

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ
'ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ'**

**ΚΛΑΔΟΣ : ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ
ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
&
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία με τίτλο:
«Συσχέτιση φυσικομηχανικών ιδιοτήτων και ιστού σε ολοκρυσταλλικά
μαγματικά πετρώματα»**

**ΚΑΡΒΟΥΝΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ
ΓΕΩΛΟΓΟΣ**

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2011

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΓΕΝΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ
'ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ'**

**ΚΛΑΔΟΣ : ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ
ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
&
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία με τίτλο:
«Συσχέτιση φυσικομηχανικών ιδιοτήτων και ιστού σε ολοκρυσταλλικά
μαγματικά πετρώματα»**

**ΚΑΡΒΟΥΝΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ
ΓΕΩΛΟΓΟΣ**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

**Ε. Γκάρτζος, Καθηγητής
Γ. Μιγκίρος, Καθηγητής
Κ. Σερέλης, Επ. Καθηγητής**

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2011

Αφιερώνεται στους γονείς μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία, αφορά την προσπάθεια συσχετισμού των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων και του ιστού σε ολοκρυσταλλικά μαγματικά πετρώματα. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν δείγματα τεσσάρων ιδιαίτερα εμπορικών τύπων γρανίτη που κυκλοφορούν ευρέως στη ελληνική αγορά και εισάγονται από την Ισπανία. Συγκεκριμένα επιλέξαμε τους γρανίτες Bianco Real, Bianco Crystal, Rosa Beta και Rosa Porino.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω την Ελληνική Εταιρεία Γρανιτών που μας διέθεσε τα δοκίμια και τα διαμόρφωσε στις διαστάσεις που ζητήσαμε. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω το Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων (ΚΕΔΕ), το οποίο διέθεσε τον εξοπλισμό του εργαστηρίου βραχομηχανικής προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι υπολογισμοί του φαινόμενου βάρους με τη συσκευή κενού. Η συμβολή των εργαζομένων του εργαστηρίου υπήρξε πολύ σημαντική στην επιτυχή ολοκλήρωση των δοκιμών και θα ήθελα να αναφέρω τους συνάδελφους γεωλόγους Σπύρο Μπέλλα, Ιωάννα Βασιλείου και Παναγιώτη Ραπτάκη για την πολύτιμη βοήθειά τους.

Δε θα μπορούσα φυσικά να παραλείψω να ευχαριστήσω τον συνάδελφο και φίλο γεωλόγο Δρ. Κωνσταντίνο Διαμαντή, που με την εμπειρία του και τις γνώσεις του στον τομέα της τεχνικής γεωλογίας με υποστήριξε και με βοήθησε τόσο στην εκτέλεση όλων των εργαστηριακών δοκιμών, όσο και σε άλλα στάδια σε όλη τη διάρκεια της εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ τον συνάδελφο Θεόδωρο Καραμουσαλή για τη βοήθειά του στην εκτέλεση των δοκιμών ανεμπόδιστης θλίψης και στη φωτογράφιση των λεπτών τομών.

Ωστόσο, η πιο πολύτιμη εμπειρία μου μέσα από την παρακολούθηση του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών, υπήρξε η συνεργασία μου με κάθε έναν από τους καθηγητές του εργαστηρίου Ορυκτολογίας του Γενικού τμήματος του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, που με την αγάπη και το μεράκι τους για την έρευνα, άνοιξαν νέους ορίζοντες στη σκέψη μου και στη δράση μου ως επιστήμονα και ως επαγγελματία. Δε θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω τους Επίκουρους Καθηγητές κ. Αναστάσιο Τσαγκαλίδη, για την πολύτιμη βοήθειά του στην αξιολόγηση των λεπτών τομών και κ. Κωνσταντίνο Σερέλη για τη συμβολή του στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Όλα τα μέλη της τριμελούς επιτροπής: Ε. Γκάρτζο, Γ. Μιγκίρο και Κ. Σερέλη, που παραβρέθηκαν στην παρουσίαση αυτής της εργασίας. Τέλος, ευχαριστώ τον επιβλέποντα και καθηγητή μου κ. Ευθύμιο Γκάρτζο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση του θέματος, την υπομονή και την καθοδήγησή του και την ευκαιρία μέσα από την παρούσα εργασία, μεταξύ άλλων, να μάθω να αναζητώ τις αιτίες και να αξιολογώ τα αποτελέσματα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	1
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	4
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	6
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	8
ABSTRACT.....	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΣΚΟΠΟΣ.....	9
1. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	10
1.1. Δείκτες ταξινόμησης πετρώματος.....	10
1.2. Μηχανική αντοχή πετρώματος.....	11
1.3. Ταξινόμηση πετρωμάτων με βάση την αντοχή.....	13
2. ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	16
2.1. Αντοχή σε θλίψη.....	16
2.1.1. Επίδραση των διαστάσεων του δοκιμίου.....	17
2.1.2. Επίδραση ασυνεχειών στην αντοχή.....	19
2.1.3. Επίδραση του ρυθμού φόρτισης στις τιμές της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη.....	20
2.1.4. Επίδραση του υλικού στο μηχανισμό αστοχίας.....	20
2.1.5. Επίδραση της πετρογραφίας στη μηχανική συμπεριφορά του άρρηκτου πετρώματος.....	22
2.1.6. Επίδραση της περιεχόμενης υγρασίας στην αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη.....	23
2.2. Αντοχή σε σημειακή φόρτιση.....	24
2.2.1. Δοκιμή σημειακής φόρτισης και ανισοτροπία.....	31
2.3. Συσχέτιση μεταξύ σημειακής φόρτισης και ανεμπόδιστης θλίψης.....	32
3. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ.....	36
3.1. Όξινα πλουτωνικά πετρώματα.....	36
3.2. Γρανίτες.....	36
3.2.1. Ορυκτολογικά στοιχεία γρανιτών.....	37
3.2.2. Πετρολογικά χαρακτηριστικά και μηχανικές ιδιότητες γρανιτών.....	39
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	44
4.1. Επιλογή δειγμάτων.....	44

4.2. Λεπτές τομές	47
4.3. Προσδιορισμός πορώδους, πυκνότητας και λόγου κενών (μέθοδος άνωσης και μικρομέτρου).....	56
4.3.1. Εκτέλεση δοκιμής - Υπολογισμοί:	56
4.4. Προσδιορισμός UCS	67
4.4.1. Διαμόρφωση δοκιμίων	67
4.4.2. Εκτέλεση δοκιμής	67
4.4.3. Υπολογισμοί.....	69
4.4.4. Παρουσίαση αποτελεσμάτων	71
4.5. Προσδιορισμός PLT.....	72
4.5.1. Διαμόρφωση δοκιμίων	73
4.5.2. Εκτέλεση δοκιμής	73
4.5.3. Υπολογισμοί.....	74
4.5.4. Παρουσίαση αποτελεσμάτων	75
5. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	80
5.1. Διαστάσεις και μηχανικά χαρακτηριστικά δοκιμίων	80
5.2. Διαγράμματα συσχέτισης.....	84
5.3. Σχέση αντοχής – Μέγεθος κόκκου.....	94
6. ΣΥΝΟΨΗ	96
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	96
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	99
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	104
ΦΥΛΛΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ	105
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	134

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Συγκριτικό διάγραμμα κατάταξης πετρωμάτων με βάση την αντοχή (Bieniawski 1981).	15
Σχήμα 2: Επιβολή τάσεων F σε δοκίμιο ύψους H και διαμέτρου D κατά την ανεμπόδιστη θλίψη	16
Σχήμα 3: Επίδραση του λόγου L/D στη μονοαξονική θλίψη (α) για πλάκες με ακίδες και (β) για πλάκες από σκληρό σίδηρο (από Brook, 1993).....	18
Σχήμα 4: Μεταβολή της αντοχής σε θλίψη γρανίτη σε συνάρτηση με το ρυθμό φόρτισης (Hourpert, 1970).....	20
Σχήμα 5: Σχηματική απεικόνιση τριών τύπων αστοχίας κατά Gramberg (Σοφριανός, 2001)	21
Σχήμα 6: Διάγραμμα μεταβολής UCS σε σχέση με την περιεχόμενη υγρασία για 2 είδη ψαμμιτών (Hawkins, McConnell 1992).	24
Σχήμα 7: Τρόποι φόρτισης ανάλογα με το σχήμα του δοκιμίου στη δοκιμή σημειακής φόρτισης	25
Σχήμα 8: Πιθανοί τρόποι αστοχίας	26
Σχήμα 9: Νομογράφημα υπολογισμού $Is50$ (Broch and Franklin, 1972)	30
Σχήμα 10: Αντοχή $Is50$ σε σχέση με τη γωνία των επιπέδων αδυναμίας και του άξονα φόρτισης	32
Σχήμα 11: Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ της αναλογίας χαλαζία – αστρίων και ξηρού φαινόμενου βάρους για γρανιτικά πετρώματα (A. Tugrul, I.H. Zarif,1999).....	41
Σχήμα 12: Σχέση μεταξύ του ποσοστού περιεχόμενων ορυκτών και της UCS σε γρανιτικά πετρώματα (A. Tugrul, I.H. Zarif,1999)	41
Σχήμα 13: Σχέση μεταξύ του μέγιστου κόκκου και της UCS σε γρανιτικά πετρώματα (A. Tugrul, I.H. Zarif,1999)	42
Σχήμα 14: Σχέση μεταξύ: α) μονοαξονικής αντοχής σε θλίψη και αναλογία χαλαζία με άστρο, και β) αντοχής σε εφελκυσμό και αναλογία χαλαζία προς άστρο στα γρανιτικά πετρώματα (Tugrul και Zarif, 1999).	42
Σχήμα 15: Σχέση μεταξύ αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (UCS) και μέσου όρου μεγέθους κόκκων σε μάρμαρα (Wong et al, 1996)	43
Σχήμα 16: Σχέση μεταξύ αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (UCS) και μέσου όρου μεγέθους κόκκων όλων των ορυκτών, σε γρανίτες (Prikryl, 2001)	44
Σχήμα 17: Θεωρητικό διάγραμμα που δείχνει τη μετατροπή από το ακέραιο πέτρωμα στην έντονα διακλασμένη βραχώμαζα με την αύξηση του μεγέθους του δείγματος (Hoek and Brown, 1980).....	45
Σχήμα 18: Φύλλο παρουσίασης μονοαξονικής θλίψης	70
Σχήμα 19: Δοκιμή σε ορθογωνικό δοκίμιο	74
Σχήμα 20: Ιστόγραμμα του φαινόμενου βάρους των δοκιμίων που εκτελέστηκαν δοκιμές σημειακής φόρτισης.	81
Σχήμα 21: Ιστόγραμμα του πορώδους των δοκιμίων που εκτελέστηκαν δοκιμές σημειακής φόρτισης.	81

Σχήμα 22: Ιστόγραμμα της αντοχής Is50 των δοκιμίων που εκτελέστηκαν δοκιμές σημειακής φόρτισης.	82
Σχήμα 23: Ιστόγραμμα του φαινόμενου βάρους των δοκιμίων που εκτελέστηκαν δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης.	82
Σχήμα 24: Ιστόγραμμα του πορώδους των δοκιμίων που εκτελέστηκαν δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης.	83
Σχήμα 25: Ιστόγραμμα της αντοχής ανεμπόδιστης θλίψης των δοκιμίων που εκτελέστηκαν δοκιμές μονοαξονικής θλίψης.	83
Σχήμα 26: Διάγραμμα συσχέτισης ξηρού φαινόμενου βάρους – πορώδους για όλα τα δοκίμια. Διακρίνονται οι ομάδες με διαφορετικά χρώματα.	85
Σχήμα 27: Διάγραμμα διασποράς μέσων τιμών ξηρού φαινόμενου βάρους – πορώδους για όλα τα δοκίμια.	86
Σχήμα 28: Διάγραμμα συσχέτισης ξηρού φαινόμενου βάρους - πορώδους για όλα τα δοκίμια.	87
Σχήμα 29: Διάγραμμα συσχέτισης ξηρού φαινόμενου βάρους - πορώδους για τα δοκίμια μονοαξονικής θλίψης.	88
Σχήμα 30: Διάγραμμα συσχέτισης πορώδους – δείκτη Is50 για τα δοκίμια που έγινε δοκιμή σημειακής φόρτισης.	88
Σχήμα 31: Διάγραμμα συσχέτισης πορώδους – δείκτη Is50 για όλα τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν.	91
Σχήμα 32: Διάγραμμα συσχέτισης πορώδους – δείκτη Is50 για τα δοκίμια που έγινε δοκιμή σημειακής φόρτισης. Διακρίνονται οι ομάδες με διαφορετικά χρώματα.	92
Σχήμα 33: Διάγραμμα διασποράς ξηρού φαινόμενου βάρους – δείκτη Is50 για όλα τα δοκίμια. Διακρίνονται οι ομάδες με διαφορετικά χρώματα.	93
Σχήμα 34: Διάγραμμα συσχέτισης ξηρού φαινόμενου βάρους – δείκτη Is50 για όλα τα δοκίμια εκτός της ομάδας M.	94
Σχήμα 35: Διάγραμμα μέσης τιμής δείκτη Is50 – μέσου μεγέθους κόκκων για τα δοκίμια που έγινε δοκιμή σημειακής φόρτισης.	94
Σχήμα 36: Διάγραμμα μέσης τιμής αντοχής UCS – μέσου μεγέθους κόκκων για τα δοκίμια που έγινε δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης.	95

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

<i>Εικόνα 1: Λεπτή Τομή Δοκιμίου Α7 – Μερικά χλωριτωμένους Βιοτίτης (B), Πλαγιόκλαστο (PL), Χαλαζίας (Q).....</i>	<i>47</i>
<i>Εικόνα 2: Λεπτή Τομή Δοκιμίου Α7 – Μερικά χλωριτωμένους Βιοτίτης (B), Πλαγιόκλαστο (PL), Χαλαζίας (Q).....</i>	<i>48</i>
<i>Εικόνα 3: Λεπτή Τομή Δοκιμίου Α7 - Χαλαζίας (Q), Βιοτίτης (B), Κ-ούχος άστριος (Kf).....</i>	<i>48</i>
<i>Εικόνα 4: Λεπτή Τομή Δοκιμίου Α9 – Πλαγιόκλαστο (PL), Χαλαζίας (Q) και χλωριτωμένους Βιοτίτης (B).....</i>	<i>49</i>
<i>Εικόνα 5: Λεπτή Τομή Δοκιμίου Α9 - Κ-ούχος άστριος (Kf, Ορθόκλαστο που έχει σερικιτιωθεί μερικώς), Χαλαζίας (Q), Βιοτίτης (B).....</i>	<i>49</i>
<i>Εικόνα 6: Λεπτή Τομή Δοκιμίου Μ14 - Κ-ούχος άστριος (Kf, περθιτιωμένο ορθόκλαστο) σε τομή με Βιοτίτη (B). Περθιτική δομή έχουν οι άστριοι που προήλθαν από απόμιξη.....</i>	<i>50</i>
<i>Εικόνα 7: Λεπτή Τομή Δοκιμίου Μ14 - Χλωριτωμένους Βιοτίτης (B).....</i>	<i>51</i>
<i>Εικόνα 8: Λεπτή Τομή Δοκιμίου Μ17 – Χαλαζίας (Q), Βιοτίτης (B), Πλαγιόκλαστο (PL).....</i>	<i>51</i>
<i>Εικόνα 9: Λεπτή Τομή Δοκιμίου Χ6 - Κ-ούχος άστριος (Kf, Ορθόκλαστο) με πολυδιδυμία τύπου Βaveno και στο κέντρο Χαλαζίας (Q).....</i>	<i>52</i>
<i>Εικόνα 10: Λεπτή Τομή Δοκιμίου Χ6 – Βιοτίτης (B), Κ-ούχος άστριος (Kf, Μικροκλινής), Χαλαζίας (Q) και Κ-ούχος άστριος (Kf, σερικιτιωμένο Ορθόκλαστο).....</i>	<i>53</i>
<i>Εικόνα 11: Λεπτή Τομή Δοκιμίου Χ6 - Ορθόκλαστο σερικιτιωμένο (Kf).....</i>	<i>53</i>
<i>Εικόνα 12: Λεπτή Τομή Δοκιμίου Χ10 - Πλαγιόκλαστο (PL, Ολιγόκλαστο), Κ-αστριο (Kf, Ορθόκλαστο με σερικιτιώση) και Βιοτίτης (B).....</i>	<i>54</i>
<i>Εικόνα 13: Λεπτή Τομή Δοκιμίου Α12 - Πλαγιόκλαστο (PL, Ολιγόκλαστο) και Βιοτίτης (B) που σε κάποια σημεία έχει χλωριτιωθεί και στο κέντρο έχει Μοσχοβίτη (Msc) από την μετατροπή του Ορθόκλαστου (Κ-ούχος άστριος, Kf).....</i>	<i>55</i>
<i>Εικόνα 14: Λεπτή Τομή Δοκιμίου Α12 - Κ-ούχος άστριος (Kf, Μικροκλινής) με διδυμία τύπου Βaveno, Βιοτίτης (B), Χαλαζίας (Q) και Κ-ούχο άστρο (Kf, Ορθόκλαστο).....</i>	<i>55</i>
<i>Εικόνα 15: Συσκευή (πρέσα) εκτέλεσης δοκιμής προσδιορισμού UCS.....</i>	<i>67</i>
<i>Εικόνα 16: Συσκευή εκτέλεσης δοκιμής PLT.....</i>	<i>73</i>
<i>Εικόνα 17: Γρανίτης Rosa Porino, δείγμα Α11.....</i>	<i>135</i>
<i>Εικόνα 18: Γρανίτης Rosa Beta, δείγμα Χ6.....</i>	<i>135</i>
<i>Εικόνα 19: Γρανίτης Bianco Crystal, δείγμα Α7.....</i>	<i>136</i>
<i>Εικόνα 20: Γρανίτης Bianco Real, δείγμα Μ17.....</i>	<i>136</i>
<i>Εικόνα 21: Δοκίμια Μ1 – Μ20 (Bianco Real) πριν τη θραύση με τη δοκιμή σημειακής φόρτισης.....</i>	<i>137</i>
<i>Εικόνα 22: Δοκίμια Μ1 – Μ20 (Bianco Real) μετά τη θραύση με τη δοκιμή σημειακής φόρτισης.....</i>	<i>137</i>
<i>Εικόνα 23: Δοκίμια Χ1 – Χ20 (Rosa Beta) πριν τη θραύση με τη δοκιμή σημειακής φόρτισης.....</i>	<i>138</i>

Εικόνα 24: Δοκίμια X1 – X20 (Rosa Beta) μετά τη θραύση με τη δοκιμή σημειακής φόρτισης	138
Εικόνα 25: Δοκίμια A1 – A14 (Bianco Crystal) πριν τη θραύση με τη δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης	139
Εικόνα 26: Δοκίμια A1 – A14 (Bianco Crystal) μετά τη θραύση με τη δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης	139
Εικόνα 27: Δοκίμια A1 – A14 (Rosa Porino) πριν τη θραύση με τη δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης	140
Εικόνα 28: Δοκίμια A1 – A14 (Rosa Porino) μετά τη θραύση με τη δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης	140

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ομάδες δεικτών περιγραφής του ακέραίου πετρώματος	11
Πίνακας 2 : Ταξινόμηση βραχώδους υλικού, με την αντοχή σε UCS.....	12
Πίνακας 3: Ταξινόμηση βραχώδους υλικού με βάση το μέτρο ελαστικότητας και την αντοχή σε UCS (Deere & Miller).....	14
Πίνακας 4: Ταξινόμηση πετρώματος με βάση το διορθωμένο δείκτη σημειακής φόρτισης $I_s(50)$ σε MPa (κατά Bieniawski, 1975).....	30
Πίνακας 5: Προτεινόμενες σχέσεις προσδιορισμού της θλιπτικής αντοχής από τον	35
Πίνακας 6: Point Load Test Bianco Real Μέθοδος Άνωσης	59
Πίνακας 7: Point Load Test Bianco Real Μέθοδος Μικρομέτρου	60
Πίνακας 8: Point Load Test Rosa Beta Μέθοδος Άνωσης.....	61
Πίνακας 9: Point Load Test Rosa Beta Μέθοδος Μικρομέτρου	62
Πίνακας 10: Point Load Test Bianco Crystal Μέθοδος Άνωσης.....	63
Πίνακας 11: Point Load Test Bianco Crystal Μέθοδος Μικρομέτρου.....	64
Πίνακας 12: Point Load Test Rosa Porino Μέθοδος Άνωσης.....	65
Πίνακας 13: Point Load Test Rosa Porino Μέθοδος Μικρομέτρου.....	66
Πίνακας 14: Συγκεντρωτικός πίνακας UCS Bianco Crystal.....	71
Πίνακας 15: Συγκεντρωτικός πίνακας UCS Rosa Porino	71
Πίνακας 16: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα PLT για τα δοκίμια M1 – M10.....	76
Πίνακας 17: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα PLT για τα δοκίμια M11 – M20.....	77
Πίνακας 18: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα PLT για τα δοκίμια X1 – X10.....	78
Πίνακας 19: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα PLT για τα δοκίμια X11 – X20.....	79
Πίνακας 20: Συμμετέχοντα ορυκτά και αντίστοιχα ειδικά βάρη	85
Πίνακας 21: Μέσες τιμές πορώδους και ξηρού φαινομένου βάρους για όλα τα δοκίμια	86
Πίνακας 22: Κατάταξη συσχέτισης.....	87
Πίνακας 23: Συγκεντρωτικές τιμές πορώδους – δείκτη I_{s50}	89
Πίνακας 24: Διακύμανση τιμών πορώδους και δείκτη I_{s50}	91
Πίνακας 25: Μετατροπή δείκτη I_{s50} σε αντοχή UCS.....	98

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, είναι να διερευνηθούν οι σχέσεις μεταξύ των πετρογραφικών και των μηχανικών ιδιοτήτων των γρανιτικών πετρωμάτων. Χρησιμοποιήθηκαν τεσσάρων ειδών εμπορικού τύπου γρανίτες, με διαφορετικά ορυκτολογικά και πετρογραφικά χαρακτηριστικά. Τα πετρώματα μελετήθηκαν ως προς την ορυκτολογική τους σύσταση, τον ιστό τους και το μέγεθος των κόκκων τους με τη δημιουργία λεπτών τομών που εξετάστηκαν στο πολωτικό μικροσκόπιο. Στη συνέχεια, τα δείγματα υποβλήθηκαν σε δοκιμές για τον προσδιορισμό των φυσικών τους χαρακτηριστικών (ειδικό βάρος, ξηρό και κορεσμένο φαινόμενο βάρος, ολικό πορώδες, λόγος κενών, απορρόφηση νερού). Τα ίδια δείγματα υποβλήθηκαν στη συνέχεια σε δοκιμές για τον προσδιορισμό του δείκτη σημειακής φόρτισης και της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη. Τέλος, έγινε στατιστική επεξεργασία και συσχετισμός των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι ο ιστός των γρανιτικών πετρωμάτων, καθώς και το είδος της επαφής, το μέγεθος και το σχήμα των κόκκων των ορυκτών τους, επηρεάζουν σημαντικά τις μηχανικές τους ιδιότητες,

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the relationships between petrographical and engineering properties of granitic rocks. Four commercial types of granitic rock samples were used for the study, with different mineralogical and petrographical characteristics. Microstructural characterization of samples was made on thin sections using polarized petrographic microscope for the determination of mineral modal composition, grain size distribution and other textural features. Several tests were carried out to determine the physical characteristics of the samples (specific gravity, dry and saturated unit weight, total porosity, void ratio, water absorption). The same samples were then tested to determine point load strength index and uniaxial compressive strength. Finally, there was a statistical and correlation analysis of the results. The study revealed that there is a significant influence of the textural characteristics on the engineering properties of the rocks. It also determined that the types of contacts, mineral grain shape and size significantly influence the engineering properties of the granitic rocks.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΣΚΟΠΟΣ

Τα πυριγενή πετρώματα χρησιμοποιούνται από την αρχαιότητα παρά τη δυσκολία εξόρυξης όγκων και τη δυσκολότερη επεξεργασία τους σε σχέση με τα ανθρακικά πετρώματα που είναι λιγότερο σκληρά. Χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται ως δομικοί λίθοι, υλικό λιθοστρώσεων δρόμων και γενικά διαμόρφωσης αστικών χώρων και για την κατασκευή μεγάλων μνημείων όπως οι οβελίσκοι στο ιπποδρόμιο της Κων/πολης ή η βάση του αγάλματος του αυτοκράτορα της Ρωσίας Πέτρου του Μεγάλου στην Αγία Πετρούπολη που είναι ένας μονόλιθος φιλανδικού γρανίτη βάρους 2000 τόνων. Τα τελευταία χρόνια, τα πυριγενή πετρώματα χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο στη χώρα μας ως υλικό για δαπεδοστρώσεις, εξωτερικές επενδύσεις οικοδομών, κατασκευή στοιχείων εσωτερικών χώρων, καθώς επίσης για την κατασκευή διακοσμητικών στοιχείων εξωτερικών χώρων όπως σιντριβάνια και κομψοτεχνήματα. Εμφανίζουν μεγάλη αντοχή, ποικιλία έντονων χρωμάτων καθώς και σταθερότητα των χρωμάτων με την πάροδο του χρόνου. Στην Ελλάδα δεν γίνεται εξόρυξη πυριγενών πετρωμάτων για τέτοιες χρήσεις και τα χρησιμοποιούμενα είναι όλα εισαγωγής.

Στα γρανιτικά πετρώματα παρατηρείται μια ποικιλία μηχανικών ιδιοτήτων που τα καθιστούν ιδιαίτερης σημασίας όταν τα συναντάμε σε έργα που αφορούν λατομικές εργασίες, σε διανοίξεις σηράγγων και σε μελέτες ευστάθειας πρανών. Η διερεύνηση των σχέσεων μεταξύ των πετρογραφικών ιδιοτήτων και των μηχανικών χαρακτηριστικών τους, έχει υπάρξει αντικείμενο για πολλούς ερευνητές. Τα αποτελέσματα διαφόρων ερευνών έχουν δείξει ότι η μηχανική αντοχή των γρανιτών είναι γενικά συνάρτηση της ορυκτολογικής τους σύστασης, καθώς και του μεγέθους και του σχήματος των κόκκων τους.

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να διερευνηθούν οι σχέσεις μεταξύ των πετρογραφικών και των μηχανικών ιδιοτήτων των γρανιτικών πετρωμάτων. Για να γίνει αυτό, επιλέχθηκαν είδη γρανιτών που προέρχονται από την Ισπανία και κυκλοφορούν ευρέως στην ελληνική αγορά. Ως προς τη μελέτη των φυσικών και ορυκτολογικών χαρακτηριστικών τους, τα δείγματα υποβλήθηκαν σε ορυκτολογική ανάλυση με τη μελέτη λεπτών τομών, υπολογίστηκε το ειδικό τους βάρος, το ξηρό και το κορεσμένο φαινόμενο βάρος, η απορρόφηση του νερού, το ενεργό πορώδες και ο λόγος των κενών τους. Ως προς τις μηχανικές τους ιδιότητες εξετάστηκαν για την

αντοχή τους σε σημειακή φόρτιση και σε ανεμπόδιστη θλίψη. Έγινε στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων και πραγματοποιήθηκε ανάλυση συσχέτισης για να διερευνηθούν οι σχέσεις μεταξύ των πετρογραφικών και των μηχανικών ιδιοτήτων των γρανιτικών πετρωμάτων και πιο συγκεκριμένα εξετάστηκε η επίδραση της ορυκτολογικής σύστασης και του μεγέθους των κόκκων στην αντοχή των γρανιτών.

1. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

1.1. Δείκτες ταξινόμησης πετρώματος

Σαν βραχώδες υλικό ή αέριο πέτρωμα μπορεί να χαρακτηριστεί το πέτρωμα που δεν εμφανίζει μεγάλης κλίμακας ασυνέχειες και τέτοια υλικά είναι τα βραχώδη εργαστηριακά δείγματα ή οι πυρήνες των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. Αντίθετα η μάζα των πετρωμάτων (βραχομάζα) διακόπτεται από τις μακροασυνέχειες (στρώση, διακλάσεις, ρήγματα κτλ.) που επηρεάζουν σημαντικά τη μηχανική του συμπεριφορά στο εργαστήριο.

Η απλή γεωλογική και πετρογραφική περιγραφή του αέριου πετρώματος δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις της Τεχνικής Γεωλογίας και της Βραχομηχανικής. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός ενός συνόλου χαρακτηριστικών ή δεικτών που δίνουν τις σχετικές και απαραίτητες πληροφορίες για την ταξινόμησή του, όπως: το μέγεθος των κόκκων, η πυκνότητα, το πορώδες, η σκληρότητα, ο βαθμός αποσάθρωσης – εξαλλοίωσης, η αντοχή κ.α. Τα χαρακτηριστικά αυτά εξαρτώνται κυρίως από τις φυσικές ιδιότητες των ορυκτών που συμμετέχουν στη σύσταση του αέριου πετρώματος και από το είδος των δεσμών που αναπτύσσονται μεταξύ των ορυκτών αυτών. Έτσι έχουν προταθεί μερικές ομάδες δεικτών περιγραφής του αέριου πετρώματος που φαίνονται στον Πίνακα 1. Οι ιδιότητες που περιλαμβάνονται στην ομάδα I του παρακάτω πίνακα είναι καθαρά περιγραφικές. Της ομάδας II, προσδιορίζονται με απλές δοκιμές (στο εργαστήριο ή επί τόπου), απαιτούν μικρή ή καμιά προετοιμασία του δείγματος του πετρώματος και έχουν ημιποσοτικό χαρακτήρα. Της ομάδας III μπορούν να προσδιοριστούν άμεσα με εργαστηριακές δοκιμές, είναι ποσοτικές και απαραίτητες στο σχεδιασμό τεχνικών έργων.

Πίνακας 1: Ομάδες δεικτών περιγραφής του ακέραιου πετρώματος

ΟΜΑΔΑ I	ΟΜΑΔΑ II	ΟΜΑΔΑ III
Τύπος	Σκληρότητα	Μέτρο Ελαστικότητας
Χρώμα	Ανθεκτικότητα	Λόγος Poisson
Μέγεθος κόκκων	Πορώδες	Πρωτογενής Υδροπερατότητα
Δομή & Ιστός	Πυκνότητα	
Αποσάθρωση	Αντοχή	
Εξαλλοίωση	Ταχύτητα διάδοσης κυμάτων	
Αντοχή		

Η παράμετρος ‘αντοχή’ αναφέρεται και στις τρεις ομάδες δεικτών του Πίνακα 1 καθόσον αυτή μπορεί να εκτιμηθεί με διάφορους τρόπους, τόσο έμμεσα πχ. με κτυπήματα με το γεωλογικό σφυρί στην Ομάδα I και με τη δοκιμή σημειακής φόρτισης ή το σφυρί Schmidt στην Ομάδα II, όσο και άμεσα με την εκτέλεση της δοκιμής σε ανεμπόδιστη (μονοαξονική) θλίψη στο εργαστήριο στην Ομάδα III.

Ο προσδιορισμός των παραπάνω δεικτών γίνεται με τη βασική γεωλογική και πετρογραφική διερεύνηση καθώς και την εκτέλεση των κλασικών εργαστηριακών δοκιμών Βραχομηχανικής.

1.2. Μηχανική αντοχή πετρώματος

Η αντοχή είναι πολύ βασική μηχανική παράμετρος του ακέραιου πετρώματος και αντιπροσωπεύει το μέγεθος της εφαρμοζόμενης σε αυτό τάσης, ώστε να σημειωθεί θραύση αυτού. Η εφαρμοζόμενη τάση μπορεί να είναι θλιπτική, διατμητική ή εφελκυστική οπότε σημειώνονται και οι αντίστοιχες αντοχές. Από αυτές η θλιπτική

αντοχή είναι η πλέον σημαντική και μπορεί να εκτιμηθεί άμεσα ή έμμεσα με τη χρήση διαφόρων εργαστηριακών δοκιμών.

Ο προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής του ακέραιου πετρώματος γίνεται στο εργαστήριο άμεσα με τη δοκιμή σε μονοαξονική (ανεμπόδιστη) θλίψη και έμμεσα στο εργαστήριο ή στο ύπαιθρο με τη δοκιμή σε σημειακή φόρτιση, όπου υπολογίζεται ο δείκτης σημειακής φόρτισης ($I_{s(50)}$) ή με τη χρήση του σφυριού Schmidt – L, για τον προσδιορισμό της σκληρότητας.

Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του βραχώδους υλικού εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που κυρίως έχουν σχέση με:

1. Το υλικό του πετρώματος δηλαδή την ορυκτολογική σύσταση, το μέγεθος των κόκκων, την ανισοτροπία μικρής κλίμακας (πχ. σχιστότητα) κλπ.
2. Την περιεχόμενη υγρασία του
3. Τις συνθήκες εκτέλεσης της δοκιμής και τη διαμόρφωση των δειγμάτων (δηλαδή λόγος μήκους – διαμέτρου του δοκιμίου, ρυθμός φόρτισης, παραλληλία βάσεων δοκιμίου κλπ.)

Η ταξινόμηση του βραχώδους υλικού σύμφωνα με την αντοχή του σε ανεμπόδιστη θλίψη δίνεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2 : Ταξινόμηση βραχώδους υλικού, με την αντοχή σε UCS

Κατάταξη πετρώματος	Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (MPa)	Επί τόπου εκτίμηση
Εξαιρετικά υψηλής αντοχής	>250	Ο πυρήνας δεν σπάει με το γεωλογικό σφυρί
Πολύ υψηλής αντοχής	100-250	Για να σπάσει ο πυρήνας χρειάζονται πολλά κτυπήματα με το γεωλογικό σφυρί
Υψηλής αντοχής	50-100	Για να σπάσει ο πυρήνας χρειάζονται περισσότερα από ένα κτυπήματα
Μέσης αντοχής	25-50	Ο πυρήνας δεν χαράσσεται με μαχαιρίδιο και μπορεί

		να σπάσει με ένα κτύπημα γεωλογικού σφυριού
Χαμηλής αντοχής	5-25	Ο πυρήνας χαράσσεται δύσκολα με το μαχαίριδιο και η μύτη του γεωλογικού σφυριού δημιουργεί αβαθείς χαραγιές
Πολύ χαμηλής αντοχής	1-5	Ο πυρήνας σπάει σε πολλά κομμάτια με ένα κτύπημα με το γεωλογικό σφυρί και χαράσσεται εύκολα με το μαχαίριδιο
Εξαιρετικά χαμηλής αντοχής	0,25-1	Ο πυρήνας χαράσσεται εύκολα με το νύχι του αντίχειρα

Από συσχετίσεις αποτελεσμάτων αντοχής σε μονοαξονική θλίψη με άλλες παραμέτρους του βραχώδους υλικού φαίνεται ότι:

- Αύξηση της πυκνότητας σημαίνει αύξηση της αντοχής
- Αύξηση του πορώδους σημαίνει μείωση της αντοχής
- Αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας προκαλεί μείωση της αντοχής

Δοκίμια ακέραιου πετρώματος που έχουν ξηρανθεί παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή από αυτά που έχουν κάποια περιεχόμενη υγρασία.

1.3. Ταξινόμηση πετρωμάτων με βάση την αντοχή

Οι Deere και Miller (1966) πρότειναν ένα σύστημα ταξινόμησης του ακέραιου πετρώματος που βασίζεται σε δύο σημαντικά μηχανικά χαρακτηριστικά του, την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (σ_c) και το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας (E).

Σύμφωνα με την ταξινόμηση αυτή, το ακέραιο πέτρωμα με βάση την αντοχή του (σ_c) ταξινομείται σε πέντε κατηγορίες από Α μέχρι Ε. Στην κατηγορία Α ανήκουν πολύ λίγα, σκληρά πετρώματα όπως χαλαζίτης, διαβάσης και μερικοί βασάλτες. Η κατηγορία Β περιλαμβάνει την πλειονότητα των εκρηξιγενών πετρωμάτων, των σκληρών μεταμορφωμένων και των καλά συγκολλημένων ψαμμιτών, των σκληρών σχιστόλιθων και των ασβεστολίθων - δολομιτών. Η κατηγορία C περιλαμβάνει τους αργιλικούς σχιστόλιθους, τους πορώδεις ψαμμίτες και ασβεστόλιθους καθώς και τους μεταμορφωμένους σχιστόλιθους. Τέλος οι κατηγορίες D και Ε περιλαμβάνουν τα πορώδη μικρής πυκνότητας πετρώματα όπως είναι οι εύθρυπτοι ψαμμίτες, οι αργιικοί σχιστόλιθοι, οι εβαπορίτες και τα αποσαθρωμένα – εξαλλοιωμένα πετρώματα κάθε κατηγορίας.

Η δεύτερη παράμετρος που χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση αυτή, είναι το μέτρο ελαστικότητας και συγκεκριμένα ο λόγος του μέτρου ελαστικότητας (E) προς την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του ακέραιου πετρώματος (σ_c) δηλαδή ο λόγος (E/ σ_c).

Η ταξινόμηση του βραχώδους υλικού κατά τους Deere και Miller, φαίνεται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Ταξινόμηση βραχώδους υλικού με βάση το μέτρο ελαστικότητας και την αντοχή σε UCS (Deere & Miller)

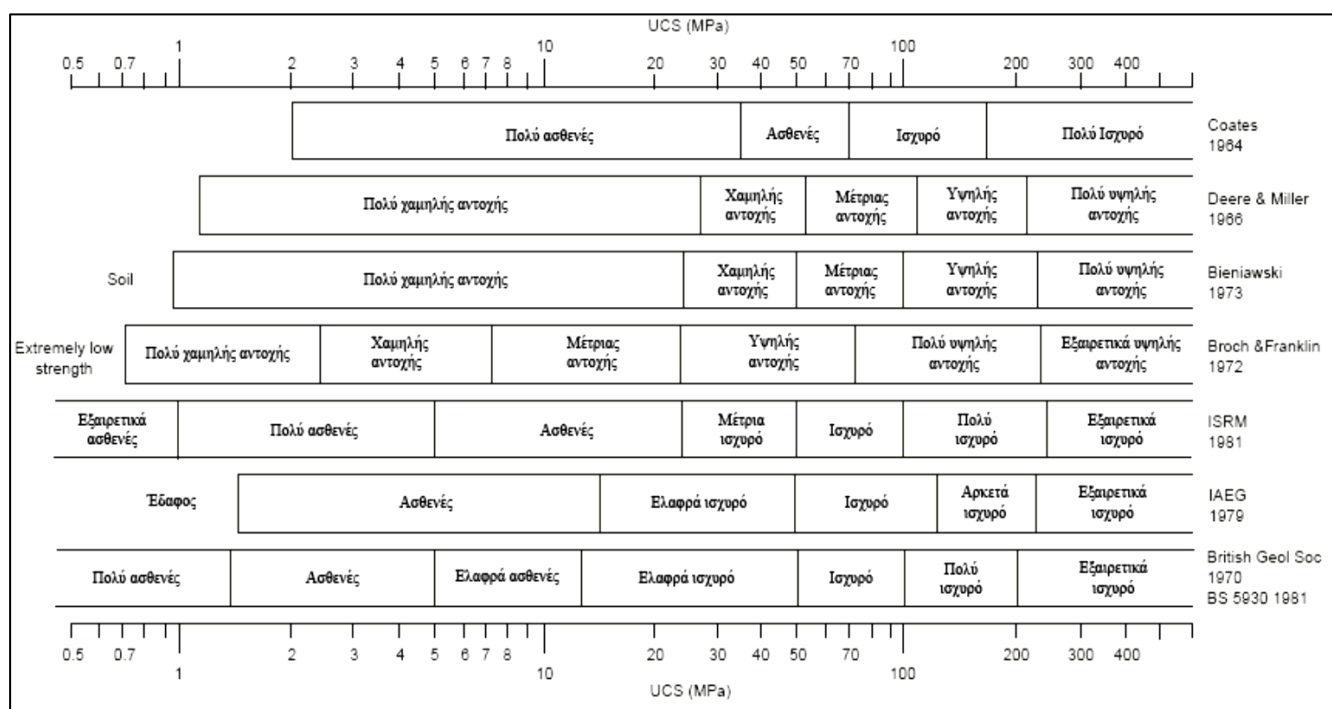
Κατηγορία	E/ σ_c	Πετρώματα
H	>500	Ασβεστόλιθοι, Δολομίτες, Μάρμαρα
M	200-500	Εκρηξιγενή, Ιζηματογενή
L	<200	Αργιικοί σχιστόλιθοι, Φυλλίτες

Εκτός από τους Deere και Miller, κατηγοριοποίησαν τα πετρώματα με βάση την αντοχή τους και οι Bieniawsky (1973) και Coates (1964). Γενικά όλες οι κατατάξεις, κατατάσσουν τα πετρώματα με αντοχή μέχρι 50 MPa ως χαμηλής αντοχής, ενώ πολύ χαμηλής τα αντίστοιχα κάτω των 25 MPa.

Υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην κατάταξη αντοχής των πετρωμάτων μεταξύ Αμερικάνων και Βρετανών ερευνητών, για εύρος από 50 έως 100 MPa. Τα πετρώματα της κατηγορίας αυτής αναφέρονται ως ισχυρά (strong) από το σύστημα

της BGS (British Geological Society), ενώ οι Deere, Miller (1966) και Bieniawski (1973) ως μέτρια (medium). Μέτρια όμως αναφέρονται από τους Broch και Franklin (1972) πετρώματα που έχουν αντοχή από 7,5 έως 25 MPa.

Το 1981 η ISRM (International Society for Rock Mechanics), έδωσε μία κατάταξη που προσέγγιζε αρκετά αυτή των Deere και Miller, χωρίς όμως να μπορεί να λύσει το πρόβλημα με τις διαφορετικές κατατάξεις. Στον πίνακα της ISRM, ασθενές (weak) πέτρωμα είναι αυτό που η αντοχή του κυμαίνεται από 5 έως 25 MPa. Πάνω από το όριο των 100 MPa δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές, κυρίως λόγω του γεγονότος ότι δεν υπάρχει «ενδιαφέρον» από μηχανικής άποψης.



Σχήμα 1: Συγκριτικό διάγραμμα κατάταξης πετρωμάτων με βάση την αντοχή (Bieniawski 1981).

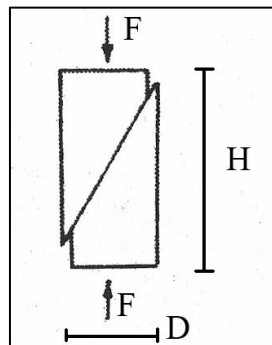
Πρακτικά, η σωστή κατάταξη, παρουσιάζει ενδιαφέρον για πετρώματα με αντοχές κάτω των 50 MPa, επειδή αυτά αποτελούν στατιστικά τα πετρώματα που απαντώνται συχνότερα. Σε πετρώματα με αντοχή κάτω των 5 MPa μπορεί συνήθως να χρησιμοποιηθεί και ένα απλό σκαπτικό μηχάνημα. Για πετρώματα με μεγαλύτερες αντοχές, ανάλογα με τη δομή τους, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν μηχανικά σφυριά ή και εκρηκτικά.

Έτσι λοιπόν, είναι φανερό, ανεξάρτητα με την τρόπο κατάταξης που θα ακολουθηθεί, ότι ο προσδιορισμός της αντοχής των πετρωμάτων που θα απαντηθούν στο έργο είναι πολύ σημαντικός παράγοντας στο σχεδιασμό και αφορά την οικονομία αλλά και το χρόνο περάτωσης του έργου. Από το σύνολο των δοκιμών που χρησιμοποιούνται, ο σημαντικότερος δείκτης της αντοχής κάθε πετρώματος, με βάση τον οποίο το κατατάσσουμε, είναι η **αντοχή του σε ανεμπόδιση θλίψη** (*uniaxial compressive strength, UCS*).

2. ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

2.1. Αντοχή σε θλίψη

Μια από τις σημαντικότερες ιδιότητες που καθορίζουν τη μηχανική συμπεριφορά του πετρώματος είναι η αντοχή του και αντίδρασή του σε αργή και γρήγορη παραμόρφωση.



Σχήμα 2: Επιβολή τάσεων F σε δοκίμιο ύψους H και διαμέτρου D κατά την ανεμπόδιση θλίψη

Ως αντοχή σε θλίψη που ονομάζεται επίσης και αντοχή σε μονοαξονική και ανεμπόδιση θλίψη (UCS), ορίζεται το πηλίκο της διαίρεσης της μέγιστης επιβαλλόμενης δύναμης που θα σημειωθεί κατά την αστοχία του δοκιμίου, δια της αρχικής διατομής του δοκιμίου, που μετρείται κάθετα στη διεύθυνση της δύναμης. Η αντοχή αυτή δίνεται από τη σχέση :

$$UCS = \frac{P}{A}$$

όπου, UCS : η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη σε kPa ή MPa

P : το μέγιστο φορτίο σε kN ή MN

A : το εμβαδόν της διατομής του δοκιμίου σε m^2

Η αντοχή σε θλίψη υπολογίζεται εργαστηριακά, από την προοδευτική φόρτιση μέχρι τη θραύση σε ειδικές μηχανές ελέγχου κυλινδρικών δοκιμίων. Πρόκειται για την πιο συνηθισμένη αλλά και μία από τις πιο ευαίσθητες δοκιμές που υποβάλλονται τα δοκίμια των πετρωμάτων. Η ευαισθησία αυτή οφείλεται σε διάφορους παράγοντες που έμμεσα ή άμεσα επηρεάζουν τα αποτελέσματα. Οι σπουδαιότεροι από τους παράγοντες αυτούς είναι :

- I. Η σχέση ύψους προς τη διάμετρο του δοκιμίου.
- II. Η επιπεδότητα των επιφανειών φόρτισης του δοκιμίου.
- III. Η ταχύτητα φόρτισης.

Επίσης σημαντικός παράγοντας είναι η ανισοτροπία του υλικού, παράμετρος που δεν ελήφθηκε υπόψη στα δοκίμια που εξετάστηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, δεδομένου ότι τα πετρώματα που εξετάστηκαν (γρανίτες) είναι σχετικά ισότροπα, αφού δεν παρουσιάζουν πρωτογενείς ασυνέχειες σε συγκεκριμένες διευθύνσεις.

2.1.1. Επίδραση των διαστάσεων του δοκιμίου

Ο λόγος ύψους προς διάμετρο (L/D) στα κυλινδρικά δοκίμια επηρεάζει σημαντικά τα πειραματικά αποτελέσματα. Πειραματικά δεδομένα διαφόρων ερευνητών δίδουν την μεταβολή του σχήματος 3, σύμφωνα με την οποία η αντοχή μειώνεται γρήγορα καθώς αυξάνει ο λόγος L/D , από κλάσμα της μονάδος μέχρι τη μονάδα. Η μείωση αυτή της αντοχής συνεχίζεται, αλλά με βραδύτερο ρυθμό, μέχρι ο λόγος L/D να είναι μεταξύ 2,5-3,0 όπου η αντοχή λαμβάνει σταθερή τιμή.

Η μείωση της αντοχής σε θλίψη με την αύξηση του όγκου του, αποδόθηκε στο γεγονός ότι με την αύξηση του όγκου αυξάνονται και οι πιθανότητες παρουσίας μικρορωγμών στο δοκίμιο.

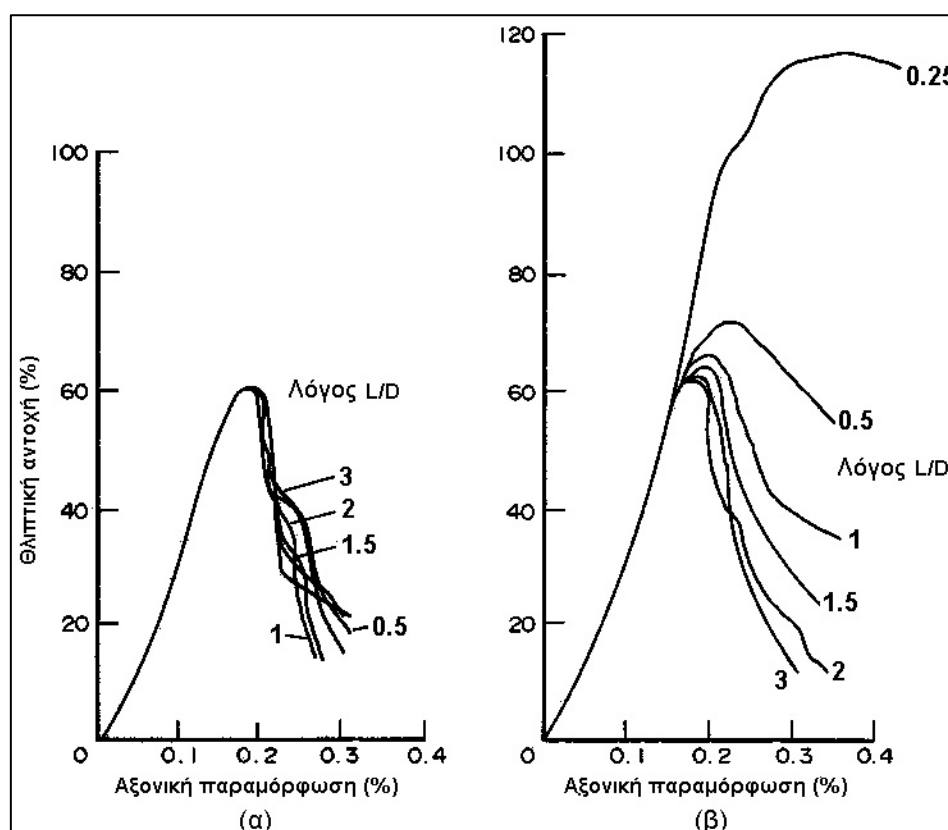
Η ελάχιστη συνιστώμενη διάμετρος για την εκτέλεση δοκιμής σε κυλινδρικό δοκίμιο πρέπει να είναι τουλάχιστον 6 με 10 φορές μεγαλύτερη του μέγιστου κόκκου ή άλλου

σώματος που εμφανίζεται στο πέτρωμα. Οι περισσότεροι ερευνητές δέχονται ότι η ελάχιστη αποδεκτή διάμετρος του δοκιμίου θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 50 mm, ενώ ο λόγος ύψους προς διάμετρο να κυμαίνεται μεταξύ 2:1 και 3:1. Ο βέλτιστος λόγος για την ASTM (American Society for Testing Material) είναι 2:1, ενώ για την ISRM από 2,5:1 έως και 3:1.

Σήμερα έχει επικρατήσει η χρήση κυλινδρικών δοκιμίων με σχέση ύψους/διαμέτρου μεταξύ 2:1 και 3:1, για τον προσδιορισμό της αντοχής σε ανεμπόδιση θλίψη. Η σχέση αυτή δίνει μια ομοιόμορφη κατανομή των τάσεων στο δοκίμιο και τη δυνατότητα το επίπεδο αστοχίας να μην τέμνει τις βάσεις του δοκιμίου.

Πάντως για τιμές του λόγου από 2 έως 3 η επίδραση είναι αμελητέα όπως προκύπτει και από το παρακάτω σχήμα.

Δοκίμια με λόγο μεγαλύτερο από 3 κινδυνεύουν να αστοχήσουν σε λυγισμό και έτσι πρέπει να αποφεύγονται.



Σχήμα 3: Επίδραση του λόγου L/D στη μονοαξονική θλίψη (α) για πλάκες με ακίδες και (β) για πλάκες από σκληρό σίδηρο (από Brook, 1993)

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν κυβικά δοκίμια γρανίτη, πλευράς 5 cm. Η προδιαγραφή του ΕΛΟΤ 750 σύμφωνα με την οποία έγιναν οι

θραύσεις των δοκιμίων, αφορά την ανεμπόδιστη θλίψη δοκιμίων φυσικών λίθων και προδιαγράφει τις διαστάσεις των πετρωμάτων με μικρό πορώδες, να είναι κύβοι πλευράς 50 ± 2 mm ή κύλινδροι ύψους και διαμέτρου 50 ± 2 mm. Για τα αδροκρυσταλλικά πετρώματα μεγάλου πορώδους, τα δείγματα σύμφωνα με την προδιαγραφή είναι κύβοι διαστάσεων 100 ± 2 mm ή κύλινδροι διαμέτρου 100 ± 2 mm και ύψους 50 ± 2 mm.

