV, J. & BERTRAND, J., 1987:** *Major and trace element geochemistry of the central Euboea basaltic rocks (Greece)*. Possible geotectonic implications.- Ofloliti, 12, 201-218.
287. **SIMMONS, G., 1964:** *The velocity of shear waves in rocks to 10 kilobars, part 1*. Journal of Geophysical Research, v. 69, p. 1123-1130.
288. **SINGH, D.P., 1981:** *Determination of some engineering properties of weak rocks*. In: Akai K, editor. Proceedings of the international symposium on weak rock. Rotterdam: Balkema; p. 21-4.
289. **SINGH, V.K., SINGH, D.P., 1993:** *Correlation between Point load index and compressive strength for quartzite rocks*. Geotechnical and Geological Engineering, 11: 269-272.
290. **SINGHAL, B.B.S., GUPTA, R.P., 1999:** *Applied hydrogeology of fractured rocks*. Kluwier Academic Publishers.
291. **SMITH, A.G., 1979:** *Othris, Pindos and Vourinos ophiolites and the Pelagonian zone*. In: 6th Colloquium on the geology of the Aegean region (Vol. 3). Institute of Geological Mining Research, Athens, Greece, 1369-1374.
292. **SMITH, A.G., 1993:** *Tectonic significance of the Hellenic-Dinaric ophiolites*.- In: PRICHARD, H.M., ALABASTER, T., HARRIS, N.B.W. & NEARY, C.R. (eds.): Magmatic Processes and Plate Tectonics, Geol. Soc. Sp. Publ, No.76, 213-243.
293. **SMITH, A.G., HYNES, A.J., MENZIES, M., NISBET, E.G., PRICE, I., WELLAND, M.J. & FERRIERE, J., 1975:** *The stratigraphy of the Othris Mountains, eastern central Greece: a deformed Mesozoic continental margin sequence*. Eclog. Geol. Helv., 68, 463-481.
294. **SMITH, A.G. & SPRAY, J.G., 1984:** *A half-ridge transform model for the Hellenic-Dinaric ophiolites*. In: DIXON, J.E. & ROBERTSON, A.H.F. (eds.), The

- Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, Geol. Soc. London, sp. Publ., 17, 629-644.
295. **SMITH, C.H., 1958:** *Bay of Islands Igneous complex, western Newfoundland*. Geol. Surv. Can. Mem. 290, 1-132.
296. **SMITH, H.J., 1997:** *The Point load test for Weak Rock in Dredging Applications*. Int J Rock Mech Min Sci; 34(3-4):295.
297. **SONMEZ, H., GOKCEOGLU, C., MEDLEY, E.W., TUNCAY, E., NEFESLIOGLU, H.A., 2006:** *Estimating the uniaxial compressive strength of a volcanic bimrock*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 43 (4), 554-561.
298. **SONMEZ, H., TUNCAY, E., GOKCEOGLU, C., 2004:** *Models to predict the uniaxial compressive strength and the modulus of elasticity for Ankara Agglomerate*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 41 (5), 717-729.
299. **SPRAY, J.G., 1983:** *Lithosphere-asthenosphere decoupling at spreading centers and the initiation of obduction*. Nature, 304, 253-255.
300. **SPRAY, J. G., BEBIEN, J., REX, D. C. & RODDICK, J. C., 1984:** *Age constraints on the igneous and metamorphic evolution of the Hellenic-Dinaric ophiolites*. In: Dixon, J.E, and Robertson A.H.F. (Eds), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, Geological Society, London, Special Publications, 17, 619-627.
301. **SPRAY, J.G. & RODDICK, J.C., 1980:** *Petrology and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology of Some Hellenic Sub-Ophiolite Metamorphic Rocks*. Contrib. Mineral. Petrol., 72, 43-55.
302. **STEINMANN, G., 1927:** *Die ophiolitischen zonen in den Mediterranen Kettengerbige*. Proc. 14th Intern. Congr. Madrid, 2, 638-667.
303. **STINI, I., 1950:** *Geology in tunnel construction (in German)*. Springer publishers, Vienna, 366 pp.
304. **ΣΤΟΥΡΝΑΡΑΣ, Γ., 2005:** *Τεχνική Γεωλογία- Γεωλογία Τεχνικών Έργων – Ειδικά Μαθήματα Γεωλογικών Εφαρμογών*. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
305. **STRECKEISEN, A.L., 1976:** *To each plutonic rock its proper name*. Earth Sci. Rev., 12, 1-33.
306. **TAPPONNIER P. & BRACE WF., 1976:** *Development of stress-induced microcracks in Westerly granite*. Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr;13:103–12.

