

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ, ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ
ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΜΑΡΜΑΡΩΝ
ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΔΡΑΜΑΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ
ΜΠΕΤΣΙΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: ΧΡΙΣΤΟΦΙΔΗΣ Γ.
ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ Α.**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2007

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

070260

Πρόλογος	1
Περίληψη	3
Abstract	4
1 Εισαγωγή	5
1.1 Γενικά για το μάρμαρο	5
1.2 Χρώμα, υφές και μέγεθος κόκκων	6
1.3 Σύσταση των μαρμάρων	8
1.4 Η σημασία του μαρμάρου στην αρχαιότητα	9
1.5 Η σημασία του μαρμάρου στη σύγχρονη εποχή	10
2 Στοιχεία της γεωλογίας της περιοχής	13
2.1 Τεκτονική δομή και ορογενετική εξέλιξη	13
3 Γεωλογία της περιοχής των δειγμάτων	16
4 Χρώμα, υφή και μέγεθος κόκκων των δειγμάτων	19
4.1 Χρώμα	19
4.2 Υφή και μέγεθος κόκκων	20
5 Ορυκτολογική και χημική σύσταση	23
5.1 Χημική σύσταση	23
5.2 Ορυκτολογική σύσταση	23
6 Προσδιορισμός και σπουδαιότητα φυσικομηχανικών ιδιοτήτων	27
6.1 Η σπουδαιότητα των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων	27
6.2 Προσδιορισμός των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων	30
6.2.1 Προσδιορισμός Φαινόμενου ειδικού βάρους (ρ_f)	31
6.2.2 Προσδιορισμός της υδαταπορρόφησης (W)	36
6.2.3 Προσδιορισμός μέτρου ελαστικότητας (ϵ)	40
6.2.4 Προσδιορισμός στην αντοχή στη θλίψη (R_c)	45
6.2.5 Αντοχή στον εφελκυσμό από κάμψη	49
6.2.6 Αντοχή στη φθορά από τριβή Boehm	55
6.2.7 Συντελεστής ανοικτού πορώδους (p)	59
6.2.8 Αντίσταση στην πρόσκρουση	63
6.2.9 Αντοχή σε κύκλους ψύξης – απόψυξης	65
7 Συμπεράσματα	69
8 Περιθλασιογράμματα	71
9 Παράρτημα μακροσκοπικών και μικροσκοπικών φωτογραφιών	91



10	Βιβλιογραφία	125
----	--------------------	-----

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

1.1	α) Ερυθρό μάρμαρο Ερέτριας, β) Τεφροκάστανο μάρμαρο Χίου	7
1.2	α) Αδρόκοκκο ασβεστίτικο μάρμαρο, β) Μικροκρυσταλλικό δολομιτικό μάρμα- ρο.....	8
1.3	Παρατηρούμενο ποσοστό δολομίτη στη φύση	9
1.4	Κούρος Θάσου από δολομίτη	10
2.1	Γεωλογικός χάρτης στον οποίο φαίνονται τα λατομικά κέντρα της Αν. Μακεδονίας	14
2.2	Τεκτονικό σκαρίφημα της Μάζας της Ροδόπης	15
2.3	Σχηματική γεωλογική δομή στην περιοχή Σιδηρονέρου Δράμας	15
3.1	Λατομείο της περιοχής Βώλακα	16
3.2	Λατομείο της περιοχής των Πηγών	17
3.3	Λατομείο περιοχής Γρανίτη	17
4.1	α) Λευκό μάρμαρο Βώλακα, β) Γκριζότεφρο μάρμαρο Βαθύλακου	19
4.2	Συσχετισμός του ποσοστού ασβεστίτη με το μέγεθος των κόκκων	22
6.1	Διακύμανση της θλιπτικής αντοχής (C) ανάλογα με το λόγο h/d (h = ύψος και d =διάμετρος δοκιμίου)	27
6.2	Συσχετισμός του μεγέθους των κόκκων με το φαινόμενο ειδικό βάρος	34
6.3	Συσχετισμός του ποσοστού ασβεστίτη με το φαινόμενο ειδικό βάρος	35
6.4	Συσχετισμός του ποσοστού ασβεστίτη με το φαινόμενο ειδικό βάρος παρουσία και βιβλιογραφικών μετρήσεων	35
6.5	Συσχετισμός του μεγέθους των κόκκων με την ικανότητα υδαταπορόφησης ...	38
6.6	Συσχετισμός του ποσοστού ασβεστίτη με την ικανότητα υδαταπορόφησης	39
6.7	Συσχετισμός του ποσοστού ασβεστίτη με την ικανότητα υδαταπορόφησης παρουσία και βιβλιογραφικών μετρήσεων	39
6.8	α) Η ασκούμενη δύναμη είναι κάθετη, β) Η ασκούμενη δύναμη είναι παράλληλη στη στρώση του δοκιμίου	41
6.9	Συσχετισμός μέτρου ελαστικότητας και μεγέθους κόκκων	43
6.10	Συσχετισμός μέτρου ελαστικότητας και ποσοστού ασβεστίτη	44
6.11	Συσχετισμός μέτρου ελαστικότητας και ποσοστού ασβεστίτη παρουσία και βιβλιογραφικών μετρήσεων	44
6.12	Συσχετισμός αντοχής στη θλίψη και μεγέθους κόκκων	47

6.13	Συσχετισμός αντοχής στη θλίψη και ποσοστού ασβεστίτη	48
6.14	Συσχετισμός αντοχής στη θλίψη και ποσοστού ασβεστίτη παρουσία και βιβλιογραφικών μετρήσεων	48
6.15	Απεικόνιση του τρόπου δράσης της δύναμης πάνω στα δοκίμια.....	52
6.16	Συσχετισμός αντοχής στον εφελκυσμό και μεγέθους κόκκων	54
6.17	Συσχετισμός αντοχής στον εφελκυσμό και ποσοστού ασβεστίτη	54
6.18	Συσχετισμός αντοχής στην τριβή κατά Boehme και μεγέθους κόκκων	58
6.19	Συσχετισμός αντοχής στην τριβή κατά Boehme και ποσοστού ασβεστίτη	58
6.20	Συσχετισμός αντοχής στην τριβή κατά Boehme και ποσοστού ασβεστίτη παρουσία και βιβλιογραφικών μετρήσεων	59
6.21	Συσχετισμός του συντελεστή ανοικτού πορώδους με το μέγεθος των κόκκων ...	62
6.22	Συσχετισμός του συντελεστή ανοικτού πορώδους με το ποσοστό του ασβεστίτη	63
6.23	Συσχετισμός αντίστασης στην πρόσκρουση και μεγέθους κόκκων	64
6.24	Συσχετισμός αντίστασης στην πρόσκρουση και ποσοστού ασβεστίτη	65
6.25	Συσχετισμός της αντοχής σε κύκλους ψύξης - απόψυξης και μεγέθους των Κόκκων	67
6.26	Συσχετισμός της αντοχής σε κύκλους ψύξης - απόψυξης και ποσοστού Ασβεστίτη	68
Π1	Μακροσκοπικό δείγμα GR-1 της περιοχής του Γρανίτη	93
Π2	Μακροσκοπικό δείγμα PG-1 της περιοχής «Άσπρες Πέτρες» Πηγών	93
Π3	Μακροσκοπικό δείγμα PG-2 της περιοχής «Άσπρες Πέτρες» Πηγών	94
Π4	Μακροσκοπικό δείγμα PG-2 της περιοχής «Άσπρες Πέτρες» Πηγών	94
Π5	Μακροσκοπικό δείγμα PG-3 της περιοχής «Άσπρες Πέτρες» Πηγών	95
Π6	Μακροσκοπικό δείγμα PG-3 της περιοχής «Άσπρες Πέτρες» Πηγών	95
Π7	Μακροσκοπικό δείγμα BL-1 της περιοχής «Μπουρέ» Βώλακα	96
Π8	Μακροσκοπικό δείγμα BL-1 της περιοχής «Μπουρέ» Βώλακα	96
Π9	Μακροσκοπικό δείγμα BL-2 της περιοχής «Μπουρέ» Βώλακα	97
Π10	Μακροσκοπικό δείγμα BL-2 της περιοχής «Μπουρέ» Βώλακα	97
Π11	Μακροσκοπικό δείγμα BL-3 της περιοχής «Μπουρέ» Βώλακα	98
Π12	Μακροσκοπικό δείγμα BL-3 της περιοχής «Μπουρέ» Βώλακα	98
Π13	Μακροσκοπικό δείγμα ST-1 της περιοχής «Στεγνό» Στενωπού	99
Π14	Μακροσκοπικό δείγμα ST-1 της περιοχής «Στεγνό» Στενωπού	99
Π15	Μακροσκοπικό δείγμα ST-2 της περιοχής «Στεγνό» Στενωπού	100
Π16	Μακροσκοπικό δείγμα ST-2 της περιοχής «Στεγνό» Στενωπού	100

Π17	Μακροσκοπικό δείγμα ST-3 της περιοχής «Στεγνό» Στενωπού	101
Π18	Μακροσκοπικό δείγμα ST-3 της περιοχής «Στεγνό» Στενωπού	101
Π19	Μακροσκοπικό δείγμα ΒΤΗ-1 από την περιοχή Βαθυλάκκου	102
Π20	Μακροσκοπικό δείγμα ΒΤΗ-1 από την περιοχή Βαθυλάκκου	102
Π21	Μακροσκοπικό δείγμα ΒΤΗ-2 από την περιοχή Βαθυλάκκου	103
Π22	Μακροσκοπικό δείγμα ΒΤΗ-2 από την περιοχή Βαθυλάκκου	103
Π23	Μακροσκοπικό δείγμα ΒΤΗ-2 από την περιοχή Βαθυλάκκου (με χλωρίτη)	104
Π24	Μακροσκοπικό δείγμα ΒΤΗ-3 από την περιοχή Βαθυλάκκου	104
Π25	Μακροσκοπικό δείγμα ΒΤΗ-3 από την περιοχή Βαθυλάκκου	105
Π26	Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος BL-1Α με φακό 4x	106
Π27	Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος BL-1Β με φακό 4x	107
Π28	Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος BL-2Α με 4x και 6,3x φακό	108
Π29	Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος BL-2Β με φακό 4x και 6,3x	109
Π30	Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος BL-3Α με φακό 4x και 6,3x	110
Π31	Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος BL-3Β με φακό 4x και 6,3x	111
Π32	Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος GR με 4x φακό	112
Π33	Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος ΡG-1 με 4x φακό	113
Π34	Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος ΡG-2Α με 4x φακό	114
Π35	Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος ΡG-2Β με 6,3x φακό	115
Π36	Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος ΡG-3Α με 4x φακό	116
Π37	Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος ΡG-3Β με 6,3x φακό	117
Π38	Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος ST-1Α με φακό 4x	118
Π39	Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος ST-1Β με φακό 4x και 6,3x	119
Π40	Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος ST-2 με 4x φακό	120
Π41	Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος ST-3 με 4x φακό	121
Π42	Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος ΒΤΗ-1 με 4x φακό	122
Π43	Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος ΒΤΗ-2Α με 4x φακό	123
Π44	Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος ΒΤΗ-2Β με 6,3x φακό	124
Π45	Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος ΒΤΗ-3 με φακό 4x και 6,3x	125

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

1.1	Ποιοτικές απαιτήσεις για διάφορες χρήσεις των ανθρακικών πετρωμάτων	11
3.1	Παρουσίαση των δειγμάτων που μελετήθηκαν με τους κωδικούς τους, την τοποθεσία τους και το δήμο που ανήκει η περιοχή που μελετήθηκαν	18
4.1	Χρώμα δειγμάτων	19
4.2	Κοκκομετρία δειγμάτων	21
5.1	Χημική ανάλυση των μελετηθέντων μαρμάρων	23
5.2	Συντελεστές για τον ποσοτικό προσδιορισμό κάθε ορυκτού που προσδιορίστηκε	24
5.3	Ορυκτολογική σύσταση των μαρμάρων	25
5.4	Μέσος όρος της ορυκτολογικής σύστασης των μαρμάρων από μελέτη τους στα εργαστήρια του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης	26
5.5	Ορυκτολογική σύσταση των μαρμάρων από μελέτη τους στο εργαστήριο «Λίθος»	26
6.1	Βαθμός σπουδαιότητας των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των μαρμάρων ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται	29
6.2	Τιμές των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των δειγμάτων ανά περιοχή	31
6.3	Φαινόμενο ειδικό βάρος των δειγμάτων που μελετήθηκαν	34
6.4	Υδαταπορρόφηση των δειγμάτων που μελετήθηκαν	38
6.5	Μέτρο ελαστικότητας των δειγμάτων που μελετήθηκαν	43
6.6	Αντοχή στη θλίψη των δειγμάτων που μελετήθηκαν	47
6.7	Αντοχή στον εφελκυσμό των δειγμάτων που μελετήθηκαν	53
6.8	Αντοχή στην τριβή Boheme των δειγμάτων που μελετήθηκαν	57
6.9	Συντελεστές ανοικτού πορώδους των δειγμάτων που μελετήθηκαν	62
6.10	Αντίσταση στην πρόσκρουση των δειγμάτων που μελετήθηκαν	64
6.11	Αντοχή σε κύκλους ψύξης – απόψυξης των δειγμάτων που μελετήθηκαν	67

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα ανθρακικά πετρώματα, ιδιαίτερα τα μάρμαρα, χρησιμοποιούνται ευρύτατα ως δομικά υλικά. Η βιομηχανία μαρμάρου έχει αναπτυχθεί σημαντικά στην Ελλάδα, χώρα πλούσια σε τέτοια πετρώματα, με σημαντικά θετικά αποτελέσματα στην οικονομία μας. Το μάρμαρο χρησιμοποιείται σε μεγάλη έκταση στο εσωτερικό αλλά ταυτόχρονα σημαντικές ποσότητες του προϊόντος αυτού εξάγονται στο εξωτερικό. Πέραν τούτου τα ανθρακικά υλικά χρησιμοποιούνται και σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών.

Όπως για κάθε δομικό προϊόν έτσι και για τα μάρμαρα θα πρέπει, πριν από τη διάθεσή τους για χρήση, να μετρηθούν διάφορες παράμετροι προκειμένου να διαπιστωθεί η καταλληλότητά τους για μια συγκεκριμένη χρήση. Να διαπιστωθεί δηλαδή εάν οι τιμές βρίσκονται εντός των ορίων που έχουν καθοριστεί διεθνώς ή από την Ευρωπαϊκή Ενότητα ή και από τα επί μέρους κράτη.

Στα πλαίσια του μαθήματος της διπλωματικής εργασίας στην κατεύθυνση Πετρολογίας - Γεωχημείας του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας, του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, πραγματοποιήθηκε η παρούσα εργασία υπό την επίβλεψη του καθηγητή Γεωργίου Χριστοφίδη και του επίκουρου καθηγητή Αντωνίου Κορωναίου, με σκοπό τη μελέτη της χημικής και ορυκτολογικής σύστασης, της κοκκομετρίας και των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων μαρμάρων της περιοχής της Δράμας. Συγκεκριμένα μελετήθηκαν δείγματα από τις περιοχές Βώλακα, Γρανίτη, Πηγών, Στενωπού και Βαθύλακου Δράμας, τα οποία προσφέρθηκαν ευγενώς από την εταιρία «ΠΑΥΛΙΔΗΣ ΜΑΡΜΑΡΑ-ΓΡΑΝΙΤΕΣ Α.Ε.».

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους δύο επιβλέποντες της διπλωματικής μου εργασίας, τον καθηγητή κ. Γ. Χριστοφίδη και τον επίκουρο καθηγητή κ. Α. Κορωναίο για την πολύτιμη βοήθεια και συμπαράστασή τους στην πραγματοποίηση και ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κ., Σικαλίδη, επίκουρο καθηγητή του Τμήματος Χημικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και την υποψήφια διδάκτορα του ιδίου τμήματος κα Μ. Μπέτσιου και τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Ν. Τυροβούζη για την πολύτιμη βοήθειά τους στον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης των

δειγμάτων που μελετήθηκαν. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αναπληρωτή καθηγητή κ. Γ. Βουτσά, του Τμήματος Φυσικής της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για τη βοήθειά του στην ακτινογραφική μελέτη των δειγμάτων. Επιπροσθέτως, ευχαριστώ πολύ τον επίκουρο καθηγητή κ. Τ. Σολδάτο, τον καθηγητή κ. Α. Τσιραμπίδη και τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Α. Δρακούλη του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, του Τμήματος Γεωλογίας για την πολύτιμη βοήθειά τους στην υλοποίηση της εργασίας αυτής.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και το φιλικό μου περιβάλλον για την υποστήριξη, τη συμπαράσταση και την ανοχή που έδειξαν όλο το διάστημα που εργαζόμουν για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Γίνεται συγκριτική μελέτη της ορυκτολογικής και χημικής σύστασης, της κοκκομετρίας και των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων μαρμάρων της ευρύτερης περιοχής Δράμας - Καβάλας. Μελετήθηκαν δείγματα από πέντε διαφορετικές περιοχές. Τα δείγματα τριών περιοχών (Άσπρες Πέτρες Πηγών, Αμπελάκια Γρανίτη, Μπουρέ Βώλακα) είναι δολομιτικά ενώ των άλλων δύο (Βαθύλακος, Στενωπός) ασβεστιτικά. Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, τα δολομιτικά δείγματα είναι πιο λεπτόκοκκα από τα ασβεστιτικά και αυτό δικαιολογεί το γεγονός ότι τα δολομιτικά έχουν μεγαλύτερο συντελεστή ανοικτού πορώδους και μεγαλύτερη υδαταπορρόφηση, αντοχή στη θλίψη, αντίσταση στην πρόσκρουση, αντοχή στους είκοσι κύκλους ψύξης – απόψυξης από τα ασβεστιτικά.

Όσον αφορά τις υπόλοιπες φυσικομηχανικές ιδιότητες (φαινόμενο ειδικό βάρος, αντοχή στον εφελκυσμό και αντοχή στην τριβή κατά Boehme) οι τιμές τους εξαρτώνται και από την ορυκτολογική και την χημική τους σύσταση. Στις ιδιότητες αυτές δεν μπορούμε να πούμε ξεκάθαρα ποιο από τα δύο είδη δειγμάτων, ασβεστιτικά και δολομιτικά, έχει μεγαλύτερες τιμές.

Με βάση τις συσχετίσεις που έγιναν μεταξύ των ασβεστιτικών και των δολομιτικών δειγμάτων όσον αφορά τις μετρηθείσες παραμέτρους και τη χημική τους σύσταση, τα ασβεστιτικά μάρμαρα έχουν πολύ περισσότερες χρήσεις από τα δολομιτικά. Τα δολομιτικά μάρμαρα χρησιμοποιούνται κυρίως για επενδύσεις κτιρίων, ενώ τα ασβεστιτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ποικίλες άλλες χρήσεις όπως στη χαρτοβιομηχανία, στα λιπάσματα και σε πολλά άλλα.

ABSTRACT

This work is referred to the investigation of mineralogy, chemical composition, the grain size and the physical and mechanical capacities of Drama's marbles. The demanded experiments had taken place in the laboratory of Mineralogy – Petrology in Geology, Physic and Chemistry engineering of Aristoteleio University of Thessalonica. The company "Pavlidis Marble – Granite" has given to us the results of the experiments for physical and mechanical capacities and chemical's composition. Based to the comparisons of calcites and dolomites in these capacities, we can conclude the uses of these marbles.

The samples, which had studied, were from five different areas. Three of these marbles are dolomite and the rest two were calcite. Dolomites are fine-grained and calcites are non fine-grained. These results explain the fact that dolomites have more porosity, absorption of water, endurance in sorrow, resistance in stumbling and endurance in twenty circles of cooling- refrigeration.

The results of the other physical and mechanical capacities (apparent special weight, endurance in extend and endurance in friction as Boehme) had shown that these prices had no exactly limits in calcites and dolomites, and they depend on the chemistry and mineralogy of the samples.

We succeed to find which marbles can be used for, based on their chemistry. Generally, we conclude that calcites have much more uses than dolomites. Dolomites are used more for coating buildings, and calcites can be used, except coating buildings, in manure, food for animals, industry of paper etc.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά για το μάρμαρο

Με τον όρο μάρμαρα εννοούνται τα πετρώματα, τα οποία αποτελούνται, σχεδόν αποκλειστικά από ανθρακικά ορυκτά, δηλαδή ασβεστίτη ή δολομίτη (CaCO_3 ή $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ αντίστοιχα). Η υφή τους είναι συνήθως ισότροπη και ο ιστός τους λοβοειδής ή πολυγωνικός γρανοβλαστικός, υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που παρουσιάζουν κάποιου είδους φολίδωση ή κάποια ατελή σχιστότητα. Είναι προϊόντα περιοχικής μεταμόρφωσης των ανθρακικών ιζηματογενών πετρωμάτων (ασβεστόλιθων και δολομιτών). Η περιοχική μεταμόρφωση χαρακτηρίζεται από ένα εύρος τιμών θερμοκρασίας και πίεσης, ενώ η πίεση της ρευστής φάσης και οι παραμορφωτικές τάσεις ποικίλλουν.

Μάρμαρα μπορούν να προκύψουν από δυναμομεταμόρφωση των ασβεστολίθων, η οποία συνδέεται με τις μεγάλες ορογενέσεις κι έτσι βρίσκονται σε πολλές περιοχές μαζί με άλλα μεταμορφωμένα πετρώματα όπως είναι ο χαλαζίτης, ο φυλλίτης και διάφορα είδη σχιστολίθων. Τα μάρμαρα, τα οποία προκύπτουν από αυτό το είδος της μεταμόρφωσης έχουν λευκό, κίτρινο, κόκκινο ή πράσινο χρώμα. Το μέγεθος των κόκκων κυμαίνεται από μεσαίο έως μεγάλο. Συνήθως παρατηρείται μια σχιστότητα, η οποία παραμένει μετά τη μεταμόρφωση και οφείλεται στη στρωσιγενή διάταξη των ιζηματογενών ασβεστολίθων. Τα μάρμαρα αυτά αποτελούνται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό από ασβεστίτη ή δολομίτη, αλλά μπορεί να περιέχουν και διάφορα φεμικά ορυκτά όπως είναι ο διοψίδιος, ο γροσσουλάριος, φλογοπίτης, ο τρεμολίτης, ο σερπεντίνης και άλλα, στα οποία οφείλεται η ποικιλοχρωμία των μαρμάρων αυτών. Πρόκειται για ιδιαίτερα μαλακά μάρμαρα, δηλαδή με μικρή σκληρότητα..

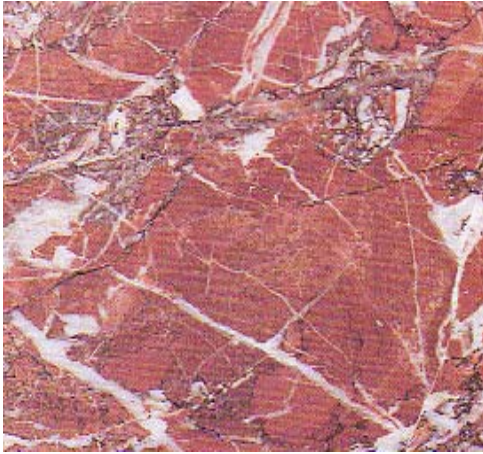
Η λέξη μάρμαρο χρησιμοποιείται με διαφορετική έννοια από τους επιστήμονες και με διαφορετική από τους τεχνικούς ή απλούς ανθρώπους. Στην επιστημονική ορολογία μάρμαρο είναι ένα μεταμορφωμένο πέτρωμα που αποτελείται κυρίως από λεπτό- μέχρι χοντρόκοκκο ανακρυσταλλωμένο ασβεστίτη και/ή δολομίτη με γρανοβλαστικό ή σακχαροειδή ιστό ενώ στην τεχνική - εμπορική ορολογία, ως «μάρμαρο» χαρακτηρίζεται κάθε πέτρωμα που μπορεί να κοπεί, να λειανθεί, να στιλβωθεί και να δώσει πλάκες για επίστρωση και επένδυση. Επιπλέον, στη βιομηχανία ως μάρμαρο μπορούν να χαρακτηρισθούν και οι ασβεστόλιθοι και πολλές φορές και γρανιτικά πετρώματα (Τσιραμπίδης 1996).

1.2 Χρώμα, υφές και μέγεθος κόκκων

Γενικά, το χρώμα των μαρμάρων διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Το χρώμα των γνήσιων μαρμάρων είναι συνήθως λευκό ή λευκότεφρο. Όταν όμως το φως ανακλάται ολικά ή διαχέεται πάνω στην επιφάνεια του μαρμάρου, τότε αυτό παρουσιάζει κατάλευκο χρώμα (Τσιραμπίδης 1996). Επίσης σημαντικό ρόλο στο χρώμα των μαρμάρων παίζει και η ορυκτολογική σύσταση (Χατζηπαναγής και Βουγιούκας 2005).

Πιο συγκεκριμένα, ανάλογα με το είδος και το ποσοστό των περιεχόμενων μη ανθρακικών ορυκτών, τα μάρμαρα εμφανίζουν διάφορους χρωματισμούς. Τα άχρωμα ορυκτά όπως είναι ο ασβεστίτης, ο χαλαζιάς, οι άστριοι και άλλα προσδίδουν το λευκό χρώμα. Η παρουσία βιοτίτη, φλογοπίτη, λειμωνίτη ή οργανικών ουσιών που δεν έχουν εξανθρακωθεί, προσδίδουν τους ποικίλους τόνους του κίτρινου ή του καστανού χρώματος. Ερυθρό ή ιώδες χρώμα προσδίδουν οι γρανάτες, οι ερυθρόχρωμοι άστριοι, ο αιματίτης και διάφορα οξείδια του αργιλίου. Το πράσινο χρώμα οφείλεται στην παρουσία των ορυκτών χλωρίτη, σερικήτη, σερπεντίνη, επιδότου, ολιβίνη, πυροξένων, αμφιβόλων και άλλα. Ανθρακούχες ουσίες, διάφορα είδη πυριτικών ορυκτών (π.χ. πυρόξενοι, αμφίβολοι), μαγνητίτης, ιλμενίτης και οξείδια του μαγγανίου, δίνουν στο μάρμαρο μαύρο χρώμα. Μίγμα των παραπάνω ενώσεων δημιουργεί μεγάλη ποικιλία αποχρώσεων στο μάρμαρο μιας περιοχής (Σχήμα 1.1) (Τσιραμπίδης 1996).

Τα ασβεστιτικά μάρμαρα εμφανίζονται από λευκά έως σκουρόχρωμα, με όλες τις δυνατές αποχρώσεις ανάλογα με το περιεχόμενο ποσοστό γραφίτη στο πέτρωμα. Τέλος, η ποικιλοχρωμία των σιπολινικών μαρμάρων οφείλεται στην παρουσία ορυκτών όπως: μοσχοβίτης, φλογοπίτης, χλωρίτης, τρεμολίτης, γραφίτης, χαλαζιάς και μεταλλικά ορυκτά. (Χατζηπαναγής και Βουγιούκας 2005)



α



β

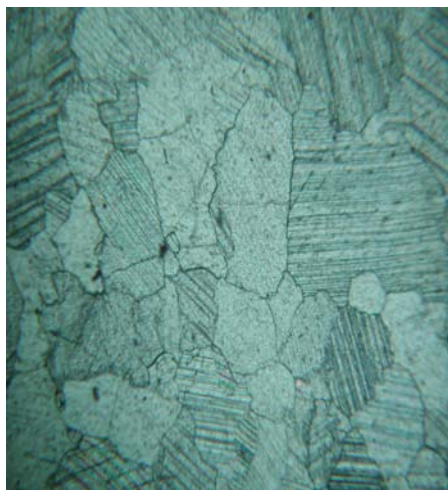
Σχήμα 1.1: α) Ερυθρό μάρμαρο Ερέτριας, β) Τεφροκάστανο μάρμαρο Χίου (Τσιραμπίδης 1996).

Οι υφές των ασβεστόλιθων είναι ιδιαίτερα ποικίλες εξ' αιτίας τις περίπλοκης προέλευσης των ασβεστιτικών πετρωμάτων. Οι ασβεστόλιθοι μπορούν να έχουν υφές, οι οποίες μπορεί να είναι ίδιες με αυτές των χημικών κατακρημνισμάτων ή και κάποιων άλλων πετρωμάτων. Πολλά ανθρακικά πετρώματα περιλαμβάνουν και τους δύο προαναφερθέντες τύπους υφών. Επιπλέον, έχουν κοινά, βιολογικά παραγόμενα, χαρακτηριστικά υφών από τις συνήθειες των ζώντων οργανισμών κατά την εξέλιξή τους, όπως τα φύκη ή τα κοράλλια. Μερικές από αυτές τις βιολογικές δομές είναι αρκετά περίπλοκες. Οι περισσότεροι ασβεστόλιθοι μπορούν να περιγραφούν από τα χαλικώδη και τα αμμώδη μέρη τους, το μείγμα ανθρακικού ασβεστίου και ιλύος και τα ανθρακικά τραχιά κρυσταλλικά κονιάματα (Ehlers and Blatt 1982).

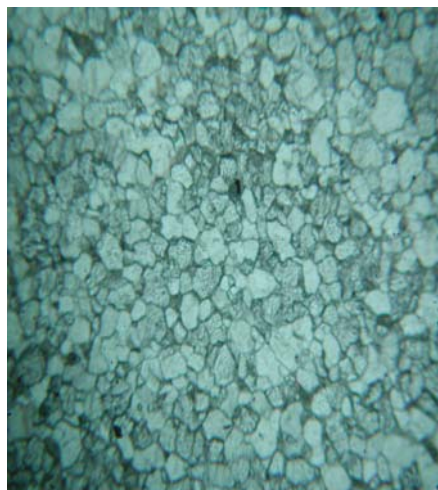
Αν ο ασβεστόλιθος είναι πλούσιος σε μικροκρυσταλλικό ασβεστίτη, αυτό δηλώνει ότι το αποθετικό περιβάλλον είχε βρεθεί σε χαμηλή κινητική ενέργεια. Πρέπει να επισημανθεί, ωστόσο, ότι η περιοχή δημιουργίας των περισσοτέρων ανθρακικών μερών είναι πολύ κοντά στην πλευρά της τελικής απόθεσης, ενώ τα αλλοχημικά μπορούν να παραχθούν ταχύτατα και σε μεγάλες ποσότητες, έτσι ώστε να σχηματίζεται ένα πέτρωμα με πολλά αλλοχημικά και μικρό ποσοστό ιλύος σε περιβάλλον χαμηλής ενέργειας (Ehlers and Blatt 1982).

Όταν τα μάρμαρα χαρακτηρίζονται αδρόκοκκα τότε η υφή που παρουσιάζουν ονομάζεται ζαχαρώδης, που αποδεικνύει ότι επήλθε από παρέμβαση μιας χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης, μια ανακρυστάλλωση του αρχικού ανθρακικού πε-

τρώματος (ασβεστόλιθος ή δολομίτης) χωρίς ορυκτολογικές μεταβολές. Η μόνη διαφορά που επήλθε είναι στους κόκκους του ασβεστόλιθου, οι οποίοι πριν τη μεταμόρφωση ήταν πολύ μικροί στο μικροσκόπιο, ενώ κατά την ανακρυστάλλωση, συνενώθηκαν προς δημιουργία μεγαλύτερων κρυστάλλων, ορατών στο μικροσκόπιο και στο γυμνό μάτι. Το πέτρωμα με τον καινούριο ιστό ονομάζεται μάρμαρο (Βαριάτζας 1989).



α



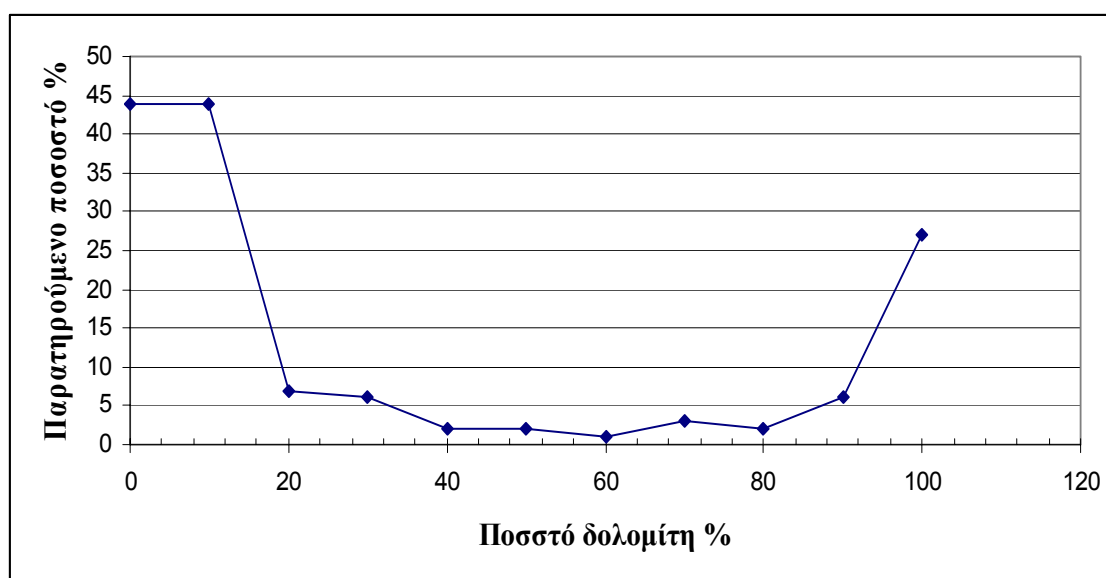
β

Σχήμα 1.2: α) Αδρόκοκκο ασβεστιτικό μάρμαρο, β) Μικροκρυσταλλικό δολομιτικό μάρμαρο

1.3 Σύσταση των μαρμάρων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα μάρμαρα αποτελούνται κατά κύριο λόγο από ασβεστίτη και δολομίτη. Μπορεί, όμως, να υπάρχουν και άλλα ορυκτά συστατικά σε διάφορες ποσότητες όπως ο χαλαζίας, μοσχοβίτης, σερικίτης, χλωρίτης, αλίτης, επίδοτο, σερπεντίνης, γραφίτης, αιματίτης, λειμωνίτης, αργιλικά ορυκτά κ.λ.π. Η παρουσία των ορυκτών αυτών συστατικών, όταν βρίσκονται σε ικανή ποσότητα, επηρεάζει τόσο τις τεχνικές ιδιότητες όσο και το χρώμα του μαρμάρου. Έτσι, τα φυλλώδη ορυκτολογικά συστατικά όπως είναι ο χλωρίτης, ο μοσχοβίτης, αυξάνουν τη σχιστότητά του, ενώ τα έγχρωμα δίνουν σ' αυτό διάφορες χαρακτηριστικές αποχρώσεις. Ο χαλαζίας, που οι τεχνικοί τον ονομάζουν «γυαλί», εξαιτίας της μεγάλης σκληρότητάς του, ακόμη και όταν βρίσκεται σε μικρές ποσότητες και μικρό μέγεθος κόκκων, αυξάνει τη σκληρότητα και την αντοχή του μαρμάρου, αλλά μειώνει σημαντικά τη δυνατότητα για καλή στίλβωση. (Τσιραμπίδης 1996)

Διάφορες έρευνες που έγιναν τα τελευταία χρόνια σε πολλά μέρη του κόσμου τεκμηριώνουν την υπόθεση ότι τα ανθρακικά στρώματα τείνουν να γίνουν ολοκληρωτικά ασβεστίτης ή ολοκληρωτικά δολομίτης (Σχήμα 1.3). Προφανώς, όποιες συνθήκες κι αν επικρατούν οι οποίες δημιουργούν ασβεστίτες και δολομίτες, υπάρχει μια τάση δημιουργίας του ενός ή του άλλου, αλλά όχι μείγμα των δύο (Ehlers and Blatt 1982).



Σχήμα 1.3: Παρατηρούμενο ποσοστό δολομίτη στη φύση (Ehlers and Blatt 1982)

1.4 Η σημασία του μαρμάρου στην αρχαιότητα

Η Ελλάδα είναι από τις πλουσιότερες χώρες του κόσμου σε μάρμαρο και αυτό οφείλεται στη γεωλογική δομή της χώρας, που είναι κυρίως αποτέλεσμα του Αλπικού κύκλου πτυχώσεων, αλλά και της προαλπικής και μεταλπικής γεωλογικής ιστορίας της. Όπως είναι γνωστό, η Ελλάδα ήταν φημισμένη για την παραγωγή των μαρμάρων της πριν από 3000 χρόνια. Τα μάρμαρα αυτά υπήρξαν αντικείμενα ανεπανάληπτου μεγαλείου εκφραστικότητας της ελληνικής τέχνης, ιδιαίτερα για τα αγάλματα (Βαριάτζας 1989).

Στο πέρασμα των αιώνων δεν έχει βρεθεί κάποιο άλλο υλικό με τόσες χαρακτηριστικές ιδιότητες, ένα υλικό που να συγκινεί βαθιά την ανθρώπινη ύπαρξη, να αγγίζει τρυφερά τις πιο ευαίσθητες χορδές της και να την παρασύρει στον κόσμο της

αισθητικής. Θα μπορούσαν να ειπωθούν πολλά για τα ελληνικά μάρμαρα που χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα στην αρχιτεκτονική και στην γλυπτική, δίνοντας ανεπανάληπτα έργα τέχνης.



Σχήμα 1.4: Κούρος Θάσου (δολομίτης) (Τσιραμπίδης 1996)

Σπουδαία αγάλματα έχουν κατασκευαστεί από το ελληνικό μάρμαρο, με γνωστότερους αντιπροσώπους την Αφροδίτη της Μήλου, τη Νίκη της Σαμοθράκης, τον Ερμή του Πραξιτέλη και τόσα άλλα γλυπτά αριστουργήματα (Σχήμα 1.4). Α-ναμφισβήτητης πολυτέλειας και μεγαλοπρέπειας είναι οι περίτεχνοι και λαμπροί μαρμάρινοι ναοί των αρχαίων θεών, με κύριους αντιπροσώπους τον Παρθενώνα, το Ερέχθειο και τα Προπύλαια των Αθηνών (Τσιραμπίδης 1996).

1.5 Η σημασία του μαρμάρου στη σύγχρονη εποχή

Στη σύγχρονη εποχή το μάρμαρο χρησιμοποιείται επίσης πάρα πολύ. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται στην παραγωγή ασβέστου, στη τσιμεντοβιομηχανία, στη βιομηχανία λιπασμάτων, ως συμπλήρωμα ζωοτροφών, χαρτοβιομηχανία, βιομηχανία ελαστικών, στη φαρμακοβιομηχανία και σε ποικίλες εφαρμογές. Το μάρμαρο δεν έχει πάντως να χρησιμοποιείται ως δομικό υλικό και στη γλυπτική, όπως και στην αρχαιότητα. Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι ποιοτικές απαιτήσεις για τις διάφορες

χρήσεις των ανθρακικών πετρωμάτων (Φιλιππίδης κ.α. 2000) και στο σχήμα 1.5 κάποιες από τις σημερινές χρήσεις των μαρμάρων.

Πίνακας 1.1: Ποιοτικές απαιτήσεις για διάφορες χρήσεις των ανθρακικών πετρωμάτων (Φιλιππίδης κ.α. 2000).

ΧΡΗΣΕΙΣ	ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ (W.W.%)
Παραγωγή ασβέστου	$\text{CaCO}_3 > 95$, $\text{SiO}_2 < 1$
Τσιμεντοβιομηχανία	$\text{CaCO}_3 > 65$, $\text{MgO} < 5$, $\text{F} < 0,1$, $\text{LOI} < 3$, $\text{AY} < 1,5$
Περιβαλλοντικές χρήσεις	$\text{CaCO}_3 = 85-95$, MgO^* , $\text{AY} < 0,5$
Βιομηχανία λιπασμάτων	Χρησιμοποιείται μόνο δολομιτικό χωρίς προδιαγραφές
Συμπληρώματα ζωοτροφών	$\text{CaCO}_3 > 98$, $\text{SiO}_2 \sim 0$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 0$
Χαρτοβιομηχανία	$\text{CaCO}_3 = 95-97$, λευκότητα $> 90\%$, απόξεση $< 35\text{mg}$
Βιομηχανία ελαστικών	$\text{CaCO}_3 > 98$, $(\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{K}_2\text{O}) < 0,03$, $\text{Mn} < 0,02$, $\text{CuO} < 0,005$, $\text{LOI} < 0,2$
Παραγωγή υαλοπινάκων	Για ασβεστιτικά: $\text{Al}_2\text{O}_3 < 0,35$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0,075$, $\text{MgO} < 0,8$, $\text{CaO} > 54,8$, $\text{SO}_3 < 0,05$, $\text{AY} < 0,6$, $\text{Cr} = 0.1$ Για δολομιτικά: $\text{Al}_2\text{O}_3 < 0,40$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0,25$, $\text{MgO} < 0,8$, $\text{CaO} > 21,4$, $\text{SO}_3 < 0,20$, $\text{AY} < 0,6$, $\text{Cr} = 0,4$
Παραγωγή φιαλών	$\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0,1$, $\text{Cr}_2\text{O}_3 < 0,001$
Παραγωγή οπτικών	$\text{FeO} < 0,02$
Παραγωγή υαλοβάμβακα	$\text{CaCO}_3 > 95$, $\text{SiO}_2 < 2$, $\text{Al}_2\text{O}_3 < 1$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 1$, $\text{MnO} < 0,02$, $\text{MgO} < 1$, $\text{Cl} < 1000(\text{ppm})$
Μεταλλουργία	$\text{CaCO}_3 > 97$, $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{FeO} +$ $\text{MnO}) < 3$, $\text{P} < 0,02$, $\text{S} < 0,1$

Αποθείωση καπνοδόχων	CaCO ₃ >95, SiO ₂ <2, Al ₂ O ₃ <1, Fe ₂ O ₃ <1, MgO<1, MnO<0,02, Cl<0,01
Καθαρισμός νερών	CaCO ₃ =85-95, MgO<0,5
Πρόληψη εκρήξεων ανθρακωρυχείων	Χωρίς προδιαγραφές
Βελτιωτικά εδαφών	Χωρίς προδιαγραφές. Ο εμπλουτισμός εδαφών με θρυμματοποιημένο ασβεστό- λιθο έχει ως άμεσο αποτέλεσμα τον περι- ορισμό κατά 20-75% της απορρόφησης του Sr ⁹⁰ από το ριζικό σύστημα των φυ- τών
Παραγωγή μαγνησίας	SiO ₂ =0,5-0,6, Al ₂ O ₃ =0,2-2, Fe ₂ O ₃ <0,05, MgO>80, CaO<1,2-3,5, As<3(ppm), HM<40(ppm), LOI<0,5
Παραγωγή CaC ₂	CaCO ₃ >97, SiO ₂ <1,2, (Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃)<0,5, MgO<0,5, P<0,004, S=ίχνη
Φαρμακευτική	CaCO ₃ >98,8, (Mg + αλκάλεια)<1, Fe <0,05, HM<0,002, F<0,0005, As<3(ppm), Pb<3(ppm), Hg<0,5 (ppm), AY<0,2

LOI = απώλεια πύρωσης

AY = αδιάλυτο υπόλειμμα

HM = βαρέα μέταλλα

WW= κατά βάρος

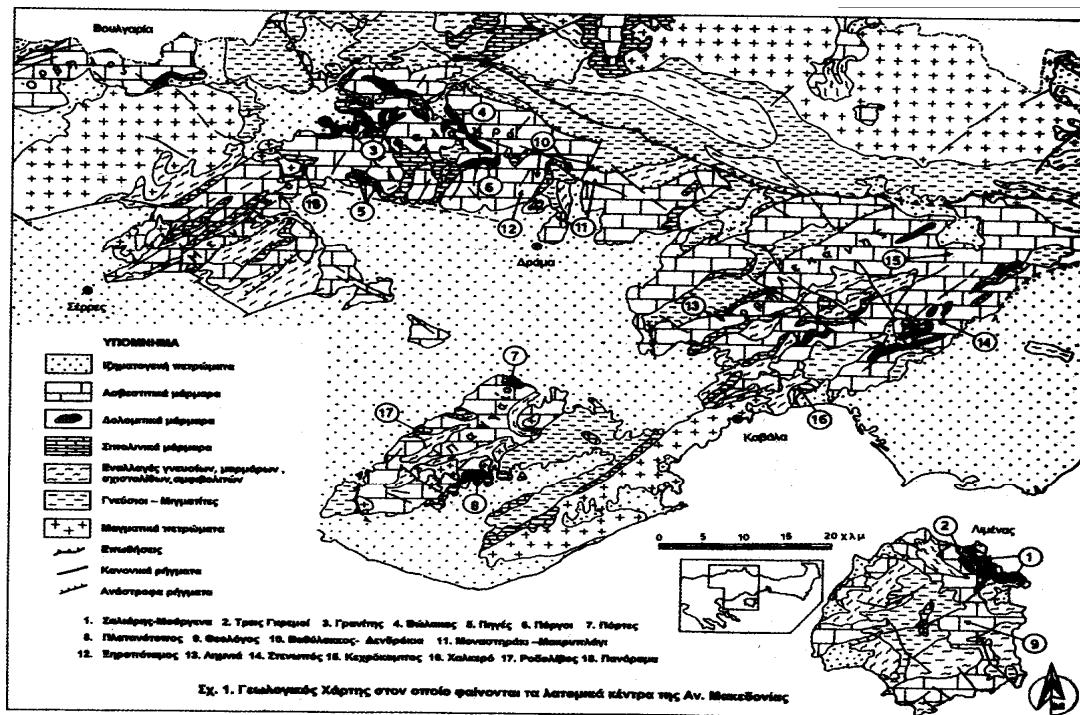
2. Στοιχεία της γεωλογίας της περιοχής

Τα λατομεία, από τα οποία πάρθηκαν τα δείγματα ανήκουν στην ευρύτερη περιοχή της Μάζας της Ροδόπης. Στο σχήμα 2.1 παρουσιάζονται τα κυριότερα λατομικά κέντρα της Ανατολικής Μακεδονίας – Θράκης. Η μάζα της Ροδόπης αποτελεί μια πολυμεταμορφική περιοχή, η οποία εκτείνεται κατά μήκος των ελληνοβουλγαρικών συνόρων και καλύπτει τη Β.Α. Μακεδονία και τη Δ. Θράκη (Μουντράκης 1985, Dinter and Royden, 1993). Πιο συγκεκριμένα, στη Μάζα της Ροδόπης ανήκει η Θράκη, η Ανατολική Μακεδονία με δυτικό όριο τη γραμμή του Στρυμόνα ποταμού, η Θάσος, καθώς και ένα τμήμα στη Βουλγαρία. Η Ροδόπη βρίσκεται μεταξύ του Διναρικού και του Αλπικού κλάδου και θεωρείται κατ' άλλους μεν ένας μεσαίος κλάδος, κατ' άλλους δε ένας ενδιάμεσος πυρήνας. Γεωτεκτονικά η Μάζα Ρίλα – Ροδόπης σύμφωνα με τα πιο νέα μοντέλα λιθοσφαιρικών πλακών για την εξέλιξη της Μεσογείου, είναι καθαρά ηπειρωτικός και θεωρείται ότι η προέλευση της μάζας είναι από την πλάκα της Λαυρασίας (Μουντράκης, 1985).

2.1. Τεκτονική δομή και ορογενετική εξέλιξη

Μεγάλες επωθητικές ζώνες διαχωρίζουν την ελληνική Ροδόπη σε διάκριτες γεωλογικές ενότητες (Σχήμα 2.2). Έτσι, η δυτική και η κεντρική Ροδόπη διακρίνονται σε δύο ενότητες: την Ανώτερη Τεκτονική Ενότητα (ΑΤΕ) ή ενότητα Σιδηρονέρου και την Κατώτερη Τεκτονική Ενότητα (ΚΤΕ) ή ενότητα Παγγαίου (Papanikolaou και Panagopoulos, 1981). Οι δύο ενότητες χωρίζονται μεταξύ τους με μία επώθηση NNA-BBD κατεύθυνσης, γνωστή ως επώθηση του Νέστου. Η ΚΤΕ επικαλύπτεται στο βοριοανατολικό της όριο από την ΑΤΕ, ενώ το νοτιοδυτικό της όριο αποτελεί ή Σερβομακεδονική Μάζα. Σύμφωνα με τους Dinter & Royden (1993) η Σερβομακεδονική Μάζα αποτελεί τμήμα της ΑΤΕ που αποκολλήθηκε με ένα μικρής γωνίας ρήγμα και μετακινήθηκε νοτιοδυτικά στη σημερινή της θέση. Η ΑΤΕ είναι υψηλότερου βαθμού μεταμόρφωσης και περιλαμβάνει γνευσίους, μιγματίτες, εκλογιτικούς αμφιβολίτες, υπερβασικά πετρώματα και κάποια μάρμαρα και επωθείται προς νότο πάνω στην ΚΤΕ, που αποτελείται από μαζώδη (Φαλακρό όρος) μάρμαρα, τα οποία εναλλάσσονται με κάποιους μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, γνευσίους και

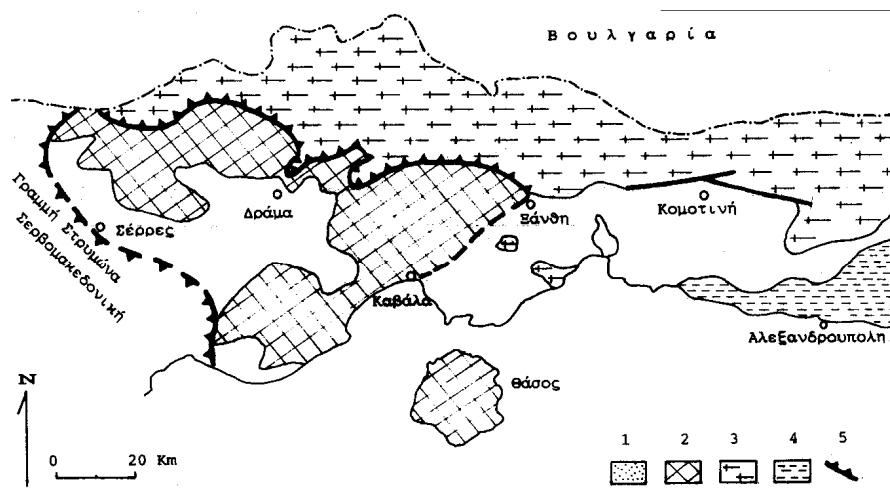
αμφιβολίες. Η Ανατολική Ροδόπη διακρίνεται με βάση το βαθμό μεταμόρφωσης επίσης στην Ανώτερη και Κατώτερη Ενότητα. (Mposkos et al. 1990).