Τέλος σε δοκιμές ανεμπόδισης θλίψης θα πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στην παραλληλία των πλευρών του δοκιμίου. Είναι σημαντικό να εξασφαλιστεί η καθετότητα των επιφανειών έδρασης σε σχέση με τον άξονα του δοκιμίου, καθώς έκκεντρη φόρτιση θα οδηγούσε σε σημαντική αλλοίωση των αποτελεσμάτων.

2.1.2. Επίδραση ασυνεχειών στην αντοχή

Η μηχανική συμπεριφορά της βραχομάζας όπως είναι φανερό, εξαρτάται άμεσα από την παρουσία και τα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών σε αυτή.

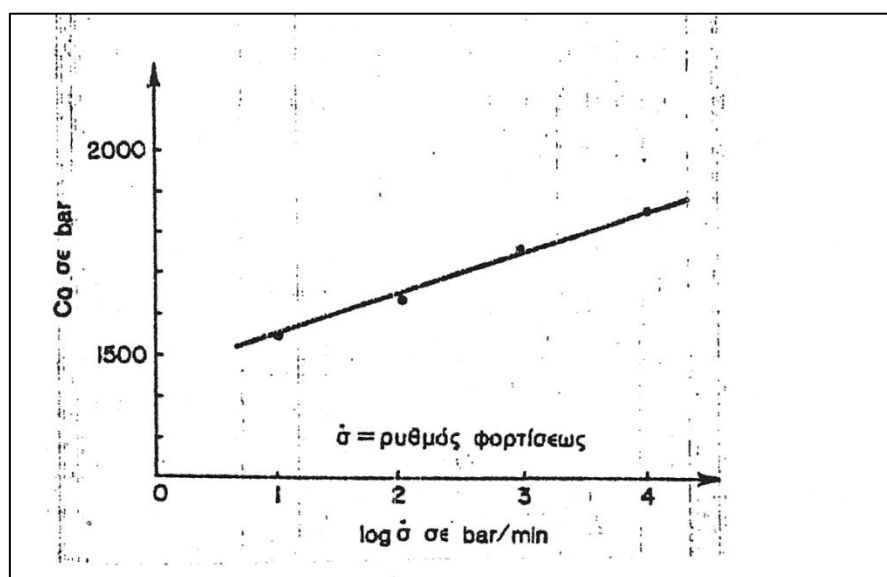
Οι ασυνέχειες έχουν σαν αποτέλεσμα τη μείωση της αντοχής του ανέπαφου πετρώματος που οφείλεται :

- I. Στην αδυναμία μιας ασυνέχειας να αντέξει εφελκυστικές τάσεις κάθετες στην επιφάνειά της.
- II. Στη μείωση της διατμητικής αντοχής κατά μήκος των επιφανειών αυτών που οφείλεται και στην παρουσία αποσαθρωμένων τοιχωμάτων και δευτερογενών ορυκτών με χαμηλή γωνία τριβής πράγμα που καθιστά τις επιφάνειες αυτές πιο επιρρεπείς σε ολίσθηση.

Ωστόσο, το σύνολο των βασικών και υπερβασικών πλουτωνίων πετρωμάτων σε υγιή κατάσταση δίνουν πολύ μεγάλες αντοχές και δέχονται χωρίς πρόβλημα οποιοδήποτε τεχνικό έργο για θεμελίωση λόγω του περιορισμένου αριθμού συστημάτων ασυνεχειών. Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγκεκριμένη εργασία δεν εμφανίζουν συστήματα ασυνεχειών (διακλάσεις, ρωγμές), γι' αυτό και δεν θεωρήθηκε ότι επηρέασαν την αντοχή του πετρώματος.

2.1.3. Επίδραση του ρυθμού φόρτισης στις τιμές της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη

Η ταχύτητα φόρτισης των δοκιμών επιδρά σημαντικά στην αντοχή τους σε ανεμπόδιστη θλίψη. Πιο συγκεκριμένα, όσο η ταχύτητα φόρτισης αυξάνει, τόσο η θραύση των δοκιμών γίνεται σε μεγαλύτερο φορτίο. Αυτό πιθανότατα οφείλεται σε φαινόμενα ερπυσμού και κατάτμησης που πρέπει να σημειώνονται στη μάζα των δοκιμών όταν οι ταχύτητες φόρτισης είναι μικρές. Η μεταβολή της αντοχής σε θλίψη του γρανίτη σε συνάρτηση με το ρυθμό φόρτισής του φαίνεται στο σχήμα 4.



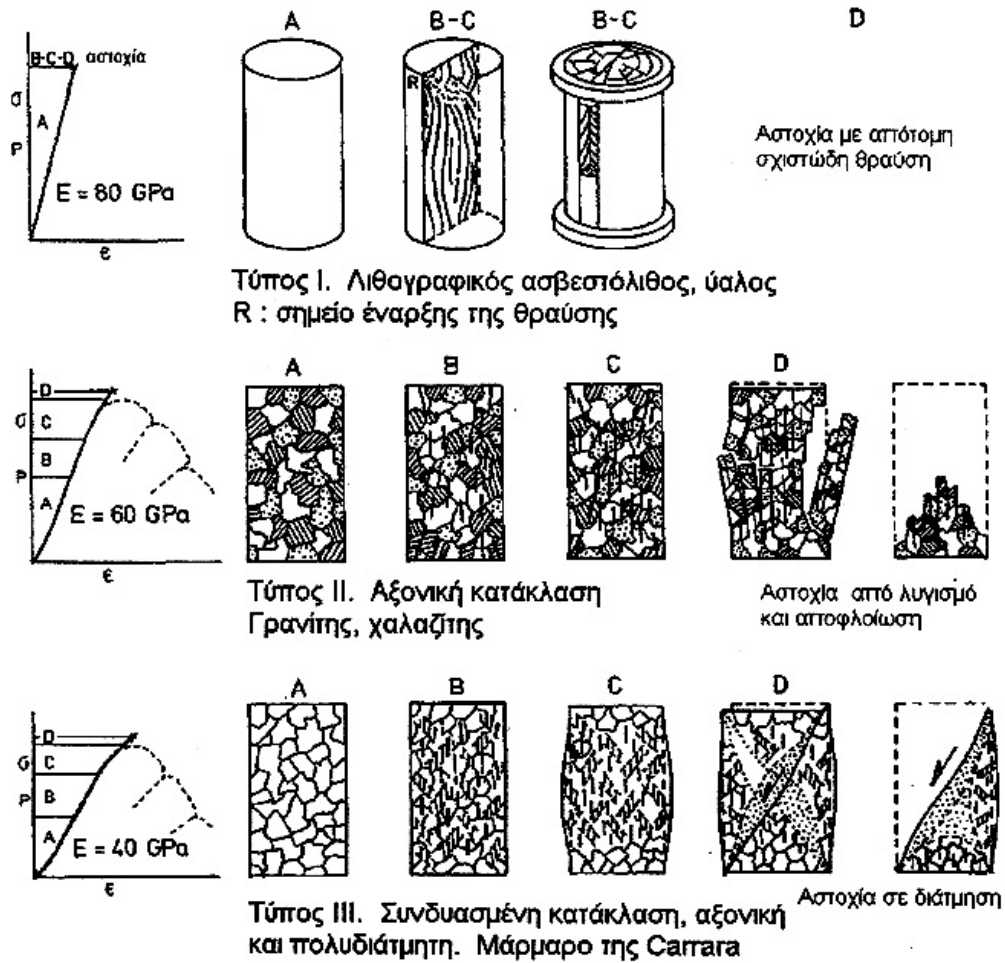
Σχήμα 4: Μεταβολή της αντοχής σε θλίψη γρανίτη σε συνάρτηση με το ρυθμό φόρτισης (Houpert, 1970)

2.1.4. Επίδραση του υλικού στο μηχανισμό αστοχίας

Η θλίψη είναι ένα σύνθετο φαινόμενο εφελκυσμού και διάτμησης το οποίο επηρεάζεται άμεσα από την μικροσκοπική και μακροσκοπική δομή, καθώς και από τη σύσταση του υλικού. Ως εκ τούτου, ο μηχανισμός αστοχίας είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο για το οποίο έχουν διατυπωθεί διάφορες θεωρίες. Γενικά δεν υπάρχει ένας μηχανισμός αστοχίας για όλα τα πετρώματα. Παίρνοντας για παράδειγμα ένα πέτρωμα χαμηλής αντοχής όπως ο ιλυόλιθος, η συμπεριφορά του θα είναι τελείως διαφορετική από αυτή ενός σκληρού πετρώματος όπως ο γρανίτης, με το πρώτο να έχει όλκιμη συμπεριφορά και το δεύτερο τελείως ψαθυρή. Η διαδικασία κατά την

οποία συμβαίνει ξαφνική απώλεια αντοχής με ελάχιστη ή μηδενική πλαστική παραμόρφωση.

Ο Gramberg (1989) διαχώρισε τον μηχανισμό αστοχίας σε έξι διαφορετικούς τύπους πετρωμάτων. Στο σχήμα 5 παρουσιάζονται τρεις από αυτούς τους μηχανισμούς σε σχηματική απεικόνιση των ενδιάμεσων σταδίων.



Σχήμα 5: Σχηματική απεικόνιση τριών τύπων αστοχίας κατά Gramberg (Σοφιανός, 2001)

2.1.5. Επίδραση της πετρογραφίας στη μηχανική συμπεριφορά του άρρηκτου πετρώματος

Ο ιστός των πετρωμάτων παίζει σημαντικό ρόλο στην κατανόηση των μηχανικών ιδιοτήτων του βράχου. Ο ιστός του πετρώματος αναφέρεται στο μέγεθος των ορυκτών που το αποτελούν, στο σχήμα και στη χωρική διάταξη των κόκκων των ορυκτών και αντιπροσωπεύει την προέλευση και τεκτονική ιστορία του κάθε πετρώματος.

Ιστός: Ο όρος ιστός περιλαμβάνει το σχετικό μέγεθος των ορυκτολογικών συστατικών του πετρώματος και τον τρόπο σύνδεσης μεταξύ τους (texture).

Υφή: Ο όρος υφή είναι ο τρόπος κατά τον οποίο είναι διατεταγμένα τα συστατικά του πετρώματος στον χώρο και η μορφή που προκύπτει από την πλήρωση του χώρου (fabric)

Η σχέση μεταξύ του ιστού και των μηχανικών ιδιοτήτων, έχει μελετηθεί από διάφορους ερευνητές, ενώ υπάρχει μεγάλος αριθμός δημοσιεύσεων στο αντικείμενο αυτό. Ο Erkan (1971) έδειξε ότι η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη σε γρανιτικά πετρώματα αυξάνεται αυξανόμενης της ειδικής επιφάνειας των κρυστάλλων.

Οι Howarth και Rowlands (1987) πρότειναν ένα συντελεστή για τον ιστό που περιγράφει το σχήμα, τον προσανατολισμό των κόκκων, τον βαθμό αλληλεμπλοκής αυτών και την πυκνότητα συναρμογής τους, τον οποίο και συνέδεσε με την αντοχή και την διατρησιμότητα του πετρώματος.

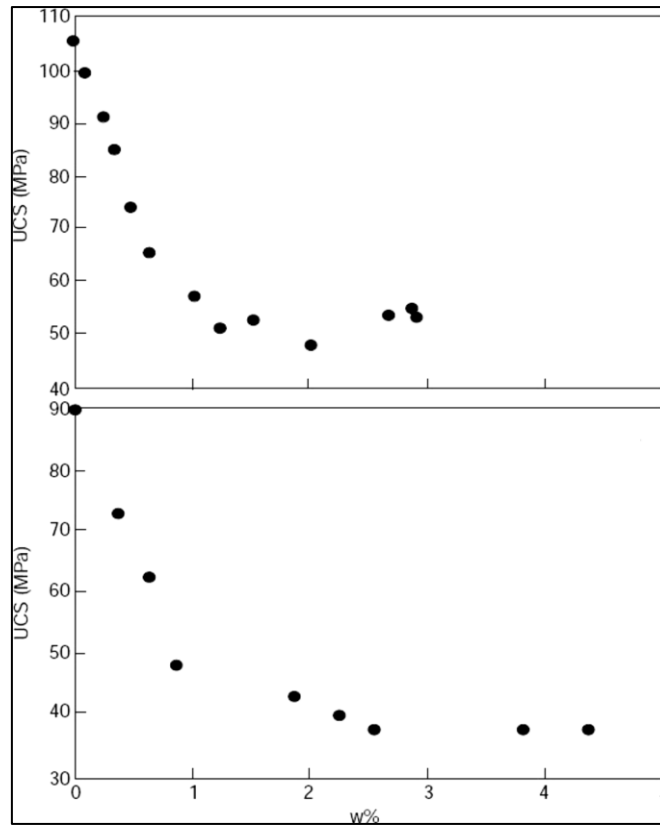
Όπως προκύπτει από τη διεθνή βιβλιογραφία, οι μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των πετρογραφικών δεικτών και τη μελέτη της συμπεριφοράς του άρρηκτου πετρώματος σε σχέση με τη δομή του είναι:

1. Η ορυκτολογική ανάλυση σε πολωτικό μικροσκόπιο
2. Η ανάλυση με ακτίνες περίθλασης X (XRD) και
3. Η ανάλυση σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

2.1.6. Επίδραση της περιεχόμενης υγρασίας στην αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη

Είναι γνωστό ότι η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από την περιεχόμενη υγρασία του δείγματος. Γενικά ισχύει ότι η περιεχόμενη υγρασία μειώνει την αντοχή του πετρώματος. Ειδικά σε πετρώματα που παρουσιάζουν πρωτογενές πορώδες όπως οι ψαμμίτες, η διαφορά μεταξύ ξηρής αντοχής (UCS_{dry}) και αντοχής σε συνθήκες κορεσμού (UCS_{wet}) κατά μέσο όρο είναι της τάξης των 25 με 35% με ακραίες τιμές μέχρι και 60%. Η μεγαλύτερη μείωση στην αντοχή παρατηρείται για τιμές περιεχόμενης υγρασίας μέχρι 1% και απεικονίζεται σχηματικά στα διαγράμματα του σχήματος 6 (Hawkins, McConnell, 1992). Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι για ένα αρκετά ισχυρό ψαμμίτη με ξηρή αντοχή 298MPa, παρατηρείται ότι για κάθε αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας κατά 0,2% μειώνεται η αντοχή κατά 15%.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις δείχνουν τις σχεδόν παραπλανητικές υψηλές τιμές αντοχής που μετρώνται σε ξηρά δείγματα, μιας και εντελώς ξηρά πετρώματα με κατά προσέγγιση μηδενική υγρασία, πρακτικά είναι αδύνατον να υπάρξουν στη φύση. Ωστόσο, η σχέση υγρασίας και αντοχής για κάθε δείγμα πετρώματος, αποτελεί μία πρόσθετη παράμετρο, που τις περισσότερες φορές παραβλέπεται εσκεμμένα, ακόμα και από τις πιο πρόσφατες προτεινόμενες μεθόδους προσδιορισμού της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, λόγω της δυσκολίας προσδιορισμού της.



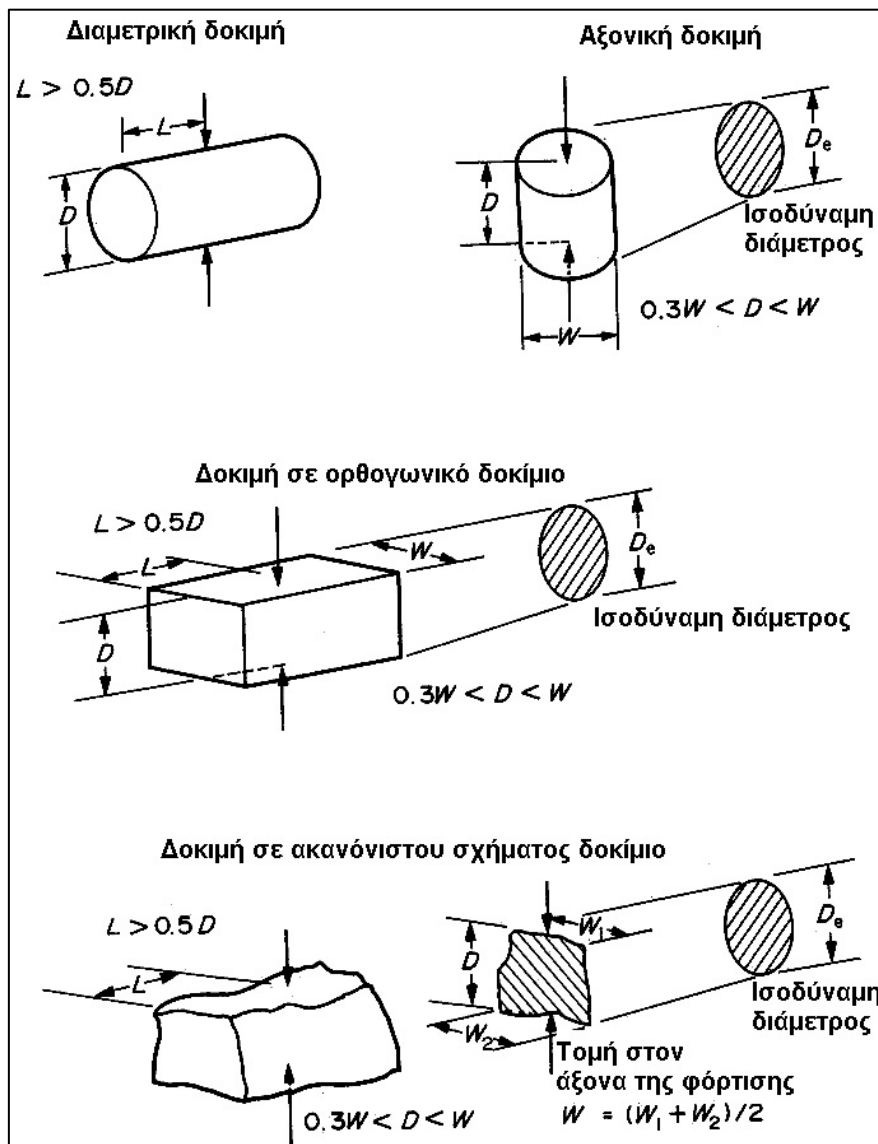
Σχήμα 6: Διάγραμμα μεταβολής UCS σε σχέση με την περιεχόμενη υγρασία για 2 είδη ψαμμιτών (Hawkins, McConnell 1992).

Στη συγκεκριμένη εργασία όλες οι εργαστηριακές δοκιμές έγιναν σε δείγματα με φυσική υγρασία πολύ κοντά στο μηδέν (0,2%), έτσι ώστε να αποφευχθεί η ανάμιξη αυτής της παραμέτρου, η οποία οδηγεί σε τιμές χαμηλότερες της αντοχής του πετρώματος. Βέβαια, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι στη φύση τα πετρώματα και τα εδάφη πρακτικά δεν βρίσκονται σχεδόν ποτέ υπό συνθήκες μηδενικής υγρασίας.

2.2. Αντοχή σε σημειακή φόρτιση

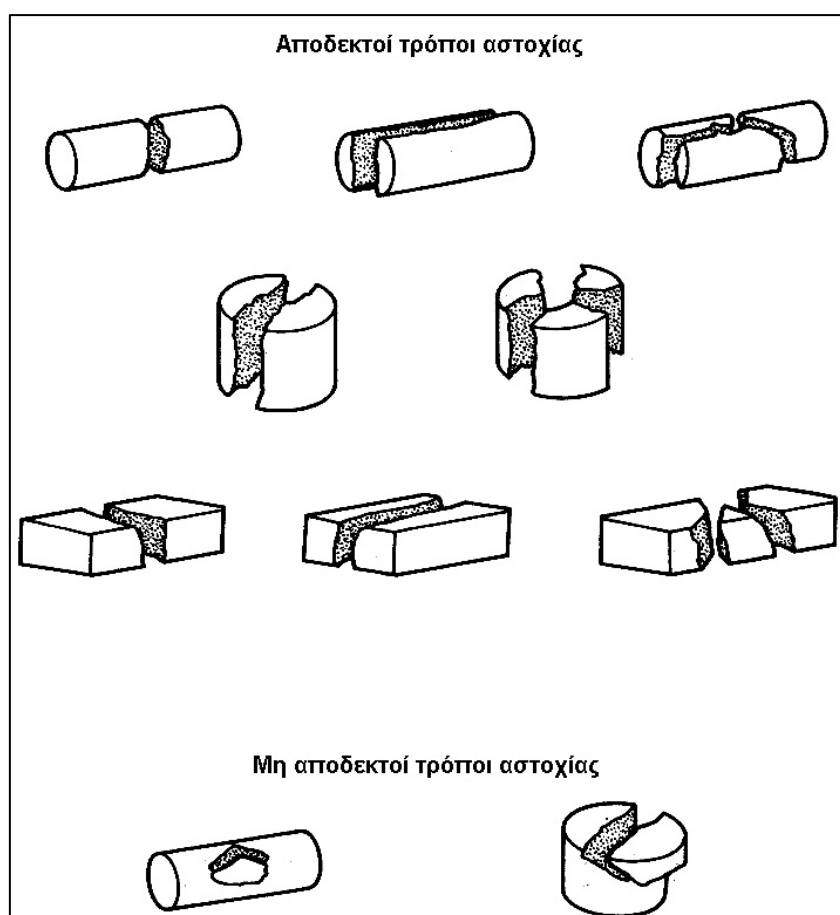
Η δοκιμή σημειακής φόρτισης είναι μία απλή και οικονομική δοκιμή που έχει σαν σκοπό την ταξινόμηση του ακέραιου πετρώματος από πλευράς αντοχής και έμμεσα είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η αντοχή σε μοναξονική θλίψη. Η δοκιμή γίνεται συνήθως στο εργαστήριο αλλά και επιτόπου του έργου, λόγω της σχετικά εύκολης μεταφοράς της ειδικής συσκευής που χρησιμοποιείται.

Κατά την εκτέλεση της δοκιμής ένα δοκίμιο φορτίζεται αντιδιαμετρικά από δύο έμβολα. Η δοκιμή μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε κυλινδρικό είτε σε ακανόνιστου σχήματος δοκίμιο και ειδικά στην περίπτωση του κυλινδρικού η φόρτιση μπορεί να γίνει κάθετα ή παράλληλα στον άξονά του. Προτιμητέα συνήθως είναι η διαμετρική δοκιμή, διότι μπορεί να εκτελεστεί σε πυρήνες γεωτρήσεων χωρίς καμία επεξεργασία (επιπέδωση βάσεων). Συσκευές σημειακής φόρτισης υπάρχουν δύο κυρίως τύπων και αποτελούνται από ένα μεταλλικό πλαίσιο, δύο μεταλλικές πλάκες που φέρουν κωνικά άκρα 60° με ακτίνα καμπυλότητας 5 mm , μία χειροκίνητη υδραυλική αντλία για την επιβολή της πίεσης, ένα έμβολο για τη μετακίνηση της μίας πλάκας και ένα ή δύο μανόμετρα για τη μέτρηση της πίεσης του εμβόλου ή του επιβαλλόμενου φορτίου. Στο Σχήμα 7 απεικονίζονται διάφοροι τρόποι φόρτισης ανάλογα με το σχήμα του δοκιμίου.



Σχήμα 7: Τρόποι φόρτισης ανάλογα με το σχήμα του δοκιμίου στη δοκιμή σημειακής φόρτισης

Λόγω της εφαρμοζόμενης θλιπτικής δύναμης αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις κάθετα σε μία επίπεδη επιφάνεια η οποία διέρχεται από τον άξονα της δύναμης που ορίζεται από τα δύο σημεία φόρτισης και ποικίλλει ανάλογα με το σχήμα και την ανισοτροπία του δοκιμίου. Η αστοχία επέρχεται με θραύση λόγω των εφελκυστικών τάσεων στην επιφάνεια αυτή. Αν το επίπεδο της αστοχίας δεν διέρχεται και από τα δύο σημεία φόρτισης ή αν ταυτίζεται με την επιφάνεια κάποιας ασυνέχειας, το πείραμα δεν είναι αποδεκτό. Στο Σχήμα 8 φαίνονται σχηματικά κάποιοι αποδεκτοί ή όχι τρόποι αστοχίας.



Σχήμα 8: Πιθανοί τρόποι αστοχίας

Το φορτίο αστοχίας εξαρτάται από το εμβαδόν της μικρότερης επιφάνειας η οποία διέρχεται από τον άξονα της δύναμης και όχι από την απόσταση των ακμών φόρτισης, αλλά ούτε και από την επιφάνεια θραύσης (Brook, 1985). Αυτό αποδεικνύεται με την εκτέλεση πειραμάτων σε κυλινδρικά δοκίμια κάθετα και παράλληλα στον άξονά τους, τέτοιων διαστάσεων ώστε το εμβαδόν της μικρότερης επιφάνειας που διέρχεται από τις ακμές φόρτισης να είναι ίδιο και στις δύο περιπτώσεις.

Από το φορτίο αστοχίας λαμβάνεται ο δείκτης αντοχής σε σημειακή φόρτιση I_s (point load index) ως το πηλίκο του φορτίου αστοχίας P σε kN, προς το τετράγωνο της απόστασης D_e σε mm:

$$I_s = \frac{P}{D_e^2}$$

Όπου:

D_e : η ισοδύναμη διάμετρος του δοκιμίου, η οποία υπολογίζεται ως εξής :

- $D_e^2 = D^2$ για την περίπτωση της διαμετρικής φόρτισης
- $D_e^2 = 4A/\pi$ για την περίπτωση της αξονικής φόρτισης,
όπου $A = W \times D$ το εμβαδόν του επιπέδου που διέρχεται από τα σημεία φόρτισης και
 W , το πλάτος του επιπέδου που διέρχεται από τις ακμές φόρτισης.

Σύμφωνα με την ISRM (1985) οι δοκιμές ομαδοποιούνται σε τέσσερις τύπους δοκιμής: (α) Διαμετρική δοκιμή, (β) Αξονική δοκιμή, (γ) Δοκιμή ορθογωνικού δοκιμίου και (δ) Δοκιμή ακανόνιστου δοκιμίου.

- Η διαμετρική δοκιμή, (Σχήμα 7) πραγματοποιείται με αντιδιαμετρική φόρτιση ενός τεμαχίου πυρήνα μέχρι θραύσης στο ζεύγος των ακμών. Κατάλληλα δοκίμια για την εκτέλεση της δοκιμής θεωρούνται αυτά με λόγο μήκους προς διάμετρο μεγαλύτερο από 1.0. Η απόσταση D μεταξύ των ακμών φορτίσεως, που εδώ είναι ίση με τη διάμετρο του δοκιμίου, καταγράφεται με ακρίβεια $\pm 2\%$. Το φορτίο αυξάνεται σταδιακά ώστε το δοκίμιο να αστοχήσει σε χρόνο 10-60 sec.
- Η αξονική δοκιμή πραγματοποιείται με φόρτιση του δοκιμίου παράλληλα προς τον άξονά του (Σχήμα 7). Τα χρησιμοποιούμενα δοκίμια πρέπει να έχουν λόγο ύψους προς διάμετρο 0.3÷1.0. Η απόσταση D μεταξύ των ακμών φορτίσεως, που εδώ είναι ίση με το μήκος του δοκιμίου, καταγράφεται με ακρίβεια $\pm 2\%$. Το πλάτος του δοκιμίου W κάθετα προς τη διεύθυνση φορτίσεως καταγράφεται με ακρίβεια $\pm 5\%$. Το φορτίο αυξάνεται σταδιακά ώστε το δοκίμιο να αστοχήσει σε χρόνο 10 - 60 sec.

- Η Δοκιμή Ορθογωνικού και Ακανόνιστου Δοκιμίου (Block Test and Irregular Lump Test) πραγματοποιείται σε δοκίμια ορθογωνικής ή ακανόνιστης μορφής που πρέπει να έχουν μέγεθος 50 ± 35 mm και να είναι της μορφής που δίνεται στο Σχήμα 7. Ο λόγος D/W πρέπει να είναι μεταξύ 0.3 και 1.0 και προτιμάται να πλησιάζει το 1.0. Η απόσταση L πρέπει να είναι τουλάχιστο 0,5W. Η απόσταση D μεταξύ των ακμών φορτίσεως καταγράφεται με ακρίβεια ± 2 %. Το μικρότερο πλάτος του δοκιμίου W κάθετα προς τη διεύθυνση φορτίσεως καταγράφεται με ακρίβεια ± 5 %. Εάν οι πλευρές του δοκιμίου δεν είναι παράλληλες τότε το W υπολογίζεται ως $W = (W1 + W2) / 2$. Το φορτίο αυξάνεται σταδιακά ώστε το δοκίμιο να αστοχήσει σε χρόνο 10 - 60 sec.

Όσο αφορά τη διάμετρο των κυλινδρικών εξεταζόμενων τεμαχίων, από πολύ νωρίς διαπιστώθηκε ότι παίζει καθοριστικό ρόλο στο μετρούμενο I_s . Οι μελέτες των Broch and Franklin (1972), Brook (1985), Hassani et al. (1980), Bieniawski (1975) αλλά και η πρόταση της ISRM (1972) για την εκτέλεση, ερμηνεία και διόρθωση των αποτελεσμάτων δοκιμών PLT, θεωρούν απαραίτητη τη διόρθωση των μετρούμενων τιμών του δείκτη I_s , με ένα «κανονικοποιημένο» δείκτη αναφοράς για την αντοχή του δοκιμίου με διάμετρο 50 mm, γνωστός ως δείκτης $I_{s(50)}$:

$$I_{s(50)} = \left(\frac{D}{50}\right)^{0.45} * I_s \quad (\text{ISRM})$$

Ο ορισμός της ισοδύναμης διαμέτρου γίνεται για να ληφθεί υπόψη η επίδραση σχήματος. Αν το δοκίμιο έχει $D_e \neq 50$ mm, τότε πρέπει να γίνει και διόρθωση κλίμακας (ή μεγέθους) και να υπολογισθεί ο δείκτης $I_{s(50)}$ που είναι ο τυποποιημένος δείκτης αναφοράς.

Τα παραπάνω ισχύουν για διάμετρο δοκιμίου πάνω από 25 mm, μιας και σύμφωνα με τους περισσότερους ερευνητές, δοκιμές κάτω από τη διάμετρο των 25 mm απαιτούν σημαντικές διορθώσεις με αρκετά μεγάλο ποσοστό σφάλματος και επομένως δεν προτείνονται.

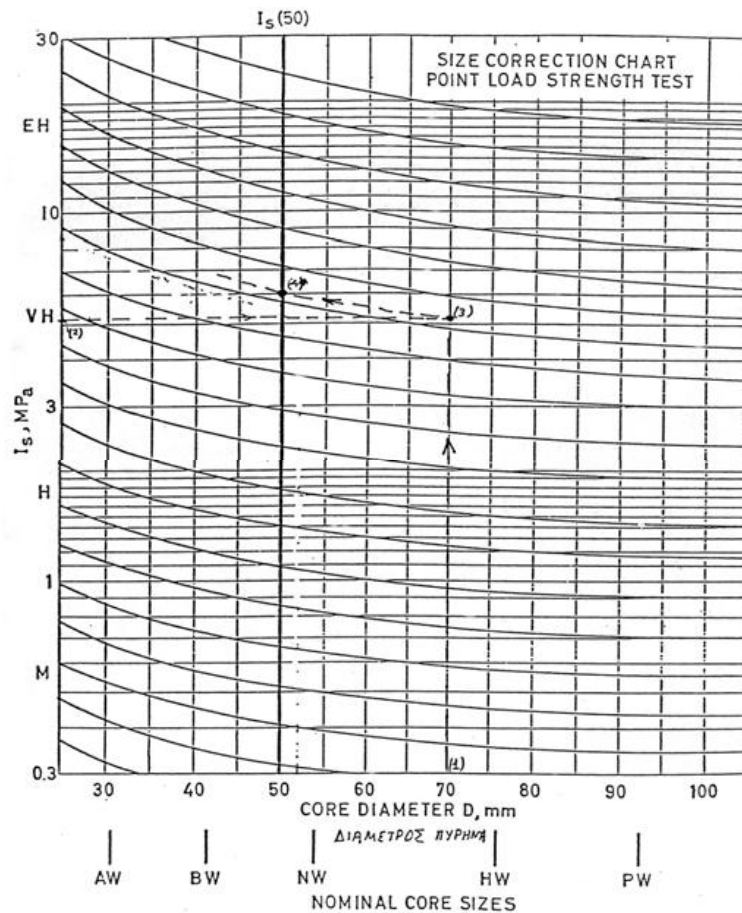
Στην αξονική δοκιμή, τόσο η διάμετρος όσο και το μήκος του δοκιμίου επηρεάζει το μετρούμενο αποτέλεσμα. Ο λόγος L/D πρέπει να κυμαίνεται από 0,3 έως 1,0 και είναι

απαραίτητο οι κυκλικές επιφάνειες του δείγματος να είναι επίπεδες. Για διάμετρο πολύ κοντά στα 50 mm λόγω του μικρού σφάλματος, η ISRM προτείνει τη σχέση:

$$I_{s(50)} = \sqrt{\frac{D}{50}} * I_s$$

Για δοκίμια ακανόνιστης μορφής ή παραλληλεπίπεδα, το σχήμα του δείγματος επιδρά σε μεγαλύτερο βαθμό στα αποτελέσματα των δοκιμών. Τα δεδομένα που προκύπτουν από θραύσεις ακανόνιστων δοκιμών είναι λιγότερο ακριβή από τις δύο προηγούμενες μεθόδους, αλλά είναι δυνατόν να μας δώσουν τουλάχιστον κάποιες μετρήσεις σε σημεία όπου δεν υπάρχει δείγμα με μορφή πυρήνα.

Οι Broch και Franklin (1972) πρότειναν την χρήση ενός νομογραφήματος (Σχήμα 9) βάσει του οποίου υπολογίζεται ο ισοδύναμος δείκτης σημειακής φόρτισης κυλινδρικού δοκιμίου διαμέτρου 50 mm, από τον δείκτη που έχει υπολογιστεί από δοκιμή σε δοκίμιο διαφορετικής διαμέτρου. Η χρήση του νομογραφήματος απεικονίζεται στο αντίστοιχο σχήμα. Στις μέρες μας η χρήση του νομογραφήματος θεωρείται ξεπερασμένη.



Σχήμα 9: Νομογράφημα υπολογισμού $I_{s(50)}$ (Broch and Franklin, 1972)

Δεδομένης της τιμής του I_{s50} για ένα πέτρωμα μπορεί να γίνει η ταξινόμησή του βάσει σχετικών πινάκων όπως ο Πίνακας 4 (Bieniawski, 1975). Σύμφωνα με τους Broch and Franklin (1972) ο μέσος όρος του δείκτη I_{s50} , που έχει προκύψει ύστερα από την εκτέλεση σημαντικού αριθμού δοκιμών, σε κυλινδρικής μορφής δοκίμια σε διαμετρική δοκιμή, μπορεί να συσχετισθεί με τη μονοαξονική αντοχή σε θλίψη του πετρώματος. Για δοκίμια με $D=50$ mm, βρέθηκε ότι: $UCS \approx 24 \cdot I_s$

Πίνακας 4: Ταξινόμηση πετρώματος με βάση το διορθωμένο δείκτη σημειακής φόρτισης $I_{s(50)}$ σε MPa (κατά Bieniawski, 1975)

Περιγραφή	Δείκτης σημειακής φόρτισης $I_{s(50)}$ (MPa)
Πολύ υψηλής αντοχής	>8
Υψηλής αντοχής	4-8
Μέσης αντοχής	2-4
Χαμηλής αντοχής	1-2
Πολύ χαμηλής αντοχής	Δεν συνιστάται η δοκιμή (<1)

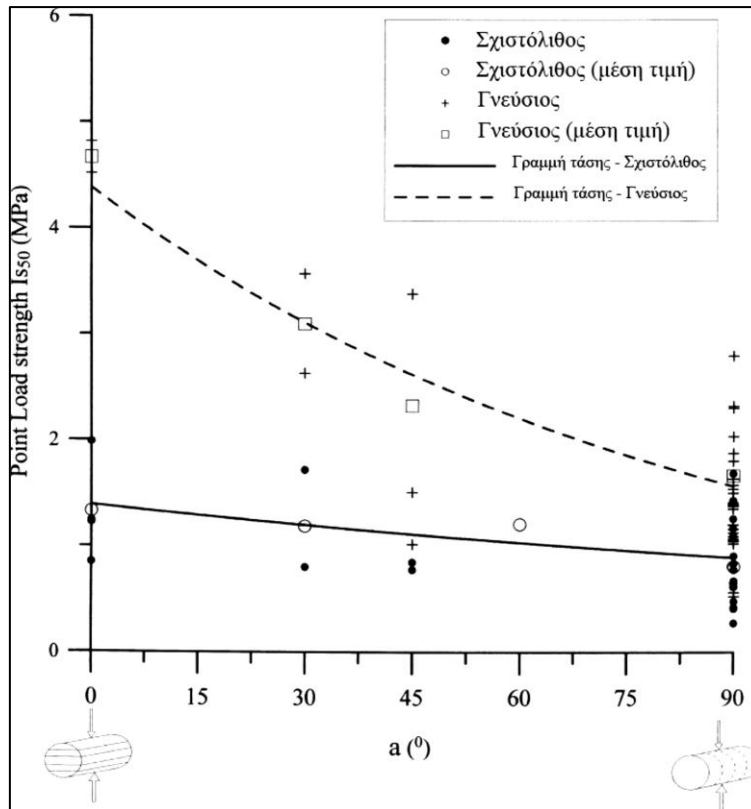
2.2.1. Δοκιμή σημειακής φόρτισης και ανισοτροπία

Με τον όρο ανισοτροπία εννοούμε την διαφοροποίηση που παρουσιάζει το προς εξέταση δοκίμιο, στην αντοχή του αλλά και σε άλλες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες (βαθμός αποσάθρωσης, αντοχή σε εφελκυσμό κ.ά.) και οφείλεται στην παρουσία μικροδιακλάσεων ή στην ορυκτολογική σύστασή του.

Το φαινόμενο της ανισοτροπίας του υλικού είναι ιδιαίτερα έντονο στα μεταμορφωμένα πετρώματα όπου λόγω αύξησης της πίεσης και της θερμοκρασίας κατά την μεταμόρφωση οδηγούν τα σχηματιζόμενα ορυκτά στο να διατάσσονται σε επίπεδα κάθετα στην εφαρμοζόμενη τάση. Στα πετρώματα πυριγενούς προέλευσης, είναι δυνατόν να υπάρξει ανισοτροπία που οφείλεται σε γενετικά αίτια (π.χ. αλλαγή των συνθηκών κατά την κρυστάλλωση του μάγματος), κυρίως όμως οφείλεται σε τεκτονικά αίτια (μικροδιαρρήξεις στο σώμα του πετρώματος).

Ο Δείκτης Ανισοτροπίας της αντοχής σε σημειακή φόρτιση $I_{a(50)}$ (Strength Anisotropy Index) ορίζεται ως ο λόγος του δείκτη $I_{s(50)}$ για φόρτιση κάθετα προς το επίπεδο αδυναμίας του πετρώματος ως προς τον δείκτη $I_{s(50)}$ για φόρτιση παράλληλα προς το επίπεδο αδυναμίας του πετρώματος. Ο δείκτης $I_{a(50)}$ λαμβάνει τιμές κοντά στο 1.0 για την περίπτωση σχετικά ισότροπου πετρώματος και μεγαλύτερες τιμές όταν το πέτρωμα είναι ανισότροπο.

Από δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε γνευσίους και σχιστολίθους (Σαρόγλου, Τσιαμπάος, 2006), παρατηρήθηκε ότι παρουσίασαν σημαντική διακύμανση της αντοχής ανάλογα με τη γωνία που σχημάτιζαν τα επίπεδα σχιστότητας με τον άξονα φόρτισης, με μεγαλύτερη αντοχή όταν ο άξονας φόρτισης ήταν κάθετος στα επίπεδα σχιστότητας (Σχήμα 10).



Σχήμα 10: Αντοχή I_{s50} σε σχέση με τη γωνία των επιπέδων αδυναμίας και του άξονα φόρτισης

Η αντοχή του πετρώματος σε σημειακή φόρτιση, όπως και στη δοκιμή της ανεμπόδιστης θλίψης, μειώνεται σημαντικά με την αύξηση του βαθμού αποσάθρωσης. Οι Papadopoulos και Marinos (1992) απέδειξαν ότι η αύξηση του βαθμού αποσάθρωσης οδηγεί σε δραματική μείωση της αντοχής σε σημειακή φόρτιση και του δείκτη ανισοτροπίας της αντοχής σε σημειακή φόρτιση. Η μείωση αυτή είναι πιο χαρακτηριστική όταν η σημειακή φόρτιση γίνεται κάθετα στα επίπεδα σχιστότητας, ενώ ο δείκτης ανισοτροπίας της αντοχής σε σημειακή φόρτιση για ελαφρά αποσαθρωμένο σχιστόλιθο βρέθηκε ίσος με $I_{\alpha}PLT = 3.1$ και πολύ αποσαθρωμένα δείγματα ίσος με $I_{\alpha}PLT = 1$.

2.3. Συσχέτιση μεταξύ σημειακής φόρτισης και ανεμπόδιστης θλίψης

Η πρώτη συνεισφορά στην διεθνή βιβλιογραφία έγινε από τους D' Andrea et al (1964), οι οποίοι πραγματοποίησαν πειράματα απλής θλίψης και σημειακής φόρτισης

σε μία σειρά δοκιμίων, επιχειρώντας να βρουν μία γραμμική σχέση μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο δοκιμών. Σε αυτήν την κατά τα άλλα αξιόλογη εργασία όμως, υπήρχε ένα μεγάλο κενό. Το κενό αυτό είναι ότι παραβλέπεται η επίδραση μεγέθους και σχήματος, αφού χρησιμοποίησαν για όλα τα πειράματα κυλινδρικά δοκίμια με διάμετρο 25 mm. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η προσαρμογή μεγέθους προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η σχέση που προτείνουν.

Το κενό αυτό προσπάθησε να το καλύψει λίγα χρόνια αργότερα ο Reichmuth (1968), ο οποίος μελέτησε την επίδραση του σχήματος και του μεγέθους στα αποτελέσματα. Το σχήμα λήφθηκε υπόψη με την εισαγωγή ενός συντελεστή μεγέθους ο οποίος μεταβάλλεται συναρτήσει των διαστάσεων του δοκιμίου. Έτσι ο συντελεστής σημειακής φόρτισης υπολογίστηκε ως ο λόγος του φορτίου αστοχίας προς το τετράγωνο της απόστασης μεταξύ των σημείων φόρτισης, πολλαπλασιαζόμενος με τον συντελεστή. Για διαφορετικά μεγέθη δοκιμίων από το ίδιο υλικό όμως, οι υπολογιζόμενες τιμές του I_s ήταν διαφορετικές. Το γεγονός αυτό ερμηνεύτηκε ως μία ιδιότητα του υλικού, την σχετική ψαθυρότητα, η οποία εισήγαγε έναν επιπλέον όρο στην προαναφερθείσα εξίσωση. Η πιο εκτεταμένη έρευνα όμως έγινε από τους Broch και Franklin (1972), οι οποίοι ανέφεραν ότι ο λόγος της θλιπτικής αντοχής προς το συντελεστή σημειακής φόρτισης είναι περίπου ίσος με 24, για δοκίμια διαμέτρου 50 mm. Επίσης σχεδίασαν και ένα νομογράφημα διόρθωσης μεγέθους ώστε τα αποτελέσματα από πειράματα σε πυρήνες διαφόρων διαμέτρων να ανάγονται σε πυρήνες 50 mm. Λίγα χρόνια αργότερα ο Bieniawski (1975) έδειξε ότι ο λόγος της θλιπτικής αντοχής προς το I_s είναι ίσος με 23. Επίσης πρότεινε και ένα πίνακα ταξινόμησης των πετρωμάτων βάσει του $I_{s(50)}$. Ο Pells (1975) απέδειξε πως η χρήση του συντελεστή 24 μπορεί να οδηγήσει σε σφάλμα της τάξεως του 20% στην πρόβλεψη της θλιπτικής αντοχής σε κάποια πετρώματα όπως ο πυροξενίτης, ο νορίτης και ο δολερίτης.

Όσον αφορά τον περίφημο συντελεστή 24 οι Greminger (1982) και Foster (1983) ισχυρίστηκαν ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση ανισότροπων υλικών. Οι Hassani et al (1980) συγκέντρωσαν πολλά δεδομένα από δοκιμές σημειακής φόρτισης που είχαν γίνει σε δοκίμια μεγάλων διαμέτρων και έκαναν αναγωγή στην διάμετρο των 50 mm, κάνοντας χρήση του προαναφερθέντος νομογραφήματος. Τελικά κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο λόγος της αντοχής σε θλίψη προς το $I_{s(50)}$ ήταν ίσος με 29. Ο Brook (1980) ερεύνησε της πιθανές πηγές σφαλμάτων κατά την εκτέλεση της δοκιμής και πρότεινε έναν αναλυτικό τρόπο διόρθωσης μεγέθους. Η Διεθνής

Ένωση Βραχομηχανικής (ISRM, 1985) δέχεται ότι η θλιπτική αντοχή είναι 20 ~ 25 φορές το $I_{s(50)}$ κατά μέσο όρο. Αναφέρει όμως ότι σε δοκιμές που εκτελέστηκαν σε διαφόρων τύπων βραχώδη υλικά, οι τιμές κυμαίνονταν από 15 έως 50 ειδικά σε ανισότροπα υλικά.

Έτσι η εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής μέσω της σημειακής φόρτισης μπορεί να οδηγήσει σε 100% σφάλμα αν επιλεγθεί αυθαίρετα η τιμή 20 ~ 25. Οι Turk και Dearman (1985) πρότειναν μία απλή γραφική μέθοδο για τον υπολογισμό του $I_{s(50)}$, από αποτελέσματα δοκιμών σε δοκίμια διαφορετικής διαμέτρου. Έτσι προτείνουν την κατάστρωση διαγράμματος $\log - \log$ των πειραματικά υπολογισμένων I_s για τις αντίστοιχες διαμέτρους. Η σχέση αυτή συνήθως προσεγγίζει μία ευθεία. Ο Norbury (1986) συνέλεξε δεδομένα από την διεθνή βιβλιογραφία και βρήκε τιμές του λόγου θλιπτικής αντοχής προς τον συντελεστή σημειακής φόρτισης οι οποίες κυμαίνονταν από 8 ~ 54 για διάφορα πετρώματα (γύψοι, ασβεστόλιθοι, ιλυόλιθοι, ψαμμίτες, μαργαϊκά.). Μία αναλυτική λύση προτάθηκε από τους Chau και Wong (1996) για τον υπολογισμό της θλιπτικής αντοχής βάσει του $I_{s(50)}$. Ο λόγος $\sigma_c / I_{s(50)}$ εξαρτάται από τον λόγο της θλιπτικής προς την εφέλκυστική αντοχή, τον λόγο του Poisson, και τις διαστάσεις του δοκιμίου. Η θεωρητική τους πρόβλεψη για την τιμή του λόγου αυτού (14,9) προσέγγισε σε ικανοποιητικό βαθμό τον πειραματικό υπολογισμό (12,5) για βράχους του Hong Kong. Ο Hawkins (1998) αναφέρει ότι ο λόγος $\sigma_c / I_{s(50)}$ κυμαίνεται από 7 ~ 68 για διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Έτσι κατέστρωσε ένα πίνακα δίνοντας διάφορες τιμές του λόγου, για ιζηματογενή και πυριγενή πετρώματα σε ξηρή ή υγρή κατάσταση. Επίσης αναφέρει ότι ο λόγος είναι κατά 50% μικρότερος για κορεσμένα πετρώματα από ότι για ξηρά. Ο Romana (1999), βασισμένος σε δικά του δεδομένα αλλά και σε δεδομένα που άντλησε από την βιβλιογραφία, συμπεραίνει ότι η τιμή του λόγου είναι 14,5 ~ 27 για ασβεστολιθικά υλικά, 12 ~ 24 για ψαμμίτες, 10 ~ 15 για ιλυόλιθους και μάργες και 5 ~ 10 για γύψους και πορώδεις ασβεστόλιθους. Ο Kahraman (2001) εξέτασε 48 διαφορετικά βραχώδη υλικά και κατέληξε σε δύο σχέσεις, μία για πετρώματα με ανθρακικές προσμίξεις και μία για άλλα πετρώματα. Οι Quane και Russel (2003) συσχέτισαν την θλιπτική αντοχή με τον ανηγμένο δείκτη σημειακής φόρτισης ξεχωριστά για σκληρά και ασθενή υλικά. Στην περίπτωση των σκληρών υλικών η σχέση είναι γραμμική ενώ για τα ασθενή όχι. Οι Tsiambaos και Sabatakakis (2004) μελέτησαν την σχέση της θλιπτικής αντοχής και του $I_{s(50)}$ για ιζηματογενή πετρώματα στον ελλαδικό χώρο.

Βάσει των αποτελεσμάτων ο λόγος $\sigma_c / I_{s(50)}$ κυμαίνεται από 13 για μαλακά υλικά όπου $I_{s(50)} < 2$ MPa, έως 28 για τα πιο σκληρά με $I_{s(50)} > 5$ MPa.

Παρακάτω φαίνονται οι προτεινόμενες σχέσεις προσδιορισμού της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη από τον δείκτη I_{s50} .

Αναφορές	Σχέσεις
D'Andrea et al.	$UCS = 15.3I_{s50} + 16.3$
Deer and Miller	$UCS = 20.7I_{s50} + 29.6$
Broch and Franklin	$UCS = 24I_{s50}$
Bieniawski	$UCS = 23I_{s50}$
Hassani et al.	$UCS = 29I_{s50}$
Read et al.	
(1) Sedimentary rocks	$UCS = 16I_{s50}$
(2) Basalts	$UCS = 20I_{s50}$
Singh	$UCS = 18.7I_{s50} - 13.2$
Forster	$UCS = 14.5I_{s50}$
Gunsallus and Kulhawy	$UCS = 16.5I_{s50} + 51.0$
ISRM	$UCS = 20 \dots 25I_{s50}$
Vallejo et al.	$UCS = 8.6 \dots 16I_{s50}$
Cargill and Shakoor	$UCS = 23I_{s54} + 13$
Tsidzi	$UCS = 14 \dots 82I_{s50}$
Ghosh and Srivastava	$UCS = 16I_{s50}$
Grasso et al.	
(1) Power relation	$UCS = 25.67(I_{s50})^{0.57}$
(2) Linear relation	$UCS = 9.30I_{s50} + 20.04$
Ulusay et al.	$UCS = 19I_{s50} + 12.7$
Chau and Wong	$UCS = 12.5I_{s50}$
Smith	$UCS = 14.3I_{s50}$
Kahraman	
(1) 22 different rock type	$UCS = 8.41I_{s50} + 9.51$
(2) Coal measure rocks	$UCS = 23.62I_{s50} - 2.69$
Quane and Russel	
(1) Strong rocks	$UCS = 24.4I_{s50}$
(2) Weak rocks	$UCS = 3.86(I_{s50})^2 + 5.65 I_{s50}$
Tsiambaos and Sabatakakis	
(1) Power relation	$UCS = 7.3(I_{s50})^{1.71}$
(2) Linear relation	$UCS = 23I_{s50}$
Palchik and Hatzor	$UCS = 8 \dots 18I_{s50}$

Πίνακας 5: Προτεινόμενες σχέσεις προσδιορισμού της θλιπτικής αντοχής από τον διορθωμένο δείκτη σημειακής φόρτισης $I_s(50)$ (Kahraman et al, 2005)

3. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Τα πετρώματα αυτά σχηματίζονται από τη στερεοποίηση του μάγματος που αν συμβεί κάτω από την επιφάνεια της γης δημιουργεί τα πλουτωνικά πετρώματα, ενώ αν εκχυθεί στην επιφάνεια του εδάφους, μέσω των ηφαιστείων, τότε δημιουργεί τα ηφαιστειακά πετρώματα.