307. **ΤΑΤΑΡΗΣ, Α., 1975:** *Μερικά ερωτήματα επί της "Διαδρομής" της νεωτέρας (Sh2) σχιστοκερατολιθικής διαπλάσεως και της σχέσεως Πηλίου-Ολύμπου.* Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ. . XII/1. 95 – 112.
308. **TAYLOR, B. & NATLAND, J., 1995:** *Active Margins and Marginal Basins of the Western Pacific.* Geophys. Monogr., Am. Geophys. Union, 88: 175-197.
309. **TERZAGHI, K., 1936:** *Introduction to tunnel Geology.* In "Rock Tunneling with steel supports". I. Commercial Shearing and Stamping Co. Yonngs-town Ohio.
310. **TERZAGHI, K., 1946:** *Rock Defects and loans on tunnel support. Rock Tunneling with steel supports.* Eds R.V. Proctor, and T. White, Commercial Shearing and Stamping Co., Youngstown, Ohio, 15 – 99.
311. **THAYER, T.P., 1963:** *Flow layering in alpine peridotite gabbro complexes.* Mineral. Soc. Amer. Sp. Pap., 1, 55-61.
312. **THILL, R.E., WILLARD, R.I., 1969:** *Correlation of longitudinal velocity variation with rock fabric.* J. Geophys. Res., 74: 4897-4909.
313. **THUIZAT, R, WHITECHURCH, H., MONTIGNY, R. & JUTEAU, T., 1981:** *K-Ar dating of some infraophiolitic metamorphic soles from the Eastern mediterranean: new evidence for oceanic thrustings before obduction.* Earth and Planetary Science Letters, 52, 302-310.
314. **THURO, K., PLINNINGER, R.J., 2001:** *Scale effects in rock properties: Part 2. Point load test and point load strength index.* In: Sarkka, P., Eloranta, P. (Eds.), EUROCK Swets and Zeitlinger, Lisse, pp. 175-180.
315. **TOFT, P., ARKANI-HAMED, J. AND HAGGERTY, S., 1990:** *The effects of serpentinization on density and magnetic susceptibility: a petrophysical model.* Physics of the Earth and Planetary Interiors, 65 (1990) 137—157, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
316. **ΤΡΙΚΚΑΛΙΝΟΣ, Ι., 1960:** *Συμβολή εις την εξερεύνησιν της τεκτονικής δομής της Ελλάδος. Παρατηρήσεις επί των μελετών που εκτελέσθησαν στην Αττική, Ανατολική Όθρυ και Βόρειον Εύβοια.* Ana Geol. des Pays Hell. . XI. 297 – 312.
317. **TSIAMBAOS, G., SABATAKAKIS, N., 2004:** *Considerations on strength of intact sedimentary rocks.* Eng. Geol., 72, 261-273.
318. **TSIKOURAS, B., PE-PIPER, G. & HATZIPANAGIOTOU, K., 1990:** *A new date for an ophiolite of the northeastern margin of the Vardar zone, Samothraki, Greece.* Neues Jahrbuch fur Mineralogie Monatshefte, H. 11, 521 – 527.
319. **ΤΣΟΥΤΡΕΛΗΣ, Χ., 1972:** *Επιδρασις της διαμέτρου του δοκιμίου και των*