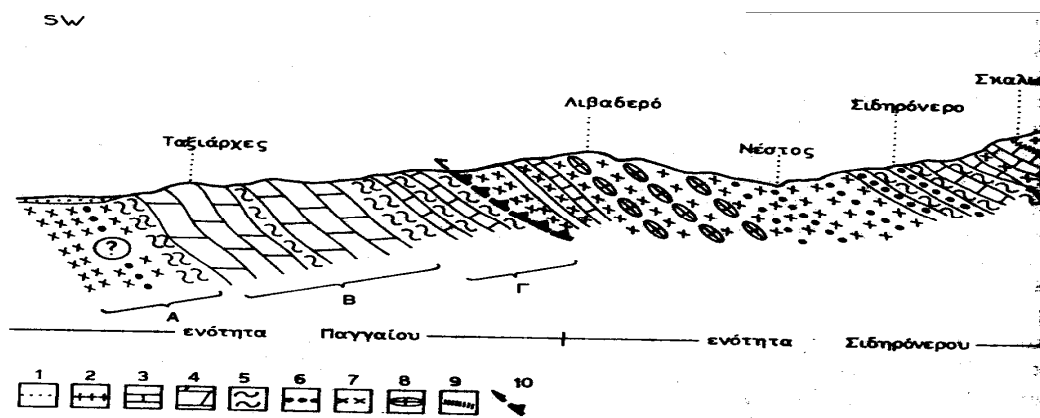
Σχήμα 2.1: Γεωλογικός χάρτης στον οποίο φαίνονται τα λατομικά κέντρα της Αν. Μακεδονίας (Χατζηπαναγής και Βουγιούκας 2005).

Παρά το γεγονός ότι τα ανθρακικά πετρώματα έχουν υποστεί την ίδια τεκτονική παραμόρφωση με τα υπόλοιπα μεταμορφωμένα πετρώματα της Ροδόπης, η αποτύπωση των τεκτονικών δομών διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του μαρμάρου και του είδους της παραμόρφωσης. Έτσι, ορισμένες παραμορφωτικές δομές όπως πτυχές, boundinage, s-c τύπου μυλωνίτες, αποτυπώνονται με ευκρίνεια σε μάρμαρα με ταινίες διαφορετικού χρώματος ή με διαφορετική χημική-ορυκτολογική σύσταση, ενώ διακρίνονται ελάχιστα ή καθόλου σε μονόμικτα ασβεστιτικά ή δολομιτικά μάρμαρα. Οι δομές αυτές τις περισσότερες φορές δεν επηρεάζουν τη συνοχή του πετρώματος, αντίθετα όμως δημιουργούν καινούριους εμπορικούς τύπους (Χατζηπαναγής και Βουγιούκας 2005).

Συνήθως, η ρηξιγενής τεκτονική αποτελεί αρνητικό παράγοντα στην εκμεταλλευσιμότητα των ανθρακικών πετρωμάτων, εξαιτίας της περιορισμένης συνοχής που προκαλεί σ' αυτά. (Χατζηπαναγής και Βουγιούκας 2005)



Σχήμα 2.2: Τεκτονικό σκαρίφημα της Μάζας της Ροδόπης. 1.Μεταλλικά ιζήματα, 2. ενότητα Παγγαίου, 3. ενότητα Σιδηρονέρου, 4. Σχηματισμοί της Περιοδοπικής ζώνης, 5. γραμμή επώθησης. (Μουντράκης 1985)



Σχήμα 2.3: Σχηματική γεωλογική δομή στην περιοχή Σιδηρονέρου Δράμας στην οποία απεικονίζονται η λιθοστρωματογραφική διαδοχή και η τεκτονική θέση των δύο ενοτήτων Σιδηρονέρου και Παγγαίου. 1.Προσχώσεις, 2. Γρανίτης, 3.ενστρώσεις μαρμάρων, 4.ορίζοντας μαρμάρου μεγάλου πάχους, 5.μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, 6. αμφιβολίτες, 7. γενεύσιοι, 8.οφθαλμογενεύσιοι, 9.φαινόμενα διείδσδυσης του γρανίτη, 10. πιθανή επώθηση. Α,Β,Γ οι τρεις ορίζοντες της Ενότητας Παγγαίου, κατώτερος, μεσαίος, ανώτερος, ?. πιθανή συνέχεια κάτω από τις προσχώσεις του κατώτερου ορίζοντα Α (Μουντράκης 1985)

3. Γεωλογία της περιοχής δειγματοληψίας

Στην παρούσα εργασία τα είκοσι (20) δείγματα μαρμάρων που μελετήθηκαν πάρθηκαν από λατομεία που βρίσκονται στους νομούς Δράμας και Καβάλας. Πιο συγκεκριμένα πάρθηκαν δείγματα από τα λατομεία Βώλακα, Γρανίτη και Πηγές που γεωγραφικά ανήκουν στο νομό Δράμας και από τα λατομεία Στενωπού και Βαθύλακου που ανήκουν στο νομό Καβάλας. Στα σχήματα 3.1, 3.2 και 3.3 απεικονίζονται τα λατομεία από κάποιες περιοχές που μελετήθηκαν, ενώ στον πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα δείγματα με τα ονόματά τους, την τοποθεσία δειγματοληψίας και το Δήμο στον οποίο ανήκουν.



Σχήμα. 3.1: Λατομείο της περιοχής Βώλακα (Ρεγγούζας και Σωτηρέλης 2004)



Σχήμα 3.2: Λατομείο της περιοχής Πηγών (Ρεγγούζας και Σωτηρέλης 2004)



Σχήμα 3.3: Λατομείο περιοχής Γρανίτη (Ρεγγούζας και Σωτηρέλης 2004)

Πίνακας 3.1: Παρουσίαση των δειγμάτων που μελετήθηκαν με τους κωδικούς τους, την τοποθεσία τους και το δήμο που ανήκει η περιοχή που μελετήθηκαν.

ΟΝΟΜΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΔΗΜΟΣ
BL-1A	«ΜΠΟΥΡΕ» ΒΩΛΑΚΑ	Κ. ΝΕΥΡΟΚΟΠΙΟΥ
BL-1B		
BL-2A		
BL-2B		
BL-3A		
BL-3B		
GR	«ΑΜΠΕΛΙΑ» ΓΡΑΝΙΤΗ	Κ. ΝΕΥΡΟΚΟΠΙΟΥ
PG-1	«ΑΣΠΡΕΣ ΠΕΤΡΕΣ» ΠΗΓΩΝ	ΠΡΟΣΟΤΣΑΝΗΣ
PG-2A		
PG-2B		
PG-3A		
PG-3B		
ST-1A	«ΣΤΕΓΝΟ» ΣΤΕΝΩΠΙΟΥ	ΟΡΕΙΝΟΥ
ST-1B		
ST-2		
ST3		
BTH-1	ΒΑΘΥΛΑΚΟΣ	ΒΑΘΥΛΑΚΟΥ
BTH-2A		
BTH-2B		
BTH-3		

4. Χρώμα, υφή και μέγεθος κόκκων

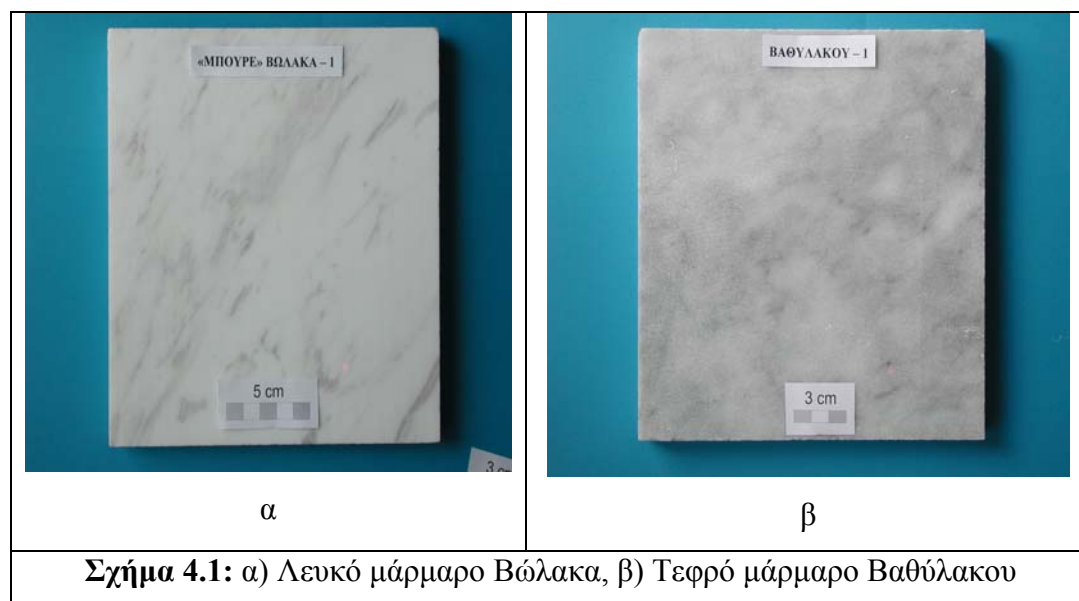
4.1. Χρώμα

Τα δείγματα, που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία, ποικίλλουν στο χρώμα τους αλλά μόνο όσον αφορά κάποιες διακυμάνσεις στον τόνο του χρώματος. Το χρώμα των μαρμάρων κυμαίνεται από λευκό έως ημίλευκο και τεφρό. Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα δείγματα (περιοχές) και τα χρώματά τους.

Πίνακας 4.1: Χρώματα δειγμάτων

ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΧΡΩΜΑ
Βόλακας	Λευκό
Γρανίτης	Λευκό
Πηγές	Λευκό
Στενωπός	Ημίλευκο
Βαθύλακος	Τεφρό

Το χρώμα που παρουσιάζει κάθε μάρμαρο έχει άμεση σχέση με τη χημική του σύσταση και κατά συνέπεια με την ορυκτολογική του σύσταση. Όπως αποδείχθηκε από την εργαστηριακή μελέτη για τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης, τα δολομιτικά μάρμαρα είναι πιο ανοιχτόχρωμα σε σχέση με τα ασβεστιτικά (Σχ. 4.1).



4.2. Υφή και μέγεθος κόκκων

Η υφή που παρουσιάζουν τα μάρμαρα έχει άμεση σχέση με το μέγεθος των κόκκων αυτών. Τα δείγματα χαρακτηρίζονται, μέσω των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στο μικροσκόπιο, ως λεπτόκοκκα.

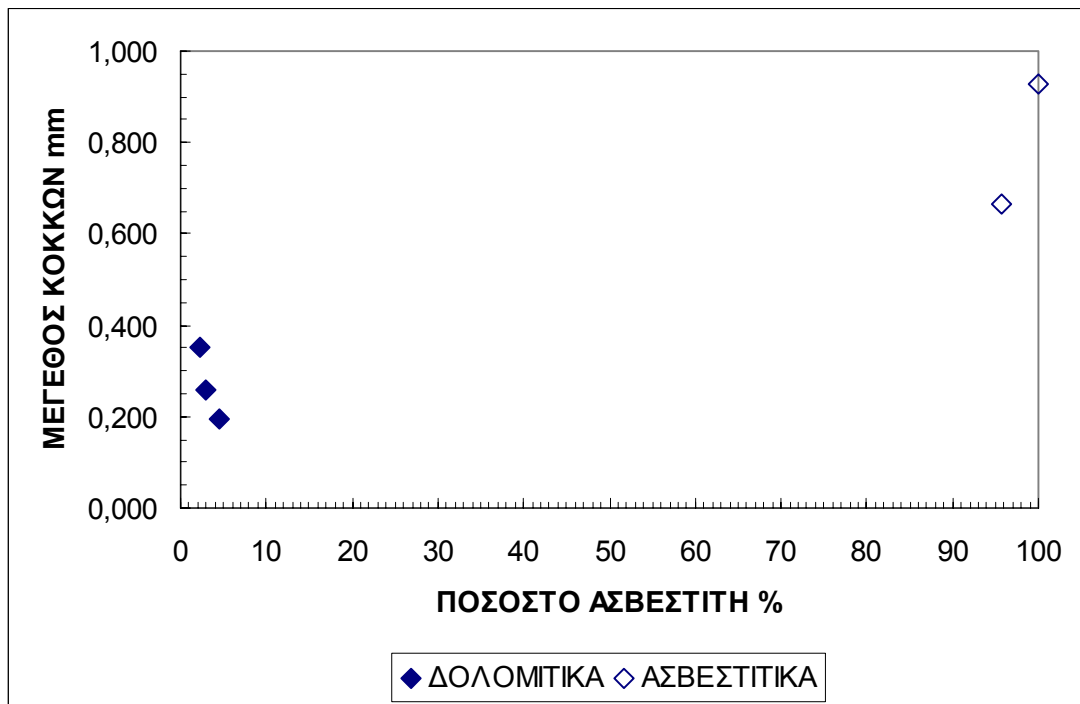
Οι μετρήσεις του μεγέθους των κόκκων πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Ορυκτολογίας- Πετρολογίας του Τμήματος Γεωλογίας. Από τα δείγματα που παραλάβαμε από την εταιρία, διαστάσεων 20x20x2cm (20cm μήκος, 20cm πλάτος και 2cm ύψος), κόπηκαν λεπτά πλακίδια και παρασκευάστηκαν στη συνέχεια λεπτές τομές. Ο προσδιορισμός της κοκκομετρίας έγινε σε πολωτικό μικροσκόπιο, όπου μετρήθηκαν οι διαστάσεις 10 διαφορετικών κόκκων σε κάθε δείγμα. Από τις μετρήσεις αυτές υπολογίσθηκαν οι μέσοι όροι των διαστάσεων των κρυστάλλων και τα αποτελέσματα αυτά αποτελούν τη βάση για τις συσχετίσεις που έγιναν με τις φυσικομηχανικές ιδιότητες των μαρμάρων.

Στον πίνακα 4.2 παρουσιάζονται η κοκκομετρία των δειγμάτων Συμπερασματικά μπορεί να ειπωθεί ότι τα μάρμαρα της περιοχής του Βόλακα χαρακτηρίζονται από λεπτόκοκκα έως μεσόκοκκα (0,17mm–0,34mm), της περιοχής του Γρανίτη ως μεσόκοκκα (0,35mm), της περιοχής των Πηγών από λεπτόκοκκα ως μεσόκοκκα, ενώ των περιοχών του Στενωπού (0,72mm–1,04mm) και του Βαθυλάκου (0,54mm–0,76mm) ως αδρόκοκκα. Στις εικόνες 4.2 και 4.3 παρουσιάζονται ένα αδρόκοκκο και ένα λεπτόκοκκο μάρμαρο.

Υπήρχαν δείγματα, τα οποία περιείχαν κάποια ανθρακικά διαλύματα. Στα ασβεστιτικά μάρμαρα τα διαλύματα είναι ιδιαίτερα λεπτόκοκκα, σε σχέση με το μέγεθος των κόκκων του δείγματος. Αντιθέτως, στα δολομιτικά μάρμαρα, τα οποία είναι γενικά ιδιαίτερα λεπτόκοκκα, τα διαλύματα που περιέχονται είναι αδρόκοκκα. Στο διάγραμμα 4.1 παρουσιάζεται η σχέση του ποσοστού του περιεχόμενου ασβεστίτη με το μέγεθος των κόκκων στο κάθε δείγμα.

Πίνακας 4.2: Κοκκομετρία δειγμάτων

ΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ ΚΑΤΑ Μ.Ο.(mm)
BL-1A	0,23
BL-1B	1,73
BL-2A	0,34
BL-2B	0,34
BL-3A	0,25
BL-3B	0,19
GR	0,35
PG-1	0,20
PG-2A	0,26
PG-2B	0,15
PG-3A	0,22
PG-3B	0,17
ST-1A	0,98
ST-1B	0,97
ST-2	0,72
ST3	1,04
BTH-1	0,76
BTH-2A	0,72
BTH-2B	0,54
BTH-3	0,63



Σχήμα 4.2: Συσχετισμός του ποσοστού ασβεστίτη με το μέγεθος των κόκκων

Όπως προκύπτει και από το διάγραμμα τα δολομιτικά δείγματα είναι πιο λεπτόκοκκα από τα ασβεστιτικά δείγματα. Από κάθε περιοχή δειγματοληψίας δεν είχαμε μόνο ένα δείγμα αλλά από την περιοχή του Βώλακα είχαμε 3 δείγματα από τα οποία απομονώσαμε δύο τμήματα του κάθε δείγματος και επομένως είχαμε 6 δείγματα, ομοίως από την περιοχή Γρανίτη είχαμε 1 δείγμα, από την περιοχή Πηγών 5 δείγματα, από την περιοχή Στενωπού 4 δείγματα και από την περιοχή Βαθυλάκου 4 δείγματα. Στο διάγραμμα 4.2 και σ' αυτά που θα ακολουθήσουν η σύγκριση θα γίνεται στα δείγματα ανά περιοχή.

5. Ορυκτολογική και χημική σύσταση

5.1. Χημική σύσταση

Οι χημικές αναλύσεις αντιπροσωπευτικών δειγμάτων από κάθε περιοχή έγιναν στο εργαστήριο «Λίθος», για λογαριασμό της εταιρίας «ΠΑΥΛΙΔΗΣ ΜΑΡΜΑΡΑ-ΓΡΑΝΙΤΕΣ Α.Ε.», η οποία και μας τις παραχώρησε. (Πίν. 5.1). Από τις χημικές αυτές αναλύσεις φαίνεται ότι υπάρχει μια ποικιλία στη χημική σύσταση των δειγμάτων.

Πίνακας 5.1: Χημική ανάλυση των μελετηθέντων μαρμάρων

ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ %	ΔΕΙΓΜΑΤΑ					
		ΒΩΛΑΚΑΣ	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΠΗΓΕΣ	ΣΤΕΝΩΠΟΣ	ΒΑΘΥΛΑΚΟΣ
	SiO ₂	0,2-0,3	0,2-0,3	0,2	0,2	0,75
	Al ₂ O ₃	<0,05	<0,05	<0,1	<0,05	0,6
	Fe ₂ O ₃	<0,05	<0,05	0,08	<0,05	0,28
	MnO	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,02
	CaO	31-33	31-33	30	54,5	54
	MgO	19-21,1	19-21,1	21,4	0,64	0,55
	K ₂ O	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,12
	Na ₂ O	0,01	0,01	<0,01	0,01	0,2
	LOI	46,5-46,8	46,5-46,8	47	43,6	43,35

Είναι φυσικό να συμμετέχουν και άλλα οξείδια στη χημική σύσταση των μαρμάρων κι έτσι εκτός του CaO και του MgO που οφείλονται στον ασβεστίτη και το δολομίτη, εμφανίζονται και άλλα συστατικά όπως SiO₂, Al₂O₃, K₂O κλπ που οφείλονται στην παρουσία άλλων ορυκτών όπως ο χαλαζίας, ο μοσχοβίτης, ο χλωρίτης κ.ά.

5.2. Ορυκτολογική σύσταση

Τα δείγματα που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία παρουσιάζουν κάποιες ορυκτολογικές διαφορές μεταξύ τους. Ο προσδιορισμός της ορυκτολογικής σύστα-

σης των δειγμάτων έγινε με περιθλασιμετρία ακτίνων X στο Εργαστήριο του Τμήματος Φυσικής και στο Εργαστήριο Φυσικοχημείας του Τμήματος Χημικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Αρχικά τα μικρά παραλληλεπίπεδα που κόπηκαν, θρυμματίστηκαν έτσι ώστε να μπορούν αργότερα να κονιοποιηθούν. Η κονιοποίηση των θραυσμάτων έγινε σε γουδί από αχάτη μέχρι μεγέθους αναφούς σκόνης.

Από τις εμφανιζόμενες κορυφές στο περιθλασιόγραμμα κάθε δείγματος προσδιορίστηκαν τα ορυκτά που περιέχει (Πιν. 5.3). Ο ποσοτικός ορυκτολογικός προσδιορισμός, δηλαδή η ποσοτική συμμετοχή του κάθε ορυκτού στο κάθε δείγμα έγινε σύμφωνα με τη μέθοδο Hanawald.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, κατά το αρχικό στάδιο εντοπίζουμε την κατάλληλη ομάδα με τα d και στη συνέχεια διαβάζουμε προς τα κάτω τη στήλη με τα d για να βρούμε την πλησιέστερη στην εντονότερη και στη δεύτερη εντονότερη γραμμή (επιτρεπόμενες αποκλίσεις από την τιμή του $d \pm 0,03 \text{ \AA}$). Ελέγχουμε τις υπόλοιπες κορυφές και όταν βρεθεί η καλύτερη για τις γραμμές κατά την έρευνα, εντοπίζουμε τις καταλληλότερες κάρτες PDF και συγκρίνουμε τις εναπομείναντες τιμές d και προσθέτουμε την ένταση όλων των παρατηρούμενων γραμμών με αυτές που συνοψίσαμε.

Μετά το πέρας της παραπάνω διαδικασίας, προσδιορίζεται η κύρια κορυφή. Η τιμή της έντασης της κορυφής αυτής για κάθε ορυκτό του δείγματος ανάγεται ως προς έναν συντελεστή που είναι χαρακτηριστικός για κάθε ορυκτό (Πιν. 5.2).

Πίνακας 5.2: Συντελεστές για τον ποσοτικό προσδιορισμό κάθε ορυκτού που προσδιορίστηκε

ΟΡΥΚΤΑ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ
ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ	38,22
ΔΟΛΟΜΙΤΗΣ	27,86
ΧΑΛΑΖΙΑΣ	76,89
ΜΟΣΧΟΒΙΤΗΣ	72,05
ΧΛΩΡΙΤΗΣ	89,19

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 5.3 , στα δείγματα που μελετήθηκαν, το ποσοστό του ασβεστίτη στα δολομιτικά μάρμαρα κυμαίνεται από 0 έως 16,3%. Το ποσοστό του δολομίτη στα ανθρακικά μάρμαρα κυμαίνεται από 0 έως 4,9%. Και στα δύο είδη δειγμάτων το ποσοστό του χαλαζία κυμαίνεται από 0 έως 8,3%, του μοσχοβίτη από 0 έως 32% και του χλωρίτη από 0 έως 55%. Στον πίνακα 5.4 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι του ποσοστού του κάθε ορυκτού στο δείγμα από τις μετρήσεις

Πίνακας 5.3: Ορυκτολογική σύσταση των μαρμάρων

	ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΣΕ ΠΟΣΟΣΤΟ %				
ΔΕΙΓΜΑ	Cc (Ασβε- στίτης)	Do (Δολο- μίτης)	Qz (Χαλα- ζίας)	Mu (Μο- σχοβίτης)	Chl (Χλω- ρίτης)
BL-1A	1,7	90,5	0	4,8	3
BL-1B	9	91	0	0	0
BL-2A	3,6	95,1	1,3	0	0
BL-2B	1,6	97,5	0	0,9	0
BL-3A	0	87,2	0	1,4	11,4
BL-3B	2	57,7	8,3	32	0
GR	1,7	70,2	0	28,1	0
PG-1	1,9	98,1	0	0	0
PG-2A	16,3	83,7	0	0	0
PG-2B	6,8	38,2	0	0	55
PG-3A	0	100	0	0	0
PG-3B	0	100	0	0	0
ST-1A	100	0	0	0	0
ST-1B	100	0	0	0	0
ST-2	100	0	0	0	0
ST3	100	0	0	0	0
BTH-1	100	0	0	0	0
BTH-2A	89,8	0	0	10,2	0
BTH-2B	93,1	4,9	0	0	2,1
BTH-3	99,8	0	0	0	0,02

Πίνακας 5.4: Μέσος όρος της ορυκτολογικής σύστασης των μαρμάρων

	ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ %				
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	Cc	Do	Qz	Mu	Chl
Βόλακας	2,983	86,5	1,6	6,516	2,4
Γρανίτης	2,2	96	0	1,8	0
Πηγές	4,55	95,45	0	0	0
Στενωπός	100	0	0	0	0
Βαθύλακκος	95,675	1,225	0	2,55	0,575

Στον πίνακα 5.5 δίνονται τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής σύστασης των μαρμάρων που μελετήθηκαν από το εργαστήριο «Λίθος» του ΙΓΜΕ, για λογαριασμό της εταιρίας «Παυλίδης Α.Ε.».

Πίνακας 5.5: Ορυκτολογική σύσταση των μαρμάρων από μελέτη τους στο εργαστήριο «Λίθος».

	ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ %				
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	Cc	Do	Qz	Mu	Chl
Βόλακας	8,0	92,0	0	0	0
Γρανίτης	8,0	92,0	0	0	0
Πηγές	7,5	92,5	0	0	0
Στενωπός	97,0	1,0	2,0	0	0
Βαθύλακκος	98,0	0,8	1,0	0,2	0

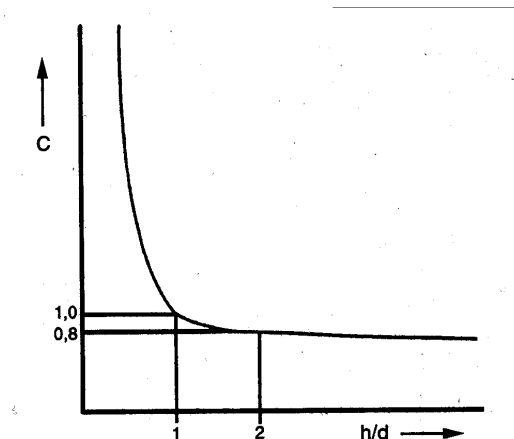
Όπως προκύπτει από τους πίνακες 5.3, 5.4 και 5.5, η ορυκτολογική σύσταση των μελετηθέντων δειγμάτων που προσδιορίστηκε ακτινογραφικά είναι απολύτως συγκρίσιμη με την ορυκτολογική σύσταση που δίνεται από το εργαστήριο «Λίθος». Οι μικρές αποκλίσεις που υπάρχουν οφείλονται στο γεγονός ότι τα δείγματα δεν προέρχονται από το ίδιο ακριβώς σημείο του κάθε λατομείου.

6. Προσδιορισμός και σπουδαιότητα φυσικομηχανικών ιδιοτήτων

6.1. Η σπουδαιότητα των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων

Ο προσδιορισμός των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των μαρμάρων γίνεται σύμφωνα με τις μεθόδους της βραχομηχανικής και ειδικότερα με εργαστηριακές δοκιμές όπως αυτές καθορίζονται από τα διάφορα διεθνή πρότυπα: Αμερικανικό, Γερμανικό, Ιταλικό, Βρετανικό και Διεθνές. Στην Ελλάδα καθορίζονται από τις αντίστοιχες προδιαγραφές του Υπουργείου Δημοσίων Έργων.

Οι επί τόπου δοκιμές της βραχομηχανικής για τον προσδιορισμό των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων δεν έχουν μεγάλη εφαρμογή στη βιομηχανία εξόρυξης και επεξεργασίας μαρμάρων, γιατί το μάρμαρο χρησιμοποιείται περισσότερο ως διακοσμητικό και λιγότερο ως δομικό στοιχείο. Βέβαια, στο στάδιο σύνταξης της γεωλογικής μελέτης σκοπιμότητας και όταν υπάρχουν οι αντίστοιχες απαιτήσεις, είναι δυνατό να συνδυαστούν τα γεωλογικά στοιχεία ενός μαρμάρου (αποθέματα, είδος, χρώμα και άλλα) με μερικά μηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού όπως αυτά θα προκύψουν από τις αντίστοιχες επί τόπου δοκιμές.



Σχήμα 6.1: Διακύμανση της θλιπτικής αντοχής (C) ανάλογα με το λόγο h/d (h = ύψος και d =διάμετρος δοκιμίου) (Τσιραμπίδης 1996).

Συνηθισμένο είναι το φαινόμενο οι εργαστηριακές δοκιμές να εφαρμόζονται με όχι και πολύ ακρίβεια και τα αποτελέσματα δυστυχώς να μην πάντοτε είναι συγκρίσιμα. Για παράδειγμα η θλιπτική αντοχή ενός μαρμάρου προσδιορίζεται σε κυ-

λινδρικά δοκίμια με διαφορετικό λόγο ύψους προς διάμετρο (h/d) χωρίς να γίνεται αναγωγή στην αντοχή ενός δοκιμίου με ορισμένο μέγεθος (συνήθως $h/d=2$) και ενώ είναι γνωστό ότι σ' όλα τα φυσικά δομικά υλικά η αντοχή αυξάνει εκθετικά για λόγους h/d μικρότερους της μονάδας (Σχήμα 6.1).

Ένα άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα πλημμελούς εφαρμογής των κανόνων είναι ο προσδιορισμός της εφελκυστικής αντοχής ανεξάρτητα από τη διεύθυνση της πιθανής σχιστότητας ενός μαρμάρου. Είναι σαφές ότι ανεξάρτητα από το πείραμα που εφαρμόζεται για τον προσδιορισμό της αντοχής σε εφελκυσμό (από κάμψη πρισματικού δοκιμίου ή από διαχωρισμό κυλινδρικού δοκιμίου) που ποτέ δε δίνουν ταυτόσημα αποτελέσματα, η σχιστότητα παίζει πρωτεύοντα ρόλο και μπορεί να δώσει αποτελέσματα που διαφέρουν μεταξύ τους περισσότερο από 200%. Επομένως, θα πρέπει οι μετρήσεις της εφελκυστικής αντοχής να συνδέονται πάντοτε με περιγραφή των φυλλωδών συστατικών του μαρμάρου. Ειδικότερα, για τη μέθοδο προσδιορισμού της αντοχής σε κάμψη πρισματικού δοκιμίου, είναι προτιμότερο τα πειράματα να εκτελούνται με το εφαρμοζόμενο φορτίο όχι μόνο κάθετα και παράλληλα στη διεύθυνση της σχιστότητας, αλλά και κάθετα στη διεύθυνση που δίνει το καλύτερο διακοσμητικό αποτέλεσμα.

Η σταθερότητα του χρώματος ενός μαρμάρου έχει μεγάλη σημασία για την καθιέρωσή του στην αγορά. Αν ένα συγκεκριμένο μάρμαρο διατίθεται στην αγορά κάθε φορά με διαφορετικές αποχρώσεις, τότε η ζήτηση μπορεί να μειωθεί στο ελάχιστο.

Στον πίνακα 6.1 παρουσιάζεται ο βαθμός σπουδαιότητας που έχουν ορισμένες από τις φυσικομηχανικές ιδιότητες των μαρμάρων ανάλογα με τη χρήση τους. Με τρεις αστερίσκους χαρακτηρίζεται ο μεγάλος βαθμός σπουδαιότητας, με δύο ο μέτριος και μ' έναν αστερίσκο ο μικρός βαθμός σπουδαιότητας. Στον πίνακα αυτό φαίνεται η προφανής σημασία των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των μαρμάρων στην επιλογή της καταλληλότερης χρήσης τους. Μάρμαρα π.χ. με μεγάλη υδαταπορρόφηση (υψηλό συντελεστή εμποτισμού) είναι ακατάλληλα για εξωτερικές ορθομαρμαρώσεις και εντελώς ακατάλληλα για εξωτερικές δαπεδοστρώσεις. Ομοίως, μάρμαρα με μικρή αντοχή στην κρούση μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ορθομαρμαρώσεις, αλλά όχι σε δαπεδοστρώσεις και κυρίως σε επιστρώσεις σκαλών. Σημειώνεται επίσης ότι ορισμένες ιδιότητες των μαρμάρων επηρεάζουν το κόστος αυτών και επομέ-

νως έμμεσα τη χρήση τους. Για παράδειγμα αναφέρεται η μικροσκληρότητα Knoop που παίζει σημαντικό ρόλο στο κόστος κοπής των μαρμάρων.

Πίνακας 6.1: Βαθμός σπουδαιότητας των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των μαρμάρων ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται (Τσιραμπίδης, 1996)

Φυσικομηχανικές ιδιότητες	1	2	3	4	5	6
Βάρος ανά μονάδα όγκου	**	**	**	**	**	**
Υδαταπορρόφηση	**	*	***	**	**	***
Αντοχή στη θλίψη	**	*	**	**	**	**
Αντοχή στη θλίψη μετά από ψύξη	***		***			***
Αντοχή στην κάμψη	***	*	**	**	***	**
Αντοχή στην τριβή	*	*	***	***	***	*
Αντοχή στην κρούση	*	*	***	***	***	**
Συντελεστής θερμικής διαστολής	**	*	***	*	*	*
Μικροσκληρότητα Knoop	*	*	***	***	***	***

- 1: εξωτερικές μαρμαρώσεις
2: εσωτερικές ορθομαρμαρώσεις
3: εξωτερικές δαπεδοστρώσεις
4: εσωτερικές δαπεδοστρώσεις
5: κρεμαστές σκάλες
6: επικαλύψεις στεγών
* : μικρός βαθμός σπουδαιότητας
** : μέτριος βαθμός σπουδαιότητας
***: μεγάλος βαθμός σπουδαιότητας

Τέλος, σημειώνεται ότι η καταλληλότητα ενός πετρώματος, συνεπώς και των μαρμάρων, για μια κατασκευή δεν κρίνεται ποτέ από μόνο μια ιδιότητά του, αλλά από συνδυασμό και ερμηνεία πολλών ιδιοτήτων, γι' αυτό και είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε όλες τις φυσικομηχανικές ιδιότητες κάθε διακοσμητικού πετρώματος. Επιπλέον, μια σειρά από χαρακτηριστικά των πετρωμάτων (π.χ. η αντοχή του χρώματος στο χρόνο) δεν είναι δυνατό να μετρηθούν με κάποιες δοκιμές και γι' αυτό η

καταλληλότητα ενός πετρώματος θα πρέπει να κρίνεται με βάση παρατηρήσεις για τη συμπεριφορά του στις διάφορες κατασκευές από τα προηγούμενα χρόνια μέχρι σήμερα.

Δεν υπάρχει «άχρηστο» μάρμαρο. Κάθε μάρμαρο έχει τη δυνατότητα με βάση κυρίως τις φυσικομηχανικές του ιδιότητες να χρησιμοποιηθεί σε ορισμένες από τις κατασκευές. Πρέπει όμως να παρουσιάζουμε σε κάθε περίπτωση τις πραγματικές δυνατότητες και αδυναμίες κάθε μαρμάρου, παρά να δυσφημούμε έμμεσα με τη χρήση του σε κατασκευές, όπου είναι σίγουρο από τον έλεγχο των ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών του ότι θα παρουσιάσει πρόβλημα.

Είναι επιτακτική ανάγκη καθιέρωσης των απαραίτητων για τα ελληνικά μάρμαρα προδιαγραφών, δηλαδή η επιλογή και εφαρμογή προτύπων για τους αναγκαίους φυσικομηχανικούς προσδιορισμούς που θα πρέπει να εκτελούνται σε κάθε διακοσμητικό πέτρωμα του ελληνικού χώρου, για να επιλεγεί η καταλληλότερη χρήση του και να δοθούν τα απαραίτητα στοιχεία του για την προώθηση στην εσωτερική και διεθνή αγορά. (Τσιραμπίδης 1996)

6.2. Προσδιορισμός των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν οι βασικότερες φυσικομηχανικές ιδιότητες των μαρμάρων. Οι ιδιότητες αυτές είναι αυτές που χρησιμοποιούν και χρειάζονται και οι βιομηχανίες εξόρυξης και εμπορίας μαρμάρων και είναι οι εξής:

- 1) Φαινόμενο ειδικό βάρος
- 2) Υδαταπορόφηση
- 3) Μέτρο ελαστικότητας
- 4) Αντοχή στη θλίψη
- 5) Αντοχή στον εφελκυσμό
- 6) Αντοχή στη φθορά από τριβή
- 7) Συντελεστής ανοικτού πορώδους
- 8) Αντίσταση στην πρόσκρουση
- 9) Αντοχή σε κύκλους ψύξης – απόψυξης

Στον πίνακα 6.2 παρουσιάζονται οι τιμές για κάθε ιδιότητα και για κάθε μελετηθέν δείγμα ανά περιοχή.

Πίνακας 6.2: Τιμές των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των δειγμάτων ανά περιοχή

ΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΦΥΣΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ								
	Φαινόμενο Ειδικό Βάρος (kg/m ³)	Υδαταπορόφηση (%)	Μέτρο Ελαστικότητας (Gpa)	Αντοχή στη Θλίψη (N/mm ²)	Αντοχή στον Εφελκυσμό (Mpa)	Αντοχή στη Φθορά από Τριβή (mm)	Συντελεστής ανοικτού πορώδους (%)	Αντίσταση στην Πρό- σκρουση (mm)	Αντοχή σε κύκλους Ψύ- ξης - Απόψυξης (N/mm ²)
Βώλακας	2,835	0,22	22	108,8	9,767	2,94	0,63	44	108,9
Γρανίτης	2,848	0,24	28	117,7	3,563	3,73	0,68	41	114,1
Πηγές	2,84	0,19	38	157,9	15,65	2,45	0,53	41	104,1
Στενωπός	2,711	0,09	29	57,85	16,35	1,94	0,24	41	54,78
Βαθύλα- κος	2,698	0,09	19	50	10	3,38	0,26	39	35

6.2.1. Προσδιορισμός Φαινομένου ειδικού βάρους (ρ_φ)

Απόλυτο ειδικό βάρος (ρ_α) είναι ο λόγος του βάρους ενός σώματος προς τον απόλυτο όγκο του. Φαινόμενο ειδικό βάρος (ρ_φ) είναι ο λόγος του βάρους ενός σώματος προς το φαινόμενο όγκο του. (Τσιραμπίδης 1996). Ο προσδιορισμός του γίνεται

βάση του τύπου: $\varepsilon_{\phi} = \left(\frac{B_{\xi}}{B_v - B_{\beta}} \right) \cdot V_w$, όπου B_ξ είναι το ξηρό βάρος, B_υ είναι το

υγρό βάρος, B_β είναι το βυθισμένο βάρος και V_w είναι το ειδικό βάρος του νερού (Χριστοδουλόπουλος και Μπόϊντας 1995)

Το φαινόμενο ειδικό βάρος είναι μια ιδιότητα που είναι απαραίτητο να είναι γνωστή για τα υλικά όλων των ειδών στις κατασκευές (εσωτερικές ή εξωτερικές επενδύσεις, εσωτερικές ή εξωτερικές δαπεδοστρώσεις, σκάλες ελεύθερης ή όχι έδρασης κ.λ.π.), αφού με βάση αυτό και το πάχος των πλακών προσδιορίζουμε το βάρος κάθε τετραγωνικού μέτρου μαρμάρου και επομένως το πόσο επιβαρύνεται η όλη κατασκευή. Ειδικά, στην περίπτωση των εξωτερικών με μεταλλικά στηρίγματα το φαινόμενο ειδικό βάρος μας βοηθάει να επιλέξουμε το κατάλληλο στήριγμα που θα αντέχει το βάρος της κατασκευής (Τσιραμπίδης 1996).

Το φαινόμενο ειδικό βάρος των μαρμάρων που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία, προσδιορίστηκε στο Εργαστήριο «Λίθος», για την εταιρία «ΠΑΥΛΙΔΗΣ ΜΑΡΜΑΡΑ-GRANITES A.E.». Τα αποτελέσματα αυτά μας παραχωρήθηκαν από την εταιρία για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας.

Οι δοκιμές για τον προσδιορισμό του φαινόμενου ειδικού βάρους έγιναν σύμφωνα με τα πρότυπα του Γερμανικού Ινστιτούτου και πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με τη μεθοδολογία DIN 52102. Οι δοκιμές αυτές έγιναν σε έξι διαφορετικά δοκίμια, για την κάθε περιοχή δειγματοληψίας, κυλινδρικού σχήματος, διαστάσεων $d=h=5\text{cm}$. Από τα αποτελέσματα αυτά εμείς χρησιμοποιήσαμε το μέσο όρο των μετρήσεων.

Σκοπός της διαδικασίας ελέγχου αυτής της ιδιότητας περιλαμβάνει τη διαδικασία ελέγχου για τον προσδιορισμό της (φαινόμενης) πυκνότητας και της πραγματικής πυκνότητας των φυσικών πετρωμάτων και ισχύει και για τον υπολογισμό του βαθμού πυκνότητας και του πραγματικού πορώδους των φυσικών πετρωμάτων. Η μέθοδος είναι εντούτοις μη εφαρμόσιμη για κόκκους κάτω των 40mm.

Η πυκνότητα ρ_R ενός υλικού είναι το πηλίκο της μάζας του m και του όγκου V_R συμπεριλαμβανομένου του υφιστάμενου χώρου των πόρων.

$$\rho_R = \frac{m}{V_R} \quad (1)$$

Η πραγματική πυκνότητα ενός υλικού ρ_o είναι το πηλίκο της μάζας m_{tr} του επί ξηρού m και του όγκου του V_o συμπεριλαμβανομένου του υφιστάμενου μέγεθος των πόρων.

$$\rho_o = \frac{m_{tr}}{V_{tr}} \quad (2)$$

Ο βαθμός πυκνότητας d ενός υλικού είναι ο λόγος της πυκνότητάς του (πυκνότητα επί ξηρού) προς την πραγματική πυκνότητα.

$$d = \frac{\rho_r}{\rho_o} \quad (3)$$

Το ολικό πορώδες p (έως τώρα αναφερόμενο ως πραγματικό πορώδες P) είναι ο βαθμός αδιαπερατότητας, περιλαμβάνει τους ανοιχτούς και κλειστούς πόρους και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$P = \left(1 - \frac{P_R}{P_0}\right) \cdot 100\% = (1 - d) \cdot 100\% \quad (4)$$

Για τον προσδιορισμό της πυκνότητας του ξηραμένου δείγματος, αρχικά τα δείγματα είναι σε κανονικά ή ακανόνιστα σχήματα. Οι ακμές των γεωμετρικά απλούστερων δειγμάτων πρέπει να είναι τουλάχιστον 40mm σε μήκος. Έπειτα τα δείγματα τοποθετούνται στο νερό για να καθαριστούν και να απαλλαγθούν από αποκολλημένα μέρη. Πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον τρία όσο το δυνατό ομοιογενή δείγματα για να ελεγχθούν.

Αφού τα δείγματα καθαριστούν, ξηραίνονται στους $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ μέχρι τη σταθεροποίηση του βάρους. Πριν από κάθε ζύγιση θα πρέπει τα δείγματα να κρυσώσουν σε ένα Exsikkator σε θερμοκρασία δωματίου (18°C μέχρι 28°C σύμφωνα με το DIN 50014). Η σταθεροποίηση του βάρους ενός δείγματος θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί, όταν το βάρος του μέσα σε 24 ώρες δε μεταβάλλεται περισσότερο από 0,1%. Το τελικώς διαπιστωμένο βάρος είναι το πραγματικό.

Ο όγκος του δείγματος προσδιορίζεται είτε με τη μέθοδο ώθησης, είτε με τη μέθοδο εκτόπισης υγρού είτε με κάποια γεωμετρικώς απλούστερη μέθοδο με τον υπολογισμό των διαστάσεών τους.

Με τη μέθοδο της ώθησης, τα δείγματα με όγκο τουλάχιστον 50cm^3 θα πρέπει να αποθηκευτούν για μια ώρα κατά το ήμισυ και στη συνέχεια να καλυφθούν εξολοκλήρου με το ρευστό υπό ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Έπειτα από 24 ώρες αποσύρονται τα δείγματα, σφουγγίζονται με ένα υγρό πατημένο σπόγγο και στη συνέχεια ζυγίζονται. Μετά βυθίζονται σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα ενός υδροστατικού ζυγού και σ' αυτήν την κατάσταση ζυγίζονται εκ νέου. Το δοκιμαστικό ρευστό θα πρέπει να είναι του ίδιου είδους με το χρησιμοποιούμενο ρευστό στην προηγούμενη κατάσταση. Στη μέθοδο αυτή, όταν το δοκιμαστικό υγρό είναι νερό τότε η αριθμητική τιμή του όγκου V_R του δείγματος σε cm^3 είναι ίση με τη διαφορά των ζυγίσεων ($m - m'$) σε gr.

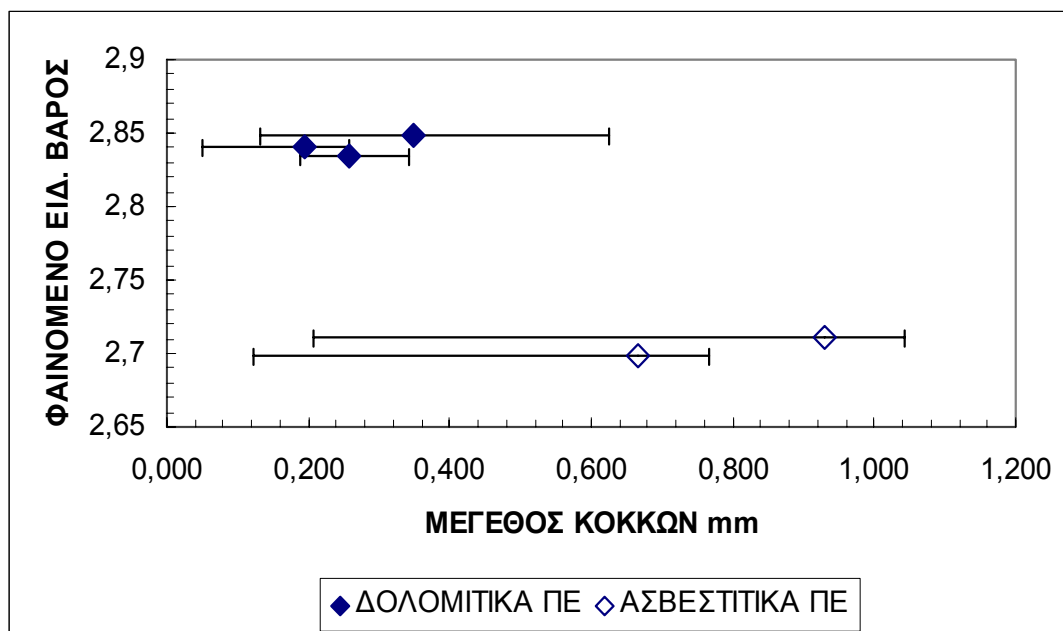
Με τη μέθοδο της εκτόπισης ρευστού επεξεργάζονται δείγματα με τουλάχιστον 100cm^3 όγκο. Τα δείγματα αυτά τοποθετούνται, όπως και στην προηγούμενη μέθοδο, για τουλάχιστον 24 ώρες στο δοκιμαστικό ρευστό. Στη συνέχεια προσδιορίζεται σε θερμοκρασία δωματίου ο όγκος του δείγματος, βυθίζοντας το δείγμα στο

δοχείο που είναι γεμισμένο με το δοκιμαστικό ρευστό και μετρώντας την εκτοπιζόμενη ποσότητα ρευστού από το δείγμα.