3.1. Όξινα πλουτωνικά πετρώματα

Τα όξινα πετρώματα έχουν πάνω από 66% SiO₂ και είναι ισχυρά υπερκορεσμένα σε SiO₂. Στα πλουτωνικά πετρώματα με γρανιτικό ιστό η μεγάλη περιεκτικότητα σε SiO₂ αντανακλάται στην παρουσία χαλαζία, ο οποίος κυμαίνεται από 20% έως 50% στο σύνολο των σαλικών ορυκτών. Καθώς όλα τα όξινα πλουτωνικά πετρώματα περιέχουν άφθονο χαλαζία η διάκρισή τους σε διάφορους πετρογραφικούς τύπους βασίζεται ουσιαστικά στην αναλογία των αλκαλιούχων αστρίων ως προς τα πλαγιόκλαστα.

Τα όξινα πλουτωνικά πετρώματα εμφανίζονται κυρίως στον ηπειρωτικό φλοιό. Τα πετρώματα αυτά αποτελούν το μεγαλύτερο τμήμα των τεράστιων βαθύλιθων στις ορογενετικές ζώνες. Είναι τα πιο διαδεδομένα πλουτωνικά πετρώματα.

Τα όξινα πλουτωνικά πετρώματα είναι ολοκρυσταλλικά μεσόκοκκα έως αδρόκοκκα πετρώματα, έχουν δηλαδή τυπικό γρανιτικό ιστό. Τα περιφερειακά τμήματα ορισμένων πλουτωνιτών παρουσιάζουν προσανατολισμένη διάταξη των συστατικών τους (φυλλοειδής, ή γραμμωτή υφή), η οποία οφείλεται στην επίδραση κατευθυνόμενης πίεσης κατά την κρυστάλλωσή τους.

3.2. Γρανίτες

Το όνομα γρανίτης προέρχεται από την λατινική λέξη 'granum' που σημαίνει 'κόκκος'. Στα γρανιτικά πετρώματα συναντάται ο γρανιτικός ιστός και συχνά ο πορφυροειδής.

Ο τυπικός γρανίτης αποτελείται από αστρίους και χαλαζία με τους αστρίους να υπερτερούν του χαλαζία σε αναλογία 2:1, ενώ περιέχει μαρμαρυγίες σε πολύ

μικρότερη αναλογία. Ο μαρμαρυγίας είναι συνήθως βιοτίτης και σπανιότερα μοσχοβίτης. Το φαινόμενο βάρος του γρανίτη κυμαίνεται γύρω στα 26 kN/m^3 και η αντοχή σε μονοαξόνικη θλίψη από 120 έως 250 MPa, εξαρτώμενη κυρίως από το μέγεθος των κρυστάλλων του και το βαθμό εξαλλοίωσής του και διαρρήξεώς του. Οι γρανίτες αποσαθρώνονται εύκολα, ειδικά αν περιέχουν βιοτίτη, με τελικό στάδιο τη δημιουργία χαλαζιακής άμμου, λόγω της παρουσίας αστρίου που μετατρέπεται κυρίως σε καολίνη, ενώ ο χαλαζίας παραμένει αναλλοίωτος. Ο μαύρος μαρμαρυγίας (βιοτίτης) αποσαθρώνεται προς άργιλο, αλλά ο λευκός μαρμαρυγίας (μοσχοβίτης) δεν αλλοιώνεται, ενώ και η κεροστίλβη αποσαθρώνεται αρκετά δύσκολα.

Επιπλέον χαρακτηριστικό των γρανιτών είναι η κατάτμησή τους σε τρεις επιφάνειες διαχωρισμού περίπου ορθογώνιες μεταξύ τους που πληθαίνουν από τον τεκτονισμό που υφίσταται το πέτρωμα και που κοντά στην επιφάνεια είναι αρκετά ανοικτές διευκολύνοντας τη γρήγορη αποσάθρωση του πετρώματος. Έτσι τα γρανιτικά τεμάχια αποχωρίζονται, προοδευτικά αποκτούν σφαιρική μορφή και κολυμπούν μέσα σε αρένες για να καταλήξουν και αυτά σε γρανιτικά εδάφη.

Ο γρανίτης όταν είναι υγιής, είναι πέτρωμα πολύ υψηλών αντοχών που παρουσιάζει πλήρως ελαστική συμπεριφορά με ψαθυρή θραύση. Αντιθέτως η αντοχή του μειώνεται, όσο πιο αποσαθρωμένο εμφανίζεται.

3.2.1. Ορυκτολογικά στοιχεία γρανιτών

Οι αλκαλιούχοι άστριοι, οι οποίοι αποτελούν πάνω από το 1/3 του συνόλου των αστρίων, αντιπροσωπεύονται από το ορθόκλαστο και τον μικροκλινή. Και τα δύο ορυκτά είναι συνήθως περθιτωμένα. Τα πλαγιόκλαστα είναι όξινα και έχουν σύσταση κυρίως ολιγοκλάστου, ενώ σπάνια είναι αντιπερθιτικά.

Ο χαλαζίας αποτελεί το 20 ως 40% (του συνόλου των σαλικών ορυκτών) των γρανιτών. Επειδή κρυσταλλώνεται τελευταίος καταλαμβάνει τους ενδιάμεσους χώρους μεταξύ των άλλων ορυκτών και γι' αυτό έχει ακανόνιστο σχήμα (αλλοτριόμορφος). Μερικές φορές περιέχει ρευστά εγκλείσματα, ή πιο συχνά άφθονους μικρότατους κοκκώδεις ή βελονοειδείς κρυστάλλους ρουτιλίου και απατίτη. Η παρουσία των βελονοειδών κρυστάλλων του ρουτιλίου δείχνει ότι ο χαλαζίας κρυσταλλώθηκε σε σχετικά υψηλή θερμοκρασία. Χαρακτηριστικό

γνώρισμα του χαλαζία είναι η κυματοειδής κατάσβεση, ιδίως σε γρανίτες που προέρχονται από τα περιφερειακά τμήματα των πλουτωνικών σωμάτων.

Από τα έγχρωμα ορυκτά ο βιοτίτης επικρατεί στους κανονικούς ή ασβεσταλκαλικούς γρανίτες. Πολλές φορές περιέχει εγκλείσματα απατίτη, ζirkονίου και άλλων σιδηρομαγνησιούχων οξειδίων. Γύρω από τα εγκλείσματα του ζirkονίου σχηματίζονται συνήθως πλεοχροϊκές άλω, λόγω των ραδιενεργών στοιχείων του ζirkονίου. Στους κανονικούς γρανίτες συχνά συναντάται και η πράσινη κεροστίλβη. Με την αύξηση του ποσού των πλαγιοκλάστων αυξάνεται και η ποσοτική συμμετοχή της κεροστίλβης σε βάρος του βιοτίτη. Οι πυρόξενοι είναι σπάνιοι στους ασβεσταλκαλικούς γρανίτες και συνήθως είναι υπολείμματα διοψιδικού αυγίτη. Πιο συνηθισμένοι είναι οι αλκαλικοί πυρόξενοι, οι οποίοι εμφανίζονται στους αλκαλικούς γρανίτες.

Από τα επουσιώδη (συνοδά) ορυκτά τα οποία συμμετέχουν στη σύσταση των γρανιτών τα πιο συνηθισμένα είναι ο απατίτης, ο τιτανίτης, το ζirkόνιο και ο μαγνητίτης. Αλλα επουσιώδη ορυκτά είναι το επίδοτο, ο κλινοζοϊσίτης και ο αλλανίτης, κυρίως ως δευτερογενή (τα δύο πρώτα), και ο ασβεστίτης και ο χλωρίτης αποκλειστικά ως δευτερογενή.

Σε ορισμένους γρανίτες εμφανίζονται και άλλα ορυκτά, τα οποία συνήθως είναι χαρακτηριστικά ορυκτά μεταμορφώσεως εξ επαφής αργλικών υλικών. Τέτοια ορυκτά είναι ο αλμανδινικός γρανάτης, ο κορδιερίτης, ο ανδαλουσίτης και ο σιλλιματίτης.

Αλκαλικοί γρανίτες :

Οι αλκαλικοί γρανίτες είναι πετρώματα, τα οποία χαρακτηρίζονται από την παρουσία αλκαλικών αστρίων και μάλιστα ορθοκλάστων ή σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις αλβίτη. Παρουσία ανορθοκλάστου έχει σημειωθεί σε ορισμένες περιπτώσεις. Φεμικά συστατικά είναι κυρίως αλκαλικοί πυρόξενοι, όπως αιγίρινης και αλκαλικοί αμφίβολοι, ριβεκίτης και κυρίως αρφβεδσονίτης. Επουσιώδη συστατικά είναι το ζirkόνιο, ο απατίτης, ενώ συμπτωματικό ορυκτό ο τουρμαλίνης, ο οποίος μερικές φορές μπορεί να συμμετέχει σε μεγάλη αναλογία. Οι αλκαλικοί γρανίτες έχουν μικρή ανάπτυξη, σε αντίθεση με τους ασβεσταλκαλικούς γρανίτες. Αλκαλικοί γρανίτες βρίσκονται στην Κορσική, Σκανδιναβία, Μαδαγασκάρη, Ανατολική και Δυτική Αφρική κ.α. Στην Ελλάδα βρίσκονται σε ορισμένες περιοχές της Μακεδονίας, σε περιορισμένη όμως ανάπτυξη.

Ασβεσταλκαλικοί γρανίτες :

Στην κατηγορία αυτή η συμμετοχή των αλκαλικών αστρίων είναι μικρότερη απ' ό τι στους αλκαλικούς γρανίτες και κυμαίνεται από 35-90%. Τα πλαγιόκλαστα βρίσκονται σε μεγαλύτερη αναλογία και κυμαίνονται μεταξύ ολιγοκλάστου και ανδεσίτη.

Ως φεμικά συστατικά απαντώνται στους οξινότερους τύπους μαρμαρυγίες και μάλιστα βιοτίτες, ενώ στους βασικότερους πυρόξενοι και αμφίβολοι με συνήθη σύσταση, δηλαδή αυγίτης, διοψίδιος, κεροστίλβη. Ως επουσιώδη ορυκτολογικά συστατικά απαντώνται ζirkόνιο, απατίτης, μαγνητίτης, τουρμαλίνης, επίδοτο, ζωισίτης, κλινοζωισίτης, γρανάτης κλπ.

Ως ποικιλίες γρανιτών διακρίνονται: βιοτιτικός γρανίτης, μοσχοβιτικός γρανίτης, διμαρμαρυγιακός γρανίτης κλπ. Οι γρανίτες όπως και τα άλλα πλουτώνια πετρώματα, χαρακτηρίζονται από τον ολοκρυσταλλικό κοκκώδη ιστό, από την έλλειψη στρώσεως και από τη συνάφεια φλεβικών πετρωμάτων, προϊόντων διαφοροποίησης μάγματος.

Στην Ελλάδα ασβεσταλκαλικοί γρανίτες βρίσκονται στη Μακεδονία και στις Κυκλάδες (Νάξο, Μύκονο, Ανάφη, Δήλο, Σέριφο, Τήνο), επίσης σε Κρήτη, Σαμοθράκη, Χαλκιδική, Ροδόπη κ.α.

Τα γρανιτικά πετρώματα απαντώνται σε δύο τελείως διαφορετικά από τεκτονικής απόψεως γεωλογικά περιβάλλοντα: 1) Σε μεγάλης εκτάσεως ρηξιγενείς ζώνες κρατονικών μαζών ανερχομένων ηπειρωτικών περιθωρίων, 2) σε περιοχές ορογενέσεων, κατά μήκος των κρασπέδων συγκλινουσών πλακών.

3.2.2. Πετρολογικά χαρακτηριστικά και μηχανικές ιδιότητες γρανιτών

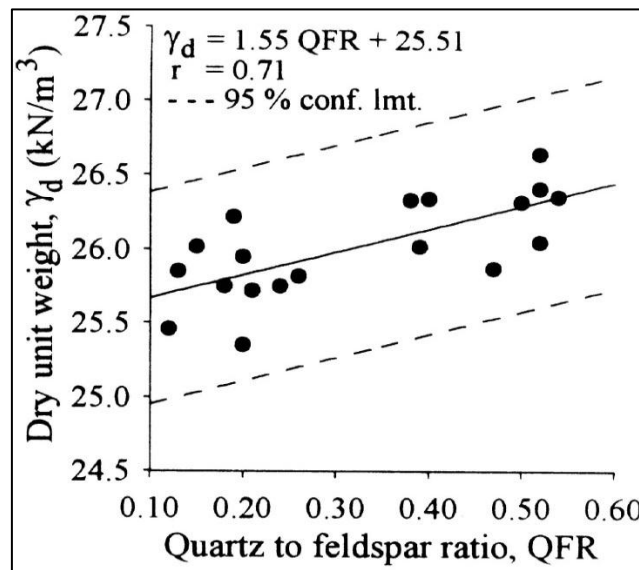
Αρκετοί ερευνητές έχουν μελετήσει την επίδραση του μεγέθους του κόκκου στις μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων. Σε γενικές γραμμές, η αντοχή των πετρωμάτων είναι μεγαλύτερη για λεπτόκοκκους γρανίτες (Brace, 1961). Οι Onodera και Asoka Kumara (1980) παρατήρησαν ότι η αντοχή των γρανιτικών πετρωμάτων μειώνεται σημαντικά, καθώς αυξάνεται το μέγεθος των κόκκων. Καθόρισαν μάλιστα μια γραμμική σχέση μεταξύ του μεγέθους του κόκκου και της αντοχής, που δείχνει ότι όσο το μέγεθος του κόκκου του γρανίτη μειώνεται, τόσο αυξάνεται η αντοχή του. Ο Erkan (1971) συσχέτισε την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη των γρανιτικών

πετρωμάτων με την ειδική επιφάνεια των κόκκων. Είναι γεγονός ότι όσο πιο λεπτόκοκκο είναι ένα πέτρωμα, τόσο μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια κόκκων έχει, με αποτέλεσμα να παρουσιάζει περισσότερα σημεία επαφής μεταξύ των κρυστάλλων του και κατ' επέκταση μεγαλύτερη επιφάνεια τριβής, οπότε και μεγαλύτερη διατμητική αντοχή σε αυτά τα σημεία.

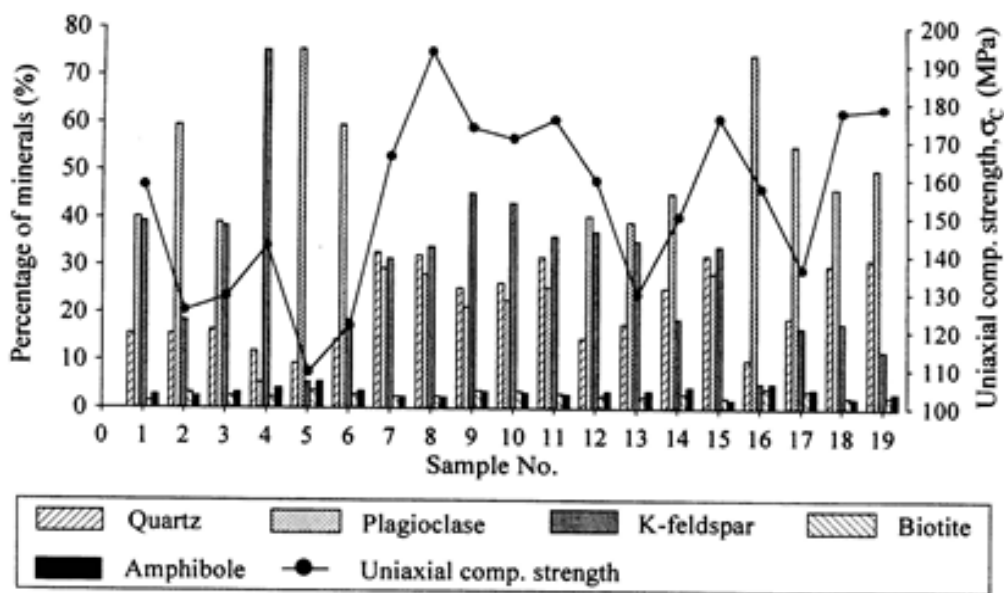
Αρκετοί ερευνητές έχουν στο παρελθόν ασχοληθεί με τη σχέση μεταξύ της ορυκτολογικής σύστασης και των μηχανικών ιδιοτήτων των διαφόρων γρανιτικών πετρωμάτων. Ωστόσο, αυτές οι συσχετίσεις ήταν μόνο με βάση το περιεχόμενο του χαλαζία.. Οι Merriam et al. (1970) βρήκαν μια σαφή σχέση μεταξύ του ποσοστού του περιεχόμενου του χαλαζία και την αντοχή σε εφελκυσμό των γρανιτικών πετρωμάτων. Οι Irfan και Dearman (1978) ανέπτυξαν μια ποσοτική μέθοδο για την αξιολόγηση του βαθμού της διάβρωσης του γρανίτη όσον αφορά την πετρογραφία του. Αυτοί πρότειναν έναν μικροπετρογραφικό δείκτη για να εκτιμήσουν το ποσοστό της διάβρωσης των ορυκτών. Βρήκαν καλό συσχετισμό μεταξύ του μικροπετρογραφικού δείκτη και των γεωμηχανικών ιδιοτήτων των γρανιτικών πετρωμάτων. Οι Mendes et al. (1966) πρότειναν ότι τα ποσοτικά μικροπετρογραφικά δεδομένα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη διαμόρφωση των δεικτών ποιότητας του βράχου, οι οποίοι θα μπορούσαν να είναι στενά συνδεδεμένοι με τα μηχανικά χαρακτηριστικά. Έτσι έφτιαξαν ένα μοντέλο ανάλυσης της ορυκτολογικής σύστασης των δειγμάτων γρανίτη, μαζί με μια ανάλυση της υφής και της μικροδομής τους, και βρήκαν ότι τα πετρογραφικά χαρακτηριστικά των γρανιτών είχαν άμεση σχέση με τις μηχανικές ιδιότητες. Οι Willard και McWilliams (1969) σε μια προσπάθεια να κατανοήσουν καλύτερα τη μηχανική συμπεριφορά των πετρωμάτων σε σχέση με τη μικροδομή τους, πραγματοποίησαν διάφορες έρευνες στο συγκεκριμένο θέμα. Κατέληξαν ότι η μικροδομή των γρανιτών, το μέγεθος και το είδος των κόκκων και τα επίπεδα διδυμίας των ορυκτών, επηρεάζουν την αντοχή του γρανίτη και μπορούν να ενεργούν ως επιφάνειες αδυναμίας, οι οποίες ελέγχουν την κατεύθυνση στην οποία θα εμφανιστεί η αστοχία.

Οι Tugrul και Zarif μετά από δοκιμές σε 19 δείγματα γρανίτη κατέληξαν ότι το μέσο μέγεθος κόκκων των ορυκτών παίζει σημαντικό ρόλο στην αντοχή και είναι αντιστρόφως ανάλογο με αυτή. Ωστόσο ο πιο σημαντικός παράγοντας, καθοριστικής σημασίας για την αντοχή είναι η ορυκτολογική σύσταση του γρανίτη και συγκεκριμένα η αναλογία χαλαζία, καλιούχων αστρίων και πλαγιοκλάστων. Τα αποτελέσματα έδειξαν επίσης ότι το ποσοστό του χαλαζία σε ένα γρανίτη μειώνεται

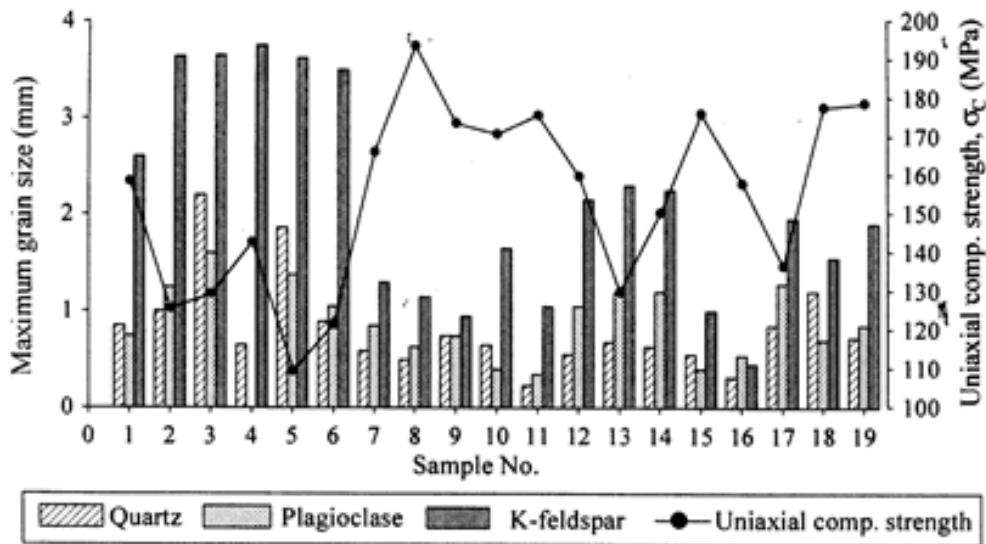
όσο αυξάνεται το μέγεθος των κρυστάλλων του. Η αναλογία του χαλαζία επίσης σχετίζεται επίσης με τις φυσικές ιδιότητες του γρανίτη. Η αύξηση του ποσοστού του χαλαζία βρέθηκε ότι μειώνει το ολικό πορώδες και αντίστοιχα αυξάνει το ξηρό φαινόμενο βάρος. Αυτό είναι αποτέλεσμα του ότι ο χαλαζίας έχει την ικανότητα να γεμίζει τα κενά μεταξύ των κόκκων των άλλων ορυκτών. Έτσι, ισχύει μια αντίστροφη αναλογία μεταξύ των χαλαζία και του πορώδους. Όσο αυξάνεται η αναλογία χαλαζία – αστρίων, τόσο αυξάνεται το ξηρό φαινόμενο βάρος και η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη και σημειακή φόρτιση.



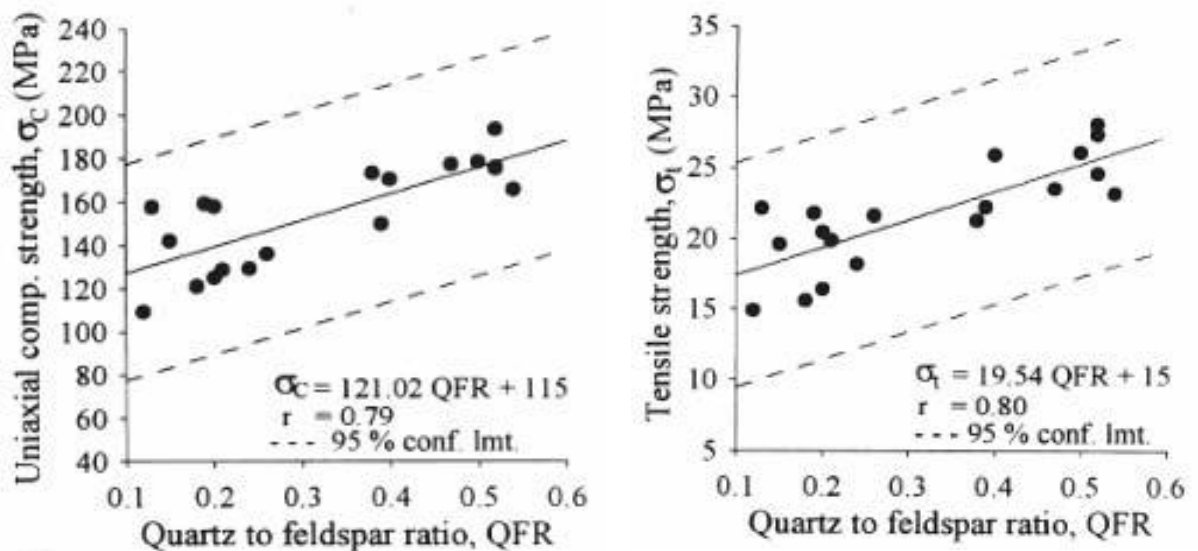
Σχήμα 11: Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ της αναλογίας χαλαζία – αστρίων και ξηρού φαινόμενου βάρους για γρανιτικά πετρώματα (A. Tugrul, I.H. Zarif, 1999)



Σχήμα 12: Σχέση μεταξύ του ποσοστού περιεχόμενων ορυκτών και της UCS σε γρανιτικά πετρώματα (A. Tugrul, I.H. Zarif, 1999)



Σχήμα 13: Σχέση μεταξύ του μέγιστου κόκκων και της UCS σε γρανιτικά πετρώματα (A. Tugrul, I.H. Zarif, 1999)



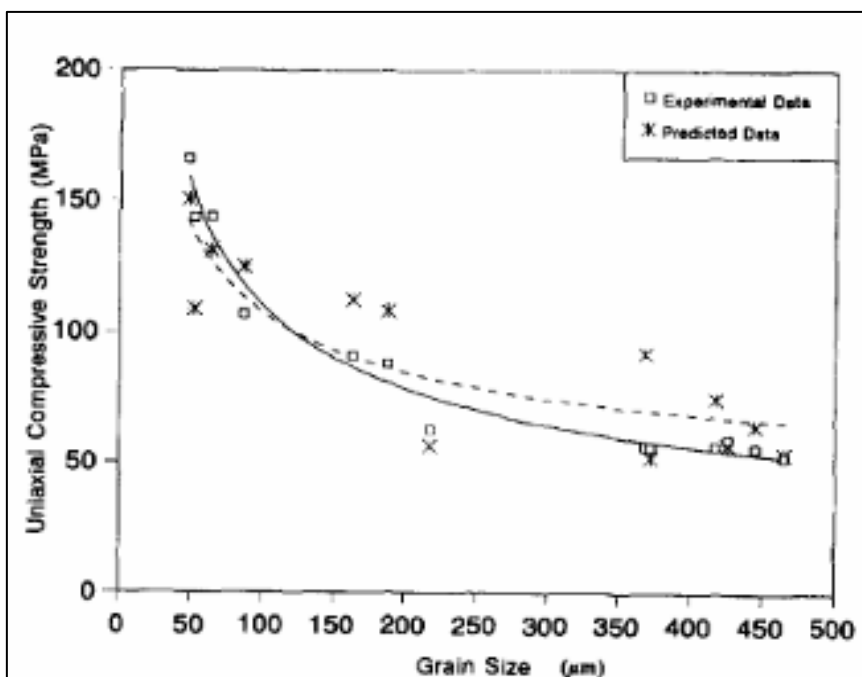
Σχήμα 14: Σχέση μεταξύ: α) μονοαξονικής αντοχής σε θλίψη και αναλογία χαλαζία με άστρο, και β) αντοχής σε εφελκυσμό και αναλογία χαλαζία προς άστρο στα γρανιτικά πετρώματα (Tugrul και Zarif, 1999).

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 13, σε πολλά δείγματα των γρανιτικών πετρωμάτων, η παρουσία των αστρίων παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη μείωση της αντοχής του πετρώματος. Οι Onodera και Asoka το 1980, συμπέραναν ότι οι επιφάνειες διδυμίας και ο σχισμός που εμφανίζουν οι άστριοι, μειώνουν σημαντικά την αντοχή σε εφελκυσμό καθώς και την αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη.

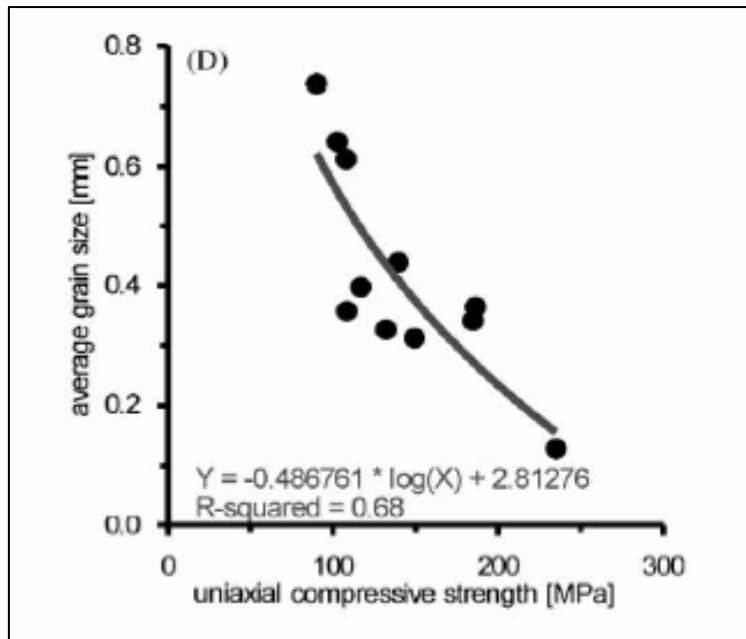
Επιπλέον, σύμφωνα με το διάγραμμα του Σχήματος 15, η αντοχή αυξάνεται καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε χαλαζία, επειδή η υφή των γρανιτών πλούσιων σε χαλαζία, χαρακτηρίζεται από μικρή ανάπτυξη των κόκκων και ισχυρή ένωση μεταξύ τους.

Ο λόγος που η μεγάλη περιεκτικότητα σε χαλαζία μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη αντοχή του πετρώματος, είναι ότι ο χαλαζίας δεν εμφανίζει καθόλου σχισμό (σε αντίθεση με τους αστρίους) και ότι η κατανομή του στην δομή του πετρώματος, είναι τέτοια που ο χαλαζίας αναπτύσσεται έτσι ώστε να γεμίζει τα κενά μεταξύ των κόκκων των άλλων συστατικών.

Ωστόσο, υπήρξαν αντικρουόμενες απόψεις σχετικά με την επίδραση του είδους του ορυκτού στην αντοχή του βράχου (Howarth και Rowlands, 1986). Οι Gunsallus και Kullhawy, το 1984 και Tugrul και Zarif το 1999, τόνισαν την άμεση συσχέτιση μεταξύ της αντοχής του πετρώματος και του ποσοστού του περιεχόμενου χαλαζία. Ωστόσο, αντίθετα άλλοι ερευνητές όπως ο Bell το 1978 και οι Fahy και Guccione το 1979 και οι Shakoor και Bonelli το 1991, δεν βρήκαν καμία σημαντική σχέση μεταξύ του περιεχόμενου χαλαζία και της αντοχής σε θλίψη διαφόρων ψαμμιτών. Ως εκ τούτου, το είδος της επαφής μεταξύ των κόκκων δεν παύει να παίζει ακόμα πιο καθοριστικό ρόλο στην αντοχή του πετρώματος, σε σχέση με το ποσοστό του περιεχόμενου χαλαζία.



Σχήμα 15: Σχέση μεταξύ αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (UCS) και μέσου όρου μεγέθους κόκκων σε μάρμαρα (Wong et al, 1996)



Σχήμα 16: Σχέση μεταξύ αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (UCS) και μέσου όρου μεγέθους κόκκων όλων των ορυκτών, σε γρανίτες (Prikryl, 2001)

Αν και οι σχέσεις μεταξύ των μηχανικών ιδιοτήτων και των πετρογραφικών χαρακτηριστικών των γρανιτικών πετρωμάτων έχουν μελετηθεί από διάφορους ερευνητές (Merriam et al, 1970, Onodera και Ασόκα Kumara, 1980), η επίδραση της ορυκτολογικής σύστασης και των χαρακτηριστικών της δομής των γρανιτών σχετικά με τις μηχανικές τους ιδιότητες δεν είναι ακόμη απόλυτα γνωστά.

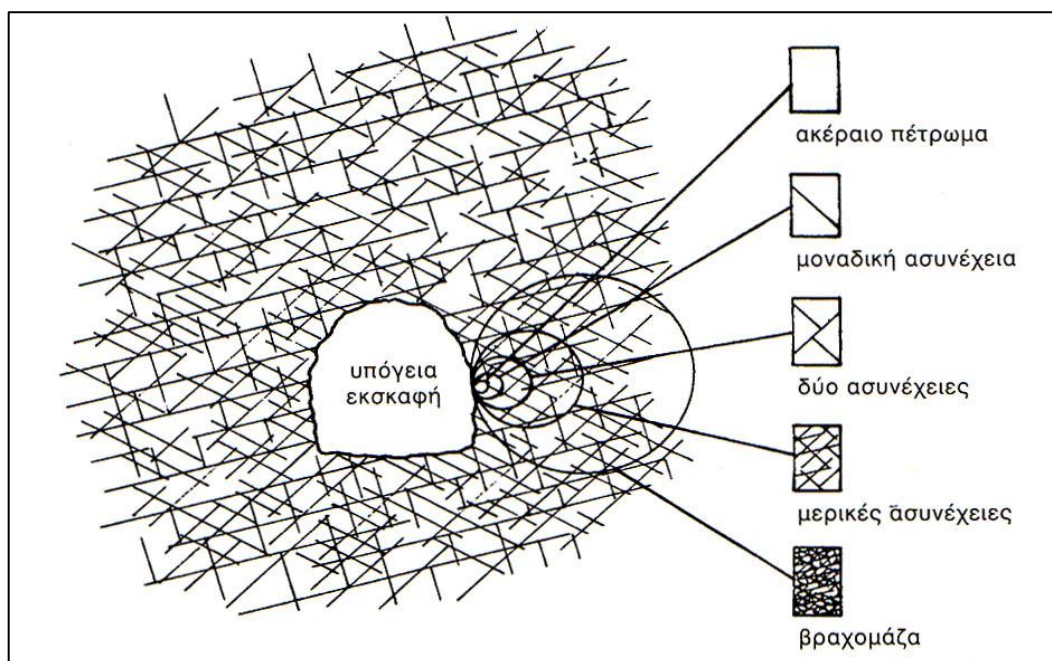
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

4.1. Επιλογή δειγμάτων

Τα δείγματα που ελήφθησαν, προέρχονται από μεγάλα τεμάχια γρανιτών που προμηθευτήκαμε από την Ελληνική Εταιρεία Γρανιτών που βρίσκεται στη βιομηχανική ζώνη της Θήβας. Τα δείγματα κόπηκαν στις απαιτούμενες διαστάσεις σύμφωνα με τις προδιαγραφές που χρησιμοποιήσαμε για την κάθε δοκιμή. Για τις δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης χρησιμοποιήθηκαν τα δείγματα με ονομασία Bianco Crystal (λεπτόκοκκος) και Rosa Porino (αδρόκοκκος). Σκοπός της επιλογής δύο διαφορετικών τύπων γρανιτών, ήταν να γίνουν δοκιμές αντοχής σε αδρόκοκκους και λεπτόκοκκους γρανίτες. Για τον ίδιο λόγο επιλέχθηκαν δύο είδη γρανιτών και για τις δοκιμές σημειακής φόρτισης. Ο λεπτόκοκκος τύπος με ονομασία Bianco Real και ο

αδρόκοκκος με ονομασία Rosa Beta. Και οι 4 τύποι γρανιτών που χρησιμοποιήθηκαν έχουν χώρα προέλευσης την Ισπανία.

Τα δοκίμια που επιλέχθηκαν για την εκτέλεση των δοκιμών στο σύνολό τους δεν εμφάνισαν διάβρωση, έντονες εξαλλοιώσεις ή διαρρήξεις. Γενικά τα δείγματα που ελήφθησαν από κάθε ένα από τα είδη γρανίτη είχαν μεταξύ τους ομοιομορφία τόσο ως προς τη δομή τους, όσο και ως προς το μέγεθός τους. Η επιλογή των δειγμάτων έγινε έτσι ώστε να καλύπτονται όλες οι παράμετροι που απαιτούνται για να χαρακτηριστεί το δείγμα ως ακέραιο ή άρρηκτο πέτρωμα (intact rock) (Σχήμα 17). Ο παραπάνω χαρακτηρισμός γίνεται για δείγματα πετρώματος που δεν έχουν εμφανείς ασυνέχειες είτε μεγάλης κλίμακας, είτε μικροδιαρρήξεις εμφανείς με γυμνό οφθαλμό. Είναι σχεδόν απίθανο να υπάρξει πέτρωμα με τις ιδιότητες του συνεχούς μέσου. Ακόμα και αν μακροσκοπικά δεν υπάρχουν εμφανείς διαρρήξεις, σε μέσο – μικροσκοπικό επίπεδο, το πέτρωμα εμφανίζει ασυνέχειες και ανομοιομορφίες.



Σχήμα 17: Θεωρητικό διάγραμμα που δείχνει τη μετατροπή από το ακέραιο πέτρωμα στην έντονα διακλασμένη βραχομάζα με την αύξηση του μεγέθους του δείγματος (Hoek and Brown, 1980).

Η ισοτροπία είναι ένα μέτρο των ιδιοτήτων του υλικού κατά διεύθυνση. Επειδή πολλά πετρώματα παρουσιάζουν εκλεκτικό προσανατολισμό των κρυστάλλων τους που έχει σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό φύλλωσης, σχιστότητας κ.λπ., αναμένεται

να αντιδρούν διαφορετικά σε εξωτερικές τάσεις κατά διαφορετικές διευθύνσεις, οπότε χαρακτηρίζονται σαν ανισότροπα.

Η ομοιογένεια είναι ένα μέτρο της φυσικής συνέχειας του υλικού. Έτσι σε ένα ομοιογενές υλικό, τα συστατικά του (κόκκοι, συγκολλητική ύλη) είναι κατανομημένα κατά τέτοιο τρόπο, ώστε ένα οποιοδήποτε τμήμα του να έχει τις χαρακτηριστικές ιδιότητες του υλικού αυτού. Έτσι, είναι δυνατό να περιγράψουμε ένα λεπτοκρυσταλλικό πέτρωμα σαν σχεδόν ομοιογενές, ενώ αντίθετα ένα αδροκρυσταλλικό, πολύμικτο σαν ανομοιογενές.

Όλα τα δείγματα και των τεσσάρων τύπων γρανιτών που χρησιμοποιήθηκαν παρουσίαζαν μεγάλη ομοιογένεια και υψηλό βαθμό ισοτροπίας. Σε ανισότροπους πυρήνες πετρωμάτων παρουσιάζεται εκλεκτικός προσανατολισμός των κρυστάλλων τους με αποτέλεσμα την διαφορετική αντοχή ανάλογα με τη γωνία της εφαρμοζόμενης τάσης και των παραπάνω επιφανειών.

Λόγω της εξαρτώμενης σχέσης της αντοχής του πετρώματος από την περιεχόμενη σε αυτό υγρασία, τα δείγματα στα οποία εκτελέστηκαν οι δοκιμές ξηράνθηκαν στον φούρνο σε θερμοκρασία $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ για 24 ώρες.

Η εξέταση των δοκιμών για το αν πληρούν τις παραπάνω προϋποθέσεις όπως και αυτές που αναφέρονται εκτενέστερα στη μεθοδολογία, έγινε πριν την εκτέλεση των δοκιμών αλλά και μετά, ιδιαίτερα στα δείγματα που παρουσίασαν τις χαμηλότερες αντοχές. Έτσι, έγινε προσπάθεια να εξαλειφθούν οι περισσότεροι παράγοντες που λόγω αυτών, είναι δυνατόν να υπάρξουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στις μετρούμενες τιμές των δοκιμών.

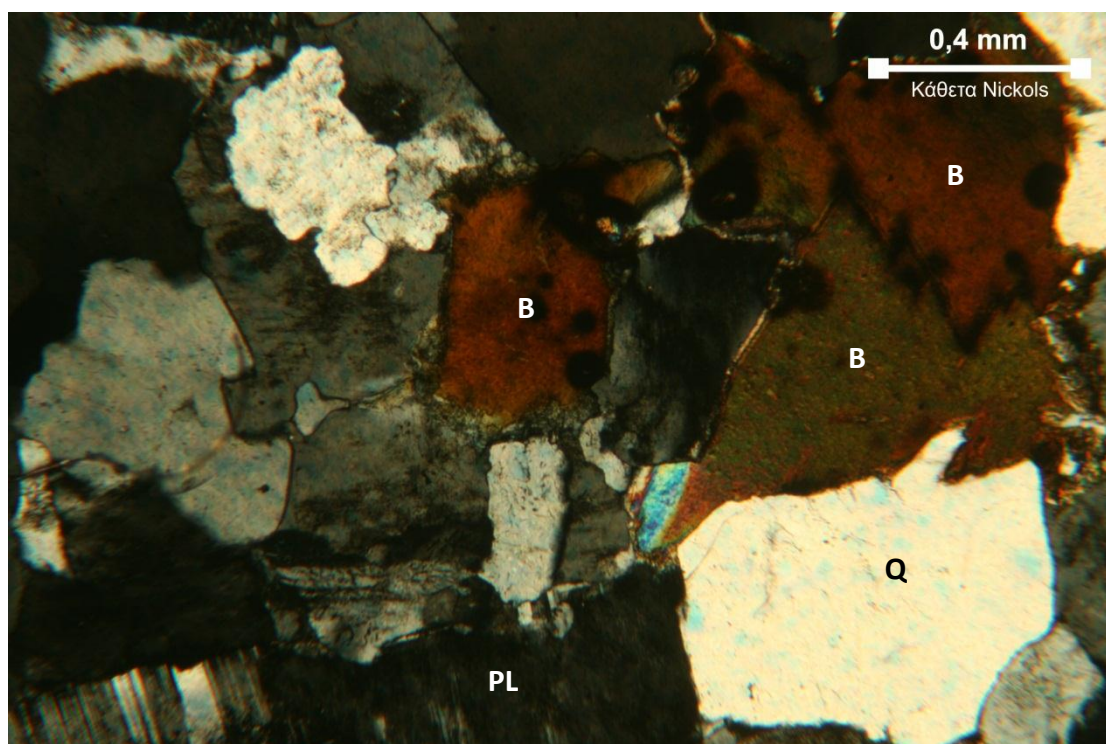
Οι δοκιμές που εκτελέστηκαν έγιναν σύμφωνα με την προδιαγραφή του ΕΛΟΤ 750 για τον προσδιορισμό της UCS, ενώ για τον προσδιορισμό αντοχής σε σημειακή φόρτιση χρησιμοποιήθηκε η προδιαγραφή ASTM D-5731 – 05.

4.2. Λεπτές τομές

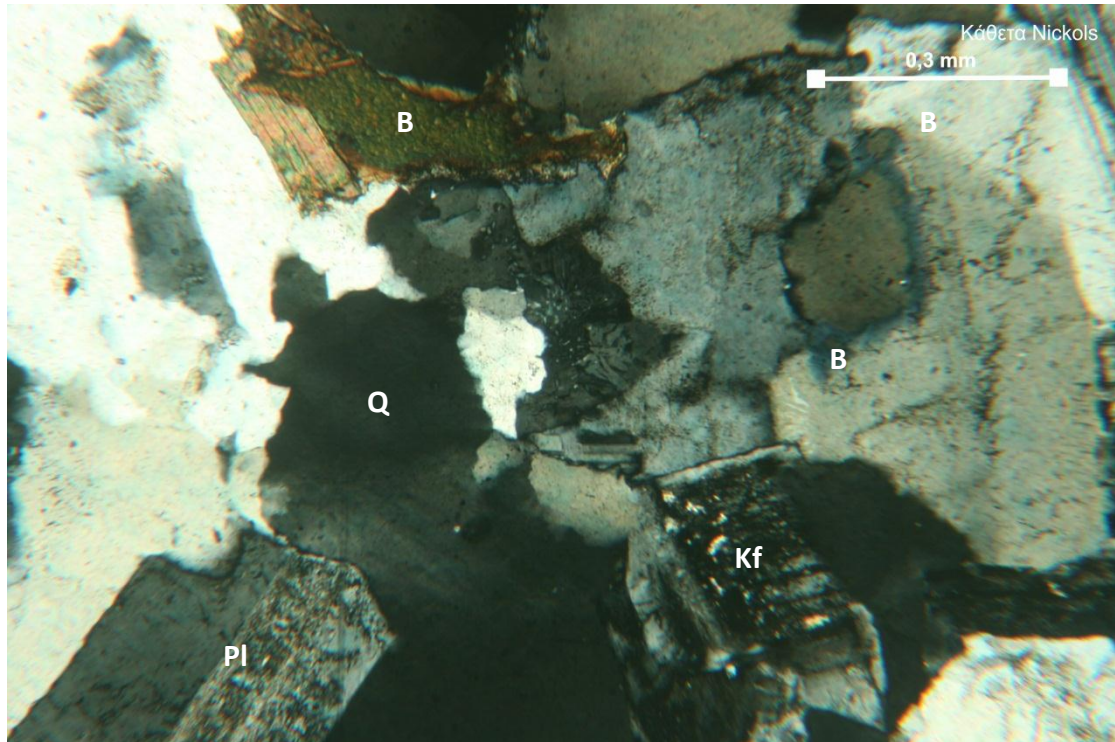
Για την ορυκτολογική μελέτη των δειγμάτων μελετήθηκαν συνολικά 8 λεπτές τομές, δηλαδή 2 λεπτές τομές από κάθε δείγμα. Από τους αδροκρυσταλλικούς γρανίτες Rosa Porino και Rosa Beta πήραμε λεπτές τομές από τα δείγματα A11, A12 και X6, X10 αντίστοιχα. Από τους λεπτοκρυσταλλικούς γρανίτες Bianco Crystal και Bianco Real πήραμε λεπτές τομές από τα δείγματα Λ7, Λ9 και M14, M17 αντίστοιχα.

Bianco Crystal : Μικροκοκκώδης αλκαλικός γρανίτης με κοκκώδη γρανιτικό ιστό, και υπιδιόμορφους κρυστάλλους. Χρησιμοποιήθηκε για τις δοκιμές μονοαξονικής θλίψης. Περιέχει:

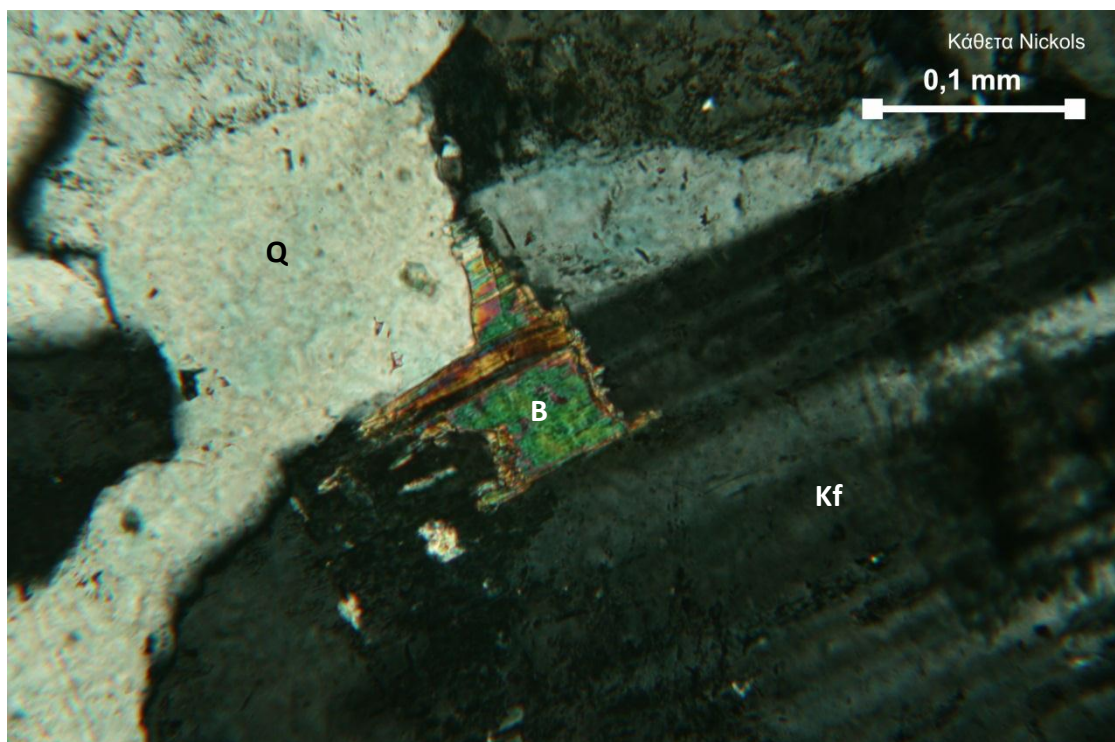
- 38% Χαλαζία
- 47% Αλκαλικούς αστρίους
- 7% Ολιγόκλαστο
- 7% Μαρμαρυγίες και Φυλλοπυριτικά ορυκτά (κυρίως Βιοτίτης)
- 1% Αδιαφανή ορυκτά



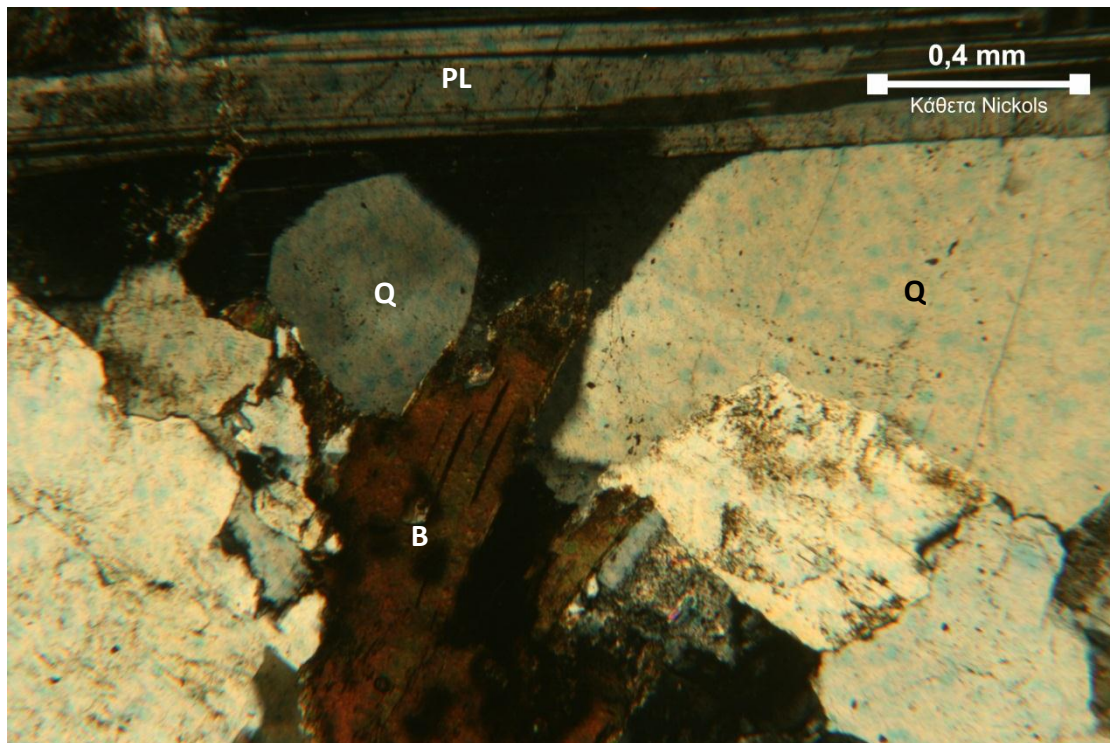
Εικόνα 1: Λεπτή Τομή Δοκιμίου Λ7 – Μερικά χλωριτωμένους Βιοτίτης (B), Πλαγιόκλαστο (PL), Χαλαζίας (Q).