- ορυκτολογικών χαρακτηριστικών κατά τον προσδιορισμό της αντοχής των πετρωμάτων εις εφελκυσμόν δια της μεθόδου της αντιδιαμετρικής συνθλίψεως δίσκων (Brazilian Test). Μεταλ.-Μεταλ. Χρ., Τεύχος 7.*
320. **TUĞRUL, A., 2004:** *The effect of weathering on pore geometry and compressive strength of selected rock types from Turkey.* Eng. Geol. 75, 215–227.
321. **TUĞRUL, A., ZARIF, I.H., 1999:** *Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey.* Eng. Geol. 51, 303–317.
322. **TUĞRUL, A., ZARIF, I.H., 2000:** *Engineering aspects of limestone weathering in Istanbul, Turkey.* Bull. Eng. Geol. Environ. 58 (3), 191–206.
323. **ULMER, P., AND TROMMSDORFF, V., 1995:** *Serpentine stability to mantle depths and subduction-related magmatism.* Science, v. 268, 858–861.
324. **VACONDIOS, I., MIGIROS, G. & DIMOU, E., 1990:** *Geology and chrome ore deposits of the Eretria (Tsagli) area. Northeast Othris. Greece. Tectonic controls on chrome ore localization in ophiolites. Greece (2 volume). Πρόγραμμα EGK.* 170-205.
325. **VALLEJO, LE., WALSH, RA., ROBINSON, MK., 1989:** *Correlation between unconfined compressive and point load strength for Appalachian Rocks.* In: Proc of the 30th U.S. Symposium on Rock Mechanics. pp 461-468.
326. **VERGELY, P., 1976:** *Chevauchement vers l'Ouest et retrocharriage vers l'Est des ophiolites: Deux phases tectoniques au cours du Jurassique superieur-Eocretace dans les Hellenides internes.* Soc. Geol. France Bull, 18, 231-244.
327. **VERGELY, P., 1977:** *Ophiolites et phases tectoniques superposees dans les Hellenides.* 6th Colloquium on the Geology of the Aegean Region, Athens 1977, 1293-1302.
328. **VERMA, R.K., 1960:** *Elasticity of some high-density crystals.* J. Geophys. Res., 65: 757- 766.
329. **VERNIK, L., BRUNO, M., BOVBERG, C., 1993:** *Empirical relations between compressive strength and porosity of siliclastic rocks.* Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 30 (7), 677–680.
330. **VINNIK, L. P., GREEN, R. W. E., NICOLAYSEN, L. O., 1995:** *Recent Deformations of the Deep Continental Root Beneath Southern Africa.* Nature 375, 50–52.
331. **VITI, C., AND MELLINI, M., 1998:** *Mesh textures and bastites in the Elba*