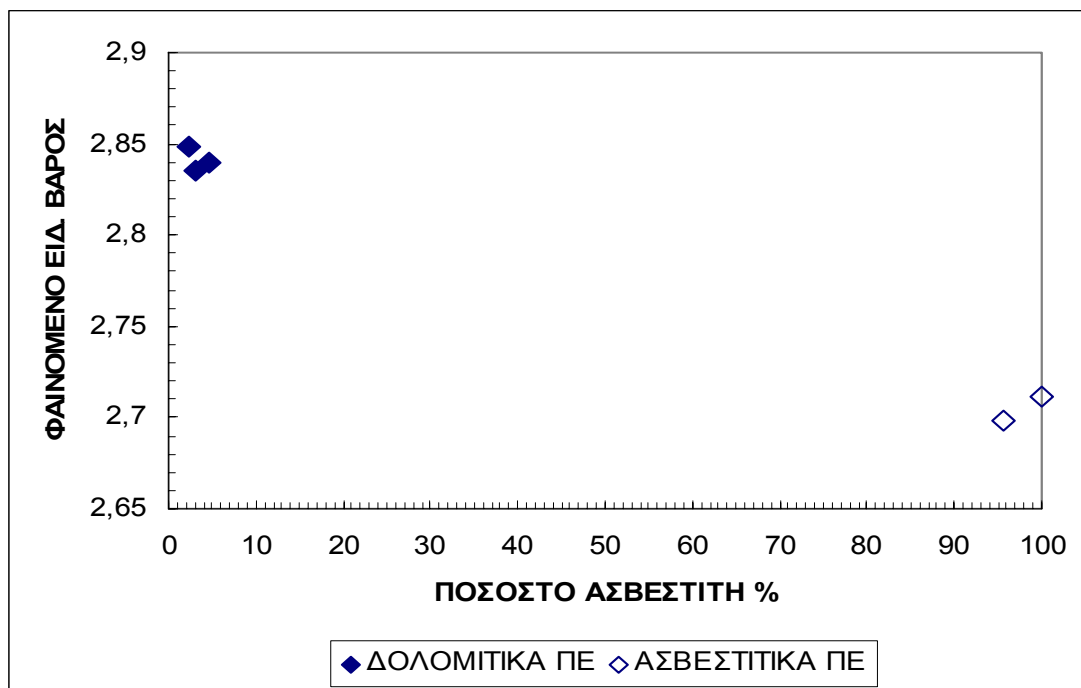
Πίνακας 6.3: Φαινόμενο ειδικό βάρος των δειγμάτων που μελετήθηκαν

ΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ
ΒΩΛΑΚΑΣ	2,835
ΓΡΑΝΙΤΗΣ	2,848
ΠΗΓΕΣ	2,84
ΣΤΕΝΩΠΟΣ	2,711
ΒΑΘΥΛΑΚΚΟΣ	2,698

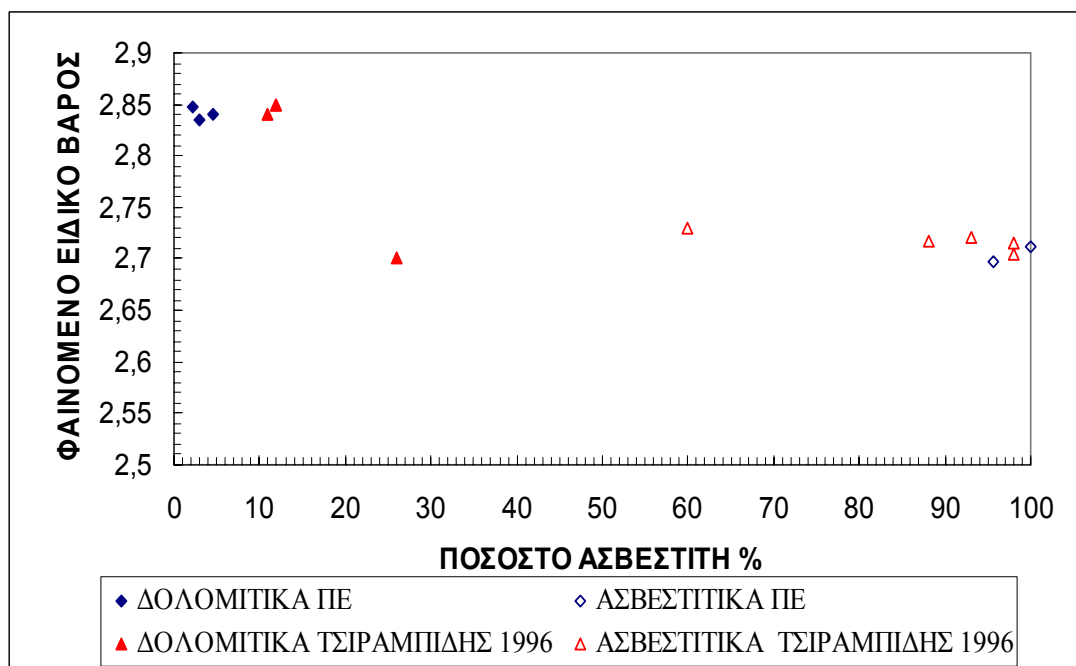
Όπως προκύπτει από τον πίνακα 6.3, τα δολομιτικά μάρμαρα (Βώλακα, Γρανίτη και Πηγών) έχουν ελαφρώς μεγαλύτερο φαινόμενο ειδικό βάρος απ' ότι τα ασβεστιτικά. Αυτό είναι αναμενόμενο αφού ο δολομίτης έχει μεγαλύτερο ειδικό βάρος από τον ασβεστίτη. Στα σχήματα 6.2 και 6.3 φαίνονται τα αποτελέσματα συσχέτισμού φαινόμενου ειδικού βάρους, κοκκομετρίας και ποσοστού ασβεστίτη αντίστοιχα σε κάθε δείγμα.



Σχήμα 6.2: Συσχετισμός του μεγέθους των κόκκων με το φαινόμενο ειδικό βάρος.



Σχήμα 6.3: Συσχετισμός του ποσοστού ασβεστίτη με το φαινόμενο ειδικό βάρος.



Σχήμα 6.4: Συσχετισμός του ποσοστού ασβεστίτη με το φαινόμενο ειδικό βάρος παρουσία και βιβλιογραφικών μετρήσεων.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω σχήματα (Σχήμα 6.2, 6.3 και 6.4), το φαινόμενο ειδικό βάρος των μαρμάρων σχετίζεται τόσο με το μέγεθος των κόκκων, όσο

και με την ορυκτολογική σύσταση και συγκεκριμένα με το ποσοστό του ασβεστίτη στο δείγμα. Πιο συγκεκριμένα, τα δολομιτικά μάρμαρα έχουν μεγαλύτερο φαινόμενο ειδικό βάρος από τα ασβεστιτικά. Αυτό είναι απόλυτα δικαιολογημένο, αφού ο δολομίτης (ως ορυκτό) έχει μεγαλύτερο ειδικό βάρος από τον ασβεστίτη (ως ορυκτό). Ο δολομίτης έχει φαινόμενο ειδικό βάρος $2,85 \text{ kg/m}^3$, ενώ ο ασβεστίτης έχει $2,71 \text{ kg/m}^3$ (Σαπουντζής και Χριστοφίδης 1985). Το μοναδικό δείγμα που απέχει από τη γενικότερη τάση που επικρατεί στο διάγραμμα 6.3, είναι αυτό με ποσοστό ασβεστίτη 26% και φαινόμενο ειδικό βάρος $2,701 \text{ kg/m}^3$.

6.2.2. Προσδιορισμός της υδαταπορρόφησης (W)

Υδαταπορρόφηση ή εμποτισμός, ϵ_u , είναι η ιδιότητα ενός πετρώματος να πληρώνεται με νερό. Ο υπολογισμός της έχει πρακτική σημασία σε πετρώματα με υψηλό πορώδες, αφού το νερό που γεμίζει τους πόρους μπορεί να αυξήσει το βάρος στο οποίο στηρίζεται ο κυβισμός των ογκομαρμάρων.

Η υδαταπορρόφηση είναι η φυσική ιδιότητα που κυρίως καθορίζει την καταλληλότητα ενός μαρμάρου για εξωτερικές χρήσεις, όπου αυτό είναι εκτεθειμένο στις υγρές καιρικές συνθήκες. Θεωρείται όμως σημαντική ιδιότητα και στην περίπτωση των εσωτερικών χρήσεων, ιδίως όταν το μάρμαρο καλύπτει χώρους με μεγάλη συγκέντρωση ανθρώπων και όπου απαιτείται να καθαρίζεται συχνά με τη χρήση υγρών καθαρισμού. Ειδικά, για την περίπτωση των δαπεδοστρώσεων, όταν ο συντελεστής εμποτισμού ξεπερνάει το 0,5%, το πέτρωμα θα πρέπει να υποβάλλεται και στη δοκιμή μέτρησης της αντοχής στη θλίψη μετά από ορισμένους κύκλους ψύξης, για να ελεγχθεί η συμπεριφορά του πετρώματος σε κλιματολογικές συνθήκες παγετού (Τσιραμπίδης 1996).

Ο προσδιορισμός της υδαταπορρόφησης έγινε από το Εργαστήριο «Λίθος» σύμφωνα με τα πρότυπα του Γερμανικού Ινστιτούτου και πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με τη δοκιμή DIN 52103. Οι δοκιμές έγιναν σε έξι δείγματα από το κάθε λατομείο.

Η δοκιμή αυτή πραγματοποιείται για τον προσδιορισμό της υδαταπορρόφησης των φυσικών πετρωμάτων υπό ατμοσφαιρική πίεση και υπό πίεση 150 bar. Η υδαταπορρόφηση κάτω από αυτές τις συνθήκες χαρακτηρίζει την κατάσταση του πορώδους του φυσικού πετρώματος.

Η υδαταπορρόφηση W είναι η διαφορά μεταξύ του βάρους του δείγματος σε νερό m_w και του ξερού δείγματος m_{tr} . Η υδαταπορρόφηση υπό ατμοσφαιρική πίεση δίνεται από τη σχέση:

$$W_a = m_{w,a} - m_{tr} \quad (5)$$

Η υδαταπορρόφηση υπό πίεση 150bar δίνεται από τη σχέση:

$$W_d = m_{w,d} - m_{tr} \quad (6)$$

Αρχικά τα δείγματα τοποθετούνται κάτω από το νερό για να καθαριστούν και να απαλλαγούν από άχρηστα μέρη. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη πέντε τουλάχιστον δειγμάτων προς εξέταση.

Η σταθεροποίηση του βάρους ενός δείγματος επιτυγχάνεται όταν το βάρος του μέσα σε διάστημα 24 ωρών δεν μεταβάλλεται περισσότερο από 0,1%. Το τελικώς διαπιστωμένο βάρος είναι το πραγματικό. Τα υγρά δείγματα πρέπει να σφουγγίζονται με ένα υγρό, πατημένο και φυσικό σπόγγο.

Η υδαταπορρόφηση μπορεί να προσδιοριστεί με τις ακόλουθες τρεις μεθόδους. Στην απορρόφηση νερού υπό ατμοσφαιρική πίεση τα λαμβανόμενα δείγματα τοποθετούνται για μια ώρα κατά το ήμισυ και στη συνέχεια εξ' ολοκλήρου με 20mm±5mm σε απεσταγμένο νερό υπό ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία 20±1°C έως τη σταθεροποίηση του βάρους.

Στην δοκιμή υπό πίεση 150bar κατόπιν εξαερισμού του δείγματος στο νερό τα υπό εξέταση δείγματα εξαερίζονται σε απεσταγμένο νερό σε κενό περίπου 30mbar έως ότου καμία φυσαλίδα να μην ανιχνεύεται και στη συνέχεια αφήνονται επιπλέον 2 ώρες στο νερό υπό ατμοσφαιρική πίεση. Κατόπιν εκτίθενται τα δείγματα όπου βρίσκεται εξαερισμένο νερό σε μια υπερπίεση 150bar. Η πίεση αυτή θα πρέπει να διατηρηθεί για 24 ώρες. Έπειτα τα δείγματα αποσύρονται από το νερό και ζυγίζονται.

Σύμφωνα με την τρίτη μέθοδο (υδαταπορρόφηση σε πίεση 150bar κατόπιν εξαερισμού των ξηρών δειγμάτων σε ξηρό αέρα), τα δείγματα φέρονται σε ξηρή κατάσταση. Με τη βοήθεια μιας αντλίας κενού, παράγεται για μια ώρα ένα κενό 30bar υπό πίεση και αφήνονται διατηρώντας το κενό για 10 λεπτά να διέλθουν από απεσταγμένο νερό, έως ότου τα δείγματα καθαρθούν από νερό. Έπειτα αίρεται το κενό, η μια συσκευή γεμίζεται εξολοκλήρου με νερό και ακολούθως η πίεση των 150bar

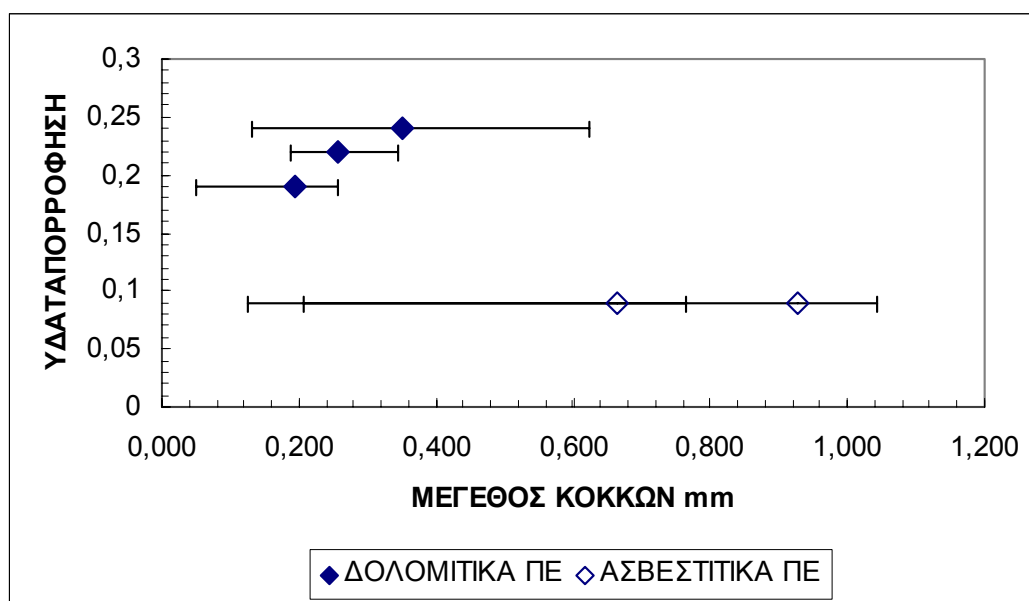
καταργείται. Η πίεση αυτή θα πρέπει να διατηρηθεί για 24 ώρες ± 15 bar. Στη συνέχεια τα δείγματα αποσύρονται από το νερό και ζυγίζονται.

Μετά το πέρας του πειράματος τα δείγματα ξηραίνονται στους $110 \pm 5^\circ\text{C}$ έως τη σταθεροποίηση του βάρους. Τα ορυκτά που ενδέχεται σ' αυτήν την θερμοκρασία να υποστούν μεταβολές, ξηραίνονται στους $40 \pm 2^\circ\text{C}$. Πριν από κάθε ζύγισμα τα δείγματα πρέπει να ψύχονται σε θερμοκρασία δωματίου (DIN 1980).

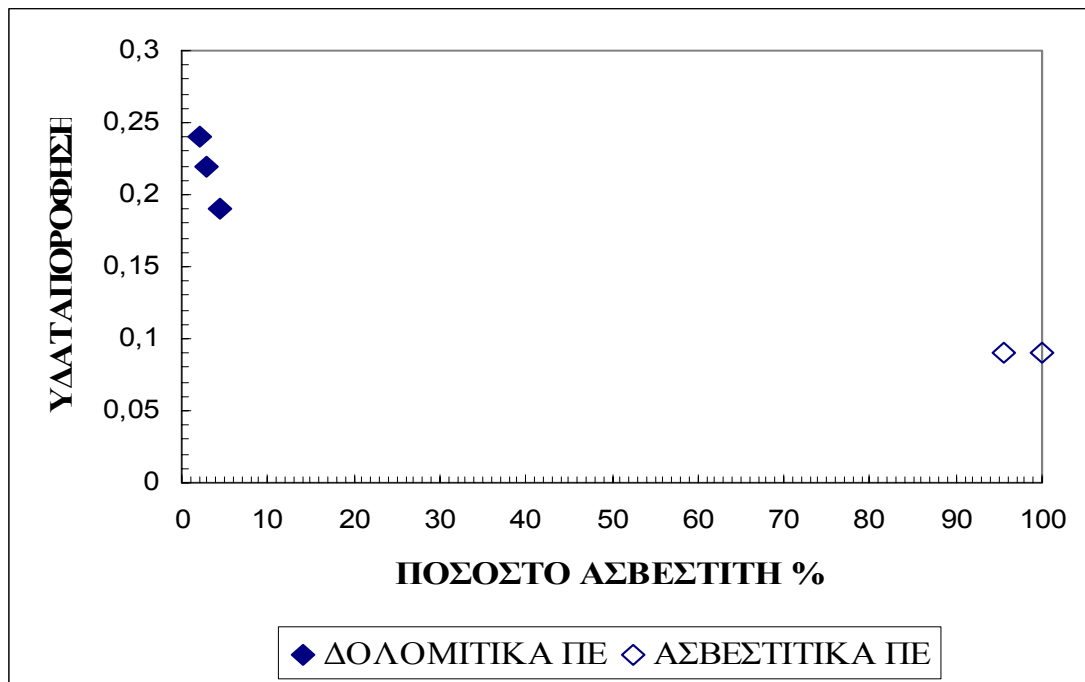
Όπως φαίνεται από τον πίνακα 6.4, τα δολομιτικά δείγματα έχουν αρκετά μεγαλύτερη ικανότητα υδαταπορόφησης από τα ασβεστιτικά. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η σχέση της ικανότητας υδαταπορόφησης με την κοκκομετρία και με το ποσοστό του ασβεστίτη στο κάθε δείγμα.

Πίνακας 6.4: Υδαταπορρόφηση των δειγμάτων που μελετήθηκαν

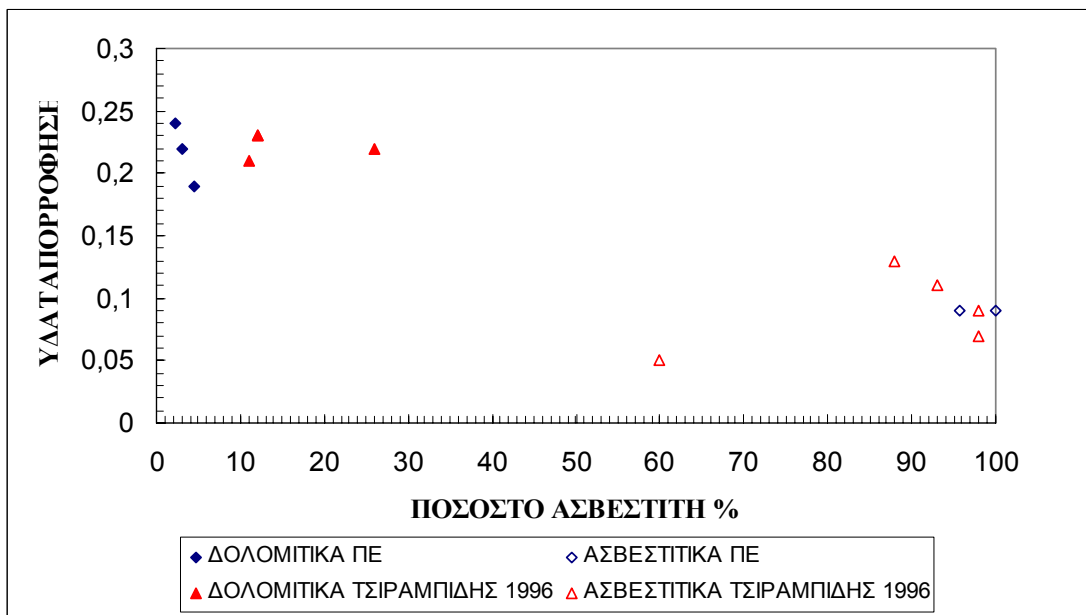
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ
ΒΩΛΑΚΑΣ	0,22
ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0,24
ΠΗΓΕΣ	0,19
ΣΤΕΝΩΠΟΣ	0,09
ΒΑΘΥΛΑΚΚΟΣ	0,09



Σχήμα 6.5: Συσχετισμός του μεγέθους των κόκκων με την ικανότητα υδαταπορόφησης.



Σχήμα 6.6: Συσχετισμός του ποσοστού ασβεστίτη με την ικανότητα υδαταπορόφησης.



Σχήμα 6.7: Συσχετισμός του ποσοστού ασβεστίτη με την ικανότητα υδαταπορόφησης παρουσία και βιβλιογραφικών μετρήσεων.

Γίνεται φανερό πως η ικανότητα υδαταπορόφησης εξαρτάται και από την κοκκομετρία αλλά και από την ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων. Πιο συγκεκριμένα,

κριμένα όσο πιο αδρόκοκκο είναι ένα δείγμα τόσο πιο μικρή ικανότητα υδαταπορόφησης έχει (Σχήματα 6.5, 6.6 και 6.7). Τα ασβεστιτικά μάρμαρα επειδή είναι γενικά πιο αδρόκοκκα θα έχουν πιο μικρή υδαταπορρόφηση, σε αντίθεση με τα δολομιτικά που είναι πιο λεπτόκοκκα και επομένως έχουν μεγαλύτερη υδαταπορρόφηση. Το μοναδικό δείγμα που απέχει από τη γενικότερη τάση των δειγμάτων είναι αυτό που έχει ποσοστό ασβεστίτη 60% και υδαταπορρόφηση 0,05%.

Σύμφωνα με το Δημόπουλο 1986, η υδαταπορροφητικότητα της βραχομάζας είναι ουσιαστικά πιο μεγάλη από εκείνη ενός πετρώματος. Πιο συγκεκριμένα, εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τον όγκο που πιάνουν οι κατατμήσεις όταν αφαιρεθεί το υλικό πλήρωσής του

Από τα διακοσμητικά πετρώματα μικρό συντελεστή εμποτισμού παρουσιάζουν οι σερπεντινίτες και οι γρανίτες, $I_C=0,2-2,0\%$. Τα ασβεστιτικά μάρμαρα και οι ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν συντελεστή εμποτισμού $I_C=0,2-5,0\%$, ενώ τα δολομιτικά μάρμαρα $I_C=0,8-8\%$ και οι τραβερτίνες 3-15% (Τσιραμπίδης 1996).

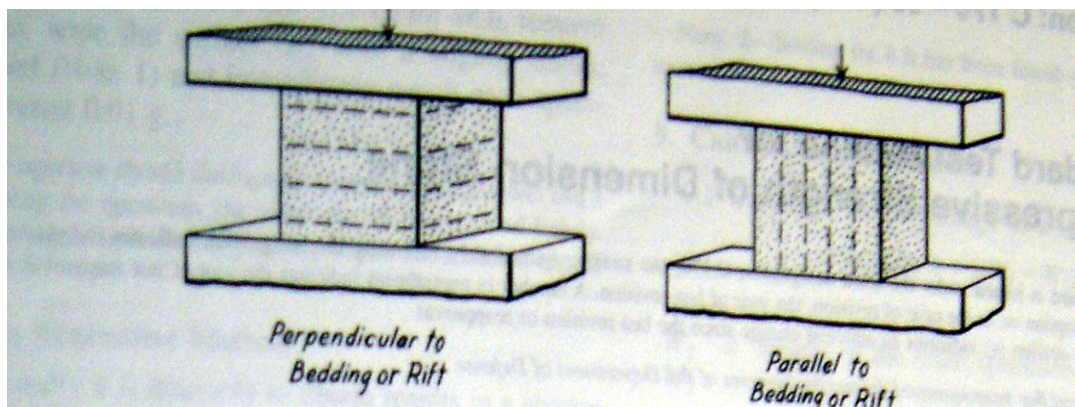
6.2.3. Προσδιορισμός μέτρου ελαστικότητας (ϵ)

Ως μέτρο ελαστικότητας (ϵ) ορίζεται ο λόγος της τάσης που ασκούμε σ' ένα συγκεκριμένο δοκίμιο μαρμάρου προς την αξονική του παραμόρφωση. Η δοκιμή γίνεται σε δοκίμια που υποβάλλονται σε θλίψη στις μικρότερες επιφάνειες. Η παραμόρφωση μετριέται με ηλεκτρικά όργανα. Το αποτέλεσμα εκφράζεται σε tn/m^2 και είναι ο μέσος όρος των τιμών.

Παρόλο που δεν έχει μέχρι σήμερα ξεκαθαριστεί ο ρόλος της δοκιμασίας αυτής στην αξιολόγηση των πετρωμάτων για τις διάφορες χρήσεις, το μέτρο ελαστικότητας θεωρείται σημαντική ιδιότητα στην περίπτωση ορθομαρμαρώσεων με πλάκες που χρειάζονται ενίσχυση στην κάτω επιφάνειά τους. Από τις δοκιμές που έχουν γίνει, πολύ μεγάλο μέτρο ελαστικότητας παρουσιάζουν οι σερπεντινίτες ($E=1300$), σχετικά μεγάλο τα μάρμαρα και οι συμπαγείς ασβεστόλιθοι ($E=650-700$), χαμηλό μέτρο ελαστικότητας έχουν οι τραβερτίνες ($E=500$) και τέλος, πολύ χαμηλότερο μέτρο ελαστικότητας έχουν οι γρανίτες ($E=350-400$) (Τσιραμπίδης 1996)

Ο προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας έγινε στο Εργαστήριο «Λίθος» για την εταιρία, σύμφωνα με τα Αμερικανικά πρότυπα και πιο συγκεκριμένα με την πρότυπη δοκιμή ASTM C-170.

Σύμφωνα με την πρότυπη αυτή διαδικασία πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή τόσο στην επιλογή των δειγμάτων όσο και στο σχήμα αυτών. Τα δοκίμια πρέπει να είναι κυβικά, τετραγωνικά πρίσματα ή κυλινδρικά και πρέπει να είναι κομμένα από τον πυρήνα του δείγματος. Τα δείγματα που μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική ήταν κυλινδρικά. Η διάμετρος ή η πλάγια διάσταση (η απόσταση μεταξύ των απέναντι κατακόρυφων επιφανειών) δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 2 ίντσες (50,8 mm) και ο λόγος του ύψους προς τη διάμετρο ή την πλάγια διάσταση δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 1:1. Τουλάχιστον πέντε δείγματα πρέπει να έχουν προετοιμαστεί για κάθε περίπτωση στη δοκιμή. Για ξηρές και υγρές καταστάσεις γίνονται δοκιμές για κάθε δύναμη και για κατακόρυφες και παράλληλες προς το επίπεδο (Σχήμα 6.8) και θα χρειαστούν είκοσι δείγματα.



Σχήμα 6.8: α) Η ασκούμενη δύναμη είναι κάθετη στη στρώση του δοκιμίου, β) Η ασκούμενη δύναμη είναι παράλληλη στη στρώση (ASTM, 2001).

Οι επιφάνειες και η διεύθυνση του επιπέδου πρέπει να σημειώνονται για κάθε δείγμα μετά το τέλος της δοκιμής.

Πριν από τη δοκιμή των δειγμάτων σε υγρή κατάσταση, υγραίνονται για 48 ώρες σε θερμοκρασία $60 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Στην 46^η, 47^η και 48^η ώρα, ζυγίζονται τα δείγματα για να πιστοποιηθεί ότι το βάρος παραμένει το ίδιο. Αν το βάρος συνεχίζει να μειώνεται, συνεχίζουμε να υγραίνουμε τα δείγματα μέχρι να υπάρξουν 3 συνεχείς διαδοχικές ενδείξεις με το ίδιο βάρος. Μετά την απομάκρυνση των δειγμάτων από το φούρνο, τα ψύχουμε σε θερμοκρασία δωματίου μέσα σε ξηραντήρα πριν από κάθε δοκιμή.

Πριν από τη δοκιμή των δειγμάτων σε ξηρή κατάσταση, βυθίζονται σε νερό για 48 ώρες σε θερμοκρασία $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Υποβάλλουμε σε δοκιμή τα δείγματα αμέσως μόλις τα βγάλουμε από το μπάνιο, σκουπίζοντας το νερό από την επιφάνειά τους.

Αφού προετοιμαστούν τα δοκίμια τα κεντράρουμε στο μηχάνημα, που γίνονται οι δοκιμές, και βάζουμε το αρχικό φορτίο σε αναλογία που επιτρέπει χειροκίνητη ρύθμιση στην επιφάνεια επαφής του δείγματος. Περιστρέφοντας την επιφάνεια μπρος και πίσω υπό γωνία 30° κάτω από ένα μικρό φορτίο ώστε να το φέρουμε στη σωστή θέση, χωρίς όμως να αποκρίνουμε το δείγμα από την κεντρική θέση. Κατά προτίμηση, η αναλογία του φορτίου δεν πρέπει να ξεπερνά τα 100 psi (690 kPa)/sec, αλλά αυτή η ανάγκη μπορεί να συγκριθεί με αυτή που απαντήθηκε για το load head δεν είναι περισσότερο από 0,05in (1,3 mm)/min.

Στις κατακόρυφες μηχανές δοκιμής, η σφαιρική όψη του μπλοκ πρέπει να κρέμεται από το ανώτερο τμήμα της μηχανής κατά τέτοιο τρόπο ώστε το εφαπτόμενο επίπεδο να παραμένει σε μια κεντρική θέση καθώς γεμίζεται. Οι σφαιρικές επιφάνειες πρέπει να λιπαίνονται πολύ καλά και στο κέντρο της κυρτότητας πρέπει να τοποθετηθεί η επιφάνεια με το δείγμα.

Μετά το πέρας της πειραματικής διαδικασίας, πραγματοποιείται ο υπολογισμός του μέτρου της επιθυμητής ιδιότητας. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$C = \frac{W}{A} \quad (7)$$

όπου C: η ασκούμενη στο δείγμα δύναμη, (psi ή MPa)

W: το συνολικό φορτίο (N)

A: η διατομή του δοκιμίου πάνω στην οποία ασκείται η δύναμη (in^2 ή mm^2).

Στην περίπτωση που ο λόγος του ύψους προς τη διάμετρο ή την πλάγια απόσταση υπολογίζεται από 25% και πάνω, το αποτέλεσμα υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$C_c = \frac{C_c}{0.788 + 0.22 \cdot (b + h)} \quad (8)$$

όπου C_c : η ασκούμενη δύναμη στο αντίστοιχο κυβικό δοκίμιο

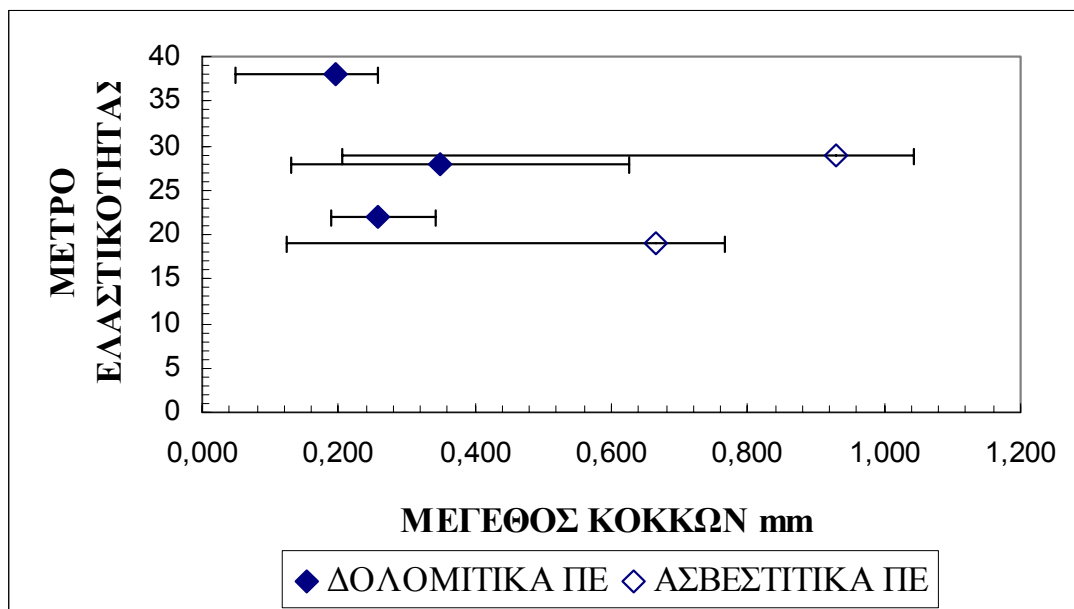
C_f : η ασκούμενη δύναμη σε ένα; Δοκίμιο του οποίου το ύψος είναι μεγαλύτερο από τη διάμετρο ή την πλάγια απόσταση

b: η διάμετρος ή η πλάγια απόσταση

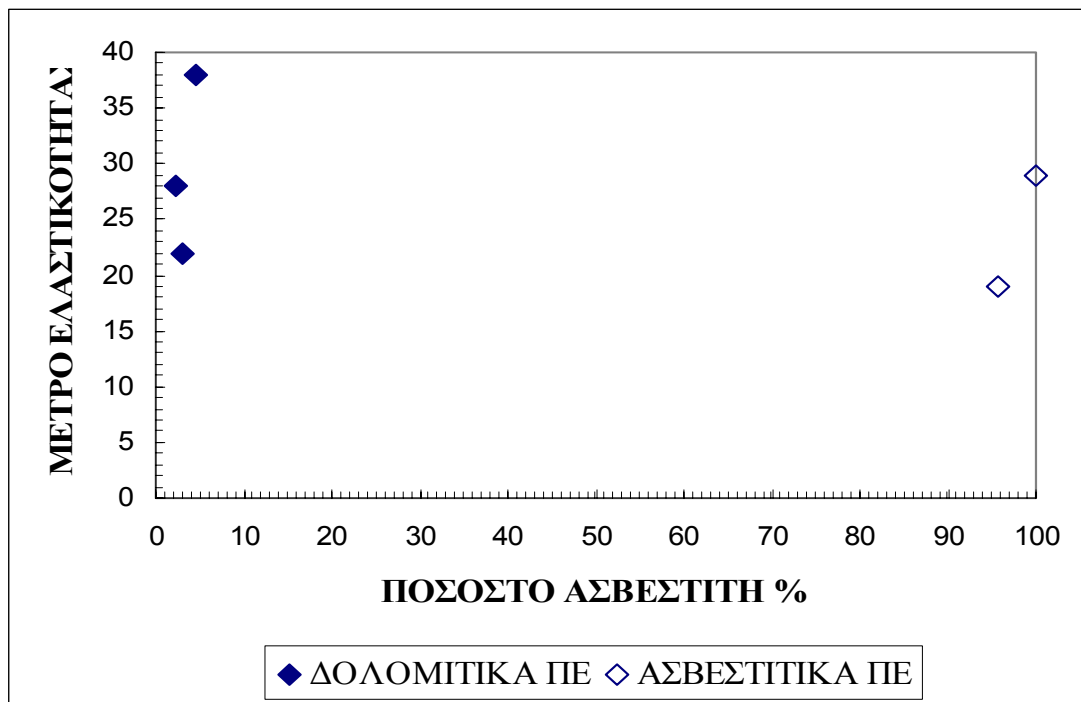
h : το ύψος (ASTM, 2001).

Πίνακας 6.5: Μέτρο ελαστικότητας των δειγμάτων που μελετήθηκαν

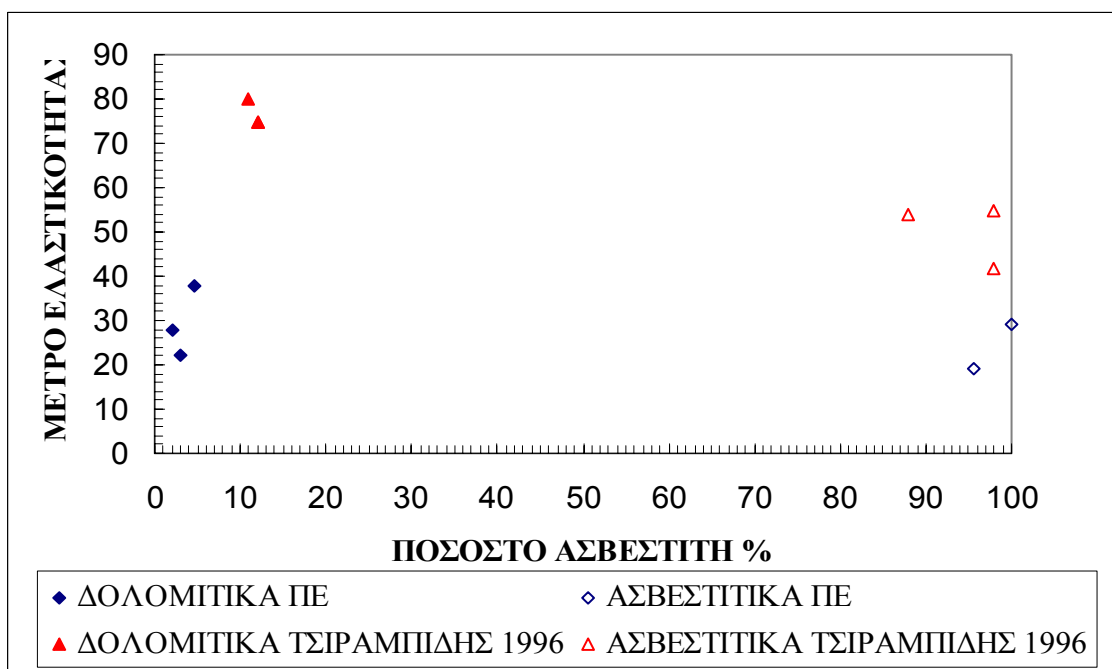
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
ΒΩΛΑΚΑΣ	22
ΓΡΑΝΙΤΗΣ	28
ΠΗΓΕΣ	38
ΣΤΕΝΩΠΟΣ	29
ΒΑΘΥΛΑΚΚΟΣ	19



Σχήμα 6.9: Συσχετισμός μέτρου ελαστικότητας και μεγέθους κόκκων.



Σχήμα 6.10: Συσχετισμός μέτρου ελαστικότητας και ποσοστού ασβεστίτη.



Σχήμα 6.11: Συσχετισμός μέτρου ελαστικότητας και ποσοστού ασβεστίτη παρουσία και βιβλιογραφικών μετρήσεων.

Στον πίνακα 6.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τον προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας για κάθε περιοχή δειγματοληψίας ενώ στα σχήματα 6.9, 6.10 και 6.11 γίνεται συσχέτιση του μέτρου ελαστικότητας με την κοκκομετρία και το ποσοστό του ασβεστίτη αντίστοιχα και με παρουσία βιβλιογραφικών δειγμάτων. Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι η τιμή του μέτρου ελαστικότητας δεν σχετίζεται με το ποσοστό του ασβεστίτη. Δεν μπορούμε να πούμε αν τα ασβεστιτικά ή τα δολομιτικά δείγματα έχουν μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας.

6.2.4. Προσδιορισμός στην αντοχή στη θλίψη (R_C)

Η θλιπτική αντοχή των πετρωμάτων είναι αισθητά διαφορετική τόσο μεταξύ των διαφόρων ειδών τους, όσο και μεταξύ δειγμάτων του ίδιου πετρώματος διαφορετικής όμως προέλευσης και μερικές φορές μεταξύ δειγμάτων του ίδιου πετρώματος και της ίδιας προέλευσης. Δίνεται από τον τύπο $R_C = \frac{P}{S}$, όπου P είναι το συνολικό φορτίο που δέχεται το δοκίμιο τη στιγμή της θραύσης και S είναι το εμβαδόν της επιφάνειας διατομής του δοκιμίου (Χριστοδουλόπουλος και Μπόϊντας 1995). Επισημαίνεται γι' αυτή την ιδιότητα ότι οι δοκιμές πρέπει να γίνονται όχι σε ξηρά δοκίμια, αλλά σε δοκίμια με τη φυσική τους υγρασία, γιατί αυτά είναι που αντιπροσωπεύουν την κατάσταση του μαρμάρου στις φυσικές συνθήκες. Ακόμη, τα αποτελέσματα των δοκιμών διαφέρουν ανάλογα με τους τύπους των δοκιμών που χρησιμοποιούμε (τα κυβικά δοκίμια έχουν το 93-96% της αντοχής των κυλινδρικών δοκιμών). Επίσης, επειδή οι τιμές της ιδιότητας αυτής είναι στενά συνδεδεμένες με τους πετρογραφικούς χαρακτήρες του πετρώματος (μέγεθος κόκκων, ορυκτολογική σύσταση, ιστός, υφή κ.λ.π.), θα πρέπει αυτοί να είναι γνωστοί και με τη βοήθειά τους να γίνεται η ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Τσιραμπίδης 1996).

Ο προσδιορισμός της αντοχής των δειγμάτων στη θλίψη έγιναν στο εργαστήριο «Λίθος», σύμφωνα με τα πρότυπα του Γερμανικού Ινστιτούτου και πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με την πρότυπη δοκιμή DIN 52105. Στον πίνακα 6.6 παρουσιάζονται οι μετρήσεις αυτές για κάθε περιοχή από την οποία προμηθευτήκαμε τα δείγματα και στα σχήματα 6.12, 6.13 και 6.14 γίνεται συσχέτιση αντοχής στη θλίψη, κοκκομετρίας και ποσοστού ασβεστίτη αντίστοιχα. Από τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα δολομιτικά δείγματα έχουν μεγαλύτερη αντοχή στη θλίψη από τα ασβεστιτικά.

Η δοκιμή αυτή χρησιμοποιείται για την εξακρίβωση της σταθερότητας υπό πίεση των φυσικών πετρωμάτων. Γι' αυτό χωρίζεται ένα δείγμα ορυκτού ενός μονοαξονικού κατά τη διατομή όσο το δυνατό συμμετρικά και υποβάλλεται αργά και σταθερά σε αυξανόμενη επιβάρυνση με πίεση έως τη θραύση.

Η αντοχή στη θλίψη σ_{dB} είναι το πηλίκο της μέγιστης P_{max} κατά τη δοκιμή με πίεση και της αρχικής διατομής του δείγματος A_0 . Έτσι η αντοχή στη θλίψη δίνεται από τη σχέση:

$$G_{dB} = \frac{P_{max}}{A_0} \quad (11)$$

Τα δείγματα χρησιμοποιούνται κατά κανόνα κύβοι με μήκος ακμής $50\text{mm} \pm 2\text{mm}$ ή κύλινδροι με διάμετρο $55\text{mm} \pm 2\text{mm}$ και ύψος $50\text{mm} \pm 2\text{mm}$. Στα ορυκτά με ασύμμετρη ή χονδροκρυσταλλική ή χονδροπορώδης δομή χρησιμοποιούνται κύβοι με μήκος ακμής $100\text{mm} \pm 5\text{mm}$ ή κύλινδροι με διάμετρο $100\text{mm} \pm 5\text{mm}$ και ύψος $100\text{mm} \pm 5\text{mm}$.

Οι κύβοι φανερώνονται από τον κορμό υγροί, οι κύλινδροι διανοίγονται υγροί. Εύθικτα στο νερό πετρώματα επεξεργάζονται ξηρά. Οι επιφάνειες πίεσης σύρονται ευθύγραμμα και παράλληλα προς την άλλη.

Για το σχηματισμό της μεσότητας θα πρέπει να εξεταστούν τουλάχιστον πέντε δείγματα από ένα συμπαγή όγκο της ίδιας διεύθυνσης. Όταν για την εκτίμηση του ορυκτού δεν απαιτείται κανένας άλλος έλεγχος, ελέγχονται τα δείγματα σε κατάσταση ξήρανσης με αέρα.

Για την διεκπεραίωση της δοκιμής χρησιμοποιείται μια δοκιμαστική μηχανή πίεσης, η οποία αποτελείται από ενδιάμεσες πλάκες ή με μια διάταξη πίεσης. Η δοκιμαστική μηχανή πρέπει να ανταποκρίνεται τουλάχιστον στις απαιτήσεις της κλάσης 2 σύμφωνα με το DIN 51220. Οι ενδιάμεσες πλάκες πρέπει να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις που περιλαμβάνονται στο DIN 51223 για τις πλάκες πίεσης. Η ανωμαλία (στην επιφάνεια) των ενδιάμεσων πλακών δεν επιτρέπεται σε ένα διάστημα (απόσταση) 120mm να είναι μεγαλύτερη από $0,02\text{mm}$. Στα συμμετρικά τμήματα της δοκιμαστικής δοκιμής δύναμης πάνω στην επιφάνεια του δείγματος πρέπει να τοποθετηθεί η πάνω ενδιάμεση πλάκα σφαιρικά ή να χρησιμοποιηθεί η ανταποκρινόμενη διάταξη πίεσης.

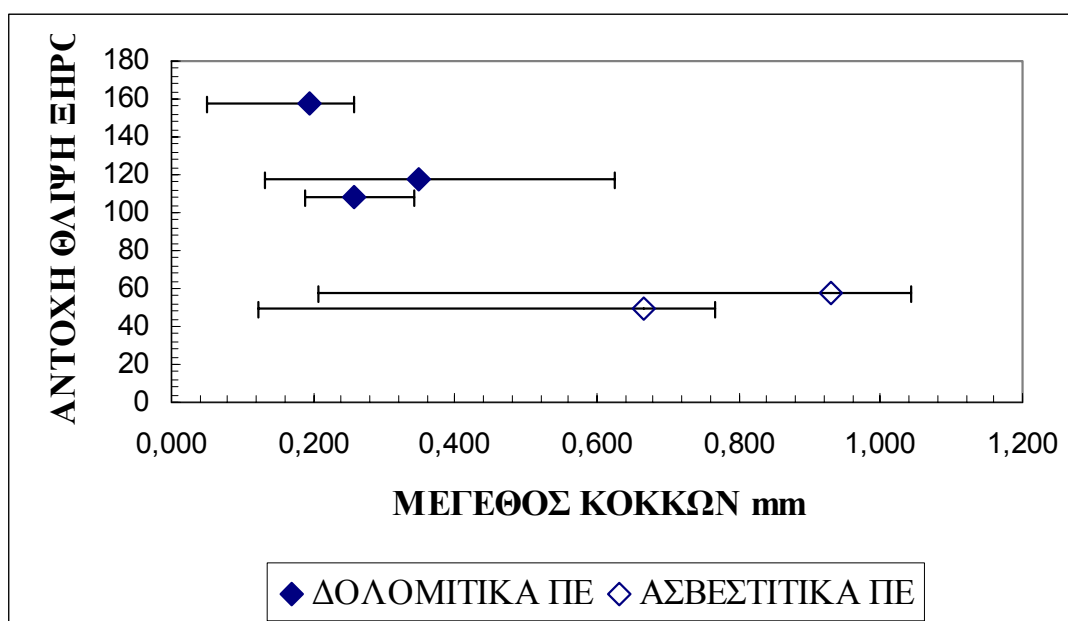
Για τον υπολογισμό της διατομής πρέπει να μετρηθούν οι αυθεντικές διαστάσεις του δείγματος στο μέσο του ύψους από 0,1mm. Η αρχική διατομή A_0 του δείγματος υπολογίζεται από 0,1cm² στρογγυλοποιημένο.

Οι επιφάνειες πίεσης του δείγματος και οι ενδιάμεσες πλάκες της μηχανής πρέπει να είναι καθαρές και επιτρέπεται να λιπαίνονται.

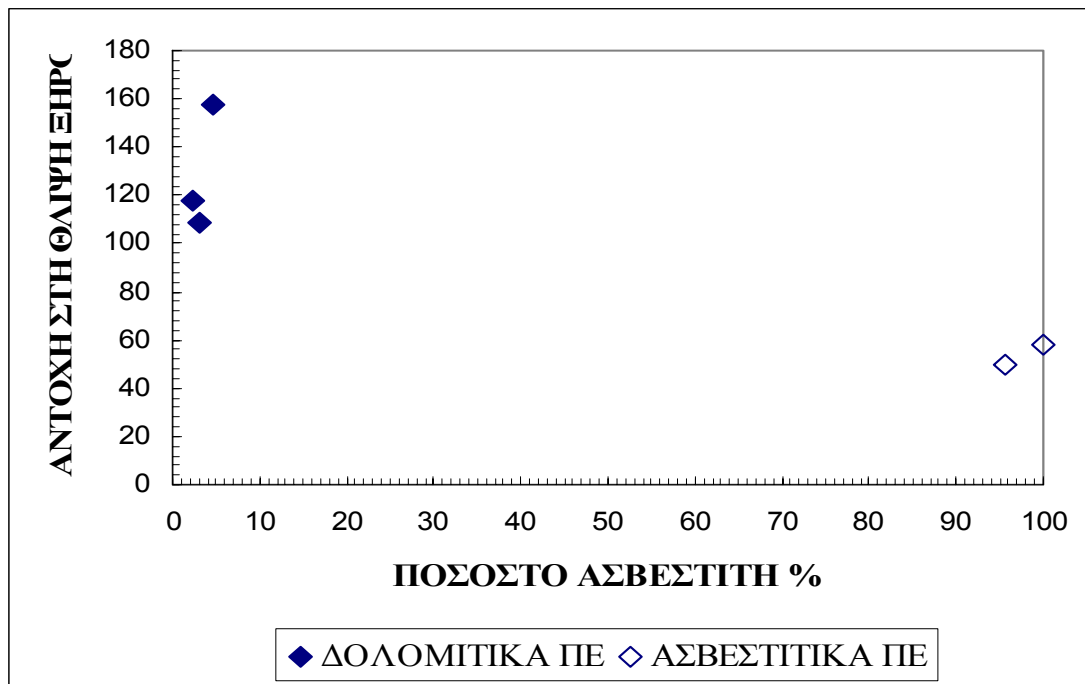
Τα δείγματα κατά τη χρησιμοποίηση των ενδιάμεσων πλακών τοποθετούνται κεντρικά ανάμεσα στις πλάκες πίεσης της δοκιμαστικής μηχανής πίεσης. Η ταχύτητα επιβάρυνσης πρέπει να ρυθμίζεται συμμετρικά και σταθερά, ώστε το δείγμα να εισέρχεται περίπου μέσα σε 60 έως 90 δευτερόλεπτα. Μετριέται η εμφανιζόμενη μέγιστη δύναμη P_{max} .

Πίνακας 6.6: Αντοχή στη θλίψη των δειγμάτων που μελετήθηκαν

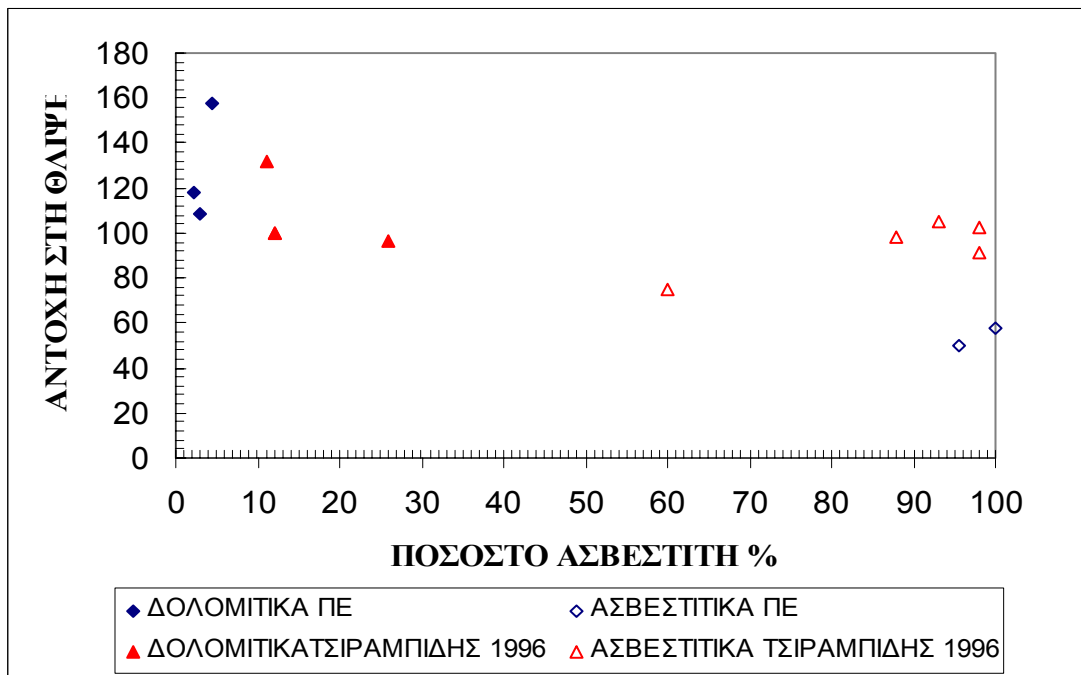
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΘΛΙΨΗ
ΒΩΛΑΚΑΣ	108,8
ΓΡΑΝΙΤΗΣ	117,7
ΠΗΓΕΣ	157,9
ΣΤΕΝΩΠΟΣ	57,85
ΒΑΘΥΛΑΚΚΟΣ	50



Σχήμα 6.12: Συσχετισμός αντοχής στη θλίψη και μεγέθους κόκκων.