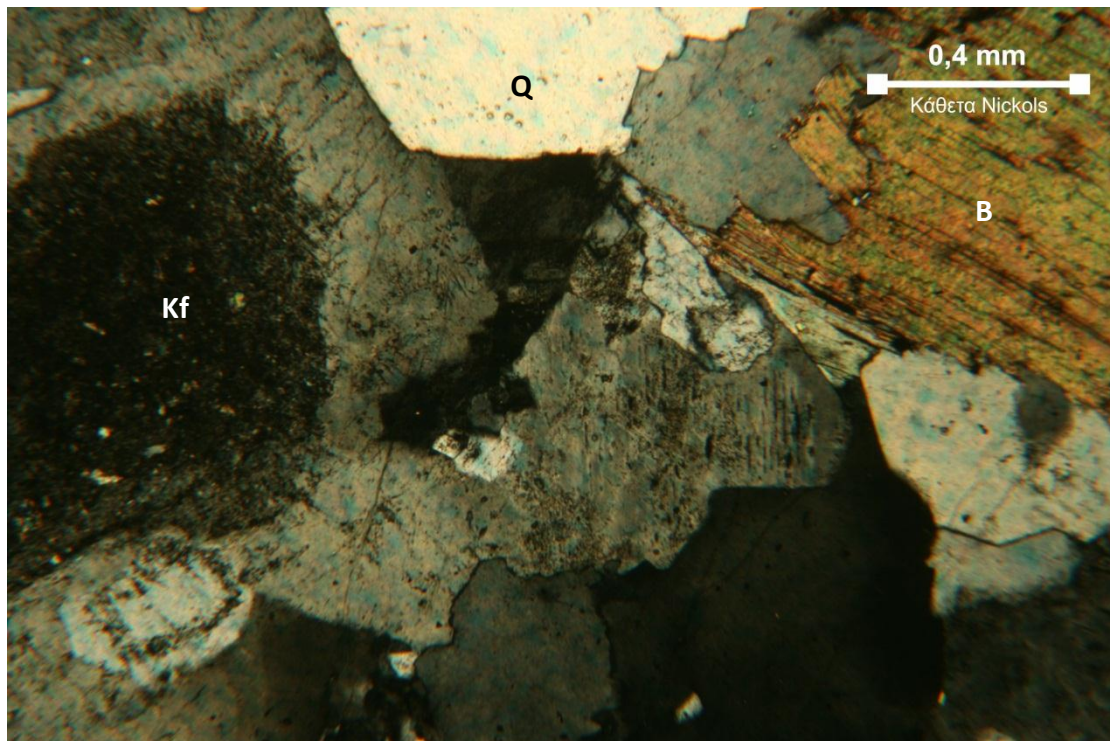
Εικόνα 2: Λεπτή Τομή Δοκιμίου Λ7 – Μερικά χλωριτωμένους Βιοτίτης (B), Πλαγιόκλαστο (Pl), Χαλαζίας (Q).



Εικόνα 3: Λεπτή Τομή Δοκιμίου Λ7 - Χαλαζίας (Q), Βιοτίτης (B), Κ-ούχος άστριος (Kf).



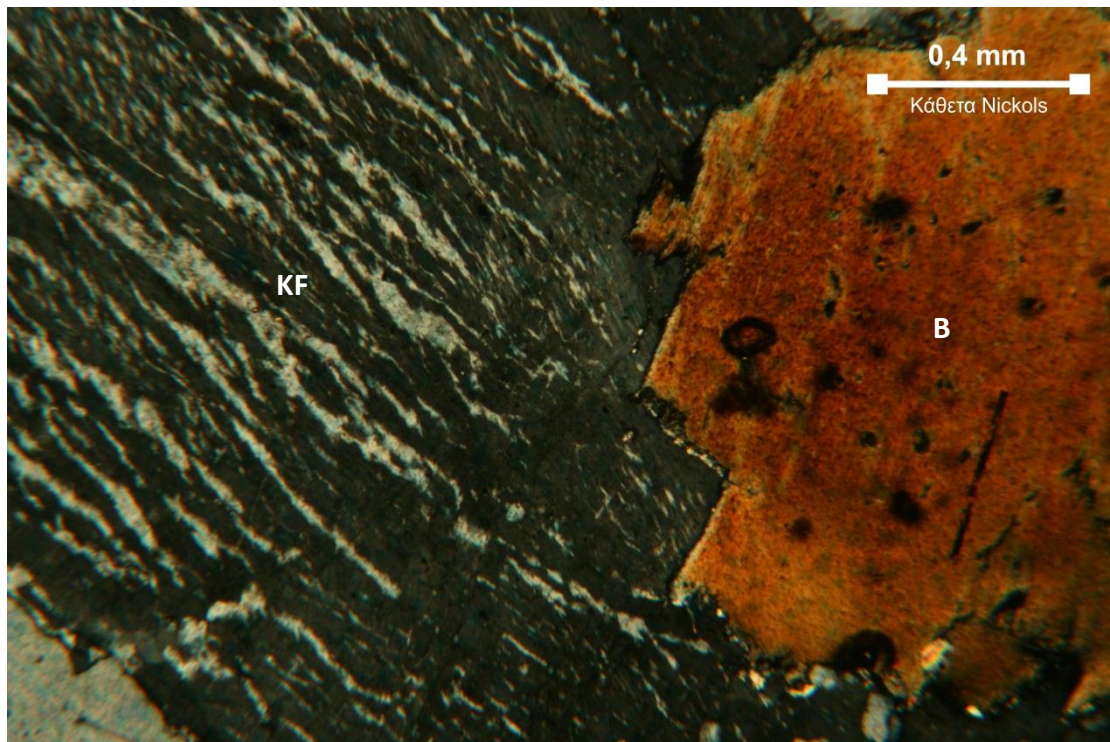
Εικόνα 4: Λεπτή Τομή Δοκιμίου Α9 – Πλαγιόκλαστο (PL), Χαλαζίας (Q) και χλωριτωμένος Βιοτίτης (B).



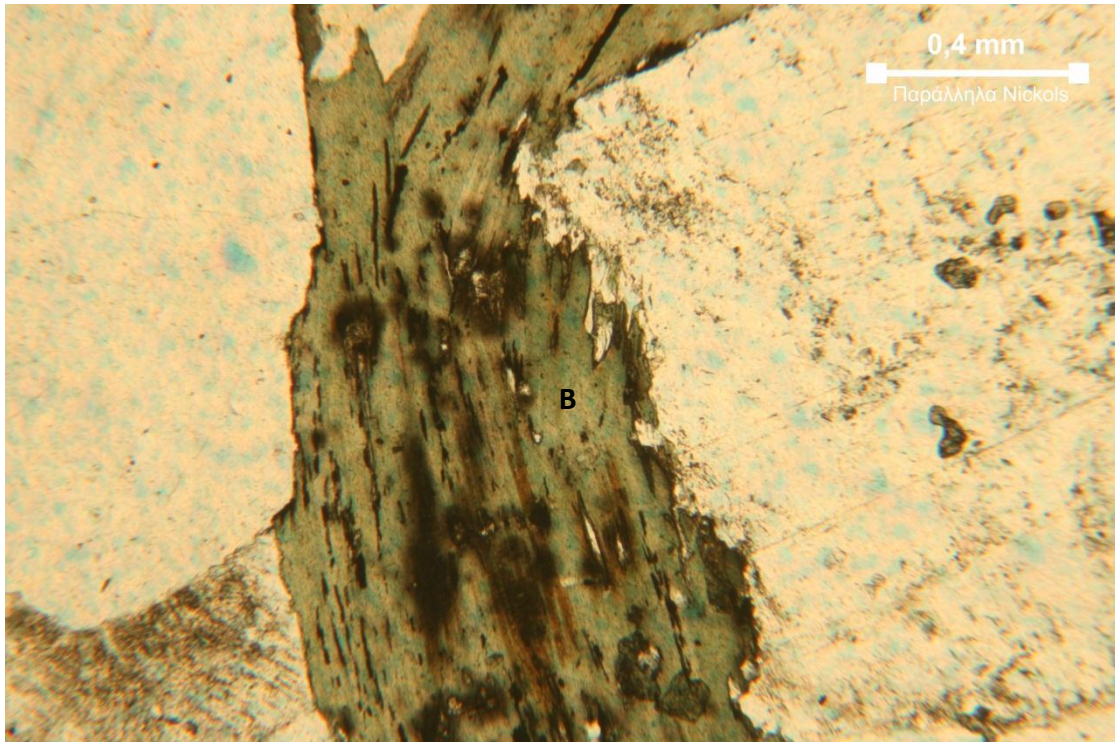
Εικόνα 5: Λεπτή Τομή Δοκιμίου Α9 - Κ-ούχος άστριος (Kf, Ορθόκλαστο που έχει σερικτιωθεί μερικώς), Χαλαζίας (Q), Βιοτίτης (B).

Bianco Real: Μικροκοκκώδης αλκαλικός Γρανίτης με κοκκώδη γρανιτικό ιστό, και υπιδιόμορφους κρυστάλλους. Χρησιμοποιήθηκε για τις δοκιμές σημειακής φόρτισης. Η διάσταση των κρυστάλλων του χαλαζία είναι μέχρι 2,5 mm, των αστρίων μέχρι 3 mm και του Βιοτίτη μέχρι 1,5 mm. Περιέχει:

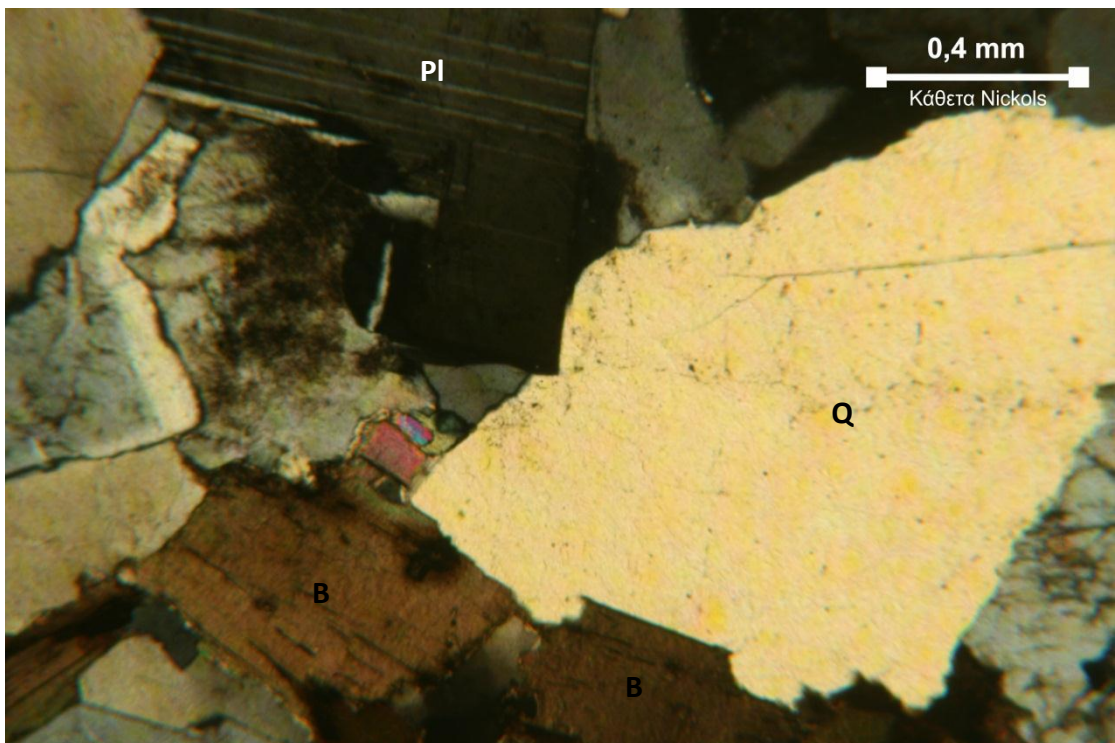
- 42% Χαλαζία
- 45% Αλκαλικούς αστρίους (με το Ορθόκλαστο να υπερτερεί κατά πολύ του Μικροκλινή)
- 7% Πλαγιόκλαστα (κυρίως Ολιγόκλαστο)
- 5% Μαρμαρυγίες και Φυλλοπυριτικά ορυκτά (Βιοτίτης και λίγο Μοσχοβίτης)
- 1% Αδιαφανή ορυκτά



Εικόνα 6: Λεπτή Τομή Δοκιμίου M14 - Κ-ούχος άστριος (Kf, περθιτωμένο ορθόκλαστο) σε τομή με Βιοτίτη (B). Περθιτική δομή έχουν οι άστριοι που προήλθαν από απόμιξη.



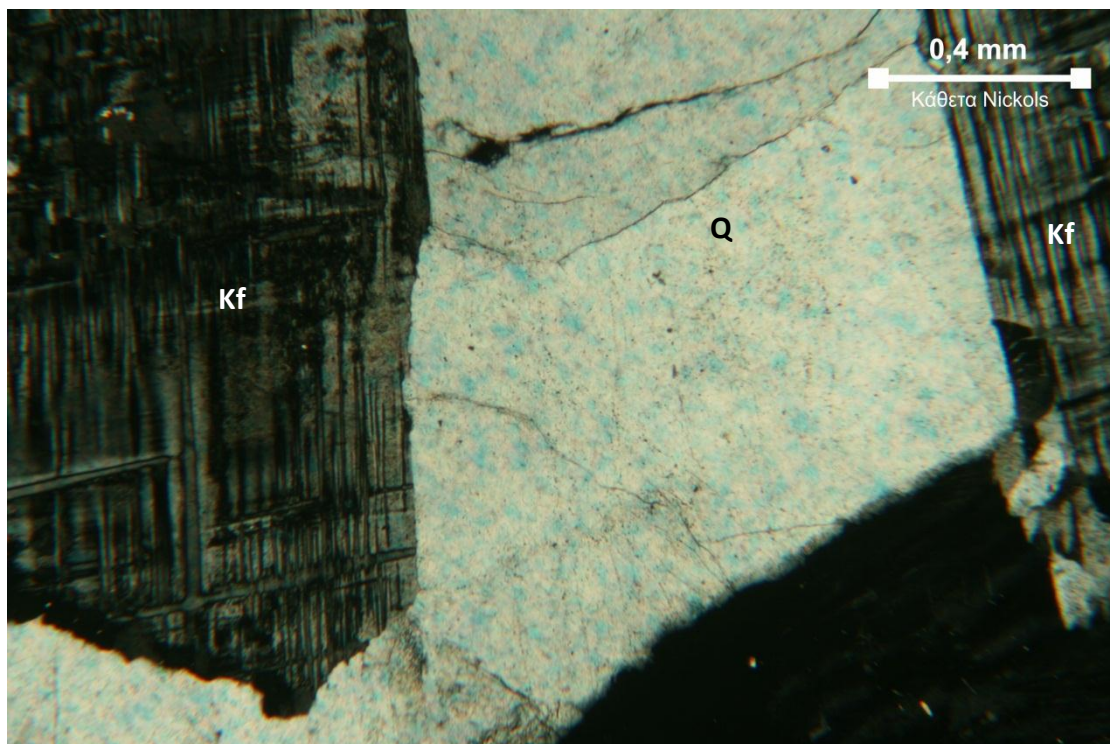
Εικόνα 7: Λεπτή Τομή Δοκιμίου M14 - Χλωριτωμένος Βιοτίτης (B)



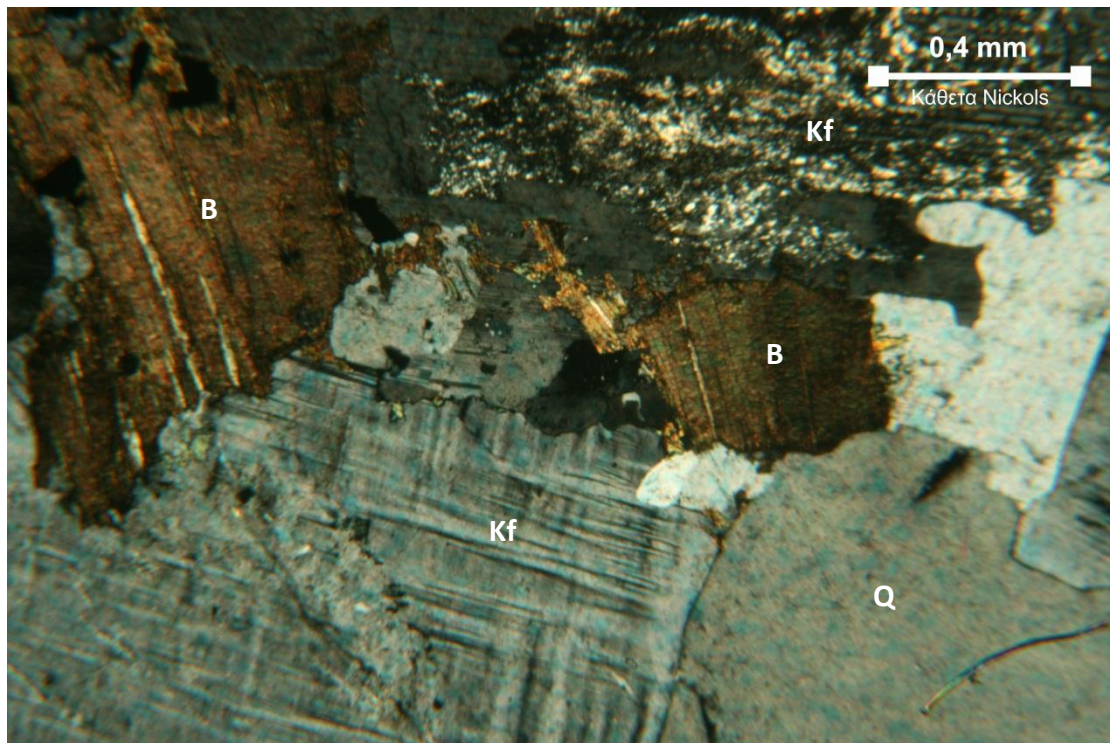
Εικόνα 8: Λεπτή Τομή Δοκιμίου M17 – Χαλαζίας (Q), Βιοτίτης (B), Πλαγιόκλαστο (PL).

Rosa Beta: Χονδροκοκκώδης ασβεσταλκαλικός γρανίτης (λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε Ολιγόκλαστο, 10-65%) με κοκκώδη ιστό και υπιδιόμορφους κρυστάλλους. Χρησιμοποιήθηκε για τις δοκιμές σημειακής φόρτισης. Το μέγεθος των κρυστάλλων του είναι 5-6 mm. Περιέχει:

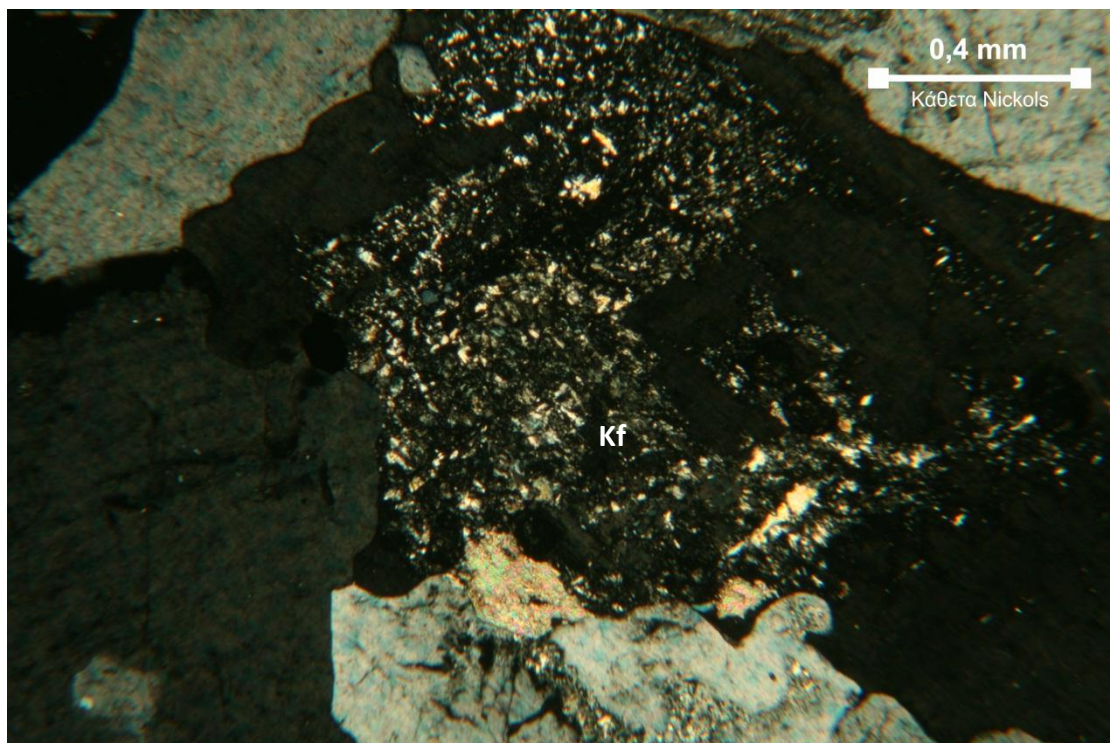
- 35% Χαλαζίας
- 40% Αλκαλικοί άστριοι
- 17% Ολιγόκλαστο
- 7% Φυλλοπυριτικά ορυκτά
- 1% Αδιαφανή ορυκτά



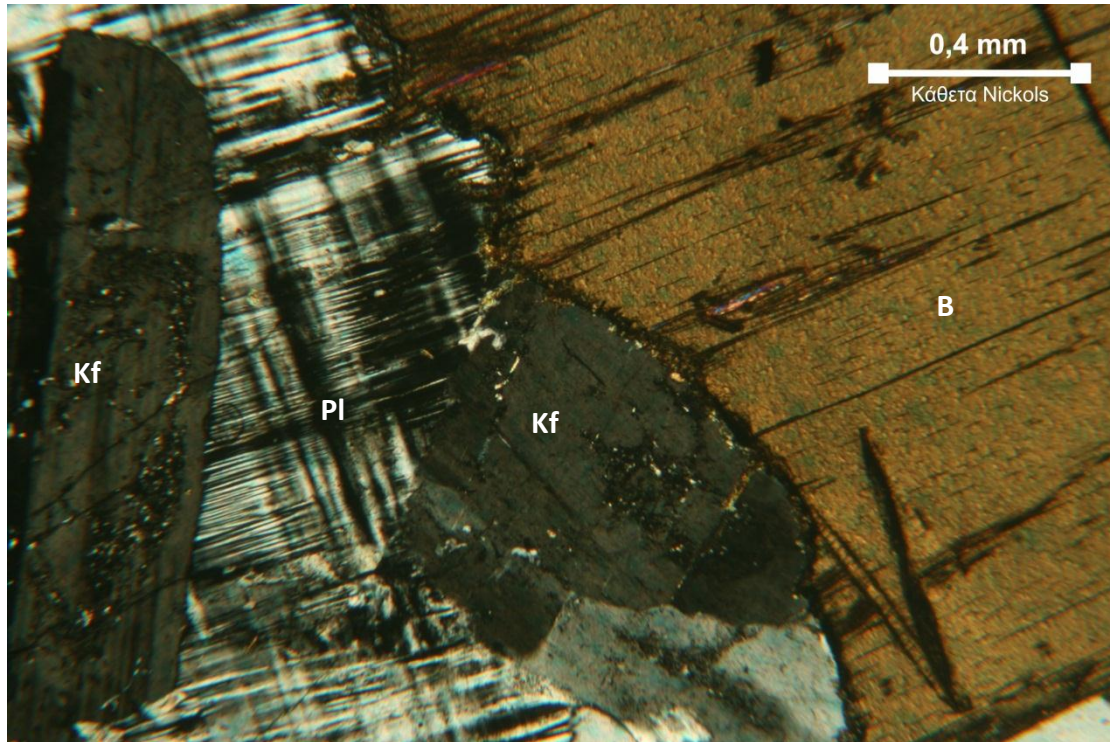
Εικόνα 9: Λεπτή Τομή Δοκιμίου X6 - Κ-ούχος άστριος (Kf, Ορθόκλαστο) με πολυδιδυμία τύπου Baveno και στο κέντρο Χαλαζίας (Q).



Εικόνα 10: Λεπτή Τομή Δοκιμίου X6 – Βιοτίτης (B), Κ-ούχος άστριος (Kf, Μικροκλινής), Χαλαζίας (Q) και Κ-ούχος άστριος (Kf, σερικιτιωμένο Ορθόκλαστο).



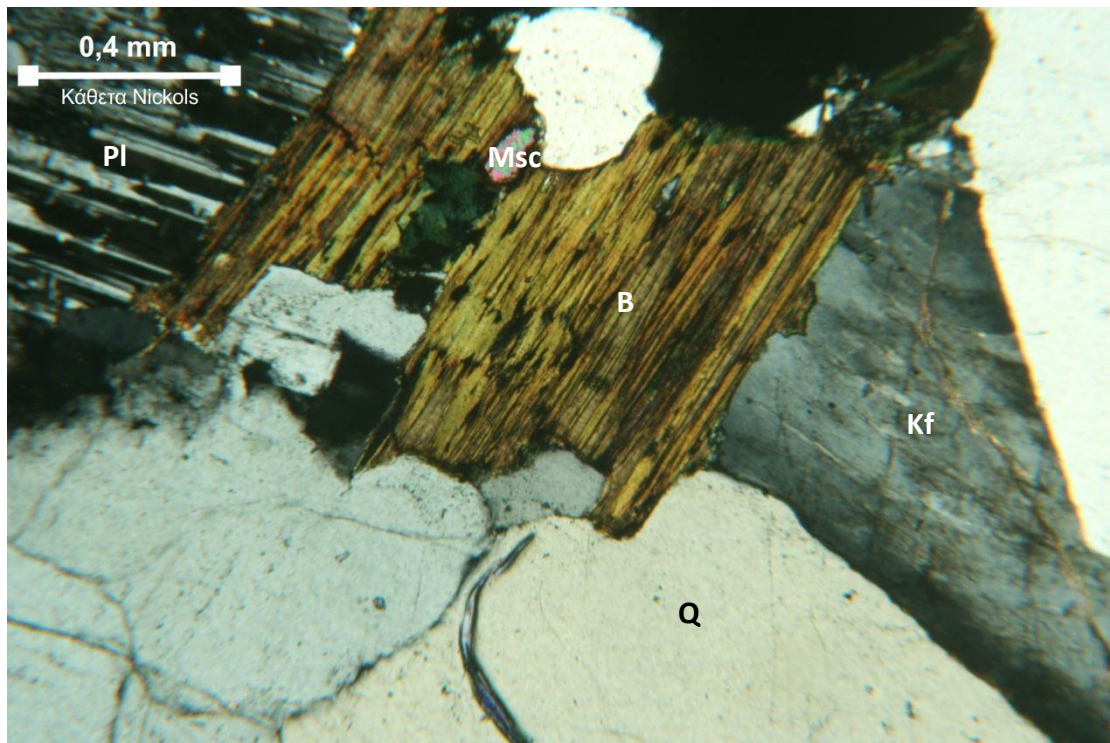
Εικόνα 11: Λεπτή Τομή Δοκιμίου X6 - Ορθόκλαστο σερικιτιωμένο (Kf)



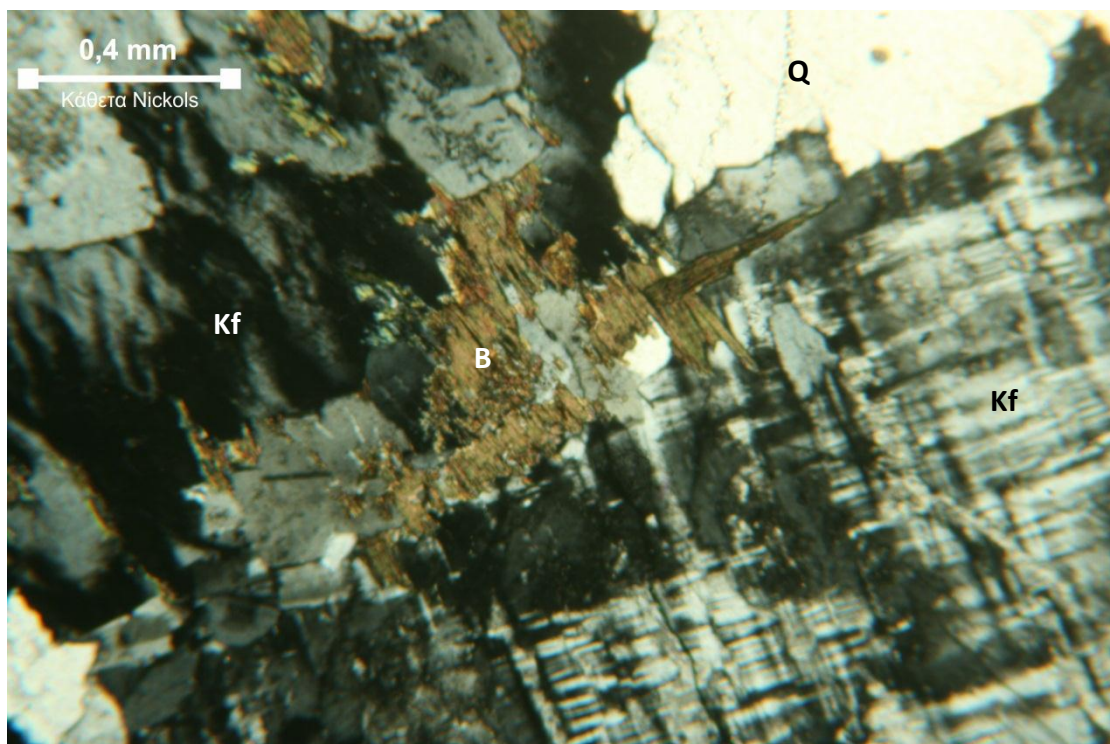
Εικόνα 12: Λεπτή Τομή Δοκιμίου X10 - Πλαγιόκλαστο (PL, Ολιγόκλαστο), Κ-αστριοι (Kf, Ορθόκλαστο με σερικιτίωση) και Βιοτίτης (B).

Rosa Porino: Χονδροκοκκώδης ασβεσταλκαλικός γρανίτης (λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε Ολιγόκλαστο, 10-65%) με κοκκώδη ιστό και υπιδιόμορφους κρυστάλλους. Χρησιμοποιήθηκε για τις δοκιμές μονοαξονικής θλίψης. Το μέγεθος των κρυστάλλων του χαλαζία είναι έως 5 mm διάμετρο και των Κ-ούχων αστρίων διαμέτρου έως 4 mm. Περιέχει:

- 34% Χαλαζίας
- 45% Αλκαλικοί άστριοι
- 15% Ολιγόκλαστο
- 5% Φυλλοπυριτικά ορυκτά
- 1% Αδιαφανή ορυκτά



Εικόνα 13: Λεπτή Τομή Δοκιμίου A12 - Πλαγιόκλαστο (PL, Ολιγόκλαστο) και Βιοτίτης (B) που σε κάποια σημεία έχει χλωριτωθεί και στο κέντρο έχει Μοσχοβίτη (Msc) από την μετατροπή του Ορθόκλαστου (Κ-ούχος άστριος, Kf).



Εικόνα 14: Λεπτή Τομή Δοκιμίου A12 - Κ-ούχος άστριος (Kf, Μικροκλινής) με διδυμία τύπου Βαβενό, Βιοτίτης (B), Χαλαζίας (Q) και Κ-ούχο άστριο (Kf, Ορθόκλαστο)

4.3. Προσδιορισμός πορώδους, πυκνότητας και λόγου κενών (μέθοδος άνωσης και μικρομέτρου)

Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζονται το ξηρό και κορεσμένο φαινόμενο βάρος (γ_d και γ_{sat}), το ενεργό πορώδες (η) και ο λόγος των κενών (e) σε δοκίμια πετρώματος κανονικού γεωμετρικού σχήματος του οποίου οι διαστάσεις μπορούν να μετρηθούν με το μικρόμετρο ή σε δοκίμια ακανόνιστου σχήματος, οπότε χρησιμοποιείται η μέθοδος της άνωσης.

Για την εκτέλεση της δοκιμής απαιτείται ο παρακάτω εξοπλισμός:

- ✓ φούρνος που να διατηρεί σταθερή θερμοκρασία στους $105 \pm 5^\circ\text{C}$,
- ✓ ζυγός ακριβείας 0.01 gr, που να έχει τη δυνατότητα να ζυγίζει και μάζα υπό άνωση, μέσα σε δοχείο με νερό.
- ✓ μικρόμετρο (παχύμετρο) ακριβείας 0.1 mm,
- ✓ Συσκευή δημιουργίας κενού της τάξης των 800 Pa.

4.3.1. Εκτέλεση δοκιμής - Υπολογισμοί:

1. Σε κάθε δοκίμιο πετρώματος μετρούνται με μικρόμετρο όλες οι διαστάσεις του με ακρίβεια 0.1 mm.
2. Τα δείγματα τοποθετούνται στη συσκευή κενού όπου και παραμένουν μία ώρα βυθισμένα στο νερό ώστε να υποστούν κορεσμό. Η συσκευή ανακινείται περιοδικά για απομάκρυνση φυσαλίδων αέρα.
3. Τα δείγματα απομακρύνονται από τη συσκευή κενού και τοποθετούνται μέσα σε ειδικό συρμάτινο καλάθι το οποίο κρέμεται από τη βάση του ζυγού μέσα σε δοχείο με νερό, προκειμένου να μετρηθεί το βάρος του κορεσμένου δείγματος υπό άνωση (M_{sub}).
4. Τα δείγματα στη συνέχεια απομακρύνονται από το δοχείο με το νερό, σκουπίζονται επιφανειακά με πανί, προσεκτικά ώστε να μην απομακρυνθεί κάποιο χαλαρωμένο κομμάτι πετρώματος, ζυγίζονται και υπολογίζεται η υγρή μάζα του καθενός (M_{sat}).
5. Τοποθετούνται σε φούρνο σε θερμοκρασία $105 \pm 5^\circ\text{C}$ για 24 ώρες και στη συνέχεια ζυγίζονται και υπολογίζεται η μάζα του καθενός (M_s).

Από τα στοιχεία των μετρήσεων τόσο με τη μέθοδο της άνωσης, όσο και με τη μέθοδο του μικρομέτρου, προκύπτουν τα παρακάτω μεγέθη:

- Όγκος δείγματος V_t σε cm^3 :
 - I. Υπό άνωση $V_t = (M_{sat} - M_{sub})/\rho_w$, όπου ρ_w η πυκνότητα του νερού που είναι περίπου 1 gr/cm^3 .
 - II. Από χρήση μικρομέτρου $V_t = l_1 \times l_2 \times l_3$, όπου l_1, l_2, l_3 οι διαστάσεις του δοκιμίου.
- Όγκος κενών σε cm^3 , που υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο και στις δύο περιπτώσεις προσδιορισμού.

$$V_v = \frac{M_{sat} - M_s}{\rho_w}$$

- Όγκος στερεών σε cm^3 , που υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο και στις δύο περιπτώσεις προσδιορισμού.

$$V_s = V_t - V_v$$

Από τα παραπάνω μεγέθη υπολογίστηκαν μια σειρά από παραμέτρους και με τους δύο τρόπους προσδιορισμού.

I. Πορώδες

Ως πορώδες χαρακτηρίζεται ο λόγος του όγκου των κενών V_v προς το συνολικό όγκο του δείγματος V_t , επί τις 100, δηλαδή:

$$n_{es} = \frac{V_v}{V_t} \times 100$$

II. Λόγος κενών

Λόγος κενών ενός πετρώματος ορίζεται ως ο λόγος του όγκου των κενών V_v , προς τον όγκο των στερεών συστατικών του V_s , δηλαδή:

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Η σχέση που συνδέει το πορώδες με το λόγο των κενών, είναι:

$$e = \frac{n_{es}}{1-n_{es}} \quad \text{και} \quad n_{es} = \frac{e}{1+e}$$

III. Ειδικό βάρος πετρώματος

Ειδικό βάρος ενός πετρώματος, υπολογίστηκε με το λόγο του βάρους του σε ξηρή κατάσταση M_s προς τη διαφορά του βάρους υπό άνωση M_{sub} από το ξηρό βάρος M_s .

$$G_s = \frac{M_s}{M_s - M_{sub}}$$

Το ειδικό βάρος ενός πετρώματος έχει άμεση σχέση με το ειδικό βάρος των ορυκτών που συμμετέχουν σε αυτό και την ποσοστιαία αναλογία τους στη δομή του πετρώματος.

IV. Φαινόμενο βάρος

Φαινόμενο βάρος ενός πετρώματος, είναι το βάρος του δοκιμίου σε ξηρή κατάσταση στη μονάδα του όγκου. Όσο μικρότερο είναι το πορώδες του πετρώματος, τόσο πιο μικρή διαφορά θα έχουν το ειδικό βάρος από το φαινόμενο βάρος.

Ένας τρόπος προσδιορισμού του φαινόμενου βάρους είναι με τη μέθοδο της άνωσης. Αρχικά το δοκίμιο ζυγίζεται σε ξηρή κατάσταση σε θερμοκρασία δωματίου, έπειτα η τοποθέτησή του μέσα στη συσκευή κενού για 1 ώρα μέχρι να κορεσθεί πλήρως και να μην αυξάνεται πρακτικά το βάρος του και έπειτα η ζύγισή του αρχικά στον αέρα και έπειτα υπό άνωση μέσα στο νερό. Τότε το φαινόμενο βάρος εκφράζεται από την σχέση:

$$\gamma_d = \frac{M_s}{M_{sat} - M_{sub}} \times g$$

Όπου, M_s η μάζα του ξηρού δείγματος, M_{sat} η μάζα του κορεσμένου με νερό δείγματος ζυγισμένο στον αέρα, M_{sub} η μάζα του κορεσμένου με νερό δείγματος ζυγισμένο υπό άνωση και g η επιτάχυνση της βαρύτητας ίση με $9,807 \text{ m/sec}^2$. Οι μονάδες του ξηρού φαινόμενου βάρους είναι σε kN/m^3 .

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των δοκιμών, με τα στοιχεία κάθε δείγματος από τη μέθοδο της άνωσης και από τη μέθοδο του μικρομέτρου παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6

ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΩΣΗΣ

ΔΟΚΙΜΙΑ POINT LOAD TEST BIANCO REAL ΛΕΠΤΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ

ΔΕΙΓΜΑ BIANCO REAL	ΗΜΕΡΟΜ ΗΝΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΥΨΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm)	ΜΗΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm)	ΠΛΑΤΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm)	ΜΑΖΑ ΚΟΡΕΣ ΜΕΝΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M_{sat} (gr)	ΜΑΖΑ ΒΥΘΙΣ ΜΕΝΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M_{sub} (gr)	ΜΑΖΑ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M_s (gr)	ΑΝΩΣΗ								
								ΟΓΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, $V_t=(M_{sat}-$ $M_{sub})/\rho_w$ (cm^3)	ΟΓΚΟΣ ΚΕΝΩΝ, $V_v=(M_{sat}-$ $M_s)/\rho_w$ (cm^3)	ΟΓΚΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ , $V_s=V_t-V_v$ (cm^3)	ΕΝΕΡΓΟ ΠΟΡΩΔΕΣ, n_{es} (%)	ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ , e	ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟ ΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ, γ_d (kN/m^3)	ΚΟΡΕΣ ΜΕΝΟ ΦΑΙΝΟ ΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ, γ_{sat} (kN/m^3)	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ, G_s	ΑΠΟΡΡ ΟΦΗΣΗ, W_a (%)
M1	18/10/10	3,15	8,05	3,94	257,84	159,00	257,27	98,84	0,57	98,27	0,58	0,01	25,53	25,58	2,62	0,22
M2	18/10/10	3,15	8,08	3,96	258,51	159,43	258,01	99,08	0,50	98,58	0,50	0,01	25,54	25,59	2,62	0,19
M3	18/10/10	3,15	8,09	3,94	258,55	159,53	258,03	99,02	0,52	98,50	0,53	0,01	25,56	25,61	2,62	0,20
M4	18/10/10	3,15	8,04	3,95	258,38	159,32	257,97	99,06	0,41	98,65	0,41	0,00	25,54	25,58	2,62	0,16
M5	18/10/10	3,15	8,04	3,93	257,08	158,60	256,67	98,48	0,41	98,07	0,42	0,00	25,56	25,60	2,62	0,16
M6	18/10/10	3,15	8,06	3,98	258,24	159,31	257,88	98,93	0,36	98,57	0,36	0,00	25,56	25,60	2,62	0,14
M7	18/10/10	3,15	8,05	3,96	259,46	160,04	259,03	99,42	0,43	98,99	0,43	0,00	25,55	25,59	2,62	0,17
M8	18/10/10	3,15	8,04	3,96	258,90	159,73	258,49	99,17	0,41	98,76	0,41	0,00	25,56	25,60	2,62	0,16
M9	18/10/10	3,15	8,04	3,94	257,82	159,21	257,37	98,61	0,45	98,16	0,46	0,00	25,60	25,64	2,62	0,17
M10	18/10/10	3,15	8,10	3,96	258,84	159,73	258,37	99,11	0,47	98,64	0,47	0,00	25,57	25,61	2,62	0,18
M11	18/10/10	3,15	8,04	3,94	257,59	158,84	257,18	98,75	0,41	98,34	0,42	0,00	25,54	25,58	2,62	0,16
M12	18/10/10	3,15	8,08	3,96	258,49	159,34	258,10	99,15	0,39	98,76	0,39	0,00	25,53	25,57	2,61	0,15
M13	18/10/10	3,15	8,04	4,00	259,77	160,18	259,36	99,59	0,41	99,18	0,41	0,00	25,54	25,58	2,62	0,16
M14	18/10/10	3,15	8,00	3,98	257,44	158,78	257,06	98,66	0,38	98,28	0,39	0,00	25,55	25,59	2,62	0,15
M15	18/10/10	3,15	8,04	3,96	258,67	159,43	258,28	99,24	0,39	98,85	0,39	0,00	25,52	25,56	2,61	0,15
M16	18/10/10	3,15	8,08	3,99	260,43	160,59	260,06	99,84	0,37	99,47	0,37	0,00	25,54	25,58	2,61	0,14
M17	18/10/10	3,15	8,04	3,97	259,13	159,74	258,77	99,39	0,36	99,03	0,36	0,00	25,53	25,57	2,61	0,14
M18	18/10/10	3,15	8,03	3,98	257,80	158,95	257,40	98,85	0,40	98,45	0,40	0,00	25,54	25,58	2,61	0,16
M19	18/10/10	3,15	8,08	4,02	261,47	161,25	261,08	100,22	0,39	99,83	0,39	0,00	25,55	25,59	2,62	0,15
M20	18/10/10	3,15	8,04	3,98	258,61	159,35	258,18	99,26	0,43	98,83	0,43	0,00	25,51	25,55	2,61	0,17

ΠΙΝΑΚΑΣ 7

ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ
ΔΟΚΙΜΙΑ POINT LOAD TEST BIANCO REAL ΛΕΠΤΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ

ΔΕΙΓΜΑ BIANCO REAL	ΗΜΕΡΟΜ ΗΝΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΥΨΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm)	ΜΗΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm)	ΠΛΑΤΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm)	ΜΑΖΑ	ΜΑΖΑ	ΜΑΖΑ	ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟ							
					ΚΟΡΕΣ ΜΕΝΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M_{sat} (gr)	ΒΥΘΙΣ ΜΕΝΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M_{sub} (gr)	ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M_s (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, V_t (m^3)	ΟΓΚΟΣ ΚΕΝΩΝ , $V_v=(M_{sat}-$ $M_s)/\rho_w$ (m^3)	ΟΓΚΟΣ ΣΤΕΡΕΩ Ν, $V_s=V_t$ V_v (m^3)	ΕΝΕΡΓ Ο ΠΟΡΩΔ ΕΣ, n_{em} (%)	ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ , e	ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟ ΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ, γ_d (kN/m^3)	ΚΟΡΕΣ ΜΕΝΟ ΦΑΙΝΟ ΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ, γ_{sat} (kN/m^3)	ΑΠΟΡΡ ΟΦΗΣΗ, W_a (%)
M1	18/10/10	3,15	8,05	3,94	257,84	159,00	257,27	99,91	0,57	99,34	0,57	0,01	25,25	25,31	0,22
M2	18/10/10	3,15	8,08	3,96	258,51	159,43	258,01	100,79	0,50	100,29	0,50	0,00	25,10	25,15	0,19
M3	18/10/10	3,15	8,09	3,94	258,55	159,53	258,03	100,40	0,52	99,88	0,52	0,01	25,20	25,25	0,20
M4	18/10/10	3,15	8,04	3,95	258,38	159,32	257,97	100,04	0,41	99,63	0,41	0,00	25,29	25,33	0,16
M5	18/10/10	3,15	8,04	3,93	257,08	158,60	256,67	99,53	0,41	99,12	0,41	0,00	25,29	25,33	0,16
M6	18/10/10	3,15	8,06	3,98	258,24	159,31	257,88	101,05	0,36	100,69	0,36	0,00	25,03	25,06	0,14
M7	18/10/10	3,15	8,05	3,96	259,46	160,04	259,03	100,42	0,43	99,99	0,43	0,00	25,30	25,34	0,17
M8	18/10/10	3,15	8,04	3,96	258,90	159,73	258,49	100,29	0,41	99,88	0,41	0,00	25,28	25,32	0,16
M9	18/10/10	3,15	8,04	3,94	257,82	159,21	257,37	99,78	0,45	99,33	0,45	0,00	25,29	25,34	0,17
M10	18/10/10	3,15	8,10	3,96	258,84	159,73	258,37	101,04	0,47	100,57	0,47	0,00	25,08	25,12	0,18
M11	18/10/10	3,15	8,04	3,94	257,59	158,84	257,18	99,78	0,41	99,37	0,41	0,00	25,28	25,32	0,16
M12	18/10/10	3,15	8,08	3,96	258,49	159,34	258,10	100,79	0,39	100,40	0,39	0,00	25,11	25,15	0,15
M13	18/10/10	3,15	8,04	4,00	259,77	160,18	259,36	101,30	0,41	100,89	0,40	0,00	25,11	25,15	0,16
M14	18/10/10	3,15	8,00	3,98	257,44	158,78	257,06	100,30	0,38	99,92	0,38	0,00	25,14	25,17	0,15
M15	18/10/10	3,15	8,04	3,96	258,67	159,43	258,28	100,29	0,39	99,90	0,39	0,00	25,26	25,29	0,15
M16	18/10/10	3,15	8,08	3,99	260,43	160,59	260,06	101,55	0,37	101,18	0,36	0,00	25,11	25,15	0,14
M17	18/10/10	3,15	8,04	3,97	259,13	159,74	258,77	100,54	0,36	100,18	0,36	0,00	25,24	25,28	0,14
M18	18/10/10	3,15	8,03	3,98	257,80	158,95	257,40	100,67	0,40	100,27	0,40	0,00	25,07	25,11	0,16
M19	18/10/10	3,15	8,08	4,02	261,47	161,25	261,08	102,32	0,39	101,93	0,38	0,00	25,02	25,06	0,15
M20	18/10/10	3,15	8,04	3,98	258,61	159,35	258,18	100,80	0,43	100,37	0,43	0,00	25,12	25,16	0,17

ΠΙΝΑΚΑΣ 8

ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΩΣΗΣ

ΔΟΚΙΜΙΑ POINT LOAD TEST ROSA ΒΕΤΑ ΑΔΡΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ

ΔΕΙΓΜΑ ROSA ΒΕΤΑ	ΗΜΕΡΟΜ ΗΝΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΥΨΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm)	ΜΗΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm)	ΠΛΑΤΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm)	ΜΑΖΑ ΚΟΡΕΣ ΜΕΝΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M _{sat} (gr)	ΜΑΖΑ ΒΥΘΙΣ ΜΕΝΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M _{sub} (gr)	ΜΑΖΑ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M _s (gr)	ΑΝΩΣΗ								
								ΟΓΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, V _t =(M _{sat} - M _{sub})/ρ _w (cm ³)	ΟΓΚΟΣ ΚΕΝΩΝ, V _v =(M _{sat} - M _s)/ρ _w (cm ³)	ΟΓΚΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ , V _s =V _t -V _v (cm ³)	ΕΝΕΡΓΟ ΠΟΡΩΔΕΣ, n _{es} (%)	ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ , e	ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟ ΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ, γ _d (kN/m ³)	ΚΟΡΕΣ ΜΕΝΟ ΦΑΙΝΟ ΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ, γ _{sat} (kN/m ³)	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ, G _s	ΑΠΟΡΡ ΟΦΗΣΗ, W _a (%)
X1	15/10/10	2,93	8,03	4,02	244,46	151,37	243,92	93,09	0,54	92,55	0,58	0,01	25,70	25,75	2,64	0,22
X2	15/10/10	2,95	8,02	4,07	249,28	154,57	248,73	94,71	0,55	94,16	0,58	0,01	25,76	25,81	2,64	0,22
X3	15/10/10	2,86	8,00	4,01	237,66	147,37	237,10	90,29	0,56	89,73	0,62	0,01	25,75	25,81	2,64	0,24
X4	15/10/10	2,92	8,02	4,02	244,08	151,16	243,56	92,92	0,52	92,40	0,56	0,01	25,71	25,76	2,64	0,21
X5	15/10/10	2,98	8,00	4,03	247,58	153,38	247,06	94,20	0,52	93,68	0,55	0,01	25,72	25,78	2,64	0,21
X6	15/10/10	2,85	7,97	4,08	239,88	148,58	239,33	91,30	0,55	90,75	0,60	0,01	25,71	25,77	2,64	0,23
X7	15/10/10	2,84	7,98	4,06	238,70	147,64	238,18	91,06	0,52	90,54	0,57	0,01	25,65	25,71	2,63	0,22
X8	15/10/10	2,84	7,97	4,06	238,03	147,37	237,53	90,66	0,50	90,16	0,55	0,01	25,69	25,75	2,63	0,21
X9	15/10/10	2,85	8,02	4,03	239,31	148,03	238,81	91,28	0,50	90,78	0,55	0,01	25,66	25,71	2,63	0,21
X10	15/10/10	2,92	8,03	3,99	242,86	150,34	242,40	92,52	0,46	92,06	0,50	0,00	25,69	25,74	2,63	0,19
X11	15/10/10	2,86	8,02	4,04	241,24	149,42	240,72	91,82	0,52	91,30	0,57	0,01	25,71	25,77	2,64	0,22
X12	15/10/10	2,97	7,98	4,03	248,74	153,99	248,21	94,75	0,53	94,22	0,56	0,01	25,69	25,75	2,63	0,21
X13	15/10/10	2,84	7,97	4,04	238,82	147,93	238,21	90,89	0,61	90,28	0,67	0,01	25,70	25,77	2,64	0,26
X14	15/10/10	2,96	8,00	4,05	248,17	153,47	247,63	94,70	0,54	94,16	0,57	0,01	25,64	25,70	2,63	0,22
X15	15/10/10	2,95	8,02	4,03	247,60	153,36	247,04	94,24	0,56	93,68	0,59	0,01	25,71	25,77	2,64	0,23
X16	15/10/10	2,86	8,01	4,00	238,40	147,54	237,85	90,86	0,55	90,31	0,61	0,01	25,67	25,73	2,63	0,23
X17	15/10/10	2,84	7,97	4,02	235,96	146,06	235,40	89,90	0,56	89,34	0,62	0,01	25,68	25,74	2,63	0,24
X18	15/10/10	2,94	8,03	4,04	246,94	152,92	246,42	94,02	0,52	93,50	0,55	0,01	25,70	25,76	2,64	0,21
X19	15/10/10	2,85	8,01	4,00	236,68	146,42	236,14	90,26	0,54	89,72	0,60	0,01	25,66	25,72	2,63	0,23
X20	15/10/10	2,94	8,05	4,00	243,89	151,01	243,35	92,88	0,54	92,34	0,58	0,01	25,69	25,75	2,64	0,22

ΠΙΝΑΚΑΣ 9

ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ
ΔΟΚΙΜΙΑ POINT LOAD TEST ROSA ΒΕΤΑ ΑΔΡΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ

ΔΕΙΓΜΑ ROSA ΒΕΤΑ	ΗΜΕΡΟΜ ΗΝΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΥΨΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm)	ΜΗΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm)	ΠΛΑΤΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm)	ΜΑΖΑ ΚΟΡΕΣ ΜΕΝΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M _{sat} (gr)	ΜΑΖΑ ΒΥΘΙΣ ΜΕΝΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M _{sub} (gr)	ΜΑΖΑ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M _s (gr)	ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟ							
								ΟΓΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, V _t (m ³)	ΟΓΚΟΣ ΚΕΝΩΝ , V _v =(M _{sat} - M _s)/ρ _w (m ³)	ΟΓΚΟΣ ΣΤΕΡΕΩ Ν, V _s =V _t V _v (m ³)	ΕΝΕΡΓ Ο ΠΟΡΩΔ ΕΣ, η _{em} (%)	ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ , e	ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟ ΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ, γ _d (kN/m ³)	ΚΟΡΕΣ ΜΕΝΟ ΦΑΙΝΟ ΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ, γ _{sat} (kN/m ³)	ΑΠΟΡΡ ΟΦΗΣΗ, W _a (%)
X1	15/10/10	2,93	8,03	4,02	244,46	151,37	243,92	94,58	0,54	94,04	0,57	0,01	25,29	25,35	0,22
X2	15/10/10	2,95	8,02	4,07	249,28	154,57	248,73	96,29	0,55	95,74	0,57	0,01	25,33	25,39	0,22
X3	15/10/10	2,86	8,00	4,01	237,66	147,37	237,10	91,75	0,56	91,19	0,61	0,01	25,34	25,40	0,24
X4	15/10/10	2,92	8,02	4,02	244,08	151,16	243,56	94,14	0,52	93,62	0,55	0,01	25,37	25,43	0,21
X5	15/10/10	2,98	8,00	4,03	247,58	153,38	247,06	96,08	0,52	95,56	0,54	0,01	25,22	25,27	0,21
X6	15/10/10	2,85	7,97	4,08	239,88	148,58	239,33	92,68	0,55	92,13	0,59	0,01	25,33	25,38	0,23
X7	15/10/10	2,84	7,98	4,06	238,70	147,64	238,18	92,01	0,52	91,49	0,57	0,01	25,39	25,44	0,22
X8	15/10/10	2,84	7,97	4,06	238,03	147,37	237,53	91,90	0,50	91,40	0,54	0,01	25,35	25,40	0,21
X9	15/10/10	2,85	8,02	4,03	239,31	148,03	238,81	92,11	0,50	91,61	0,54	0,01	25,43	25,48	0,21
X10	15/10/10	2,92	8,03	3,99	242,86	150,34	242,40	93,56	0,46	93,10	0,49	0,00	25,41	25,46	0,19
X11	15/10/10	2,86	8,02	4,04	241,24	149,42	240,72	92,67	0,52	92,15	0,56	0,01	25,48	25,53	0,22
X12	15/10/10	2,97	7,98	4,03	248,74	153,99	248,21	95,51	0,53	94,98	0,55	0,01	25,49	25,54	0,21
X13	15/10/10	2,84	7,97	4,04	238,82	147,93	238,21	91,44	0,61	90,83	0,67	0,01	25,55	25,61	0,26
X14	15/10/10	2,96	8,00	4,05	248,17	153,47	247,63	95,90	0,54	95,36	0,56	0,01	25,32	25,38	0,22
X15	15/10/10	2,95	8,02	4,03	247,60	153,36	247,04	95,35	0,56	94,79	0,59	0,01	25,41	25,47	0,23
X16	15/10/10	2,86	8,01	4,00	238,40	147,54	237,85	91,63	0,55	91,08	0,60	0,01	25,46	25,51	0,23
X17	15/10/10	2,84	7,97	4,02	235,96	146,06	235,40	90,99	0,56	90,43	0,62	0,01	25,37	25,43	0,24
X18	15/10/10	2,94	8,03	4,04	246,94	152,92	246,42	95,38	0,52	94,86	0,55	0,01	25,34	25,39	0,21
X19	15/10/10	2,85	8,01	4,00	236,68	146,42	236,14	91,31	0,54	90,77	0,59	0,01	25,36	25,42	0,23
X20	15/10/10	2,94	8,05	4,00	243,89	151,01	243,35	94,67	0,54	94,13	0,57	0,01	25,21	25,27	0,22

ΠΙΝΑΚΑΣ 10

ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΩΣΗΣ

ΔΟΚΙΜΙΑ UCS TEST BIANCO CRYSTAL ΛΕΠΤΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ

ΔΕΙΓΜΑ BIANCO CRYSTAL	ΗΜΕΡΟΜ ΗΝΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΥΨΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm)	ΜΗΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm)	ΠΛΑΤΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm)	ΜΑΖΑ ΚΟΡΕΣ ΜΕΝΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M _{sat} (gr)	ΜΑΖΑ ΒΥΘΙΣ ΜΕΝΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M _{sub} (gr)	ΜΑΖΑ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M _s (gr)	ΑΝΩΣΗ								
								ΟΓΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, V _t =(M _{sat} - M _{sub})/ρ _w (cm ³)	ΟΓΚΟΣ ΚΕΝΩΝ, V _v =(M _{sat} - M _s)/ρ _w (cm ³)	ΟΓΚΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ , V _s =V _t -V _v (cm ³)	ΕΝΕΡΓΟ ΠΟΡΩΔΕΣ, n _{es} (%)	ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ , e	ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟ ΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ, γ _d (kN/m ³)	ΚΟΡΕΣ ΜΕΝΟ ΦΑΙΝΟ ΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ, γ _{sat} (kN/m ³)	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ, G _s	ΑΠΟΡΡ ΟΦΗΣΗ, W _a (%)
Λ1	15/11/10	5,00	5,04	5,00	323,81	199,95	322,84	123,86	0,97	122,89	0,78	0,01	25,56	25,64	25,76	0,30
Λ2	15/11/10	4,99	5,15	4,99	323,24	199,60	322,26	123,64	0,98	122,66	0,79	0,01	25,56	25,64	25,77	0,30
Λ3	15/11/10	5,00	5,06	4,98	322,94	199,49	322,08	123,45	0,86	122,59	0,70	0,01	25,59	25,65	25,77	0,27
Λ4	15/11/10	4,97	5,06	4,85	311,92	192,50	311,05	119,42	0,87	118,55	0,73	0,01	25,54	25,62	25,73	0,28
Λ5	15/11/10	4,86	5,01	4,97	314,33	193,98	313,49	120,35	0,84	119,51	0,70	0,01	25,55	25,61	25,73	0,27
Λ6	15/11/10	4,97	4,98	5,07	322,62	199,16	321,72	123,46	0,90	122,56	0,73	0,01	25,56	25,63	25,74	0,28
Λ7	15/11/10	4,82	5,06	5,03	311,08	192,05	310,25	119,03	0,83	118,20	0,70	0,01	25,56	25,63	25,74	0,27
Λ8	15/11/10	5,03	4,40	5,08	285,98	176,60	285,22	109,38	0,76	108,62	0,69	0,01	25,57	25,64	25,75	0,27
Λ9	15/11/10	5,07	4,98	4,98	321,40	198,42	320,53	122,98	0,87	122,11	0,71	0,01	25,56	25,63	25,74	0,27
Λ10	15/11/10	5,00	4,81	4,99	309,05	190,78	308,19	118,27	0,86	117,41	0,73	0,01	25,56	25,63	25,74	0,28
Λ11	15/11/10	5,00	4,98	5,08	325,45	200,94	324,50	124,51	0,95	123,56	0,76	0,01	25,56	25,63	25,76	0,29
Λ12	15/11/10	4,88	4,97	5,07	317,69	196,15	316,83	121,54	0,86	120,68	0,71	0,01	25,56	25,63	25,75	0,27
Λ13	15/11/10	5,08	5,03	4,97	326,10	201,28	325,19	124,82	0,91	123,91	0,73	0,01	25,55	25,62	25,74	0,28
Λ14	15/11/10	5,07	5,00	4,83	310,75	191,87	309,94	118,88	0,81	118,07	0,68	0,01	25,57	25,64	25,74	0,26

ΠΙΝΑΚΑΣ 11

ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ
ΔΟΚΙΜΙΑ UCS TEST BIANCO CRYSTAL ΛΕΠΤΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ

ΔΕΙΓΜΑ BIANCO CRYSTAL	ΗΜΕΡΟΜ ΗΝΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΥΨΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm) l ₁	ΜΗΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm) l ₂	ΠΛΑΤΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm) l ₃	ΜΑΖΑ ΚΟΡΕΣ ΜΕΝΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M _{sat} (gr)	ΜΑΖΑ ΒΥΘΙΣ ΜΕΝΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M _{sub} (gr)	ΜΑΖΑ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M _s (gr)	ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟ							
								ΟΓΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, V _t (m ³)	ΟΓΚΟΣ ΚΕΝΩΝ , V _v =(M _{sat} M _s)/ρ _w (m ³)	ΟΓΚΟΣ ΣΤΕΡΕΩ Ν, V _s =V _t V _v (m ³)	ΕΝΕΡΓ Ο ΠΟΡΩΔ ΕΣ, η _{em} (%)	ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ , e	ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟ ΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ, γ _d (kN/m ³)	ΚΟΡΕΣ ΜΕΝΟ ΦΑΙΝΟ ΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ, γ _{sat} (kN/m ³)	ΑΠΟΡΡ ΟΦΗΣΗ, W _a (%)
Λ1	15/11/10	5,00	5,04	5,00	323,81	199,95	322,84	126,00	0,97	125,03	0,77	0,01	25,13	25,20	0,30
Λ2	15/11/10	4,99	5,15	4,99	323,24	199,60	322,26	128,24	0,98	127,26	0,76	0,01	24,65	24,72	0,30
Λ3	15/11/10	5,00	5,06	4,98	322,94	199,49	322,08	125,99	0,86	125,13	0,68	0,01	25,07	25,14	0,27
Λ4	15/11/10	4,97	5,06	4,85	311,92	192,50	311,05	121,97	0,87	121,10	0,71	0,01	25,01	25,08	0,28
Λ5	15/11/10	4,86	5,01	4,97	314,33	193,98	313,49	121,01	0,84	120,17	0,69	0,01	25,41	25,47	0,27
Λ6	15/11/10	4,97	4,98	5,07	322,62	199,16	321,72	125,49	0,90	124,59	0,72	0,01	25,14	25,21	0,28
Λ7	15/11/10	4,82	5,06	5,03	311,08	192,05	310,25	122,68	0,83	121,85	0,68	0,01	24,80	24,87	0,27
Λ8	15/11/10	5,03	4,40	5,08	285,98	176,60	285,22	112,43	0,76	111,67	0,68	0,01	24,88	24,95	0,27
Λ9	15/11/10	5,07	4,98	4,98	321,40	198,42	320,53	125,74	0,87	124,87	0,69	0,01	25,00	25,07	0,27
Λ10	15/11/10	5,00	4,81	4,99	309,05	190,78	308,19	120,01	0,86	119,15	0,72	0,01	25,18	25,26	0,28
Λ11	15/11/10	5,00	4,98	5,08	325,45	200,94	324,50	126,49	0,95	125,54	0,75	0,01	25,16	25,23	0,29
Λ12	15/11/10	4,88	4,97	5,07	317,69	196,15	316,83	122,97	0,86	122,11	0,70	0,01	25,27	25,34	0,27
Λ13	15/11/10	5,08	5,03	4,97	326,10	201,28	325,19	127,00	0,91	126,09	0,72	0,01	25,11	25,18	0,28
Λ14	15/11/10	5,07	5,00	4,83	310,75	191,87	309,94	122,44	0,81	121,63	0,66	0,01	24,82	24,89	0,26

ΠΙΝΑΚΑΣ 12

ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΩΣΗΣ

ΔΟΚΙΜΙΑ UCS TEST ROSA PORINO ΑΔΡΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ

ΔΕΙΓΜΑ ROSA PORINO	ΗΜΕΡΟΜ ΗΝΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΥΨΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm) l ₁	ΜΗΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm) l ₂	ΠΛΑΤΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤ ΟΣ (cm) l ₃	ΜΑΖΑ ΚΟΡΕΣ ΜΕΝΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M _{sat} (gr)	ΜΑΖΑ ΒΥΘΙΣ ΜΕΝΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M _{sub} (gr)	ΜΑΖΑ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, M _s (gr)	ΑΝΩΣΗ								
								ΟΓΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑ ΤΟΣ, V _t =(M _{sat} - M _{sub})/ρ _w (cm ³)	ΟΓΚΟΣ ΚΕΝΩΝ, V _v =(M _{sat} - M _s)/ρ _w (cm ³)	ΟΓΚΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ , V _s =V _t -V _v (cm ³)	ΕΝΕΡΓΟ ΠΟΡΩΔΕΣ, n _{es} (%)	ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ , e	ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟ ΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ, γ _d (kN/m ³)	ΚΟΡΕΣ ΜΕΝΟ ΦΑΙΝΟ ΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ, γ _{sat} (kN/m ³)	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ, G _s	ΑΠΟΡΡ ΟΦΗΣΗ, W _a (%)
A1	10/11/10	5,05	5,02	5,05	327,47	202,48	326,71	124,99	0,76	124,23	0,61	0,01	25,63	25,69	2,63	0,23
A2	10/11/10	5,18	5,10	4,99	336,19	207,86	335,39	128,33	0,80	127,53	0,62	0,01	25,63	25,69	2,63	0,24
A3	10/11/10	5,11	5,02	5,04	330,26	204,47	329,53	125,79	0,73	125,06	0,58	0,01	25,69	25,75	2,63	0,22
A4	10/11/10	5,04	5,02	4,95	321,41	198,86	320,54	122,55	0,87	121,68	0,71	0,01	25,65	25,72	2,63	0,27
A5	10/11/10	5,17	4,98	5,10	333,70	206,12	332,85	127,58	0,85	126,73	0,67	0,01	25,59	25,65	2,63	0,26
A6	10/11/10	5,15	5,25	5,09	348,39	215,63	347,60	132,76	0,79	131,97	0,60	0,01	25,68	25,74	2,63	0,23
A7	10/11/10	5,11	5,09	4,99	336,29	208,19	335,44	128,10	0,85	127,25	0,66	0,01	25,68	25,75	2,64	0,25
A8	10/11/10	5,12	5,04	5,11	327,49	202,42	326,58	125,07	0,91	124,16	0,73	0,01	25,61	25,68	2,63	0,28
A9	10/11/10	5,03	5,07	5,03	330,06	204,12	329,24	125,94	0,82	125,12	0,65	0,01	25,64	25,70	2,63	0,25
A10	10/11/10	5,06	5,02	5,05	326,77	202,07	326,00	124,70	0,77	123,93	0,62	0,01	25,64	25,70	2,63	0,24
A11	10/11/10	5,03	5,03	5,05	328,43	203,21	327,64	125,22	0,79	124,43	0,63	0,01	25,66	25,72	2,63	0,24
A12	10/11/10	5,08	5,04	4,97	323,64	200,35	322,80	123,29	0,84	122,45	0,68	0,01	25,68	25,74	2,64	0,26
A13	10/11/10	5,07	5,03	4,99	328,99	203,60	328,22	125,39	0,77	124,62	0,61	0,01	25,67	25,73	2,63	0,23
A14	10/11/10	5,00	5,03	5,02	329,96	204,19	329,20	125,77	0,76	125,01	0,60	0,01	25,67	25,73	2,63	0,23

ΠΙΝΑΚΑΣ 13

ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ
ΔΟΚΙΜΙΑ UCS TEST ROSA PORINO ΑΔΡΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ

								ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟ							
ΔΕΙΓΜΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΥΨΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (cm)	ΜΗΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (cm)	ΠΛΑΤΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (cm)	ΜΑΖΑ ΚΟΡΕΣ ΜΕΝΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ, M_{sat} (gr)	ΜΑΖΑ ΒΥΘΙΣ ΜΕΝΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ, M_{sub} (gr)	ΜΑΖΑ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ, M_s (gr)	ΟΓΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ, V_t (m^3)	ΟΓΚΟΣ ΚΕΝΩΝ, $V_v=(M_{sat}-M_s)/\rho_w$ (m^3)	ΟΓΚΟΣ ΣΤΕΡΕΩΝ, $V_s=V_t-V_v$ (m^3)	ΕΝΕΡΓΟ ΠΟΡΩΔΕΣ, n_{em} (%)	ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ, e	ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟ ΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ, γ_d (kN/m^3)	ΚΟΡΕΣ ΜΕΝΟ ΦΑΙΝΟ ΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ, γ_{sat} (kN/m^3)	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ, W_a (%)
ROSA PORINO	ΔΟΚΙΜΗΣ	l_1	l_2	l_3											
A1	10/11/10	5,05	5,02	5,05	327,47	202,48	326,71	128,02	0,76	127,26	0,59	0,01	25,03	25,09	0,23
A2	10/11/10	5,18	5,10	4,99	336,19	207,86	335,39	131,83	0,80	131,03	0,61	0,01	24,95	25,01	0,24
A3	10/11/10	5,11	5,02	5,04	330,26	204,47	329,53	129,29	0,73	128,56	0,56	0,01	25,00	25,05	0,22
A4	10/11/10	5,04	5,02	4,95	321,41	198,86	320,54	125,24	0,87	124,37	0,69	0,01	25,10	25,17	0,27
A5	10/11/10	5,17	4,98	5,10	333,70	206,12	332,85	131,31	0,85	130,46	0,65	0,01	24,86	24,92	0,26
A6	10/11/10	5,15	5,25	5,09	348,39	215,63	347,60	137,62	0,79	136,83	0,57	0,01	24,77	24,83	0,23
A7	10/11/10	5,11	5,09	4,99	336,29	208,19	335,44	129,79	0,85	128,94	0,65	0,01	25,35	25,41	0,25
A8	10/11/10	5,12	5,04	5,11	327,49	202,42	326,58	131,86	0,91	130,95	0,69	0,01	24,29	24,36	0,28
A9	10/11/10	5,03	5,07	5,03	330,06	204,12	329,24	128,28	0,82	127,46	0,64	0,01	25,17	25,23	0,25
A10	10/11/10	5,06	5,02	5,05	326,77	202,07	326,00	128,28	0,77	127,51	0,60	0,01	24,92	24,98	0,24
A11	10/11/10	5,03	5,03	5,05	328,43	203,21	327,64	127,77	0,79	126,98	0,62	0,01	25,15	25,21	0,24
A12	10/11/10	5,08	5,04	4,97	323,64	200,35	322,80	127,25	0,84	126,41	0,66	0,01	24,88	24,94	0,26
A13	10/11/10	5,07	5,03	4,99	328,99	203,60	328,22	127,26	0,77	126,49	0,61	0,01	25,29	25,35	0,23
A14	10/11/10	5,00	5,03	5,02	329,96	204,19	329,20	126,25	0,76	125,49	0,60	0,01	25,57	25,63	0,23

4.4. Προσδιορισμός UCS

4.4.1. Διαμόρφωση δοκιμίων

Τα δείγματα μορφώθηκαν σε κύβους πλευράς 50 ± 2 mm. Σύμφωνα με την ΕΛΟΤ 750 που χρησιμοποιήθηκε αυτές είναι οι διαστάσεις που προτείνονται για πετρώματα με μικρό πορώδες και ομοιογενή δομή. Τα άκρα του δοκιμίου θα πρέπει να είναι επίπεδα, λειασμένα και οι έδρες παράλληλες προς τον άξονα του δοκιμίου. Οι θλιβόμενες επιφάνειες ήταν καθαρές και απαλλαγμένες από λιπαρές ουσίες.

4.4.2. Εκτέλεση δοκιμής

Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας – Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Τα δοκίμια κόπηκαν και μορφώθηκαν με κατάλληλα μέσα και ξηράνθηκαν σύμφωνα με την προτεινόμενη μέθοδο. Η πρέσα που χρησιμοποιήθηκε είναι ικανή να ασκήσει δύναμη στο δοκίμιο μέχρι τα 1500 KN.



Εικόνα 15: Συσκευή (πρέσα) εκτέλεσης δοκιμής προσδιορισμού UCS

Εκτός από τον καταγραφέα που είναι ενσωματωμένος στην πρέσα, η συσκευή είναι συνδεδεμένη με δίκαναλο ηλεκτρικό καταγραφέα (ADAMTECH 4019) και Η/Υ με

κατάλληλο λογισμικό, όπου είναι δυνατή η μέτρηση της δύναμης που ασκείται στο δοκίμιο σε όλη τη φάση της δοκιμής όπως και της συμπίεσης με ηλεκτρονικό μηκυνσιόμετρο. Οι μετρήσεις που λαμβάνονται, καταγράφονται στο υπολογιστή ανά 1 sec (με επιλογή από το χρήστη) 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, πχ. αν το δείγμα παρουσίαζε μικροθραύσεις κατά τη δοκιμή, εκτίμηση των ελαστικών παραμέτρων του πετρώματος κ.ά. Το σύνολο των δειγμάτων που θραύστηκαν ήταν 24, 12 δείγματα από το κάθε είδος γρανίτη. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η κάτωθι:

1. Μετρήθηκαν οι τρεις κάθετοι μεταξύ τους άξονες των κυβικών δοκιμίων με ακρίβεια 0,1 mm, με τη λήψη του μέσου όρου τριών μετρήσεων της κάθε πλευράς.

2. Καταγράφηκε το βάρος (W) του δοκιμίου με ακρίβεια 0.1gr για τον υπολογισμό της πυκνότητας (φαινόμενο βάρος). Οι συνθήκες υγρασίας του δοκιμίου κατά τη δοκιμή καλό θα είναι να αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές και επιτόπου συνθήκες, κάτι που στην περίπτωση των συγκεκριμένων γρανιτών δεν ήταν δυνατό.

3. Το δοκίμιο τοποθετείται στη μηχανή φόρτισης (πρέσα) η οποία διαθέτει δύο χαλύβδινες πλάκες κυκλικού σχήματος και σκληρότητας όχι μικρότερης του HRC 58. Η μία από τις πλάκες έχει σφαιρική έδραση και η άλλη είναι άκαμπτη και επίπεδη. Οι πλάκες αυτές έχουν πάχος μεγαλύτερο των 15mm και οι επιφάνειες τους δεν θα πρέπει να αποκλίνουν του επιπέδου περισσότερο από 0.005mm. Το δοκίμιο, οι χαλύβδινες πλάκες και η σφαιρική έδραση είναι κεντρωμένα σε σχέση με τον άξονα φόρτισης.

4. Η εφαρμογή του φορτίου στο δοκίμιο ήταν συνεχής και αυξανόμενη βαθμιαία, με σταθερή ταχύτητα φόρτισης 0,5-1,0 MPa/sec. Η θραύση του δοκιμίου πρέπει να επέλθει μέσα σε 5 – 10 λεπτά..

5. Τα αποτελέσματα των δοκιμών καταγράφηκαν αυτόματα στη μονάδα H/Y και σχεδιάστηκε το σχέδιο θραύσης του δοκιμίου, δηλαδή τα κύρια επίπεδα στα οποία εκδηλώθηκε η θραύση.

4.4.3. Υπολογισμοί

Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, δημιουργήθηκε φύλλο Excel (Σχήμα 18), στο οποίο αναφέρονται τα στοιχεία του δοκιμίου που μετρήθηκαν: ύψος, πλάτος, βάρος, ενώ υπολογίζονται αυτόματα το εμβαδό της τετραγωνικής διατομής του δοκιμίου, ο όγκος του, το φαινόμενο βάρος, η ανοιγμένη παραμόρφωση και η τάση. Ο όγκος του δοκιμίου υπολογίστηκε μετρώντας το ύψος και το πλάτος του, με τη βοήθεια της σχέσης:

$$V = l_1 \times l_2 \times l_3$$

Όπου, V ο όγκος του δοκιμίου, και l_1 , l_2 , l_3 οι πλευρές του κύβου.

Το φαινόμενο βάρος του δοκιμίου υπολογίζεται από το λόγο βάρους προς τον όγκο του δοκιμίου:

$$\gamma_b = \frac{W}{V}$$

Όπου, γ_b το φαινόμενο βάρος, W το βάρος του δοκιμίου και V ο όγκος του.

Από το μαγνητικό αρχείο καταγραφής της δοκιμής, επιλέγονται 20-30 ζεύγη τιμών, (ανάλογα με το πλήθος των μετρήσεων για την κάθε δοκιμή) με την ένδειξη του μηκυνσιομέτρου σε mm και την αντίστοιχη δύναμη σε kN. Η επιλογή κάποιων μόνο από τις τιμές που καταγράφονται, γίνεται καθαρά για πρακτικούς λόγους, με δεδομένο ότι δεν μπορούν να απεικονίζονται σε ένα φύλλο παρουσίασης της δοκιμής όλες οι τιμές που καταγράφηκαν, που σε πολλές περιπτώσεις ανέρχονται σε μερικές εκατοντάδες. Από την ένδειξη του μηκυνσιομέτρου υπολογίζεται η ανηγμένη παραμόρφωση του δοκιμίου (ϵ), ενώ από τη δύναμη υπολογίζεται η τάση σε MPa.

Η αντοχή του δοκιμίου υπολογίζεται από τη σχέση :

$$UCS = \frac{P}{A}$$

Όπου, UCS : η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη σε kPa ή MPa

P : το μέγιστο φορτίο σε kN ή MN

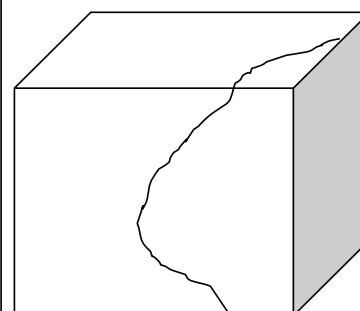
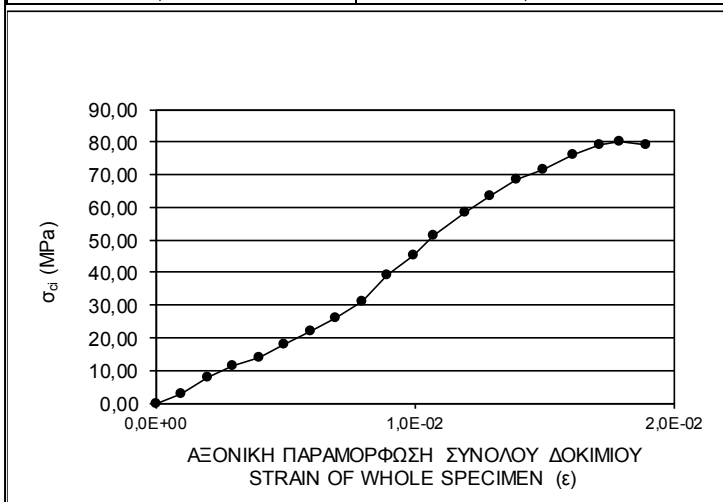
A : το εμβαδόν της διατομής του δοκιμίου σε m^2 .

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
 ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
 ΙΕΡΑ ΟΔΟΣ 75, 11855 ΑΘΗΝΑ
 ΤΗΛ. 210-5294157, 210-5294165
 FAX. 210-5294161
 EMAIL: bagm@aua.gr
 ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ Π. ΜΙΓΚΙΡΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
 ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,02
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	A1	ΔΙΑΜ. / DIAM. d (cm) :	5,05
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,35
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,0025351
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	7,51	9,96E-04	2,96
0,10	20,17	1,99E-03	7,96
0,15	28,30	2,99E-03	11,16
0,20	35,18	3,98E-03	13,88
0,25	45,28	4,98E-03	17,86
0,30	55,68	5,98E-03	21,96
0,35	66,08	6,97E-03	26,07
0,40	78,65	7,97E-03	31,02
0,45	99,26	8,96E-03	39,15
0,50	115,26	9,96E-03	45,47
0,54	130,33	1,08E-02	51,41
0,60	148,26	1,20E-02	58,48
0,65	160,28	1,29E-02	63,22
0,70	173,26	1,39E-02	68,34
0,75	181,78	1,49E-02	71,71
0,81	193,25	1,61E-02	76,23
0,86	200,40	1,71E-02	79,05
0,90	203,26	1,79E-02	80,18
0,95	200,10	1,89E-02	78,93



ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci} = **80,18 MPa**



Εκτέλεση: Εργαστήριο Ορυκτολογίας - Γεωλογίας Γ.Π.Α.

Σχήμα 18: Φύλλο παρουσίασης μονοαξονικής θλίψης

4.4.4. Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα των δοκιμών μετά τις μετρήσεις και τις καταγραφές, επεξεργάστηκαν με το φύλλο Excel που δημιουργήθηκε. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των δοκιμών, με τα στοιχεία κάθε δείγματος, παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες και αναλυτικά στο παράρτημα.

Πίνακας 14

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ UCS ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ BIANCO CRYSTAL

	ΥΨΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (cm) l_1	ΜΗΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (cm) l_2	ΠΛΑΤΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (cm) l_3	ΕΜΒΑΔΟΝ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (m ²)	ΔΥΝΑΜΗ (kN)	ΑΝΤΟΧΗ (Mpa)
Λ1	5,00	5,04	5,00	0,0025	353,87	140,42
Λ2	4,99	5,15	4,99	0,0026	451,87	175,84
Λ3	5,00	5,06	4,98	0,0025	268,29	106,47
Λ4	4,97	5,06	4,85	0,0025	348,10	141,84
Λ5	4,86	5,01	4,97	0,0025	347,88	139,71
Λ6	4,97	4,98	5,07	0,0025	338,88	134,22
Λ7	4,82	5,06	5,03	0,0025	465,70	182,97
Λ8	5,03	4,40	5,08	0,0022	206,47	92,37
Λ9	5,07	4,98	4,98	0,0025	238,37	96,12
Λ10	5,00	4,81	4,99	0,0024	116,23	48,43
Λ11	5,00	4,98	5,08	0,0025	176,18	69,64
Λ12	4,88	4,97	5,07	0,0025	218,78	86,82
Λ13	5,08	5,03	4,97	0,0025	220,35	87,28
Λ14	5,07	5,00	4,83	0,0024	133,29	55,19

Πίνακας 15

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ UCS ΑΔΡΟΚΟΚΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ROSA PORINO

	ΥΨΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (cm) l_1	ΜΗΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (cm) l_2	ΠΛΑΤΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (cm) l_3	ΕΜΒΑΔΟΝ ΔΙΑΤΟΜΗΣ (m ²)	ΔΥΝΑΜΗ (kN)	ΑΝΤΟΧΗ (Mpa)
A1	5,05	5,02	5,05	0,0025	203,26	80,18
A2	5,18	5,10	4,99	0,0025	192,36	75,59
A3	5,11	5,02	5,04	0,0025	196,85	77,80
A4	5,04	5,02	4,95	0,0025	186,84	75,19
A5	5,17	4,98	5,10	0,0025	120,46	47,43
A6	5,15	5,25	5,09	0,0027	219,07	81,98
A7	5,11	5,09	4,99	0,0025	111,64	43,95
A8	5,12	5,04	5,11	0,0026	132,75	51,54
A9	5,03	5,07	5,03	0,0026	94,95	37,23
A10	5,06	5,02	5,05	0,0025	162,48	64,09
A11	5,03	5,03	5,05	0,0025	262,17	103,21
A12	5,08	5,04	4,97	0,0025	217,75	86,93
A13	5,07	5,03	4,99	0,0025	312,80	124,62
A14	5,00	5,03	5,02	0,0025	219,95	87,11

4.5. Προσδιορισμός PLT

Οι δοκιμές PLT πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας – Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Εκτελέστηκαν δοκιμές με πρισματικού σχήματος δοκίμια. Συνολικά εκτελέστηκαν 40 δοκιμές σε λεπτοκοκκώδη και αδροκοκκώδη τύπο γρανίτη. 20 δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στα δοκίμια του γρανίτη Bianco Real (λεπτοκοκκώδης) και 20 δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στα δοκίμια του γρανίτη Rosa Beta (αδροκοκκώδης)

Ο προσδιορισμός της αντοχής σε σημειακή φόρτιση έγινε με τη συσκευή AG-34, η οποία πληρούσε τα ακόλουθα:

1. Είχε ικανότητα να δεχθεί δοκίμια με εύρος απόστασης των δύο αιχμών 15 – 100 mm ή και παραπάνω.
2. Η δύναμη φόρτισης ήταν αρκετή ώστε να μπορεί να θραύσει και το πιο ανθεκτικό δοκίμιο.
3. Ήταν σχεδιασμένη έτσι ώστε, να μην παρουσιάζει μόνιμη παραμόρφωση ύστερα από μεγάλο αριθμό συνεχόμενων δοκιμών. Οι ακίδες ήταν ομοαξονικές και δεν είχαν απόκλιση πάνω από 0,2mm.
4. Τα άκρα των ακίδων είναι κωνικά με γωνία 60° και πλάτος καμπυλότητας 5 mm.
5. Έγινε χειροκίνητη εφαρμογή της δύναμης.
6. Οι μετρήσεις που μπορούν να καταγράψουν τα μανόμετρα είχαν ακρίβεια +/-5% της συνολικής δύναμης που ασκήθηκε στο δοκίμιο. Το σύστημα ήταν ανθεκτικό σε υδραυλικές κρούσεις και σε δονήσεις ώστε τα αποτελέσματα να είναι ακριβή. Επειδή πολλές φορές η θραύση είναι ακαριαία, υπήρχε ένας δείκτης της δύναμης θραύσης που διατηρούσε την τιμή θραύσης έτσι ώστε αυτή να καταγραφεί.



Εικόνα 16: Συσκευή εκτέλεσης δοκιμής PLT

4.5.1. Διαμόρφωση δοκιμίων

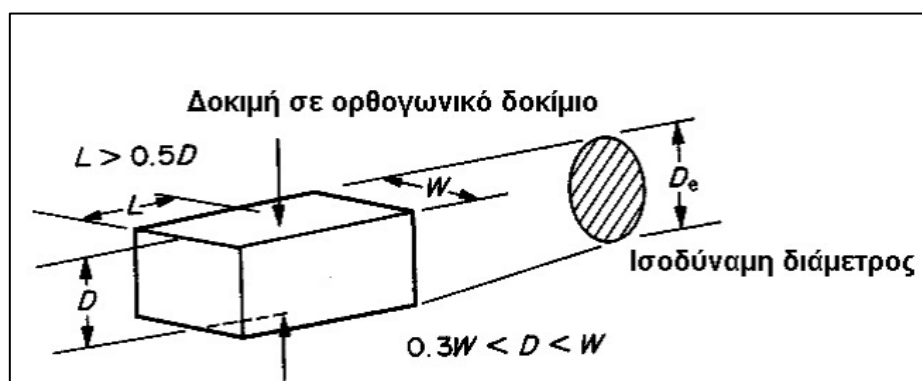
Στις δοκιμές προσδιορισμού αντοχής σε σημειακή φόρτιση, τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ορθογωνικού σχήματος με διαστάσεις μήκους 8 cm, πλάτους 4 cm και ύψους 3 cm. Οι διαστάσεις του δοκιμίου μετρήθηκαν με μικρόμετρο (παχύμετρο) σε τρία διαφορετικά σημεία κατά μήκος της κάθε πλευράς και η τελική διάσταση προέκυψε από το μέσο όρο των τριών μετρήσεων. Σύμφωνα με την ASTM D 5731-05, οι διαστάσεις αυτές καλύπτουν τις απαιτήσεις για την εκτέλεση της δοκιμής σε πρισματικού σχήματος δοκίμια. Η κοπή των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε στο εργοστάσιο της Ελληνικής Εταιρείας Γρανιτών.

4.5.2. Εκτέλεση δοκιμής

Για την εκτέλεση των δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν 20 δείγματα από τον κάθε τύπο γρανίτη. Σύμφωνα με τις απαιτήσεις της δοκιμής, το ήμισι του μήκους του δοκιμίου L , θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το ήμισι του ύψους του δοκιμίου D , που ταυτίζεται με την απόσταση των ακίδων. Επίσης ο λόγος D/W πρέπει να είναι μεταξύ 0,3 και 1.

Δηλαδή : $L > 0.5 D$ και $0,3W < D < W$

Λόγω της ομοιογένειας των δειγμάτων οι 20 δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε κάθε είδος, θεωρήθηκαν αρκετές.



Σχήμα 19: Δοκιμή σε ορθογωνικό δοκίμιο

Το δείγμα τοποθετήθηκε στη συσκευή και φέραμε τις ακίδες σε τέτοια θέση ώστε να έχουν επαφή με το δείγμα. Το σημείο που έγινε η άσκηση της πίεσης ήταν στο μέσο του ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου δοκιμίου, όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα και οι ακίδες είχαν σχέση καθετότητας με τις επιφάνειες στις οποίες εφάπτονταν.

Σε κάθε δοκιμή, αυξήσαμε το φορτίο σταθερά, έτσι ώστε η θραύση να γίνει μέσα σε χρονικό διάστημα από 10 έως 60 sec και καταγράψαμε τη δύναμη θραύσης. Η διαδικασία επαναλήφθηκε για το σύνολο των δοκιμών και όλες οι δοκιμές υπήρξαν επιτυχείς.

4.5.3. Υπολογισμοί

Ο συντελεστής I_s , δίνεται από τη σχέση:

$$I_s = \frac{P}{D_e^2}$$

με D_e την ισοδύναμη απόσταση μεταξύ των ακίδων και P το φορτίο αστοχίας σε kN.

Για την εκτίμηση της αντοχής σε σημειακή φόρτιση του δείγματος, χρησιμοποιούμε τον διορθωμένο δείκτη σημειακής φόρτισης $I_{s(50)}$ που δίνεται από τη σχέση

$$I_{s(50)} = \left(\frac{D}{50}\right)^{0.45} * I_s$$

Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, δημιουργήθηκε φύλλο excel,, στο οποίο εισάγονται τα στοιχεία του δοκιμίου, οι διαστάσεις του και η δύναμη θραύσης και το σχήμα θραύσης. Στο φύλλο υπολογίζονται αυτόματα το I_s και το $I_{s(50)}$.




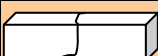
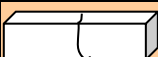



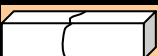

4.5.4. Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα των δοκιμών μετά τις μετρήσεις και τις καταγραφές, επεξεργάστηκαν σε φύλλο excel. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των δοκιμών, με τα στοιχεία κάθε δείγματος, παρουσιάζονται στους πίνακες 16, 17, 18 και 19.

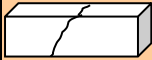




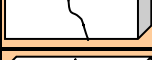


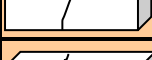

Πίνακας 16: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα PLT για τα δοκίμια M1 – M10

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ (POINT LOAD TEST)

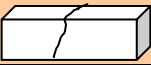


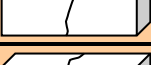

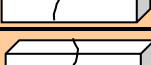
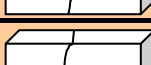
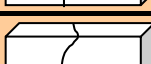


ΗΜ/ΝΙΑ: 9/3/2011

ΔΟΚΙΜΙΟ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	D (mm)	L (mm)	A (bar)	De (mm)	F (Nt)	Is (Mpa)	K	Is-50 (Mpa)	ΣΧΗΜΑ ΘΡΑΥΣΗΣ
M1	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	31,5	39,4	12,8	39,8	12800	8,10	0,90	7,31	
M2	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	31,2	39,6	13,8	39,7	13800	8,77	0,90	7,90	
M3	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	31,5	39,4	13,3	39,8	13300	8,42	0,90	7,59	
M4	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	31,4	39,5	14,6	39,7	14600	9,25	0,90	8,34	
M5	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	31,5	39,3	15,3	39,7	15300	9,71	0,90	8,75	
M6	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	31,5	39,8	14,8	40,0	14800	9,27	0,90	8,38	
M7	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	31,4	39,6	13,9	39,8	13900	8,78	0,90	7,92	
M8	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	31,5	39,6	13,9	39,9	13900	8,75	0,90	7,90	
M9	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	31,5	39,4	13	39,8	13000	8,23	0,90	7,42	
M10	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	31,4	39,6	14	39,8	14000	8,84	0,90	7,98	

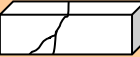









Πίνακας 17: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα PLT για τα δοκίμια M11 – M20

<p style="text-align: center;">ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ (POINT LOAD TEST)</p> <p style="text-align: right;">HM/NIA: 9/3/2011</p>												
ΔΟΚΙΜΙΟ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	D (mm)	L (mm)	A (bar)	De (mm)	F (Nt)	Is (Mpa)	K	Is-50 (Mpa)	ΣΧΗΜΑ ΘΡΑΥΣΗΣ
M11	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	31,5	39,4	13,3	39,8	13300	8,42	0,90	7,59	
M12	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	31,3	39,6	13,5	39,7	13500	8,55	0,90	7,71	
M13	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	31,4	40,0	13,8	40,0	13800	8,63	0,90	7,80	
M14	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	31,5	39,8	14,1	40,0	14100	8,83	0,90	7,99	
M15	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	31,5	39,6	14,3	39,9	14300	9,00	0,90	8,13	
M16	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	31,5	39,9	13,8	40,0	13800	8,62	0,90	7,80	
M17	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	31,4	39,7	14,9	39,8	14900	9,39	0,90	8,48	
M18	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	31,3	39,8	14,1	39,8	14100	8,89	0,90	8,02	
M19	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	31,5	40,2	13,8	40,2	13800	8,56	0,91	7,75	
M20	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	31,5	39,8	14,3	40,0	14300	8,96	0,90	8,10	

Πίνακας 18: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα PLT για τα δοκίμια X1 – X10

<p style="text-align: center;">ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ (POINT LOAD TEST)</p> <p style="text-align: right;">ΗΜ/ΝΙΑ: 9/3/2011</p>												
ΔΟΚΙΜΙΟ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	D (mm)	L (mm)	A (bar)	De (mm)	F (Nt)	Is (Mpa)	K	Is-50 (Mpa)	ΣΧΗΜΑ ΘΡΑΥΣΗΣ
X1	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	29,3	40,2	10,8	38,7	10800	7,20	0,89	6,42	
X2	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	29,5	40,7	11,1	39,1	11100	7,26	0,90	6,50	
X3	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	28,6	40,1	9,2	38,2	9200	6,30	0,89	5,58	
X4	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	29,2	40,2	7,8	38,7	7800	5,22	0,89	4,65	
X5	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	29,8	40,3	12	39,1	12000	7,85	0,90	7,03	
X6	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	28,5	40,8	10,9	38,5	10900	7,36	0,89	6,54	
X7	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	28,4	40,6	7,7	38,3	7700	5,24	0,89	4,65	
X8	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	28,4	40,6	9,5	38,3	9500	6,47	0,89	5,74	
X9	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	28,5	40,3	11,6	38,2	11600	7,93	0,89	7,03	
X10	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκιμίου	29,2	39,9	11	38,5	11000	7,42	0,89	6,59	

Πίνακας 19: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα PLT για τα δοκίμια Χ11 – Χ20

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ (POINT LOAD TEST)												
HM/ΝΙΑ: 9/3/2011												
ΔΟΚΙΜΙΟ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	D (mm)	L (mm)	A (bar)	De (mm)	F (Nt)	Is (Mpa)	K	Is-50 (Mpa)	ΣΧΗΜΑ ΘΡΑΥΣΗΣ
Χ11	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκίμιου	28,6	40,4	10	38,4	10000	6,80	0,89	6,03	
Χ12	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκίμιου	29,7	40,3	9,3	39,0	9300	6,10	0,89	5,46	
Χ13	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκίμιου	28,4	40,4	8,8	38,2	8800	6,02	0,89	5,34	
Χ14	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκίμιου	29,6	40,5	11,5	39,1	11500	7,53	0,89	6,74	
Χ15	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκίμιου	29,5	40,3	9,8	38,9	9800	6,47	0,89	5,78	
Χ16	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκίμιου	28,6	40	9,9	38,2	9900	6,80	0,89	6,02	
Χ17	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκίμιου	28,4	40,2	9,1	38,1	9100	6,26	0,89	5,54	
Χ18	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκίμιου	29,4	40,4	10,6	38,9	10600	7,01	0,89	6,26	
Χ19	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκίμιου	28,5	40	10,8	38,1	10800	7,44	0,88	6,58	
Χ20	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0	Ορθογωνικού δοκίμιου	29,4	40	9,5	38,7	9500	6,34	0,89	5,65	

5. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1. Διαστάσεις και μηχανικά χαρακτηριστικά δοκιμίων

Τα δοκίμια που επιλέξαμε για να γίνουν οι δοκιμές ήταν 68, εκ των οποίων 40 χρησιμοποιήθηκαν για τις δοκιμές PLT και 28 για τις δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης. Διαμορφώθηκαν έτσι ώστε να πληρούν όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την εκτέλεση των δοκιμών. Γενικά δεν παρουσίαζαν εμφανείς ασυνέχειες ή έντονες εξαλλοιώσεις. Όλα τα δείγματα κορέστηκαν στη συσκευή κενού και ξηράθηκαν σύμφωνα με τις προτεινόμενες μεθόδους.

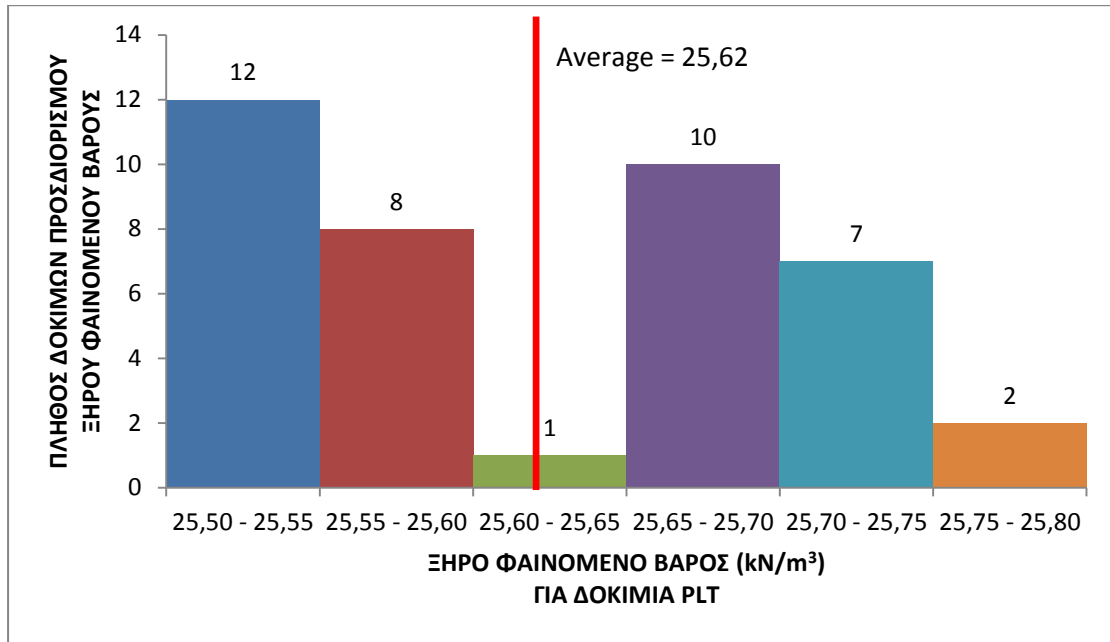
➤ Δοκίμια PLT

Το μήκος των δοκιμίων PLT κυμάνθηκε από 7,97 έως 8,10 cm, το πλάτος L από 3,93 έως 4,08 cm και το ύψος D από 2,84 έως 3,15 cm και στους δύο τύπους δειγμάτων (μικροκρυσταλλικά και αδροκρυσταλλικά). Με τη μέθοδο της άνωσης, το ξηρό φαινόμενο βάρος των δοκιμίων κυμάνθηκε από 25,51 έως 25,76 kN/m³ με μέση τιμή 25,62 kN/m³, το ενεργό πορώδες από 0,36 έως 0,62% με μέση τιμή 0,49% και η απορρόφηση W από 0,14 έως 0,26%, με μέση τιμή 19%. Οι τιμές του $I_{s(50)}$ που εμφάνισαν τα δοκίμια στη σημειακή φόρτιση μετρήθηκαν μεταξύ 4,65 MPa και 8,75 MPa με μέση τιμή 6,97 MPa.

➤ Δοκίμια UCS

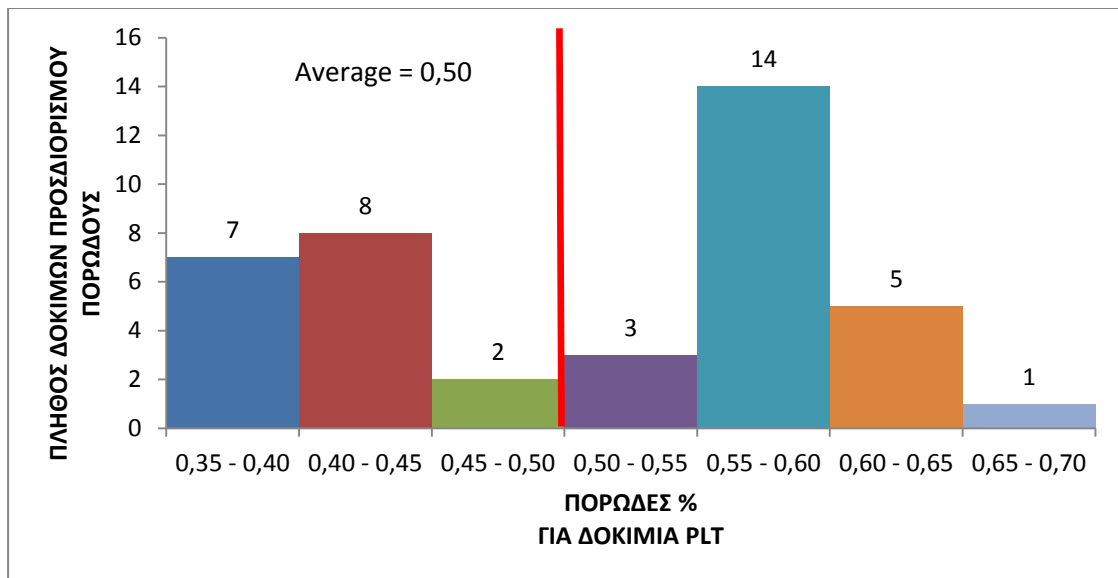
Οι διαστάσεις των κυβικών δοκιμίων που χρησιμοποιήθηκαν για τις δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης κυμάνθηκαν, από 4,40 cm έως 5,25 cm με μέση τιμή 5,02 cm και στους δύο τύπους δειγμάτων (μικροκρυσταλλικά και αδροκρυσταλλικά). Με τη μέθοδο της άνωσης το ξηρό φαινόμενο βάρος των δοκιμίων κυμάνθηκε από 25,54 έως 25,69 kN/m³, με μέση τιμή 25,61 kN/m³, το ενεργό πορώδες από 0,58 έως 0,79% με μέση τιμή 0,67% και η απορρόφηση W από 0,22 έως 0,30% με μέση τιμή 0,26%. Οι αντοχές που εμφάνισαν τα δοκίμια στην μονοαξονική θλίψη μετρήθηκαν μεταξύ 37,23 MPa και 182,97 MPa με μέση τιμή 88,99 MPa.

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία για τις παραπάνω μετρήσεις. Η πινακοποίηση των αποτελεσμάτων έγινε σε λογιστικό φύλλο Excel.



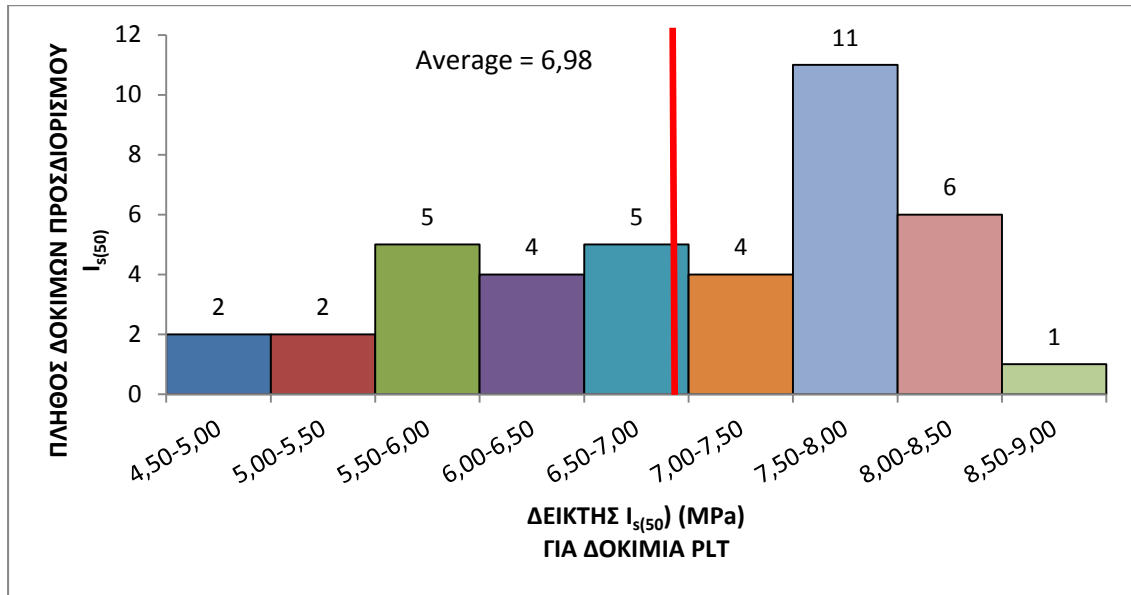
ΠΛΗΘΟΣ	ΕΥΡΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΣΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΦΑΛΜΑ
40	0,25	25,76	25,51	25,62	0,079	0,012

Σχήμα 20: Ιστόγραμμα του φαινομένου βάρους των δοκιμών που εκτελέστηκαν δοκιμές σημειακής φόρτισης.