- retrograde serpentinites*. European Journal of Mineralogy, v. 10, p. 1341–1359.
332. **WANG, Q., JI, S., SUN, S., MARCOTTE, D., 2009:** *Correlations between compressional and shear wave velocities and corresponding Poisson's ratios for some common rocks and sulfide ores*. Tectonophysics, 469 pp 61-72.
333. **WATANABE, T., KASAMI, H., OHSHIMA, S., 2007:** *Compressional and shear wave velocities of serpentinitized peridotites up to 200 MPa*. Earth Planets Space 59, 233–244.
334. **WEISS, T., SIEGSMUND S., BOHLEN T., 1999:** *Seismic, Structural and Petrological Models of the Subcrustal Lithosphere in Southern Germany: A Quantitative Reevaluation*. Pure appl. Geophys. 156, 53-81.
335. **WHITEFORD, C.M., LUMB, J.T., 1975:** *A Catalogue of Physical Properties of Rocks, Vol. 3, Listing by Rock Type*. Geophysics Division, N.Z. Geol. Surv., Dept. of Scientific and Industrial Research, Wellington.
336. **WHITTAKER, E. J. W., WICKS, F. J., 1970:** *Chemical differences among the serpentine polymorphs, discussion*. Am. Mineral. 55, 1025-1047.
337. **WHITTAKER, E. J. W., ZUSSMAN, J. 1956:** *The characterisation of the serpentine minerals by X-ray diffraction*. Mineral. Mag. 31, 107-126.
338. **WICKHAM, G.E., TIEDEMANN, H.R. and SKINNER, E.H. 1972:** *Ground support prediction model – RSR concept*. Proceedings, Rapid Excavation and Tunneling Conference, AIME, New York, 691 – 707.
339. **WICKS, F.J., 1969:** *X-ray and optical studies on serpentine minerals*. D. Phil. Thesis, Oxford University.
340. **WICKS, F.J. & O' HANLEY, D.S., 1988:** *Serpentine mineral structures and petrology in: Bailey, S.W. (ed.), Hydrous Phyllosilicates (exclusive of micas), Reviews in Mineralogy*, Washington, D.C., Mineralogical Society of America, 19, 125-128.
341. **WICKS, F.J. & WHITTAKER, E.J.W., 1975:** *A reappraisal of the structures of the serpentine minerals*. Can. Mineral. 13, 244-258.
342. **WICKS, F.J. & WHITTAKER, E.J.W., 1977:** *Serpentine textures and serpentinitisation*. Canadian mineral. Vol. 15, p.p 459-488.
343. **WUNDER, B., AND SCHREYER, W., 1997:** *Antigorite: highpressure stability in the system MgO-SiO₂-H₂O (MSH)*. Lithos, v. 41, p. 213–227.
344. **ΧΑΤΖΗΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ, Κ., 1997:** *Πετρογραφία Ι*. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών.
345. **YASAR, E., ERDOGAN, Y., 2004:** *Correlating sound velocity with the density, compressive strength and young's modulus of carbonate rocks*. Int. J. Rock Mech. &

- Min. Sci. p. 871-875.
346. **YOUASH, Y., 1970:** *Dynamic, physical properties of rocks: Part 2.* Experimental result. Proc. 2nd Congr. Int. Soc. Rock Mech. Beograd, vol. 1, p. 185-195.
347. **YU, Y., YIN, J., ZHONG Z. 2006:** *Shape effects in the Brazilian tensile strength test and a 3D FEM correction.* International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 43, 623–627.
348. **ZIMMERMAN, J., 1972:** *Emplacement of the Vourinos ophiolitic complex, Northern Greece.* Geol. Soc. Am., Memoir, 132, 225-239.
349. **ZIMMERMAN, J. & ROSS, J.V., 1976:** *Structural evolution of the Vardar root zone, northern Greece.* Geol. Soc. Am. Bull., 87, 1547-1550.

ΛΙΣΤΑ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

ASTM: American Society for Testing and Materials

a: Παράμετρος που επηρεάζει την αλλαγή καμπυλότητας της περιβάλλουσας θραύσης

BS: British Standards

c': Ενεργή συνοχή βραχομάζας

c: Συνοχή βραχομάζας

c_{ci}: Συνοχή ακέрайου πετρώματος

c_d: Συνοχή της ασυνέχειας

D: Παράγοντας διατάραξης

DBMS: Database Management System

e: Λόγος κενών

E: Μέτρο ελαστικότητας

E_{av}: Μέσο μέτρο ελαστικότητας/Average Young's modulus

E_d: Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας ακέрайου πετρώματος

E_{dm}: Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας ακέрайου πετρώματος με τη μέθοδο του μικρομέτρου

E_{ds}: Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας ακέрайου πετρώματος με τη μέθοδο της άνωσης

e_m: Λόγος κενών με τη μέθοδο του μικρομέτρου

E_{rm}: Μέτρο παραμόρφωσης βραχομάζας

e_s: Λόγος κενών με τη μέθοδο της άνωσης

E_s: Χορδικό μέτρο ελαστικότητας/Secant Young's modulus

E_{st}: Στατικό μέτρο ελαστικότητας ακέрайου πετρώματος

E_t: Εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας /Tangent Young's modulus

FEM: Finite Element Method

G: Μέτρο διάτμησης

G_d: Δυναμικό μέτρο διάτμησης ακέрайου πετρώματος

G_{dm} : Δυναμικό μέτρο διάτμησης ακέραιου πετρώματος με τη μέθοδο του μικρομέτρου

G_{ds}: Δυναμικό μέτρο διάτμησης ακέραιου πετρώματος με τη μέθοδο της άνωσης

GSI: Geological Strength Index/Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής

G_{st}: Στατικό μέτρο διάτμησης ακέραιου πετρώματος

I_s: Δείκτης σημειακής φόρτισης

I_{s50}: Ανοιγμένος δείκτης σημειακής φόρτισης

ISRM: International Society for Rock Mechanics

J_a: Παράμετρος που εξαρτάται από την αποσάθρωση ασυνεχειών

J_n: Παράμετρος που καθορίζεται από το πλήθος των διαφόρων συστημάτων ασυνεχειών

J_r: Παράμετρος που εξαρτάται από την ταχύτητα ασυνεχειών

J_v : Αριθμός ασυνεχειών ανά τρέχον μέτρο

J_w: Συντελεστής αναγωγής λόγω ύπαρξης νερού μέσα στις ασυνέχειες

k: Πηλίκο μήκους προς τη διάμετρο του δοκιμίου

K: Λόγος δυναμικού προς το στατικό μέτρο ελαστικότητας

m_b: Σταθερά κριτηρίου Hoek-Brown

m_i: Παράμετρος της δοκιμής τριαξονικής θλίψης

M_R: Λόγος μέτρου ελαστικότητας προς την αντοχή σε μοναξονική θλίψη ακέραιου πετρώματος

M_{Rm}: Λόγος μέτρου παραμόρφωσης προς την αντοχή της βραχομάζας

M_s: Ξηρή μάζα πετρώματος

M_{sat} : Κορεσμένη μάζα

M_{sub}: Μάζα του υπό βύθιση πετρώματος

M_t: Συνολική μάζα πετρώματος

n: Πορώδες

n_e: Ενεργό πορώδες

n_{em}: Ενεργό πορώδες με τη μέθοδο του μικρομέτρου

n_{es}: Ενεργό πορώδες με τη μέθοδο της άνωσης

P: Επιμήκη κύματα

PLT: Point Load Test

Q: Δείκτης Q (Barten et al., 1974)

R²: Συντελεστής προσδιορισμού

RDBMS: Relational Database Management System

RMR: Rock Mass Rating

RQD: Rock Quality Designation

S: Εγκάρσια κύματα

s: Σταθερά κριτηρίου Hoek-Brown

SEM: Scanning Electron Microscope

SHV: Schmidt Hammer Values

SPSS: Λογισμικό στατιστικής ανάλυσης

SRF: Συντελεστής αναγωγής λόγω των τάσεων που ασκούνται στην περιοχή

SSZ: Supra-Subduction Zone

T_p: Χρόνος άφιξης κυμάτων p

T_s: Χρόνος άφιξης κυμάτων s

u: Πίεση των πόρων

UCS: Uniaxial Compressive Strength

v: Λόγος Poisson

v_d: Δυναμικός λόγος Poisson ακέραιου πετρώματος

v_{st}: Στατικός λόγος Poisson ακέραιου πετρώματος

V: Όγκος πετρώματος

VF²: Ταχύτητα σεισμικών κυμάτων επί τόπου

VL²: Ταχύτητα ηχητικών κυμάτων σε δείγμα εργαστηρίου

V_p : Ταχύτητα επιμήκους κύματος

V_s : Ταχύτητα εγκάρσιου κύματος

V_t : Συνολικός όγκος πετρώματος

V_v : Όγκος κενών πετρώματος

W : Βάρος

W_a : Απορροφητικότητα

W_{am} : Απορροφητικότητα με τη μέθοδο του μικρομέτρου

W_{as} : Απορροφητικότητα με τη μέθοδο της άνωσης

W_s : Ξηρό βάρος πετρώματος

W_{sat} : Κορεσμένο βάρος πετρώματος

W_t : Συνολικό βάρος πετρώματος

XRD: X-Ray Diffraction

β : Βαθμός σερπεντινίωσης

γ : Ανοιγμένη διατμητική παραμόρφωση

γ_b : Φαινόμενο βάρος

γ_d : Ξηρό φαινόμενο βάρος

γ_{dm} : Ξηρό φαινόμενο βάρος με τη μέθοδο του μικρομέτρου

γ_{ds} : Ξηρό φαινόμενο βάρος με τη μέθοδο της άνωσης

γ_m : Φαινόμενο βάρος με τη μέθοδο του μικρομέτρου

γ_s : Φαινόμενο βάρος με τη μέθοδο της άνωσης

γ_{sat} : Κορεσμένο φαινόμενο βάρος

γ_{satm} : Κορεσμένο φαινόμενο βάρος με τη μέθοδο του μικρομέτρου

γ_{sats} : Κορεσμένο φαινόμενο βάρος με τη μέθοδο της άνωσης

ΓΓΔΕ: Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων

Γ.Π.Α: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Δ_ε : Αξονική παραμόρφωση

Δ_σ : Αξονική τάση

ε_a : Ανοιγμένη γραμμική αξονική παραμόρφωση /Longitudinal strain

ε_d : Πλευρική παραμόρφωση/Diametrical strain

ε_v : Ογκομετρική παραμόρφωση

ΕΓΣΑ: Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς

Ε.Κ.Π.Α: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Ε.Μ.Π: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΚΕΔΕ: Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων

Π.Π: Πανεπιστήμιο Πατρών

ΟΣ(χ): Θέση δειγματοληψίας (όπου χ: αύξων αριθμός)

ΟΣ1(y): Δοκίμια που ελήφθησαν (όπου y: γράμματα της ελληνικής αλφαβήτου)

σ ή σ_n : Ορθή τάση

σ'_1 : Αξονική ενεργή κύρια τάση

σ'_3 : Πλευρική ενεργή κύρια τάση

σ_1 : Αξονική κύρια τάση

σ_3 : Πλευρική κύρια τάση

σ'_{3max} : Μέγιστη ενεργή πλευρική τάση

σ_{3max} : Μέγιστη πλευρική τάση

σ'_{3n} : Ορθή πλευρική ενεργή κύρια τάση

σ_c : Αντοχή σε μοναξονική θλίψη βραχομάζας

σ_{ci} : Αντοχή σε μοναξονική θλίψη ακέραιου πετρώματος

σ_{cif} : Διορθωμένη αντοχή σε μονοαξονική θλίψη ακέραιου πετρώματος

σ'_{cm} : Ενεργή συνολική ή γενικευμένη αντοχή (Global Strength) βραχομάζας

σ_{cm} : Συνολική ή γενικευμένη αντοχή (Global Strength) βραχομάζας

σ_n' : Ορθή ενεργή τάση

σ_i : Εφελκυστική αντοχή αέριου πετρώματος

σ_{ic} : Διορθωμένη εφελκυστική αντοχή αέριου πετρώματος

σ_{tm} : Εφελκυστική αντοχή βραχομάζας

τ : Διατμητική αντοχή αέριου πετρώματος

τ_d : Διατμητική αντοχή ασυνέχειας

τ_p : Κορυφαία διατμητική αντοχή αέριου πετρώματος

ΥΠΕΧΩΔΕ: Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων

ϕ : Γωνία εσωτερικής τριβής βραχομάζας

ϕ' : Ενεργή γωνία εσωτερικής τριβής βραχομάζας

ϕ_{ci} : Γωνία εσωτερικής τριβής αέριου πετρώματος

ϕ_d : Γωνία εσωτερικής τριβής ασυνέχειας