Σχήμα 6.13: Συσχετισμός αντοχής στη θλίψη και ποσοστού ασβεστίτη.



Σχήμα 6.14: Συσχετισμός αντοχής στη θλίψη και ποσοστού ασβεστίτη παρουσία και βιβλιογραφικών μετρήσεων.

Η αντοχή στη θλίψη θεωρείται μια πολύ σημαντική ιδιότητα για την αξιολόγηση των μαρμάρων για χρήση τους σε ποικίλες κατασκευές (π.χ. επενδύσεις, επιστρώσεις δαπέδων, σκάλες). Ειδικά, για τη χρησιμοποίηση των πετρωμάτων σε εξωτερικούς χώρους και σε χώρες με έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές είναι απαραίτητο να ελέγχεται η αντοχή στη θλίψη μετά από ψύξη υλικού. Πιο ανθεκτικά στον παγετό είναι τα λεπτόκοκκα μονοορυκτολογικά εξαιτίας της διαφορετικής συμπεριφοράς των ορυκτών τους στις θερμοκρασιακές μεταβολές. Επίσης, πετρώματα που έχουν μεγάλο πορώδες παρουσιάζουν μειωμένη αντοχή στη θλίψη εξαιτίας της πλήρωσης των κενών τους με νερό. Έτσι, η ίδια ακριβώς δοκιμή είναι απαραίτητο να γίνεται, όταν ο συντελεστής εμποτισμού του πετρώματος ξεπερνάει το 0,5%. Εάν το υλικό μετά την ψύξη του και κατά την διάρκεια της δοκιμής παρουσιάσει φθορές ή η μέση αντοχή του στη θλίψη μειωθεί κατά 20% σε σχέση μ' αυτήν που έχει χωρίς να ψυχθεί, τότε το πέτρωμα χαρακτηρίζεται ως «παγόπληκτο» και θεωρείται ακατάλληλο για εξωτερικές χρήσεις (Τσιραμπίδης 1996).

6.2.5. Αντοχή στον εφελκυσμό από κάμψη (R_f)

Με τον όρο αντοχή στον εφελκυσμό εννοούμε την αντοχή κάποιας βραχομάζας σε σπάσιμο, όταν πάνω σε ένα πρισματικό δείγμα της εφαρμοστεί μια δύναμη έλξης μέχρι θραυσμού του δείγματος. Η αντοχή του πετρώματος σε εφελκυσμό, στα περισσότερα είδη πετρωμάτων, αποτελεί το 5-10% της αντοχής του πετρώματος σε πίεση. Στην περίπτωση που η βραχομάζα είναι καταταμημένη, η αντοχή της γίνεται ουσιαστικά ακόμα μικρότερη και μάλιστα τείνει προς το μηδέν (Δημόπουλος 1986).

Είναι γνωστό ότι τα αρχιτεκτονικά μέλη των κτιρίων υποβάλλονται σε καταπονήσεις από κάμψη. Γι' αυτό η ιδιότητα της αντοχής στον εφελκυσμό είναι απολύτως αναγκαία να ελέγχεται, όταν τα μάρμαρα χρησιμοποιούνται για εξωτερικές επενδύσεις και σκάλες ελεύθερης δράσης, ενώ είναι σημαντική ιδιότητα, όταν τα μάρμαρα χρησιμοποιούνται για εσωτερικές και εξωτερικές επιστρώσεις δαπέδων.

Αυτό που πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα σ' αυτήν την ιδιότητα είναι ότι επηρεάζεται σημαντικά από τη στρώση ή τη σχιστότητα των πετρωμάτων, γι' αυτό απαιτείται οι μετρήσεις να γίνονται σε δοκίμια, τόσο κάθετα όσο και παράλληλα σ' αυτά τα χαρακτηριστικά (Τσιραμπίδης 1996).

Η αντοχή στον εφελκυσμό προσδιορίστηκε σύμφωνα με τα πρότυπα του Γερμανικού Ινστιτούτου και συγκεκριμένα σύμφωνα με την πρότυπη δοκιμή DIN 52112 για τα ασβεστίτικα δείγματα και τη δοκιμή ASTM C-99 για τα δολομιτικά δείγματα. Η δοκιμή έγινε σε έξι δοκίμια για κάθε περιοχή δειγματοληψίας, από τα οποία τα τρία δείγματα βρίσκονταν σε ξηρή και τρία σε υγρή κατάσταση.

Η μέθοδος ASTM C-99 αποσκοπεί στον προσδιορισμό του μέτρου του εφελκυσμού σε όλους του τύπους μεγεθών των πετρωμάτων εκτός από το σχιστόλιθο. Αυτή η μέθοδος είναι χρήσιμη στην υπόδειξη των διαφορών στον προσδιορισμό του μέτρου εφελκυσμού μεταξύ των διάφορων μεγεθών στα πετρώματα. Αυτή η μέθοδος επίσης, ορίζει ένα στοιχείο σε δύο διαφορετικά δείγματα του ίδιου πετρώματος.

Η συλλογή των δειγμάτων πρέπει να αντιπροσωπεύει ένα ικανοποιητικό πλήθος του κάθε τύπου πετρώματος ή αριθμό πετρωμάτων υπό μελέτη και της ποιότητας προμηθευόμενα από την αγορά. Τα δείγματα μπορεί να επιλεγούν από τον αγοραστή ή από τον εξουσιοδοτημένο αντιπρόσωπό του από το λατομείο ή συλλέγονται από τη φύση και θα πρέπει να είναι επαρκούς μεγέθους για να είναι κατάλληλα για τη πραγματοποίηση της δοκιμής. Όταν απαντώνται διάφορες ποικιλίες, ο αγοραστής μπορεί να επιλέξει όσο περισσότερα δείγματα του είναι απαραίτητα για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων από τη δοκιμή αυτή.

Τα δείγματα πρέπει να είναι, κατά προσέγγιση, μεγέθους 4-8-24in (101,6-203,2-57,2mm). Θα πρέπει να είναι κομμένα από το δείγμα και τελείως τροχισμένα για να λειανθούν οι επιφάνειες. Οι επιφάνειες με μήκος 4-8in πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο επίπεδες και παράλληλες όσο το δυνατόν περισσότερο. Για να φορτώσουμε κάθετες στη σχισμή πέντε δείγματα πρέπει να είναι έτοιμα τα δείγματα με επιφάνειες 4-8in παράλληλες στη σχισμή και για να φορτώσουμε παράλληλα στη σχισμή, πέντε δείγματα πρέπει να ετοιμαστούν με παράλληλη στη σχισμή επιφάνεια 4-2^{1/4}. Όταν οι δοκιμές ζητηθούν, πρέπει να γίνουν υπό υγρές και ξηρές συνθήκες, δέκα δείγματα πρέπει να ετοιμαστούν, πέντε για κάθε μια περίπτωση. Συγκεκριμένα πέντε δείγματα για δοκιμή σε ξηρή κατάσταση και πέντε σε υγρή κατάσταση με επιφάνεια παράλληλη στη σχισμή.

Πάνω στην επιφάνεια των 4-8in ζωγραφίζουμε στο κέντρο της μια γραμμή κάθετα στο ένα χείλος και την επεκτείνουμε και προς τα δύο άκρα των επιφανειών με μήκος 4-8in. Σε μια απόσταση 3,5in και από τις δύο μεριές από τη γραμμή

μή στο κέντρο ζωγραφίζουμε δύο όμοιες γραμμές με την κεντρική. Μαρκάρουμε κάθε στοιχείο για να δηλώσουμε τη διεύθυνση της σχισμής και τα στοιχειοθετούμε με τους κατάλληλους αριθμούς ή γράμματα για την αναγνώριση μετρώντας και δοκιμάζοντας.

Μετρούμε τις διαστάσεις της σχισμής στη γραμμή του κέντρου. Μέτρηση του πλάτους κοντά στις 0,01in και παίρνουμε το πάχος ως μέσο όρο από τρεις μετρήσεις κοντά στις 0,01in, η μία είναι από το κέντρο και οι άλλες δύο κοντά σε κάθε χείλος.

Πριν τεστάρουμε τα δείγματα σε ξηρή κατάσταση, τα ξηραίνουμε για 24 ώρες στους $60 \pm 2^\circ\text{C}$. Στην 46^η, 47^η και 48^η ώρα ζυγίζουμε τα δείγματα για να σιγουρευτούμε ότι το βάρος τους παραμένει σταθερό. Αν το βάρος συνεχίζει να μειώνεται, συνεχίζουμε την ξήρανση των δειγμάτων μέχρι να υπάρξουν τρεις ωριαίες επιτυχημένες μετρήσεις με το ίδιο βάρος. Αφού μετακινήσουμε τα δείγματα από το φούρνο, τα ψύχουμε σε θερμοκρασία δωματίου, πριν τα τεστάρουμε.

Πριν μετρήσουμε τα δείγματα σε υγρή κατάσταση, τα εμβαπτίζουμε στο νερό για 48 ώρες σε θερμοκρασία $22 \pm 2^\circ\text{C}$. Τα τεστάρουμε απευθείας μετά την απομάκρυνσή τους από το λουτρό, σφουγγίζοντάς τα για να απομακρύνουμε το υπολειπόμενο νερό από την επιφάνειά τους.

Τοποθετούμε τις επίπεδες επιφάνειες των δειγμάτων ξαπλωτά πάνω στα υποβασταζόμενα χείλη των μαχαιριών, σε απόσταση 7in (177,8mm) από το καθένα, με όλα, και τα τρία, χείλη των μαχαιριών παράλληλα. Όταν εφαρμόζεται μία δύναμη μέτρου 10 lbf (44N), σταματάμε την πίεση και κάνουμε όλα τα χείλη των μαχαιριών να συμπίπτουν με το μαρκάρισμα πάνω στα δείγματα, κεντράρουμε τα δείγματα κάτω από τα υπό πίεση χείλη και μετακινούμε τα υποβασταζόμενα χείλη κάτω από το άνοιγμα του μαρκαρίσματος. Εφαρμόζουμε την πίεση κατ' αναλογία, χωρίς να ξεπερνάμε το όριο των 1000 lbf/min (4450N/min), μέχρι την αντοχή του δείγματος.

Η ρήξη που προκαλείται στα δείγματα υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$R = \frac{3 \cdot W \cdot l}{2 \cdot b \cdot d^2} \quad (12)$$

όπου R: η αντοχή στον εφελκυσμό σε MPa ή psi

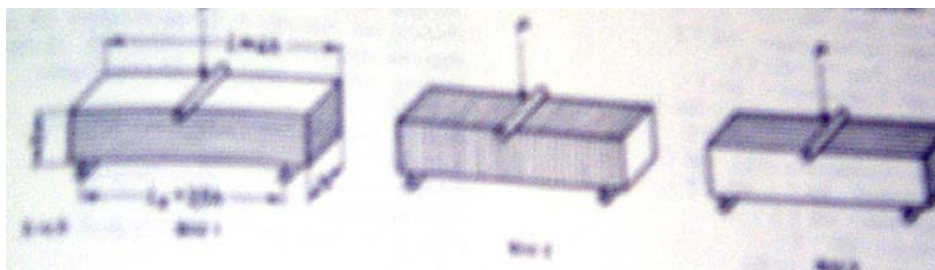
W: η δύναμη κατά την οποία γίνεται η ρήξη του δείγματος σε lbf ή N

- l : το μήκος του ανοίγματος σε mm ή in
 b: το πλάτος του δείγματος σε mm ή in
 d: το πάχος του δείγματος σε mm ή in (ASTM 2001).

Όπως προαναφέρθηκε, η αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη για τα ασβεστιτικά δείγματα γίνεται με βάση την πρότυπη δοκιμή DIN 52112. Για την πραγματοποίηση της δοκιμής αυτής, θα πρέπει αρχικά να ετοιμαστούν καταλλήλως τα δείγματα. Για κάθε τύπο εξέτασης χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον πέντε δείγματα, τα οποία πρέπει να πριονιστούν και μετά να τροχιστούν προσεκτικά έτσι ώστε να πάρουν ορθογώνιο σχήμα.

Τα ορθογώνια αυτά πρίσματα με σχεδόν ίσες πλευρές (τουλάχιστον 4cm), έχουν μήκος πρίσματος ίσο με το τετραπλάσιο του μήκους της κάθε πλευράς. Σε πετρώματα που έχουν κρυστάλλους με άνιση ή τραχύ κρυστάλλινη συναρμογή πρέπει να επιλεγθεί μήκος πλευράς μεγαλύτερο από 4cm (περίπου 6cm).

Με το πέρας της προετοιμασίας των δειγμάτων, τα δείγματα τοποθετούνται σε δύο κυλίνδρους. Η μέση απόσταση των κυλίνδρων αυτών πρέπει να ανέρχεται στα 3,5h. Το δείγμα δρα από έναν τρίτο κύλινδρο, ο οποίος βρίσκεται ανάμεσα στους άλλους δύο. Θα πρέπει τουλάχιστον δύο κύλινδροι να κινούνται στην κατεύθυνση του φορτίου. Οι κύλινδροι αυτοί έχουν διάμετρο 20mm και ακτίνα κοπής 10mm. Το φορτίο πρέπει να επεκτείνεται (τεντώνεται) ομοιόμορφα μέχρι το σπάσιμο, έτσι ώστε να επιμηκύνεται περίπου $2\text{kg/cm}^2\text{sec}$. Κατά κανόνα εξετάζονται αεροστεγή δοκίμια σε αντοχή στο εφελκυσμό σύμφωνα με το σχήμα 6.15. Η δύναμη δρα κάθετα στο επίπεδο.



Σχήμα 6.15: Απεικόνιση του τρόπου δράσης της δύναμης πάνω στα δοκίμια.

Επιπλέον πρέπει να εξακριβωθεί η αντοχή σε εφελκυσμό σε εμβαπτισμένη κατάσταση μετά από 25 φορές ψύξης και απόψυξης. Αν εξακριβωθεί η αντοχή σε

εφελκυσμό σε ορυκτά κορεσμένα σε νερό και αποψυγμένα, τότε δηλώνονται οι αλλαγές της αντοχής σε ποσοστό % σύμφωνα με την παραπάνω εικόνα. Τα κατάλοιπα, τα οποία δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια της δοκιμής αυτής μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε άλλου είδους εξετάσεις μετά από ιδιαίτερη επεξεργασία.

Η αντοχή υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot P \cdot L_s}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (13)$$

Όπου σ_b : η αντοχή στον εφελκυσμό από κάμψη

P: η δύναμη που προκαλεί το σπάσιμο

L_s : μήκος ερείσματος

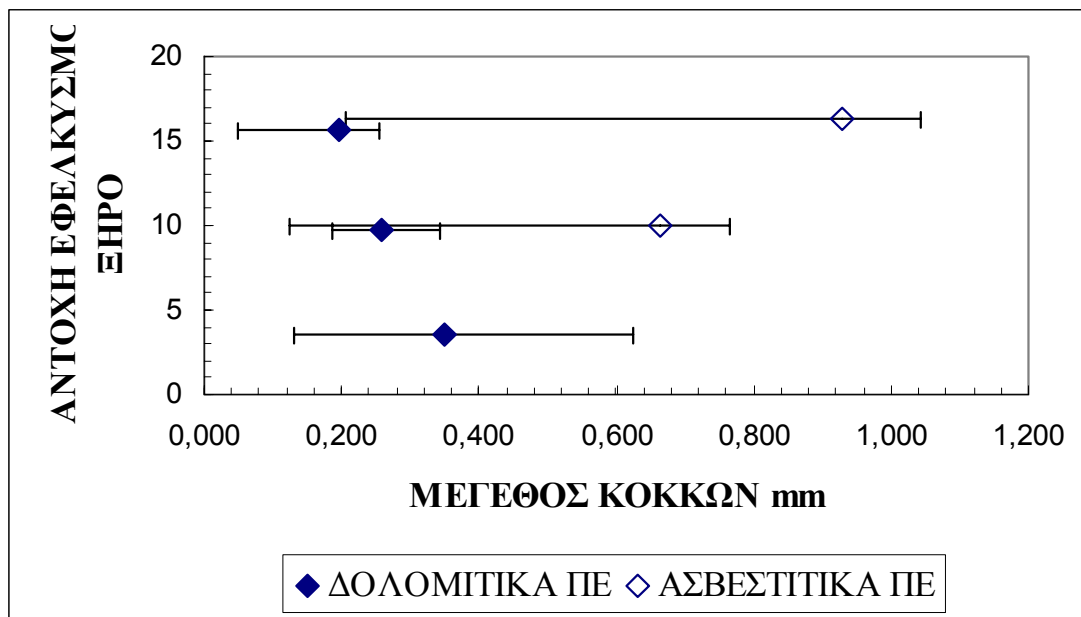
h: ύψος

b: πλάτος (DIN,1980).

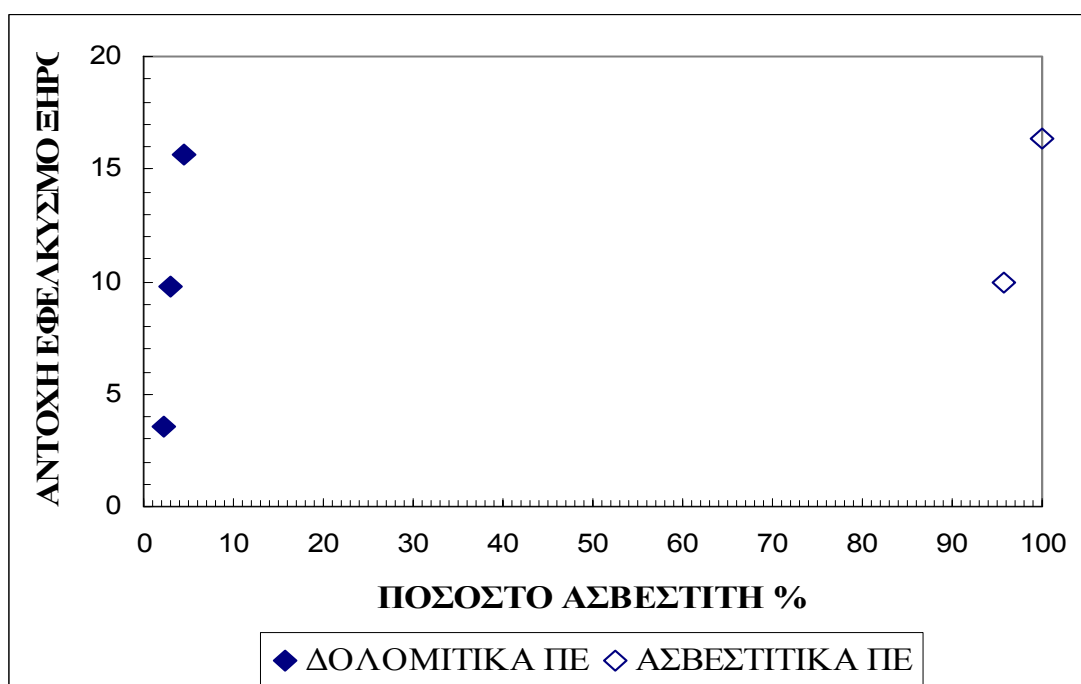
Στον πίνακα 6.7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών για τα μάρμαρα που μελετήθηκαν και στα σχήματα 6.16 και 6.17 παρουσιάζεται η σχέση της αντοχής στον εφελκυσμό με την κοκκομετρία και με το ποσοστό του ασβεστίτη.

Πίνακας 6.7: Αντοχή στον εφελκυσμό των δειγμάτων που μελετήθηκαν

ΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΟΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ
ΒΩΛΑΚΑΣ	9,767
ΓΡΑΝΙΤΗΣ	3,563
ΠΗΓΕΣ	15,65
ΣΤΕΝΩΠΟΣ	16,35
ΒΑΘΥΛΑΚΚΟΣ	10



Σχήμα 6.16: Συσχετισμός αντοχής στον εφελκυσμό και μεγέθους κόκκων.



Σχήμα 6.17: Συσχετισμός αντοχής στον εφελκυσμό και ποσοστού ασβεστίτη.

Όπως προκύπτει από τον παραπάνω πίνακα και τα διαγράμματα τα δολομιτικά μάρμαρα έχουν μεγαλύτερη αντοχή στον εφελκυσμό από τα ασβεστιτικά. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι το μέγεθος των κόκκων στα δολομιτικά μάρμαρα

είναι πολύ μικρότερο από αυτό των ασβεστιτικών και όπως είναι γνωστό τα πετρώματα με μεγαλύτερο μέγεθος κόκκων σπάνε ευκολότερα από αυτά με μικρό μέγεθος κόκκων. Από το διάγραμμα συσχέτισης της αντοχής στον εφελκυσμό με το ποσοστό του ασβεστίτη δεν μπορούμε να συμπεράνουμε κάποια σχέση μεταξύ αυτών των δύο παραμέτρων.

6.2.6. Αντοχή στη φθορά από τριβή Boehm

Η ιδιότητα αυτή εκφράζει την αντοχή των πετρωμάτων στην κυκλοφορία (π.χ. ανθρώπων, οχημάτων κ.λ.π.). Η καθιέρωση μιας μόνο μεθόδου μέτρησης της φθοράς από τριβή αποτελεί πρόβλημα μέχρι σήμερα, αφού οι δύο διαφορετικές μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται δίνουν αποτελέσματα που πολλές φορές δε συμφωνούν μεταξύ τους. Αυτές οι μεθοδολογίες είναι:

1. Αυτή που μετράει την απόλυτη φθορά από τριβή σε cm^2 ή σε mm ύψους (DIN ή ASTM) και
2. Αυτή που μετράει τη σχετική φθορά από τριβή σε σχέση με ένα πέτρωμα-οδηγό (Τσιραμπίδης, 1996).

Η αντοχή στη φθορά από τριβή εξαρτάται κυρίως από την ορυκτολογική σύσταση και επομένως τη σκληρότητα του πετρώματος και μερικώς από την υφή και τον πιθανό βαθμό εξαλλοίωσής του. Επειδή η σκληρότητα είναι ένα φυσικό ανυσμητικό μέγεθος, στα πολυορυκτολογικά πετρώματα που είναι δύσκολος ο προσδιορισμός της.

Μεγάλη φθορά στην τριβή παρουσιάζουν τα αδροκρυσταλλικά μάρμαρα, ενώ τα δολομιτικά είναι ανθεκτικότερα. Τέλος, η σημαντική παρουσία οξειδίων του σιδήρου ή αργιλίου και πυριτικών ορυκτών (σε στρώσεις ή συσσωματώματα) αυξάνει γενικά την αντοχή στη φθορά από τριβή σε σχέση με τα γνήσια ασβεστιτικά μάρμαρα.

Ο προσδιορισμός της αντοχής στην τριβή κατά Boehme πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο «Λίθος», βάση του γερμανικού προτύπου DIN 52108. Για τη δοκιμή αυτή, τα δείγματα που χρησιμοποιούνται είναι δίσκοι ή κύβοι όπου εφαρμόζεται τάση σε τετραγωνικές επιφάνειες με μήκος ακμής από $71\text{mm} \pm 1,5\text{mm}$. Η προς εξέταση επιφάνεια του δείγματος θα πρέπει να είναι μεταξύ τους παράλληλες και επίπεδες. Για τον υπολογισμό της απώλειας όγκου πρέπει ενδεχομένως η απέναντι επιφάνεια

στην προς εξέταση επιφάνεια να τοποθετηθεί επίπεδα ή να εξομαλυνθεί (με τρίψιμο) παράλληλα προς αυτήν.

Πριν τη χρησιμοποίηση των δειγμάτων θα πρέπει να προηγηθεί η απαραίτητη προετοιμασία. Αρχικά τα δείγματα ξηραίνονται στους $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ μέχρις ότου επέλθει σταθεροποίηση βάρους. Κατά κανόνα η επιφάνεια προς εξέταση επεξεργάζεται σε 4 περιόδους ελέγχου. Σημαντικός παράγοντας στο σημείο αυτό είναι οι συνθήκες εφοδιασμού. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται για τον έλεγχο των δειγμάτων σε υγρή κατάσταση. Τα δείγματα αυτά θα πρέπει να τοποθετηθούν για τουλάχιστον 7 μέρες στο νερό και πριν από κάθε ζύγιση να σκουπιστούν με έναν ελαφρώς βρεγμένο σπόγγο ή ένα πανί έτσι ώστε οι επιφάνειες των δειγμάτων να έχουν πάντα την ίδια νωπή όψη.

Για την πραγματοποίηση της δοκιμής οι συσκευές που χρησιμοποιούνται είναι : η συσκευή μέτρησης για τον προσδιορισμό της απώλειας βάρους και τη συσκευή ελέγχου τριβής (συνήθως καλείται δίσκος Boehme). Η δεύτερη αποτελείται από ένα τροχοδίσκο με έναν τροχό, ένα μηχανισμό στήριξης για τον έλεγχο και ένα μηχανισμό καταπόνησης.

Ο τροχοδίσκος είναι διαμέτρου περίπου 750mm, λείος και οριζόντιος ενώ ο άξονάς του είναι τοποθετημένος κάθετα. Όταν η κατάσταση είναι επιβαρυνμένη, ο αριθμός των στροφών στις 30min^{-1} . Στο δίσκο υπάρχει ένας μετρητής στροφών και μια ειδική λειτουργία η οποία διακόπτει αυτόματα την περιστροφική κίνηση ύστερα από 22 περιστροφές.

Ο τροχός είναι η δακτυλιοειδής επιφάνεια πλάτους 200mm πάνω στον τροχοδίσκο και σε απόσταση από αυτόν που κυμαίνεται από 120mm μέχρι 320mm από το κέντρο του τροχοδίσκου. Σε περίπτωση βλάβης ή καταστροφής ο δίσκος μπορεί να αλλαχθεί. Ο τροχός αποτελείται από χυτοσίδηρο με μια σκληρότητα HB 30 ανάμεσα στα 190 και 220Kp/mm^2 . Η σκληρότητα πρέπει να προσδιοριστεί ως η μέση τιμή των μετρήσεων τουλάχιστον 10 σημείων στην άκρη του τροχού σύμφωνα με το DIN 50351. Ο χυτοσίδηρος πρέπει να έχει δομή μαργαριταριού. Το περιεχόμενο ποσοστό φωσφόρου δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,35% του βάρους, ενώ του άνθρακα πρέπει να είναι πάνω από 3,0%. Συνιστάται ο τροχός να έχει υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από τις δύο πλευρές.

Όπως είναι φυσικό, ο τροχός κατά τη χρήση του φθείρεται. Η κοιλότητα του τροχού επιτρέπεται να έχει μέγιστο στα 0,3mm και το βάθος των μεμονωμένων αυλακίων σε 0,2mm μέγιστο. Σε περίπτωση που υπερβεί αυτή την τιμή θα πρέπει να αντικατασταθεί ο δίσκος.

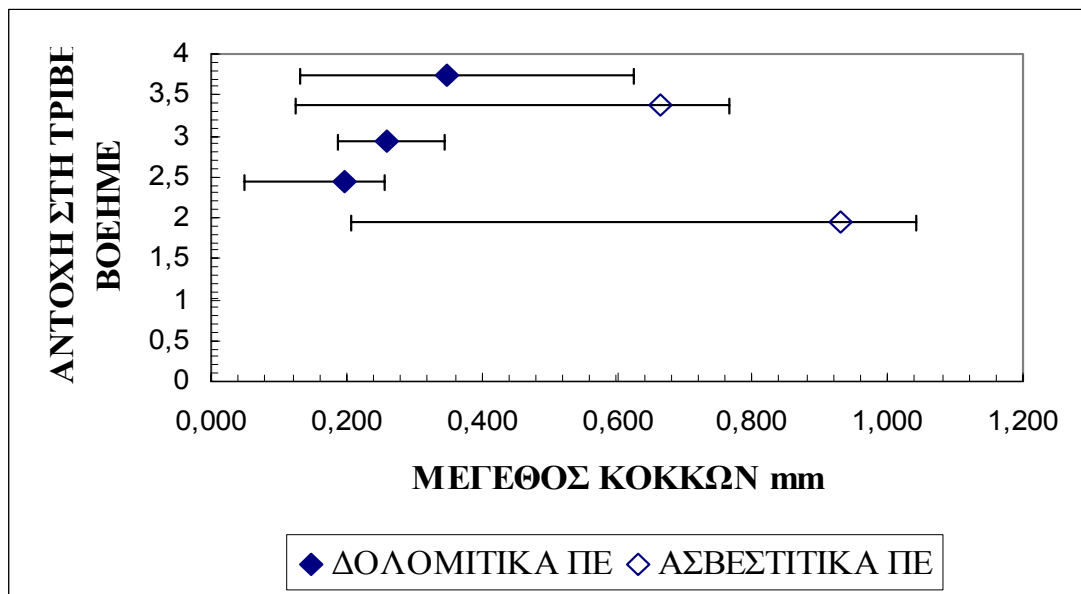
Ο μηχανισμός στήριξης για το δείγμα αποτελείται από ένα πλαίσιο ύψους περίπου 40mm που έχει ανοικτή τη μια του πλευρά, το οποίο με την κάτω ακμή του βρίσκεται πάνω στον τροχοδίσκο σε απόσταση 5 ± 1 mm και είναι τοποθετημένο έτσι ώστε το κέντρο του δείγματος να έχει απόσταση από το κέντρο του τροχοδίσκου 220mm. Η παρυφή του μηχανήματος στηρίζει το δείγμα περίπου 4mm πάνω από τον τροχοδίσκο. Το μηχάνημα στήριξης πρέπει να είναι με τέτοιο τρόπο στερεωμένο έτσι ώστε να μην μπορούν να επέλθουν κραδασμοί.

Η λειτουργία φόρτωσης – εφοδιασμού περιλαμβάνει ένα μοχλό με δύο βραχίονες με βάρος φορτίου και αντίβαρο. Ο μοχλός πρέπει να τοποθετηθεί όσο το δυνατόν χωρίς τριβές στον κνώδακα και κατά τη δοκιμή να τοποθετηθεί οριζόντια. Ο χώρος πίεσης πρέπει να μεταδίδει την δύναμη φόρτωσης κάθετα στο κέντρο του δείγματος. Το βάρος του μοχλού με τους αυτόματους βραχίονες πρέπει να διατηρείται σε ισορροπία μέσω του αντίβαρου και της πλάστιγγας της ζυγαριάς. Η πίεση στο δείγμα προκύπτει από τη δύναμη βάρους του βάρους του φορτίου πολλαπλασιαζόμενη με τον κανόνα του μοχλού. Το βάρος του φορτίου πρέπει να επιλεγεί έτσι ώστε η πίεση να ανέρχεται σε $30 \pm 0,3$ kp. Η δύναμη πίεσης πρέπει να επαληθευθεί με υπολογισμούς (DIN, 1980).

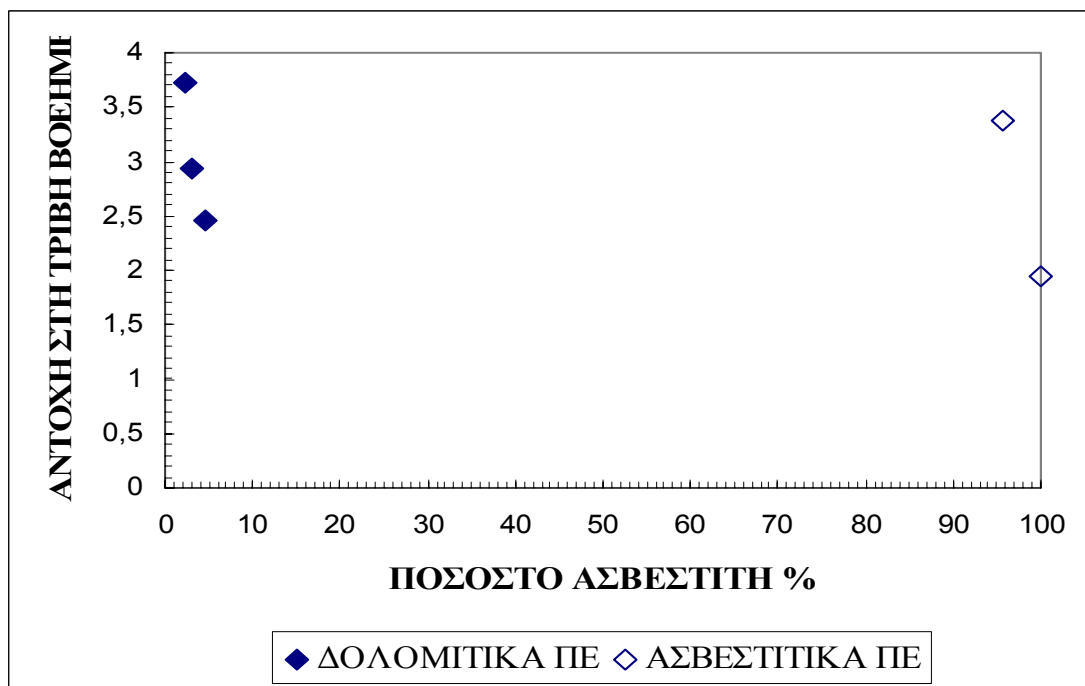
Στον πίνακα 6.8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών για τα δείγματα που μελετήσαμε και στα σχήματα 6.18, 6.19 και 6.20 η σχέση της αντοχής στην τριβή με την κοκκομετρία και το ποσοστό του ασβεστίτη αντίστοιχα.

Πίνακας 6.8: Αντοχή στην τριβή Boheme των δειγμάτων που μελετήθηκαν

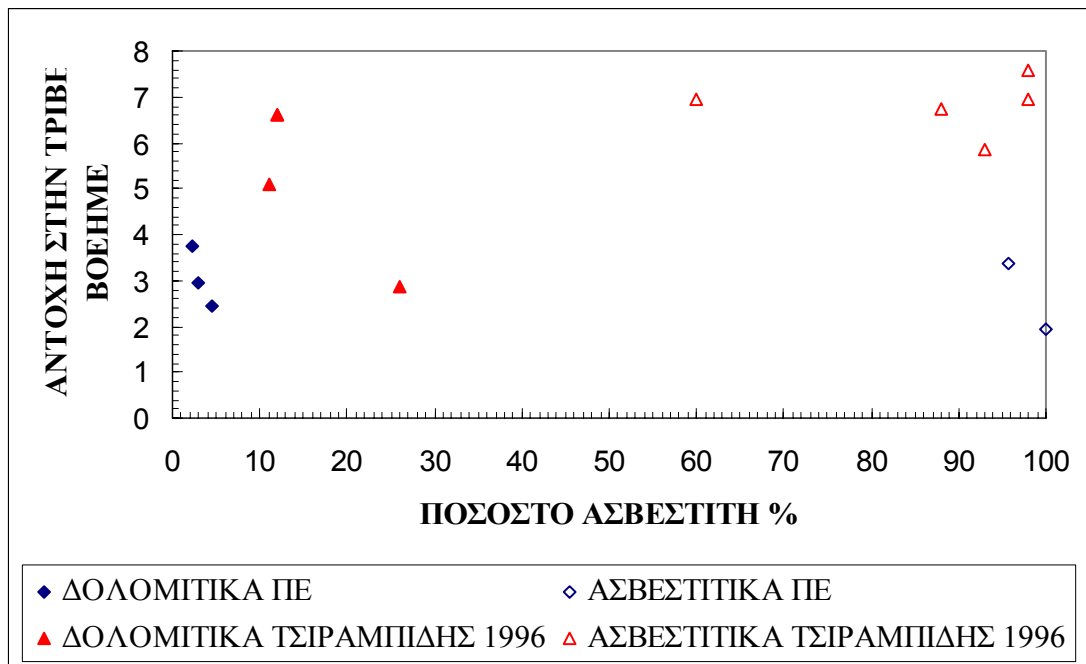
ΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗΝ ΤΡΙΒΗ BOHEME
ΒΩΛΑΚΑΣ	2.94
ΓΡΑΝΙΤΗΣ	3.73
ΠΗΓΕΣ	2.45
ΣΤΕΝΩΠΙΟΣ	1.94
ΒΑΘΥΛΑΚΚΟΣ	3.38



Σχήμα 6.18: Συσχετισμός αντοχής στην τριβή κατά Bohme και μεγέθους κόκκων.



Σχήμα 6.19: Συσχετισμός αντοχής στην τριβή κατά Bohme και ποσοστού ασβεστίτη.



Σχήμα 6.20: Συσχετισμός αντοχής στην τριβή κατά Bohme και ποσοστού ασβεστίτη παρουσία και βιβλιογραφικών μετρήσεων.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω διαγράμματα 6.17, 6.18 και 6.19 η αντοχή στη τριβή σχετίζεται με το μέγεθος των κόκκων και όχι τόσο με το ποσοστό του ασβεστίτη. Πιο συγκεκριμένα τα λεπτόκοκκα δείγματα έχουν μεγαλύτερη αντοχή από αυτά με μεγαλύτερο μέγεθος κόκκων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση τα ασβεστιτικά μάρμαρα έχουν μικρότερη αντοχή από τα δολομιτικά μάρμαρα. Η αντοχή στη φθορά από τριβή είναι η κυριότερη ιδιότητα που παίρνεται υπόψη, όταν τα μάρμαρα χρησιμοποιούνται για δαπεδοστρώσεις εξωτερικές ή εσωτερικές και για σκάλες. Τα δάπεδα διακρίνονται:

1. Σε μεγάλης κυκλοφορίας, τα οποία καταπονούνται έντονα και για τα οποία προτείνονται πετρώματα όπως οι χαλαζίτες, γρανίτες, πορφυρίτες, συμπαγείς και λεπτόκοκκοι ασβεστόλιθοι.
2. Σε δάπεδα μικρής κυκλοφορίας στα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και πετρώματα με μικρή σχετικά αντοχή στη φθορά από τριβή (Τσιραμπίδης 1996).

6.2.7. Συντελεστής ανοικτού πορώδους (p)

Ο συντελεστής ανοικτού πορώδους προσδιορίστηκε στο εργαστήριο «Λίθος» σύμφωνα με τα γερμανικά πρότυπα και πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με την πρότυπη

δοκιμή DIN 52102. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι ίδια με αυτήν για τον προσδιορισμό του φαινόμενου ειδικού βάρους. Η διαδικασία όμως δε σταματάει εκεί αλλά συνεχίζεται με τον προσδιορισμό της πραγματικής πυκνότητας.

Ένα εργαστηριακό δείγμα περίπου 2kg προλιανίζεται για την παραγωγή του δείγματος προς ανάλυση με μέγεθος κόκκων $\leq 10\text{mm}$. Έπειτα τα τέταρτα του δείγματος (500gr) με μέγεθος κόκκων $\leq 0,02\text{mm}$ και ακολούθως χωρίζονται ξανά σε τέταρτα (125gr) για τα προς ανάλυση δείγματα με μέγεθος κόκκων $\leq 0,063\text{mm}$. Τα δείγματα προς ανάλυση ξηραίνονται έως την σταθεροποίηση του βάρους.

Στα προς ανάλυση δείγματα πρέπει να διεξαχθούν τρεις προσδιορισμοί με ποσότητα δείγματος 10cm^3 . Το πυκνόμετρο θα πρέπει να γεμιστεί από ένα τέταρτο έως τη μέση με απαλλαγμένο από αέρα μέχρι βρασμού απεσταγμένο νερό. Το πυκνόμετρο πρέπει πριν το ζύγισμα να είναι εξωτερικά τελείως ξηρό και με το γέμισμα να έχει μια θερμοκρασία κάτω από την εκάστοτε θερμοκρασία δωματίου. Έπειτα δίδεται στο πυκνόμετρο μια ποσότητα δείγματος περίπου 10cm^3 . Ζυγίζεται εκ νέου αφότου το πυκνόμετρο έχει αποκτήσει ξανά την προηγούμενη ρυθμισμένη θερμοκρασία.

Μέχρι και στους μεμονωμένους κόκκους οι προσφυομένες φυσαλίδες πρέπει να απομακρυνθούν. Το πυκνόμετρο τοποθετείται για το ποσοστό αυτό σε κενό με 20 Torr, για τέτοιο χρονικό διάστημα ώστε καμία φυσαλίδα να μην ανεβαίνει. Έπειτα ξαναγεμίζεται το πυκνόμετρο με το ρευστό σχεδόν μέχρι το χείλος. Ακολούθως πρέπει να αφεθεί η στερεά ύλη στο πυκνόμετρο να κατακαθίσει, έως ότου το υγρό πάνω από το στερεό να είναι διαυγές. Γενικά αρκεί να αφεθεί να σταθεί το πυκνόμετρο όλη τη νύχτα. Έπειτα γεμίζεται με το ρευστό προσεκτικά μέχρι το χείλος, τοποθετείται το γυάλινο δοχείο και απομακρύνεται με προσοχή το υγρό που υπερχειλίζει με ένα όχι ιδιαίτερα ακριβές χάρτινο φίλτρο. Το πυκνόμετρο φέρεται στο θερμοστάτη και μέσα σε αυτόν θερμαίνεται έως μια θερμοκρασία περίπου $2^\circ\text{C} \pm 0,2^\circ\text{C}$ πάνω από τη θερμοκρασία δωματίου. Η θερμοκρασία αυτή προσδιορίζεται ως η δοκιμαστική θερμοκρασία, σε αυτήν θα αναφέρεται η συνολική μέτρηση. Κατά τη διάρκεια της θέρμανσης στη δοκιμαστική θερμοκρασία υπερχειλίζει με ρευστό το τριχοειδές του γυάλινου δοχείου, το οποίο πρέπει να απομακρυνθεί προσεκτικά με ένα χάρτινο φίλτρο. Όταν δεν υπερχειλίζει άλλο ρευστό, το γεμισμένο πυκνόμετρο έχει επιτύχει τη δοκιμαστική θερμοκρασία.

Το πυκνόμετρο λαμβάνεται έξω από το θερμοστάτη και στεγνώνει προσεκτικά. Παράλληλα πρέπει να δοθεί προσοχή, ώστε με τη θερμότητα του χεριού να μη θερμανθεί επιπλέον και έτσι να επέλθει περεταίρω απώλεια ρευστού. Το έξω ξηρό πυκνόμετρο ζυγίζεται.

Στη συνέχεια το πυκνόμετρο αδειάζει, καθαρίζεται και γεμίζεται μόνο με το ρευστό, φέρεται στο θερμοστάτη ξανά στη προηγουμένως καθορισμένη θερμοκρασία και στο τέλος ζυγίζεται.

Η πραγματική πυκνότητα ρ_o υπολογίζεται σε gr/cm^3 σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\rho_o = \frac{E - P_p}{m_2 + E - m_1} \quad (13)$$

όπου E: βάρος σε gr

P_F : πυκνότητα χρησιμοποιούμενου ρευστού στη δοκιμαστική θερμοκρασία σε gr/cm^3

m_1 : το βάρος του πυκνόμετρου που είναι γεμισμένο με το δείγμα και το ρευστό σε gr

m_2 : το βάρος του πυκνόμετρου που είναι γεμισμένο με το ρευστό σε gr

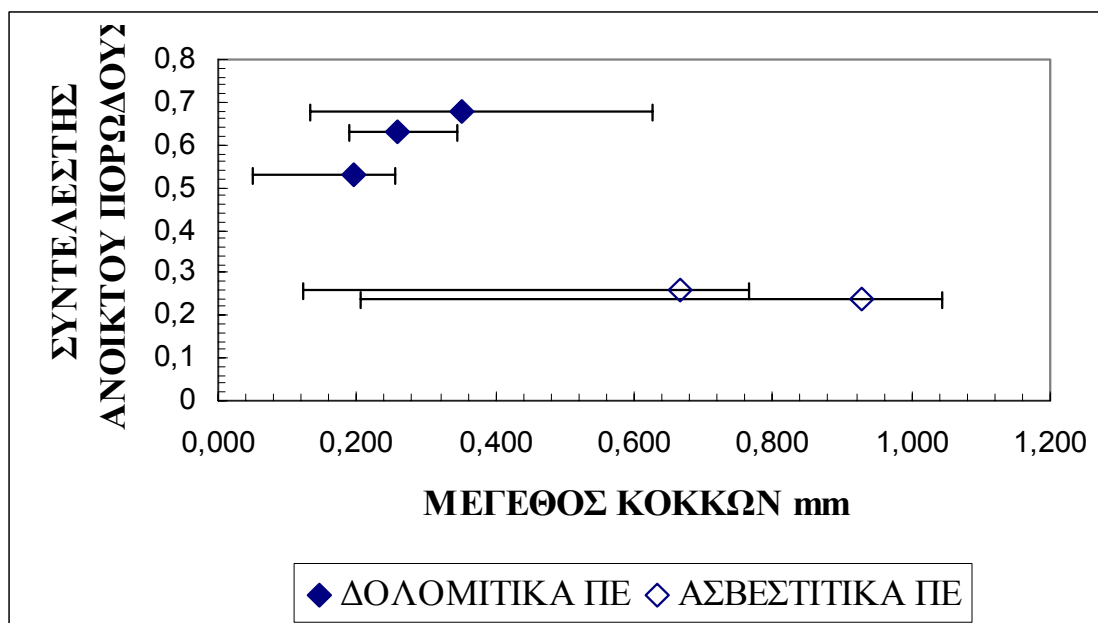
Ο βαθμός της πυκνότητας d υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση (5). Παράλληλα αντικαθιστούνται από τις υπολογιζόμενες τιμές η πυκνότητα ρ_R και η πραγματική πυκνότητα ρ_o .

Το ολικό πορώδες ρ υπολογίζεται από την εξίσωση (6). Παράλληλα τοποθετούνται ως πυκνότητα ρ_R και η πραγματική πυκνότητα ρ_o οι υπολογιζόμενες τιμές όπως περιγράφηκε παραπάνω ή αντικαθίσταται η τιμή d για το βαθμό πυκνότητας. Στη δοκιμαστική έκθεση κατόπιν υποδείξεως δηλώνονται σε αυτό τον κανόνα το ολικό πορώδες ρ όπου στρογγυλοποιείται σε % ή 0,1% (DIN, 1979).

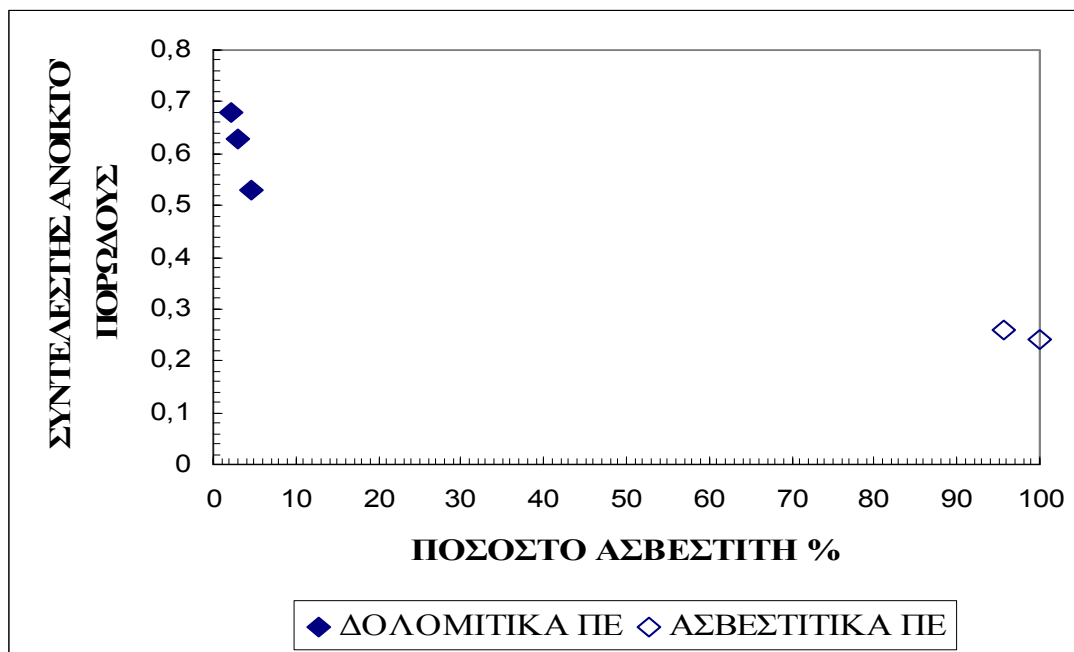
Στον πίνακα 6.9 παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή ανοικτού πορώδους των δειγμάτων που μελετήθηκαν ενώ στα σχήματα 6.21 και 6.22 παρουσιάζεται η συσχέτιση του συντελεστή ανοικτού πορώδους με το μέγεθος των κόκκων και με το ποσοστό του ασβεστίτη.

Πίνακας 6.9: Συντελεστές ανοικτού πορώδους των δειγμάτων που μελετήθηκαν

ΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΠΟΡΩΔΟΥΣ
ΒΩΛΑΚΑΣ	0,63
ΓΡΑΝΙΤΗΣ	0,68
ΠΗΓΕΣ	0,53
ΣΤΕΝΩΠΟΣ	0,24
ΒΑΘΥΛΑΚΚΟΣ	0,26



Σχήμα 6.21: Συσχετισμός του συντελεστή ανοικτού πορώδους με το μέγεθος των κόκκων.