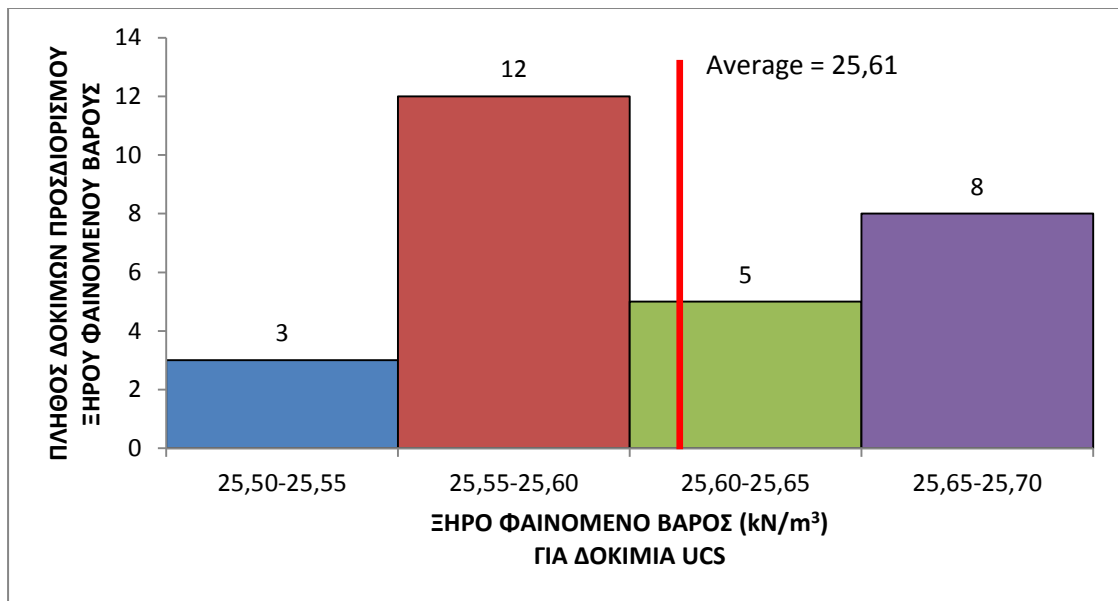
ΠΛΗΘΟΣ	ΕΥΡΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΣΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΦΑΛΜΑ
40	0,31	0,67	0,36	0,50	0,090	0,014

Σχήμα 21: Ιστόγραμμα του πορώδους των δοκιμών που εκτελέστηκαν δοκιμές σημειακής φόρτισης.



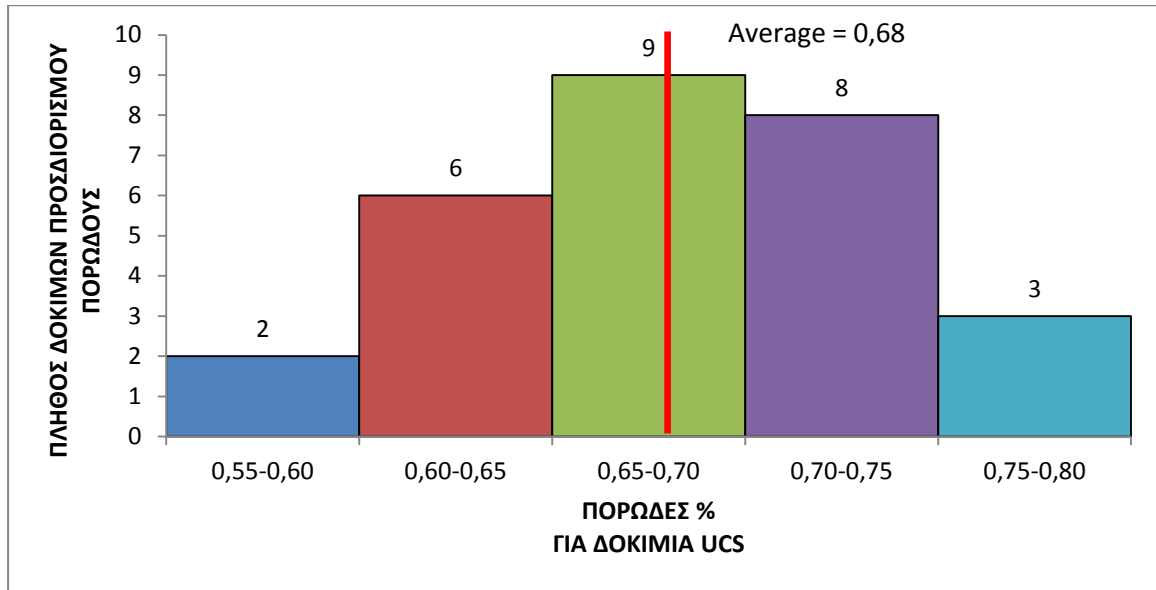
ΠΛΗΘΟΣ	ΕΥΡΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΣΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΦΑΛΜΑ
40	4,10	8,75	4,65	6,98	1,121	0,177

Σχήμα 22: Ιστόγραμμα της αντοχής I_{s50} των δοκιμών που εκτελέστηκαν δοκιμές σημειακής φόρτισης.



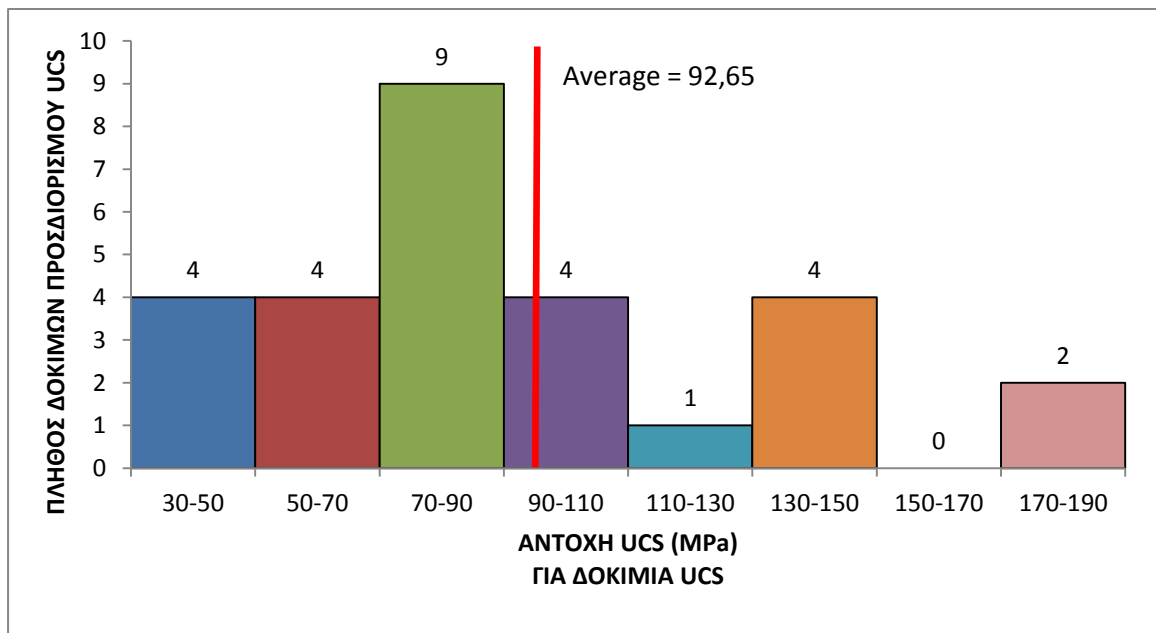
ΠΛΗΘΟΣ	ΕΥΡΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΣΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΦΑΛΜΑ
28	0,15	25,69	25,54	25,61	0,057	0,010

Σχήμα 23: Ιστόγραμμα του φαινομένου βάρους των δοκιμών που εκτελέστηκαν δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης.



ΠΛΗΘΟΣ	ΕΥΡΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΣΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΦΑΛΜΑ
28	0,21	0,79	0,58	0,68	0,057	0,011

Σχήμα 24: Ιστόγραμμα του πορώδους των δοκιμών που εκτελέστηκαν δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης.



ΠΛΗΘΟΣ	ΕΥΡΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΣΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΣΦΑΛΜΑ
28	145,74	182,97	37,23	92,65	38,564	7,288

Σχήμα 25: Ιστόγραμμα της αντοχής ανεμπόδιστης θλίψης των δοκιμών που εκτελέστηκαν δοκιμές μονοαξονικής θλίψης.

Από τα στατιστικά στοιχεία που προκύπτουν από τα παραπάνω διαγράμματα, φαίνεται ότι το εύρος τιμών των περισσότερων ιδιοτήτων που απεικονίζονται (εκτός από τις αντοχές), είναι πολύ μικρό. Για το ξηρό φαινόμενο βάρος και το πορώδες, φαίνεται ότι οι αλλαγές στις τιμές των δοκιμών συμβαίνουν στο πρώτο δεκαδικό ψηφίο. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η αξιολόγηση των δεδομένων αφορά γρανίτες παραπλήσιας πετρογενετικής προέλευσης των οποίων οι διαστάσεις και τα φυσικά χαρακτηριστικά παρουσιάζουν πολύ μικρές διαφοροποιήσεις. Σαν αποτέλεσμα, οι τιμές αυτών των ιδιοτήτων παρουσιάζουν πολύ μικρή διακύμανση.

Το μικρό εύρος διακύμανσης των επιμέρους παραμέτρων, σε συνάρτηση με το μέγεθος του στατιστικού σφάλματος της κάθε ιδιότητας (πορώδες, ξηρό φαινόμενο βάρος κτλ.), είχε σαν αποτέλεσμα τα διαγράμματα συσχέτισης που προέκυψαν από το συσχετισμό των ιδιοτήτων να μην εμφανίζουν ιδιαίτερα καλούς συντελεστές συσχέτισης.

5.2. Διαγράμματα συσχέτισης

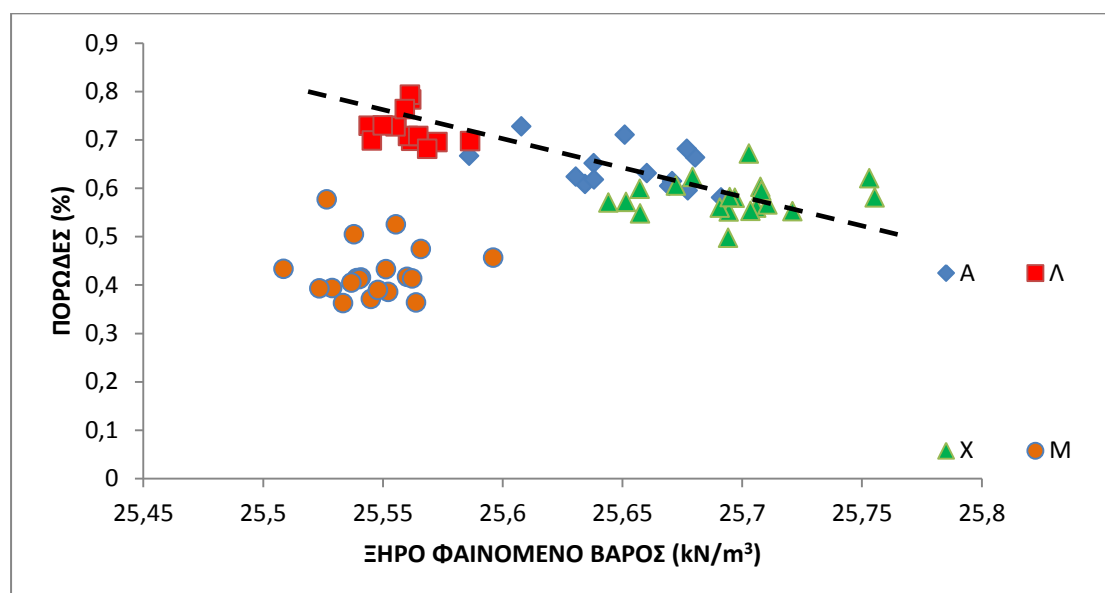
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται κάποια από τα διαγράμματα συσχέτισης που προέκυψαν από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Όπως φαίνεται από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, οι τιμές των ιδιοτήτων των δοκιμών έχουν πολύ μικρή διακύμανση λόγω της μεγάλης ομοιομορφίας των δοκιμών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα και η παραμικρή αυξομείωση μιας τιμής, να μας δίνει διαγράμματα όχι πολύ καλής συσχέτισης.

Στο Σχήμα 26, απεικονίζονται όλα τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εργασία (PLT και UCS), και παρουσιάζεται η συσχέτιση της ξηρής πυκνότητας και του πορώδους. Παρατηρώντας το διάγραμμα διασποράς, μπορεί κανείς να δει ότι η ομάδα των δειγμάτων με κωδική ονομασία M, πέφτει εκτός της νοητής γραμμής που συνδέει τις άλλες τρεις ομάδες. Μετά την ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων από τη μελέτη των λεπτών τομών, βρέθηκε ότι η ομάδα M περιέχει περισσότερα ορυκτά με χαμηλότερο ειδικό βάρος και λιγότερα ορυκτά με μεγάλο ειδικό βάρος σε σχέση με τις άλλες τρεις ομάδες δειγμάτων. Στον πίνακα 20 φαίνονται οι αναλογίες στα κυριότερα ορυκτά και τα αντίστοιχα ειδικά τους βάρη.

Πίνακας 20: Συμμετέχοντα ορυκτά και αντίστοιχα ειδικά βάρη

	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	Λ (λεπτόκοκκο)	Μ (λεπτόκοκκο)	Α (αδρόκοκκο)	Χ (αδρόκοκκο)
ΧΑΛΑΖΙΑΣ	2,65	38 %	42 %	34 %	35 %
ΑΛΚΑΛΙΚΟΙ ΑΣΤΡΙΟΙ	2,60	47 %	45 %	45 %	40 %
ΟΛΙΓΟΚΛΑΣΤΟ	2,80	7 %	7 %	15 %	17 %
ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΕΣ (ΒΙΟΤΙΤΗΣ)	3,00	7 %	5 %	5 %	7 %
ΑΔΙΑΦΑΝΗ ΟΡΥΚΤΑ		1 %	1 %	1 %	1 %



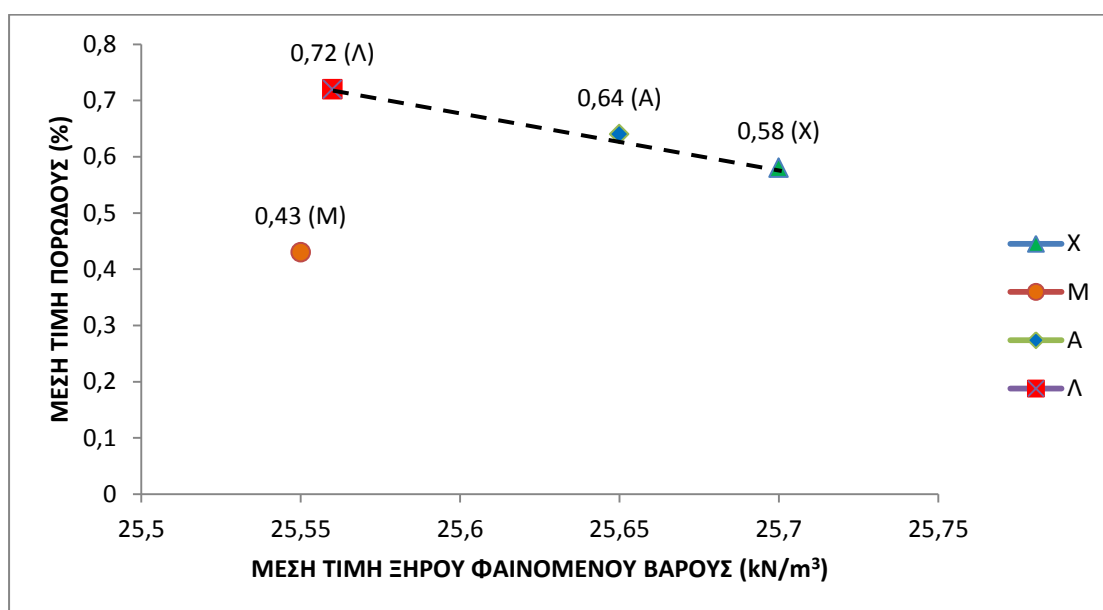
A : Rosa Porino (αδρόκοκκο, UCS tests)	X : Rosa Beta (αδρόκοκκο, PLT tests)
Λ :Bianco Crystal (λεπτόκοκκο, UCS tests)	M : Bianco Real (λεπτόκοκκο, PLT tests)

Σχήμα 26: Διάγραμμα συσχέτισης ξηρού φαινόμενου βάρους – πορώδους για όλα τα δοκίμια. Διακρίνονται οι ομάδες με διαφορετικά χρώματα.

Στον πίνακα 21 φαίνονται οι μέσες τιμές για το πορώδες και το ξηρό φαινόμενο βάρος για κάθε ένα από τα τέσσερα είδη γρανίτη που εξετάστηκαν. Στη συνέχεια έγινε το διάγραμμα διασποράς των μέσων τιμών (Σχήμα 27).

Πίνακας 21: Μέσες τιμές πορώδους και ξηρού φαινόμενου βάρους για όλα τα δοκίμια

	ΕΝΕΡΓΟ ΠΟΡΩΔΕΣ (μέση τιμή, %)	ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ (μέση τιμή, kN/m ³)
X	0,58	25,7
M	0,43	25,55
A	0,64	25,65
Λ	0,72	25,56



A : Rosa Porino (αδρόκοκκο, UCS tests)	X : Rosa Beta (αδρόκοκκο, PLT tests)
Λ :Bianco Crystal (λεπτόκοκκο, UCS tests)	M : Bianco Real (λεπτόκοκκο, PLT tests)

Σχήμα 27: Διάγραμμα διασποράς μέσω των τιμών ξηρού φαινόμενου βάρους – πορώδους για όλα τα δοκίμια.

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 20, η ομάδα M περιέχει το μεγαλύτερο ποσοστό χαλαζία (45%), με ειδικό βάρος σχετικά χαμηλό σε σχέση με τα άλλα ορυκτά (2,65). Επίσης περιέχει χαμηλό ποσοστό φυλλοπυριτικών ορυκτών (βιοτίτης 7%), με ειδικό βάρος σχετικά μεγάλο (3,00) σε σχέση με τα άλλα ορυκτά που συναντάμε.

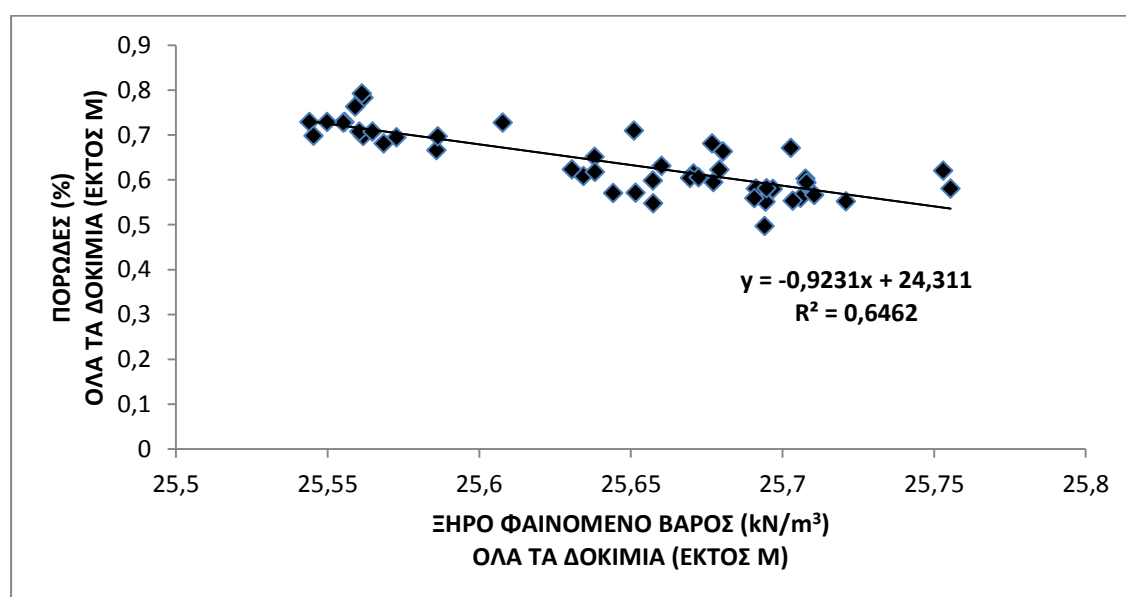
Έτσι στο διάγραμμα που παρουσιάζονται οι μέσες τιμές του πορώδους και του ξηρού φαινόμενου βάρους, οι τιμές των δοκιμίων M φαίνεται ότι δεν ακολουθούν τον γενικό κανόνα ότι: Όσο μειώνεται το πορώδες, αυξάνεται η ξηρή πυκνότητα, δηλαδή το ξηρό φαινόμενο βάρος.

Στο παρακάτω διάγραμμα του σχήματος 28, έχουν αφαιρεθεί τα δοκίμια M, λόγω της ιδιομορφίας τους και παρουσιάζεται η συσχέτιση του ξηρού φαινομένου βάρους με το πορώδες για τα υπόλοιπα δείγματα.

Ο δείκτης R, δείχνει την τάση συσχέτισης των δύο εξεταζόμενων μεγεθών και σύμφωνα με αυτόν κατατάσσουμε τις συσχετίσεις με βάση τον πίνακα 22.

Πίνακας 22: Κατάταξη συσχέτισης

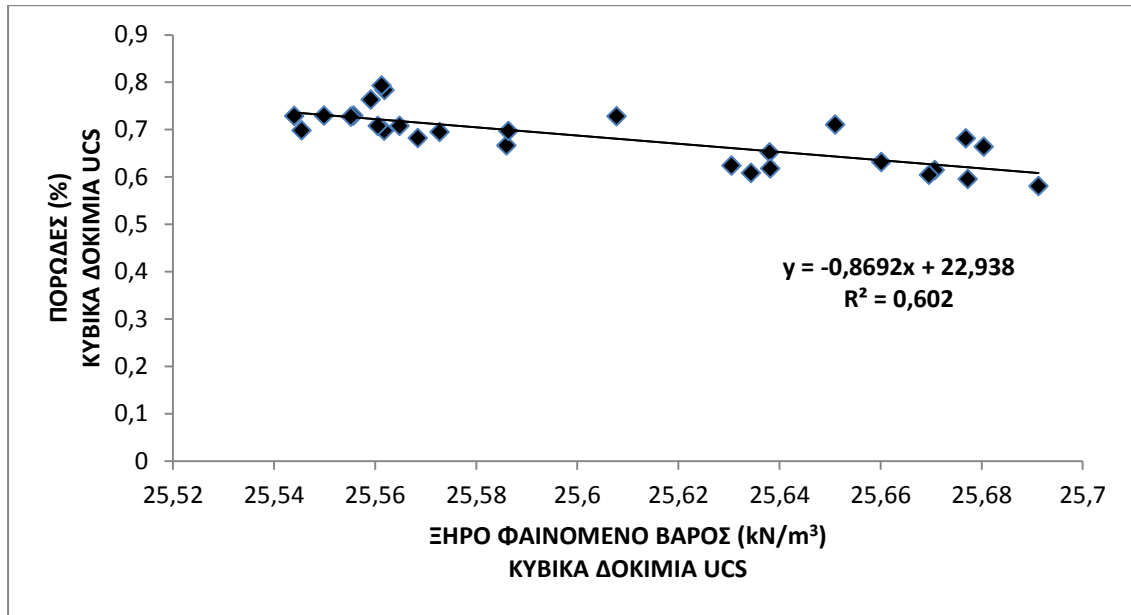
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ R^2
ΠΤΩΧΗ	< 0,50
ΜΕΤΡΙΑ	0,50 – 0,70
ΚΑΛΗ	> 0,70



Σχήμα 28: Διάγραμμα συσχέτισης ξηρού φαινομένου βάρους - πορώδους για όλα τα δοκίμια.

Η γραμμική συσχέτιση περιγράφεται από την σχέση : $n_{es} = -0,9231\gamma_d + 24,311$
 Με μέτριο βαθμό συσχέτισης $R^2 = 0,6462$, $R = 0,8039$.

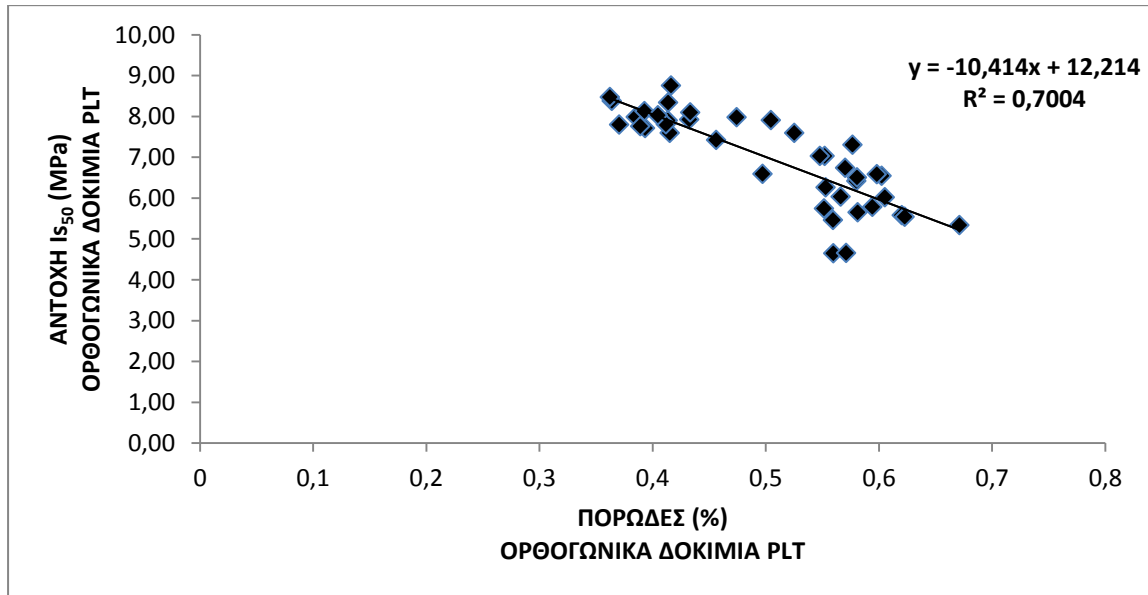
Στο διάγραμμα του σχήματος 29, φαίνεται η συσχέτιση του ξηρού φαινομένου βάρους με το πορώδες για τα κυβικά δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν στη μονοαξονική θλίψη.



Σχήμα 29: Διάγραμμα συσχέτισης ξηρού φαινόμενου βάρους - πορώδους για τα δοκίμια που έγινε δοκιμή μονοαξονικής θλίψης.

Η γραμμική συσχέτιση περιγράφεται από την σχέση : $n_{es} = -0,8692\gamma_d + 22,938$

Με μέτριο βαθμό συσχέτισης $R^2 = 0,602$, $R = 0,776$.



Σχήμα 30: : Διάγραμμα συσχέτισης πορώδους – δείκτη Is_{50} για τα δοκίμια που έγινε δοκιμή σημειακής φόρτισης.

Η γραμμική συσχέτιση περιγράφεται από την σχέση : $Is_{50} = -10,414n_{es} + 12,214$

Με αρκετά καλό βαθμό συσχέτισης $R^2 = 0,7004$, $R = 0,8369$.

Στο διάγραμμα του σχήματος 30, φαίνεται η συσχέτιση του πορώδους με την αντοχή σε σημειακή φόρτιση των ορθογωνικών δοκιμίων.

Το αρνητικό πρόσημο στις συναρτήσεις δηλώνει ότι τα συσχετιζόμενα μεγέθη είναι αντιστρόφως ανάλογα.

Επιλέχθηκε να προβληθεί το διάγραμμα πορώδους – I_{s50} , επειδή η δοκιμή της σημειακής φόρτισης θεωρήθηκε πιο αξιόπιστη για την εκτίμηση της αντοχής του πετρώματος, καθώς είναι πιο απλή από τη μονοαξονική θλίψη και δεν υπεισέρχονται πολλοί παράγοντες που μπορούν να αυξήσουν το σφάλμα της δοκιμής, όπως η επιπεδότητα των πλευρών των δοκιμίων, η ταχύτητα θραύσης κτλ.

Χρησιμοποιώντας τη σχέση που συνδέει την αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη με την αντοχή σε σημειακή φόρτιση των Bieniawski (1975) και Broch και Franklin (1972), ο δείκτης I_{s50} δίνεται από τη σχέση:

$$I_{s50} = \frac{UCS}{24}$$

Η σχέση αυτή χρησιμοποιήθηκε σχεδόν καταχρηστικά, αφού θα έπρεπε να έχει προηγηθεί διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ UCS και I_{s50} , ώστε να προκύψει η γραμμική σχέση που συνδέει τα δύο αυτά μεγέθη για τα συγκεκριμένα πετρώματα. Δεν υπήρχε όμως η δυνατότητα να πραγματοποιηθούν δοκιμές PLT και UCS στα ίδια δείγματα γρανίτη, ώστε να προκύψει η ακριβής συσχέτιση. Έτσι, λόγω ελλείψεως δεδομένων χρησιμοποιείται η παραπάνω σχέση από τη βιβλιογραφία που αφορά σκληρά πετρώματα.

Προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα συσχέτισης πορώδους – αντοχής για όλους τους γρανίτες που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίνακας 23: Συγκεντρωτικές τιμές πορώδους – δείκτη I_{s50}

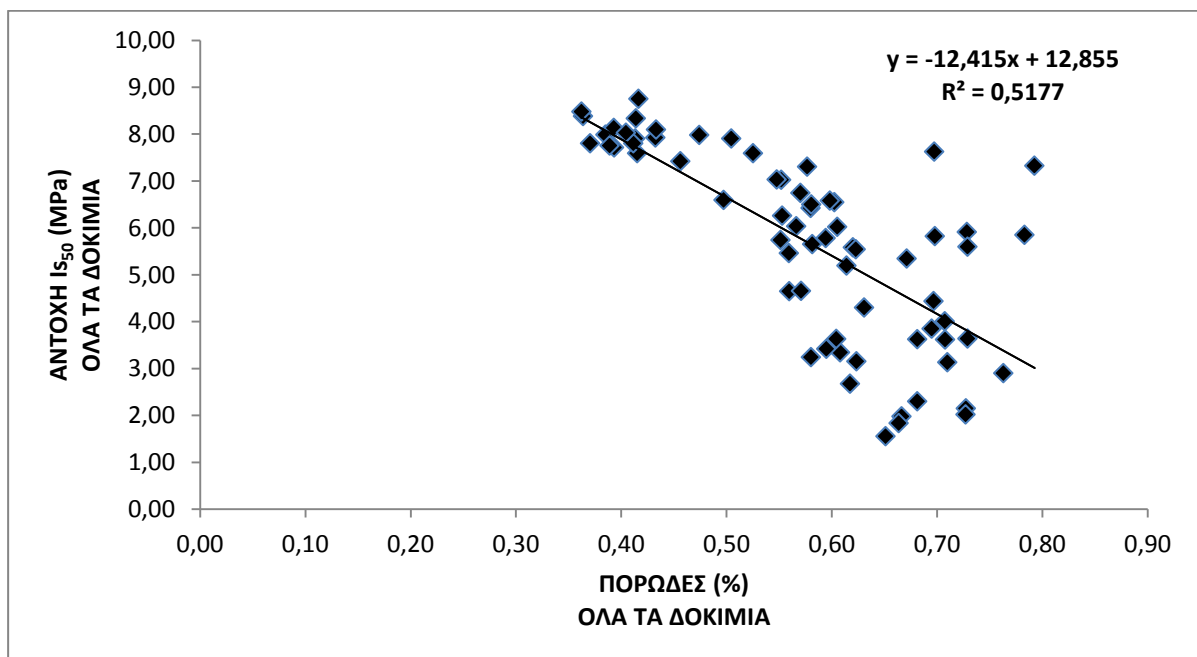
ΕΝΕΡΓΟ ΠΟΡΩΔΕΣ (%)	ΑΝΤΟΧΗ I_{s50} (MPa)
0,61	3,34
0,62	3,15
0,58	3,24
0,71	3,13
0,67	1,98
0,60	3,42
0,66	1,83
0,73	2,15
0,65	1,55

0,62	2,67
0,63	4,30
0,68	3,62
0,61	5,19
0,60	3,63
0,78	5,85
0,79	7,33
0,70	4,44
0,73	5,91
0,70	5,82
0,73	5,59
0,70	7,62
0,69	3,85
0,71	4,01
0,73	2,02
0,76	2,90
0,71	3,62
0,73	3,64
0,68	2,30
0,58	6,42
0,58	6,50
0,62	5,58
0,56	4,65
0,55	7,03
0,60	6,54
0,57	4,65
0,55	5,74
0,55	7,03
0,50	6,59
0,57	6,03
0,56	5,46
0,67	5,34
0,57	6,74
0,59	5,78
0,61	6,02
0,62	5,54
0,55	6,26
0,60	6,58
0,58	5,65
0,58	7,31
0,50	7,90
0,53	7,59
0,41	8,34
0,42	8,75
0,36	8,38
0,43	7,92

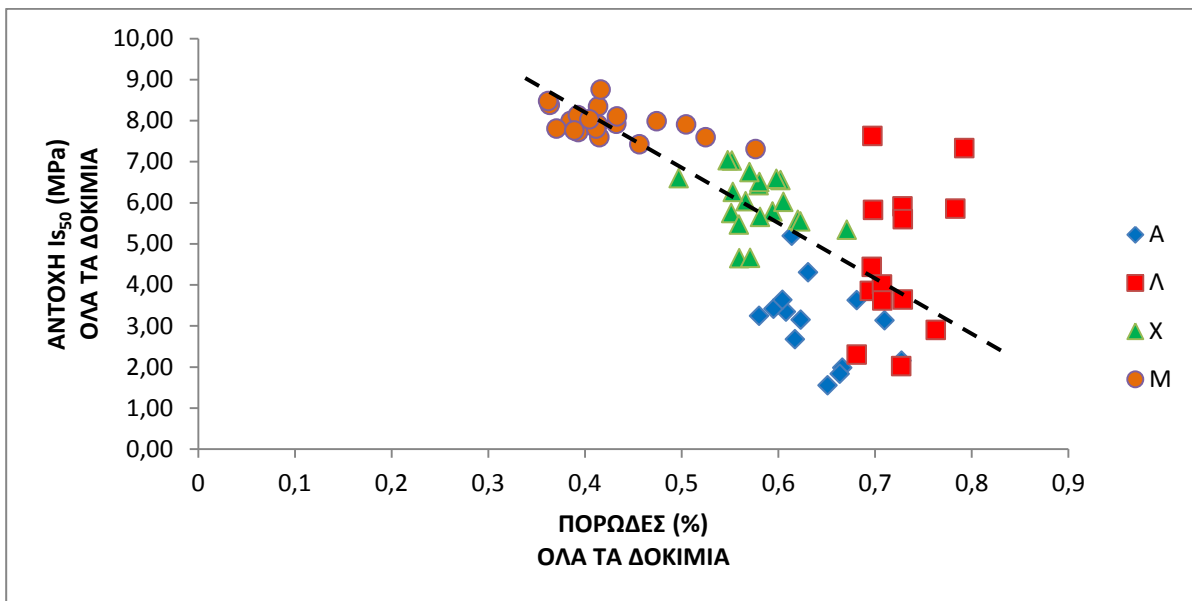
0,41	7,90
0,46	7,42
0,47	7,98
0,42	7,59
0,39	7,71
0,41	7,80
0,39	7,99
0,39	8,13
0,37	7,80
0,36	8,48
0,40	8,02
0,39	7,75
0,43	8,10

Πίνακας 24: Διακύμανση τιμών πορώδους και δείκτη I_{s50}

	ΠΟΡΩΔΕΣ (%)	I_{s50} (MPa)
ΕΛΑΧΙΣΤΟ	0,36	1,55
ΜΕΓΙΣΤΟ	0,79	8,75
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	0,58	5,69
ΕΥΡΟΣ	0,43	7,20



Σχήμα 31: Διάγραμμα συσχέτισης πορώδους – δείκτη I_{s50} για όλα τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν.

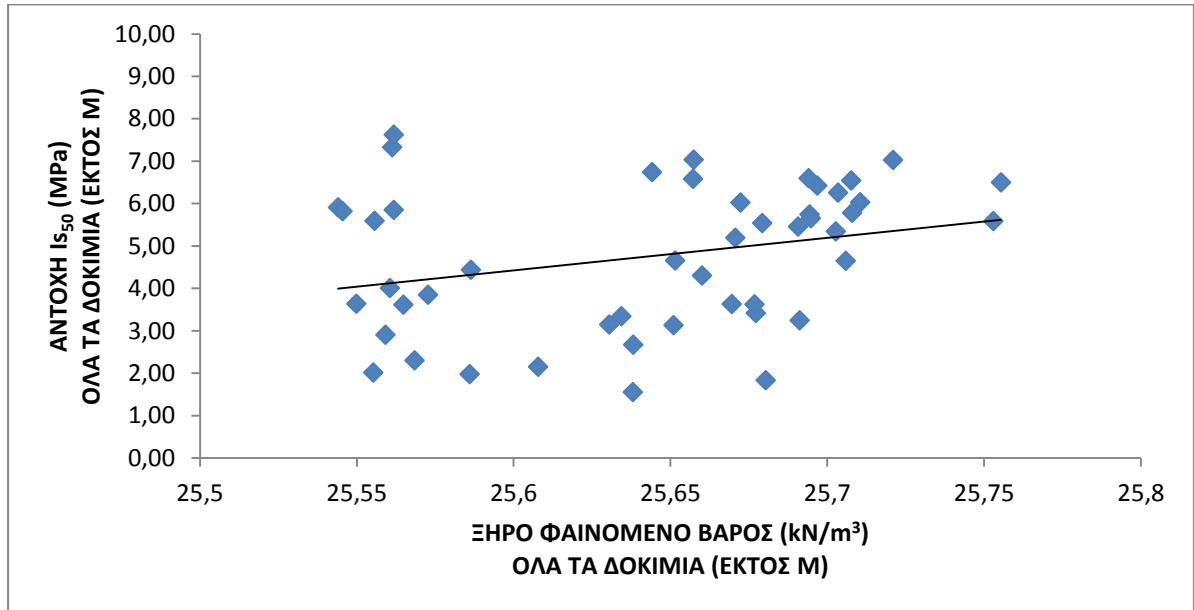


A : Rosa Porino (αδρόκοκκο, UCS tests)	X : Rosa Beta (αδρόκοκκο, PLT tests)
Λ : Bianco Crystal (λεπτόκοκκο, UCS tests)	M : Bianco Real (λεπτόκοκκο, PLT tests)

Σχήμα 32: Διάγραμμα συσχέτισης πορώδους – δείκτη Is_{50} για όλα τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν. Διακρίνονται οι ομάδες με διαφορετικά χρώματα.

Η γραμμική συσχέτιση περιγράφεται από την σχέση : $Is_{50} = -12,415n_{es} + 12,855$
 Με μέτριο βαθμό συσχέτισης $R^2 = 0,5177$, $R = 0,7195$.

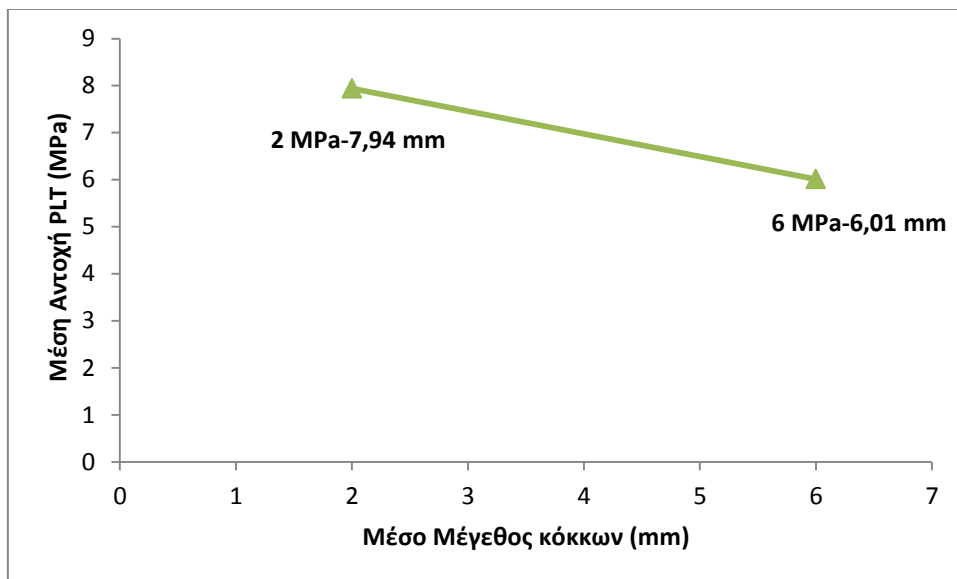
Το διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ του ξηρού φαινόμενου βάρους και της αντοχής γενικά, περιγράφεται στη βιβλιογραφία από μια αύξηση της αντοχής, όσο αυξάνεται το φαινόμενο βάρος. Οι Irfan & Dearman (1978) περιέγραψαν αυτή τη σχέση από μια εξίσωση εκθετικής μορφής, για γρανιτικά πετρώματα, με πολύ καλό βαθμό συσχέτισης. Με την επεξεργασία των δεδομένων αυτής της μελέτης προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα διασποράς.



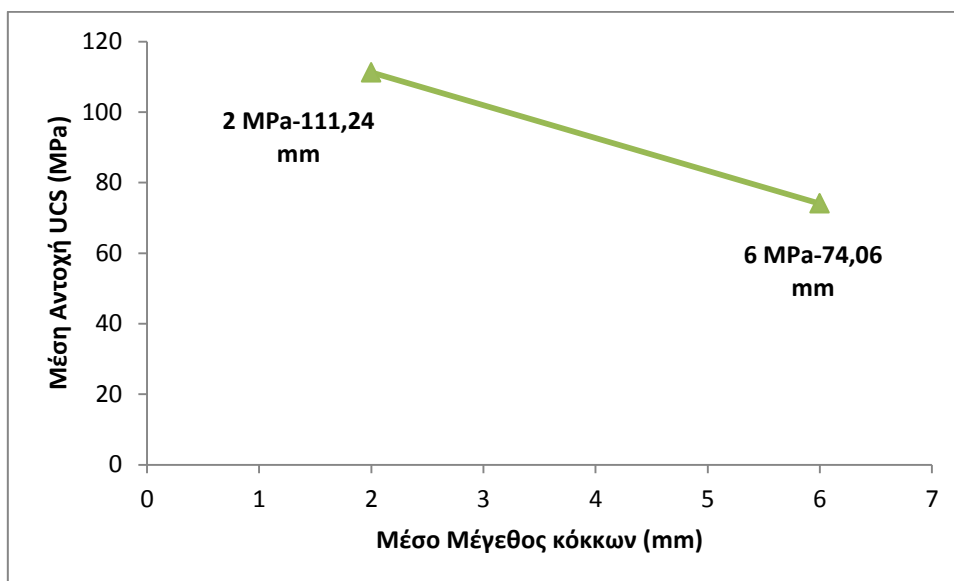
Σχήμα 34: Διάγραμμα συσχέτισης ξηρού φαινόμενου βάρους – δείκτη I_{s50} για όλα τα δοκίμια εκτός της ομάδας Μ.

5.3. Σχέση αντοχής – Μέγεθος κόκκου

Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η σχέση της αντοχής με το μέγεθος των κόκκων για τα δοκίμια PLT και UCS, αντίστοιχα.



Σχήμα 35: Διάγραμμα μέσης τιμής δείκτη I_{s50} – μέσου μεγέθους κόκκων για τα δοκίμια που έγινε δοκιμή σημειακής φόρτισης.



Σχήμα 36: Διάγραμμα μέσης τιμής αντοχής UCS – μέσου μεγέθους κόκκων για τα δοκίμια που έγινε δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης.

Είναι γνωστό ότι η αντοχή σε θλίψη μειώνεται με την αύξηση του μεγέθους του κόκκου των ορυκτών ενός άρρηκτου πετρώματος. Αυτό ισχύει για το ίδιο άρρηκτο πέτρωμα δεδομένου ότι η αντοχή διαφέρει σημαντικά όταν αλλάζει η ορυκτολογική σύσταση αυτού. Έτσι, είναι πρακτικά αδύνατο να βρεθεί η συσχέτιση της αντοχής με το μέγεθος του κόκκου για τα εξεταζόμενα πετρώματα συνολικά, καθώς η ορυκτολογική σύσταση της κάθε μιας από τις τέσσερις ομάδες γρανιτών διαφέρει.

Στη συγκεκριμένη έρευνα επειδή πρόκειται για το ίδιο πέτρωμα (γρανίτες), όπως προκύπτει από τα διαγράμματα, η αντοχή του πετρώματος μειώνεται με την αύξηση του μεγέθους του κόκκου των ορυκτών. Είναι σκόπιμο ωστόσο, να συνεκτιμηθεί και η αλλαγή στην ορυκτολογική σύσταση των συγκρινόμενων πετρωμάτων (πίνακας 20) η οποία επηρεάζει σημαντικά την αντοχή. Η αυξημένη περιεκτικότητα σε χαλαζία στους λεπτόκοκκους γρανίτες (38 & 42 %) προκαλεί αύξηση της αντοχής τους, ενώ η αυξημένη περιεκτικότητα σε πλαγιόκλαστα (ολιγόκλαστο) στους αδρόκοκκους γρανίτες (15 & 17 %) προκαλεί μείωση της αντοχής τους λόγω των επιπέδων διδυμίας των πλαγιόκλαστων.

6. ΣΥΝΟΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να διερευνηθούν τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά λεπτόκοκκων και αδρόκοκκων γρανιτών σε σχέση με το μέγεθος των κόκκων και την ορυκτολογική τους σύσταση. Στα πλαίσια της μελέτης εκτελέστηκαν δοκιμές μέτρησης φαινόμενου βάρους με μικρόμετρο και με τη μέθοδο της άνωσης, δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης και σημειακής φόρτισης. Από τα ίδια δείγματα παρασκευάστηκαν λεπτές τομές και μελετήθηκε η ορυκτολογική σύσταση, ο τρόπος σύνδεσης των ορυκτών μεταξύ τους, το σχήμα και το μέγεθός τους.

Χρησιμοποιήθηκαν δείγματα τεσσάρων διαφορετικών γρανιτών εκ των οποίων οι δύο τύποι γρανίτη ήταν μικροκρυσταλλικοί και οι άλλοι δύο αδροκρυσταλλικοί. Τα δείγματα ήταν κυβικού και ορθογωνικού σχήματος και διαμορφώθηκαν κατάλληλα σύμφωνα με τις προδιαγραφές των αντίστοιχων δοκιμών, ξηράθηκαν και θραύστηκαν είτε με μονοαξονική θλίψη, είτε με σημειακή φόρτιση. Μελετήθηκαν ορυκτολογικά δύο λεπτές τομές από το κάθε είδος γρανίτη και προσδιορίστηκαν τα ορυκτολογικά τους χαρακτηριστικά και η ορυκτολογική σύσταση.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα από τη συγκεκριμένη εργασία, μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω :

- Οι γρανίτες που χρησιμοποιήθηκαν είχαν μικρές διαφοροποιήσεις στις διαστάσεις τους και στα φυσικά χαρακτηριστικά τους (με εξαίρεση τη διάμετρο των κόκκων), καθώς είναι είδη γρανιτών που προορίζονται για εμπορική χρήση. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την πολύ μικρή διακύμανση των τιμών των φυσικών ιδιοτήτων που μετρήθηκαν εργαστηριακά, (με εξαίρεση τη διάμετρο των κρυστάλλων). Κατά συνέπεια δεν προέκυψαν ικανοποιητικές συσχετίσεις για όλες τις φυσικές ιδιότητες που προσδιορίστηκαν. Ωστόσο από τις συσχετίσεις στα δείγματα των γρανιτών, όπως προκύπτει και από τη βιβλιογραφία, επιβεβαιώθηκε ότι με την αύξηση του πορώδους, μειώνεται η ξηρή πυκνότητα και η αντοχή.

Λόγω του ότι στη μελέτη το εύρος των τιμών της ξηρής πυκνότητας ήταν μικρό, η ορυκτολογική διαφοροποίηση (είδος και μέγεθος ορυκτών) μεταξύ των γρανιτών είχε αξιοσημείωτη επιρροή στις τιμές της ξηρής πυκνότητας, δίνοντας μη αναμενόμενους συσχετισμούς.

- Η αντοχή των γρανιτών σε σημειακή φόρτιση και σε ανεμπόδιστη θλίψη είναι συνάρτηση του μεγέθους των δομικών στοιχείων των ορυκτών που συναντώνται μέσα στο πέτρωμα. Η μεγαλύτερη αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη και σε σημειακή φόρτιση σημειώθηκε στους γρανίτες των οποίων οι κρύσταλλοι των ορυκτολογικών συστατικών είχαν το μικρότερο μέγεθος. Επιβεβαιώθηκε έτσι η γνωστή από άλλες έρευνες, αντίστροφη αναλογία της αντοχής του πετρώματος με το μέγεθος των κρυστάλλων.
- Η αντοχή των γρανιτών επηρεάζεται άμεσα από τη διαφοροποίηση στην ορυκτολογική σύσταση, ακόμα και σε παραπλήσιους ορυκτολογικά τύπους. Στα δείγματα όπου σημειώθηκε αύξηση της συμμετοχής του χαλαζία στο πέτρωμα, παρατηρήθηκε και αύξηση της αντοχής τους. Αντίθετα, στους γρανίτες με αύξηση της συμμετοχής ορυκτών με επιφάνειες αδυναμίας (όπως τα πλαγιόκλαστα), παρατηρήθηκε μείωση της αντοχής τους.
- Η αντοχή σε σημειακή φόρτιση, αποδείχθηκε για τη συγκεκριμένη μελέτη πιο αξιόπιστη καθώς έδωσε αποτελέσματα πιο κοντά στα αναμενόμενα από τη βιβλιογραφία για τα είδη γρανιτών που χρησιμοποιήθηκαν. Η αντοχή σε σημειακή φόρτιση ως γνωστό είναι ένας έμμεσος τρόπος υπολογισμού της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, αλλά έχει το πλεονέκτημα ότι εφαρμόζεται σημειακά και δεν επηρεάζεται από την επιπεδότητα και την παραλληλία των επιφανειών του δείγματος. Αν γίνει μια σύντομη εκτίμηση της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη από τα αποτελέσματα του I_{s50} με τη χρήση της σχέσης: $UCS = 24 \times I_{s50}$, τότε παίρνουμε τιμές που κυμαίνονται: Από 175,34 έως 210 MPa για τα λεπτόκοκκα και από 111,56 έως 168,74 MPa για τα αδρόκοκκα. Τιμές πιο υψηλές από αυτές που πήραμε από τις δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης.

Πίνακας 25: Μετατροπή δείκτη I_{s50} σε αντοχή UCS

	UCS (MPa)	I_{s50} (MPa)		UCS (MPa)	I_{s50} (MPa)
M1	175,34	7,31	X1	154,08	6,42
M2	189,70	7,90	X2	156,01	6,50
M3	182,19	7,59	X3	133,98	5,58
M4	200,10	8,34	X4	111,56	4,65
M5	210,00	8,75	X5	168,62	7,03
M6	201,16	8,38	X6	157,05	6,54
M7	190,13	7,92	X7	111,67	4,65
M8	189,66	7,90	X8	137,77	5,74
M9	178,08	7,42	X9	168,74	7,03
M10	191,50	7,98	X10	158,25	6,59
M11	182,19	7,59	X11	144,72	6,03
M12	185,12	7,71	X12	131,04	5,46
M13	187,30	7,80	X13	128,16	5,34
M14	191,64	7,99	X14	161,76	6,74
M15	195,12	8,13	X15	138,72	5,78
M16	187,20	7,80	X16	144,48	6,02
M17	203,41	8,48	X17	132,96	5,54
M18	192,59	8,02	X18	150,24	6,26
M19	186,12	7,75	X19	157,92	6,58
M20	194,36	8,10	X20	135,60	5,65

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ASTM, 1986a. Standard test method of unconfined compressive strength of intact rock core specimens, D2938.