Σχήμα 6.22: Συσχετισμός του συντελεστή ανοικτού πορώδους με το ποσοστό του ασβεστίτη.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω διαγράμματα, ο συντελεστής ανοικτού πορώδους είναι άμεσης συνάρτησης με το μέγεθος των κόκκων αλλά και με την ορυκτολογία. Πιο συγκεκριμένα, ο συντελεστής ανοικτού πορώδους αυξάνεται με την μείωση του μεγέθους των κόκκων και κατά συνέπεια με τη μείωση του ποσοστού του ασβεστίτη, αφού τα ασβεστιτικά είναι πιο αδρόκοκκα.. Για τα δείγματα που μελετήθηκαν, αποδεικνύεται πως τα δολομιτικά μάρμαρα έχουν αυξημένο συντελεστή ανοικτού πορώδους και τα ασβεστιτικά μικρότερο συντελεστή.

6.2.8. Αντίσταση στην πρόσκρουση

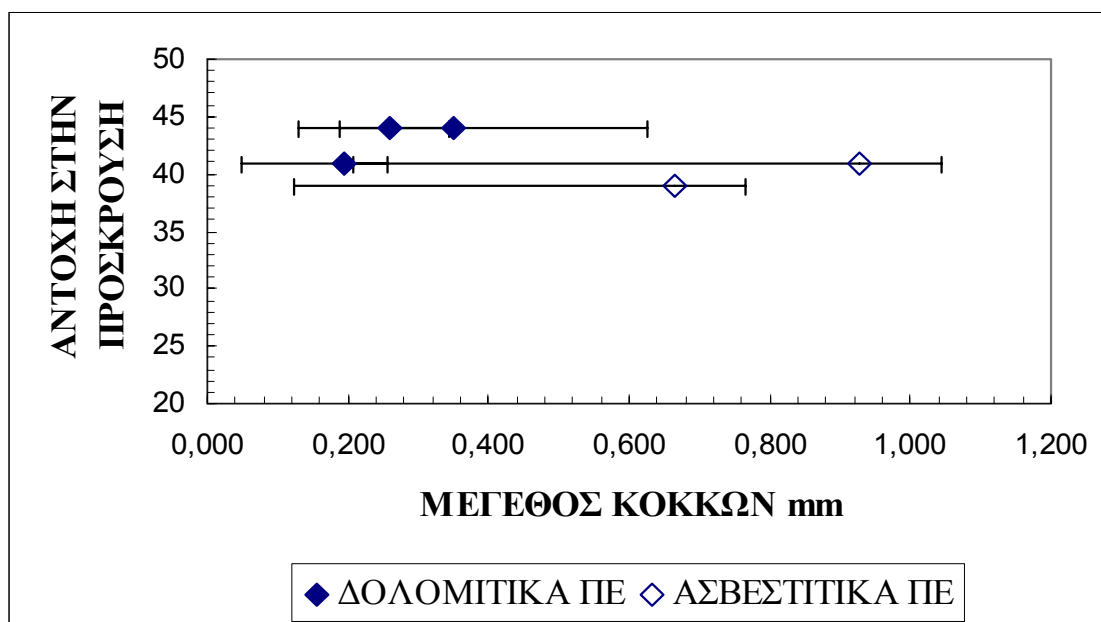
Η δοκιμή για τον υπολογισμό του προσδιορισμού της αντοχής στην πρόσκρουση των δειγμάτων που μελετήθηκαν έγινε στο εργαστήριο «Λίθος» σύμφωνα με τα ιταλικά πρότυπα UNI-U..32.07.248.0. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε σε τέσσερις πλάκες με διαστάσεις 20x20x3 cm , οι οποίες διαμορφώθηκαν από το εργαστήριο και από την εταιρία, από την οποία προμηθευτήκαμε τα δείγματα.

Στον πίνακα 6.10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη δοκιμή αυτή. Όπως προκύπτει από τον πίνακα αυτό τα δολομιτικά μάρμαρα έχουν μεγαλύτερη αντίσταση στην πρόσκρουση από αυτή των ασβεστιτικών. Στις εικόνες

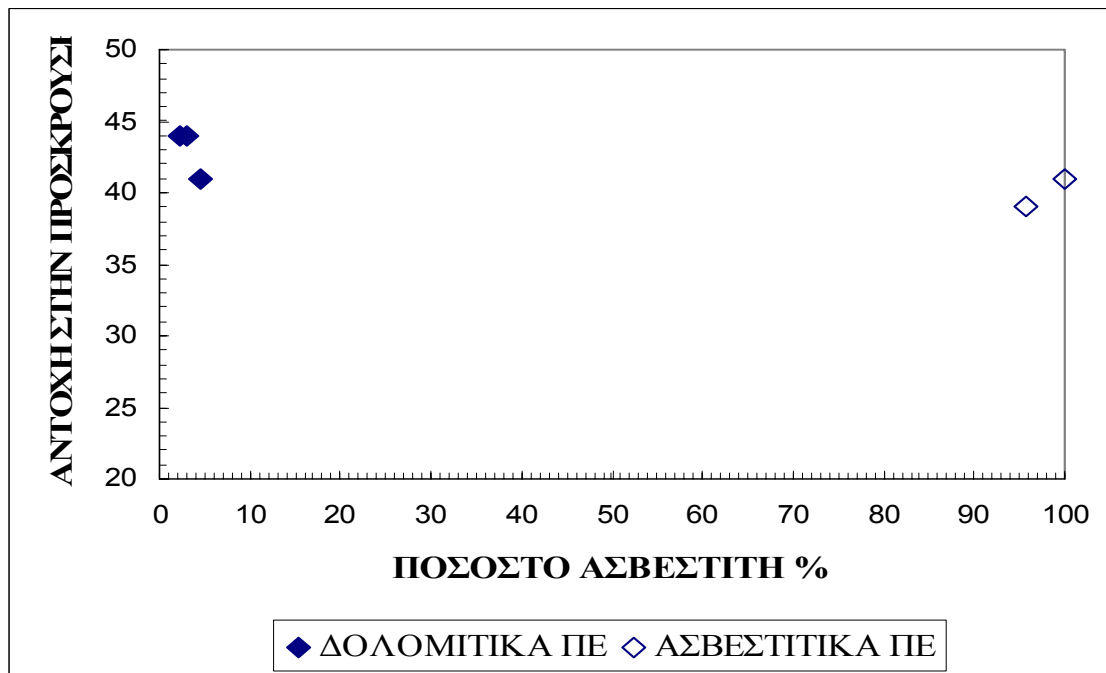
6.23 και 6.24 παρουσιάζεται η σχέση της αντίστασης στη πρόσκρουση με την κοκκομετρία και με το ποσοστό του ασβεστίτη.

Πίνακας 6.10: Αντίσταση στην πρόσκρουση των δειγμάτων που μελετήθηκαν

ΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗ
ΒΩΛΑΚΑΣ	44
ΓΡΑΝΙΤΗΣ	41
ΠΗΓΕΣ	41
ΣΤΕΝΩΠΟΣ	41
ΒΑΘΥΛΑΚΚΟΣ	39



Σχήμα 6.23: Συσχετισμός αντίστασης στην πρόσκρουση και μεγέθους κόκκων.



Σχήμα 6.24: Συσχετισμός αντίστασης στην πρόσκρουση και ποσοστού ασβεστίτη.

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 6.10 και από τα σχήματα 6.23 και 6.24 η αντίσταση στην πρόσκρουση είναι συνάρτηση κυρίως της κοκκομετρίας και λιγότερο της ορυκτολογίας. Ειδικότερα, η αντίσταση στην πρόσκρουση αυξάνεται με τη μείωση του μεγέθους των κόκκων και είναι μεγαλύτερη στα δολομιτικά δείγματα από ό,τι στα ασβεστιτικά. Και τα δύο αυτά συμπεράσματα δικαιολογούνται απόλυτα, αφού όσο πιο μεγάλος είναι ο κόκκος ενός δείγματος τόσο πιο εύκολα θραύεται, όσον αφορά την κοκκομετρία, και η αντοχή του δολομίτη στη θραύση είναι μεγαλύτερη από αυτή του ασβεστίτη, όσον αφορά την ορυκτολογία.

6.2.9. Αντοχή σε κύκλους ψύξης – απόψυξης

Η δοκιμή για τον υπολογισμό της αντοχής σε είκοσι κύκλους ψύξης – απόψυξης πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο «Λίθος» σύμφωνα με τα γερμανικά πρότυπα και πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με τις πρότυπες δοκιμές DIN 52104 και DIN 52105. Η δοκιμή αντοχή σε 20 κύκλους ψύξης – απόψυξης χρησιμεύει στην εξέταση της συμπεριφοράς των ορυκτών κατά τη μετάβαση από ψύξη σε απόψυξη.

Η δοκιμή έγινε σε έξι δοκίμια για την κάθε περιοχή δειγματοληψίας μετά από είκοσι κύκλους θερμοκρασιακών μεταβολών, δηλαδή τέσσερις ώρες σε ψύξη στους

$-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ και στη συνέχεια μία ώρα στο νερό στους $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Τα δοκίμια ήταν ειδικών διαστάσεων και σχήματος για την πραγματοποίηση της δοκιμής. Πιο συγκεκριμένα επρόκειτο για κυλινδρικού σχήματος δοκίμια με διαστάσεις $5 \times 5 \text{ cm}$.

Μετά τον προσδιορισμό του ξηρού βάρους των δειγμάτων, αποθηκεύονται αυτά στο νερό υπό ατμοσφαιρική πίεση μέχρι τη σταθεροποίηση του βάρους. Έπειτα τα δείγματα εκθέτονται 25 φορές εναλλάξ μιας θερμοκρασίας τουλάχιστον -15°C και ξεπαγώνονται στο νερό. Μετά από κάθε μεταβολή ψύχους προσδιορίζονται οι μεταβολές του βάρους των δειγμάτων και στο τέλος, της δοκιμής ψύξης – απόψυξης, το βάρος των επιπλέον τμημάτων των δειγμάτων.

Τα δείγματα βρίσκονται μεταξύ 150-350gr σκληρού υλικού κατά κανόνα μικρού παχέως σχήματος. Από επίπεδα και πλακωτά ορυκτά θα πρέπει τα δείγματα που έχουν πάχος μεγαλύτερο από 10mm να έχουν μήκος μιας πλευράς τουλάχιστον 100mm και αυτά που έχουν πάχος μικρότερο των 10mm να έχουν μήκος μιας πλευράς τουλάχιστον 150mm. Τα δείγματα τοποθετούνται κάτω από το νερό για να καθαριστούν και να απαλλαγούν από τα περιττά τους μέρη. Επιπλέον, πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον 5 όσο το δυνατό πιο ομοιογενή δείγματα για να εξεταστούν.

Για τον προσδιορισμό του ξηρού βάρους, τα δείγματα ξηραίνονται στους $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ έως τη σταθεροποίηση του βάρους. Τα ορυκτά που ενδεχομένως να μεταβάλλονται σ' αυτή τη θερμοκρασία θα πρέπει να ξηραίνονται στους $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Πριν από κάθε ζύγιση θα πρέπει τα δείγματα να κρυώσουν σε θερμοκρασία δωματίου.

Για την αποθήκευση των δειγμάτων στο νερό, τα ξηραμένα δείγματα θα πρέπει να αποθηκευτούν κατά το ήμισυ και στη συνέχεια να καλυφθούν εξ' ολοκλήρου με $20 \pm 5 \text{ mm}$ νερό στους $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ μέχρι τη σταθεροποίηση του βάρους.

Για τη διενέργεια της μεταβολής του ψύχους, τα προς επεξεργασία δείγματα θα πρέπει κατά κανόνα να εκτεθούν 25 φορές εναλλάξ στο ψύχος και στην απόψυξη στο νερό. Η πτώση της θερμοκρασίας στον ψυχόμενο κλίβανο θα πρέπει να ρυθμιστεί έτσι ώστε η θερμοκρασία βαθμιαία να πέσει τουλάχιστον στους -15°C και αυτή η θερμοκρασία να διατηρηθεί για 2 ώρες.

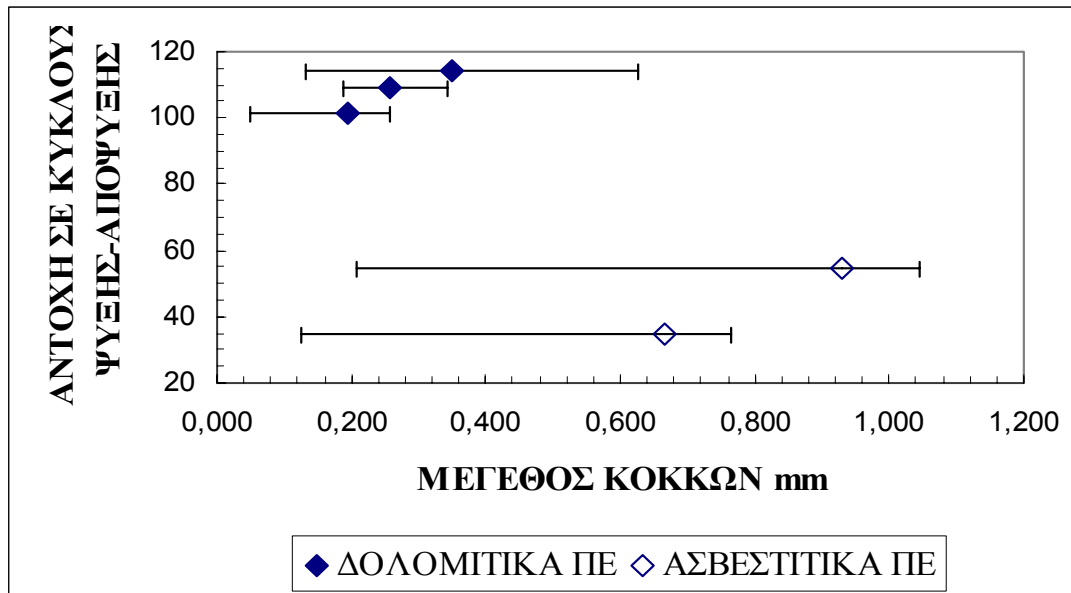
Ύστερα από κάθε νέα ψυχόμενη καταπόνηση τα δείγματα πρέπει να ζυγίζονται και πέραν τούτου να ελέγχονται μέσω μιας αυτοψίας για τυχόν εμφάνιση καταστροφής τους.

Μετά τη διενέργεια μεταβολής του ψύχους προσδιορίζεται το βάρος των ξεκολλημένων τμημάτων με την εξάτμιση του απεσταγμένου νερού που χρησιμοποιήθηκε για την απόψυξη.

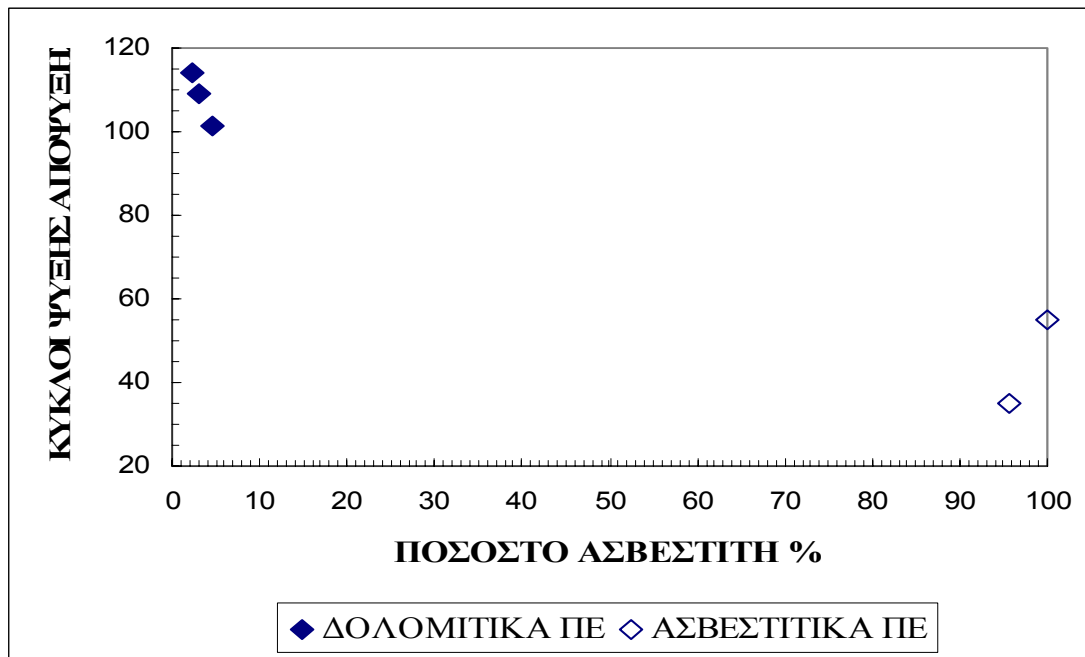
Στον πίνακα 6.11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών στα δείγματα και στα σχήματα 6.25 και 6.26 η σχέση της αντοχής σε κύκλους ψύξης – απόψυξης με το μέγεθος των κόκκων και με το ποσοστό του ασβεστίτη αντίστοιχα.

Πίνακας 6.11: Αντοχή σε κύκλους ψύξης – απόψυξης των δειγμάτων που μελετήθηκαν.

ΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ 20 ΚΥΚΛΟΥΣ ΨΥΞΗΣ – ΑΠΟΨΥΞΗΣ
ΒΩΛΑΚΑΣ	108,9
ΓΡΑΝΙΤΗΣ	114,1
ΠΗΓΕΣ	101,4
ΣΤΕΝΩΠΟΣ	54,78
ΒΑΘΥΛΑΚΚΟΣ	35



Σχήμα 6.25: Συσχετισμός της αντοχής σε κύκλους ψύξης - απόψυξης και μεγέθους των κόκκων.



Σχήμα 6.26: Συσχετισμός της αντοχής σε κύκλους ψύξης - απόψυξης και ποσοστού ασβεστίτη.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω διαγράμματα, το ποσοστό του ασβεστίτη και γενικότερα η ορυκτολογία, παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην τιμή της αντοχής σε κύκλους ψύξης – απόψυξης. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό του ασβεστίτη στο δείγμα τόσο μικρότερη είναι η αντοχή ενώ αντίθετα όσο μικρότερο είναι το ποσοστό αυτό τόσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει και η κοκκομετρία, αφού όσο πιο αδρόκοκκο είναι ένα δείγμα (ασβεστιτικά), τόσο πιο μικρή είναι η τιμή της αντοχής.

7. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν μάρμαρα της ευρύτερης περιοχής Δράμας - Καβάλας. Πρόκειται για περιοχές, οι οποίες είναι ιδιαίτερα γνωστές στην εξόρυξη μαρμάρων. Μελετήθηκαν μάρμαρα λατομείων των περιοχών Βώλακα, Γρανίτη, Πηγών, Στενωπού και Βαθύλακκου. Οι τρεις πρώτες περιοχές ανήκουν στο νομό Δράμας, ενώ οι δυο άλλες στο νομό Καβάλας. Τα μάρμαρα που μελετήθηκαν εμφανίζουν μικρές διαφορές στο χρώμα. Συγκεκριμένα τα μάρμαρα των Πηγών, του Γρανίτη και του Βώλακα είναι λευκά. Τα μάρμαρα Στενωπού είναι ημίλευκα και του Βαθύλακκου είναι τεφρά.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι για κάθε λατομείο μελετήθηκε πετρογραφικά και ακτινογραφικά ένας αριθμός δειγμάτων (Βώλακας=6, Γρανίτης=1, Πηγές=5, Στενωπός=4, Βαθύλακος=4) αλλά οι τιμές του μεγέθους των κόκκων, των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων και της ορυκτολογικής σύστασης εκφράζονται ως μέσοι όροι.

Τα δολομιτικά δείγματα είναι σαφώς πιο λεπτόκοκκα από τα ασβεστιτικά. Πιο συγκεκριμένα ο μέσος όρος των κόκκων των δολομιτικών δειγμάτων μας είναι 0,24 mm ενώ στα ασβεστιτικά δείγματα είναι 0,8 mm περίπου. Η διαφορά αυτή στην κοκκομετρία, όπως θα περιγραφεί παρακάτω, επηρεάζει και τις φυσικομηχανικές ιδιότητες των μαρμάρων.

Από τη μελέτη της σχέσης του φαινομένου ειδικού βάρους με το μέγεθος των κόκκων και την περιεκτικότητα σε ασβεστίτη αντίστοιχα, συμπεραίνουμε ότι το φαινόμενο ειδικό βάρος στα δολομιτικά δείγματα είναι μεγαλύτερο από αυτό στα ασβεστιτικά.

Από τη συσχέτιση της υδαταπορρόφησης με το μέγεθος των κόκκων φαίνεται ότι η τιμή της υδαταπορρόφησης είναι μεγαλύτερη στα πιο λεπτόκοκκα δείγματα απ' ό,τι στα αδρόκοκκα. Επομένως, λόγω της σχέσης του μεγέθους των κόκκων με το ποσοστό του ασβεστίτη, τα δολομιτικά δείγματα έχουν μεγαλύτερη τιμή υδαταπορρόφησης από τα ασβεστιτικά.

Διαπιστώθηκε ότι η τιμή του μέτρου ελαστικότητας σχετίζεται περισσότερο με το μέγεθος των κόκκων (αύξησή/ελάττωσή του με αύξηση του μεγέθους των κόκκων) απ' ό,τι με την περιεκτικότητα σε ασβεστίτη.

Όσον αφορά την τιμή της αντοχής στη θλίψη, η τιμή της είναι μεγαλύτερη στα δολομιτικά δείγματα απ' ό,τι στα ασβεστιτικά. Αυτό σχετίζεται και με το μέγεθος

των κόκκων, αφού όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το δείγμα τόσο πιο μεγάλη είναι η αντοχή στη θλίψη.

Από τη σχέση της αντοχής στον εφελκυσμό με το μέγεθος των κόκκων και με το ποσοστό του ασβεστίτη μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα δείγματα που μελετήθηκαν έχουν παρόμοια αντοχή στον εφελκυσμό.

Από την παρουσίαση της σχέσης της αντοχής στη φθορά από τριβή με το μέγεθος των κόκκων, φαίνεται ότι τα πιο αδρόκοκκα δείγματα έχουν μεγαλύτερη αντοχή στην τριβή Bohme από τα πιο λεπτόκοκκα. Επομένως, τα ασβεστιτικά δείγματα έχουν μεγαλύτερη αντοχή στην τριβή από τα δολομιτικά.

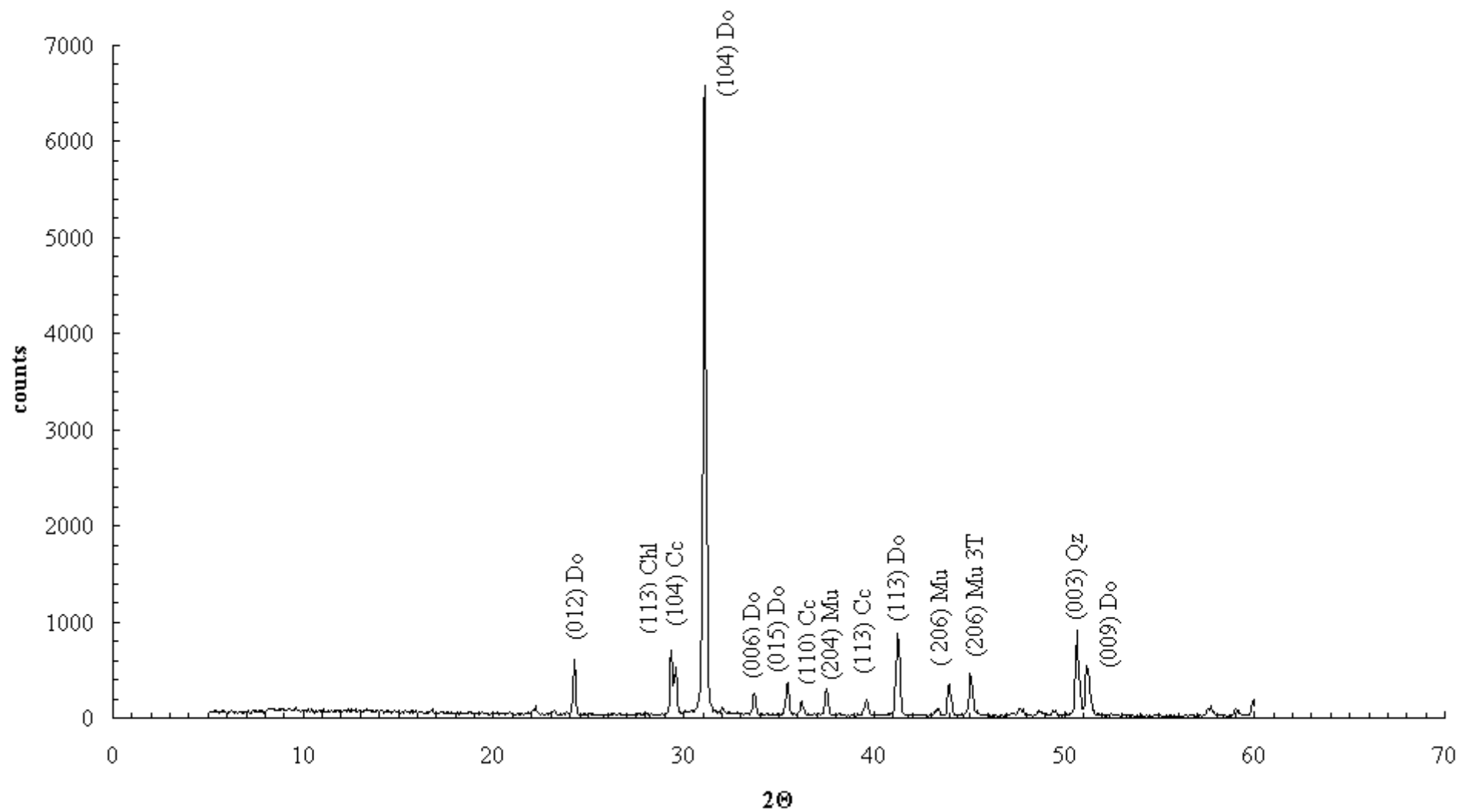
Η σχέση του συντελεστή ανοικτού πορώδους με το μέγεθος των κόκκων δείχνει ότι η τιμή του συντελεστή ανοικτού πορώδους είναι μεγαλύτερη στα λεπτόκοκκα δείγματα απ' ό,τι στα πιο αδρόκοκκα. Άρα τα δολομιτικά δείγματα έχουν μεγαλύτερη τιμή ανοικτού πορώδους από τα ασβεστιτικά.

Όσον αφορά την αντίσταση στην πρόσκρουση τόσο τα δολομιτικά όσο και τα ασβεστιτικά δείγματα παρουσιάζουν παραπλήσιες τιμές στην ιδιότητα αυτή.

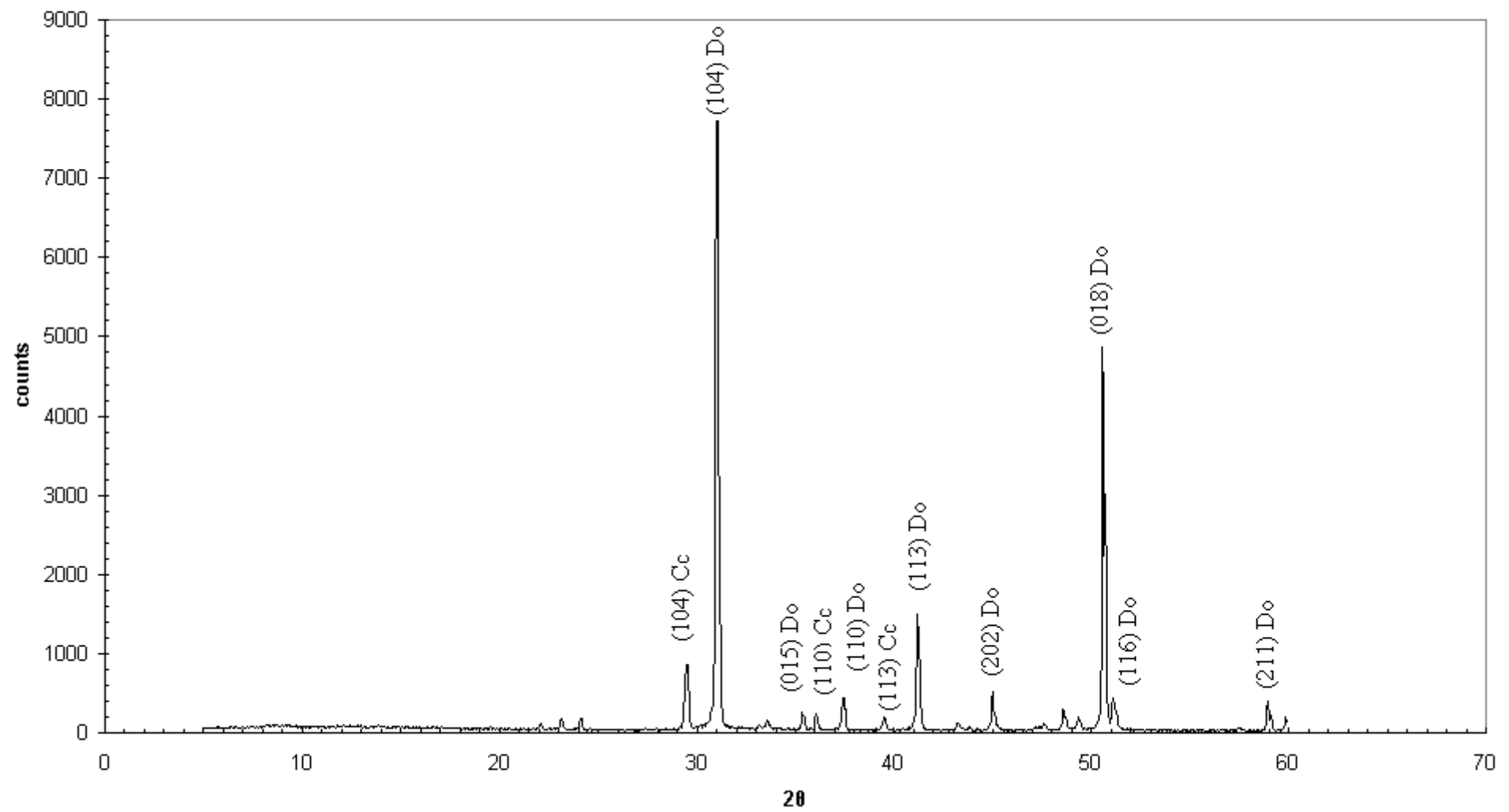
Η συσχέτιση μεγέθους κόκκου και της αντοχής σε είκοσι κύκλους ψύξης – απόψυξης δείχνει ότι, όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το δείγμα τόσο πιο μεγάλη είναι η τιμή της, και επομένως τα δολομιτικά δείγματα έχουν μεγαλύτερη τιμή αντοχής στους είκοσι κύκλους ψύξης – απόψυξης από τα ασβεστιτικά δείγματα.

ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

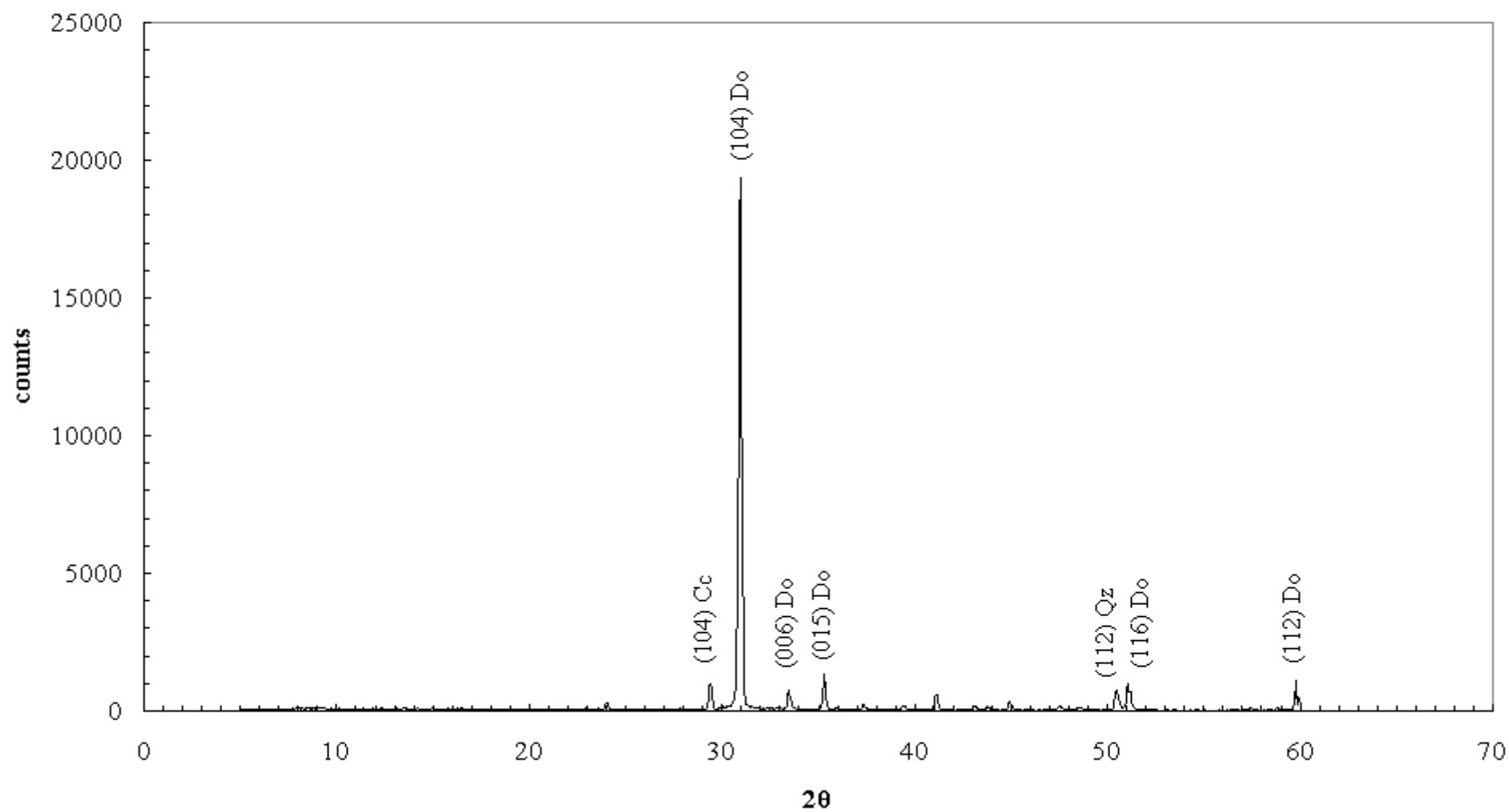
Περιθλασιόγραμμα του δείγματος BL-1A



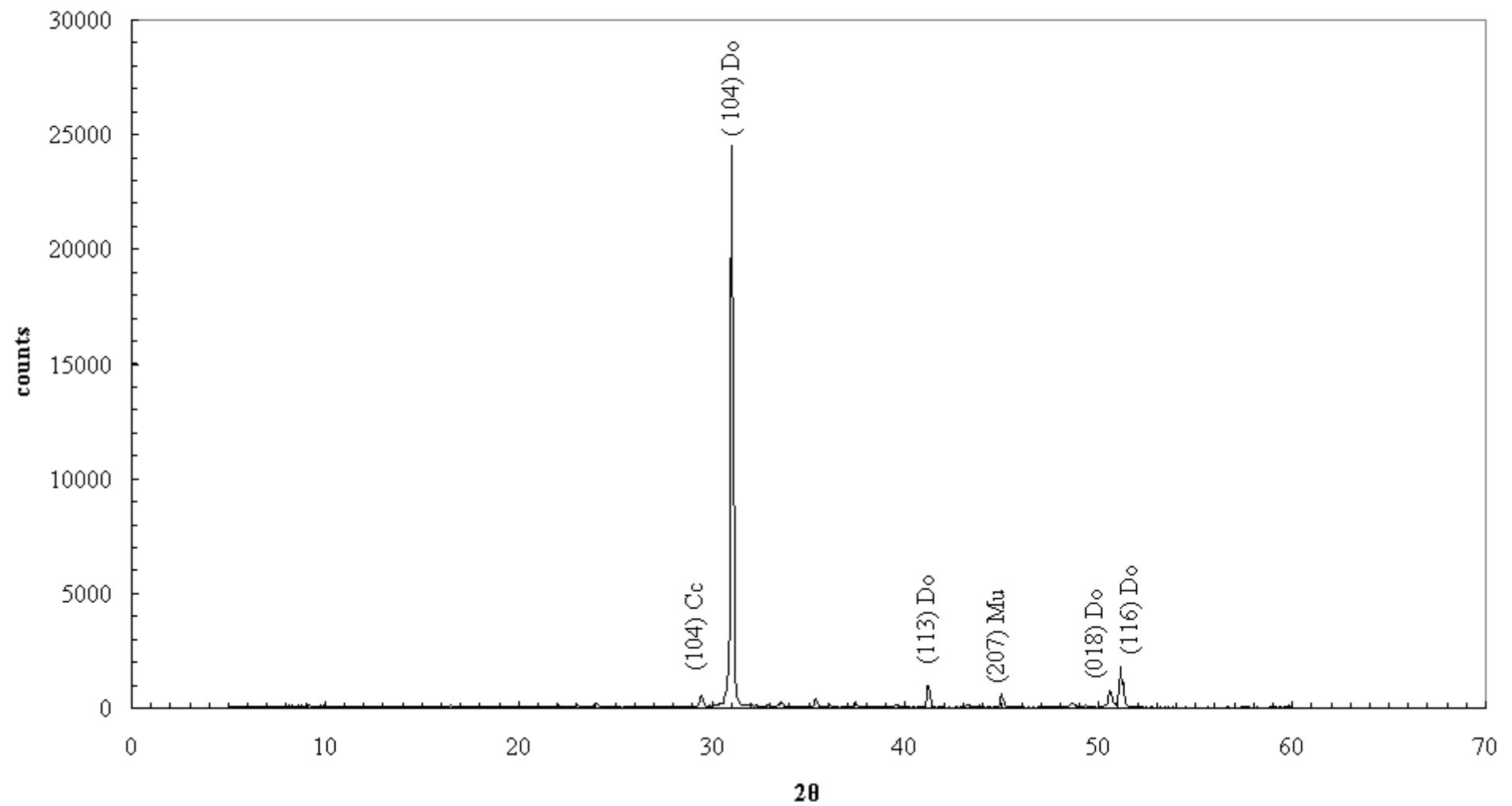
Περιθλασιόγραμμα του δείγματος BL-1B



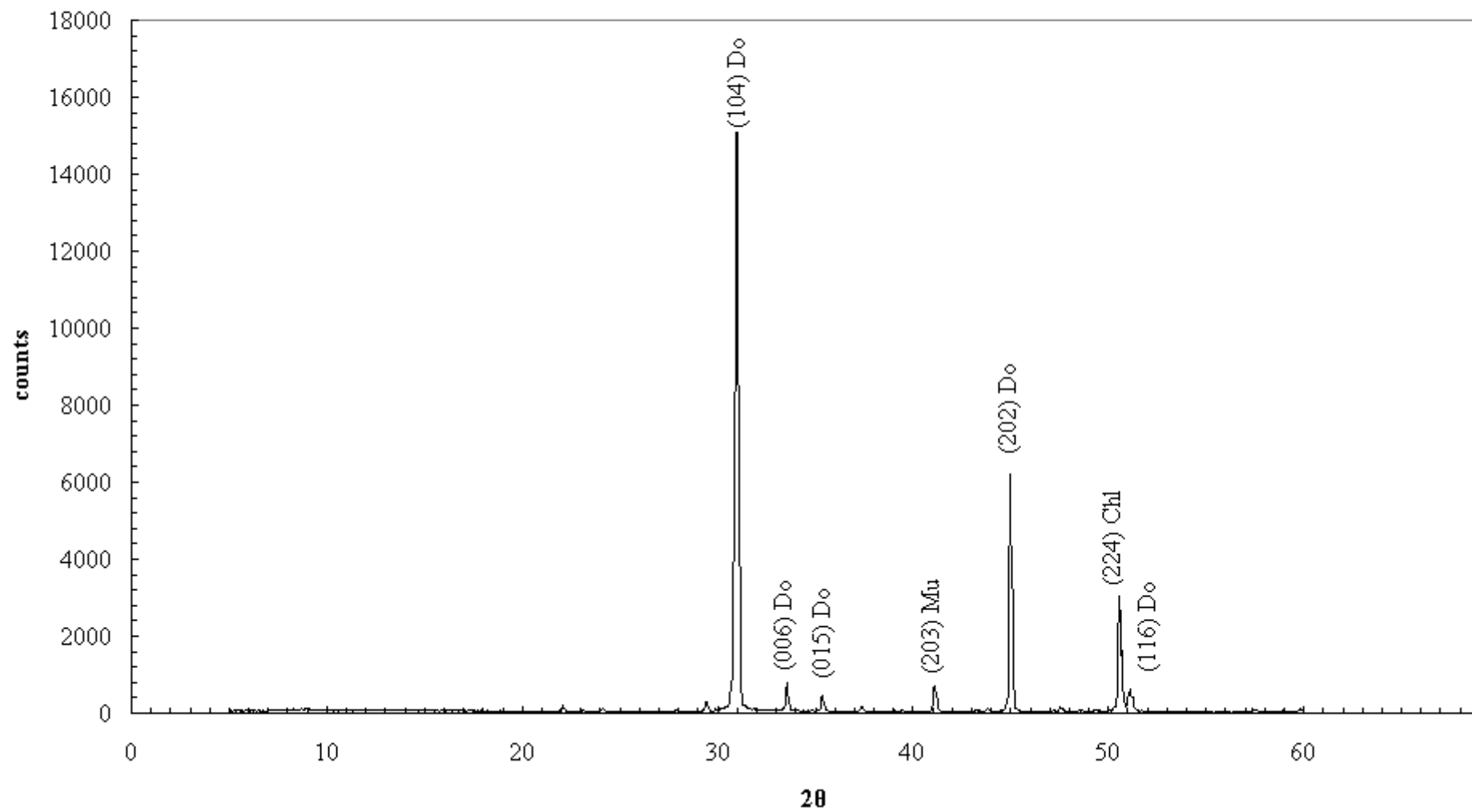
Περιθλασιόγραμμα διαγράμματος BL - 2A



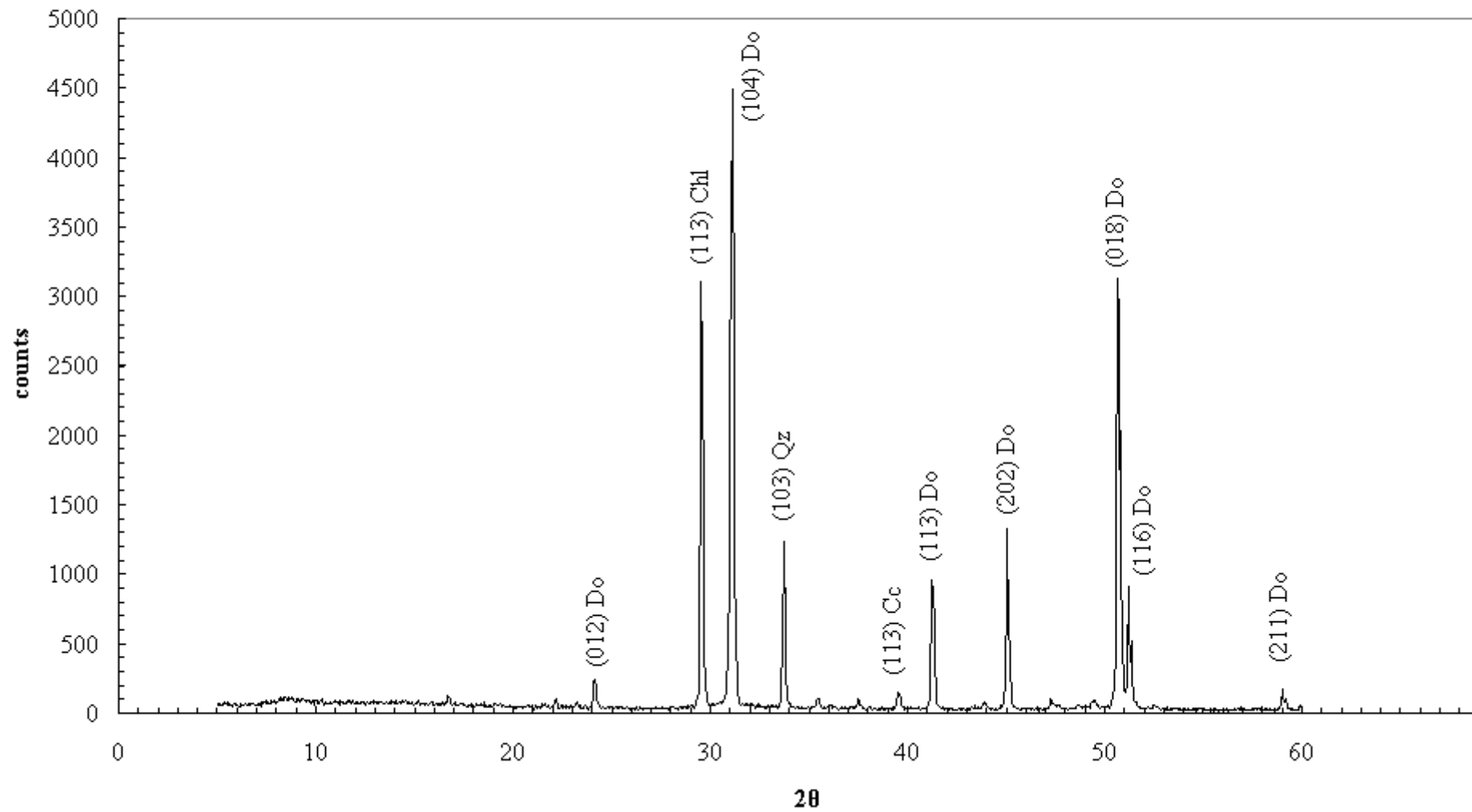
Περιθλασιόγραμμα διαγράμματος BL - 2B



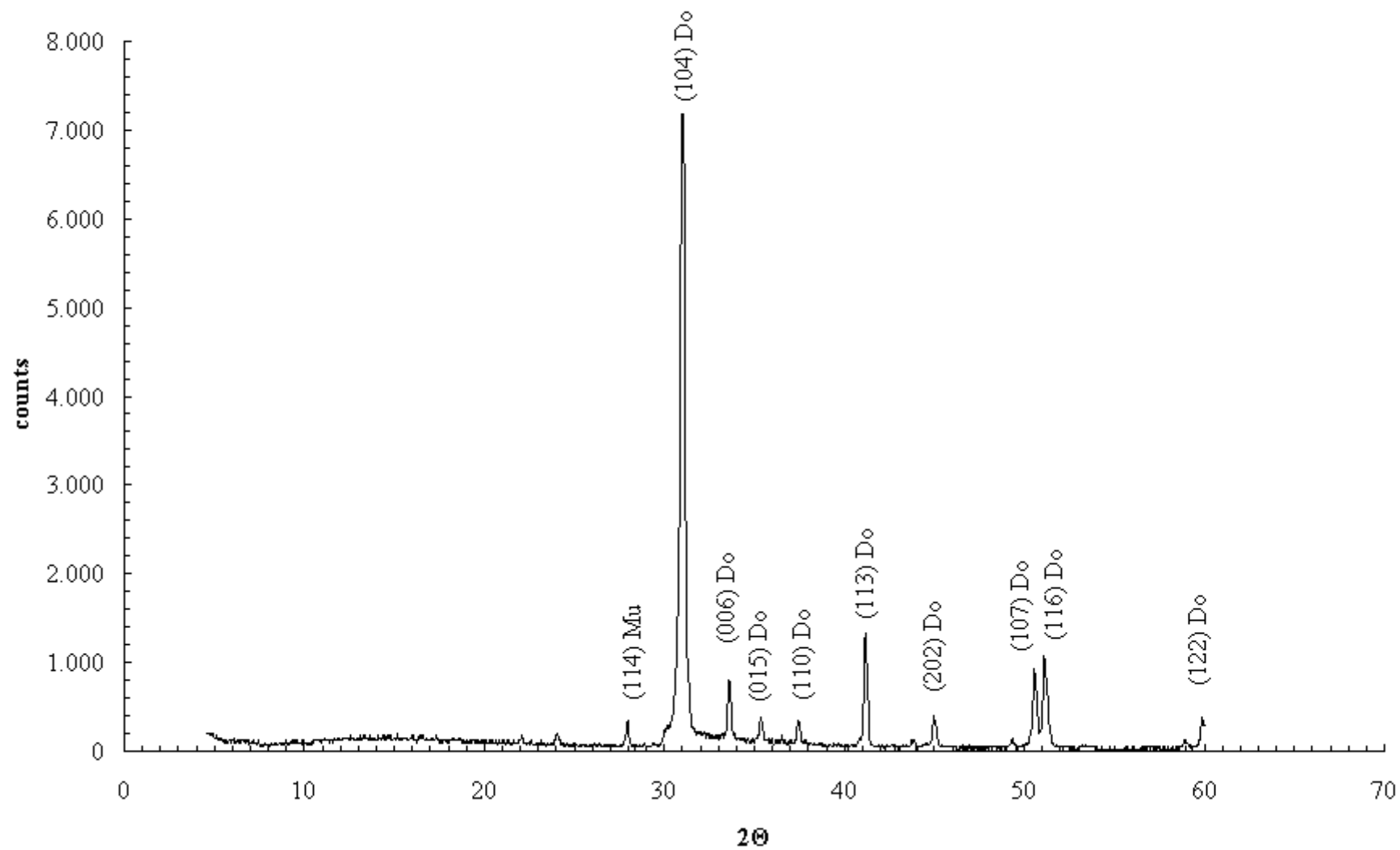
Περιθλασιόγραμμα δείγματος BL - 3A



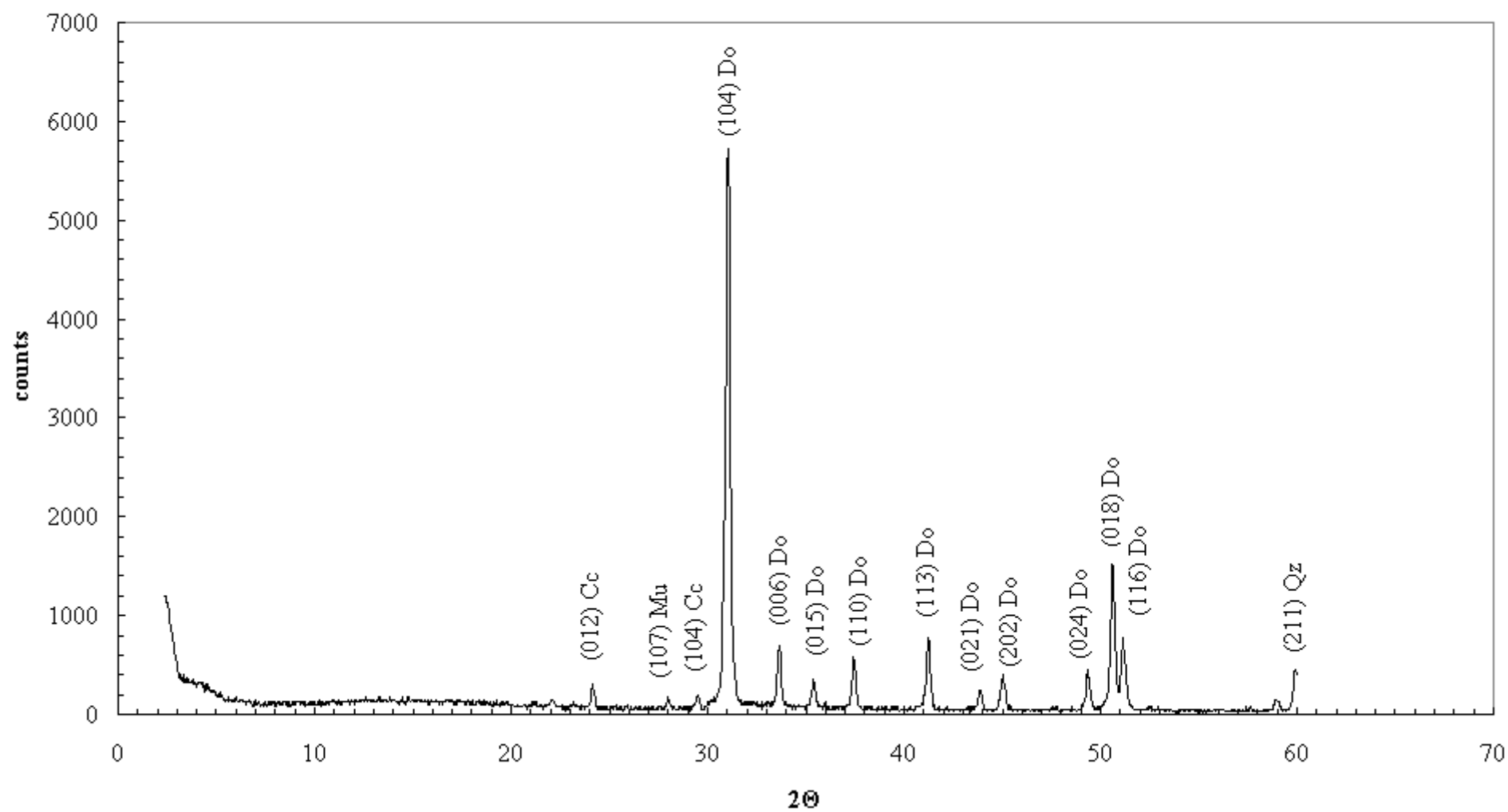
Περιθλασιόγραμμα του δείγματος BL - 3B



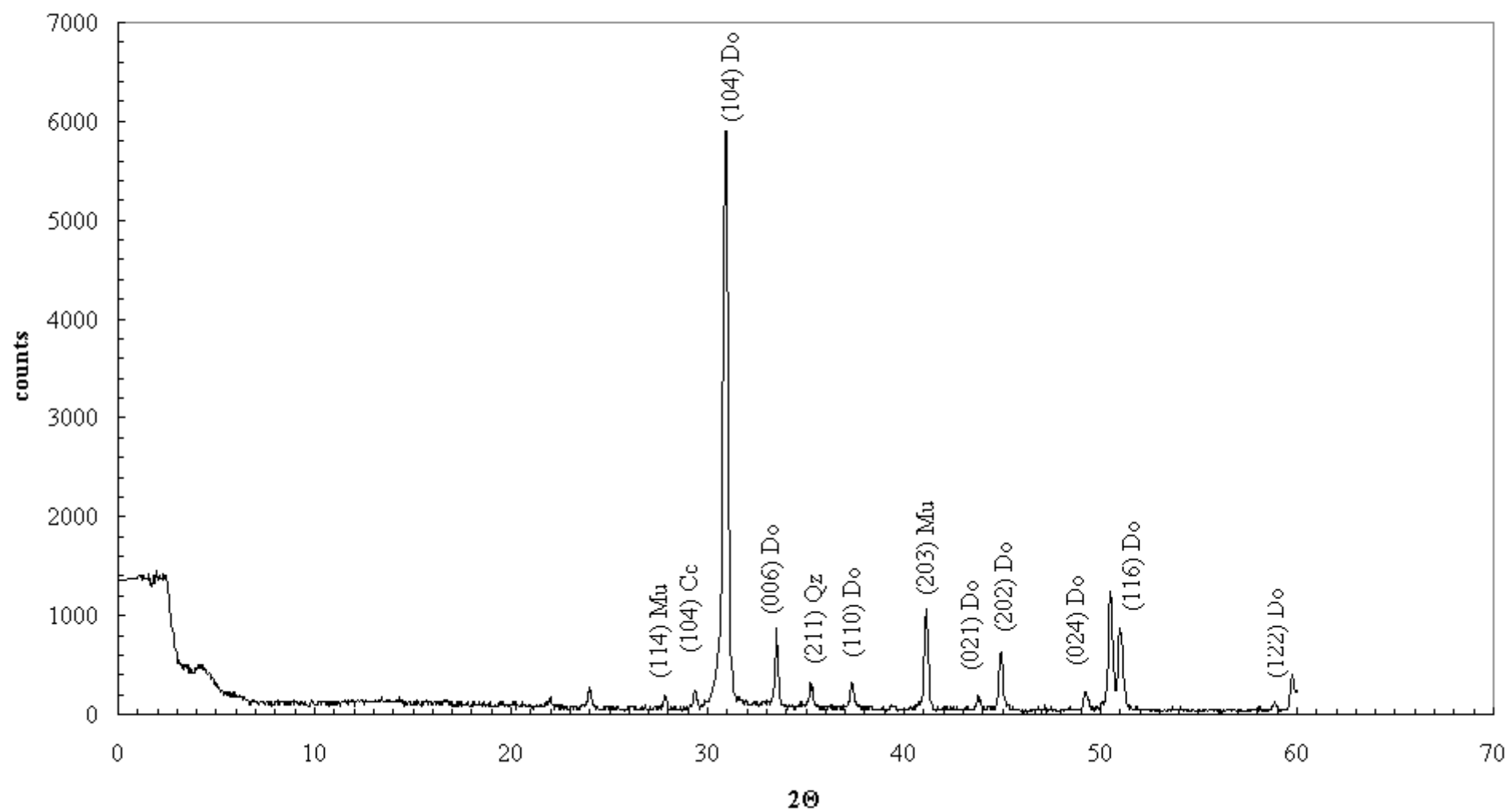
Περιθλασιόγραμμα του δείγματος GR



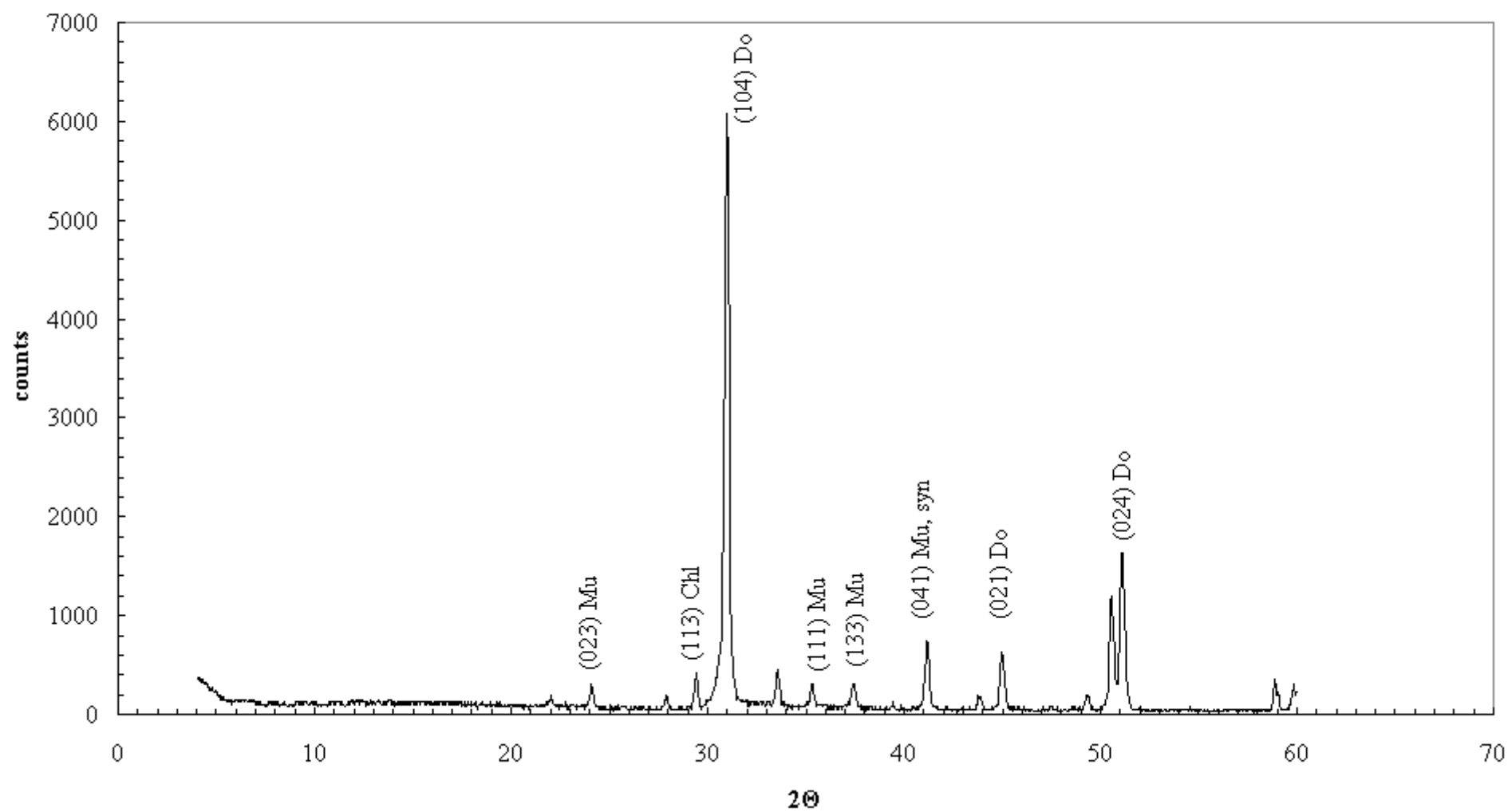
Περιθλασιόγραμμα του δείγματος PG - 1



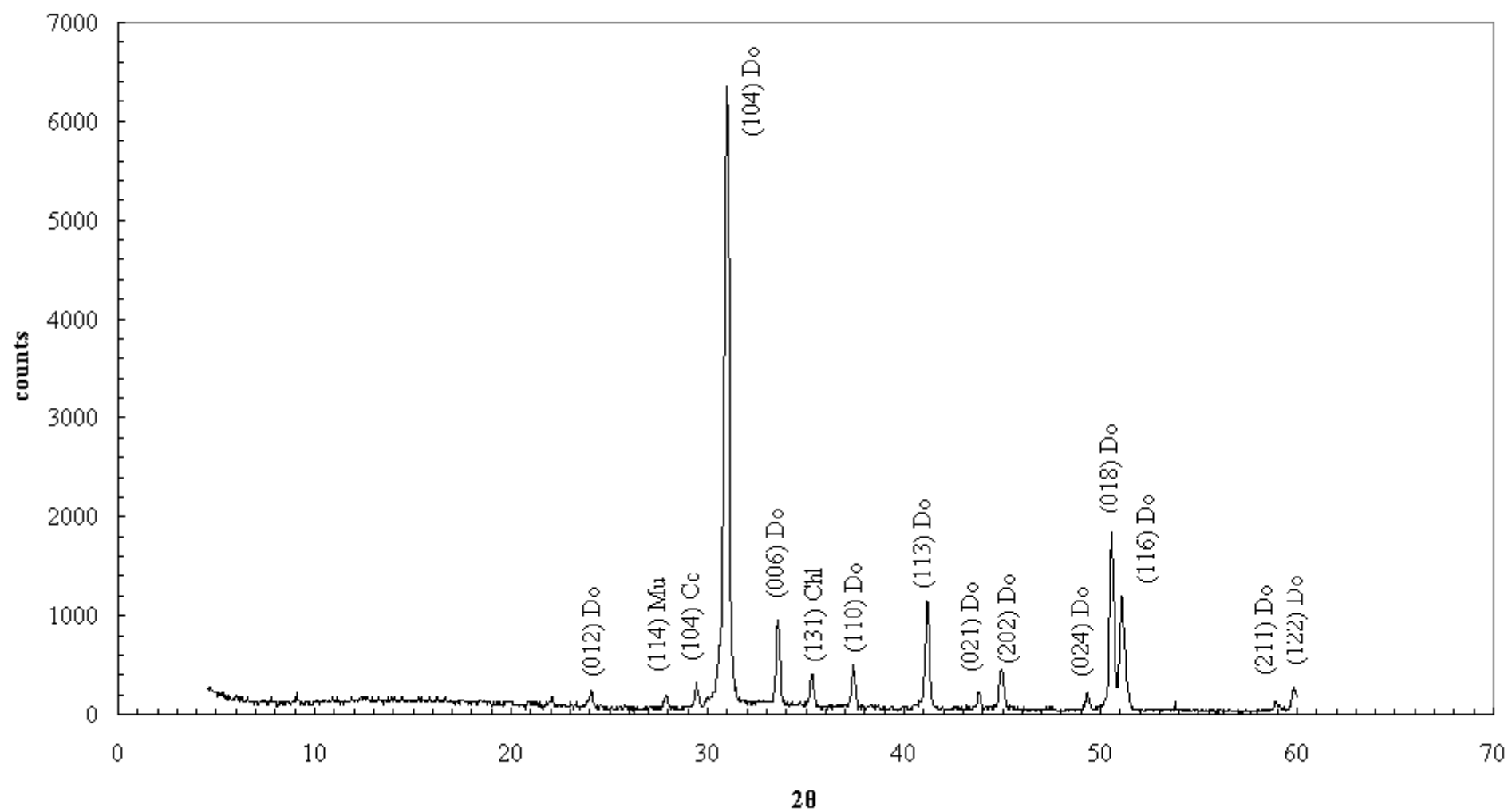
Περιθλασιόγραμμα του δείγματος PG - 2A



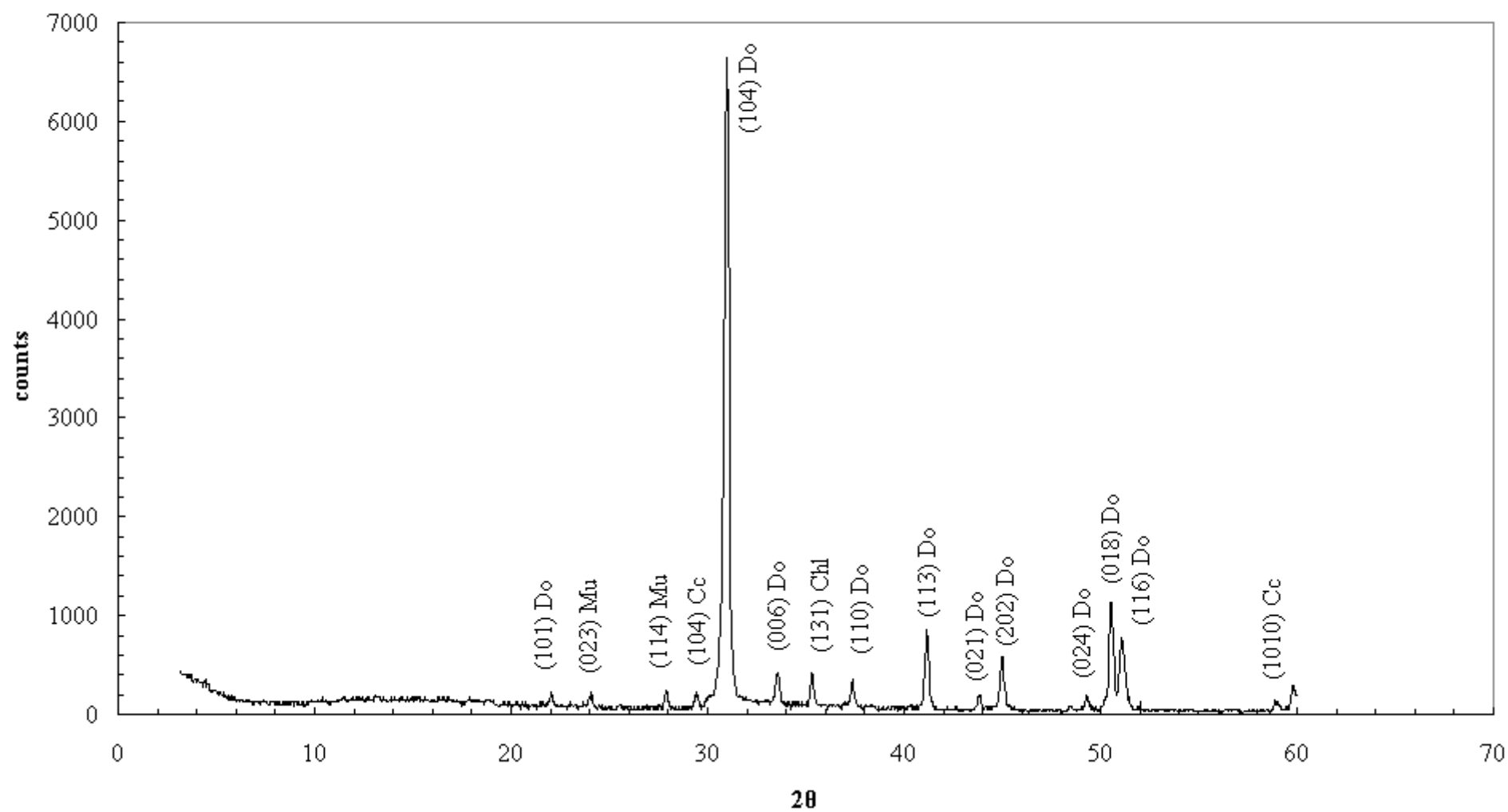
Περιθλασιόγραμμα του δείγματος PG - 2B



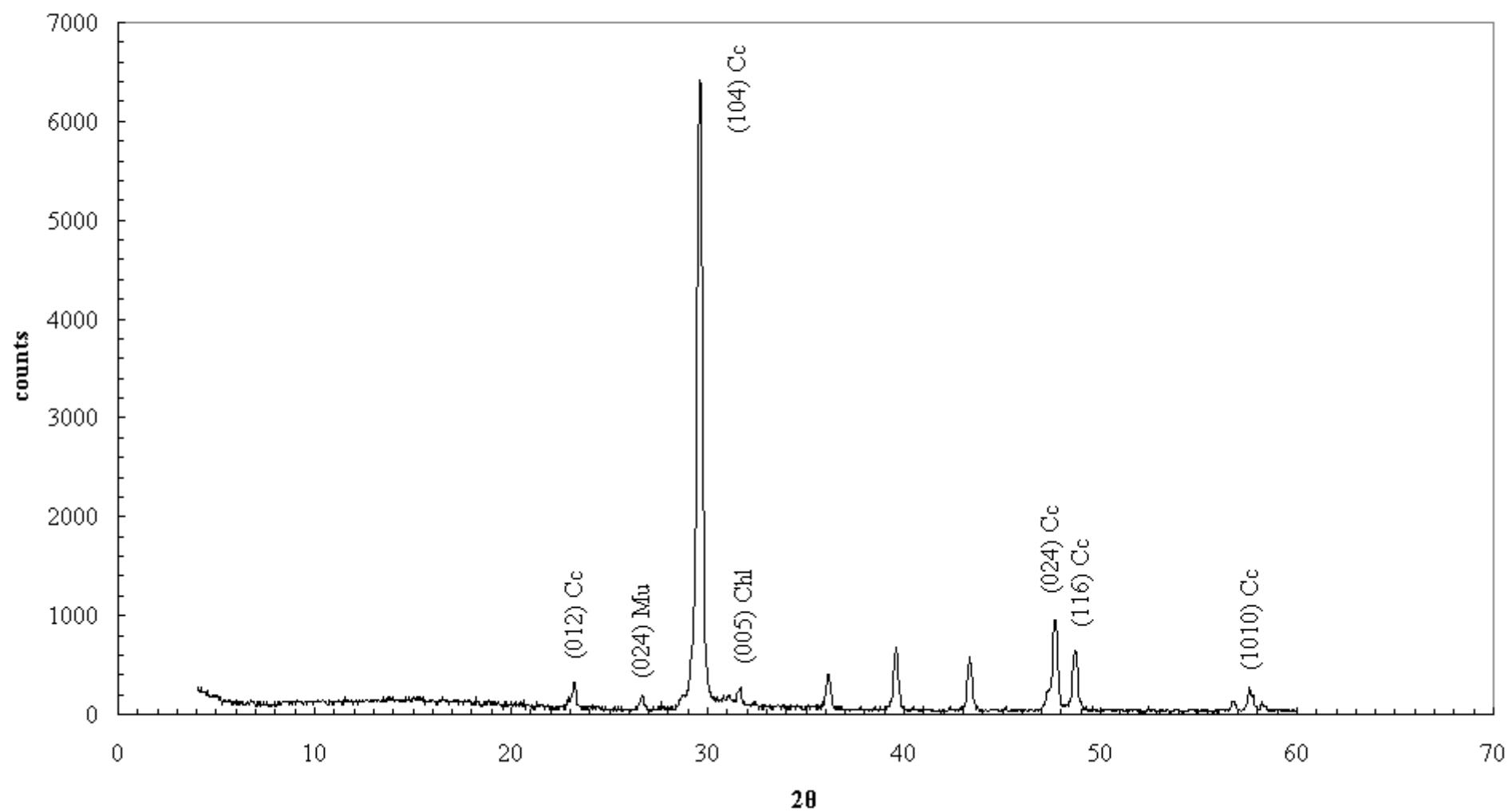
Περιθλασιόγραμμα του δείγματος PG - 3A



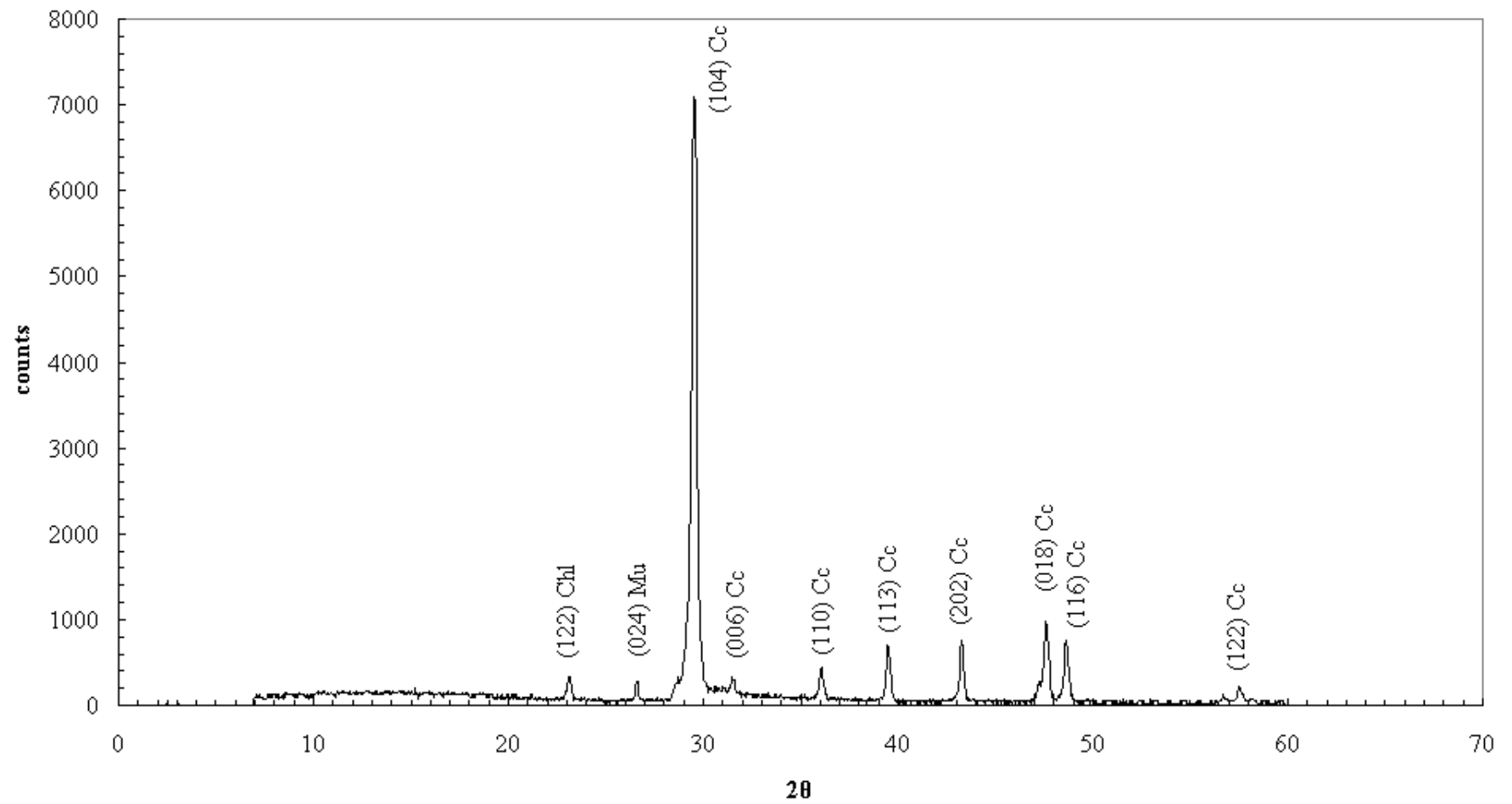
Περιθλασιόγραμμα του δείγματος PG - 3B



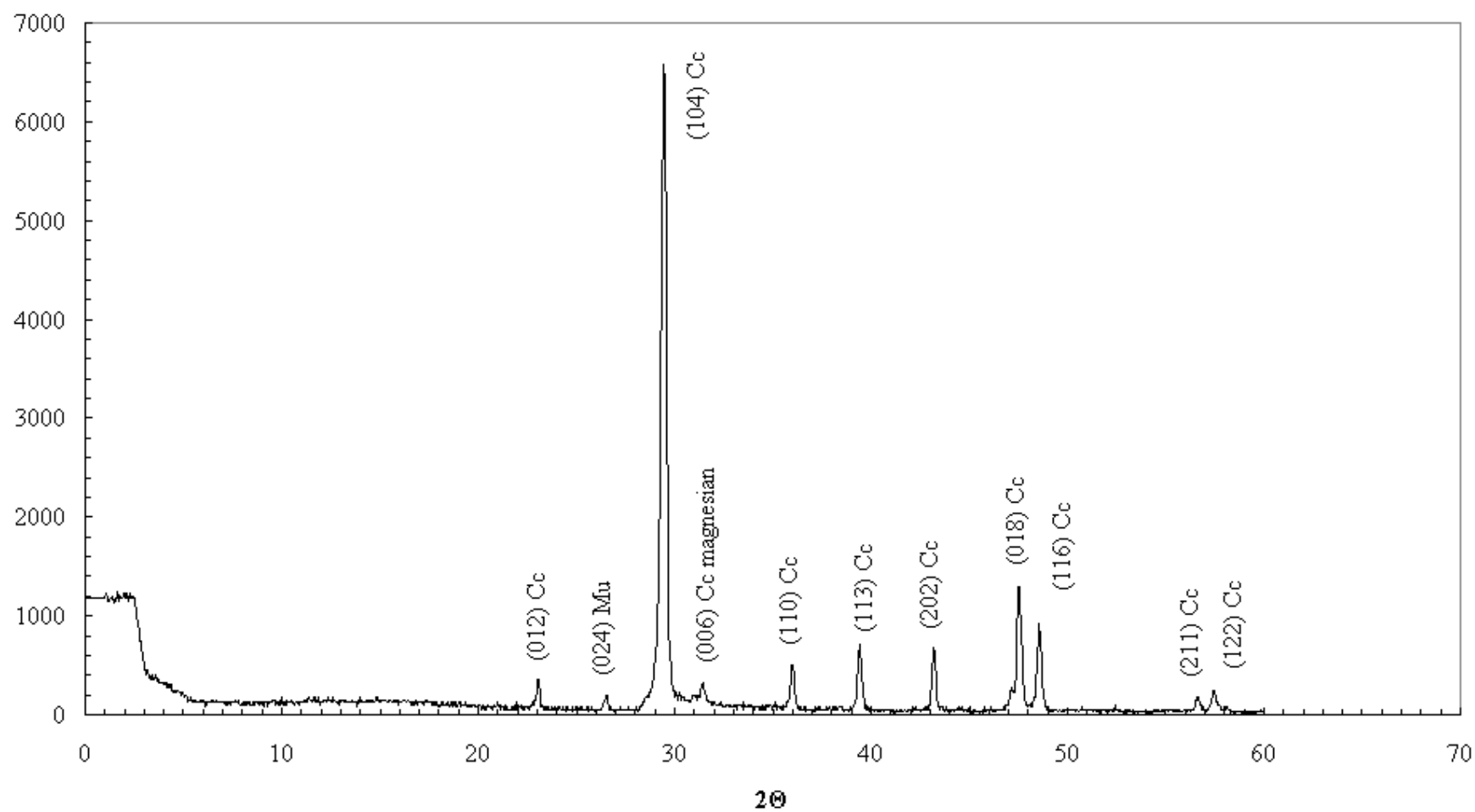
Περιθλασιόγραμμα του δείγματος ST - 1A



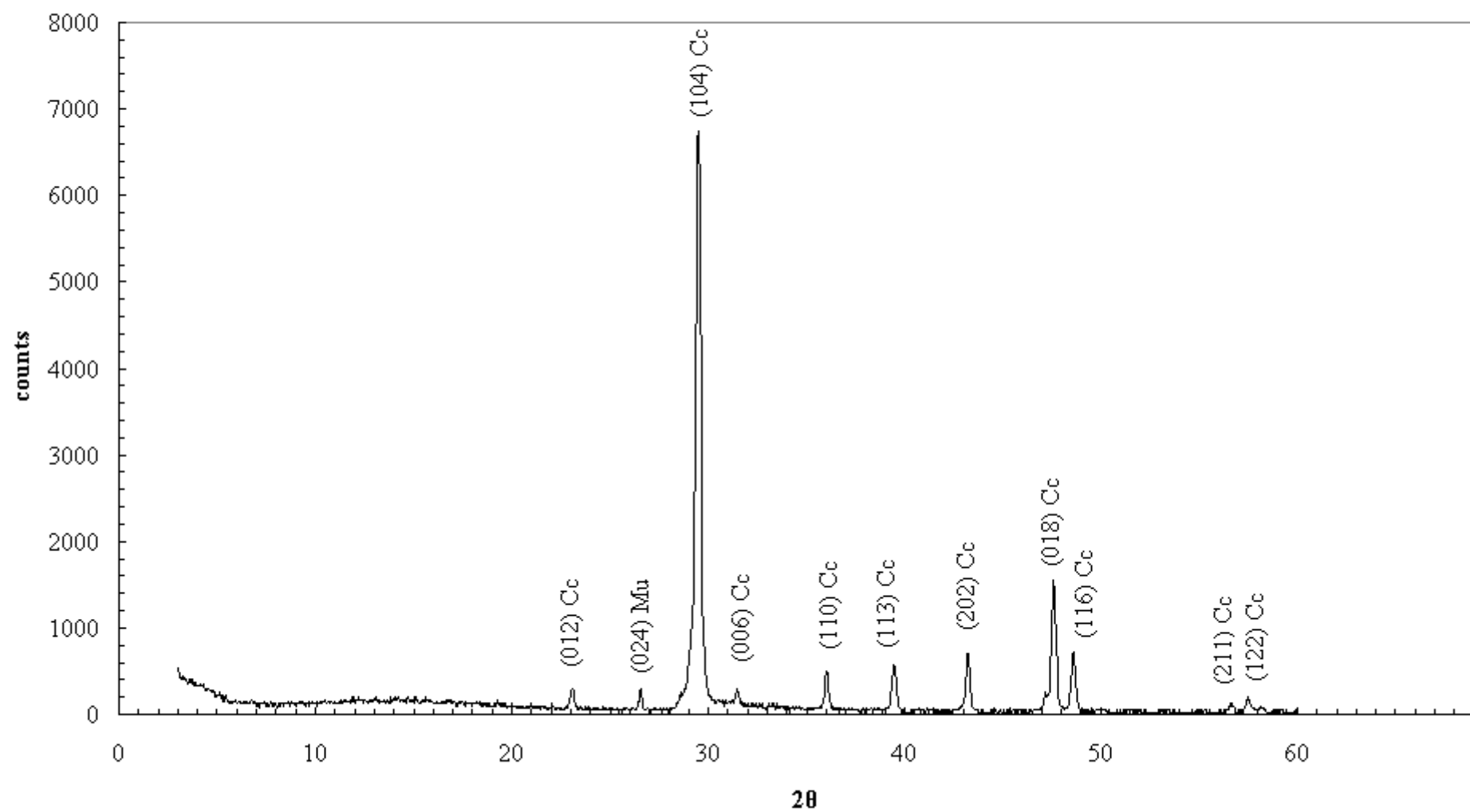
Περιθλασιόγραμμα του δείγματος ST - 1B



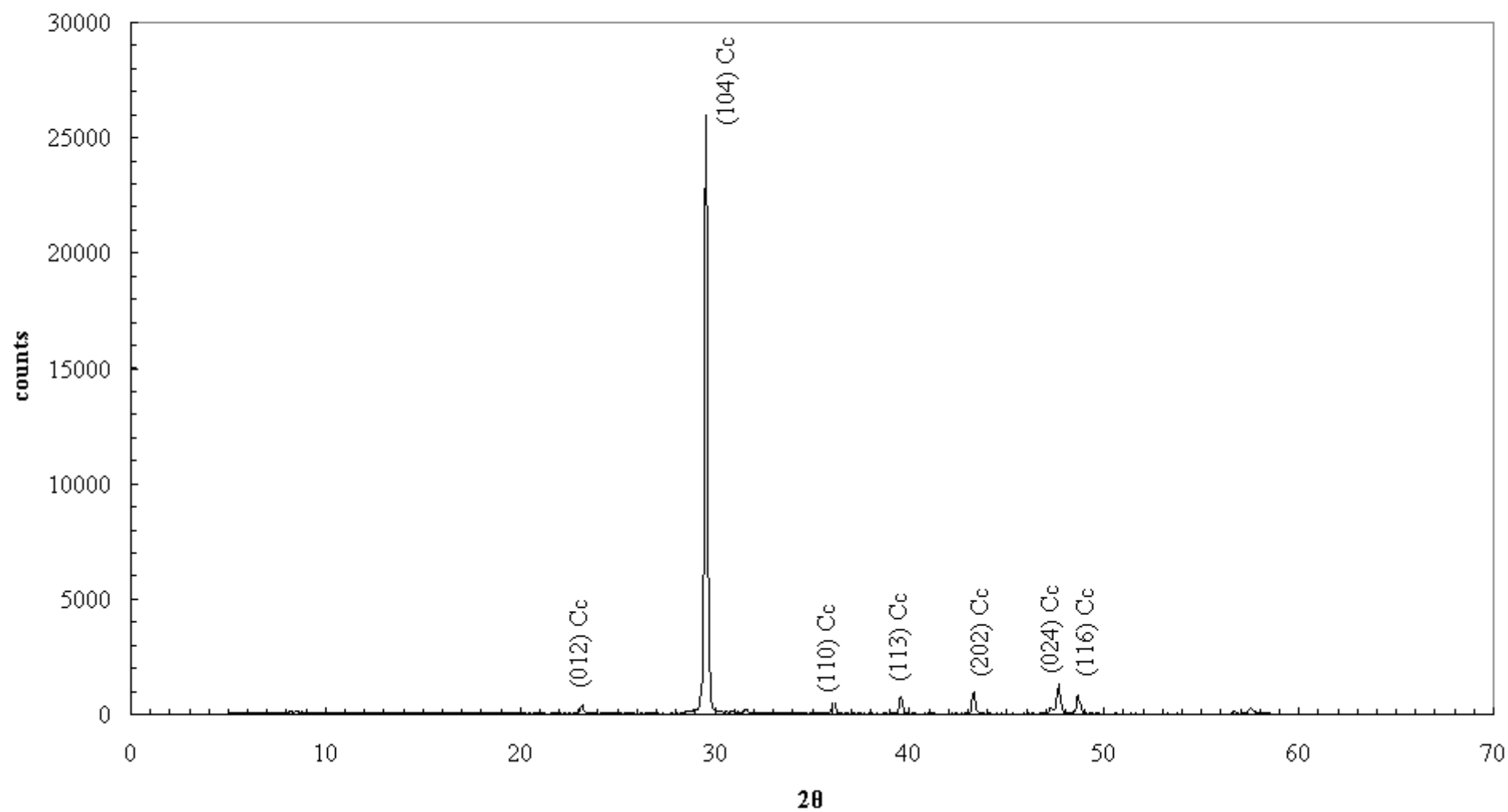
Περιθλασιόγραμμα του δείγματος ST - 2



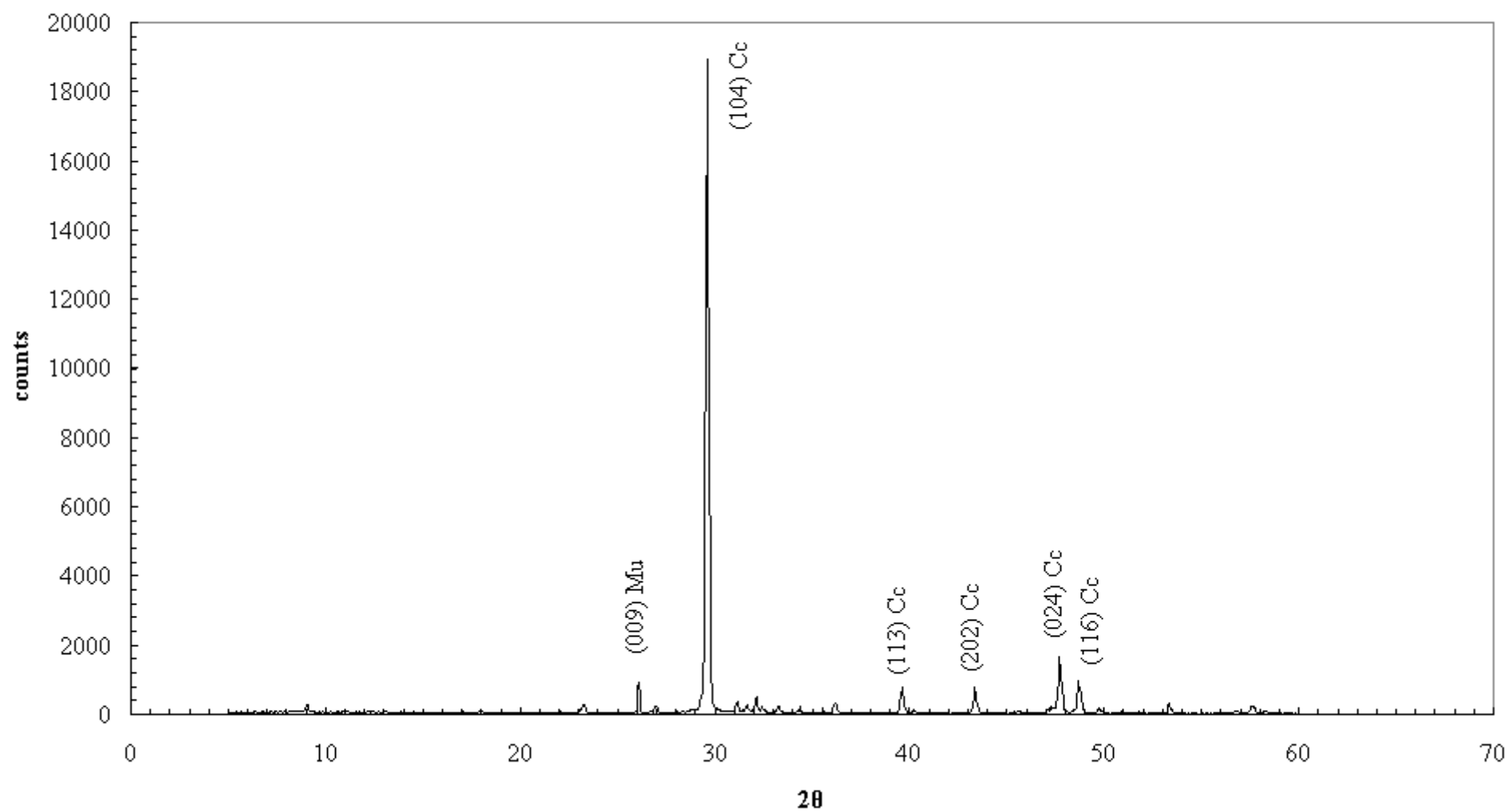
Περιθλασιόγραμμα του δείγματος ST - 3



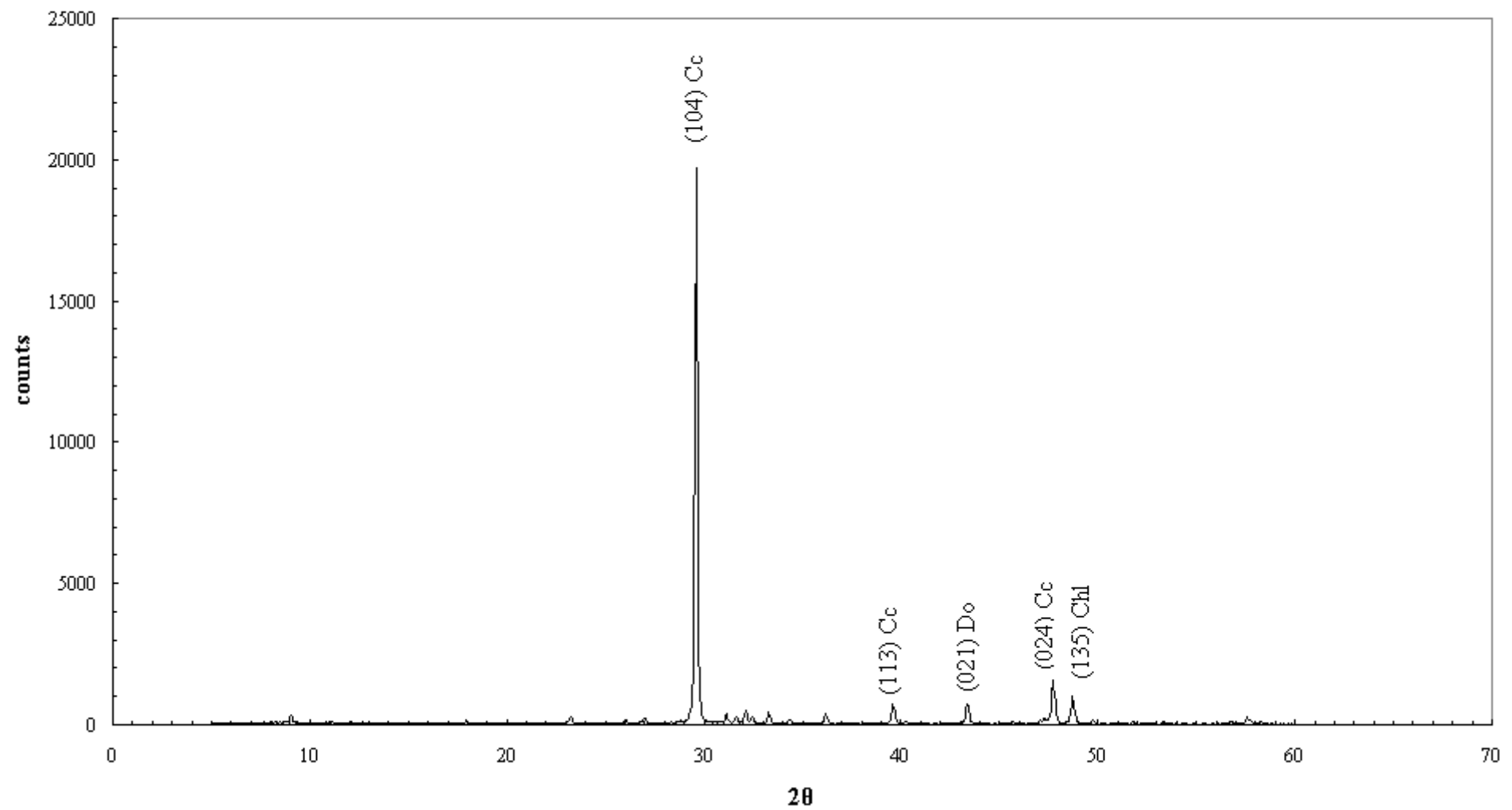
Περιθλασιόγραμμα του δείγματος BTH - 1



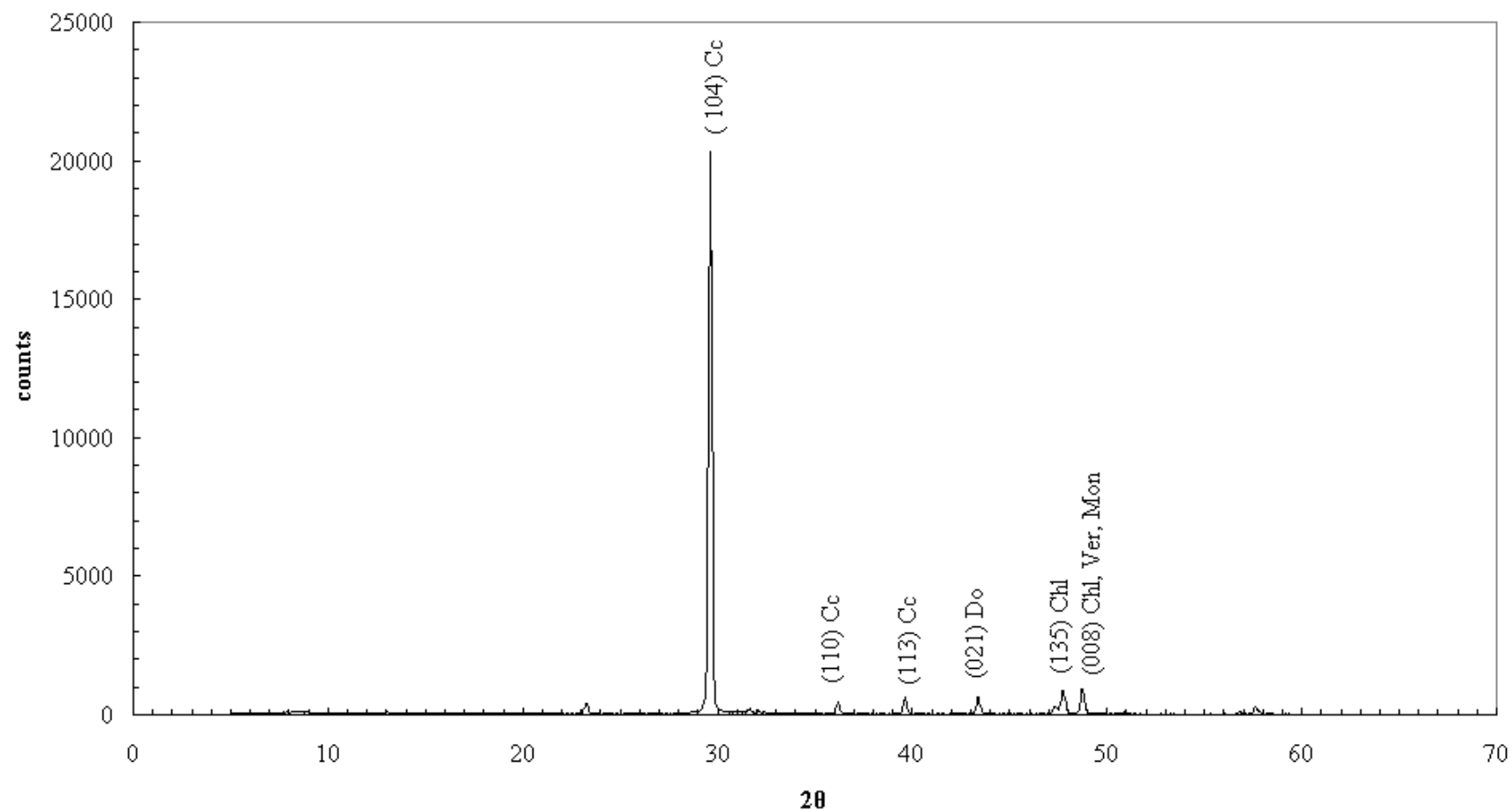
Περιθλασιόγραμμα του δείγματος BTH - 2A



Περιθλασιόγραμμα του δείγματος BTH - 2B



Περιθλασιόγραμμα του δείγματος BTH - 3



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΩΝ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ



Σχήμα 1: Δείγμα Gr-1 από την περιοχή «Αμπέλια» Γρανίτη



Σχήμα 2: Δείγμα PG-1 από την περιοχή «Άσπρες Πέτρες» Πηγών



Σχήμα 3: Δείγμα PG-2 από την περιοχή «Άσπρες Πέτρες» Πηγών



Σχήμα 4: Δείγμα PG-2 από την περιοχή «Άσπρες Πέτρες» Πηγών



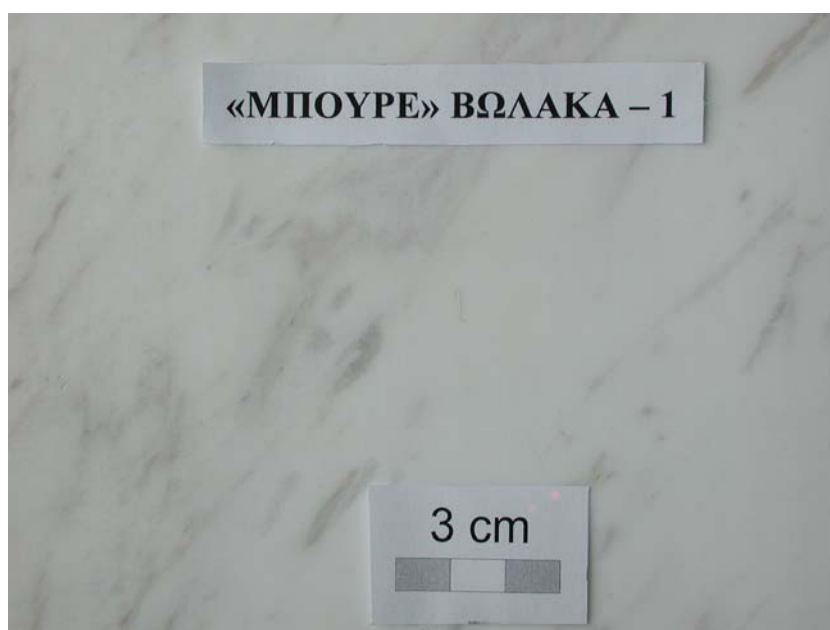
Σχήμα 5: Δείγμα PG-3 από την περιοχή «Άσπρες Πέτρες» Πηγών



Σχήμα 6: Δείγμα PG-3 από την περιοχή «Άσπρες Πέτρες» Πηγών



Σχήμα 7: Δείγμα BL-1 από την περιοχή «Μπουρέ» Βώλακα



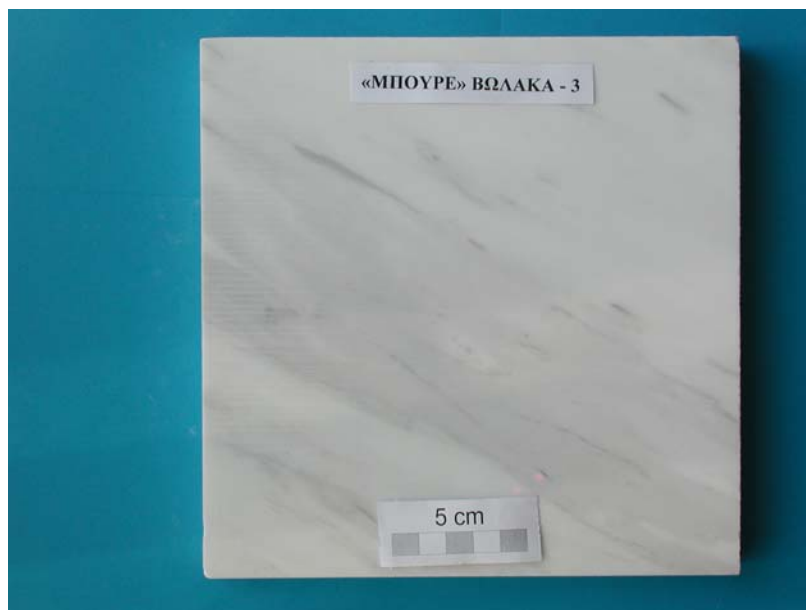
Σχήμα 8: Δείγμα BL-1 από την περιοχή «Μπουρέ» Βώλακα



Σχήμα 9: Δείγμα BL-2 από την περιοχή «Μπουρέ» Βώλακα



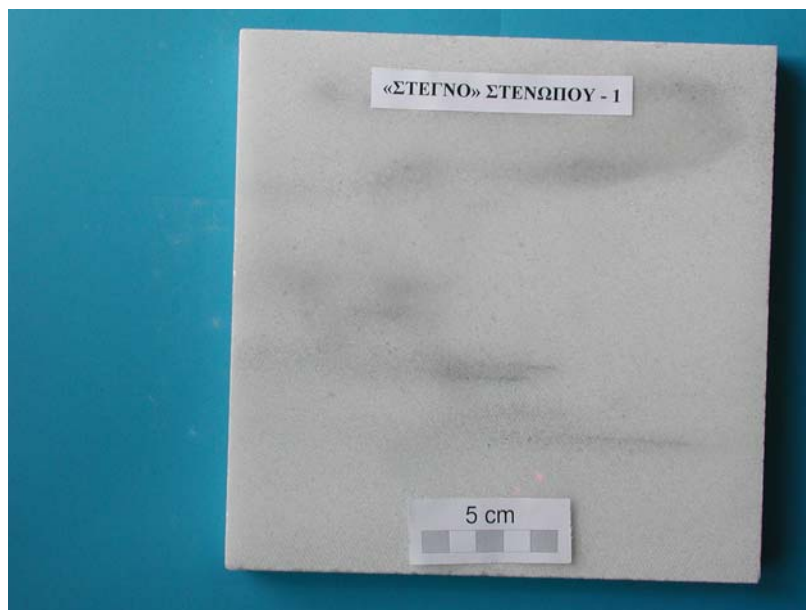
Σχήμα 10: Δείγμα BL-2 από την περιοχή «Μπουρέ» Βώλακα



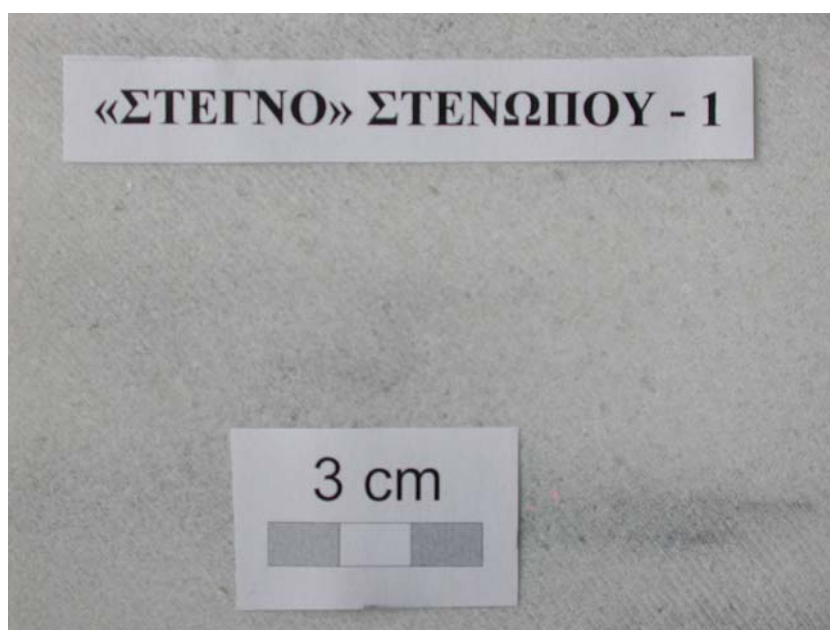
Σχήμα 11: Δείγμα BL-3 από την περιοχή «Μπουρέ» Βώλακα



Σχήμα 12: Δείγμα BL-3 από την περιοχή «Μπουρέ» Βώλακα



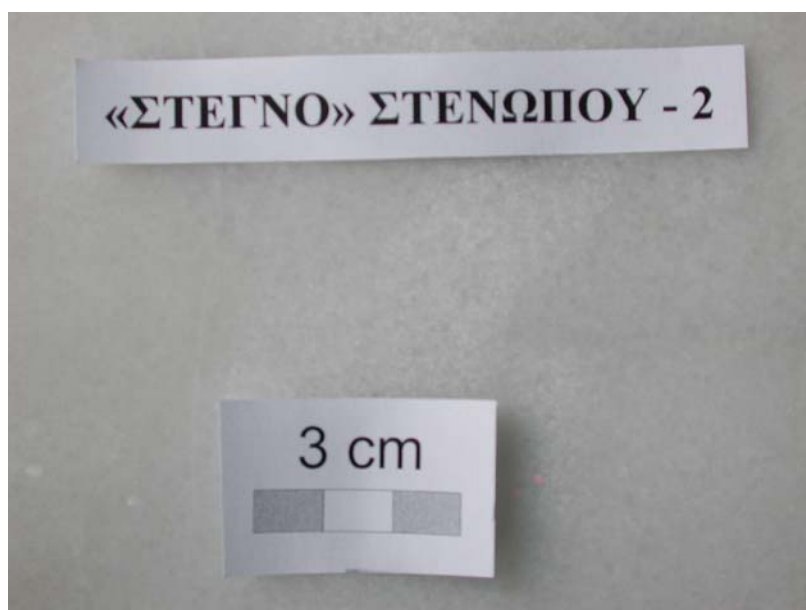
Σχήμα 13: Δείγμα ST-1 από την περιοχή «Στεγνό» Στενωπού



Σχήμα 14: Δείγμα ST-1 από την περιοχή «Στεγνό» Στενωπού



Σχήμα 15: Δείγμα ST-2 από την περιοχή «Στεγνό» Στενωπού



Σχήμα 16: Δείγμα ST-2 από την περιοχή «Στεγνό» Στενωπού



Σχήμα 17: Δείγμα ST-3 από την περιοχή «Στεγνό» Στενωπού



Σχήμα 18: Δείγμα ST-3 από την περιοχή «Στεγνό» Στενωπού



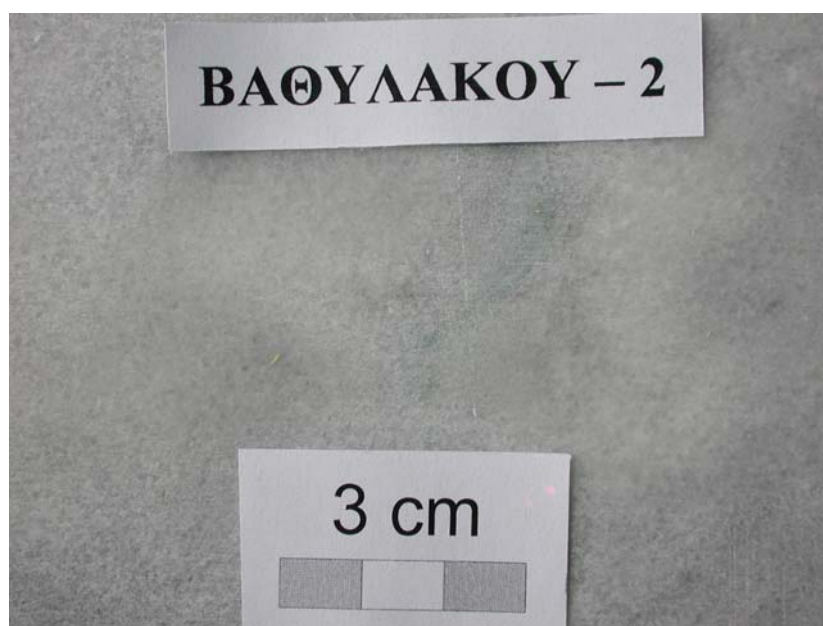
Σχήμα 19: Δείγμα ΒΤΗ-1 από την περιοχή Βαθυλάκκου



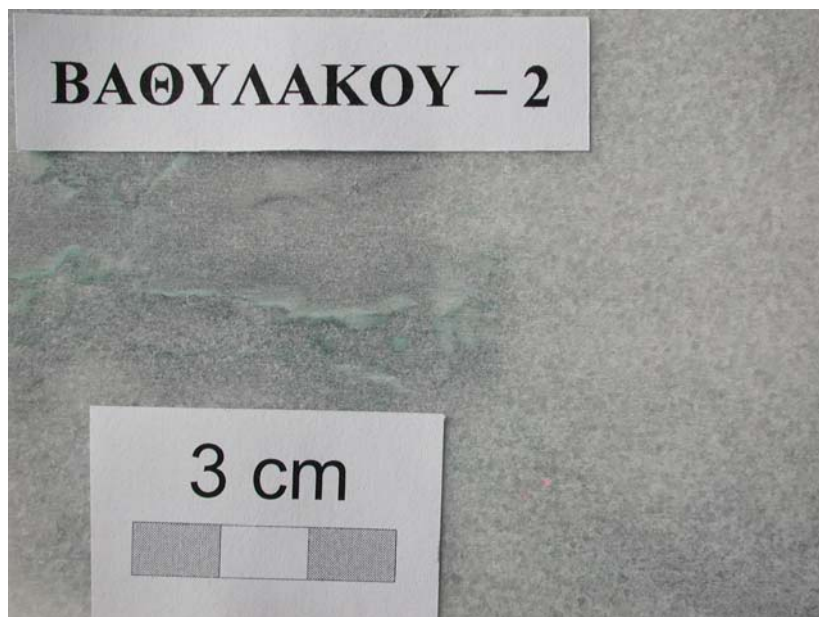
Σχήμα 20: Δείγμα ΒΤΗ-1 από την περιοχή Βαθυλάκκου



Σχήμα 21: Δείγμα ΒΤΗ-2 από την περιοχή Βαθυλάκκου



Σχήμα 22: Δείγμα ΒΤΗ-2 από την περιοχή Βαθυλάκκου



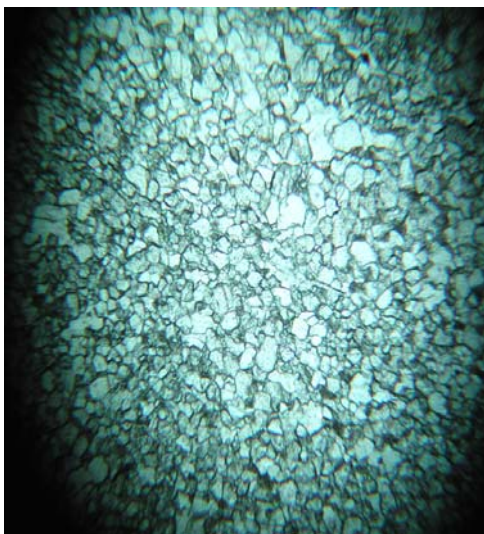
Σχήμα 23: Δείγμα BTH-2 από την περιοχή Βαθυλάκκου (με χλωρίτη)



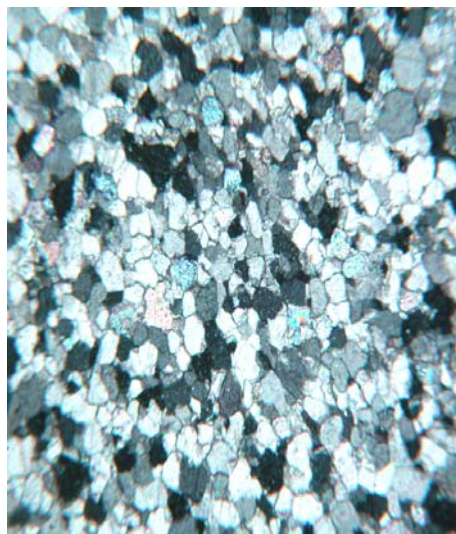
Σχήμα 24: Δείγμα BTH-3 από την περιοχή Βαθυλάκκου



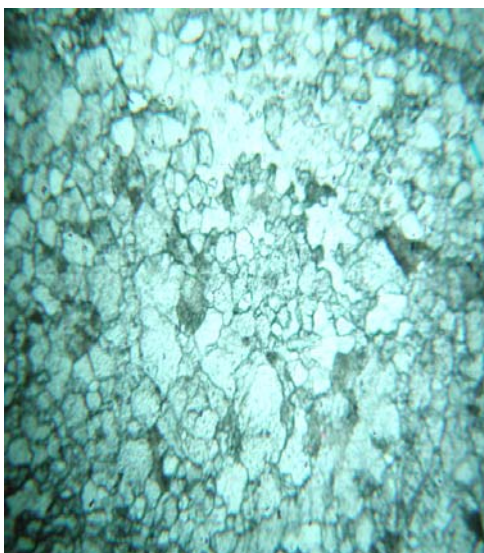
Σχήμα 25: Δείγμα ΒΤΗ-3 από την περιοχή Βαθυλάκκου



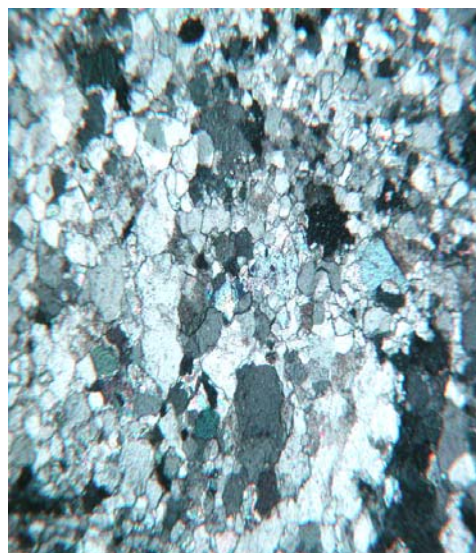
α



β

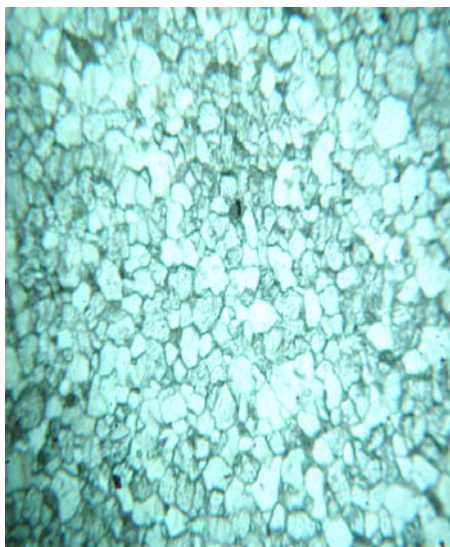


γ

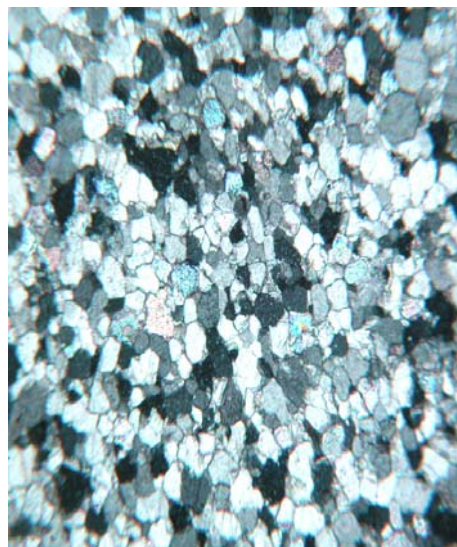


δ

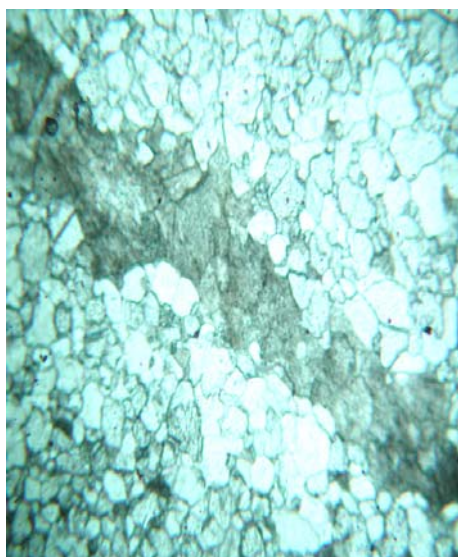
Σχήμα 26: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος BL-1A με φακό 4x:
α)Καθαρό μόνο με πολωτή, **β)**Καθαρό με πολωτή και αναλυτή, **γ)**Λεπτομερή διαλύματα του δείγματος μόνο με πολωτή, **δ)**Διαλύματα με πολωτή και αναλυτή



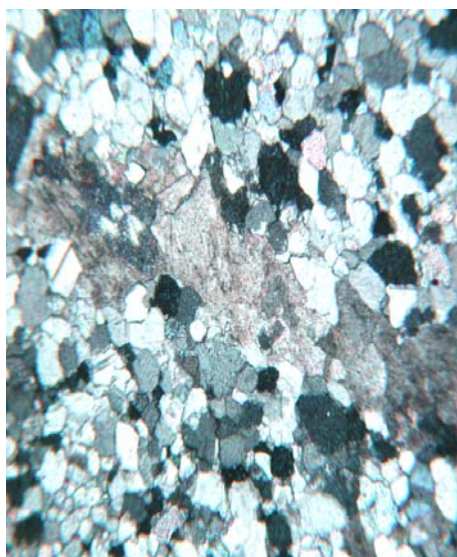
α



β

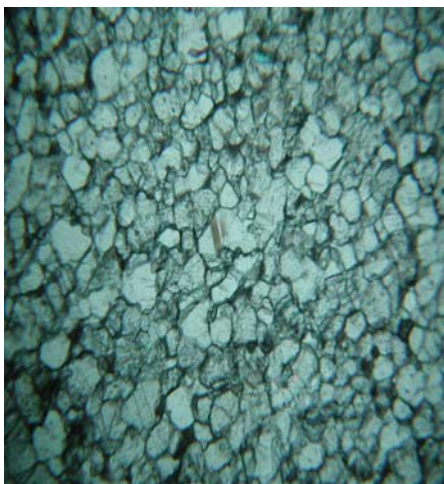


γ

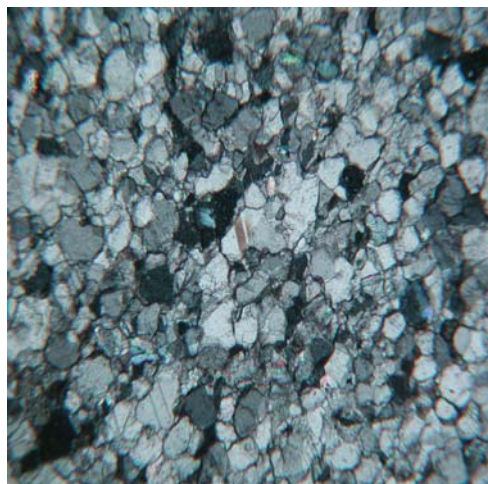


δ

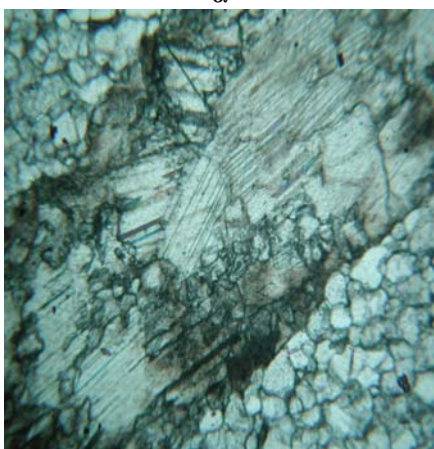
Σχήμα 27: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος BL-1B με φακό 4x:
α)Καθαρό μόνο με πολωτή, **β)**Καθαρό με πολωτή και αναλυτή, **γ)**Λεπτομερής
 φλέβα του δείγματος μόνο με πολωτή, **δ)**Φλέβα με πολωτή και αναλυτή



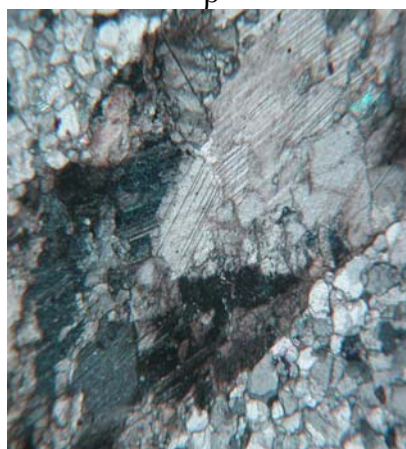
α



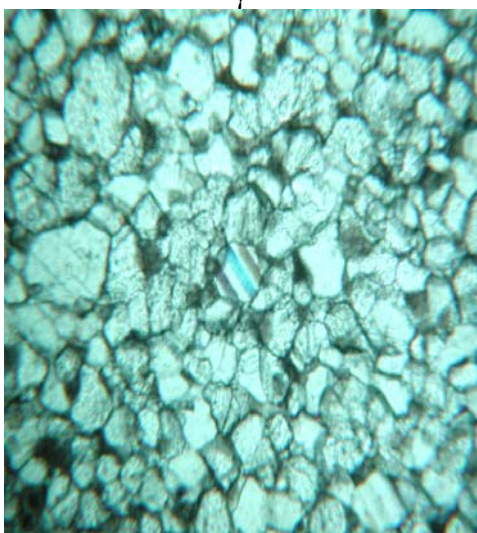
β



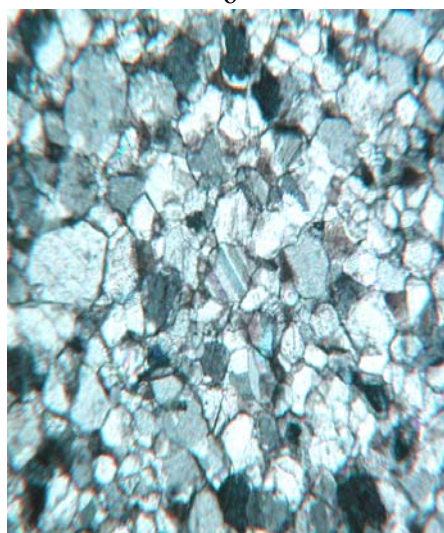
γ



δ

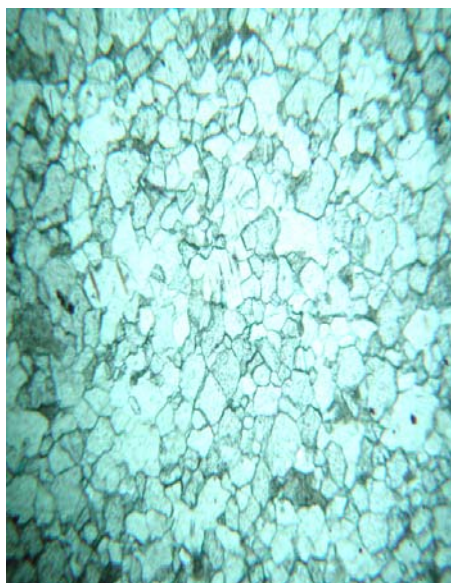


ε

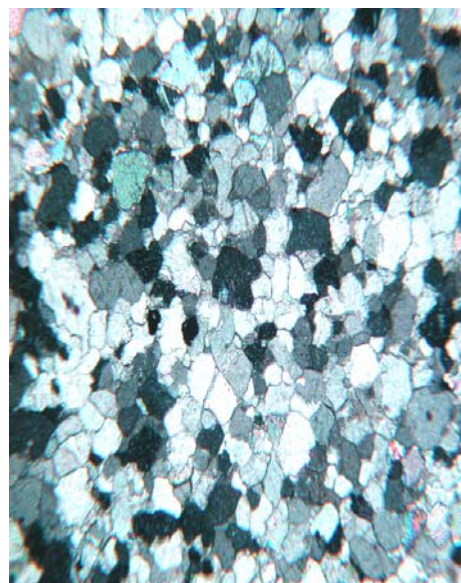


στ

Σχήμα 28: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος BL-2A με 4x και 6,3x φακός: **α)** Καθαρό μόνο με πολωτή, **β)** Καθαρό με πολωτή και αναλυτή, **γ)** Αδρόκοκκη φλέβα μόνο πολωτή, **δ)** Φλέβα με πολωτή και αναλυτή, **ε)** Διδυμία ασβεστίτη μόνο με πολωτή, **στ)** Διδυμία με πολωτή και αναλυτή



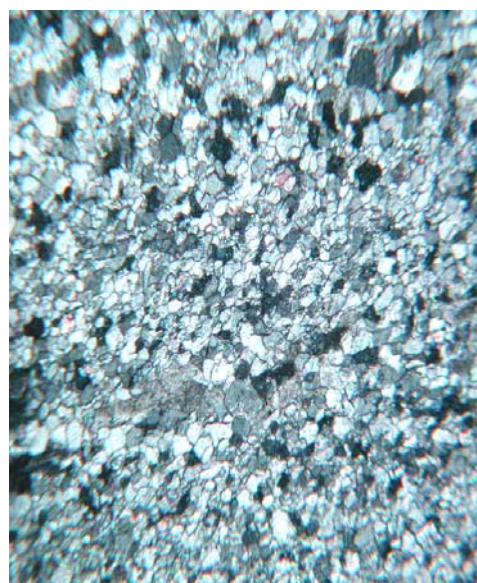
α



β

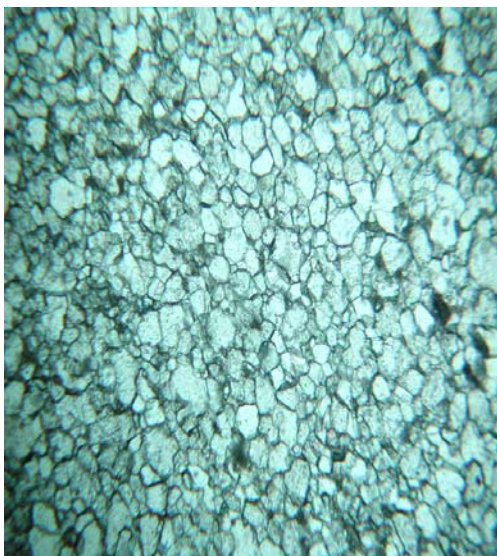


γ

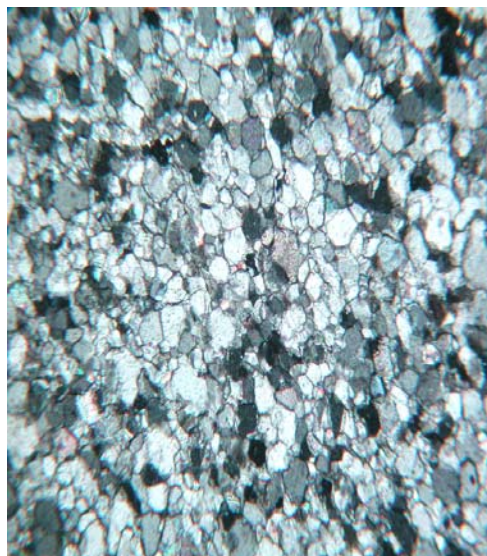


δ

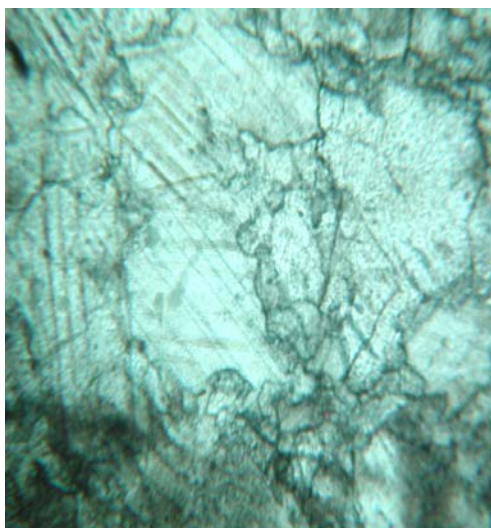
Σχήμα 29: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος BL-2B με φακό 4x και 6,3x: **α)**Καθαρό μόνο με πολωτή, **β)**Καθαρό με πολωτή και αναλυτή, **γ)**Λεπτομερής φλέβα του δείγματος μόνο με πολωτή, **δ)**Φλέβα με πολωτή και αναλυτή



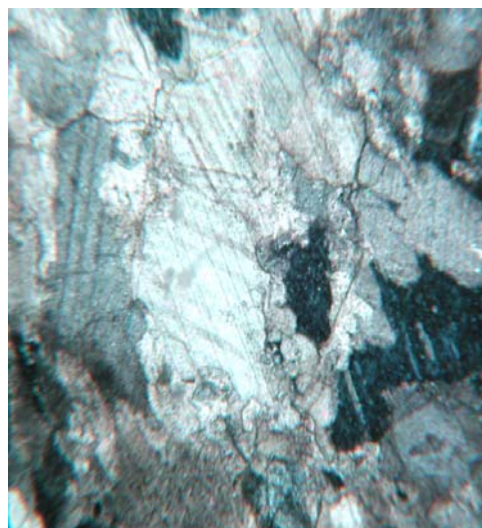
α



β

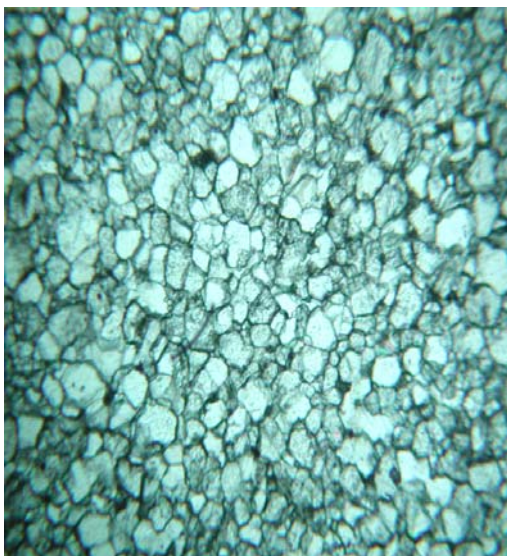


γ

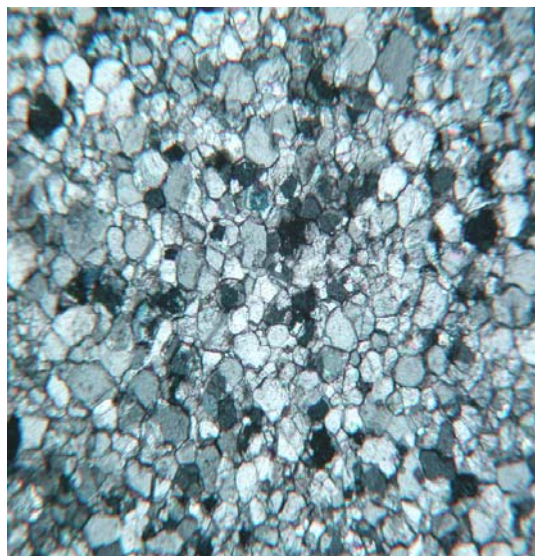


δ

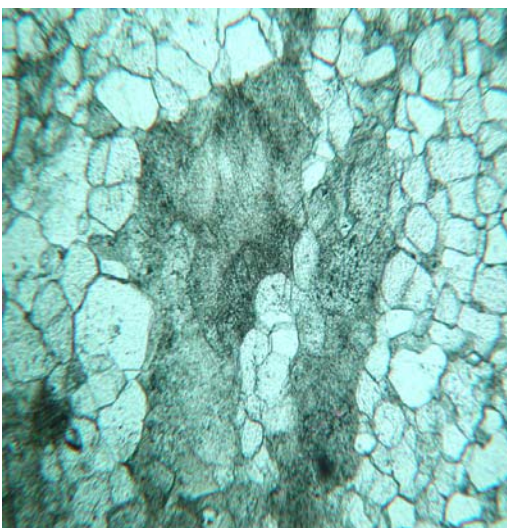
Σχήμα 30: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος BL-3A με φακό 4x και 6,3x: **α)**Καθαρό μόνο με πολωτή, **β)**Καθαρό με πολωτή και αναλυτή, **γ)**Αδρόκοκκα ανθρακικά διαλύματα του δείγματος μόνο με πολωτή, **δ)**Διαλύματα με πολωτή και αναλυτή



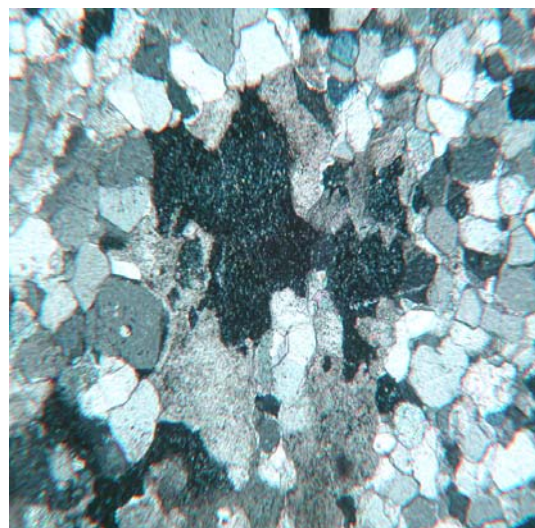
α



β

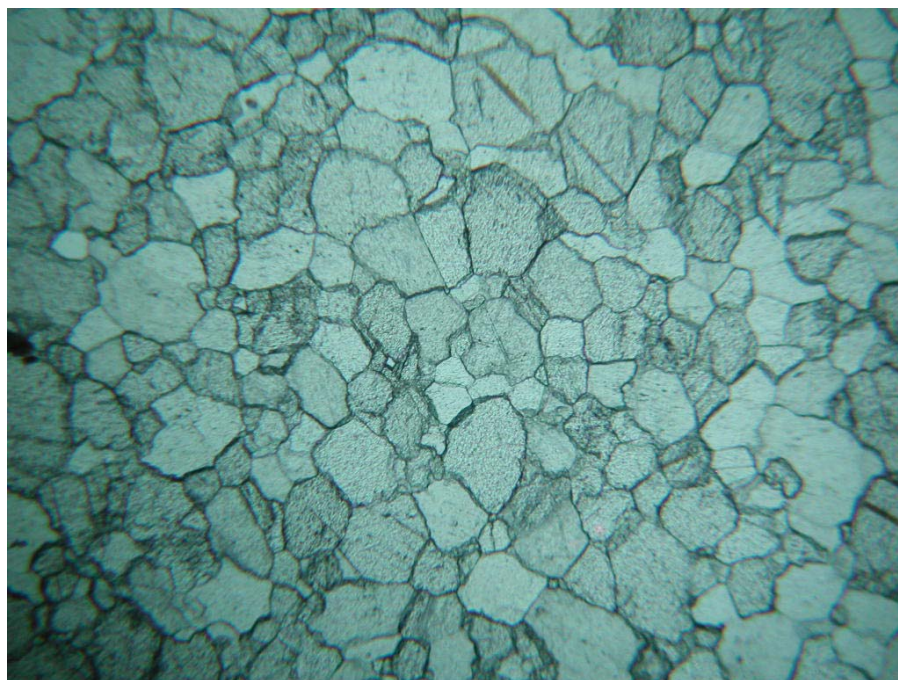


γ

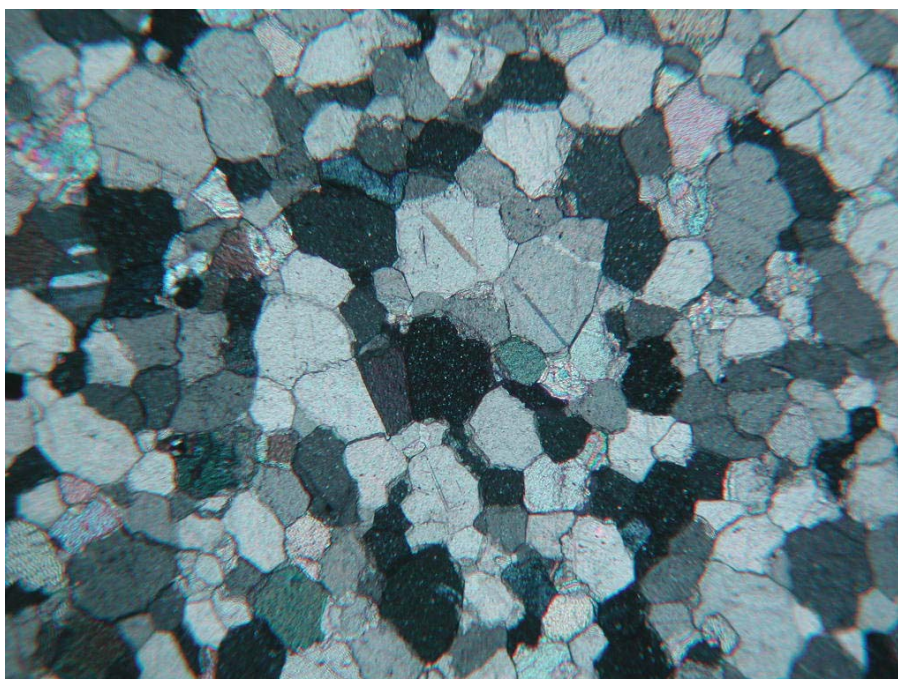


δ

Σχήμα 31: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος BL-3B με φακό 4x και 6,3x: **α)**Καθαρό μόνο με πολωτή, **β)**Καθαρό με πολωτή και αναλυτή, **γ)**Φλέβα αλλοίωσης του δείγματος μόνο με πολωτή, **δ)**Φλέβα αλλοίωσης με πολωτή και αναλυτή

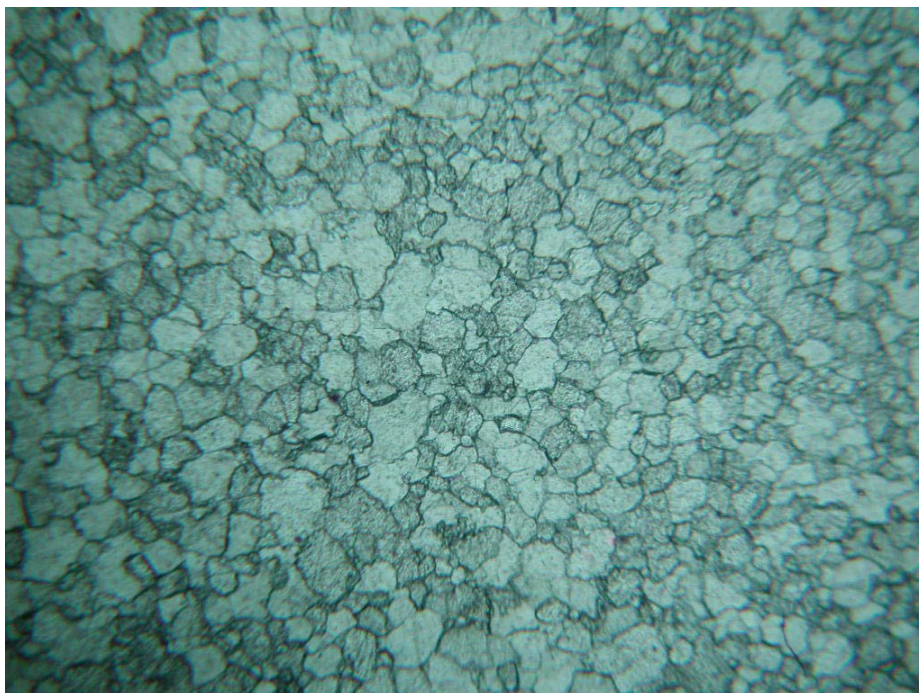


α

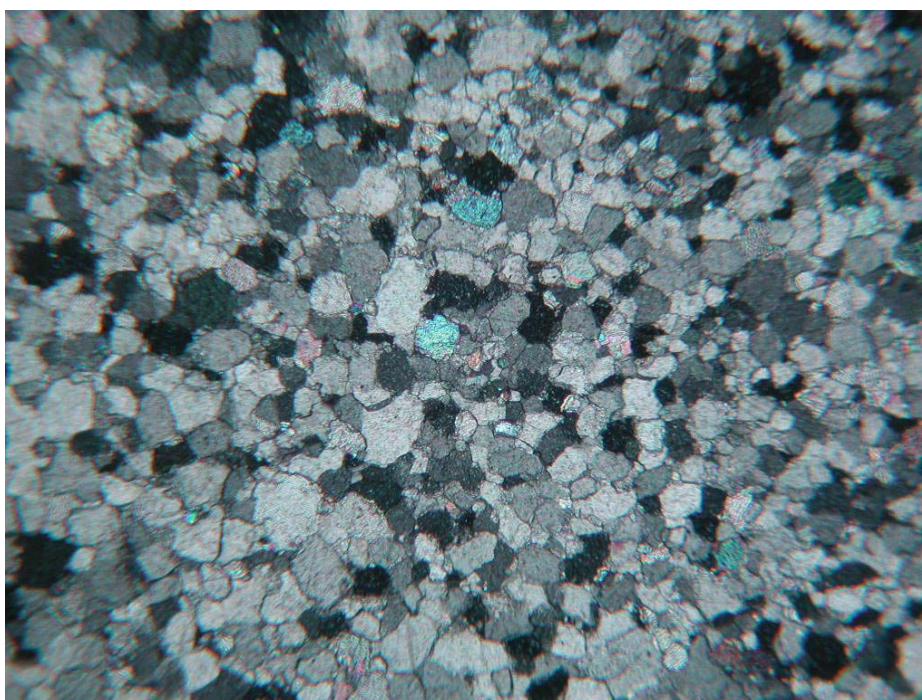


β

Σχήμα 32: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος GR με 4x φακό: **α)** Καθαρό μόνο με πολωτή, **β)** Καθαρό με πολωτή και αναλυτή

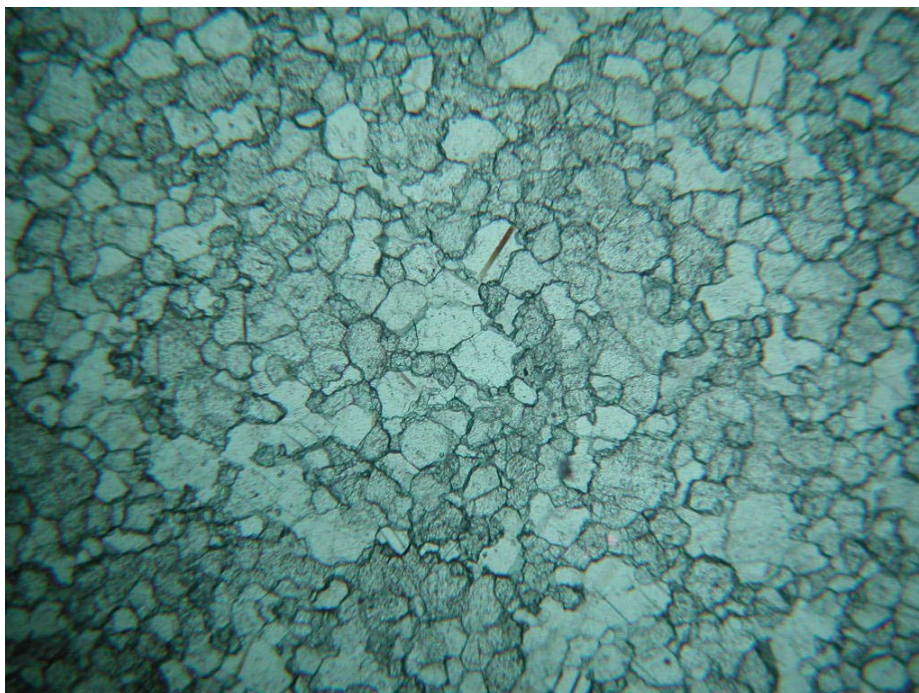


α

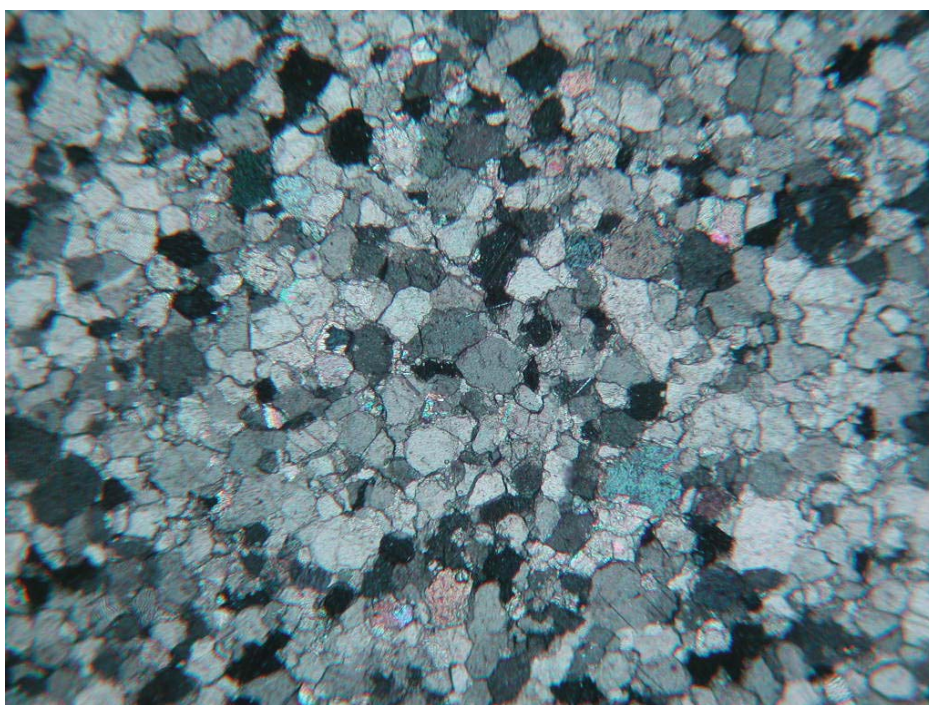


β

Σχήμα 33: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος PG-1 με 4x φακό: **α)** Καθαρό μόνο με πολωτή, **β)** Καθαρό με πολωτή και αναλυτή

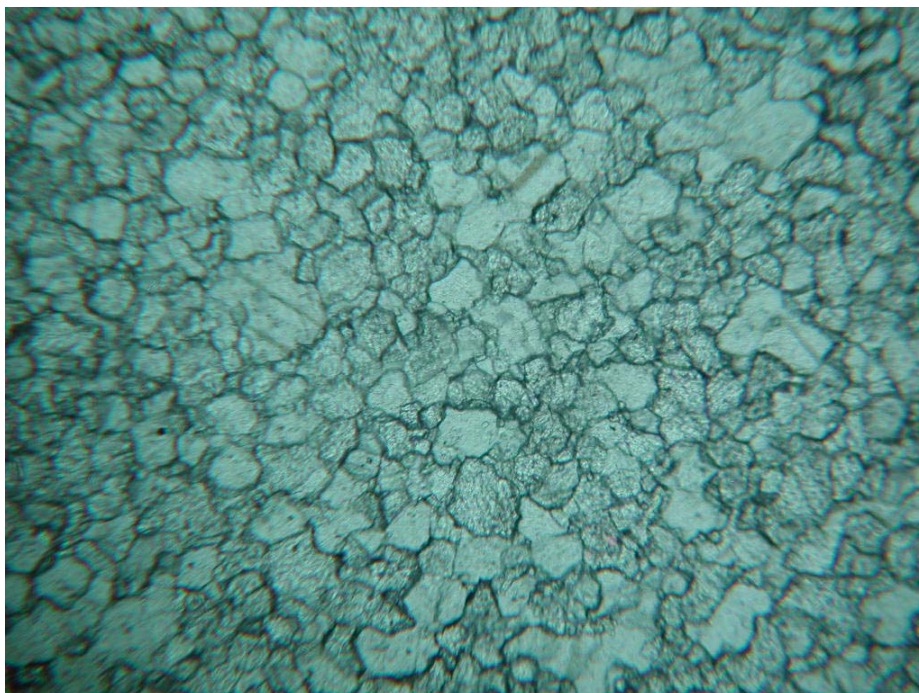


α

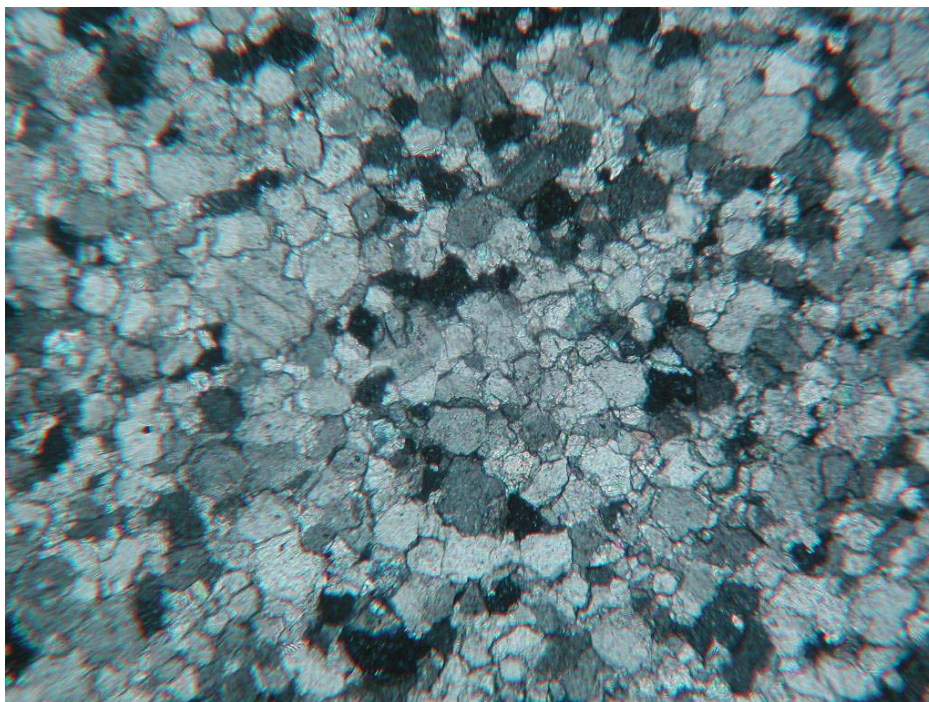


β

Σχήμα 34: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος PG-2A με 4x φακό: **α)** Καθαρό μόνο με πολωτή, **β)** Καθαρό με πολωτή και αναλυτή

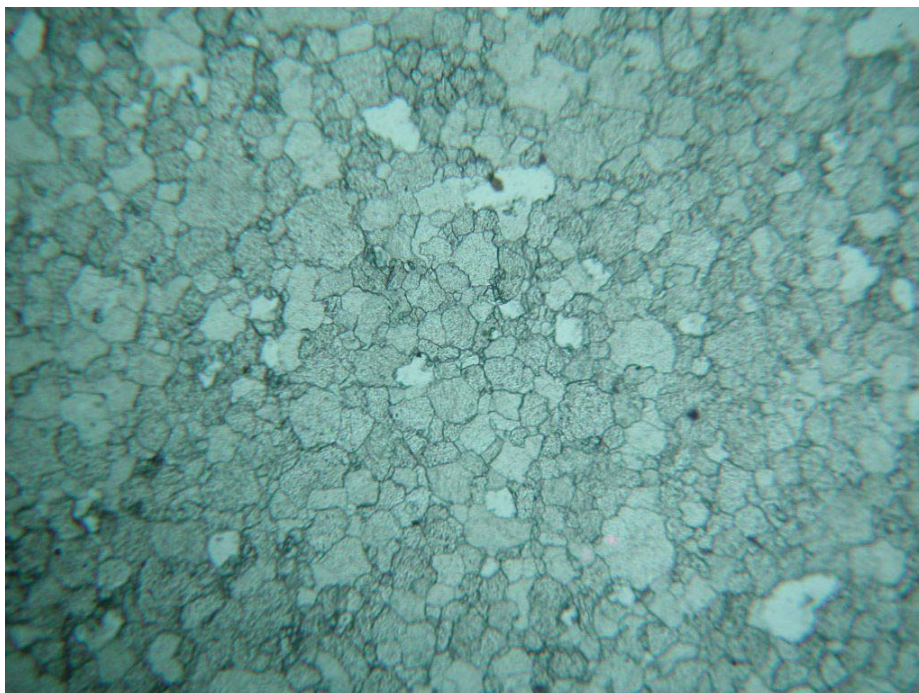


α

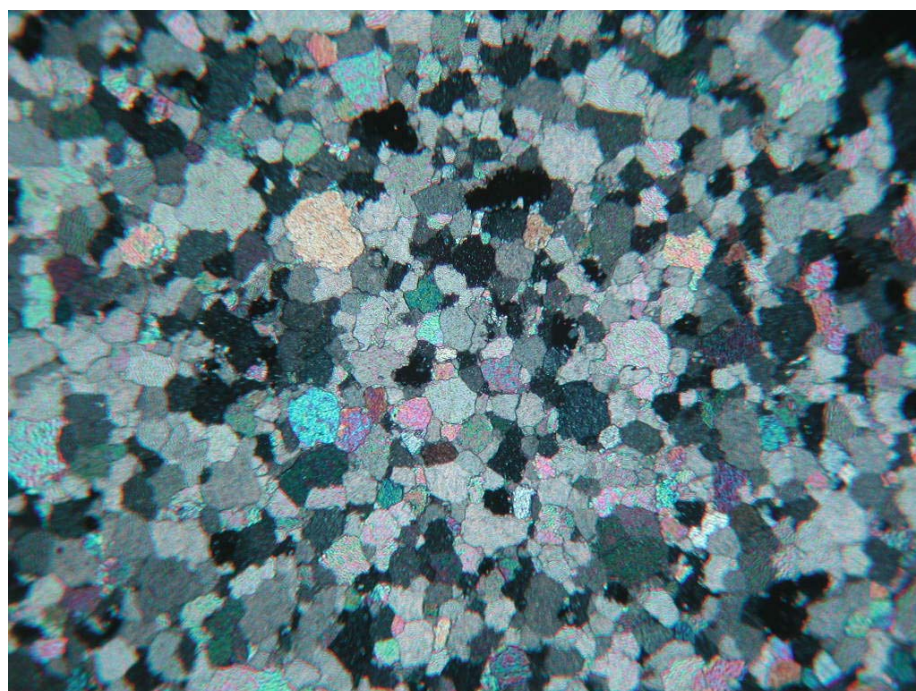


β

Σχήμα 35: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος PG-2B με 6,3x φακό:**α)** Καθαρό μόνο με πολωτή, **β)** Καθαρό με πολωτή και αναλυτή

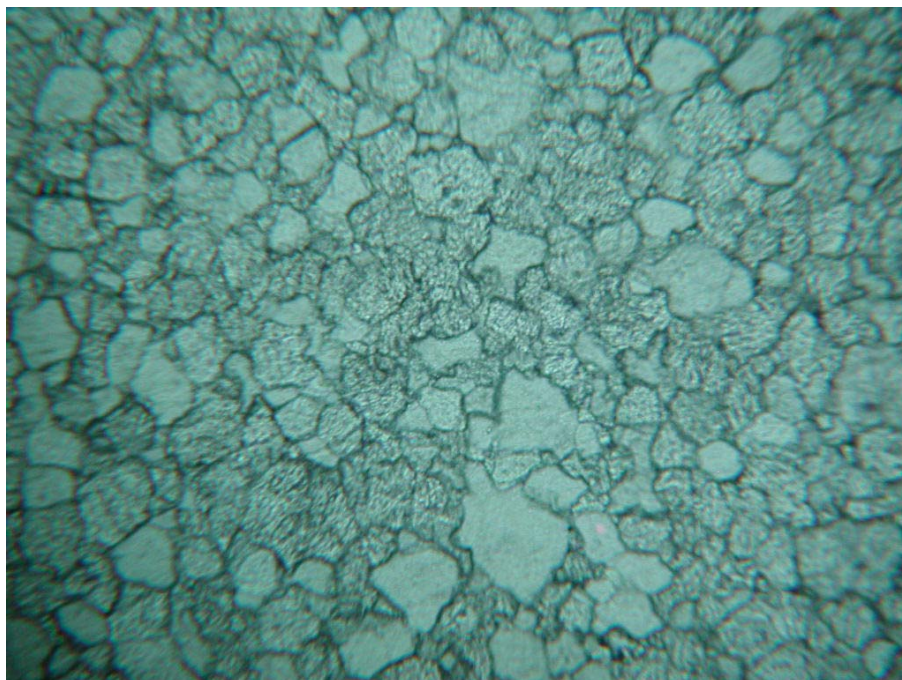


α

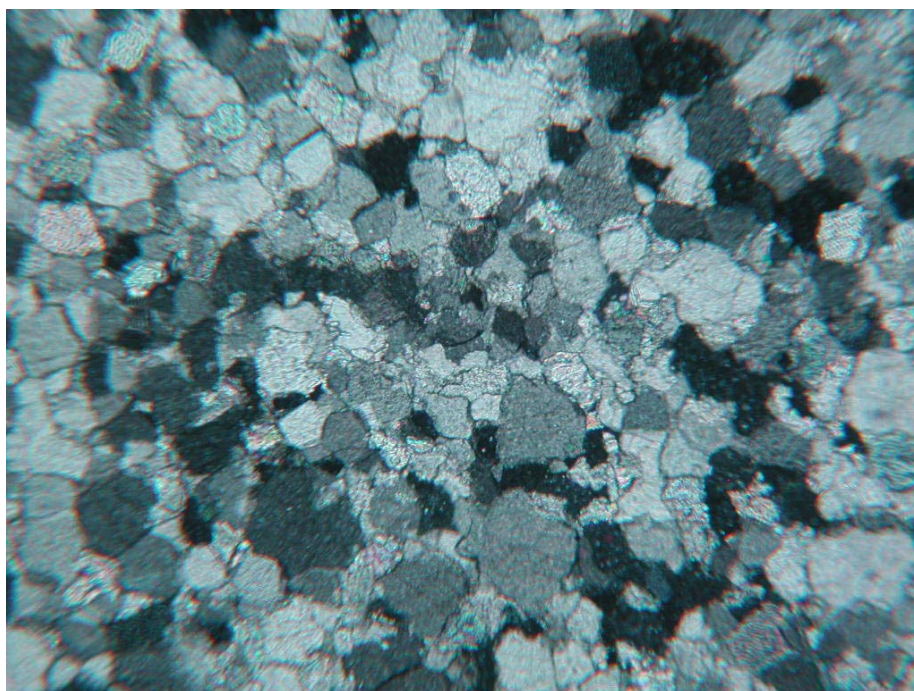


β

Σχήμα 36: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος PG-3A με 4x φακό: **α)** Καθαρό μόνο με πολωτή, **β)** Καθαρό με πολωτή και αναλυτή

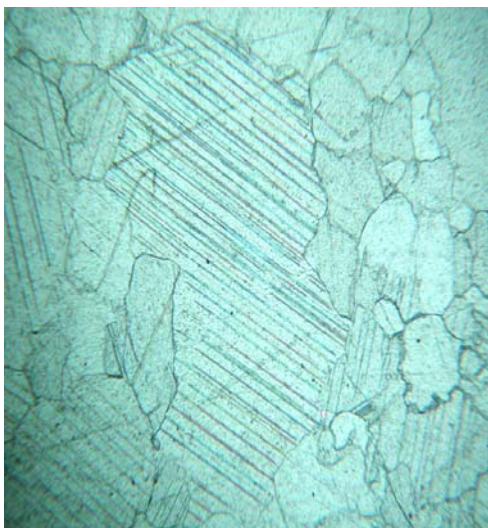


α

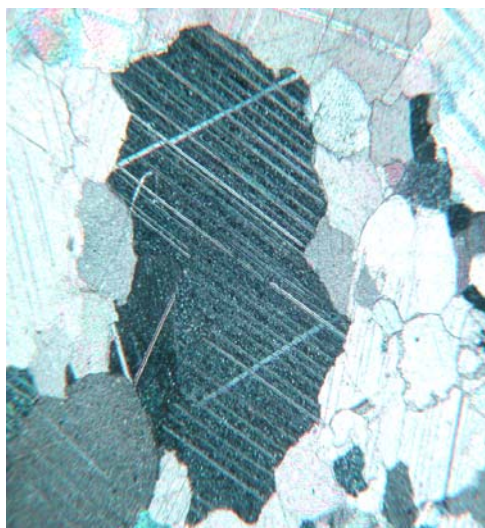


β

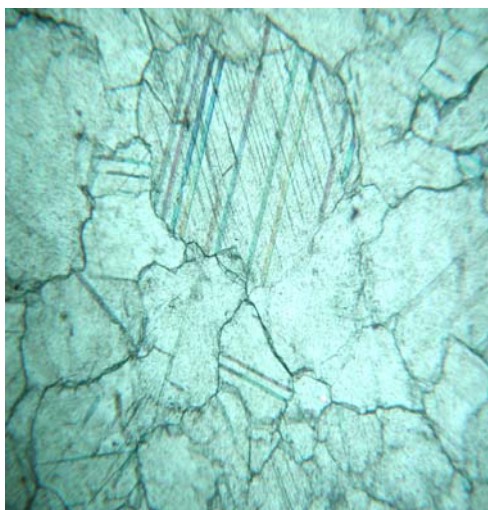
Σχήμα 37: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος PG-3B με 6,3x φακό: **α)** Καθαρό μόνο με πολωτή, **β)** Καθαρό με πολωτή και αναλυτή



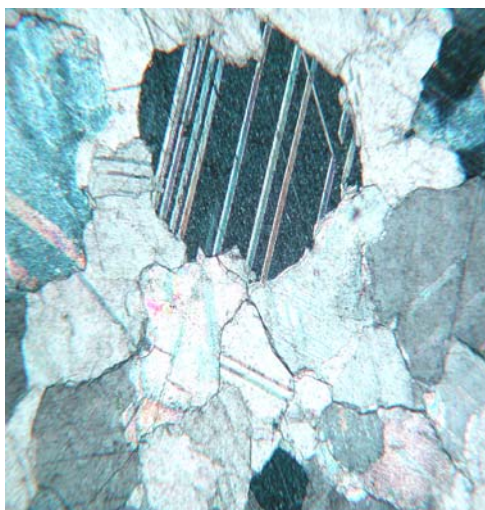
α



β

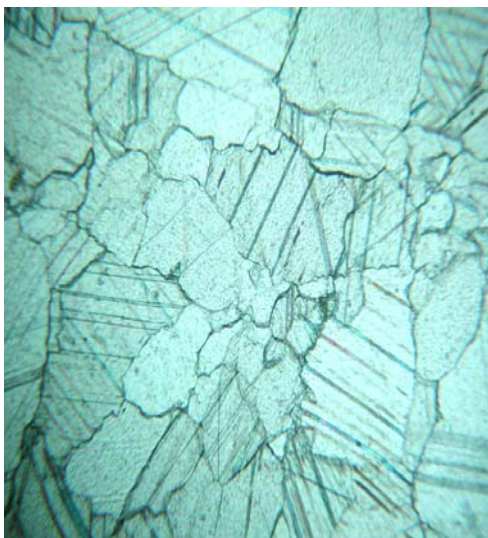


γ

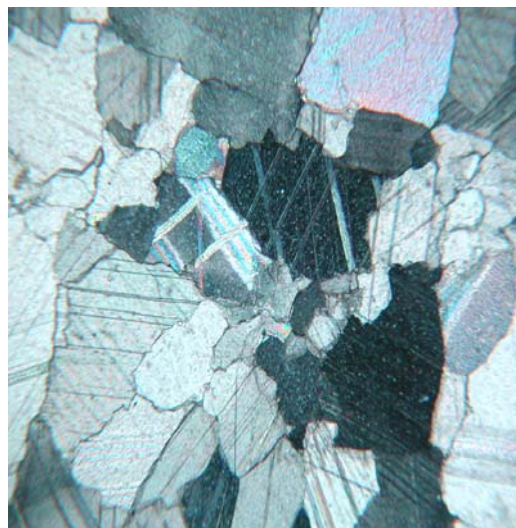


δ

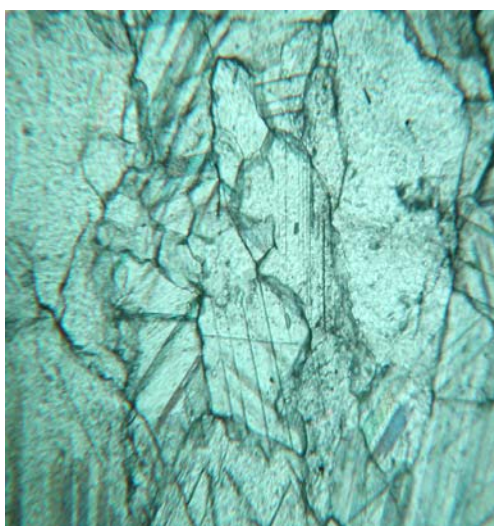
Σχήμα 38: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος ST-1A με φακό 4x:
α)Καθαρό μόνο με πολωτή, **β)**Καθαρό με πολωτή και αναλυτή, **γ)**Ανθρακικά δι-
 αλύματα του δείγματος μόνο με πολωτή, **δ)** Ανθρακικά διαλύματα με πολωτή και
 αναλυτή



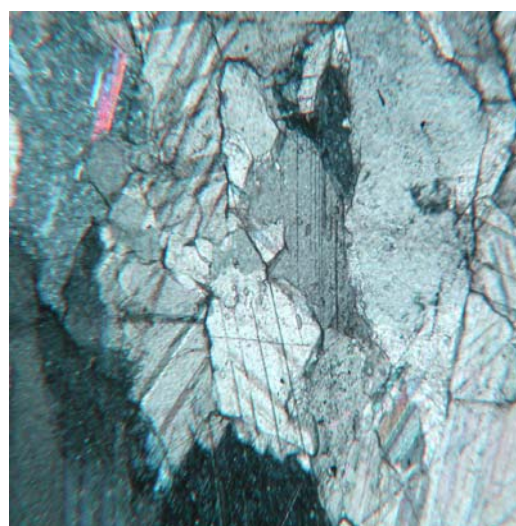
α



β

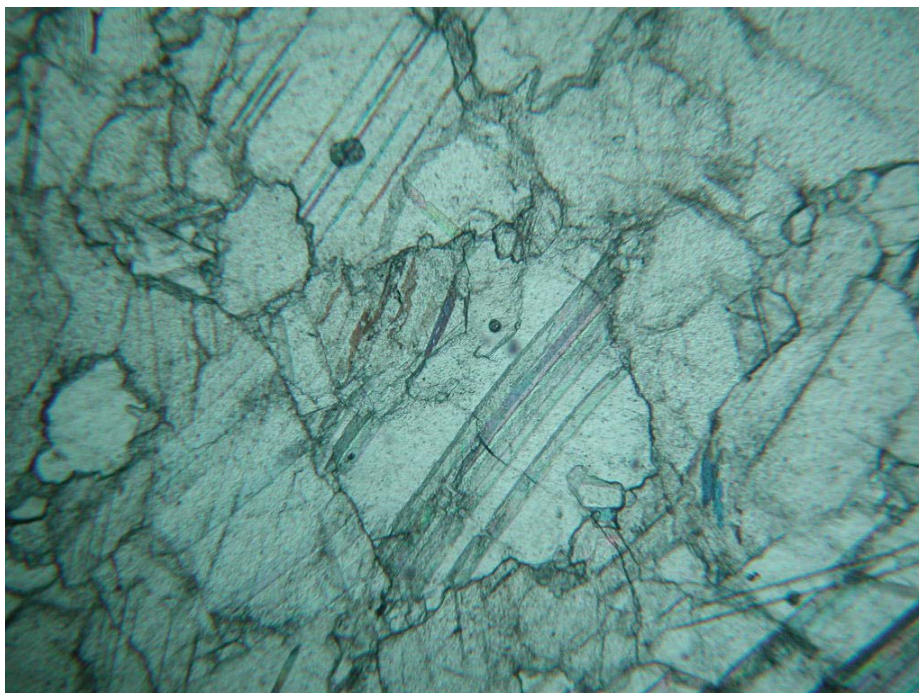


γ

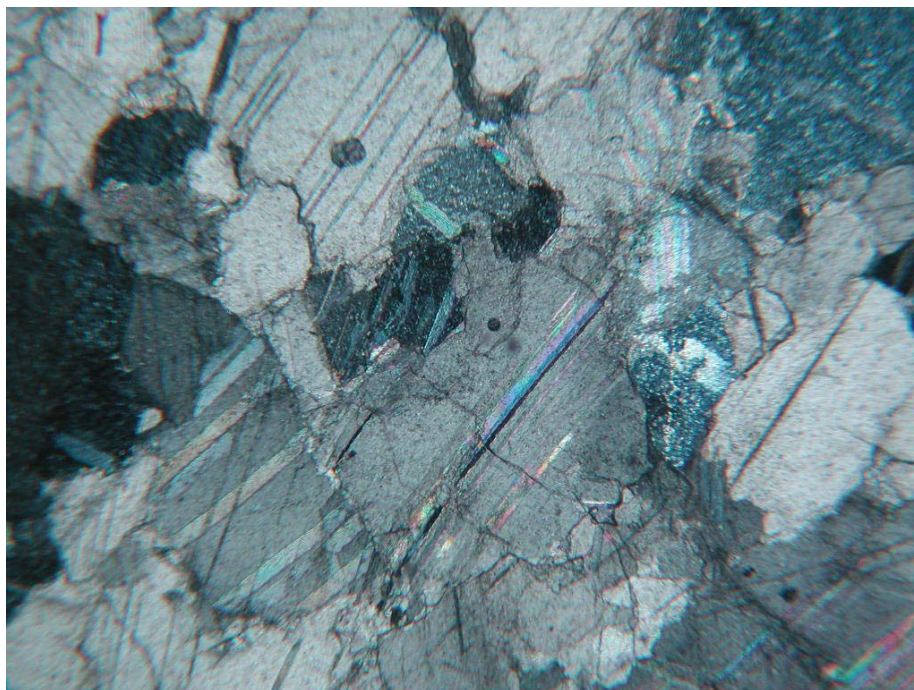


δ

Σχήμα 39: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος ST-1B με φακό 4x και 6,3x: **α)**Καθαρό μόνο με πολωτή, **β)**Καθαρό με πολωτή και αναλυτή, **γ)**Ανθρακικά διαλύματα του δείγματος μόνο με πολωτή, **δ)** Ανθρακικά διαλύματα με πολωτή και αναλυτή

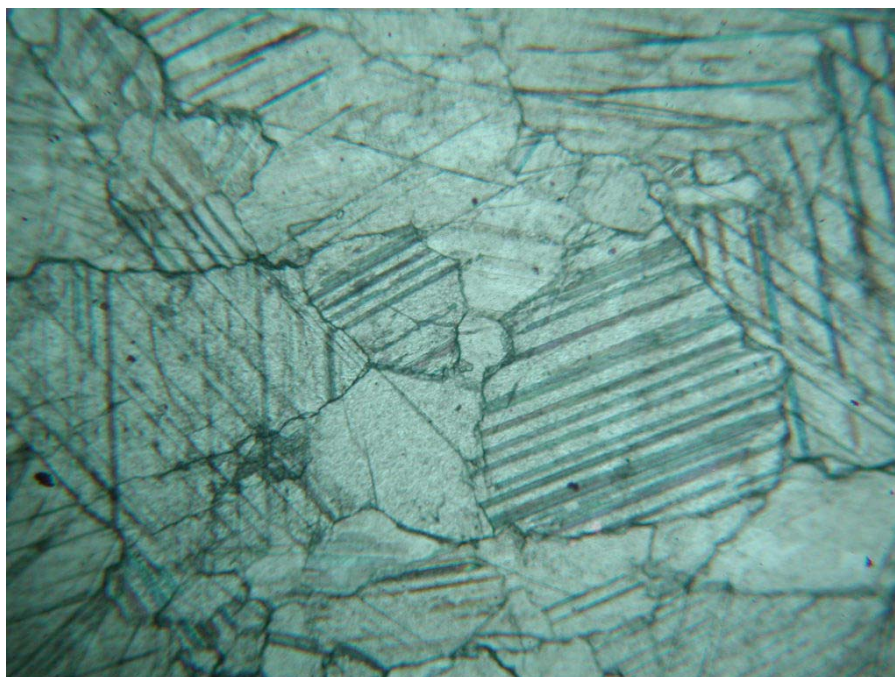


α

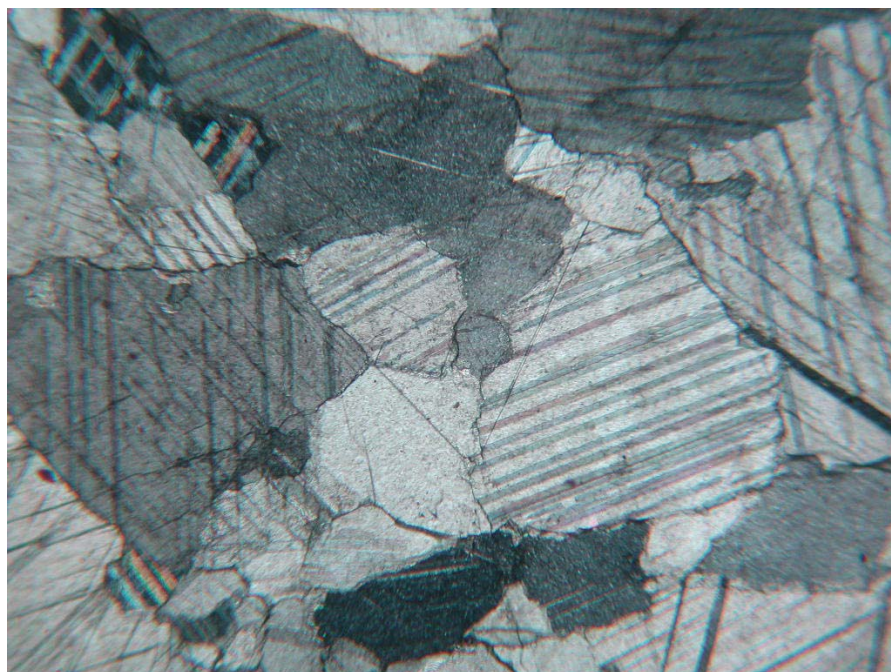


β

Σχήμα 40: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος ST-2 με 4x φακό: **α)** Καθαρό μόνο με πολωτή, **β)** Καθαρό με πολωτή και αναλυτή

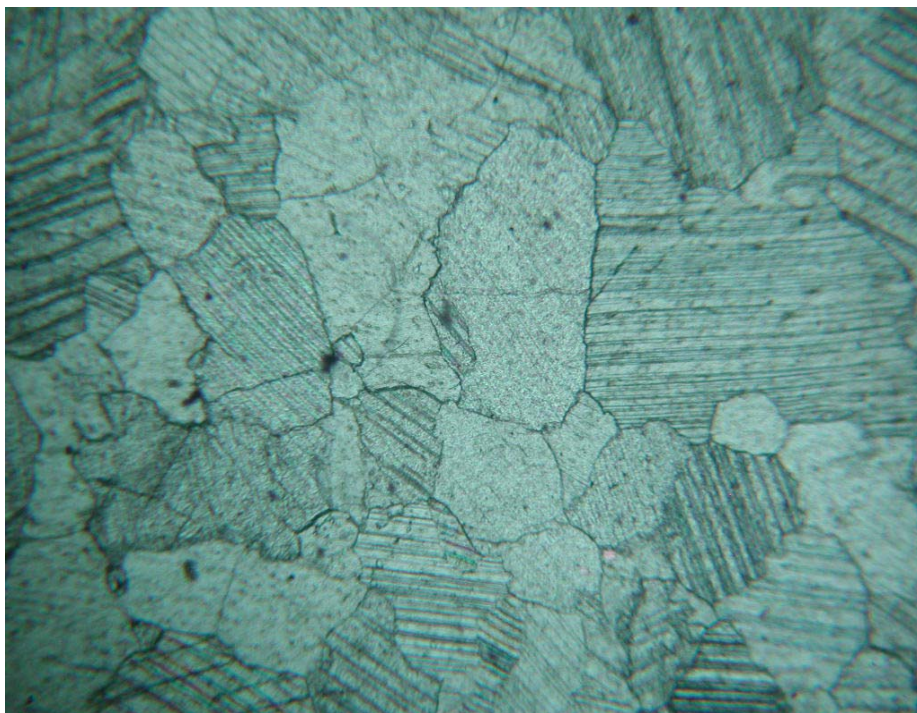


α

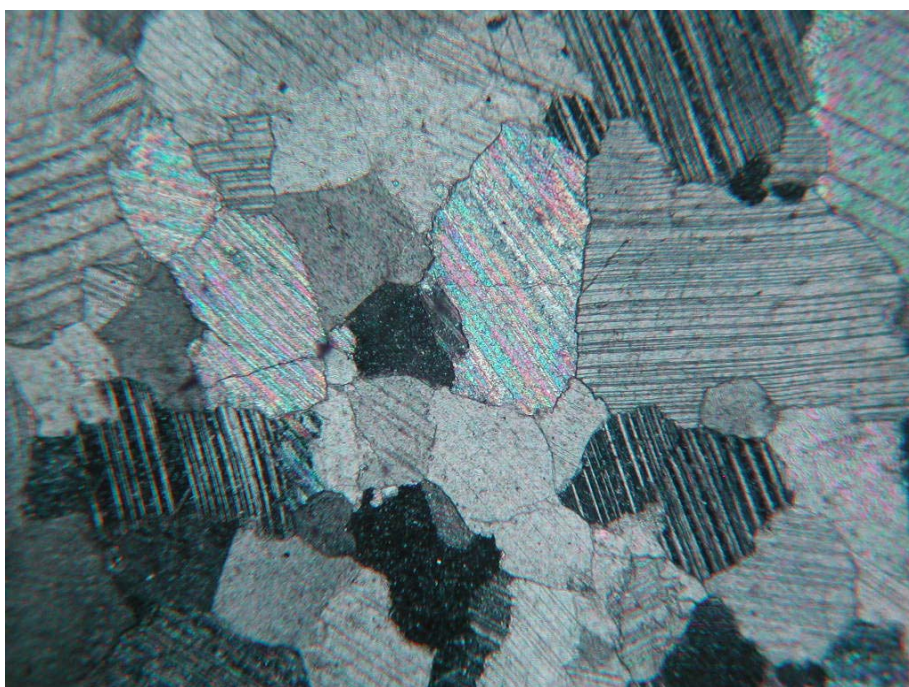


β

Σχήμα 41: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος ST-3 με 4x φακό: **α)** Καθαρό μόνο με πολωτή, **β)** Καθαρό με πολωτή και αναλυτή

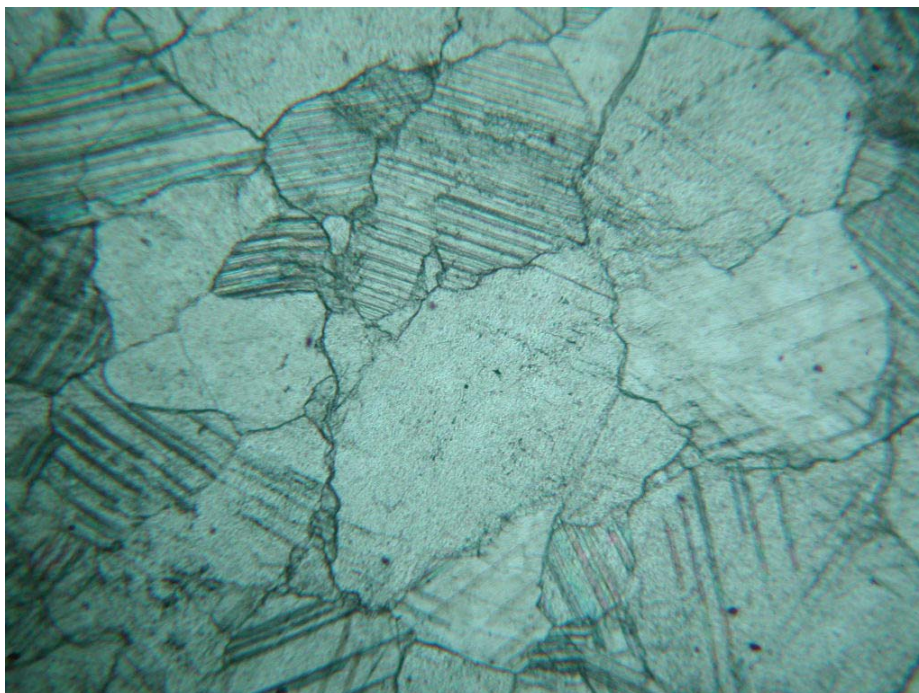


α

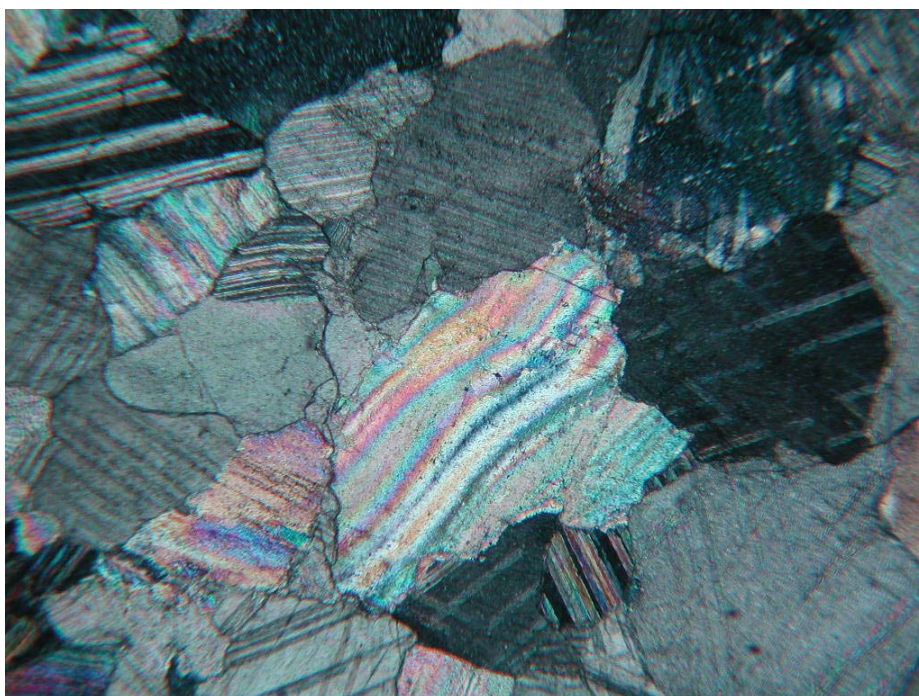


β

Σχήμα 42: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος BTH-1 με 4x φακό: **α)** Καθαρό μόνο με πολωτή, **β)** Καθαρό με πολωτή και αναλυτή

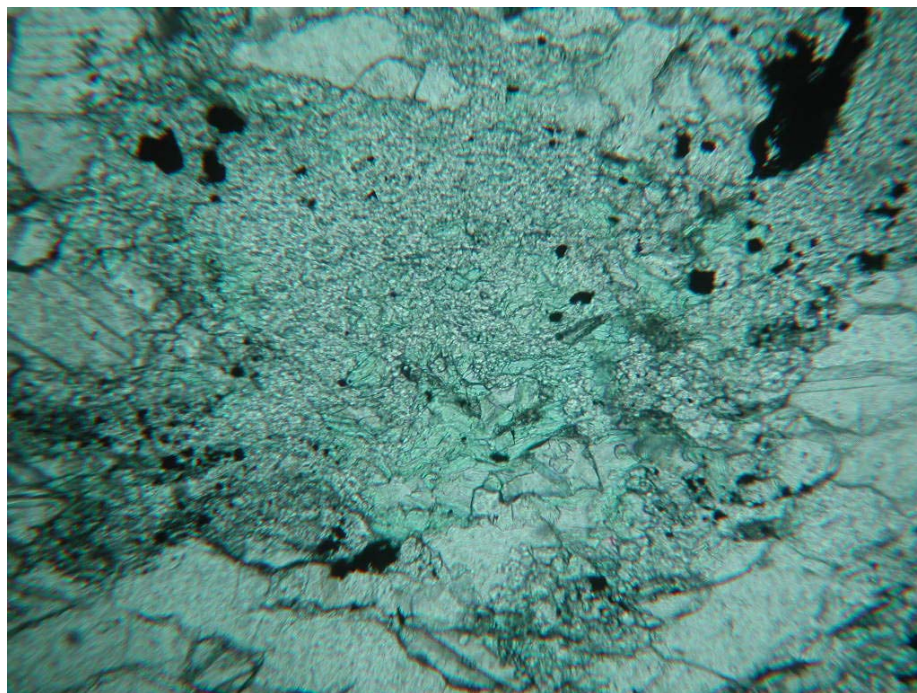


α

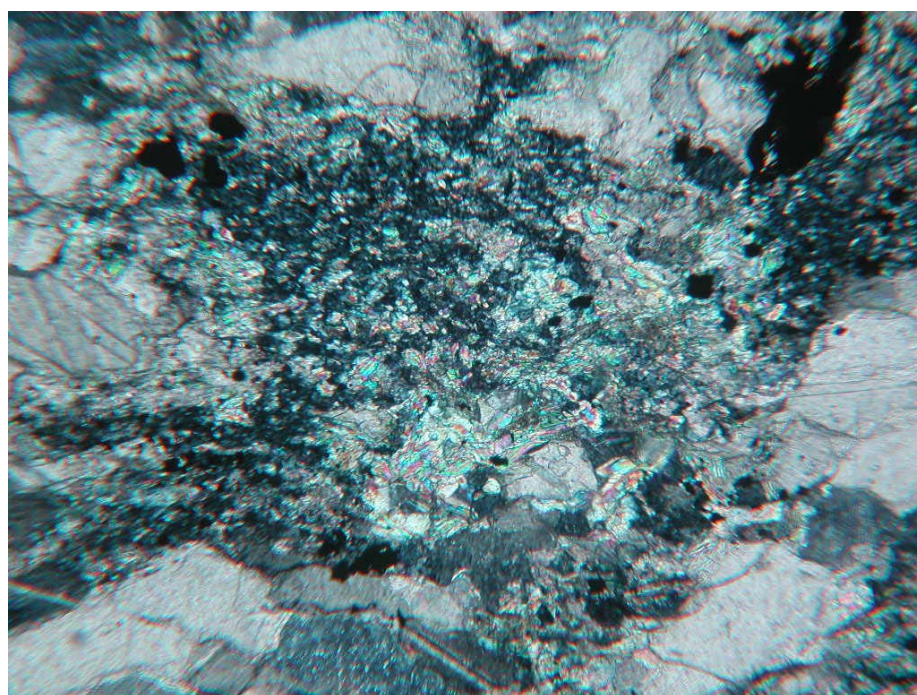


β

Σχήμα 43: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος BTH-2A με 4x φακό:**α)** Καθαρό μόνο με πολωτή, **β)**Καθαρό με πολωτή και αναλυτή

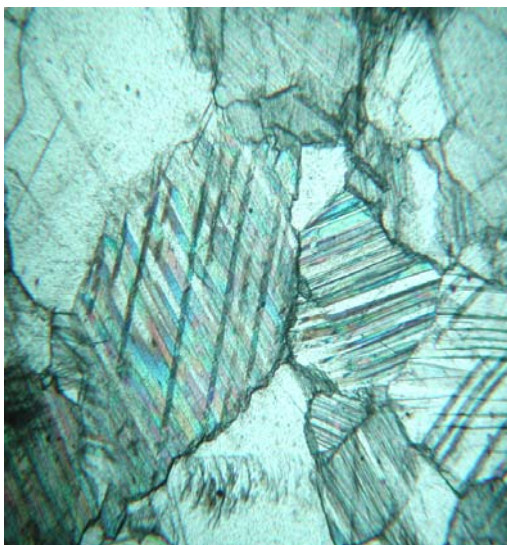


α

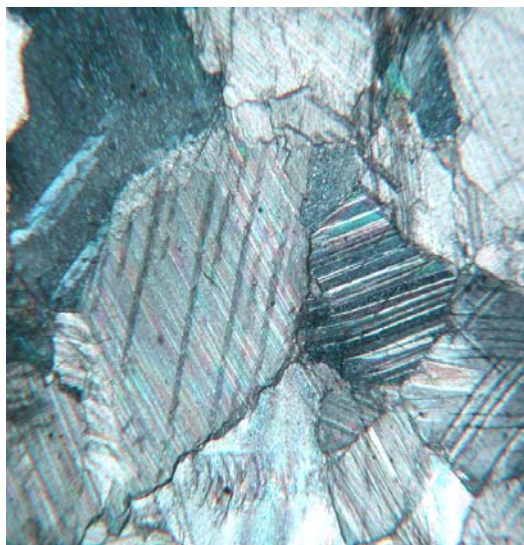


β

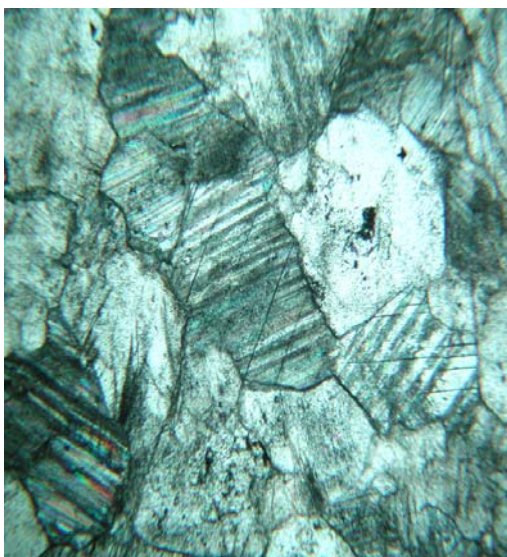
Σχήμα 44: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος BTH-2B με 6,3x φακό: **α)** Ανθρακικά διαλύματα με χλωρίτη μόνο με πολωτή, **β)** Ανθρακικά διαλύματα με χλωρίτη με πολωτή και αναλυτή



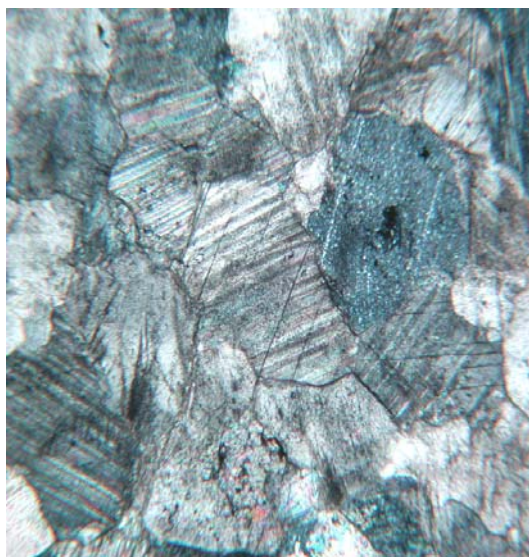
α



β



γ



δ

Σχήμα 45: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του δείγματος ΒΤΗ-3 με φακό 4x και 6,3x: **α)**Καθαρό μόνο με πολωτή, **β)**Καθαρό με πολωτή και αναλυτή, **γ)**Ανθρακικά διαλύματα του δείγματος μόνο με πολωτή, **δ)** Ανθρακικά διαλύματα με πολωτή και αναλυτή

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Αλεξιάδης Κ. « Σημειώσεις Ενόργανης Ανάλυσης ». Έκδοση Πανεπιστημιακό τυπογραφείο, Θεσσαλονίκη (1980).
- 2) Annual Book of ASTM STANDARDS « Building Seals and Sealant, Fire Standards, Dimension Stone ». Volume 04.07, Baltimore MD, U.S.A. (2001).
- 3) Annual Book of ASTM STANDARDS « Building Seals and Sealant, Fire Standards, Dimension Stone ». Volume 04.07, Baltimore MD, U.S.A. (2005).
- 4) Βαριάτζας Κ. « Η Συμβολή της Γεωλογίας στην Έρευνα και Εκμετάλλευση Λατομείων ». Έκδοση Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Θεσσαλονίκη (1989).
- 5) Din. « Prüfung von Naturstein. Bestimmung der Dichte. Rohdichte, Reindichte, Dichtigkeitgrad, Gesamtporosität », Taschenbuch 79, Bauleistungen 10 Vob, Beuth Bauverlag (1980).
- 6) Din. « Prüfung von Naturstein. Bestimmung der Dichte. Rohdichte, Reindichte, Dichtigkeitgrad, Gesamtporosität » Taschenbuch 76, Bauleistungen 10 Vob, Beuth Bauverlag (1979).
- 7) Dinter D. A. & Royden L. « Late Cenozoic Extension in Northeastern Greece: Stymon Valley Detachment and Rhodope Metamorphic Core Complex » Geology. (1993).
- 8) Δημητριάδης Σ. « Εισαγωγή στην Πετρολογία των Μεταμορφωμένων Πετρωμάτων ». Έκδοση Γιαχούδη – Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη (1988).
- 9) Δημόπουλος Γ. « Τεχνική Γεωλογία ». Έκδοση Γιαχούδη – Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη (1986).
- 10) Δρακούλης Αλέξανδρος «Μέθοδος Hanawalt», προφορική πληροφόρηση, Θεσσαλονίκη (2006).
- 11) « Ehlers E. G. and Blatt H. «Petrology igneous, sedimentary, and metamorphic», W. H. Freeman and company, San Francisco (1982).
- 12) « Εργαστήριο Λίθος », Αθήνα (2000).
- 13) Καντηράνης Ν., Κασώλη – Φουρναράκη Α. , Φιλιππίδης Α. και Φιλιππίδης Σ. « Ο Ρόλος της Γεωφυσικής Μεθόδου VLF, καθώς και της Ορυκτολογικής και της Χημικής Σύστασης των Δολομιτικών και Ασβεστιτικών Ελληνικών Μαρμάρων ».

Πρακτικά 2^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου « Το Ελληνικό Μάρμαρο ». Έκδοση Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. και Δ.ΕΘ. – HELEXPO A.E., Θεσσαλονίκη (2000).

14) Μουντράκης Δ. « Γεωλογία της Ελλάδας ». Έκδοση University Studio Press, Θεσσαλονίκη (1985).

15) Mposkos E., Liati A. , Katagas C., Arvanitides N. « Petrology of the Metamorphic Rocks of Wesern Rhodope, Drama Area, N. Greece ». Geol. Rhodopica, 2. (1990).

16) Papanikolaou, D. & Panagopoulos, A. « On the Stuctural Style of the South-ern Rhodope ». Geol. Balc., 11 (1981).

17) Ρεγγούζας Χ. και Σωτηρέλης Γ., Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας - Θράκης, Τμήμα Διαχείρισης και Σχεδιασμού Υδατικών Πόρων, Καβάλα (2004).

18) Σαπουντζής Η. και Χριστοφίδης Γ. «Ορυκτοδιαγνωστική», Univercity Studio Press, Θεσσαλονίκη (1985).

19) Σκλαβούνος Σ. « Εργαστηριακές Μέθοδοι Έρευνας Ορυκτών ». Έκδοση Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο, Θεσσαλονίκη (1990).

20) Τσιραμπίδης Α. « Τα Ελληνικά Μάρμαρα και άλλα Διακοσμητικά Πετρώματα ». Έκδοση University Studio Press, Θεσσαλονίκη (1996).

21) Τσολερίδης Γ. Γεωλόγος της εταιρίας « Παυλίδης Μάρμαρα – Γρανίτες Α.Ε.» Δράμα (2004).

22) Χατζηπαναγής Ι. και Βουγιούκας Δ. « Τα Μάρμαρα της Ανατολικής Μακεδονίας. Βασικοί παράγοντες που Χαρακτηρίζουν την Εμπορικότητά τους σαν Διακοσμητικά Πετρώματα. Ποιότητες – Παραγωγή – Τιμές – Αποθέματα ». Πρακτικά 2^{ου} Συνεδρίου της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας και Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας. Έκδοση Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο, Θεσσαλονίκη (2005).

23) Χριστοδουλόπουλος Χ. Και Μπόϊντας Χ. « Ορυκτολογική – Ορυκτοχημική Σύσταση Φυσικομηχανικές – Τεχνικές Ιδιότητες Ελληνικών Μαρμάρων », Κοζάνη (1995).