ASTM, 2005. Standard test method for determination of the Point Load Strength Index of Rock, D5731

Basu A. and Aydin A., (2006), 'Predicting Uniaxial Compressive Strength by Point Load Test: Significance of Cone Penetration', *Rock Mech. Rock Engng.* Vol.39,pp 483–490.

Bell F. G., 'Engineering properties of soils and rocks', (1981)

Bell, F.G., 1978. The physical and mechanical properties of the Fell sandstones, Northumberland, England. *Engineering Geology* 12, 1–29.

Bieniawski Z. T., (1973), 'Engineering classification of jointed rock masses', *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts* Volume 11, Issue 12, December 1974.

Bieniawski Z. T., (1975), "Point Load Test in Geotechnical Practice", *Engineering Geology*, Vol. 9, No. 1, pp. 1-11.

Brace, W.F., (1961). Dependence of fracture strength of rocks on grain size. In: *Proc. 4th Symp. Rock Mech.*, Univ. Park, Penn., PA, pp. 99–103.

Broch, E.M., Franklin, J.A., 1972. 'The point load strength test.' *Int.J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.* 9, 669–697.

Brook, N., (1980), "Size Correction for Point Load Testing". *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 17, pp.231-235.

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.

Brook, N., (1993) "The Measurement and Estimation of Basic Rock Strength", in 2nd Chapter, *Comprehensive Rock Engineering*, Vol. 3, John A. Hudson, Pergamon Press, pp. 41-66.

Chau KT, Wong RHC. Uniaxial Compressive Strength and Point Load Strength of Rocks. *Int. Journal of Rock Mech. Min. Sci and Geomech.*, 1996, Vol 33, No. 2, pp 183-188.

Coates DF, (1964), 'Classification of rocks for rock mechanics', *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, Volume 1, Issue 3, May 1964, Pages 421-429

D' Andrea, D.V., Fisher R. L., Fogelson D. E., (1964), "Prediction of Compression Strength from Other Rock Properties", *Colo Sch Mines Q*, Vol. 59, No. 4B, pp. 623-640.

Deere, D.U., Miller, R.P., (1966), "Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock", *Air Force Weapon Lab Tech Report, AFWL-TR*, Kirtland Base, New Mexico, pp. 65-116.

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', *Engineering Geology* Vol 108, pp 199–207.

Erkan Y (1971), 'Zum Einfluss einiger Gefügeparameter auf die Wurfeldruckfestigkeit der Granite. *Rock Mech* 3:113-120.

Fahy, M.P., Guccione, M.J., 1979. Estimating strength of sandstones using petrographic thin-section data. *Bull. Assoc. Eng. Geol.* 16 (4), 467–485.

Forster, I.R., (1983), 'The Influence of Core Sample Geometry on The Axial Point Load Test', *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 20, pp. 291-295.

Gramberg, J., (1989), 'A Non Conventional View on Rock Mechanics and Fracture Mechanics', A.A. Balkema.

Greminger, M., (1982), 'Experimental Studies of the Influence of Rock Anisotropy on Size and Shape Effects in Point Load Testing', *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, Vol.19, pp. 241-246.

Gunes Yılmaz N., Goktan R.M., Kibici Y. (2011), 'An investigation of the petrographic and physico-mechanical properties of true granites influencing diamond tool wear performance, and development of a new wear index', *Wear* Vol 271, pp 960– 969.

Gunsallus, K.L., Kulhawy, F.H., 1984. A comparative evaluation of rock strength measures. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.Geomech. Abstr.* 21, 233–248.

Hassani FP, Scoble MJ, Whittacker BN, 1980. Application of the point load index test to strength determination of rock and proposals for a new size correction chart. In: *Proc 21st US Symp Rock Mech, Rolla*, pp 543–553

Hawkes I. And Mellor M., (1969), 'Uniaxial testing in rock mechanics laboratories', *Engineering Geology* Vol. 4, pp 177-285.

Hawkins, A.B., (1998), 'Aspects of Rock Strength', *Bull Eng Geol Environ*, Vol.57, pp.17-30.

Hawkins AB, McConnell BJ (1992) Sensitivity of sandstone strength and deformability to changes in moisture content. *Q J Eng Geol* 25 : 115–130.

Hoek, E., Brown, E.T., 1997. Practical estimates of rock mass strength. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.* 34 (8),1165–1186.

Hongyuan Liu, Shaoquan Kou and Per-Arne Lindqvist, (2005), 'Microscope Rock Texture Characterization and Simulation of Rock Aggregate Properties', Project Report 1

Houpert R, (1970), 'Fracture behaviour of rocks', *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, Volume 18, Issue 1, February 1981, Page 3

Howarth DF, Rowlands JC (1987) Quantitative assessment of rock texture and correlation with drillability and strength properties. *Rock Mech Rock Eng* 20:57-85

Irfan, T.Y., 1996. Mineralogy, fabric properties and classification of weathered granites in Hong Kong. *Q. J. Eng. Geol.* 29, 5–35.

Irfan, T.Y., Dearman, W.R., 1978. The engineering petrography of a weathered granite in Cornwall, England. *Q.J. Eng. Geol.* 11, 233–244.

ISRM Suggested Methods, 1981. In: Brown, E.T. (Ed.), *Rock Characterization Testing and Monitoring*. Pergamon, Oxford, pp. 113–116 and 123–127.

ISRM, International Society of Rock Mechanics Commission (1972), 'Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength on Rock Materials and the Point Load Strength Index', ISRM Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests, Document no. 1

ISRM. International Society of Rock Mechanics Commission on Testing Methods, Suggested Method for Determining Point Load Strength, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr.* 22, 1985, pp.51-60.

Kahraman, S., (2001), 'Evaluation of Simple Methods for Assessing the Uniaxial Compressive Strength of Rock', *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 38, pp.981-994.

Kahraman S, Gunaydin O., Fener M.,(2005), 'The effect of porosity on the relation between uniaxial compressive strength and point load index', *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* Vol. 42 pp. 584–589.

Mendes, F.M., Aires-Barros, L., Rodrigues, F.P., 1966. The use of modal analysis in the mechanical characterization of rock masses. In: *Proc. 1st Int. Cong. Rock Mech.*, Lisbon, vol. 1, pp. 217–223.

Merriam, R., Rieke, H.H., Kim, Y.C., 1970. Tensile strength related to mineralogy and texture of some granitic rocks. *Eng. Geol.* 4, 155–160.

Norbury D.R.(1986), 'The point load test', *Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications* 1986, 2:325-329.

Nurdan Gunes, Yılmaz, R.MeteGoktan, Yasar Kibici, (2010), 'Relations between some quantitative petrographic characteristics and mechanical strength properties of granitic building stones', *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Vol 48, pp 506-513.

Onodera, T.F., Asoka Kumara, H.M., 1980. Relation between texture and mechanical properties of crystalline rocks. *Bull.Assoc. Eng. Geol.* 22, 173–177.

Papadopoulos Z., Marinos P, (1992), 'On the anisotropy of the athenian schist and its relation to weathering', *Bulletin of engineering geology and the environment*, Volume 45, Number 1, 111-116, DOI: 10.1007/BF02594910

Pells, P.J.N., (1975), 'The use of Point Load Test in Predicting the Compressive Strength of Rock Material', *Aust. Geomechanics*, Vol. G5, No. 1, pp. 54-56.

Přikryl R., (2001), 'Some microstructural aspects of strength variation in rocks', International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 38, Issue 5, July 2001, Pages 671-682

Quane, S.L., Russel, J.K., (2003), 'Rock Strength as a Metric of Welding Intensity in Pyroclastic Deposits', European Journal of Mineral, Vol. 15, pp.855-864.

Reichmuth, D.R., (1968), 'Point Load Testing of Brittle Materials to Determine Tensile Strength and Relative Brittleness'. Proc. 9th Symp. Rock Mechanics, Univ. of Colorado, pp.134-159.

Saroglou, H., Tsiambaos, G. (2006). "Point load strength of anisotropic rocks". Eurock 06, European Regional ISRM Conference, May 2006, Liege, Belgium, pp. 603-607.

Shakoor, A., Bonelli, R.E., 1991. Relationship between petro-graphic characteristics, engineering index properties, and mechanical properties of selected sandstones. Bull. Int. Assoc. of Eng. Geol. XXVIII (1), 55-71.

Singh VK, Singh DP. 'Correlation Between Point Load Index and Compressive Strength for Quartzite Rocks.' Geotechnical and Geological Engineering, 1993, 11, pp. 269-272.

Tsiambaos, G., Sabatakakis, N., (2004), 'Considerations on Strength of Intact Sedimentary Rocks', Engineering Geology, Vol. 72, pp. 261-273.

Tugrul A., Zarif I.H. (1998), 'Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey' Engineering Geology Vol.51 (1999),pp. 303-317.

Türk, N., Dearman, W.R., (1985), 'Improvements in the Determination of Point Load Strength', Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Vol. 31, pp.137-142.

Willard, R.J., McWilliams, J.R., 1969. Microstructural techniques in the study of physical properties of rocks. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 6, 1-12.

Wong R.H.C, Chau, K.T., (1996), 'Uniaxial compressive strength and point load strength of rocks', International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Volume 33, Issue 2, February 1996, Pages 183-188

Αγγίσταλης Γ., 'Συσχετισμός των μηχανικών ιδιοτήτων - αντοχή σε μονοαξονική θλίψη, δείκτης σημειακής φόρτισης, μέτρηση αναπήδησης σφύρας SCMIDT, μέτρου ελαστικότητας - Γάββρων και Βασάλτων του φιολιθικού καλύμματος της βόρειας Πίνδου', Διπλωματική εργασία

Δάβη Ε.Ν, 'Πετρολογία', (1985)

Δεμίρη Κ.Α., 'Τεχνική Γεωλογία', (1986)

ΕΛΟΤ Hellenic Standard (1988), 'Natural stones test of compressive strength', ICS: 91.100.20, 750.

Κούκης Γ. Σαμπατακάκης Ν. Τεχνική Γεωλογία, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2002

Κουταλιά, Χ., Μπαλτζόγλου, Α., Παχάκης, Μ., Πλύτας, Κ., (2001), “Εμπειρικές Συσχετίσεις Μεταξύ Θλιπτικής, Εφελκυστικής Αντοχής και Δείκτη Σημειακής Φόρτισης Βραχωδών Σχηματισμών”, 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Αθήνα 2001, σελ. 97-100.

Κωστόπουλος Σ.Δ., 2005. Πειραματική γεωτεχνική μηχανική, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα

Σαρόγλου Χ., (2007) ‘Γεωλογικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις γεωτεχνικές παραμέτρους του βράχου : η επίδραση της ανισοτροπίας’, Διδακτορική διατριβή.

Σαρόγλου Χ., Μαρίνος Π., Τσιαμπάος Γ., ‘Γεωλογικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή του άρρηκτου πετρώματος. Η επίδραση της ανισοτροπίας’ Δελτίο ελληνικής γεωλογικής εταιρίας, Τομ. 36, (2004).

Σοφιανός, Α.Ι., (2001), ‘Σημειώσεις Μηχανικής των Πετρωμάτων’, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

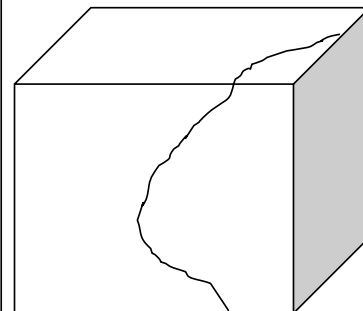
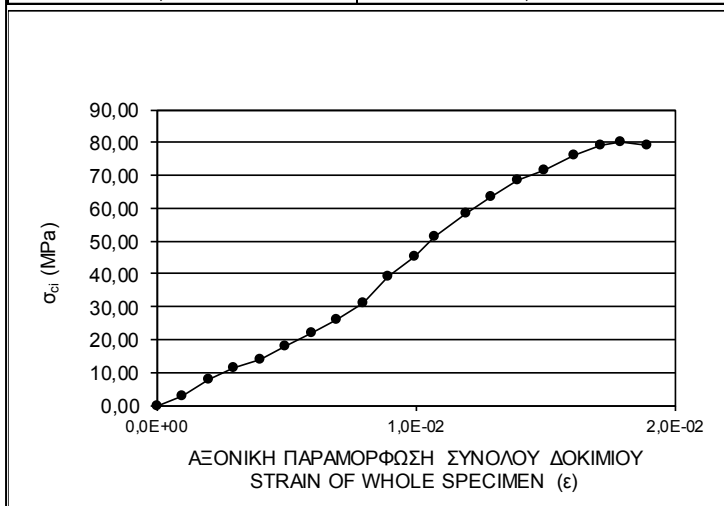
ΦΥΛΛΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ
ΘΛΙΨΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
 ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
 ΙΕΡΑ ΟΔΟΣ 75, 11855 ΑΘΗΝΑ
 ΤΗΛ. 210-5294157, 210-5294165
 FAX. 210-5294161
 EMAIL: bagm@aua.gr
 ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ Π. ΜΙΓΚΙΡΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
 ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,02
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	A1	ΔΙΑΜ. / DIAM. d (cm) :	5,05
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,35
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,0025351
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	7,51	9,96E-04	2,96
0,10	20,17	1,99E-03	7,96
0,15	28,30	2,99E-03	11,16
0,20	35,18	3,98E-03	13,88
0,25	45,28	4,98E-03	17,86
0,30	55,68	5,98E-03	21,96
0,35	66,08	6,97E-03	26,07
0,40	78,65	7,97E-03	31,02
0,45	99,26	8,96E-03	39,15
0,50	115,26	9,96E-03	45,47
0,54	130,33	1,08E-02	51,41
0,60	148,26	1,20E-02	58,48
0,65	160,28	1,29E-02	63,22
0,70	173,26	1,39E-02	68,34
0,75	181,78	1,49E-02	71,71
0,81	193,25	1,61E-02	76,23
0,86	200,40	1,71E-02	79,05
0,90	203,26	1,79E-02	80,18
0,95	200,10	1,89E-02	78,93



ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci} = 80,18 MPa

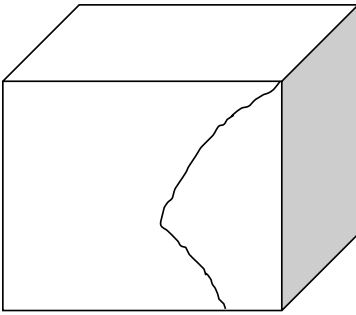
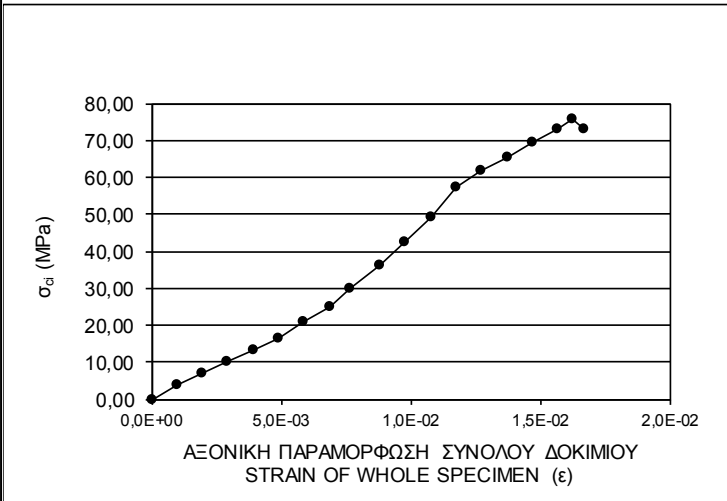


Εκτέλεση: Εργαστήριο Ορυκτολογίας - Γεωλογίας Γ.Π.Α.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
 ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,10
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	A2	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	4,99
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,45
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,0025449
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	10,25	9,80E-04	4,03
0,10	18,26	1,96E-03	7,18
0,15	26,27	2,94E-03	10,32
0,20	34,28	3,92E-03	13,47
0,25	42,29	4,90E-03	16,62
0,30	52,85	5,88E-03	20,77
0,35	63,25	6,86E-03	24,85
0,39	76,36	7,65E-03	30,01
0,45	92,36	8,82E-03	36,29
0,50	108,14	9,80E-03	42,49
0,55	125,36	1,08E-02	49,26
0,60	146,23	1,18E-02	57,46
0,65	156,85	1,27E-02	61,63
0,70	166,74	1,37E-02	65,52
0,75	177,28	1,47E-02	69,66
0,80	186,23	1,57E-02	73,18
0,83	192,36	1,63E-02	75,59
0,85	186,32	1,67E-02	73,21

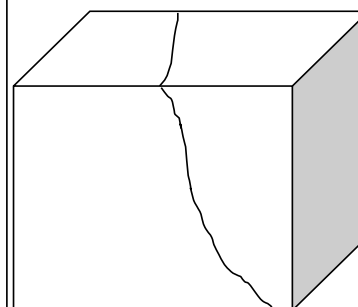
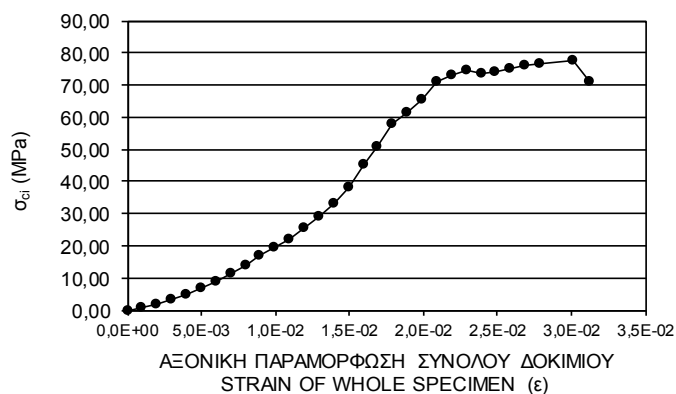


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci} = 75,59

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,02
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	A3	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	5,04
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,30
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,00253008
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		Α.Ε. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	1,37	9,96E-04	0,54
0,10	4,82	1,99E-03	1,91
0,15	8,49	2,99E-03	3,36
0,20	12,21	3,98E-03	4,83
0,25	17,47	4,98E-03	6,90
0,30	22,79	5,98E-03	9,01
0,35	28,98	6,97E-03	11,45
0,40	35,56	7,97E-03	14,05
0,45	42,84	8,96E-03	16,93
0,50	48,93	9,96E-03	19,34
0,55	55,51	1,10E-02	21,94
0,60	64,10	1,20E-02	25,34
0,65	73,39	1,29E-02	29,01
0,70	83,87	1,39E-02	33,15
0,75	97,19	1,49E-02	38,41
0,80	114,55	1,59E-02	45,28
0,85	129,16	1,69E-02	51,05
0,90	146,99	1,79E-02	58,10
0,95	155,82	1,89E-02	61,59
1,00	165,88	1,99E-02	65,56
1,05	179,72	2,09E-02	71,03
1,10	185,24	2,19E-02	73,22
1,15	189,06	2,29E-02	74,72
1,20	186,06	2,39E-02	73,54
1,25	187,22	2,49E-02	74,00
1,3	190,21	2,59E-02	75,18
1,35	192,85	2,69E-02	76,22
1,40	194,25	2,79E-02	76,78
1,51	196,85	3,01E-02	77,80
1,57	179,64	3,13E-02	71,00

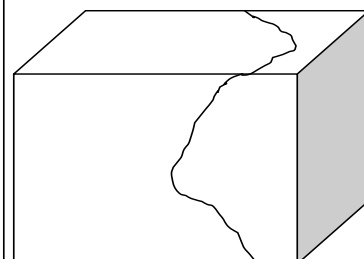
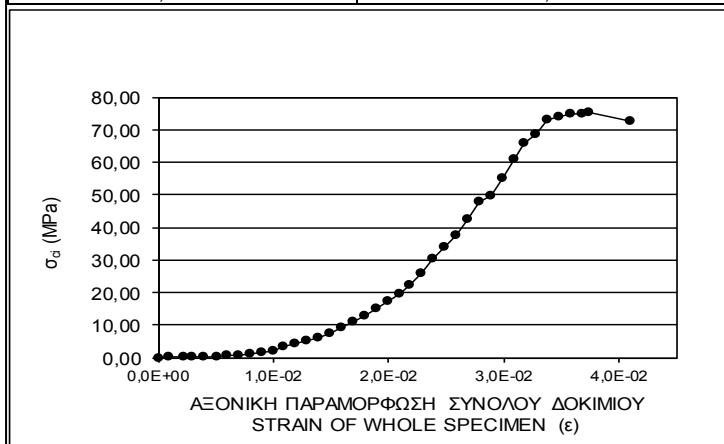


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci} = 77,80 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,02
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	A4	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	4,95
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	24,85
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,0024849
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	0,44	9,96E-04	0,18
0,11	0,20	2,19E-03	0,08
0,15	1,06	2,99E-03	0,43
0,20	0,77	3,98E-03	0,31
0,26	0,95	5,18E-03	0,38
0,30	1,52	5,98E-03	0,61
0,35	2,04	6,97E-03	0,82
0,40	2,63	7,97E-03	1,06
0,45	3,82	8,96E-03	1,54
0,50	5,34	9,96E-03	2,15
0,55	7,87	1,10E-02	3,17
0,60	10,50	1,20E-02	4,23
0,65	13,24	1,29E-02	5,33
0,70	15,40	1,39E-02	6,20
0,75	18,89	1,49E-02	7,60
0,80	23,38	1,59E-02	9,41
0,85	27,79	1,69E-02	11,18
0,90	31,82	1,79E-02	12,81
0,95	37,29	1,89E-02	15,01
1,00	43,15	1,99E-02	17,36
1,05	48,59	2,09E-02	19,55
1,10	55,25	2,19E-02	22,23
1,15	64,08	2,29E-02	25,79
1,20	75,20	2,39E-02	30,26
1,25	84,18	2,49E-02	33,88
1,3	93,75	2,59E-02	37,73
1,35	105,13	2,69E-02	42,31
1,40	118,91	2,79E-02	47,85
1,45	123,69	2,89E-02	49,78
1,50	136,41	2,99E-02	54,90
1,55	151,12	3,09E-02	60,82
1,60	164,13	3,19E-02	66,05
1,65	170,14	3,29E-02	68,47
1,7	181,57	3,39E-02	73,07
1,75	183,84	3,49E-02	73,98
1,8	185,96	3,59E-02	74,84
1,85	186,1	3,69E-02	74,89
1,88	186,84	3,75E-02	75,19
2,06	180,24	4,10E-02	72,53

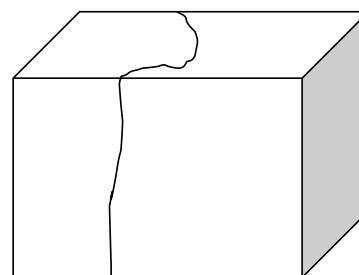
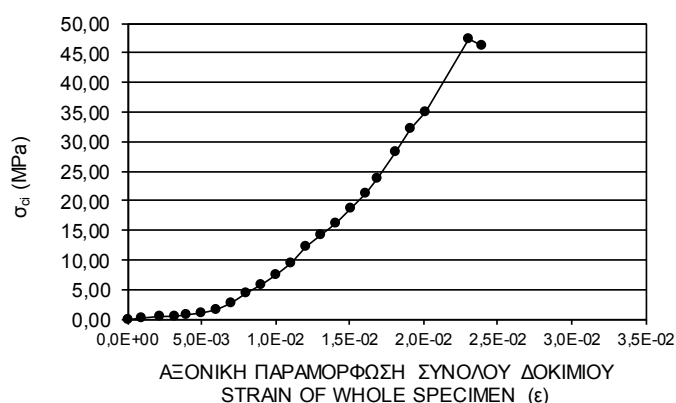


ANTOXH / STRENGTH σ_{ci} = 75,19 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	4,98
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	A5	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	5,10
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,40
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,0025398
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	0,33	1,00E-03	0,13
0,11	0,75	2,21E-03	0,30
0,16	1,03	3,21E-03	0,41
0,20	1,73	4,02E-03	0,68
0,25	2,32	5,02E-03	0,91
0,30	3,66	6,02E-03	1,44
0,35	6,66	7,03E-03	2,62
0,40	10,96	8,03E-03	4,32
0,45	14,66	9,04E-03	5,77
0,50	19,02	1,00E-02	7,49
0,55	23,92	1,10E-02	9,42
0,60	30,68	1,20E-02	12,08
0,65	35,76	1,31E-02	14,08
0,70	40,93	1,41E-02	16,12
0,75	47,61	1,51E-02	18,75
0,80	54,14	1,61E-02	21,32
0,84	60,62	1,69E-02	23,87
0,90	71,40	1,81E-02	28,11
0,95	81,98	1,91E-02	32,28
1,00	88,93	2,01E-02	35,01
1,15	120,46	2,31E-02	47,43
1,19	117,08	2,39E-02	46,10

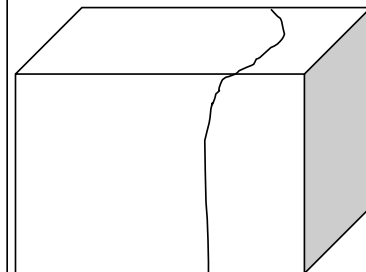
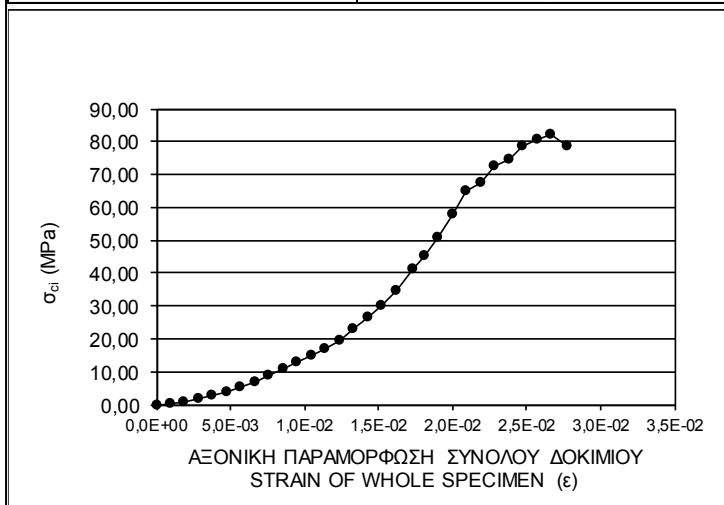


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci}= 47,43 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,25
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	A6	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	5,09
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	26,72
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,00267225
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	0,80	9,52E-04	0,30
0,10	1,50	1,90E-03	0,56
0,15	4,39	2,86E-03	1,64
0,20	7,46	3,81E-03	2,79
0,25	10,53	4,76E-03	3,94
0,30	14,27	5,71E-03	5,34
0,35	18,20	6,67E-03	6,81
0,40	23,49	7,62E-03	8,79
0,45	28,60	8,57E-03	10,70
0,50	34,14	9,52E-03	12,78
0,55	39,98	1,05E-02	14,96
0,60	45,11	1,14E-02	16,88
0,65	51,51	1,24E-02	19,28
0,70	60,91	1,33E-02	22,79
0,75	71,12	1,43E-02	26,61
0,80	80,83	1,52E-02	30,25
0,85	93,19	1,62E-02	34,87
0,91	110,58	1,73E-02	41,38
0,95	120,75	1,81E-02	45,19
1,00	135,28	1,90E-02	50,62
1,05	154,25	2,00E-02	57,72
1,10	173,99	2,10E-02	65,11
1,15	180,60	2,19E-02	67,58
1,20	193,40	2,29E-02	72,37
1,25	198,65	2,38E-02	74,34
1,3	210,63	2,48E-02	78,82
1,35	215,69	2,57E-02	80,71
1,40	219,07	2,67E-02	81,98
1,46	209,91	2,78E-02	78,55

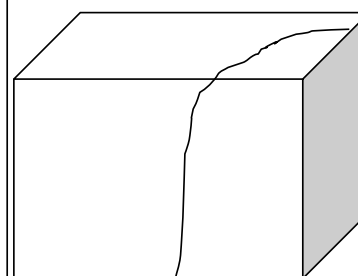
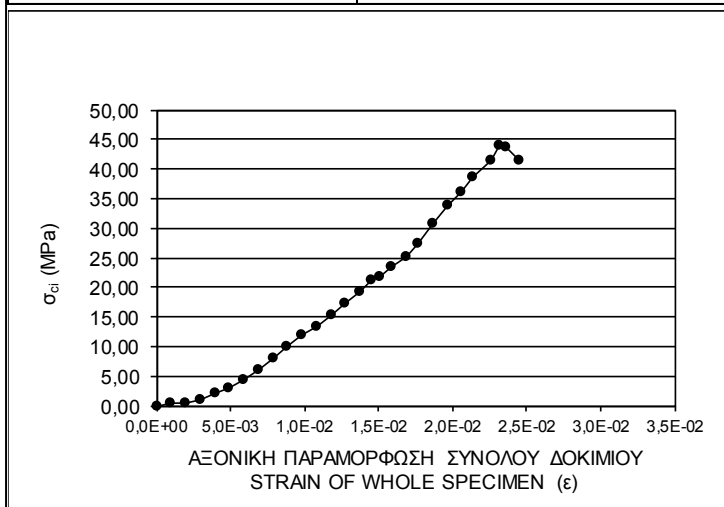


ANTOXH / STRENGTH σ_{ci} = 81,98 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,09
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	A7	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	4,99
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,40
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,00253991
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	1,06	9,82E-04	0,42
0,10	1,37	1,96E-03	0,54
0,15	2,30	2,95E-03	0,91
0,20	5,32	3,93E-03	2,09
0,25	7,43	4,91E-03	2,93
0,30	10,79	5,89E-03	4,25
0,35	15,43	6,88E-03	6,08
0,40	20,36	7,86E-03	8,02
0,45	25,32	8,84E-03	9,97
0,50	30,12	9,82E-03	11,86
0,55	33,63	1,08E-02	13,24
0,60	39,10	1,18E-02	15,39
0,65	43,87	1,28E-02	17,27
0,70	48,72	1,38E-02	19,18
0,74	53,70	1,45E-02	21,14
0,77	55,61	1,51E-02	21,89
0,81	59,92	1,59E-02	23,59
0,86	63,74	1,69E-02	25,10
0,90	69,78	1,77E-02	27,47
0,95	77,96	1,87E-02	30,69
1,00	85,68	1,96E-02	33,73
1,05	91,79	2,06E-02	36,14
1,09	98,30	2,14E-02	38,70
1,15	105,58	2,26E-02	41,57
1,18	111,64	2,32E-02	43,95
1,2	110,81	2,36E-02	43,63
1,25	105,26	2,46E-02	41,44

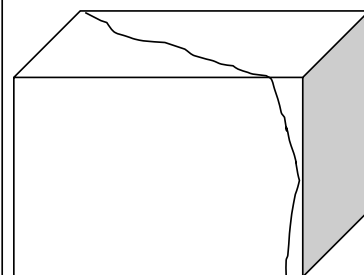
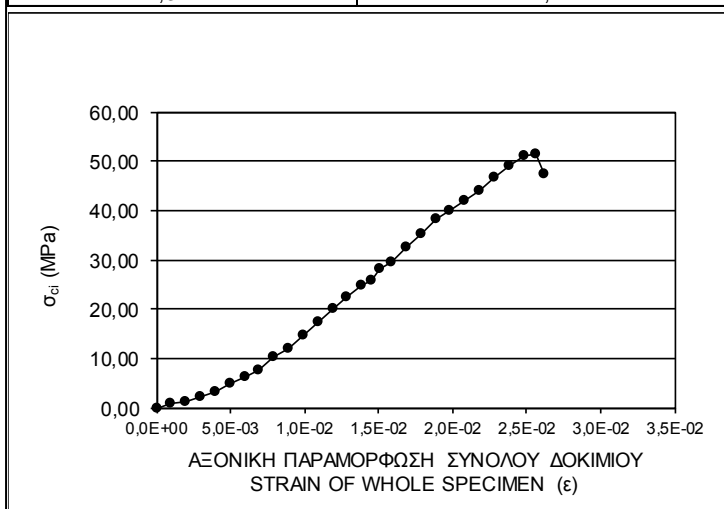


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci}= 43,95 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,04
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	A8	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	5,11
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,75
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,00257544
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	2,32	9,92E-04	0,90
0,10	3,12	1,98E-03	1,21
0,15	6,06	2,98E-03	2,35
0,20	8,62	3,97E-03	3,35
0,25	12,36	4,96E-03	4,80
0,30	15,74	5,95E-03	6,11
0,35	19,61	6,94E-03	7,61
0,40	26,27	7,94E-03	10,20
0,45	30,99	8,93E-03	12,03
0,50	38,01	9,92E-03	14,76
0,55	44,75	1,09E-02	17,38
0,60	51,56	1,19E-02	20,02
0,65	57,80	1,29E-02	22,44
0,70	63,71	1,39E-02	24,74
0,73	66,71	1,45E-02	25,90
0,76	72,23	1,51E-02	28,05
0,80	76,13	1,59E-02	29,56
0,85	83,71	1,69E-02	32,50
0,90	90,37	1,79E-02	35,09
0,95	98,14	1,88E-02	38,11
1,00	103,04	1,98E-02	40,01
1,05	108,13	2,08E-02	41,99
1,10	113,57	2,18E-02	44,10
1,15	120,54	2,28E-02	46,80
1,2	126,30	2,38E-02	49,04
1,25	131,48	2,48E-02	51,05
1,29	132,75	2,56E-02	51,54
1,32	122,11	2,62E-02	47,41

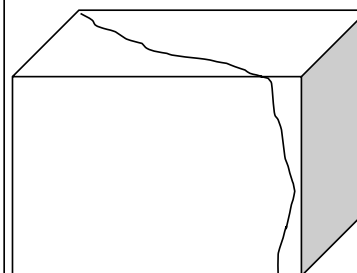
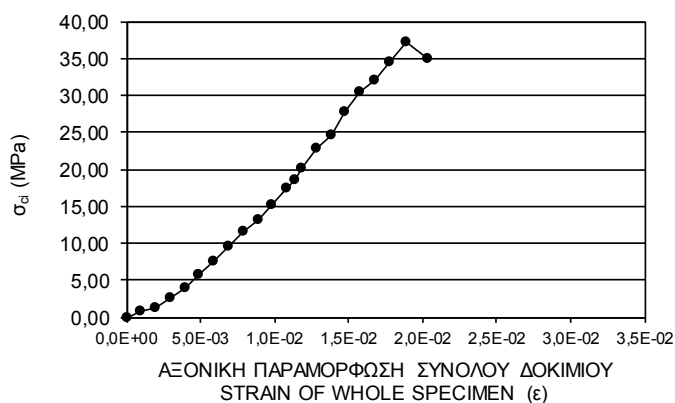


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci}= 51,54 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,07
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	A9	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	5,03
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,50
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,00255021
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	1,94	9,86E-04	0,76
0,10	3,36	1,97E-03	1,32
0,15	6,51	2,96E-03	2,55
0,20	9,89	3,94E-03	3,88
0,25	14,38	4,93E-03	5,64
0,30	19,46	5,92E-03	7,63
0,35	24,26	6,90E-03	9,51
0,40	29,71	7,89E-03	11,65
0,45	33,68	8,88E-03	13,21
0,50	38,92	9,86E-03	15,26
0,55	44,70	1,08E-02	17,53
0,58	47,51	1,14E-02	18,63
0,60	51,26	1,18E-02	20,10
0,65	58,15	1,28E-02	22,80
0,70	62,56	1,38E-02	24,53
0,75	70,51	1,48E-02	27,65
0,80	77,40	1,58E-02	30,35
0,85	81,91	1,68E-02	32,12
0,90	88,03	1,78E-02	34,52
0,96	94,95	1,89E-02	37,23
1,03	88,95	2,03E-02	34,88

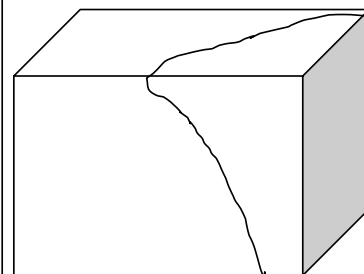
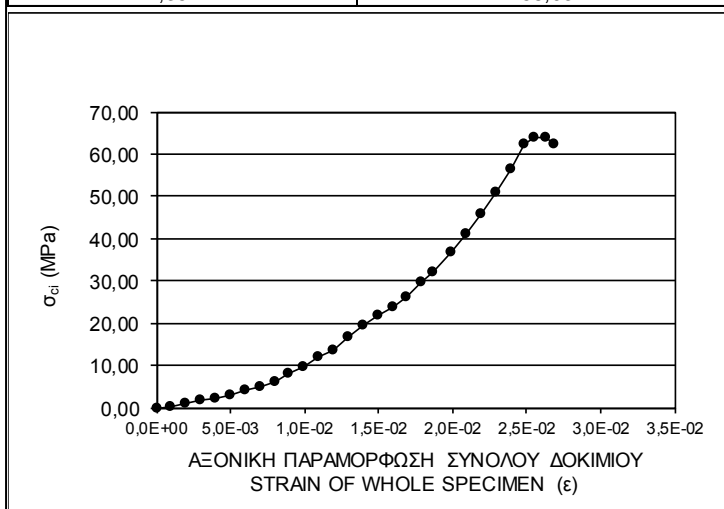


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci} = 37,23 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,02
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	A10	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	5,05
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,35
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,0025351
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	0,75	9,96E-04	0,30
0,10	2,40	1,99E-03	0,95
0,15	4,13	2,99E-03	1,63
0,20	5,55	3,98E-03	2,19
0,25	7,40	4,98E-03	2,92
0,30	10,01	5,98E-03	3,95
0,35	12,69	6,97E-03	5,01
0,40	15,48	7,97E-03	6,11
0,45	19,97	8,96E-03	7,88
0,50	24,75	9,96E-03	9,76
0,55	30,68	1,10E-02	12,10
0,60	34,50	1,20E-02	13,61
0,65	42,60	1,29E-02	16,80
0,70	49,31	1,39E-02	19,45
0,75	55,30	1,49E-02	21,81
0,80	60,72	1,59E-02	23,95
0,85	66,76	1,69E-02	26,33
0,90	75,02	1,79E-02	29,59
0,94	81,29	1,87E-02	32,07
1,00	93,68	1,99E-02	36,95
1,05	103,97	2,09E-02	41,01
1,10	116,10	2,19E-02	45,80
1,15	128,64	2,29E-02	50,74
1,20	143,46	2,39E-02	56,59
1,25	158,19	2,49E-02	62,40
1,28	161,71	2,55E-02	63,79
1,32	162,48	2,63E-02	64,09
1,35	158,03	2,69E-02	62,34

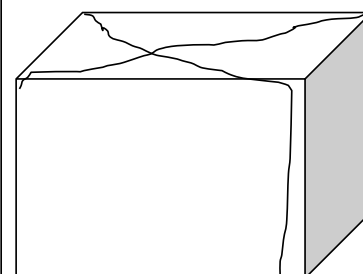
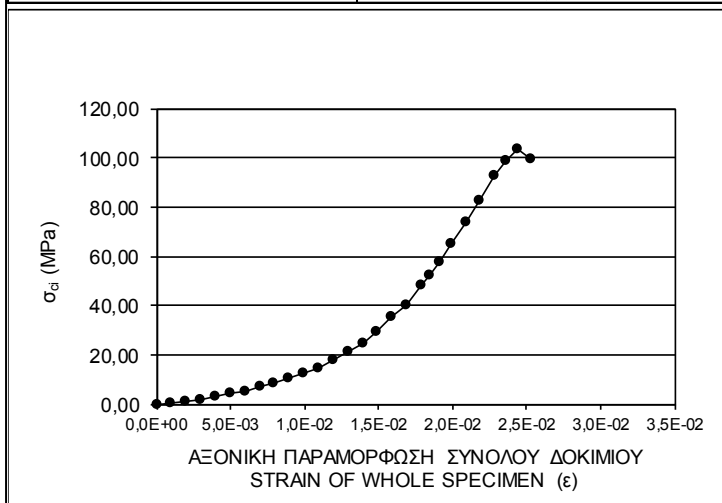


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci} = 64,09 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,03
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	A11	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	5,05
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,40
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,00254015
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	0,98	9,94E-04	0,39
0,10	2,02	1,99E-03	0,80
0,15	4,16	2,98E-03	1,64
0,20	6,89	3,98E-03	2,71
0,25	11,10	4,97E-03	4,37
0,30	12,36	5,96E-03	4,87
0,35	17,60	6,96E-03	6,93
0,40	20,93	7,95E-03	8,24
0,45	26,89	8,95E-03	10,59
0,50	32,21	9,94E-03	12,68
0,55	37,32	1,09E-02	14,69
0,60	45,19	1,19E-02	17,79
0,65	54,15	1,29E-02	21,32
0,70	62,89	1,39E-02	24,76
0,75	74,61	1,49E-02	29,37
0,80	89,55	1,59E-02	35,25
0,85	102,45	1,69E-02	40,33
0,90	121,94	1,79E-02	48,01
0,93	131,87	1,85E-02	51,91
0,96	145,96	1,91E-02	57,46
1,00	165,81	1,99E-02	65,28
1,05	187,05	2,09E-02	73,64
1,10	210,43	2,19E-02	82,84
1,15	236,26	2,29E-02	93,01
1,19	251,07	2,37E-02	98,84
1,23	262,17	2,45E-02	103,21
1,27	252,96	2,52E-02	99,58

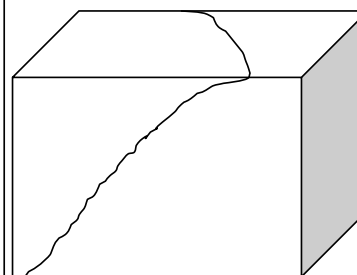
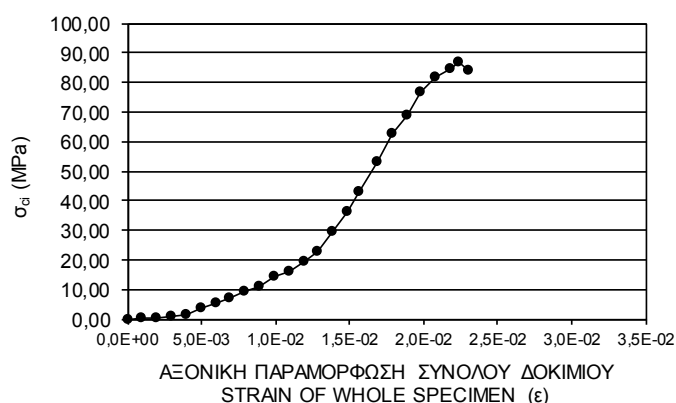


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci} = 103,21 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,04
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	A12	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	4,97
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,05
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,00250488
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0	0,00	0,00
0,05	0,49	9,92E-04	0,20
0,10	1,37	1,98E-03	0,55
0,15	2,24	2,98E-03	0,89
0,20	3,77	3,97E-03	1,51
0,25	8,77	4,96E-03	3,50
0,30	12,82	5,95E-03	5,12
0,35	17,55	6,94E-03	7,01
0,40	23,59	7,94E-03	9,42
0,45	27,79	8,93E-03	11,09
0,50	35,28	9,92E-03	14,08
0,55	40,44	1,09E-02	16,14
0,60	48,26	1,19E-02	19,27
0,65	57,60	1,29E-02	23,00
0,70	73,78	1,39E-02	29,45
0,75	91,30	1,49E-02	36,45
0,79	107,38	1,57E-02	42,87
0,85	132,54	1,69E-02	52,91
0,90	156,41	1,79E-02	62,44
0,95	173,03	1,88E-02	69,08
1,00	192,39	1,98E-02	76,81
1,05	205,29	2,08E-02	81,96
1,10	211,84	2,18E-02	84,57
1,13	217,75	2,24E-02	86,93
1,16	210,42	2,30E-02	84,00

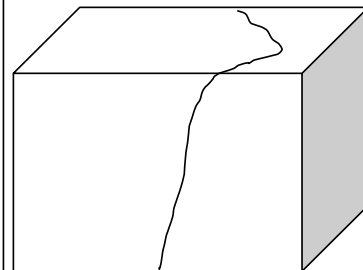


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci} = 86,93 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,03
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	A13	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	4,99
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,10
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,00250997
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0	0,00	0,00
0,05	0,21	9,94E-04	0,08
0,10	0,29	1,99E-03	0,12
0,15	0,52	2,98E-03	0,21
0,21	0,66	4,17E-03	0,26
0,25	1,06	4,97E-03	0,42
0,30	2,38	5,96E-03	0,95
0,35	5,01	6,96E-03	2,00
0,40	7,69	7,95E-03	3,06
0,45	12,21	8,95E-03	4,86
0,50	17,29	9,94E-03	6,89
0,55	22,22	1,09E-02	8,85
0,60	27,54	1,19E-02	10,97
0,65	34,12	1,29E-02	13,59
0,70	41,45	1,39E-02	16,51
0,75	48,65	1,49E-02	19,38
0,80	59,54	1,59E-02	23,72
0,85	70,53	1,69E-02	28,10
0,90	84,23	1,79E-02	33,56
0,95	99,43	1,89E-02	39,61
1,00	118,97	1,99E-02	47,40
1,05	142,40	2,09E-02	56,73
1,08	155,05	2,15E-02	61,77
1,11	171,43	2,21E-02	68,30
1,15	196,62	2,29E-02	78,34
1,2	218,61	2,39E-02	87,10
1,25	247,85	2,49E-02	98,75
1,30	275,02	2,58E-02	109,57
1,35	290,58	2,68E-02	115,77
1,40	312,80	2,78E-02	124,62
1,45	298,68	2,88E-02	119,00

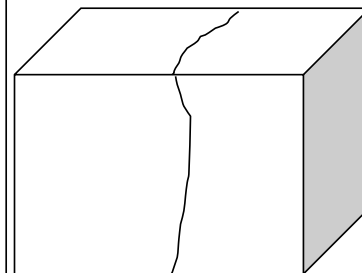
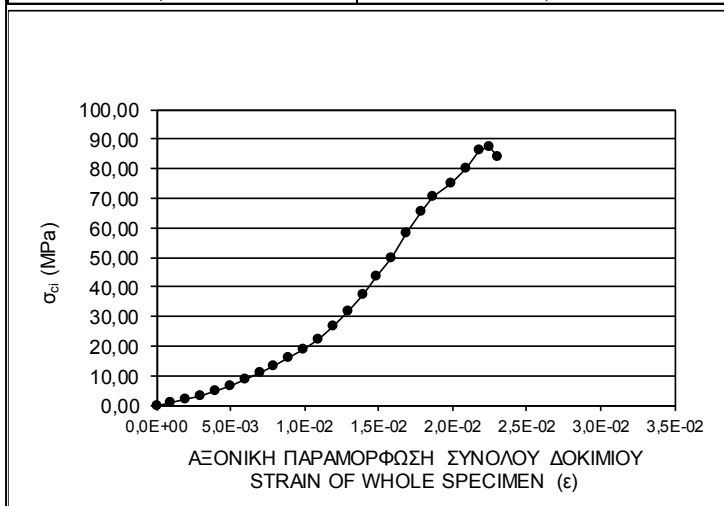


ANTOXH / STRENGTH σ_{ci} = 124,62 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,03
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	A14	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	5,02
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,25
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,00252506
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0	0,00	0,00
0,05	1,89	9,94E-04	0,75
0,10	4,91	1,99E-03	1,94
0,15	8,47	2,98E-03	3,35
0,20	11,85	3,98E-03	4,69
0,25	16,73	4,97E-03	6,63
0,30	21,89	5,96E-03	8,67
0,35	27,59	6,96E-03	10,93
0,40	33,89	7,95E-03	13,42
0,45	40,16	8,95E-03	15,90
0,50	47,80	9,94E-03	18,93
0,55	56,05	1,09E-02	22,20
0,60	67,72	1,19E-02	26,82
0,65	80,21	1,29E-02	31,77
0,70	94,89	1,39E-02	37,58
0,75	109,34	1,49E-02	43,30
0,80	125,16	1,59E-02	49,57
0,85	146,61	1,69E-02	58,06
0,90	165,58	1,79E-02	65,57
0,94	177,55	1,87E-02	70,32
1,00	188,80	1,99E-02	74,77
1,05	201,76	2,09E-02	79,90
1,10	217,32	2,19E-02	86,07
1,13	219,95	2,25E-02	87,11
1,16	212,36	2,31E-02	84,10

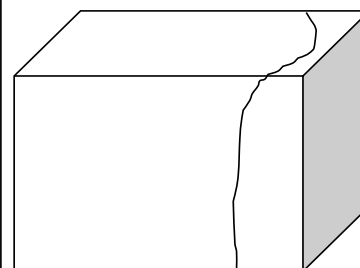
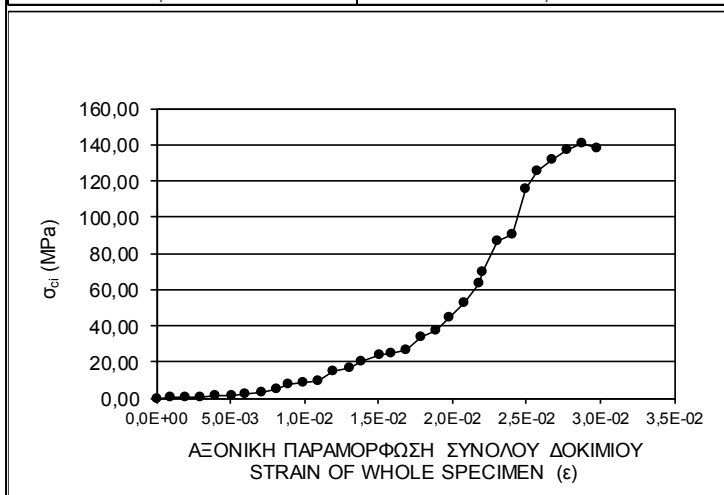


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci} = 87,11 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,04
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	L1	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	5,00
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,20
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,00252
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		Α.Ε. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0	0,00	0,00
0,05	0,62	9,92E-04	0,25
0,10	1,13	1,98E-03	0,45
0,15	1,75	2,98E-03	0,69
0,20	3,09	3,97E-03	1,23
0,26	4,13	5,16E-03	1,64
0,30	5,67	5,95E-03	2,25
0,36	7,64	7,14E-03	3,03
0,41	12,15	8,13E-03	4,82
0,45	19,46	8,93E-03	7,72
0,50	22,35	9,92E-03	8,87
0,55	23,95	1,09E-02	9,50
0,60	37,21	1,19E-02	14,77
0,66	41,62	1,31E-02	16,52
0,70	50,99	1,39E-02	20,23
0,76	59,46	1,51E-02	23,60
0,80	63,15	1,59E-02	25,06
0,85	66,94	1,69E-02	26,56
0,90	84,75	1,79E-02	33,63
0,95	93,80	1,88E-02	37,22
1,00	113,13	1,98E-02	44,89
1,05	133,27	2,08E-02	52,88
1,10	158,78	2,18E-02	63,01
1,11	175,22	2,20E-02	69,53
1,16	219,40	2,30E-02	87,06
1,21	227,46	2,40E-02	90,26
1,26	291,43	2,50E-02	115,65
1,30	315,84	2,58E-02	125,33
1,35	332,15	2,68E-02	131,81
1,40	345,94	2,78E-02	137,28
1,45	353,87	2,88E-02	140,42
1,50	347,97	2,98E-02	138,08

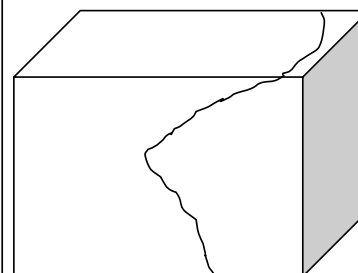
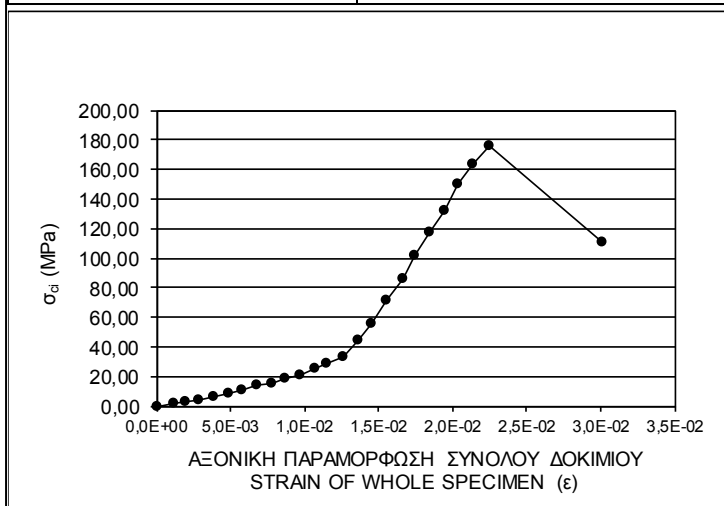


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci} = 140,42 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,15
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	L2	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	4,99
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,70
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,00256985
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0	0,00	0,00
0,06	3,04	1,17E-03	1,18
0,10	6,58	1,94E-03	2,56
0,15	9,50	2,91E-03	3,70
0,20	16,15	3,88E-03	6,28
0,25	21,06	4,85E-03	8,20
0,30	28,70	5,83E-03	11,17
0,35	35,10	6,80E-03	13,66
0,40	39,61	7,77E-03	15,41
0,45	46,89	8,74E-03	18,25
0,50	54,61	9,71E-03	21,25
0,55	65,37	1,07E-02	25,44
0,59	73,44	1,15E-02	28,58
0,65	85,52	1,26E-02	33,28
0,70	112,77	1,36E-02	43,88
0,75	144,28	1,46E-02	56,14
0,80	181,96	1,55E-02	70,81
0,86	219,69	1,67E-02	85,49
0,90	261,83	1,75E-02	101,89
0,95	301,68	1,84E-02	117,39
1,00	339,12	1,94E-02	131,96
1,05	386,04	2,04E-02	150,22
1,10	418,71	2,14E-02	162,93
1,16	451,87	2,25E-02	175,84
1,55	284,21	3,01E-02	110,59

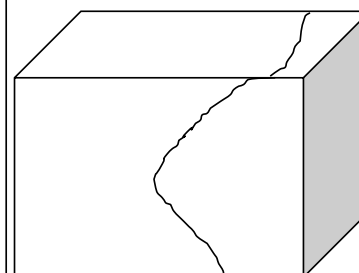
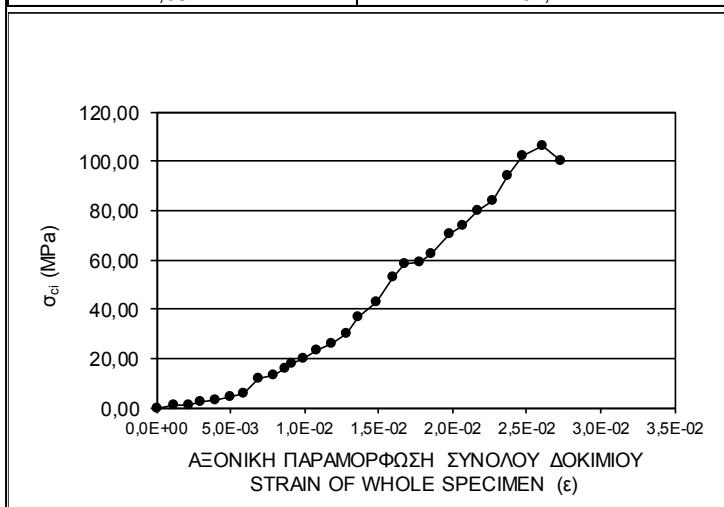


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci}=175,84 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,06
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	L3	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	4,98
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,20
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,00251988
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0	0,00	0,00
0,06	2,71	1,19E-03	1,08
0,11	3,07	2,17E-03	1,22
0,15	5,39	2,96E-03	2,14
0,20	7,35	3,95E-03	2,92
0,25	11,69	4,94E-03	4,64
0,30	14,06	5,93E-03	5,58
0,35	28,95	6,92E-03	11,49
0,40	33,29	7,91E-03	13,21
0,44	40,59	8,70E-03	16,11
0,46	45,08	9,09E-03	17,89
0,50	50,09	9,88E-03	19,88
0,55	59,12	1,09E-02	23,46
0,60	66,03	1,19E-02	26,20
0,65	76,00	1,28E-02	30,16
0,69	93,26	1,36E-02	37,01
0,75	107,66	1,48E-02	42,72
0,81	133,88	1,60E-02	53,13
0,85	146,50	1,68E-02	58,14
0,90	148,82	1,78E-02	59,06
0,94	157,70	1,86E-02	62,58
1,00	178,32	1,98E-02	70,77
1,05	186,52	2,08E-02	74,02
1,10	200,64	2,17E-02	79,62
1,15	210,83	2,27E-02	83,67
1,2	236,51	2,37E-02	93,86
1,25	257,96	2,47E-02	102,37
1,32	268,29	2,61E-02	106,47
1,38	251,74	2,73E-02	99,90

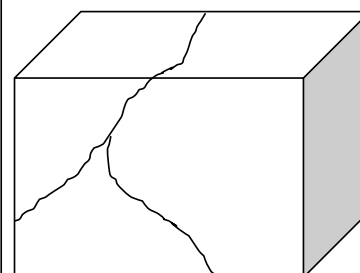
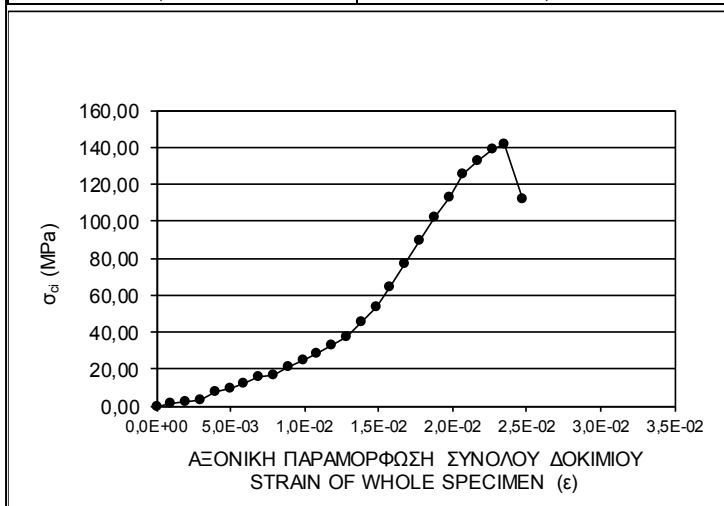


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci} = 106,47 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,06
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	L4	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	4,85
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	24,54
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,0024541
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0	0,00	0,00
0,05	2,50	9,88E-04	1,02
0,10	5,63	1,98E-03	2,29
0,15	7,72	2,96E-03	3,15
0,20	18,55	3,95E-03	7,56
0,25	22,32	4,94E-03	9,09
0,30	30,66	5,93E-03	12,49
0,35	37,52	6,92E-03	15,29
0,40	41,39	7,91E-03	16,87
0,45	51,38	8,89E-03	20,94
0,50	61,11	9,88E-03	24,90
0,55	70,40	1,09E-02	28,69
0,60	79,82	1,19E-02	32,53
0,65	91,12	1,28E-02	37,13
0,70	111,04	1,38E-02	45,25
0,75	132,15	1,48E-02	53,85
0,80	158,43	1,58E-02	64,56
0,85	188,83	1,68E-02	76,94
0,90	220,00	1,78E-02	89,65
0,95	250,86	1,88E-02	102,22
1,00	277,86	1,98E-02	113,22
1,05	307,84	2,08E-02	125,44
1,10	324,55	2,17E-02	132,25
1,15	340,90	2,27E-02	138,91
1,19	348,10	2,35E-02	141,84
1,25	274,86	2,47E-02	112,00

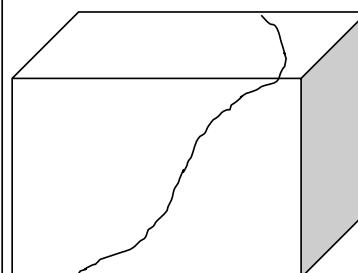
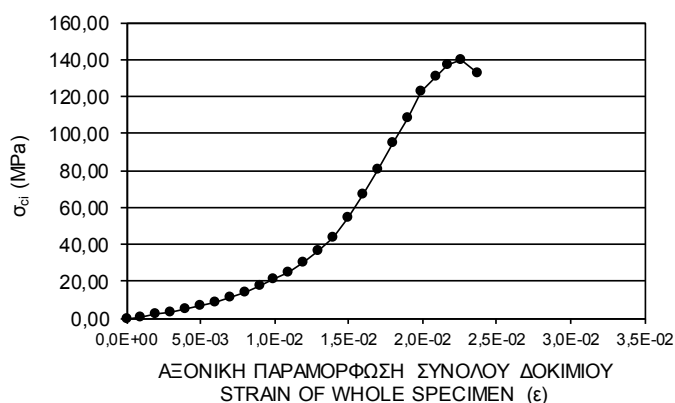


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci}= 141,84 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,01
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	L5	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	4,97
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	24,90
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,00248997
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0	0,00	0,00
0,05	2,06	9,98E-04	0,83
0,10	5,19	2,00E-03	2,08
0,15	8,18	2,99E-03	3,29
0,20	11,38	3,99E-03	4,57
0,25	17,83	4,99E-03	7,16
0,30	21,83	5,99E-03	8,77
0,35	28,54	6,99E-03	11,46
0,40	34,91	7,98E-03	14,02
0,45	43,46	8,98E-03	17,45
0,50	52,08	9,98E-03	20,92
0,55	61,29	1,10E-02	24,61
0,60	74,50	1,20E-02	29,92
0,65	91,04	1,30E-02	36,56
0,70	109,31	1,40E-02	43,90
0,75	136,51	1,50E-02	54,82
0,80	167,61	1,60E-02	67,31
0,85	200,77	1,70E-02	80,63
0,90	236,18	1,80E-02	94,85
0,95	270,79	1,90E-02	108,75
1,00	305,83	2,00E-02	122,82
1,05	325,55	2,10E-02	130,74
1,09	340,66	2,18E-02	136,81
1,13	347,88	2,26E-02	139,71
1,19	330,93	2,38E-02	132,91

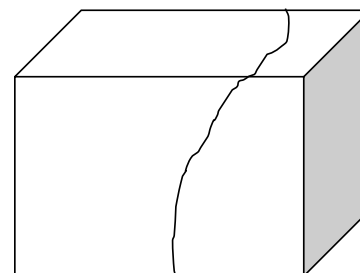
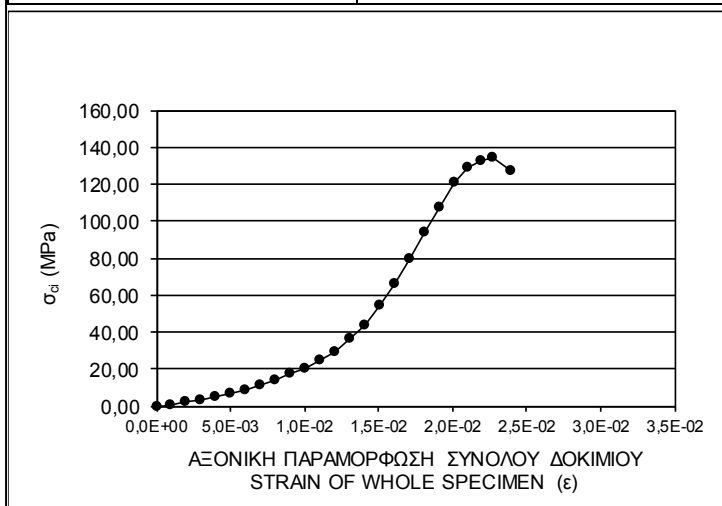


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci} = 139,71 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	4,98
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	L6	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	5,07
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,25
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,00252486
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0	0,00	0,00
0,05	2,06	1,00E-03	0,82
0,10	5,19	2,01E-03	2,06
0,15	8,18	3,01E-03	3,24
0,20	11,38	4,02E-03	4,51
0,25	17,83	5,02E-03	7,06
0,30	21,83	6,02E-03	8,65
0,35	28,54	7,03E-03	11,30
0,40	34,91	8,03E-03	13,83
0,45	43,46	9,04E-03	17,21
0,50	52,08	1,00E-02	20,63
0,55	61,29	1,10E-02	24,27
0,60	74,50	1,20E-02	29,51
0,65	91,04	1,31E-02	36,06
0,70	109,31	1,41E-02	43,29
0,75	136,51	1,51E-02	54,07
0,80	167,61	1,61E-02	66,38
0,85	200,77	1,71E-02	79,52
0,90	236,18	1,81E-02	93,54
0,95	270,79	1,91E-02	107,25
1,00	305,83	2,01E-02	121,13
1,05	324,55	2,11E-02	128,54
1,09	334,66	2,19E-02	132,55
1,13	338,88	2,27E-02	134,22
1,19	320,93	2,39E-02	127,11

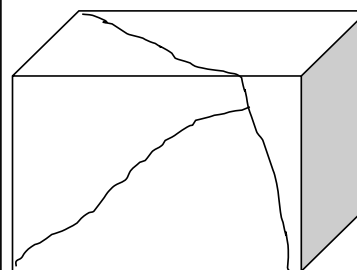
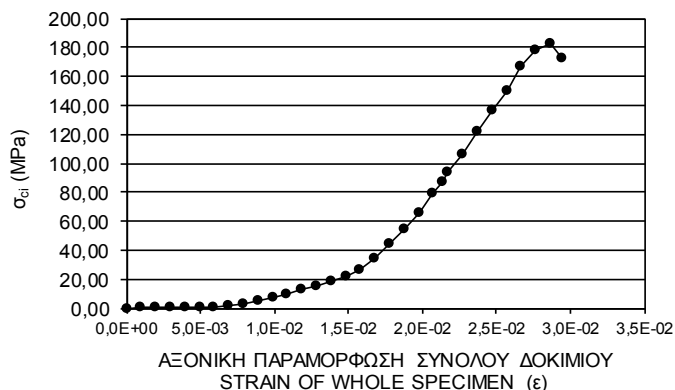


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci} = 134,22 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,06
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	L7	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	5,03
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,45
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,00254518
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		Α.Ε. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0	0,00	0,00
0,05	1,27	9,88E-04	0,50
0,10	1,30	1,98E-03	0,51
0,15	1,40	2,96E-03	0,55
0,20	1,50	3,95E-03	0,59
0,25	2,00	4,94E-03	0,79
0,30	2,32	5,93E-03	0,91
0,35	4,92	6,92E-03	1,93
0,40	8,43	7,91E-03	3,31
0,45	12,87	8,89E-03	5,06
0,50	18,73	9,88E-03	7,36
0,55	23,82	1,09E-02	9,36
0,60	32,02	1,19E-02	12,58
0,65	38,60	1,28E-02	15,17
0,70	48,31	1,38E-02	18,98
0,75	56,59	1,48E-02	22,23
0,80	68,41	1,58E-02	26,88
0,85	87,61	1,68E-02	34,42
0,90	112,02	1,78E-02	44,01
0,95	137,44	1,88E-02	54,00
1,00	167,17	1,98E-02	65,68
1,05	200,56	2,08E-02	78,80
1,08	220,33	2,13E-02	86,57
1,10	237,93	2,17E-02	93,48
1,15	269,83	2,27E-02	106,02
1,2	309,13	2,37E-02	121,46
1,25	347,32	2,47E-02	136,46
1,30	380,95	2,57E-02	149,68
1,35	424,82	2,67E-02	166,91
1,40	453,33	2,77E-02	178,11
1,45	465,70	2,87E-02	182,97
1,49	437,57	2,94E-02	171,92

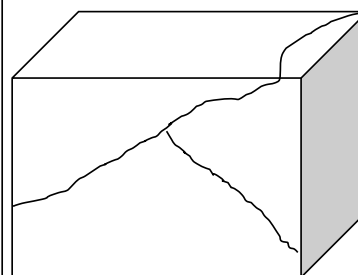
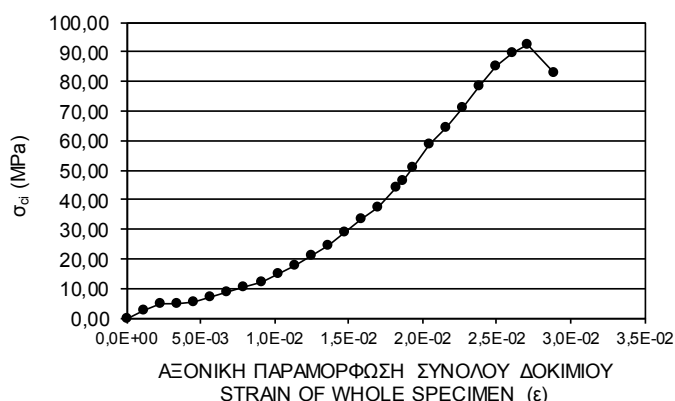


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci}= 182,97 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	4,40
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	L8	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	5,08
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	22,35
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,0022352
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0	0,00	0,00
0,05	5,78	1,14E-03	2,59
0,10	10,68	2,27E-03	4,78
0,15	10,34	3,41E-03	4,63
0,20	12,51	4,55E-03	5,60
0,25	15,27	5,68E-03	6,83
0,30	19,76	6,82E-03	8,84
0,35	23,48	7,95E-03	10,50
0,40	27,45	9,09E-03	12,28
0,45	33,44	1,02E-02	14,96
0,50	39,53	1,14E-02	17,69
0,55	46,55	1,25E-02	20,83
0,60	54,65	1,36E-02	24,45
0,65	64,43	1,48E-02	28,83
0,70	74,47	1,59E-02	33,32
0,75	84,00	1,70E-02	37,58
0,80	98,37	1,82E-02	44,01
0,82	103,89	1,86E-02	46,48
0,85	113,85	1,93E-02	50,94
0,90	130,96	2,05E-02	58,59
0,95	143,89	2,16E-02	64,37
1,00	159,27	2,27E-02	71,26
1,05	175,22	2,39E-02	78,39
1,10	190,42	2,50E-02	85,19
1,15	200,67	2,61E-02	89,78
1,19	206,47	2,70E-02	92,37
1,27	185,51	2,89E-02	82,99

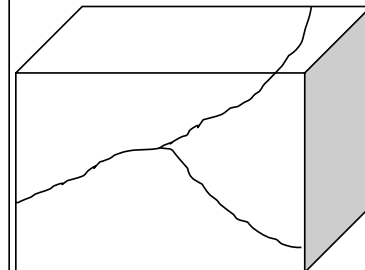
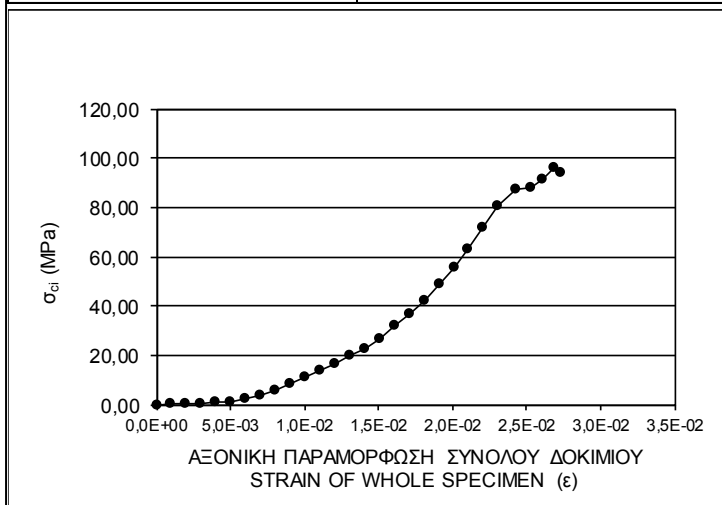


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci} = 92,37 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	4,98
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	L9	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	4,98
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	24,80
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,00248004
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0	0,00	0,00
0,05	0,86	1,00E-03	0,35
0,10	0,98	2,01E-03	0,40
0,15	1,56	3,01E-03	0,63
0,20	2,35	4,02E-03	0,95
0,25	2,37	5,02E-03	0,96
0,30	5,11	6,02E-03	2,06
0,35	8,77	7,03E-03	3,54
0,40	14,09	8,03E-03	5,68
0,45	20,36	9,04E-03	8,21
0,50	26,89	1,00E-02	10,84
0,55	33,62	1,10E-02	13,56
0,60	40,80	1,20E-02	16,45
0,65	48,95	1,31E-02	19,74
0,70	56,12	1,41E-02	22,63
0,75	66,58	1,51E-02	26,85
0,80	78,83	1,61E-02	31,79
0,85	91,58	1,71E-02	36,93
0,90	103,69	1,81E-02	41,81
0,95	121,13	1,91E-02	48,84
1,00	137,54	2,01E-02	55,46
1,05	156,64	2,11E-02	63,16
1,10	177,67	2,21E-02	71,64
1,15	199,76	2,31E-02	80,55
1,21	217,11	2,43E-02	87,54
1,26	218,91	2,53E-02	88,27
1,3	225,96	2,61E-02	91,11
1,34	238,37	2,69E-02	96,12
1,36	233,83	2,73E-02	94,28

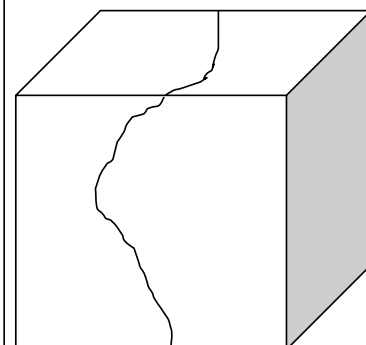
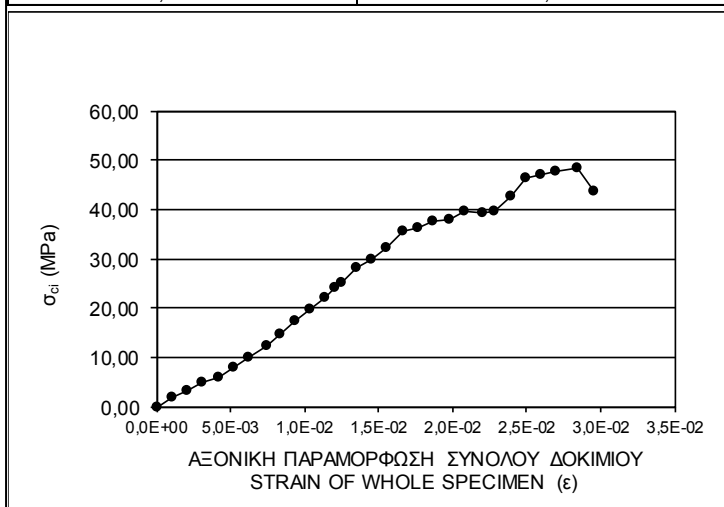


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci} = 96,12 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	4,81
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	L10	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	4,99
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	24,00
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,00240019
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0	0,00	0,00
0,05	4,62	1,04E-03	1,92
0,10	7,87	2,08E-03	3,28
0,15	11,69	3,12E-03	4,87
0,20	14,27	4,16E-03	5,95
0,25	18,86	5,20E-03	7,86
0,30	23,97	6,24E-03	9,99
0,36	29,80	7,48E-03	12,42
0,40	35,12	8,32E-03	14,63
0,45	41,57	9,36E-03	17,32
0,50	47,25	1,04E-02	19,69
0,55	53,16	1,14E-02	22,15
0,58	57,65	1,21E-02	24,02
0,60	60,56	1,25E-02	25,23
0,65	67,92	1,35E-02	28,30
0,70	71,51	1,46E-02	29,79
0,75	77,47	1,56E-02	32,28
0,80	85,13	1,66E-02	35,47
0,85	87,27	1,77E-02	36,36
0,90	90,16	1,87E-02	37,56
0,95	91,25	1,98E-02	38,02
1,00	95,25	2,08E-02	39,68
1,06	94,11	2,20E-02	39,21
1,10	95,22	2,29E-02	39,67
1,15	102,29	2,39E-02	42,62
1,2	111,02	2,49E-02	46,25
1,25	113,00	2,60E-02	47,08
1,30	114,85	2,70E-02	47,85
1,37	116,23	2,85E-02	48,43
1,42	104,38	2,95E-02	43,49

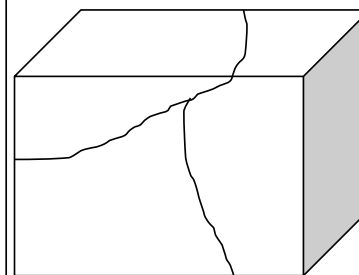
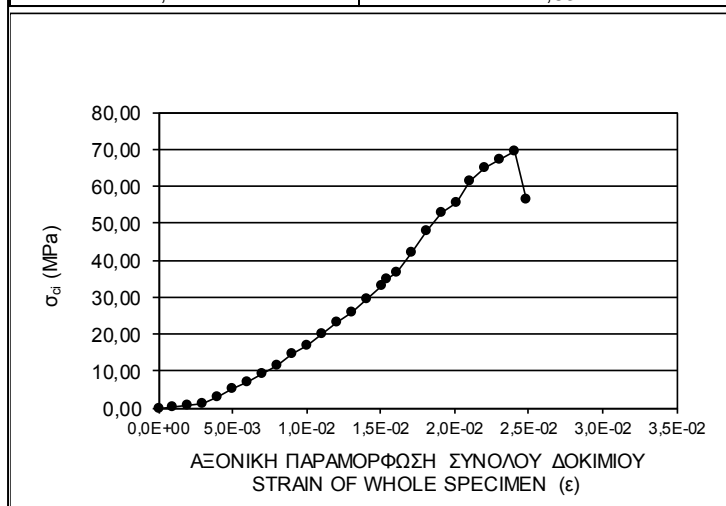


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci} = 48,43 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	4,98
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	L11	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	5,08
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,30
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,00252984
ΗΜΑΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0	0,00	0,00
0,05	1,05	1,00E-03	0,42
0,10	1,78	2,01E-03	0,70
0,15	2,40	3,01E-03	0,95
0,20	7,32	4,02E-03	2,89
0,25	12,85	5,02E-03	5,08
0,30	17,21	6,02E-03	6,80
0,35	23,35	7,03E-03	9,23
0,40	28,67	8,03E-03	11,33
0,45	37,13	9,04E-03	14,68
0,50	42,68	1,00E-02	16,87
0,55	50,14	1,10E-02	19,82
0,60	58,99	1,20E-02	23,32
0,65	65,57	1,31E-02	25,92
0,70	74,19	1,41E-02	29,33
0,75	83,17	1,51E-02	32,88
0,77	87,58	1,55E-02	34,62
0,80	92,82	1,61E-02	36,69
0,85	106,40	1,71E-02	42,06
0,90	121,29	1,81E-02	47,94
0,95	133,70	1,91E-02	52,85
1,00	140,69	2,01E-02	55,61
1,05	155,58	2,11E-02	61,50
1,10	164,85	2,21E-02	65,16
1,15	170,34	2,31E-02	67,33
1,2	176,18	2,41E-02	69,64
1,24	142,83	2,49E-02	56,46

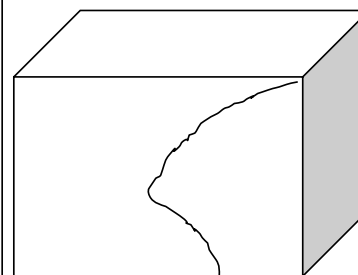
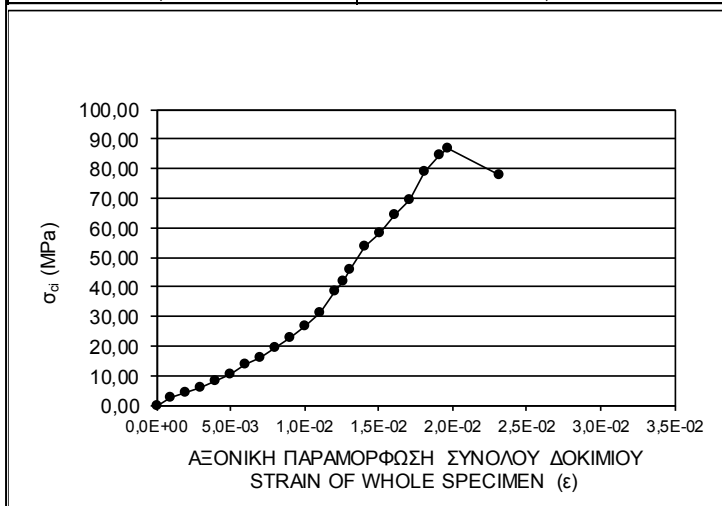


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci} = 69,64 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	4,97
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	L12	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	5,07
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,20
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,00251979
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0	0,00	0,00
0,05	5,70	1,01E-03	2,26
0,10	10,71	2,01E-03	4,25
0,15	14,99	3,02E-03	5,95
0,20	20,49	4,02E-03	8,13
0,25	25,96	5,03E-03	10,30
0,30	34,34	6,04E-03	13,63
0,35	39,76	7,04E-03	15,78
0,40	48,82	8,05E-03	19,37
0,45	57,80	9,05E-03	22,94
0,50	67,22	1,01E-02	26,68
0,55	78,40	1,11E-02	31,11
0,60	97,34	1,21E-02	38,63
0,63	106,11	1,27E-02	42,11
0,65	115,92	1,31E-02	46,00
0,70	134,86	1,41E-02	53,52
0,75	146,58	1,51E-02	58,17
0,80	162,11	1,61E-02	64,33
0,85	174,52	1,71E-02	69,26
0,90	198,47	1,81E-02	78,76
0,95	212,50	1,91E-02	84,33
0,98	218,78	1,97E-02	86,82
1,15	196,62	2,31E-02	78,03

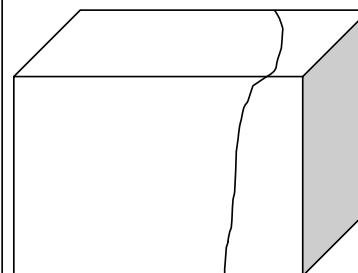
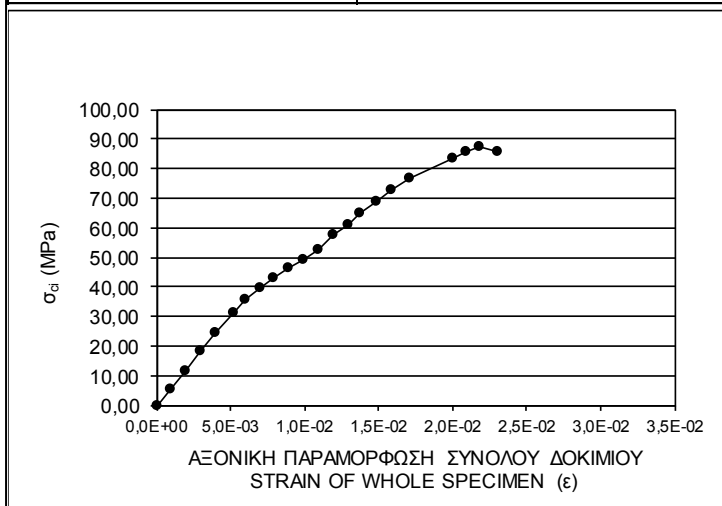


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci} = 86,82 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,03
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	L13	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	5,08
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	25,25
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,00252476
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0	0,00	0,00
0,05	13,24	9,94E-04	5,24
0,10	28,63	1,99E-03	11,34
0,15	46,32	2,98E-03	18,35
0,20	61,47	3,98E-03	24,35
0,26	78,97	5,17E-03	31,28
0,30	90,34	5,96E-03	35,78
0,35	100,50	6,96E-03	39,81
0,40	108,65	7,95E-03	43,03
0,45	116,65	8,95E-03	46,20
0,50	124,65	9,94E-03	49,37
0,55	132,65	1,09E-02	52,54
0,60	145,68	1,19E-02	57,70
0,65	153,25	1,29E-02	60,70
0,69	163,65	1,37E-02	64,82
0,75	173,65	1,49E-02	68,78
0,80	183,65	1,59E-02	72,74
0,86	193,65	1,71E-02	76,70
1,01	210,95	2,01E-02	83,55
1,05	215,65	2,09E-02	85,41
1,10	220,35	2,19E-02	87,28
1,16	216,97	2,31E-02	85,94

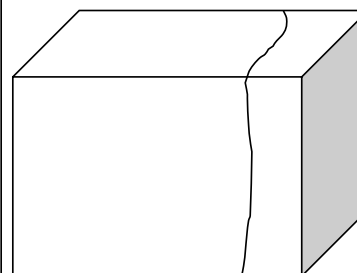
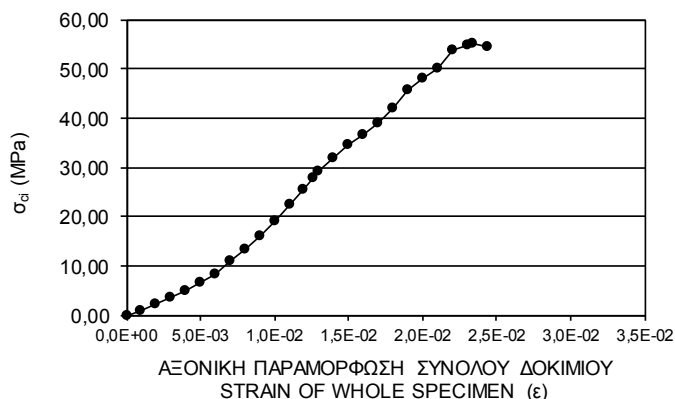


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci} = 87,28 MPa

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ
ROCK MECHANICS LABORATORY TEST
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH

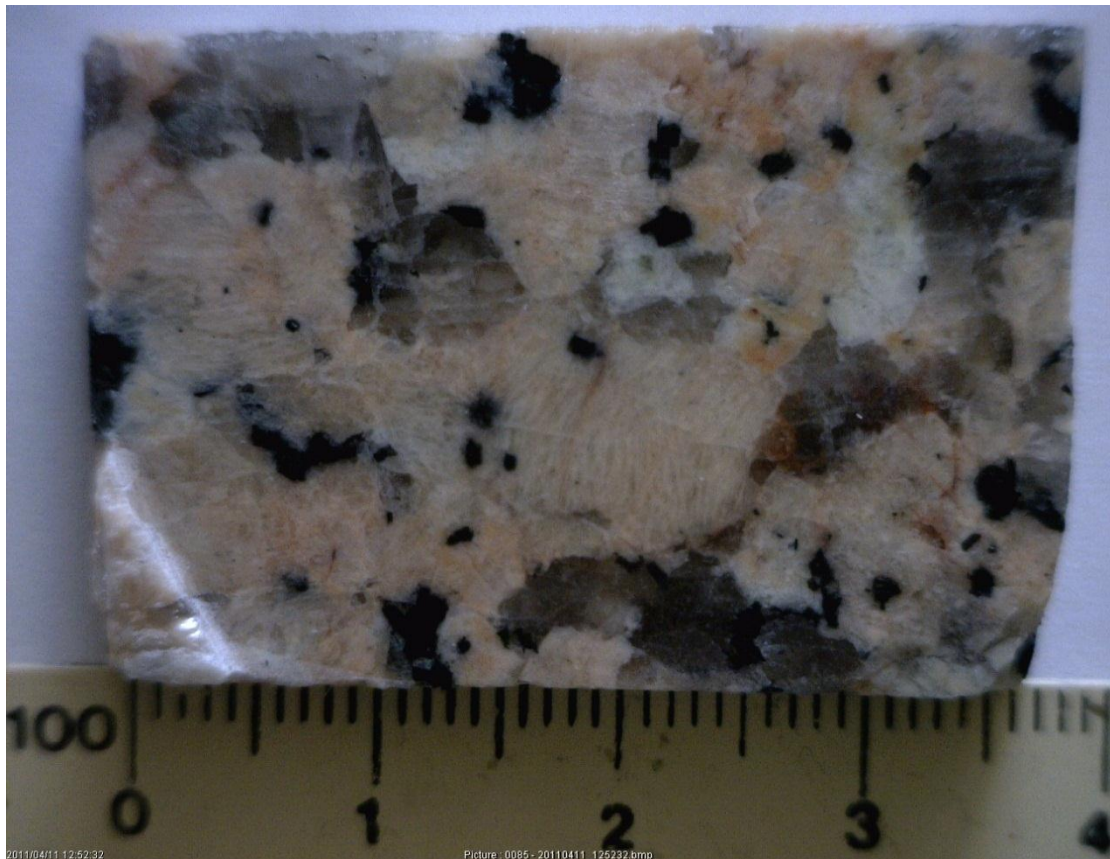
ΓΕΩΤΡΗΣΗ / BOREHOLE:		ΥΨΟΣ / LENGTH h (cm) :	5,00
ΔΕΙΓΜΑ / SAMPLE:	L14	ΠΛΕΥΡΑ d (cm) :	4,83
ΒΑΘΟΣ / DEPTH (m):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (cm ²) :	24,15
ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / SURFACE (m ²) :	0,002415
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	20/4/2011	ΞΗΡΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ / READING		ΑΞ. ΑΝΗΓΜ. ΠΑΡΑΜΟΡΦ. STRAIN	ΤΑΣΗ STRENGTH
ΑΞΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝ. ΜΙΚΡΟΜΕΤΡΟΥ (mm) AXIAL DISPLACEMENT (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN) FORCE (kN)	ε	σ _{ci} (MPa)
0,00	0	0,00	0,00
0,05	2,09	1,00E-03	0,87
0,10	5,23	2,00E-03	2,17
0,15	8,67	3,00E-03	3,59
0,20	11,92	4,00E-03	4,94
0,25	15,84	5,00E-03	6,56
0,30	20,12	6,00E-03	8,33
0,35	26,55	7,00E-03	10,99
0,40	32,43	8,00E-03	13,43
0,45	38,76	9,00E-03	16,05
0,50	46,19	1,00E-02	19,13
0,55	53,75	1,10E-02	22,26
0,60	61,08	1,20E-02	25,29
0,63	66,91	1,26E-02	27,71
0,65	70,09	1,30E-02	29,02
0,70	76,56	1,40E-02	31,70
0,75	83,45	1,50E-02	34,55
0,80	88,28	1,60E-02	36,55
0,85	93,96	1,70E-02	38,91
0,90	101,29	1,80E-02	41,94
0,95	110,19	1,90E-02	45,63
1,00	116,00	2,00E-02	48,03
1,05	121,00	2,10E-02	50,10
1,10	130,22	2,20E-02	53,92
1,15	132,15	2,30E-02	54,72
1,17	133,29	2,34E-02	55,19
1,22	131,17	2,44E-02	54,31

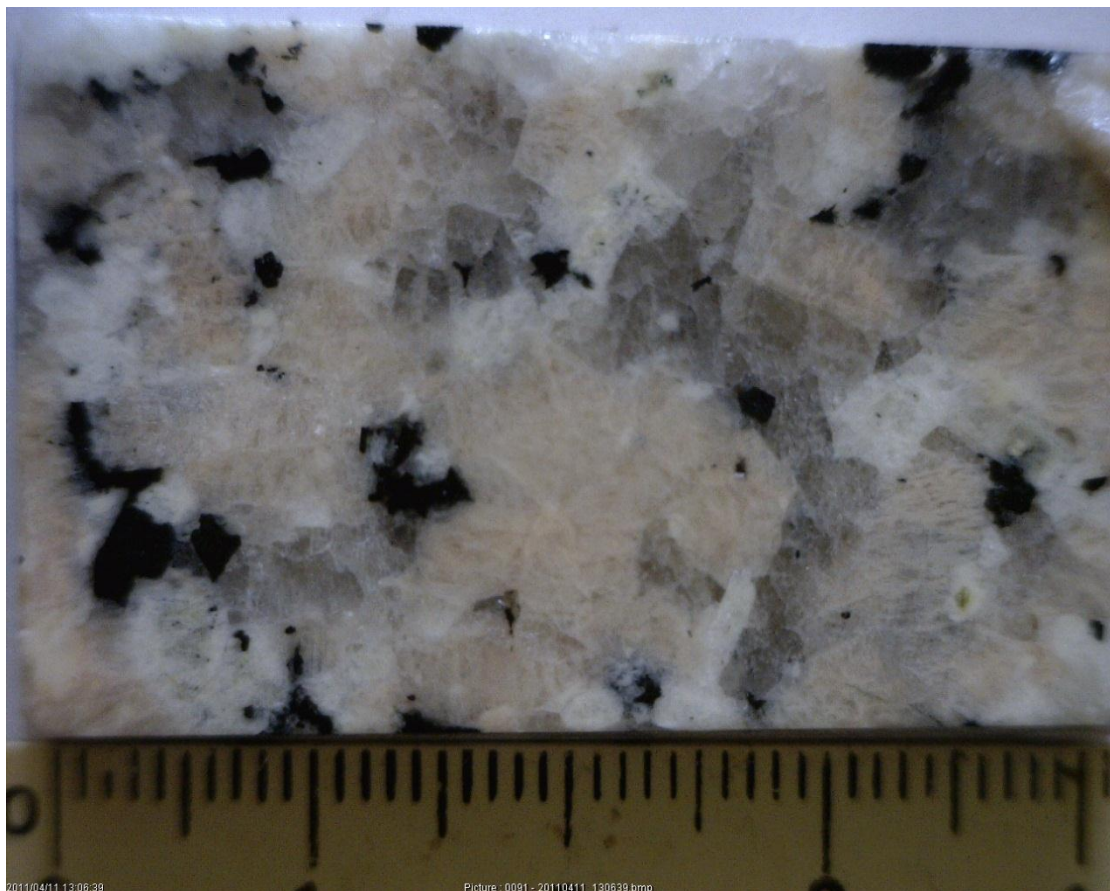


ΑΝΤΟΧΗ / STRENGTH σ_{ci} = 55,19 MPa

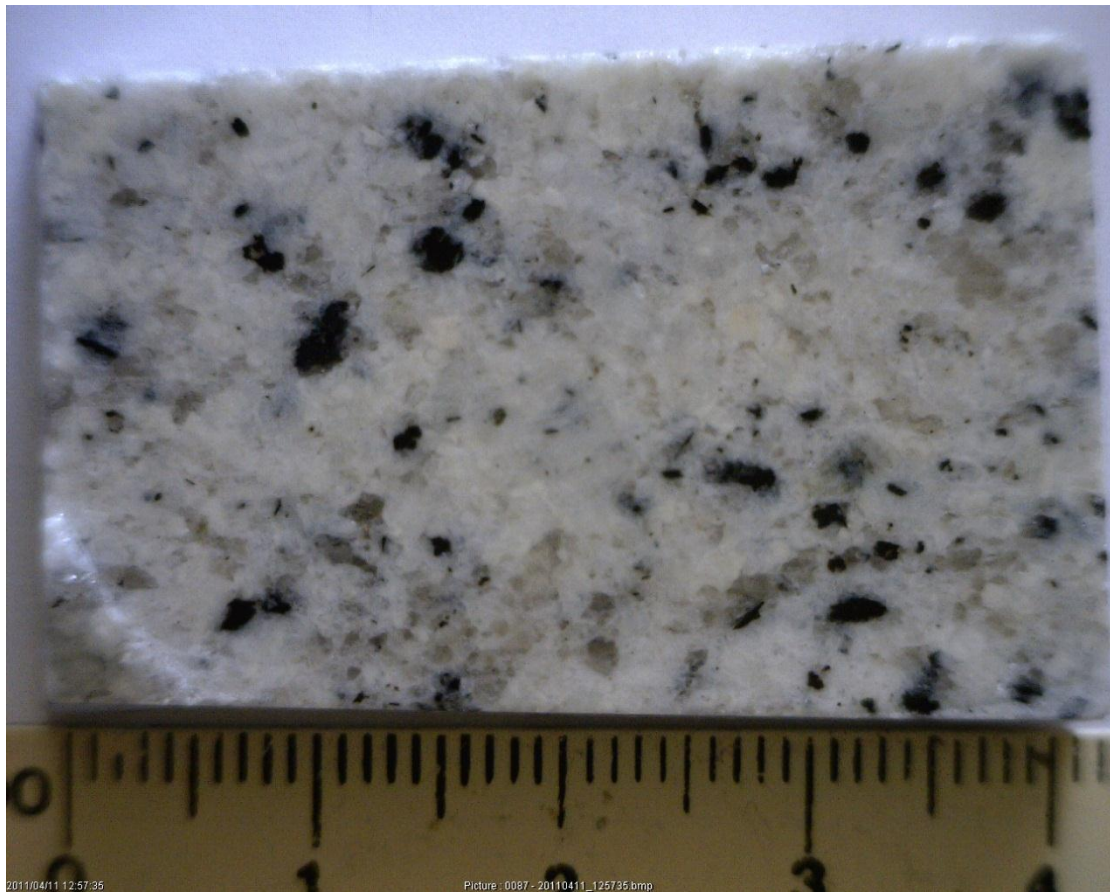
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ



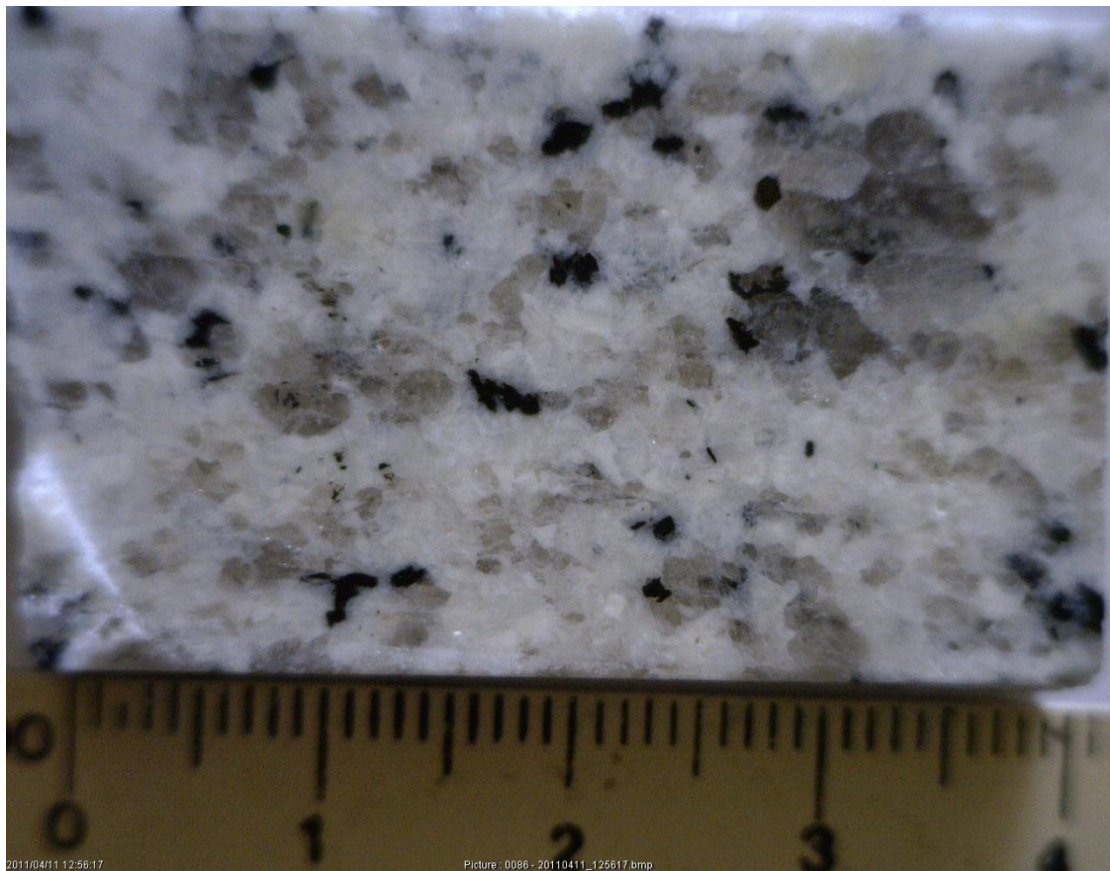
Εικόνα 17: : Γρανίτης Rosa Porino, δείγμα A11



Εικόνα 18: Γρανίτης Rosa Beta, δείγμα X6



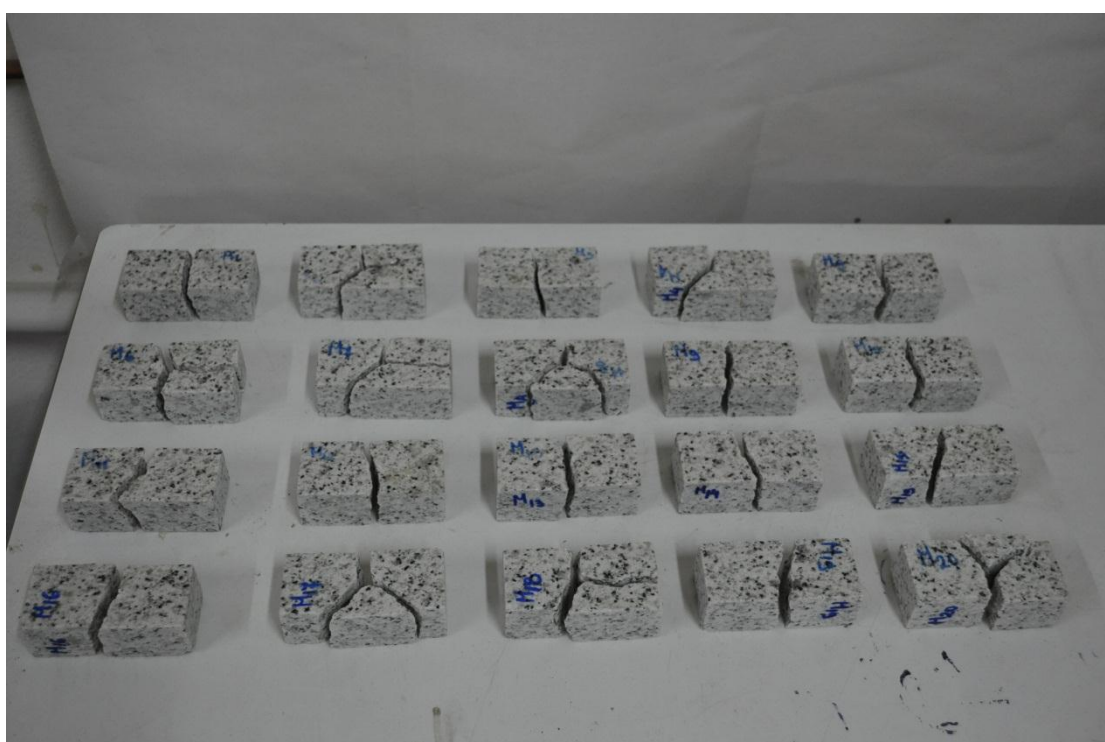
Εικόνα 19: Γρανίτης Bianco Crystal, δείγμα A7



Εικόνα 20: Γρανίτης Bianco Real, δείγμα M17



Εικόνα 21: Δοκίμια M1 – M20 (Bianco Real) πριν τη θραύση με τη δοκιμή σημειακής φόρτισης



Εικόνα 22: Δοκίμια M1 – M20 (Bianco Real) μετά τη θραύση με τη δοκιμή σημειακής φόρτισης



Εικόνα 23: Δοκίμια X1 – X20 (Rosa Beta) πριν τη θραύση με τη δοκιμή σημειακής φόρτισης



Εικόνα 24: Δοκίμια X1 – X20 (Rosa Beta) μετά τη θραύση με τη δοκιμή σημειακής φόρτισης



Εικόνα 25: Δοκίμια Λ1 – Λ14 (Bianco Crystal) πριν τη θραύση με τη δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης



Εικόνα 26: Δοκίμια Λ1 – Λ14 (Bianco Crystal) μετά τη θραύση με τη δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης



Εικόνα 27: Δοκίμια A1 – A14 (Rosa Porino) πριν τη θραύση με τη δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης



Εικόνα 28: Δοκίμια A1 – A14 (Rosa Porino) μετά τη θραύση με τη δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης