



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

Εργαστηριακή διερεύνηση της εξόρυξης
ασβεστολίθου περιοχής Πρεβέζης με μηχανικά μέσα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΛΑΖΑΡΟΣ Β. ΣΩΤΗΡΗΣ

Επιβλέπων: Θεόδωρος Ν. Μιχαλακόπουλος
Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2011



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

Εργαστηριακή διερεύνηση της εξόρυξης
ασβεστολίθου περιοχής Πρεβέζης με μηχανικά μέσα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΛΑΖΑΡΟΣ Β. ΣΩΤΗΡΗΣ

Επιβλέπων: Θεόδωρος Ν. Μιχαλακόπουλος
Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις ___/___/2011

Θ. Μιχαλακόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Γ. Παναγιώτου, Καθηγητής ΕΜΠ

Μ. Μενεγάκη, Λέκτορας ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2011

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	viii
SUMMARY	x
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	xii
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Ορισμός της εξόρυξης.....	1
1.2 Μέθοδοι εξόρυξης πετρωμάτων.....	1
1.2.1 Εξόρυξη σε λατομείο αδρανών υλικών	2
1.2.2 Προβλήματα της εξόρυξης με εκρηκτικές ύλες	3
1.3 Αντικειμενικός σκοπός	4
1.4 Οργάνωση της διπλωματικής.....	5
1.5 Οριοθέτηση της διπλωματικής εργασίας.....	6
2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ – ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΥ.....	7
2.1 Ορυκτά	7
2.2 Πετρώματα	7
2.2.1 Εκρηξιγενή πετρώματα	8
2.2.2 Μεταμορφωσιγενή πετρώματα.....	8
2.2.3 Ιζηματογενή πετρώματα.....	9
2.3 Ασβεστόλιθος.....	10
2.4 Αδρανή υλικά	14
3 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ & ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥΣ.....	16
3.1 Περιοχή δειγματοληψίας	16
3.1.1 Γενικά	16
3.1.2 Ζώνες ευαισθησίας.....	17
3.1.3 Τρόπος μετάβασης στο λατομείο	17
3.2 Χαρακτηριστικά Φυσικού Περιβάλλοντος.....	17
3.2.1 Τοπιολογικά Στοιχεία.....	17
3.2.2 Έδαφος	18
3.2.3 Γεωλογικά Στοιχεία.....	19
3.2.4 Κλιματολογικά Στοιχεία.....	20
3.3 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής δειγματοληψίας	22
3.3.1 Φωτογραφικό υλικό από το λατομείο και την ευρύτερη περιοχή.....	23
3.4 Μέθοδος Εκμετάλλευσης	23
3.5 Μηχανική Συμπεριφορά Ακέραιου Πετρώματος.....	26
3.6 Χημική ανάλυση ασβεστόλιθου	26
3.6.1 Μέθοδος XRF (Χημική ανάλυση με φθορισμό ακτίνων Χ)	28
3.6.1.1 Πλεονεκτήματα μεθόδου XRF	29
3.6.2 Ορυκτολογική ανάλυση ασβεστόλιθου	29
4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΚΟΠΗΣ	34
4.1 Μηχανική της κοπής πετρωμάτων	34
4.2 Συμπεριφορά του πετρώματος στην κοπή.....	35
4.2.1 Πλαστική συμπεριφορά	35
4.2.2 Ψαθυρή συμπεριφορά	36
4.3 Είδη κοπτικών εργαλείων.....	40
4.4 Κοπτικά Συρόμενου Τύπου.....	46
4.4.1 Θεωρία κοπής Merchant	46
4.4.1.1 Βασικές παραδοχές.....	47
4.4.1.2 Εξισώσεις-μαθηματική απεικόνιση	48
4.4.2 Θεωρία Evans	51
4.4.2.1 Γενική θεωρία κοπής Evans	52
4.4.2.2 Απλοποιημένη θεωρία κοπής Evans.....	52
4.4.2.3 Θεωρία Evans για αμβλείες σφήνες	53
4.4.2.4 Κοπτικά σημειακής προσβολής σύμφωνα με τη θεωρία Evans	54
Μηχανισμός (Γενική θεωρία κοπής)	54

4.4.2.5	Εξισώσεις-Μαθηματική απεικόνιση	56
4.4.3	Θεωρία Nishimatsu	59
4.4.3.1	Βασικές παραδοχές	60
4.4.3.2	Εξισώσεις-Μαθηματική απεικόνιση	61
5	ΕΞΟΡΥΞΙΜΟΤΗΤΑ & ΕΙΔΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	63
5.1	Εξορυξιμότητα.....	63
5.1.1	Η έννοια της οικονομικότητας.....	64
5.1.2	Χαρακτηριστικά του πετρώματος που επηρεάζουν την εξορυξιμότητα	64
5.1.3	Η φθορά των κοπτικών στην εξόρυξη.....	65
5.1.4	Μηχανισμός της φθοράς των κοπτικών εργαλείων	67
5.2	Ειδική ενέργεια εκσκαφής	69
5.2.1	Παράμετροι που επηρεάζουν την ειδική ενέργεια εκσκαφής.....	70
5.2.1.1	Χαρακτηριστικά (ιδιότητες) του πετρώματος	70
5.2.1.2	Χαρακτηριστικά της κοπής	71
5.3	Υπολογισμός ειδικής ενέργειας κοπής.....	74
5.3.1	Υπολογισμός ειδικής ενέργειας από θεωρίες κοπής	74
5.3.2	Υπολογισμός ειδικής ενέργειας από εμπειρικές σχέσεις και διαγράμματα.....	76
5.3.3	Υπολογισμός ειδικής ενέργειας από εργαστηριακές δοκιμές κοπής	77
6	SURFACE MINER	80
6.1	Χρησιμότητα του Surface miner	80
6.2	Συγκρότηση του Surface Miner	84
6.3	Τύποι Surface Miner	87
6.4	Κοπτικά εργαλεία μηχανήματος	89
6.5	Διαδικασία εξόρυξης ασβεστόλιθου	90
6.6	Διαχωρισμός ανάλογα με τον τρόπο φόρτωσης	91
6.7	Λειτουργικά χαρακτηριστικά	93
6.8	Προβλήματα από την χρήση του Surface Miner	94
6.9	Διαγράμματα λειτουργίας του Surface Miner	95
7	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΚΟΠΗΣ	101
7.1	Γενικά	101
7.2	Εργαστηριακή διάταξη	102
7.2.1	Οριζόντια μηχανική ταχυπλάνη	103
7.2.2	Δυναμόμετρο.....	113
7.2.3	Μονάδα ελέγχου δυναμόμετρου με ενισχυτή σήματος.....	114
7.2.4	Κάρτα εισαγωγής δεδομένων στον υπολογιστή.....	114
7.2.5	Υπολογιστής και λογισμικό καταγραφής και επεξεργασίας σήματος	115
7.3	Πειραματική διαδικασία	115
7.3.1	Χρήσιμα στοιχεία για τους υπολογισμούς	117
8	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ.....	122
8.1	Δειγματοληψία-Προετοιμασία δοκιμών.....	122
8.1.1	Επί τόπου δειγματοληψία.....	123
8.1.2	Δειγματοληψία στο εργαστήριο	123
8.1.3	Γεωμετρικά χαρακτηριστικά.....	125
8.1.4	Προετοιμασία - Επεξεργασία δοκιμών	126
8.1.5	Απαιτούμενος αριθμός δοκιμών	128
8.2	Δοκιμή Υπερήχων.....	129
8.2.1	Διάδοση κυμάτων.....	129
8.2.2	Ταχύτητα διάδοσης υπερήχων.....	130
8.2.3	Συσχέτιση ιδιοτήτων και μεταβλητών	132
8.2.4	Πειραματικό μέρος	140
8.3	Δοκιμές εφελκυσμού	142
8.3.1	Άμεση δοκιμή εφελκυσμού	142
8.3.2	Έμμεσες δοκιμές εφελκυσμού.....	143
8.3.2.1	Δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης (Brazilian tensile strength test).....	144
8.4	Δοκιμή Cerchar	149

8.4.1	Γενικά	149
8.4.2	Σκοπός	149
8.4.3	Πειραματική συσκευή	150
8.4.4	Πειραματική διαδικασία	151
8.4.5	Πειραματικά αποτελέσματα	156
8.5	Προσδιορισμός της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη.....	162
8.5.1	Παράμετροι που επηρεάζουν την αντοχή	162
8.5.2	Ελαστική συμπεριφορά & ελαστικές σταθερές	166
8.5.3	Μέτρο ελαστικότητας Young	169
8.5.4	Σκοπός	172
8.5.5	Εκτέλεση δοκιμής	173
8.5.6	Τοποθέτηση των ηλεκτρικών μετρητών παραμόρφωσης	174
8.5.7	Υπολογισμοί.....	175
8.5.8	Πειραματικά αποτελέσματα	175
8.6	Δοκιμή Shore	178
8.6.1	Γενικά	178
8.6.2	Σκοπός	179
8.6.3	Σκληροσκόπιο Shore (συσκευή)	180
8.6.4	Πειραματική διαδικασία	182
8.6.5	Εκτέλεση δοκιμής	183
8.6.6	Πειραματικά αποτελέσματα	184
9	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	187
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	192
	Παράρτημα 1	194
	Παράρτημα 2	207
	Παράρτημα 3	210

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1. Τοπιολογικά στοιχεία λατομείου αδρανών υλικών	18
Πίνακας 3.2. Κλιματολογικά στοιχεία στην περιοχή του λατομείου	21
Πίνακας 3.3. Χαρακτηριστικά της εκρηκτικής ύλης	24
Πίνακας 3.4. Τυπικά στοιχεία μελέτης	27
Πίνακας 3.5. Αποτελέσματα χημικής ανάλυσης ασβεστολίθου	27
Πίνακας 3.6. Στοιχεία του ορυκτού ασβεστίτη	30
Πίνακας 3.7. Στοιχεία του ορυκτού χαλαζία	31
Πίνακας 3.8. Στοιχεία του ορυκτού ανκερίτη	32
Πίνακας 3.9. Στοιχεία του ορυκτού μοσχοβίτη	33
Πίνακας 4.1. Χαρακτηρισμός ψαθυρότητας-πλαστικότητας πετρώματος κατά Thuго (Αναγνώστου 2006)	39
Πίνακας 4.2. Καταλληλότητα κοπτικών εργαλείων βάσει της αντοχής του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη κατά Kramadibrata (Αναγνώστου 2006).	43
Πίνακας 4.3. Γενικός συμβολισμός	46
Πίνακας 6.1. Χαρακτηριστικά του Surface Miner 2200 SM.	87
Πίνακας 6.2. Χαρακτηριστικά του Surface Miner 2500SM.	88
Πίνακας 6.3. Χαρακτηριστικά του Surface Miner 4200SM (για σκληρά πετρώματα).	88
Πίνακας 6.4. Χαρακτηριστικά του Surface Miner 4200SM (για μαλακά πετρώματα).	88
Πίνακας 6.5. Χαρακτηριστικά του Dinting machine 2600.	89
Πίνακας 7.1. Στοιχεία δοκιμών που υποβλήθηκαν στη δοκιμή της κοπής.	118
Πίνακας 7.2. Τα βάρη των δοκιμών μετά την κάθε κοπή που πραγματοποιήθηκε.	118
Πίνακας 7.3. Τα αναλυτικά αποτελέσματα των υπολογισμών.	119
Πίνακας 7.4. Ειδική ενέργεια κοπής του ασβεστολίθου που μελετάμε.	120
Πίνακας 7.5. Υπολογισμός του συντελεστή κοπής για το κάθε δοκίμιο.	120
Πίνακας 8.1. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά δοκιμών	125
Πίνακας 8.2. Διακυμάνσεις των V_p και V_s για μερικές κατηγορίες πετρωμάτων.	134
Πίνακας 8.3. Ταχύτητες διάδοσης Ρ-κυμάτων και S-κυμάτων, για διάφορους τύπους πετρωμάτων με ύπαρξη ασυνεχειών και χωρίς ασυνέχειες (Νομικός 2008).	139
Πίνακας 8.4. Στοιχεία για τα μήκη των δοκιμών.	141
Πίνακας 8.5. Στοιχεία για τους χρόνους της δοκιμής.	141
Πίνακας 8.6. Αποτελέσματα από τη δοκιμή υπερήχων.	141
Πίνακας 8.7. Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας δοκιμών ύστερα από υπολογισμούς.	142
Πίνακας 8.8. Στοιχεία που προέκυψαν από τη δοκιμή της αντιδιαμετρικής θλίψης.	148
Πίνακας 8.9. Τα μήκη των δοκιμών που εξετάστηκαν στο εργαστήριο.	148
Πίνακας 8.10. Κατάταξη πετρωμάτων με βάση τον δείκτη αποξεστικότητας CAI (Michalakovoulos et al.,2005).	155
Πίνακας 8.11. Στοιχεία δοκιμίου Pa_03 που υποβλήθηκε σε ucs.	176
Πίνακας 8.12. Συνοπτικά αποτελέσματα της δοκιμής ucs για το δοκίμιο Pa_03.	176
Πίνακας 8.13. Στοιχεία δοκιμίου Pa_05 που υποβλήθηκε σε ucs.	176
Πίνακας 8.14. Συνοπτικά αποτελέσματα της δοκιμής ucs για το δοκίμιο Pa_05.	177
Πίνακας 8.15. Στοιχεία δοκιμίου Pa_06 που υποβλήθηκε σε ucs.	177
Πίνακας 8.16. Συνοπτικά αποτελέσματα της δοκιμής ucs για το δοκίμιο Pa_06.	177
Πίνακας 8.17. Συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τη δοκιμή σκληρομέτρησης.	184
Πίνακας 8.18. Συντελεστές πλαστικότητας των δοκιμών.	184

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1. Υφή και χρωματισμός ασβεστολίθου	10
Σχήμα 2.2. Καρστικοποίηση του Ασβεστόλιθου.....	12
Σχήμα 2.3. Λατομεία αδρανών στον Ελληνικό χώρο (latomet.gr).....	15
Σχήμα 3.1. Απεικόνιση σημείου λήψης ασβεστολίθου	16
Σχήμα 3.2. Γεωλογικός χάρτης Ι.Γ.Μ.Ε για την περιοχή του λατομείου	22
Σχήμα 3.3. α) Περιοχή λατομείου β) Μεταφορικές ταινίες λατομείου	23
Σχήμα 3.4. α) Εξορυγμένο υλικό με τη χρήση εκρηκτικών β) Διαμόρφωση βαθμίδων λατομείου	23
Σχήμα 3.5. α) Προστασία διατρήματος μετά την όρυξη του β) Διάταξη διατρημάτων πριν την εξόρυξη.....	25
Σχήμα 4.1. Τύποι αποσύνθεσης του πετρώματος κατά την κοπή κατά Deketh et al (Αναγνώστου 2006)	35
Σχήμα 4.2. Διακύμανση της δύναμης κοπής συναρτήσει του χρόνου για α) πολύ πλαστικό, b) πλαστικό, c) ψαθυρό, d) πολύ ψαθυρό πέτρωμα (Παναγιώτου 1992).	37
Σχήμα 4.3. Μεταβολή ψαθυρότητας-πλαστικότητας πετρώματος συναρτήσει του εντατικού πεδίου κατά Hudson & Harrison (Αναγνώστου 2006).....	38
Σχήμα 4.4. Δυνάμεις που προκαλούν θραύση του πετρώματος για κοπτικά α) συρόμενου τύπου, β) τύπου δίσκου κατά Hood (Αναγνώστου 2006).	40
Σχήμα 4.5. Κοπτικά συρόμενου τύπου: α), β), γ) κοπτικά τύπου σμίλης, δ) κοπτικό σημειακής προσβολής κατά Nishimatsu (Αναγνώστου 2006).	41
Σχήμα 4.6. Κοπτικά τύπου δίσκου: α) κοπτικό δίσκου, β) κοπτικό οδοντωτού δίσκου, γ) κοπτικό περιστρεφόμενο τυμπάνου με κομβία κατά Roxborough (Αναγνώστου 2006).	42
Σχήμα 4.7. Συμβολισμός σε κοπτικά συρόμενου τύπου	43
Σχήμα 4.8. Συμβολισμός σε κοπτικά τύπου δίσκου κατά Snowdon et al (Αναγνώστου 2006).....	45
Σχήμα 4.9. Διάγραμμα δυνάμεων κατά τη θεωρία Merchant (Αναγνώστου 2006).	48
Σχήμα 4.10. Επίδραση της ορθής τάσης F_{ns} στην διατμητική αντοχή του επιπέδου αστοχίας, (Merchant, 1944).	50
Σχήμα 4.11. Κοπή πλαστικού υλικού (μέταλλου) με δημιουργία συνεχούς θραύσματος και εμφανές επίπεδο αστοχίας, (Αναγνώστου 2006).	51
Σχήμα 4.12. Διάγραμμα δυνάμεων για μη αιχμηρή σφήνα (αμβλεία) κατά τη θεωρία Evans (Αναγνώστου 2006).....	53
Σχήμα 4.13. Διάγραμμα δυνάμεων κατά την απλοποιημένη θεωρία Evans (Παναγιώτου 2006). ...	55
Σχήμα 4.14. Κοπή με ασύμμετρη σφήνα (Αναγνώστου 2006).....	58
Σχήμα 4.15. Μηχανισμός κοπής πετρώματος κατά Nishimatsu (Αναγνώστου 2006)	60
Σχήμα 4.16. Διάγραμμα δυνάμεων και κατανομή τάσης κατά τη θεωρία Nishimatsu (Αναγνώστου 2006)	61
Σχήμα 5.1. Μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης ενέργειας εκσκαφής συναρτήσει της φθοράς των κοπτικών εργαλείων (Παναγιώτου 2006).	67
Σχήμα 5.2. Επίδραση της επίπεδης επιφάνειας φθοράς του κοπτικού εργαλείου στην δύναμη κοπής (Παναγιώτου 2006).....	68
Σχήμα 5.3. Επίδραση της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη στην ειδική ενέργεια εκσκαφής κατά Barendsen (Αναγνώστου 2006).	70
Σχήμα 5.4. Επίδραση της απόστασης των ασυνεχειών ιλυολιθικών πετρωμάτων στην ειδική ενέργεια κοπής κατά Fowell&McFeat-Smith (Αναγνώστου 2006).	71
Σχήμα 5.5. Ειδική ενέργεια εκσκαφής συναρτήσει του βάθους κοπής για α) κοπτικό τύπου δίσκου κατά Fowell, β) κοπτικό συρόμενου τύπου (Αναγνώστου 2006).	72
Σχήμα 5.6. Αλληλεπίδραση διαδοχικών κοπτικών κατά Poole (Αναγνώστου 2006).	73
Σχήμα 5.7. Επίδραση της ταχύτητας κοπής στην ειδική ενέργεια κοπής κατά Demou et al (Αναγνώστου 2006).....	74
Σχήμα 5.8. Μηχανισμός κοπής και απεικόνιση συμβόλων.	75
Σχήμα 5.9. Συσχέτιση αντοχής σε θλίψη με ειδική ενέργεια κοπής για α) όλους του τύπους πετρωμάτων, β) ιζηματογενή πετρώματα κατά Roxborough (Αναγνώστου 2006).	77
Σχήμα 6.1. Επιλεκτική εξόρυξη άνθρακα.	81
Σχήμα 6.2. Εξόρυξη ασβεστολίθου σε βαθμίδες και δυνατότητα δημιουργίας αυλακώσεων.	82
Σχήμα 6.3. Όρυξη στο πάτωμα ενός υπόγειου έργου.....	83
Σχήμα 6.4. Διαμόρφωση δρόμων για καλύτερη προσπέλαση τόσο α) σε υπόγεια έργα, β) όσο και σε υπαίθρια.	84
Σχήμα 6.5. Απεικόνιση των κοπτικών εργαλείων και του κοπτικού τυμπάνου.	86

Σχήμα 6.6. Το Surface Miner κατά τη διάρκεια της εξόρυξης.	91
Σχήμα 6.7. Φόρτωση του εξορυγμένου υλικού μπροστά από το μηχάνημα κοπής.....	92
Σχήμα 6.8. Φόρτωση του εξορυγμένου υλικού πλευρικά του μηχανήματος κοπής.....	93
Σχήμα 6.9. Εναπόθεση του υλικού είτε α) πλευρικά είτε β) μπροστά του μηχανήματος εξόρυξης χωρίς χρήση φορτωτή.	93
Σχήμα 6.10. Κοπτικό άκρο κατά τη διάρκεια της κοπής.....	94
Σχήμα 6.11. Συσχέτιση της απόδοσης του μηχανήματος με την αντοχή του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη.	95
Σχήμα 6.12. Σχέση οικονομικότητας και αντοχής πετρώματος σε μονοαξονικής θλίψης.	96
Σχήμα 6.13. Σχέση μεταξύ αποτελεσματικότητας όσο αναφορά το χρόνο κοπής και του μήκους (διαδρομής) της κοπής.	97
Σχήμα 6.14. Διαδρομές του μηχανήματος εξόρυξης σε ένα υπαίθριο μεταλλείο.	98
Σχήμα 6.15. Απόδοση του μηχανήματος 2500SM συναρτήσει της αντοχής του πετρώματος σε UCS	99
Σχήμα 6.16. Τρόπος εξόρυξης με βάση την ταχύτητα του σεισμικού κύματος.....	100
Σχήμα 7.1. Προδιαγραφές εργαστηριακής δοκιμής κοπής για τον υπολογισμό του δείκτη ειδικής ενέργειας εκσκαφής κατά Fowell (Αναγνώστου 2006).	102
Σχήμα 7.2. Κινήσεις κοπτικού και επιφάνειας κατεργασίας σε ένα πλήρη κύκλο εργασίας πλανίσματος (Αναγνώστου 2006).	104
Σχήμα 7.3. Βασικά μέρη ταχυπλάνης (Αναγνώστου 2006).....	105
Σχήμα 7.4. Οριζόντια μηχανική ταχυπλάνη Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων Ε.Μ.Π.	105
Σχήμα 7.5. Συνδυασμοί οδοντοτροχών για τη μετάδοση της κίνησης σε πλάνη (Αναγνώστου 2006).	107
Σχήμα 7.6. Μηχανισμός ταλαντωτή (Αναγνώστου 2006).....	108
Σχήμα 7.7. Μεταβολή διαδρομής της κεφαλής (Αναγνώστου 2006).....	109
Σχήμα 7.8. Μεταβολή της ταχύτητας του κοπτικού κατά την ενεργητική και τη νεκρή διαδρομή (Αναγνώστου 2006).....	110
Σχήμα 7.9. Σιαγωνωτή μέγγενη ειδικά σχεδιασμένη για τη συγκράτηση κυλινδρικών δοκιμίων (Αναγνώστου 2006).....	111
Σχήμα 7.10. Εργαλειοφορείο (Αναγνώστου 2006).....	112
Σχήμα 7.11. Εργαλειοφορείο πλάνης Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων.....	112
Σχήμα 7.12. Αισθητήρας τριών επιπέδων (Αναγνώστου 2006).....	114
Σχήμα 7.13. Πρόγραμμα Dynoware για την καταγραφή και επεξεργασία σήματος.....	115
Σχήμα 8.1. Καροταρία εργαστηρίου για τη λήψη δοκιμίων.	124
Σχήμα 8.2. Αντιπροσωπευτική δειγματοληψία δοκιμίων.....	125
Σχήμα 8.3. Τροχός κοπής για τη διαμόρφωση των δοκιμίων.	127
Σχήμα 8.4. Κίνηση των σωματιδίων σε συνάρτηση με τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος (Νομικός 2008)	130
Σχήμα 8.5. Σχέση ταχυτήτων P και S κυμάτων από δοκιμές υπερήχων για διάφορα πετρώματα του Ελληνικού χώρου (Κούκης, Σαμπατακάκης 2002).	133
Σχήμα 8.6. Σχέση ξηρής πυκνότητας (ρ_d) και ταχυτήτων υπερήχων για ασβεστολιθικά πετρώματα του Ελληνικού χώρου (Κούκης, Σαμπατακάκης 2002).	133
Σχήμα 8.7. Σχέση πορώδους (n) και ταχυτήτων υπερήχων για διάφορα πετρώματα του Ελληνικού χώρου (Κούκης, Σαμπατακάκης 2002).	134
Σχήμα 8.8. Μεταβολή της εφελκυστικής (σ_θ) και της θλιπτικής (σ_r) τάσεως κατά μήκος της διαμέτρου Y-Y' για φόρτιση υπό γωνία $2\theta=9,50$	145
Σχήμα 8.9. Εργαστηριακή μηχανή φόρτισης (α) και δακτύλιος προσαρμογής δοκιμίου (β).	147
Σχήμα 8.10. Σχέδιο της πειραματικής συσκευής για τον προσδιορισμό του δείκτη αποξεστικότητας Cerchar (Plinninger 2003).	150
Σχήμα 8.11. Συσκευή Cerchar στο εργαστήριο εξόρυξης πετρωμάτων.	151
Σχήμα 8.12. Συσχέτιση τιμών μεταξύ κλίμακας Mohs και δοκιμών Cerchar για διάφορα ορυκτά.	154
Σχήμα 8.13. Επιρροή του μεγέθους του δοκιμίου στην αντοχή σε μονοαξονική θλίψη κατά Hoek & Brown.	164
Σχήμα 8.14. Ανισοτροπία αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για το γνεύσιο στον Ελληνικό χώρο....	165
Σχήμα 8.15. Τυπικές καμπύλες τάσεων – παραμορφώσεων για βραχώδες υλικό.....	167
Σχήμα 8.16. Εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας (E_t).	170
Σχήμα 8.17. Μέσο μέτρο ελαστικότητας (E_{av}).	170
Σχήμα 8.18. Τέμνον (χονδρικό) μέτρο ελαστικότητας (E_S).....	171
Σχήμα 8.19. Δοκίμιο έτοιμο για τη μονοαξονική θλίψη μετά την τοποθέτηση και των strain gauges.	174

Σχήμα 8.20. Επικόλληση των μετρητών παραμόρφωσης (Σοφιανός 2008).....	175
Σχήμα 8.21. Συσκευή shore στο εργαστήριο εξόρυξης πετρωμάτων.	180
Σχήμα 8.22. Λεπτομέρεια μετρητικού οργάνου σκληροσκοπίου Shore (D model)	181
Σχήμα 8.23. Τομή του αδαμάντινου άκρου του σκληροσκοπίου Shore	182
Σχήμα 8.24. Ενδεικτικό δοκίμιο που υποβλήθηκε σε σκληρομέτρηση όπου απεικονίζονται οι γενέτειρές του.	185
Σχήμα 9.1. Συνάρτηση οικονομικότητας και μονοαξονικής θλίψης	187
Σχήμα 9.2. Σχέση κοπής και ταχύτητας υπερήχων	188
Σχήμα 9.3. Απόδοση του Surface Miner 2500 SM ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του πετρώματος	188

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως θέμα τη διερεύνηση της εξόρυξης ασβεστολίθου από την περιοχή της Πρέβεζας με μηχανικά μέσα. Συγκεκριμένα μελετήθηκε η δυνατότητα μηχανικής εξόρυξης ασβεστολίθου από το λατομείο αδρανών υλικών που βρίσκεται στην τοποθεσία Μπούφος. Η εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Εξόρυξης Πετρωμάτων της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π.

Για τον σκοπό της εργασίας, δηλαδή τη διερεύνηση της δυνατότητας μηχανικής εξόρυξης του συγκεκριμένου υλικού δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στον εργαστηριακό προσδιορισμό του δείκτη ειδικής ενέργειας. Επίσης προσδιορίστηκαν τα μηχανικά και φυσικά χαρακτηριστικά του πετρώματος που είναι διαπιστωμένο ότι σχετίζονται με τη συμπεριφορά του κατά την εξόρυξή του με μηχανικά μέσα. Συγκεκριμένα, εκτελέστηκαν οι εξής δοκιμές:

- Δοκιμή υπερήχων
- Δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης
- Δοκιμή αποξεστικότητας κατά Cerchar
- Δοκιμή μονοαξονικής θλίψης
- Δοκιμή σκληρομέτρησης με το σκληροσκόπιο Shore

Όσον αφορά στις δυνάμεις που ασκούνται στα κοπτικά εργαλεία κατά την εξόρυξη είναι δυνατόν να εκτιμηθούν τα παραπάνω μηχανικά χαρακτηριστικά με χρήση α) θεωρητικών μοντέλων όπως θεωρίες κοπής οι οποίες μελετούν τους μηχανισμούς αστοχίας των πετρωμάτων όταν προσβάλλονται από κοπτικά εργαλεία, β) εμπειρικών και ημιεμπειρικών σχέσεων οι οποίες προέρχονται από μελέτες περιπτώσεων.

Ακόμη στην εργασία γίνεται πλήρης αναφορά στην ορυκτολογική και χημική σύσταση του εξεταζόμενου πετρώματος και περιγράφεται ο τρόπος εξόρυξης του στο λατομείο αδρανών υλικών.

Τέλος δίνονται στοιχεία της λειτουργίας του εξορυκτικού μηχανήματος Surface miner. Περιγράφονται όλα τα τεχνικά του χαρακτηριστικά, οι τύποι των διαφόρων μηχανημάτων, τα προβλήματα που ενδέχεται να υπάρξουν με τη λειτουργία του αλλά και οι εφαρμογές που έχει στο πεδίο μιας εκμετάλλευσης.

Με βάση τον εργαστηριακό προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων του πετρώματος που εξετάστηκε, γίνεται μια προκαταρκτική διερεύνηση της δυνατότητας εξόρυξής του με χρήση Surface Miner και εκτίμηση του ρυθμού εξόρυξης.

SUMMARY

The subject of this diploma thesis is to determine the extraction of limestone taken from the region of Preveza by using mechanical techniques. Specifically, the extracted limestone using explosives from a limestone mine, located at 'Boufos', is examined. The experimental work was carried out at the Laboratory of Mining Engineering School of Mining & Metallurgical Engineering of NTUA.

The main purpose of the thesis was to determine the possibility of mechanical extraction of the material and for that reason the experimental determination of the specific index was a critical issue. Moreover, the mechanical and physical characteristics of the mine were determined which are associated with its behavior during mining by mechanical means. The following tests were carried out:

- Ultrasonic Test (Pundit)
- Brazilian tensile strength test
- The Cerchar abrasiveness test
- Uniaxial compression test
- Hardness test using with the Shore scleroscope

The applied forces in the cutting tools for the extraction is possible to be estimated the above mechanical properties using a) theoretical models such as cutting theories which are studying the mechanisms of rock failure when infected by cutting tools, b) and empirical and semi-empirical relationships which are derived from case studies.

In the present work, a complete reference to the mineralogical and chemical composition of the tested rock is given, and also a description of the mining of quarry digging.

Part of the work is a complete reference to the mineralogical and chemical composition of the testing rock and a short description of the mining of quarry digging.

Finally, operational details of the mining machinery 'Surface miner' are described. All the technical characteristics, different types of machines, potential problems that may occur with the operation and applications in a field of exploitation are given.

Based on the laboratory determination of the mechanical properties of the tested rock, a preliminary exploration of the possibility of using mining Surface Miner and the estimation of the rate of extraction is carried out.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον Δρ. Θεόδωρο Ν. Μιχαλακόπουλο, Επίκουρο Καθηγητή της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας που μου πρότεινε αυτό το τόσο ενδιαφέρον θέμα. Ευχαριστώ τον Δρ. Θ. Μιχαλακόπουλο για τη φροντίδα που έδειξε κατά τη διενέργεια των εργαστηριακών δοκιμών, τη συνεχή παρουσία του στο εργαστήριο και την υπόδειξη μεθόδων και λύσεων από τη μακρά εμπειρία του στον τομέα αυτό. Τέλος, θέλω να τον ευχαριστήσω για το γεγονός ότι ήταν πάντα παρών και διαθέσιμος.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό του Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων και κυρίως την Δρ. Μ. Μπασάνου για τη βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της εργασίας.

Ευχαριστώ τους εργαζομένους του Λατομείου Πρεβέζης για τη βοήθεια τους στη συλλογή και επιλογή των δειγμάτων του πετρώματος, την προθυμία τους και το χρόνο που αφιέρωσαν παρά το πιεστικό τους πρόγραμμα. Ευχαριστώ ιδιαίτερος τον κ. Νάστα Μάρκο, υπεύθυνο του Λατομείου, για τη συνεργασία του, το χρόνο που μου αφιέρωσε για να συλλέξουμε και να μεταφέρουμε τα δοκίμια αλλά κυρίως για τις χρήσιμες πληροφορίες του σε θέματα που αφορούν το λατομείο.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα λατομεία αδρανών υλικών αποτελούν ένα σημαντικό κλάδο της εξορυκτικής δραστηριότητας παγκοσμίως αλλά και στη χώρα μας. Αποτελούν έναν παραγωγικό τομέα της Ελληνικής οικονομίας που συνεισφέρει τόσο οικονομικά όσο και κοινωνικά προσφέροντας αρκετές θέσεις εργασίας. Η λειτουργία του λατομείου αποτελεί τη βάση για πολλές άλλες δραστηριότητες, όπως η οικοδομική, οι κατασκευές και η παραγωγή σκυροδέματος.

Ωστόσο ο κλάδος παρόλο που έχει αναγνωριστεί από όλους ότι είναι ανάγκη να συνεχίσει να υπάρχει αλλά και να αναπτυχθεί παρόλα αυτά δεν είναι λίγες οι φορές που δέχεται τα επικριτικά σχόλια που άλλοτε δικαιολογούνται και άλλες φορές είναι αποτέλεσμα είτε ελλιπούς γνώσης πάνω στο αντικείμενο είτε σκοπιμοτήτων.

1.1 Ορισμός της εξόρυξης

Εξόρυξη των πετρωμάτων ονομάζεται ένα σύνολο εργασιών (unit operations) που πραγματοποιούνται προκειμένου να αποσπαστεί τμηματικά το πέτρωμα από τη φυσική του θέση. Τούτο επιτυγχάνεται με την εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών που αποσκοπούν στην κατάτμηση του επί τόπου (in situ) πετρώματος σε τεμάχια κατάλληλου μεγέθους, ώστε να γίνεται με ευχέρεια η φόρτωση, μεταφορά, απόθεση ή περαιτέρω επεξεργασία (π.χ. θραύση) του εξορυγμένου πετρώματος.

1.2 Μέθοδοι εξόρυξης πετρωμάτων

Η εξόρυξη των πετρωμάτων πραγματοποιείται σήμερα με δύο βασικές και οικονομικά αποδοτικές μεθόδους οι οποίες είναι:

- Με τη χρήση εκρηκτικών υλών.
- Με τη χρήση μηχανικών μέσων εξόρυξης.

Όταν η εξόρυξη πραγματοποιείται με την χρήση εκρηκτικών υλών, η απαιτούμενη ενέργεια για τον τεμαχισμό και την απόσταση του πετρώματος από τη φυσική του θέση προέρχεται από τη χημική ενέργεια της εκρηκτικής ύλης, η οποία απελευθερώνεται κατά την έκρηξή της, μετατρέπεται σε μηχανική και υπό την μορφή κρουστικού κύματος και αερίων υπό υψηλή πίεση, ασκεί τάσεις στην μάζα του προς εξόρυξη πετρώματος τεμαχίζοντας και μετατοπίζοντάς το.

Στην περίπτωση της μηχανικής εξόρυξης των πετρωμάτων με τη χρήση μηχανικών μέσων ασκούνται τάσεις επί τμήματος της μάζας του πετρώματος οι οποίες όταν υπερβούν τις μηχανικές αντοχές του πετρώματος προκαλούν τον τεμαχισμό του και την απόσπαση τμημάτων αυτού από την φυσική τους θέση.

1.2.1 Εξόρυξη σε λατομείο αδρανών υλικών

Στις μέρες μας η εξόρυξη στα λατομεία αδρανών υλικών γίνεται κυρίως με τη χρήση εκρηκτικών υλών. Η χρήση των εκρηκτικών έχει εδραιωθεί και στην Ελλάδα έχει πλέον καθολική εφαρμογή. Ο λόγος της χρήσης των εκρηκτικών είναι το χαμηλό κόστος κτήσης τους αλλά και ο συνδυασμός κόστους και έργου όπου έργο εννοούμε τη θραύση του πετρώματος μας. Επίσης η χρήση των εκρηκτικών από κατάλληλο και εξειδικευμένο προσωπικό αποτελεί μια διαδικασία που δεν είναι ιδιαίτερα επίπονη και χρονοβόρα και επίσης πραγματοποιείται όποτε υπάρχει ανάγκη για θραυστό υλικό. Στα υπαίθρια λατομεία θα μπορούσαμε να πούμε ότι η εξόρυξη με εκρηκτικά είναι μία ανεξάρτητη λειτουργία και δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την υπόλοιπη δραστηριότητα και τη σειρά εργασιών, όπως η φόρτωση και η μεταφορά. Από την άλλη όμως τα μηχανικά μέσα πλέον χρησιμοποιούνται κυρίως στη δευτερογενή θραύση αλλά και στην επιλεκτική και τμηματική εξόρυξη.

Τα μηχανικά μέσα έχουν το πλεονέκτημα της άμεσης προσβολής του πετρώματος, της διαχείρισης των παραμέτρων της εκάστοτε εξόρυξης και της άμεσης αλλαγής του σχεδίου εξόρυξης.

1.2.2 Προβλήματα της εξόρυξης με εκρηκτικές ύλες

Η χρήση των εκρηκτικών μπορεί να έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματική ωστόσο επειδή σε πολλές των περιπτώσεων έχει γίνει μία ρουτίνα δημιουργεί και πολλά προβλήματα, τόσο στο περιβάλλον που είναι και τα ελάχιστα όπως θα αναφερθούν στη συνέχεια, όσο κυρίως στα ατυχήματα από την κακή χρήση τους ή την απροσεξία στο χειρισμό τους.

Όσον αναφορά το περιβάλλον άμα δεν προβλεφθούν κάποιες παράμετροι και δεν παρθούν κάποια μέτρα τότε μπορεί να έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

- Ποσότητες αέριων ρύπων, λόγω κυρίως κακής επιγόμεσης που να είναι ιδιαίτερα εμφανής.
- Μεγάλες ποσότητες σκόνης κατά τη διάρκεια της έκρηξης και μετά για κάποιο χρονικό διάστημα ανάλογα και με τη δυναμικότητα της έκρηξης.
- Δονήσεις από την έκρηξη στις γύρω περιοχές, πολλά προβλήματα ιδιαίτερα αν είναι κατοικήσιμες κυρίως λόγω του αιφνίδιου χαρακτήρα.
- Μπορεί να επηρεαστούν σε κάποιες περιπτώσεις οι μηχανικές αντοχές των εδαφών και των πετρωμάτων των πολύ κοντινών περιοχών.
- Από οπτικής σκοπιάς μπορεί μια αποτυχημένη ανατίναξη να καταστρέψει κάτι που δεν ήταν στα σχέδια της ανατίναξης και είχε προβλεφθεί να παραμείνει διατηρώντας μια οπτική αρμονία με το τοπίο.
- Διατάραξη του οικοσυστήματος.

Από τη μεριά της εταιρίας τα προβλήματα της χρήσης εκρηκτικών είναι τα ακόλουθα:

- Εργατικά ατυχήματα από την κακή τους χρήση και από την έλλειψη επιστημονικού και εξειδικευμένου προσωπικού.
- Απαραίτητος ο χώρος για την αποθήκευση των εκρηκτικών με όλες τις προδιαγραφές εφόσον δε γίνεται επιστροφή των εκρηκτικών.
- Δικαστικές διαμάχες που πολλές φορές είναι επίπονες αλλά και χρονοβόρες.
- Εξειδικευμένο προσωπικό και μηχανήματα.

1.3 Αντικειμενικός σκοπός

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έχει ως στόχο της την εργαστηριακή διερεύνηση της εξόρυξης ασβεστολίθου περιοχής Πρεβέζης με μηχανικά μέσα.

Θα παρουσιαστούν αναλυτικά όλες εκείνες οι παράμετροι που επηρεάζουν την κοπή – εξόρυξη των πετρωμάτων. Η ειδική ενέργεια κοπής αποτελεί ένα βασικό κομμάτι της εργασίας που θα ακολουθήσει και έχουν γίνει εργαστηριακές δοκιμές πάνω σ' αυτό. Η ειδική ενέργεια ορίζεται ως η ενέργεια που πρέπει να δαπανήσουμε προκειμένου να επιτευχθεί η θραύση μιας μονάδας συμπαγούς πετρώματος.

Η ειδική ενέργεια κοπής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο εξόρυξης δηλαδή τις παραμέτρους εκσκαφής όπως είναι η γεωμετρία του κοπτικού ή το βάθος κοπής, ωστόσο επηρεάζεται και από τις ιδιότητες του πετρώματος κάτι το οποίο και αυτό θα αναλυθεί εκτενώς στη συνέχεια.

Στην παρούσα διπλωματική θα δοθούν όλα εκείνα τα στοιχεία που έχουν σχέση με το ίδιο το πέτρωμα μας όσο και με την αλληλεπίδραση του κοπτικού μας μηχανήματος με αυτό. Συγκεκριμένα θα δοθούν στοιχεία για τις παραμέτρους της αντοχής όπως είναι χαρακτηριστικά η σκληρότητα και η μηχανική αντοχή. Στη συνέχεια για να έχουμε τεκμηριωμένα στοιχεία για την αντοχή του πετρώματος μας θα γίνουν μία σειρά από εργαστηριακές δοκιμές που είναι απαραίτητες και οι οποίες θα μας δώσουν απαντήσεις σε πολλά ερωτήματα. Επιπρόσθετα, θα γίνει

αναφορά στην προέλευση του ασβεστολίθου και την ορυκτολογική του σύσταση, θα παρουσιαστούν θεωρίες και μαθηματικά μοντέλα που σχετίζονται με την κοπή και την ειδική ενέργεια ενώ τέλος θα μιλήσουμε και για τον μηχανικό εξοπλισμό στον τομέα της εξορυκτικής δραστηριότητα.

1.4 Οργάνωση της διπλωματικής

Το κεφάλαιο 1 είναι η εισαγωγή αυτής της διπλωματικής εργασίας. Εξηγούνται ο αντικειμενικός σκοπός, τα όρια και η οργάνωση της.

Το κεφάλαιο 2 παρουσιάζει στοιχεία για τον ασβεστόλιθο καθώς και για τα πετρώματα και τα αδρανή υλικά.

Το κεφάλαιο 3 περιλαμβάνει πληροφορίες για τη χημική και ορυκτολογική σύσταση του ασβεστόλιθου. Δίνονται επίσης στοιχεία για την περιοχή δειγματοληψίας και εξόρυξης του όπως και για τη μηχανική συμπεριφορά του ακέραιου πετρώματος.

Το κεφάλαιο 4 περιγράφει τη μηχανική της κοπής των πετρωμάτων και σε συνέχεια τη συμπεριφορά των πετρωμάτων στην κοπή. Παρατίθενται στον αναγνώστη τα είδη των κοπτικών εργαλείων, οι θεωρίες κοπής και τέλος τα κοπτικά μηχανήματα συρόμενου τύπου.

Το κεφάλαιο 5 αναφέρεται στην έννοια της εξορυξιμότητας, στην φθορά των κοπτικών εργαλείων κατά τη διάρκεια της κοπής και σε ξεχωριστή ενότητα η πολύ σημαντική ειδική ενέργεια εκσκαφής.

Το κεφάλαιο 6 παρουσιάζει στον αναγνώστη πληροφορίες για τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μηχανήματος Surface Miner μαζί με λεπτομέρειες για τη λειτουργία του και φωτογραφικό υλικό για την κατανόηση αυτής.

Το κεφάλαιο 7 παραθέτει πληροφορίες για τη δοκιμή της κοπής στο εργαστήριο, την εργαστηριακή διάταξη του μηχανήματος και τον εξοπλισμό. Τέλος δίδονται τα πειραματικά αποτελέσματα από τη δοκιμή κοπής στο πέτρωμά μας.

Το κεφάλαιο 8 περιλαμβάνει στοιχεία για τη δειγματοληψία δοκιμών στο εργαστήριο και την προετοιμασία αυτών ώστε να γίνουν οι δοκιμές μονοαξονικής θλίψης, υπερήχων, έμμεσου εφελκυσμού, σκληρομέτρησης και αποξεστικότητας οι οποίες παρατίθενται αναλυτικά στον αναγνώστη.

Τέλος, στο κεφάλαιο 9 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας.

1.5 Οριοθέτηση της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική συγκεντρώνει όλα εκείνα τα στοιχεία που θα βοηθήσουν στη διερεύνηση με τον καλύτερο δυνατόν τρόπο της διαδικασίας εξόρυξης με μηχανικά μέσα. Σε αυτό θα συνδράμουν όλες οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο οι οποίες μας έδωσαν αποτελέσματα τα οποία θα προσπαθήσουμε και να συνδυάσουμε. Επίσης η δοκιμή κοπής αποτελεί τη βάση της μελέτης μας και με την οποία θα ασχοληθούμε εκτενώς. Από την άλλη μεριά δε θα μελετήσουμε το κομμάτι που αφορά τα χαρακτηριστικά της βραχομάζας ούτε θα ασχοληθούμε με το κομμάτι των φυσικών ιδιοτήτων του πετρώματος. Γίνεται μία προσπάθεια που είναι επικεντρωμένη στην εξόρυξη με μηχανικά μέσα του συγκεκριμένου πετρώματος της περιοχής ωστόσο είναι σημαντικό να διατυπώσουμε ότι δεν γίνεται προσπάθεια να προταθεί ο συγκεκριμένος τρόπος εξόρυξης κάτι το οποίο θα ήταν λανθασμένο. Στη διαδικασία επιλογής μεθόδου εξόρυξης υπεισέρχονται και άλλα στοιχεία που δεν είναι γνωστά και έχουν να κάνουν είτε με οικονομικά, είτε διαχείρισης, είτε περιβαλλοντολογικά.

2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ – ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΥ

2.1 Ορυκτά

Τα ορυκτά είναι ουσίες που συγκροτούν τη λιθόσφαιρα δηλαδή το εξωτερικό πετρώδες περίβλημα ή αλλιώς τον στερεό φλοιό που αποτελεί το πιο εξωτερικό τμήμα της γης. Τα ορυκτά είναι ως επί το πλείστον στερεά , ανόργανα, ομοιογενή με συγκεκριμένη χημική σύνθεση επομένως δεν σχηματίζονται από ποικιλόμορφα μείγματα όπως για παράδειγμα τα πετρώματα.

Τα περισσότερα από τα ορυκτά που απαντούν στο φλοιό της γης βρίσκονται σε στερεά κρυσταλλική κατάσταση που χαρακτηρίζεται από μιας υψηλής συμμετρίας και περιοδικότητας εσωτερική διάταξη των ατόμων. Ελάχιστα είναι τα λεγόμενα άμορφα ορυκτά που δεν παρουσιάζουν μια συμμετρική και περιοδική ατομική διάταξη. Η διάταξη των ατόμων σε ορυκτά ποικίλλει ανάλογα με τη διεύθυνση. Υπάρχουν ορυκτά τα οποία είναι ισότροπα ή ανισότροπα ανάλογα με το αν έχουν σταθερά φυσικά χαρακτηριστικά προς κάθε διεύθυνση του κρυσταλλικού συστήματος ή όχι αντίστοιχα.

2.2 Πετρώματα

Γενικά ως πετρώματα χαρακτηρίζονται τα υλικά από τα οποία αποτελείται ο στερεός φλοιός της Γης, το ανώτερο δηλαδή στρώμα της λιθόσφαιρας. Μερικά εξ' αυτών εμφανίζονται κατά συμπαγείς μάζες όπως ο γρανίτης ή ο ασβεστόλιθος. Άλλα είναι δυνατόν να αποτελούνται από μαλακότερα ή ασύνδετα υλικά όπως είναι η άμμος και η άργιλος. Τα πετρώματα σχηματίζονται από ένα ή περισσότερα ορυκτολογικά συστατικά.

Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους τα πετρώματα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Τα εκρηξιγενή (πυριγενή) ή μαγματικά πετρώματα
- Τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα
- Τα ιζηματογενή πετρώματα

2.2.1 Εκρηξιγενή πετρώματα

Τα εκρηξιγενή ή πυριγενή πετρώματα αποτελούν και το μεγαλύτερο μέρος των πετρωμάτων επί των οποίων και δημιουργήθηκαν τα ιζηματογενή. Αποτελούν μια από τις τρεις κύριες ομάδες των πετρωμάτων, που παρατηρούνται στους γεωλογικούς σχηματισμούς.

Τα πετρώματα αυτά δημιουργήθηκαν από διάπυρο υλικό (μάγμα), που στερεοποιήθηκε στο εσωτερικό ή τελικά καλύφθηκε από άλλα πετρώματα του εξωτερικού φλοιού της Γης. Μερικά από αυτά τα μάγματα περιέχουν πολύ πυρίτιο, είναι πυκνόρρευστα όπως όταν λιώνει το γυαλί. Σε άλλες περιπτώσεις το μάγμα έχει διεισδύσει σε πτυχώσεις, σχισμές βράχων σε μεγάλο μήκος. Τα μάγματα αρχίζουν να προβάλλουν στην επιφάνεια της γης μετά πολύ καιρό από τη σκλήρυνσή τους όταν πλέον η διάβρωση καταστρέψει τα υπερκείμενα πετρώματα από τα οποία καλύπτονται.

2.2.2 Μεταμορφωσιγενή πετρώματα

Στη κατηγορία των μεταμορφωσιγενών ή κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων ανήκουν τα πετρώματα εκείνα που έχουν ανακρυσταλλωθεί, δηλαδή έχουν μετασχηματισθεί κάτω από θερμότητα και πίεση σε βαθμό τέτοιο, ώστε να εμφανίζουν μορφή πολύ διαφορετική από τα αρχικά πετρώματα. Συνεπώς και οι τρεις κατηγορίες των πετρωμάτων (ιζηματογενή, εκρηξιγενή και μεταμορφωσιγενή) υπόκεινται σε μετασχηματισμούς. Κατά το στάδιο των μετασχηματισμών αυτών τα εντός αυτών ορυκτά παίρνουν νέο προσανατολισμό και σχηματίζουν κάθετες

σειρές προς τη διεύθυνση της ασκούμενης πίεσης. Το αποτέλεσμα είναι μια στρωματοειδής μορφή του πετρώματος, που, μερικές φορές, καταμερίζεται σε λεπτά φυλλάκια.

Ο Γνεύσιος, το πιο κοινό από τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα παρουσιάζει χαρακτηριστική τη στρωματοειδή αυτή υφή. Οι μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι είναι μεταμορφωσιγενή πετρώματα που σχηματίστηκαν από μαρμαρυγία και χαλαζία με πολύ εμφανή τη φυλλοειδή υφή. Επίσης τα ορυκτά που εμφανίζουν επίπεδους κρυστάλλους όπως ο μοσχοβίτης, ο βιοτίτης και ο χλωρίτης βρίσκονται στα συνήθη μεταμορφωσιγενή πετρώματα, στα οποία ανήκουν τα μάρμαρα, οι χαλαζίτες και μερικοί γραφίτης. Ανάλογα βέβαια με τον βαθμό της μεταμόρφωσης, διακρίνονται σε πετρώματα ισχυρής μεταμόρφωσης και πετρώματα ήπιας μεταμόρφωσης.

2.2.3 Ιζηματογενή πετρώματα

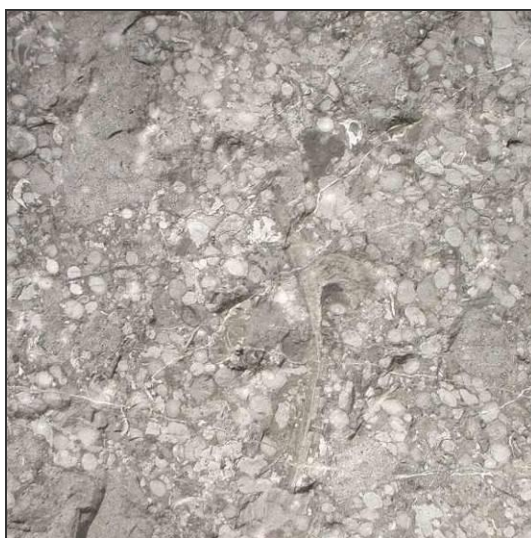
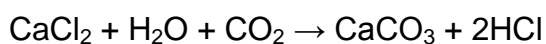
Τα ιζηματογενή πετρώματα προέρχονται από καταστροφή προϋπαρχόντων πετρωμάτων με μηχανική ή χημική ή βιογενή δράση. Στη συνέχεια τα υλικά μεταφέρονται σε χώρους ιζηματογένεσης και αποτίθενται σε χαλαρή κατάσταση. Συνήθως σχηματίζουν στρώματα και με την πίεση που ασκείται από το βάρος των υπερκείμενων στρωμάτων, με σύγχρονη αύξηση της θερμοκρασίας και αποβολή νερού και με χημικές διαδικασίες και συγκόλληση συνεκτικοποιούνται. Η διαδικασία αυτή συνεκτικοποίησης καλείται διαγένεση. Τα ιζηματογενή πετρώματα αντιπροσωπεύουν μόνο το 5% της λιθόσφαιρας, αλλά καλύπτουν τα 2/3 της επιφάνειας των ηπείρων και σχεδόν το σύνολο των πυθμένων των ωκεανών και των θαλασσών.

Τα ιζηματογενή πετρώματα ανάλογα με το είδος των διαδικασιών που δημιουργήθηκαν τα ιζήματα τα κατατάσσουμε σε τρεις κατηγορίες:

1. Μηχανικά ή κλαστικά: μηχανικά θρυμματισμένα κομμάτια πετρωμάτων διαφόρων μεγεθών μεταφέρονται και αποτίθενται σε λεκάνες ιζηματογένεσης.
2. Χημικά ιζήματα που δημιουργούνται από τα διαλύματα που σχηματίζουν χημικές ενώσεις οι οποίες κρυσταλλώνονται και αποτίθενται.
3. Οργανικά (βιογενή ή βιοχημικά) παράγονται στο χώρο προέλευσης τους κυρίως από κελύφη οργανισμών.

2.3 Ασβεστόλιθος

Ο ασβεστόλιθος είναι ίσως το πλέον διαδεδομένο πέτρωμα στον Ελληνικό χώρο και κατέχει ένα σημαντικό μέρος στην καθημερινή μας ζωή. Συγκεκριμένα, ο ασβεστόλιθος είναι ένα ιζηματογενές πέτρωμα που έχει ως κύριο ορυκτό του (ορυκτολογικό συστατικό) το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3). Ο σχηματισμός του μπορεί να οφείλεται στην χημική αντίδραση ευδιάλυτων αλάτων του ασβεστίου με διοξείδιο του άνθρακα, όπως π.χ. στην αντίδραση:



Σχήμα 2.1. Υφή και χρωματισμός ασβεστολίθου

Η χημική σύσταση ενός καθαρού ασβεστόλιθου έχει τα εξής χαρακτηριστικά: αποτελείται από CaO σε ποσοστό 56% και από CO_2 σε ποσοστό 44%. Στις περισσότερες όμως των περιπτώσεων πέραν του ασβεστίτη υπάρχουν στο πέτρωμα του ασβεστόλιθου και άλλες ουσίες – προσμίξεις π.χ. οξείδια διαφόρων μετάλλων και ενώσεις καθώς και υδροξείδια όπως του αργιλίου ή του σιδήρου. Όλες αυτές οι προσμίξεις αρκετές φορές επηρεάζουν και ευθύνονται για το χρωματισμό του ασβεστόλιθου.

Το χρώμα του πετρώματος είναι συνήθως άσπρο, γαλαζωπό – γκρι ή κιτρινωπό, σπάνια μαύρο ή κοκκινωπό. Διαλύεται σε όλα σχεδόν τα οξέα, με αναβρασμό και εκλύει διοξείδιο του άνθρακα σε φυσαλίδες. Έτσι και με την επίδραση αραιού υδροχλωρικού οξέος σημειώνεται αναβρασμός. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς μας επιτρέπει και διευκολύνει την αναγνώριση του ασβεστόλιθου ακόμη και επί τόπου δηλαδή στην ύπαιθρο. Επίσης, λόγω της χημικής του σύστασης όταν θερμανθεί σε υψηλή θερμοκρασία εκλύει το διοξείδιο του άνθρακα και απομένει η άσβεστος κάτι το οποίο αποτελεί τη βάση για τον τρόπο παραγωγής της άσβεστου που χρησιμοποιείται ευρέως στην κατασκευή και γενικά στα έργα μηχανικού.

Οι ασβεστόλιθοι έχουν προέλθει κυρίως είτε από χημικά ιζήματα είτε από βιογενή ιζήματα αλλά και από συνδυασμό τους αρκετές φορές κάτι που κάνει την αναγνώριση της προέλευσης τους ιδιαίτερα δύσκολη. Μετά τον θάνατο του οργανισμού, το κέλυφός του καταβυθίζεται στον πυθμένα και το οργανικό τμήμα του οργανισμού καταστρέφεται, ενώ το κέλυφος (ή ο σκελετός) παραμένει. Τα ασβεστιτικά αυτά υπολείμματα συγκολλώμενα με την διαγένεση δημιουργούν την ασβεστολιθική απόθεση. Ο ασβεστόλιθος που δημιουργείται κατ' αυτό τον τρόπο χαρακτηρίζεται ως "οργανογενής" και, όπως είναι λογικό, είναι πιο πλούσιος σε απολιθώματα. Μορφές αυτού του τύπου ασβεστολίθου αποτελούν η κρητίζ (κοινώς κιμωλία) και ο ωολιθικός ασβεστόλιθος, ο οποίος εμφανίζεται να αποτελείται από μικρά, συγκολλημένα μεταξύ τους σφαιρίδια, τους ωολίθους.

Ως πέτρωμα καταλαμβάνει μεγάλες εκτάσεις και εμφανίζεται συνήθως με τη μορφή στρωμάτων και σπάνια σε ακανόνιστες μορφές. Ως σημαντικό του μειονέκτημα είναι η έντονη διάβρωση του στο νερό και η υψηλή διαπερατότητα. Ως γεωλογικός σχηματισμός ο συνδυασμός ασβεστολίθου με αδιαπέρατα πετρώματα όπως ο γρανίτης μπορούν να δημιουργήσουν είτε μεγάλες είτε μικρές υπόγειες δεξαμενές νερού. Στα επιφανειακά σημεία επαφής ασβεστόλιθων και αδιαπέρατων πετρωμάτων σχηματίζεται υδροφόρος ορίζοντας και συχνά φυσικές πηγές.

Αποτέλεσμα των ιδιοτήτων που εμφανίζει ο ασβεστόλιθος είναι και τα καρστικά φαινόμενα. Είναι συνηθισμένο φαινόμενο η παρουσία κενών στη μάζα του πετρώματος που δημιουργήθηκαν είτε από την χημική διάλυση του πετρώματος είτε από την παρουσία νερού με την ταυτόχρονη επίδραση της θερμοκρασίας, του διοξειδίου του άνθρακα και της πίεσης. Τα κενά αυτά που μειώνουν αισθητά την αντοχή του ασβεστόλιθου δημιουργούν έντονα προβλήματα σε περιπτώσεις τεχνικών έργων και χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής.



Σχήμα 2.2. Καρστικοποίηση του Ασβεστόλιθου

Ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε πυριτικά, σε αργιλούχα υλικά, σε σίδηρο, σε πυρολουσίτη, σε λειμωνίτη, σε οργανικές ενώσεις, ακόμα και των ορυκτών ζirkονίου, ρουτιλίου, τουρμαλίνη κλπ. είναι δυνατό να πάρουμε διάφορες παραλλαγές ασβεστόλιθων, που οι κυριότερες είναι οι εξής:

- Δολομιτικοί ασβεστόλιθοι. Είναι μείγμα ανθρακικών ενώσεων ασβεστίου και μαγνησίου (πολλές φορές ένυδρα), με κυριότερη συνδετική ύλη την ασβεστολιθική ιλύ. Οι δολομιτικοί ασβεστόλιθοι διακρίνονται σε μαγνησιούχους

ασβεστόλιθους (περιεκτικότητα σε δολομίτη 15 - 20%) και σε δολομίτες (περιεκτικότητα σε δολομίτη πάνω από 50%).

- Κοινός ασβεστόλιθος (ασβεστόπετρα). Σχηματίστηκε από την καθίζηση ανθρακικού ασβεστίου μετά την εξάτμιση του νερού. Είναι διάφορων χρωμάτων και χρησιμοποιείται στον κατασκευαστικό κλάδο καθώς επίσης για την παρασκευή κονιαμάτων (χαλικιών διαφόρου διαμετρήματος) και ασβεστίου.
- Ωολιθικοί και πισσολιθικοί ασβεστόλιθοι. Αυτοί σχηματίστηκαν από ασβεστική ιλύ και διαφέρουν από τους συμπαγείς ασβεστόλιθους στο ότι αποτελούνται από συσσωματώματα σφαιρών ανθρακικού ασβεστίου σε μικρά κυρίως μεγέθη.
- Πισσασφαλούχοι ασβεστόλιθοι. Το χρώμα τους είναι γκριζωπό και έχουν μυρωδιά πισσασφάλτου. Πολλές φορές περιέχουν σημαντικές ποσότητες πετρελαίου που συμφέρει να εκμεταλλευτεί.
- Πυριτικοί ασβεστόλιθοι: είναι ασβεστόλιθοι που περιέχουν μέχρι 50% πυριτικό οξύ.
- Αμμούχοι ασβεστόλιθοι: είναι ασβεστόλιθοι που περιέχουν χαλαζιακή άμμο.
- Γλαυκοφανιτικοί ασβεστόλιθοι: είναι ασβεστόλιθοι που περιέχουν κόκκους από πρασινωπό γλαυκοφανίτη.
- Σχιστολιθικοί ασβεστόλιθοι: είναι ασβεστόλιθοι σε πολύ λεπτή στρωμάτωση.
- Τραβερτινικοί ασβεστόλιθοι: είναι ασβεστόλιθοι που σχηματίζονται κατά την περιασβέστωση φυτικών οργανισμών με ανθρακικό ασβέστιο κυρίως των θερμών πηγών (κατηγορία πορώδη ασβεστόλιθου).
- Πορώδεις ασβεστόλιθοι. Έχουν χρώμα υποκίτρινο ή ανοιχτό καφέ. Χρησιμοποιούνται ως δομικό υλικό από τα αρχαία χρόνια. Η βάση του Παρθενώνα, της αρχαίας Ολυμπίας και των ναών στους Δελφούς είναι κατασκευασμένη από πωρόλιθους.
- Λιθογραφικός ασβεστόλιθος. Έχει χρώμα λευκό ή υποκίτρινο και αποτελείται από λεπτούς κόκκους. Σχίζεται σε πλάκες, ξύνεται εύκολα και λειαίνεται.
- Αργιλικό ασβεστόλιθοι. Είναι μείγμα καθαρού ασβεστόλιθου και καθαρής αργίλου. Ανάλογα με την περιεκτικότητα του πετρώματος σε άργιλο

διακρίνουμε τους εξής τύπους: α) ασβεστόλιθος (0 - 5%), β) μαργαϊκός ασβεστόλιθος (5 - 15%), γ) μαργασβεστόλιθος (15 - 25%), δ) ασβεστομάργα (25 - 35%), ε) μάργα (35 - 65%), στ) αργιλομάργα (65 - 75%), ζ) μαρμάργιλος (75 - 85%), η) μαργαϊκή άργιλος (85 - 95%), θ) άργιλος (95 - 100%).

Συνοπτικά θα αναφέρουμε κάποια επιπλέον στοιχεία για το χρώμα του ασβεστολιθικού πετρώματος που δεν αναφέρθηκαν πριν. Συγκεκριμένα οι μαύροι ασβεστόλιθοι συναντώνται κυρίως σε παράκτιες περιοχές και το χρώμα τους οφείλεται στην παρουσία σιδήρου και πυριτίου. Οι κόκκινοι ασβεστόλιθοι οφείλουν το χρώμα τους στα οξειδία του σιδήρου και κυρίως του αιματίτη και συναντώνται στα βάθη των θαλασσών. Επίσης οι γκριζοκύανοι έχουν τον χρωματισμό αυτό εξ αιτίας του διθειούχου σιδήρου και εμφανίζεται σε μικρά βάθη, όπως σε λίμνες και ποτάμια, όπως και ο ασβεστόλιθος λευκού κυρίως χρώματος που μελετούμε.

2.4 Αδρανή υλικά

Ως αδρανή υλικά καλούνται το σύνολο των άμμων, χαλικιών, θραυστών λίθων, σκωριών και άλλων παρόμοιων υλικών ανόργανης σύστασης, φυσικής ή τεχνητής προέλευσης, που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με συγκολλητικά μέσα (τσιμέντο, άσφαλτος, κ.λπ.) για σχηματισμό μιγμάτων όπως σκυροκονιάματα, ασφαλτικά σκυροδέματα και σκυρωτά οδοστρώματα ή και αυτούσια (π.χ. έρματα σιδηροδρομικών γραμμών). Ονομάζονται αδρανή γιατί η πλειονότητα τους δεν αντιδρά χημικά με τις διάφορες συγκολλητικές ύλες. Η μεγαλύτερη ποσότητα αδρανών υλικών προέρχεται από τη θραύση κατάλληλων πετρωμάτων (κυρίως ασβεστολιθικών) ή από φυσικές αποθέσεις (μίγμα κυρίως ασβεστολιθικών, ψαμμιτικών και γρανιτικών πετρωμάτων) ποταμών, χειμάρρων, θαλάσσης, με ή χωρίς θραύση. Οι χρήσεις των αδρανών είναι ποικίλες, με σημαντικότερες τη συμμετοχή τους στην παραγωγή ασφάλτου (η άσφαλτος αποτελείται κατά 90% από αδρανή) και στην παραγωγή τσιμέντου (συμμετοχή κατά 80%). Τέλος η εξόρυξη αδρανών, που κυρίως είναι ασβεστολιθικής προέλευσης καλύπτουν το 45-50%, περίπου, της μεταλλευτικής δραστηριότητας στην Ελλάδα από πλευράς

παραγόμενων ποσοτήτων. Στο σχήμα 2.3 που ακολουθεί αντιλαμβανόμαστε καλύτερα την παραγωγή των αδρανών υλικών στον Ελληνικό χώρο.



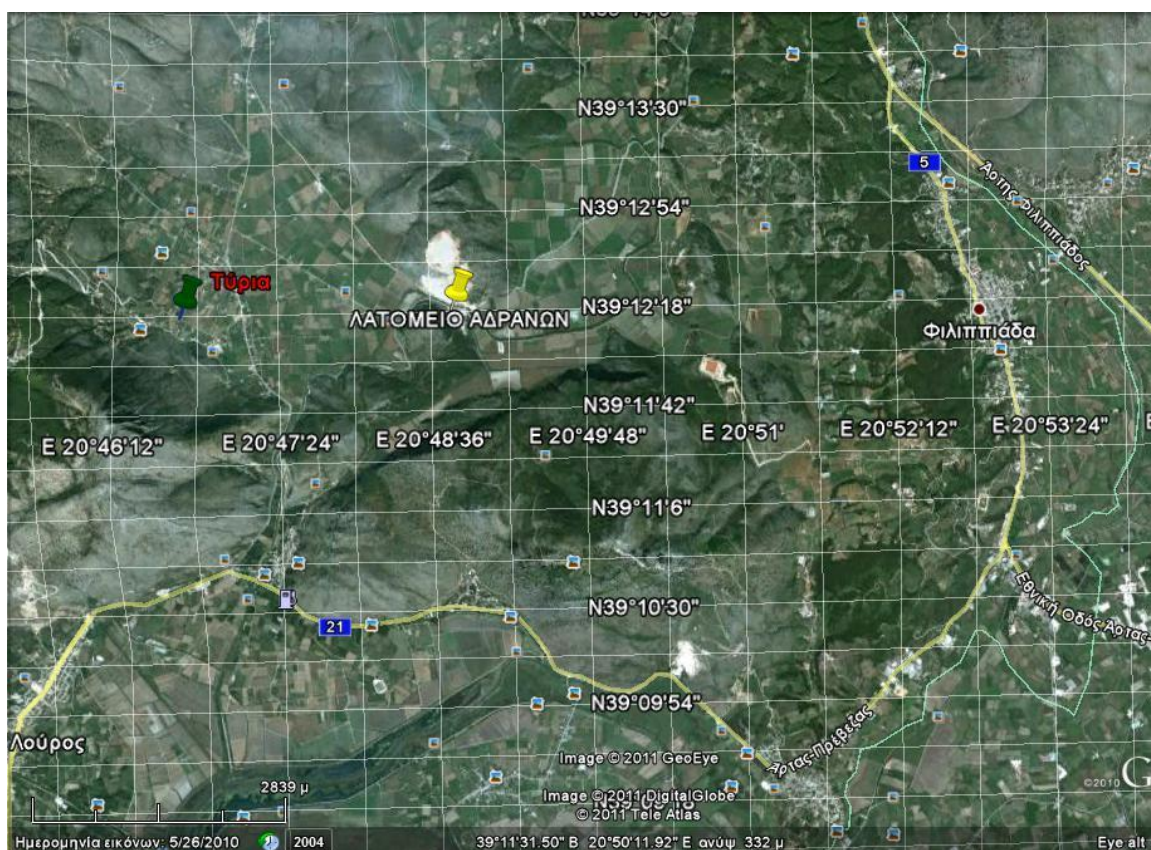
Σχήμα 2.3. Λατομεία αδρανών στον Ελληνικό χώρο (latomet.gr)

3 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ & ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥΣ

3.1 Περιοχή δειγματοληψίας

3.1.1 Γενικά

Η εταιρεία Λατομεία Πρεβέζης Α.Ε.Β.Ε. εκμεταλλεύεται λατομείο αδρανών υλικών τόσο για την πώληση τους όσο και για την παραγωγή έτοιμου σκυροδέματος. Βρίσκεται σε δημοτική δασική έκταση 435.956,89 τετραγωνικά μέτρα εντός της λατομικής περιοχής (Μπούφου) Δήμου Θεσπρωτικού του Νομού Πρεβέζης. Ο πλησιέστερος οικισμός είναι ο μικρός οικισμός της Τύριας που απέχει 3 km.



Σχήμα 3.1. Απεικόνιση σημείου λήψης ασβεστολίθου

3.1.2 Ζώνες ευαισθησίας

Κοντινή ζώνη (0 – 2 km)

- Βρίσκεται η αποξηρανεύσα λίμνη Μαύρη, καλλιέργειες, τμήμα της οδού προσπέλασης στο λατομικό χώρο.

Μεσαία ζώνη (2 – 5 km)

- Βρίσκονται οι οικισμοί Στεφάνη, Ηλιοβούνι, Ρωμιά, τα βόρεια όρια της προς ένταξη στο πρόγραμμα Natura 2000 περιοχής, γεωργικές καλλιέργειες, τμήμα του εθνικού δρόμου Πρέβεζας – Άρτας και του επαρχιακού δρόμου Στεφάνης – Θεσπρωτικού.

Μακρινή ζώνη (5 km & άνω)

- Περιλαμβάνει όλο τον υπόλοιπο νομό Πρεβέζης και μέρος του νομού Άρτας, τα Θεσπρωτικά όρη κ.λπ.

3.1.3 Τρόπος μετάβασης στο λατομείο

Το κύριο οδικό δίκτυο της περιοχής είναι η εθνική οδός Πρεβέζης – Ιωαννίνων και το δευτερεύον η επαρχιακή οδός Στεφάνης – Θεσπρωτικού. Η σύνδεση του λατομείου με την επαρχιακή οδό γίνεται μέσω ασφαλτοστρωμένης οδού μήκους 4 km περίπου. Ο λατομικός χώρος απέχει οδικώς περί τα 33 km από την πόλη της Πρέβεζας.

3.2 Χαρακτηριστικά Φυσικού Περιβάλλοντος

3.2.1 Τοπιολογικά Στοιχεία

Τόσο στο χώρο επέμβασης όσο και στον ευρύτερο χώρο δεν υφίστανται θέσεις πλημμυρίζουσες ή ολισθησιγενείς και το έδαφος δεν εμφανίζει διαβρώσεις, με άλλα λόγια δεν υφίστανται θέσεις με ακραίες συνθήκες.

Τα τοπιολογικά στοιχεία αναλυτικά είναι:

Ανάγλυφο	<input type="checkbox"/> Εντός του λατομευμένου χώρου τυπικό ανάγλυφο λατομείου με εμφανίσεις ασβεστολίθου. <input type="checkbox"/> Στον υπόλοιπο λατομικό χώρο ημιορεινό ανάγλυφο σχετικά ομαλό.
Κλίσεις	<input type="checkbox"/> Εντός του λατομευμένου χώρου τυπικές κλίσεις λατομείου. <input type="checkbox"/> Στον υπόλοιπο λατομικό χώρο μέτριες έως ισχυρές.
Έκθεση	Νοτιοανατολική
Υψόμετρο	20-195

Πίνακας 3.1. Τοπιολογικά στοιχεία λατομείου αδρανών υλικών

3.2.2 Έδαφος

Τα εδάφη που σχηματίζονται πάνω στους ασβεστόλιθους:

- Είναι κατά το πλείστον σκελετικά πετρώδη, λίαν αβαθή και μόνο μεταξύ των ρωγμών των υπαρχόντων βράχων.
- Έχουν βάθος μέχρι 0,5m.
- Είναι αργιλώδους – αργιλοπηλώδους υφής.
- Χαρακτηρίζονται από έντονο ερυθρό χρώμα και εντάσσονται στην κατηγορία των terra rossa.
- Η αντίδραση του εδάφους είναι από ουδέτερη (pH=7) ως ελαφρά αλκαλική (pH=8).

3.2.3 Γεωλογικά Στοιχεία

Η ευρύτερη περιοχή του λατομικού χώρου ανήκει γεωτεκτονικά στην Ιόνιο ή Αδριατικοϊόνιο Ζώνη που κατατάσσεται στις εξωτερικές ελληνικές γεωτεκτονικές ζώνες, στις οποίες δεν παρατηρείται μεταμόρφωση των γεωλογικών στρωμάτων ούτε μαγματισμός, αλλά τα στρώματα συγκροτούνται αποκλειστικά και μόνο από ιζηματογενή πετρώματα.

Τα ιζήματα της Ιονίου ζώνης είναι έντονα λεπιωμένα και ως σύνολο επωθημένα πάνω στη ζώνη Παξών. Είναι αυτόχθονη ζώνη και αποτελεί αύλακα (το ελληνικό «γεωσύγκλινο»).

Η στρωματογραφική διάθρωση της Ιονίου ζώνης είναι γενικά η ακόλουθη:

- Τριαδικό (και μέχρι Λιάσιο): Εβαπορίτες
- Ανώτερο Τριαδικό: Μαύροι ασβεστόλιθοι με *Cardita guembeli*
- Νόριο: Δολομίτες χωρίς απολιθώματα λευκοί τεφροί.
- Ανώτερο Νόριο – Λιάσιο: «ασβεστόλιθοι του Παντοκράτορα», νηριτικοί, λατυποπαγείς, με φύκη και δολομίτες.
- Ανώτερο Λιάσιο – Δογγέριο:
 - ασβεστόλιθοι με αμμωνίτες
 - ασβεστόλιθοι και κερατόλιθοι
 - πυριτικοί σχιστόλιθοι και πυριτόλιθοι
- Μάλμιο – κατώτερο Σενώνιο: «ασβεστόλιθοι Βίγλας» και κερατόλιθοι
- Παλαιόκαινο – ανώτερο Ηώκαινο: Ασβεστόλιθοι με τρηματοφόρα
- Πριαμπόνιο – Ακουϊτάνιο: Ιόνιος φλύσχης

Ο υπό μελέτη λατομικός χώρος δομείται γεωλογικά από τους ασβεστόλιθους Παντοκράτορος – Σινιών: υπολιθογραφικοί, φαιοί, καλώς εστρωμένοι ασβεστόλιθοι του ιουρασικού.

3.2.4 Κλιματολογικά Στοιχεία

Σύμφωνα με το χάρτη βιοκλιματικών ορόφων της Ελλάδας, που έχει φτιαχτεί με βάση τις τιμές του βροχομετρικού πηλίκου Emburger:

$$Q_2 = \frac{1000 \cdot p}{M - m / 2(M - m)}$$

Ο χαρακτήρας του μεσογειακού βιοκλίματος της ευρύτερης περιοχής χαρακτηρίζεται ως έντονος μεσο-μεσογειακός με αριθμό βιολογικώς ξηρών ημερών κατά τη θερμή και ξηρή περίοδο μεταξύ 75 και 100 ημερών.

Σύμφωνα με το Χάρτη Βιοκλιματικών Ορόφων η περιοχή ανήκει στον ύφυγρο βιοκλιματικό όροφο με χειμώνα ήπιο και μέση ελάχιστη θερμοκρασία ψυχρότερου μήνα μεταξύ 3° και 7° C.

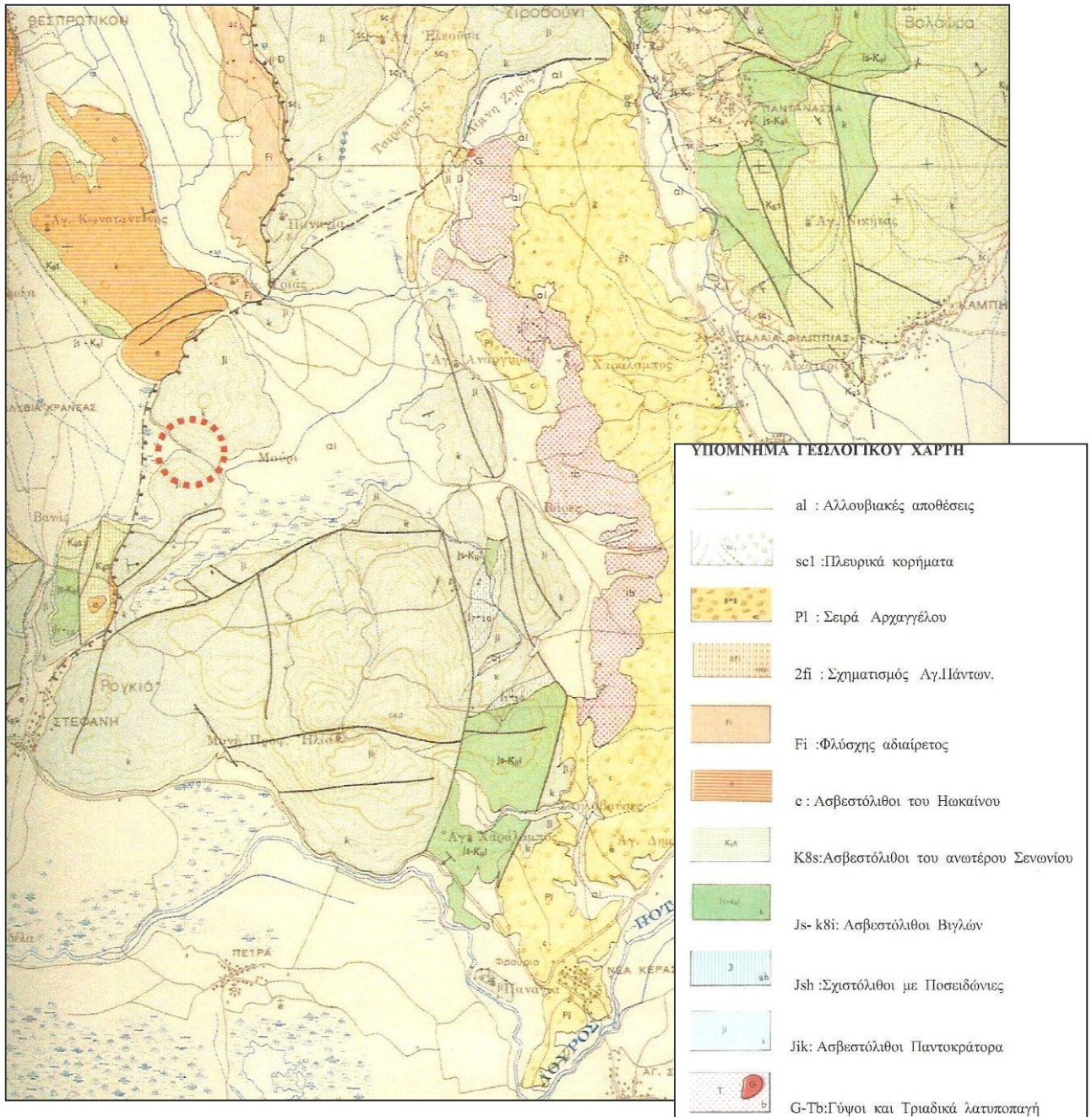
Παρατίθενται παρακάτω κλιματολογικά στοιχεία της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό, που είναι της Πρέβεζας και βρίσκεται σε απόσταση 35 km περίπου από το λατομείο σε γεωγραφικό πλάτος 38° 58' N και γεωγραφικό μήκος 20° 46' E σε υψόμετρο 4m.

Κλιματολογικά Στοιχεία	
Μέση ετήσια θερμοκρασία	17,1° C
Μέση θερμοκρασία θερμότερου μήνα (Αύγουστος)	25,4° C
Μέση θερμοκρασία ψυχρότερου μήνα (Ιανουάριος)	9,4° C
Μέση μέγιστη θερμοκρασία θερμότερου μήνα (Αύγουστος)	29,4° C
Μέση ελάχιστη θερμοκρασία ψυχρότερου μήνα (Ιανουάριος)	6,1° C
Ετήσιο ύψος υετού	879,1mm
Μέση ετήσια σχετική υγρασία	71,80%
Αριθμός ημερών υετού	105,2
Αριθμός ημερών βροχής	103,3
Αριθμός ημερών χιονιού	0,2
Επικρατούντες άνεμοι	Δυτικοί (Απρ-Σεπτ) ΒΑ (Οκτ-Μαρ)

Πίνακας 3.2. Κλιματολογικά στοιχεία στην περιοχή του λατομείου

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά και ιδιαίτερα το ύψος της βροχής και τη μέση θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της βλαστητικής περιόδου φαίνεται ότι ευνοείται η δασική ανάπτυξη στην περιοχή και απλώς επισημαίνεται η ανάγκη αυξημένων ποσοτήτων νερού για το πότισμα των φυτών κατά τους θερινούς μήνες.

3.3 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής δειγματοληψίας



Σχήμα 3.2. Γεωλογικός χάρτης Ι.Γ.Μ.Ε για την περιοχή του λατομείου

Πρόκειται για γεωλογικό χάρτη από το Ι.Γ.Μ.Ε. Φύλλο Άρτας 1:50000 όπου αναγράφονται όλα τα γεωλογικά χαρακτηριστικά τόσο της περιοχής του λατομείου όσο και της ευρύτερης περιοχής αυτού.

3.3.1 Φωτογραφικό υλικό από το λατομείο και την ευρύτερη περιοχή

Έγιναν διαδοχικές επισκέψεις στο χώρο του λατομείου για την επιλογή κατάλληλου υλικού σε κατάλληλες διαστάσεις για τις εργαστηριακές δοκιμές που θα πραγματοποιούνταν στο εργαστήριο εξόρυξης πετρωμάτων της σχολής Μεταλλειολόγων Μεταλλουργών Μηχανικών. Στη συνέχεια παρουσιάζεται φωτογραφικό υλικό του λατομικού χώρου:



Σχήμα 3.3. α) Περιοχή λατομείου β) Μεταφορικές ταινίες λατομείου



Σχήμα 3.4. α) Εξορυγμένο υλικό με τη χρήση εκρηκτικών β) Διαμόρφωση βαθμίδων λατομείου

3.4 Μέθοδος Εκμετάλλευσης

Η μέθοδος εκμετάλλευσης είναι η κλασική – για την περίπτωση λατομείων αδρανών υλικών – μέθοδος των διαδοχικών ορθών βαθμίδων. Η εκμετάλλευση γίνεται από τα υψηλότερα προς τα χαμηλότερα επίπεδα, με

ταυτόχρονη προσβολή δύο ή περισσότερων διαδοχικών βαθμίδων, υπό τον όρο ότι η προχώρηση του μετώπου είναι παράλληλη και τηρούνται τα πλάτη ασφαλείας κάθε βαθμίδας. Η μέθοδος αυτή έχει επιλεχθεί αφού τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος συνεπίπτανε με αυτά του διατιθέμενου χώρου, η μορφολογία του οποίου εξυπηρετούσε την ανάπτυξη βαθμίδων και δεν υπήρχαν υπερκείμενα.

Στην περίπτωση του λατομείου της εταιρείας από το οποίο πραγματοποιήθηκε η λήψη του ασβεστολίθου, η εκρηκτική ύλη που χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την εξόρυξη του πετρώματος είναι το anfo που παρασκευάζεται με την ανάμιξη νιτρικού αμμωνίου(οξειδωτικό-λίπασμα) και ντίζελ(καύσιμο) σε αναλογία περίπου 94/6 κατά βάρος. Η έκρηξη είναι μία αντίδραση οξειδωσης-αναγωγής, τα καύσιμα(C και H) ενώνονται με το O₂(οξυγόνο).

Η εταιρεία που φέρνει τα εκρηκτικά είναι γνωστή στο χώρο με το όνομα extraco.

Παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του πετραμμωνίτη (anfo):

Πετραμμωνίτης	
πυκνότητα	0,8 gr/cm ³
ισχύς	480 ml
ταχύτητα έκρηξης	3000 m/sec
ενέργεια εκρηκτικών αερίων	925 kcal/kg
όγκος εκλυόμενων αερίων	970 lt/kg
θερμοκρασία έκρηξης	2620 °C
ευαισθησία σε τριβή	360 N
ευαισθησία σε κρούση	50 J
θραυστικότητα (hess)	2.5 mm
ελάχιστη διάμετρος	42 mm

Πίνακας 3.3. Χαρακτηριστικά της εκρηκτικής ύλης

Συνοπτικά έχουμε τα εξής:

- ανοίγονται διατρήματα βάθους 15μέτρων.
- ανά μέτρο διατρήματος εισάγονται περίπου 10,5 κιλά anfo.
- στην περίπτωση μας δεν κάνουμε καθόλου υποδιάτρηση.
- η διάμετρος των οπών των διατρημάτων είναι 127mm.
- η απόσταση της πρώτης σειράς διατρημάτων από το πρανές (φορτίο) είναι στα 4,3 μέτρα.
- το σχέδιο της τοποθέτησης των διατρημάτων είναι σχήμα ρόμβου.
- το επιγόμευση που τοποθετούμε είναι ύψους 3,5μετρα.
- η πλάγια απόσταση των διατρημάτων είναι στα 4,5 μέτρα.
- χρησιμοποιείται ως μέσο πυροδότησης καψύλι none1.
- τέλος για την ενεργοποίηση του anfo χρησιμοποιείται ανάλογα είτε ζελατινοδυναμίτιδα είτε γαλάκτωμα.



Σχήμα 3.5. α) Προστασία διατρήματος μετά την όρυξη του β) Διάταξη διατρημάτων πριν την εξόρυξη

3.5 Μηχανική Συμπεριφορά Ακέραιου Πετρώματος

Το κατά πόσο το ακέραιο πέτρωμα ή βραχώδες υλικό μπορεί να θεωρηθεί σαν ιδανικό υλικό, εξαρτάται από τρεις κύριους παράγοντες την ισοτροπία, την ομοιογένεια και τη συνέχειά του.

1. Η ισοτροπία είναι ένα μέτρο των ιδιοτήτων του υλικού κατά διεύθυνση. Επειδή πολλά πετρώματα παρουσιάζουν εκλεκτικό προσανατολισμό των κρυστάλλων τους που έχει σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό φύλλωσης, σχιστότητας κ.λπ., αναμένεται να αντιδρούν διαφορετικά σε εξωτερικές τάσεις κατά διαφορετικές διευθύνσεις, οπότε χαρακτηρίζονται σαν ανισότροπα.
2. Η ομοιογένεια είναι ένα μέτρο της φυσικής συνέχειας του υλικού. Έτσι σε ένα ομοιογενές υλικό, τα συστατικά του (κόκκοι, συγκολλητική ύλη) είναι κατανομημένα κατά τέτοιο τρόπο, ώστε ένα οποιοδήποτε τμήμα του να έχει τις χαρακτηριστικές ιδιότητες του υλικού αυτού. Έτσι, είναι δυνατό να περιγράψουμε ένα λεπτοκρυσταλλικό πέτρωμα σαν σχεδόν ομοιογενές, ενώ αντίθετα ένα αδροκρυσταλλικό, πολύμικτο σαν ανομοιογενές.
3. Η συνέχεια αναφέρεται στο πλήθος των μικρορωγμών και πόρων που υπάρχουν στο ακέραιο πέτρωμα, που λόγω της πολύς συχνής παρουσίας τους θα μπορούσαν γενικά να χαρακτηριστούν σαν ασυνεχή. Ακόμα και οι μικρότερες δομικές μονάδες (κρύσταλλοι, κόκκοι) δε μπορούν να θεωρηθούν σα συνεχή μέσα αφού σε μικροσκοπική κλίμακα εμφανίζουν μικρορωγμές, σχισμό κ.λπ.

3.6 Χημική ανάλυση ασβεστόλιθου

Τέλος, στο υποκεφάλαιο αυτό σε συνέχεια όσων αναφέρθηκαν για τους ασβεστόλιθους (προέλευση, ιδιότητες κ.λπ.), παρατίθενται τα αποτελέσματα της

χημικής και ορυκτολογικής ανάλυσης του ασβεστολίθου που εξορύχτηκε στην περιοχή της Πρέβεζας ο οποίος αποτελεί το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής και ο οποίος πρόκειται να εξεταστεί στα επόμενα κεφάλαια. Οι δοκιμές αυτές έχουν γίνει από το Ελληνικό Κέντρο Ερευνών Τσιμέντου και έχει χρησιμοποιηθεί η μέθοδος XRF.

Πελάτης (Customer)	Λατομεία Πρεβέζης Α.Ε.Β.Ε
Κωδικός αριθμός (Sample Code Number)	32311
Ημερομηνία Δοκιμής (Test date)	27/6/2011

Πίνακας 3.4. Τυπικά στοιχεία μελέτης

Αποτελέσματα (Results)	% (w/w)	Μέθοδος (Method)
SiO ₂	0,38%	XRF
Al ₂ O ₃	0,00%	XRF
Fe ₂ O ₃	0,11%	XRF
CaO	55,40%	XRF
MgO	0,51%	XRF
K ₂ O	0,00%	XRF
Na ₂ O	0,00%	XRF
TiO ₂	0,00%	XRF
MnO	0,00%	XRF
SO ₃	0,00%	XRF
Απώλεια πυρώσεως (LOI)	43,52%	In house

Πίνακας 3.5. Αποτελέσματα χημικής ανάλυσης ασβεστολίθου

Ονοματολογία

SiO₂: Χαλαζίας

Al_2O_3 : Αλουμίνα

Fe_2O_3 : Αιματίτης

CaO : Οξείδιο του ασβεστίου (Ασβεστος)

MgO : Οξείδιο του μαγνησίου (Μαγνησία)

K_2O : Οξείδιο του καλίου

Na_2O : Οξείδιο του νατρίου

TiO_2 : Οξείδιο του τιτανίου

MnO : Οξείδιο του μαγγανίου

SO_3 : Τριοξείδιο του θείου

Η απώλεια βάρους παρατηρείται σε αρκετά μεγάλο βαθμό οφείλεται κυρίως στην αποβολή διοξειδίου του άνθρακα αλλά και στην απώλεια νερού λόγω περιεχόμενης υγρασία αλλά και άλλων προσμίξεων που εξατμίζονται από το δείγμα κατά τη διάρκεια της θέρμανσης. Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι κάποιες ενώσεις που οι περιεκτικότητες τους στον παραπάνω πίνακα είναι μηδέν μπορεί να μην είναι ακριβώς αλλά να είναι πρακτικά μηδέν. Η μικρή αυτή διαφορά απεικονίζεται και στο γεγονός ότι το σύνολο δεν είναι ακριβώς 100%.

3.6.1 Μέθοδος XRF (Χημική ανάλυση με φθορισμό ακτίνων X)

Η μέθοδος Φθορισμού Ακτίνων X (XRF - X-Ray Fluorescence) παρέχει ποιοτική και ποσοτική μέτρηση της στοιχειακής δομής στερεών υλικών. Με τη μέθοδο XRF μπορεί να προσδιοριστεί η συγκέντρωση όλων των στοιχείων με ατομικό βάρος μεγαλύτερο του αλουμινίου. Η ανάλυση είναι πολύ γρήγορη και εξαιρετικά

αξιόπιστη, προσφερόμενη για μεγάλο αριθμό μετρήσεων δειγμάτων μορφοποιημένης με γνωστής ποιότητας σύνθεση. Η απαιτούμενη ελάχιστη ποσότητα δείγματος είναι 5-10 g. Το χαμηλότερο όριο ανίχνευσης της συσκευής εξαρτάται από την ανάλυση των στοιχείων και μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 1-100ppm, σύμφωνα με τα στοιχεία που μετρήθηκαν και την συνολική χημική σύσταση του δείγματος.

3.6.1.1 Πλεονεκτήματα μεθόδου XRF

- Μη καταστροφική.
- Πολυστοιχειακή ανάλυση.
- Ευκολία στην προετοιμασία των δειγμάτων.
- Ιδιαίτερα χαμηλά όρια ανίχνευσης (ppb).
- Μικρός χρόνος μέτρησης.
- Μικρό κόστος ανάλυσης.

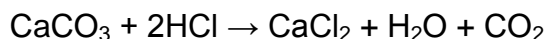
3.6.2 Ορυκτολογική ανάλυση ασβεστόλιθου

Η ορυκτολογική σύσταση του ασβεστόλιθου, μας έδειξε ότι αποτελείται κατά κύριο λόγο από τα εξής ορυκτά:

1. Ασβεσίτη
2. Χαλαζία (ίχνη)
3. Ανκερίτης
4. Μοσχοβίτη

1. Ασβεσίτης (CaCO_3)

Ο ασβεστίτης (calcite) είναι ορυκτό του ασβεστίου και κύριο συστατικό πολλών πετρωμάτων του γήινου φλοιού. Δεν διαλύεται εύκολα στο νερό, ενώ αναβράζει έντονα με την επίδραση υδροχλωρικού οξέος, λόγω της παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα:



Ο ασβεστίτης χρησιμοποιείται ευρέως στην οικοδομική δραστηριότητα, επίσης υπό μορφή κόνεως χρησιμοποιείται ως λίπασμα, τέλος χρησιμοποιείται και στην παρασκευή τσιμέντου.

Κατηγορία	Ανθρακικά άλατα
Χημικός τύπος	CaCO ₃
Πυκνότητα	2,7 gr/cm ³
Χρώμα	Λευκός αλλά λόγω προσμίξεων είναι και πράσινος, ερυθρός έως ρόδινος, κίτρινος, κυανός, καστανός, μαύρος
Σύστημα κρυστάλλωσης	Τριγωνικό
Κρύσταλλοι	Ρομβόεδρα ή πρίσματα
Υφή	Συσσωματώματα συμπαγή, κοκκώδη
Διδυμία	Κατά {0001} συχνή αλλά και πολυδυμία
Σκληρότητα	3
Σχισμός	Κατά {1100} τέλειος
Θραύση	Κογχοειδής έως ακανόνιστη
Λάμψη	Υαλώδης έως θαμπή
Γραμμή κόνεως	Λευκή
Πλεοχρωτισμός	-
Διαφάνεια	Διαφανής

Πίνακας 3.6. Στοιχεία του ορυκτού ασβεστίτη

2. Χαλαζίας (SiO₂)

Ο χαλαζίας είναι ορυκτό του πυριτίου και συγκεκριμένα πολύ καθαρό οξείδιο του πυριτίου και το δεύτερο πιο διαδεδομένο ορυκτό στη φύση. Είναι σημαντικό ορυκτό της λιθόσφαιρας και συμμετέχει στα συστατικά της σε ποσοστό περίπου 12%.

Κατηγορία	Οξείδια, ομάδα χαλαζία
Χημικός τύπος	SiO ₂
Πυκνότητα	2,65 gr/cm ³
Χρώμα	Ποικίλλει
Σύστημα κρυστάλλωσης	Τριγωνικό, Εξαγωνικό
Κρύσταλλοι	Πρισματικοί ή ρομβοεδρικοί
Υφή	Ευδιάκριτοι κρύσταλλοι
Διδυμία	Ναι
Σκληρότητα	7
Σχισμός	Ασθενής
Θραύση	Κογχοειδής
Λάμψη	Υαλώδης
Γραμμή κόνεως	Λευκή
Διαφάνεια	Διαφανής, ημιδιαφανής

Πίνακας 3.7. Στοιχεία του ορυκτού χαλαζία

3. Ανκερίτης {Ca(Fe⁺²,Mg,Mn⁺²)(CO₃)₂}

Ο ανκερίτης (ankerite) είναι ανθρακικό ορυκτό του ασβεστίου, του σιδήρου και του μαγγανίου.

Κατηγορία	Ανθρακικά, ομάδα δολομίτη
Χημικός τύπος	$\text{Ca}(\text{Fe}^{+2}, \text{Mg}, \text{Mn}^{+2})(\text{CO}_3)^2$
Πυκνότητα	3,1 gr/cm ⁺³
Χρώμα	Υπόλευκο, γκρίζο, κίτρινο έως πορτοκαλέρυθρο
Σύστημα κρυστάλλωσης	Τριγωνικό
Κρύσταλλοι	Ρομβοεδρικοί καμπυλωμένοι, πρισματικοί ή τραπεζοειδείς
Υφή	Συμπαγής, κοκκώδης
Διδυμία	Απλή
Σκληρότητα	3,5 - 4
Σχισμός	Τέλειος {1011}
Θραύση	Κογχοειδής
Λάμψη	Υαλώδης έως μαργαριτώδης
Γραμμή κόνεως	Λευκή
Πλεοχρωισμός	Όχι
Διαφάνεια	Ημιδιαφανής

Πίνακας 3.8. Στοιχεία του ορυκτού ανκερίτη

4. Μοσχοβίτης $\{\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2\}$

Ο μοσχοβίτης (muscovite) είναι το κοινότερο μέλος της ομάδας των μαρμαρυγιών. Ανευρίσκεται ως συστατικό πολλών πετρωμάτων, αποτελώντας ένα από τα πλέον συνήθη πετρογενετικά ορυκτά. Απαντά σε εκρηξιγενή, ιζηματογενή και μεταμορφωσιγενή πετρώματα.

Κατηγορία	Φυλλοπιριτικά, ομάδα μαρμαρυγιών
Χημικός τύπος	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$
Πυκνότητα	2,8 - 2,9 gr/cm ³
Χρώμα	Συνηθέστερα άχρωμος, ανοιχτοκίτρινος, καστανός, ερυθρωπός, πρασινωπός.
Σύστημα κρυστάλλωσης	Μονοκλινές
Κρύσταλλοι	Πινακοειδείς, βραχυπρισματικοί
Υφή	Φυλλώδης, συμπαγής σε φυλλάρια
Διδυμία	Διδυμία {001} και {310}
Σκληρότητα	2 - 2,5
Σχισμός	Τέλειος {001}
Θραύση	Σπάνια αλλά ανώμαλη
Λάμψη	Υαλώδης έως μαργαριτώδης
Γραμμή κόνεως	Λευκή
Πλεοχρωτισμός	Ασθενής
Διαφάνεια	Διαφανής ως ημιδιαφανής

Πίνακας 3.9. Στοιχεία του ορυκτού μοσχοβίτη

4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΚΟΠΗΣ

4.1 Μηχανική της κοπής πετρωμάτων

Η θραύση των πετρωμάτων αποτελεί ένα σημαντικό μέρος της μηχανικής των πετρωμάτων. Ο κλάδος της θραύσης των πετρωμάτων έχει αναπτυχθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό και έχει γίνει αντικείμενο συνεχούς μελέτης. Επίσης γίνεται προσπάθεια στην κατεύθυνση της ταξινόμησης των πετρωμάτων αλλά και της σωστής επιλογής και βέλτιστης λύσης για την κοπή-εξόρυξη των πετρωμάτων με το μικρότερο κόστος και το κατάλληλο μηχανικό μέσο.

Σαν συνέχεια των όσων αναφέραμε προέκυψαν ύστερα από πολλές δοκιμές και εκτενή μελέτη πάνω σε εργαστηριακές παρατηρήσεις κάποιες θεωρίες κοπής που θα επεξηγήσουμε παρακάτω αλλά και πολλά εμπειρικά κριτήρια όπως π.χ. Hoek-Brown. Στη συνέχεια για να γίνει πιο συγκεκριμένος ο κλάδος της θραύσης των πετρωμάτων (θραυστομηχανική) αλλά και στη δική μας περίπτωση θα ασχοληθούμε με τη μηχανική της κοπής των πετρωμάτων.

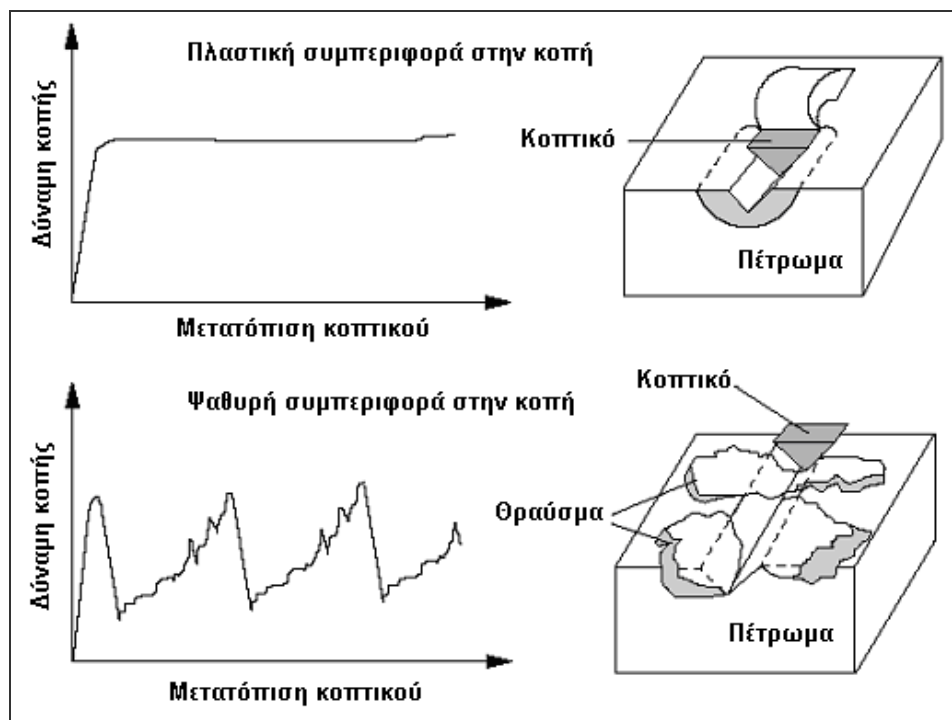
Τέλος η κοπή του πετρώματος διέπεται από κάποιες ιδιαιτερότητες που την καθιστά αυτομάτως και μια περίπλοκη διαδικασία που χρήζει ιδιαίτερης προσοχής.

Τα στοιχεία αυτά είναι τα εξής:

1. Η πολύπλοκη γεωμετρία των κοπτικών του μηχανικού μέσου δημιουργεί στο πέτρωμα ένα τρισδιάστατο, ανομοιόμορφο εντατικό φορτίο κατά την εξόρυξη.
2. Το φορτίο αλλάζει συνεχώς τόσο σε σχέση με το χρόνο αλλά και της θέσης του κοπτικού την κάθε χρονική στιγμή.
3. Εξαιτίας της μεταβλητής επαφής μεταξύ πετρώματος και κοπτικού εργαλείου, δημιουργούνται δυναμικά φορτία.

4.2 Συμπεριφορά του πετρώματος στην κοπή

Κατά τη διάρκεια της κοπής των πετρωμάτων εμφανίζονται κυρίως δύο είδη αστοχιών αυτές είναι: α) η πλαστική ροή, β) ψαθυρή αστοχία. Επίσης πολλές φορές δεν υπάρχουν σαφή όρια ανάμεσα στις δύο αυτές καταστάσεις-αστοχίες και μπορεί να υπάρχει κάποιος συνδυασμός τους και τότε είναι δύσκολο να γίνουν διακριτές.



Σχήμα 4.1. Τύποι αποσύνθεσης του πετρώματος κατά την κοπή κατά Deketh et al (Αναγνώστου 2006)

4.2.1 Πλαστική συμπεριφορά

Στην περίπτωση αυτή η μάζα που αστοχεί απομακρύνεται με ομοιογένεια και κατά κάποιον τρόπο είναι συνδεδεμένη με τη μάζα που είχε αστοχήσει προηγουμένως αλλά και ταυτόχρονα είναι συνεχώς σε επαφή με το κοπτικό μας εργαλείο.

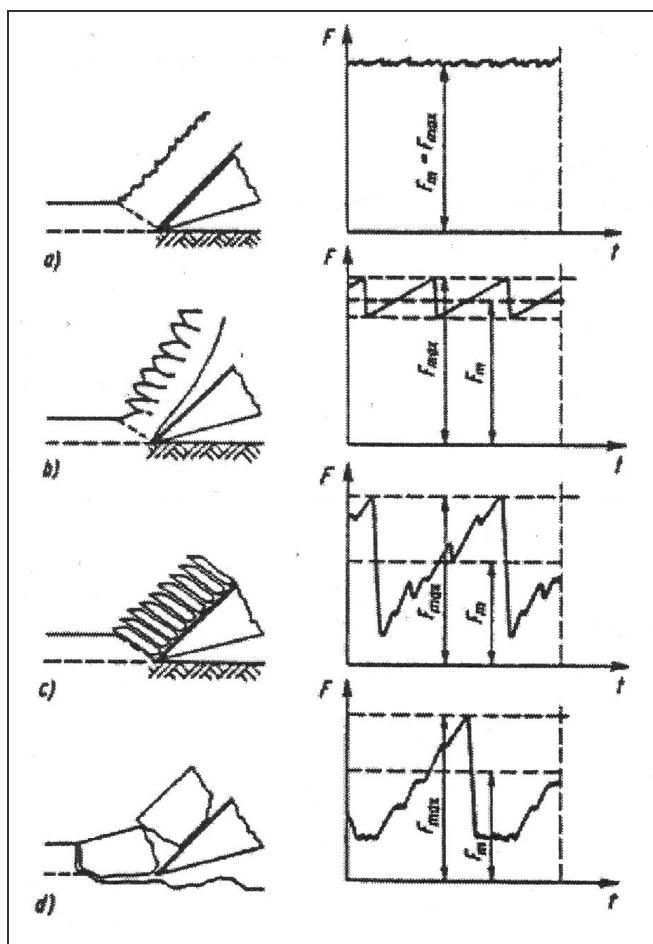
Η πλαστική ροή γίνεται αντιληπτή και είναι κυρίως χαρακτηριστικό των μετάλλων, των πλαστικών και ορισμένων μη συνεκτικών κοκκωδών μαζών όπου κατά βάση η αστοχία εξηγείται με τη θεωρία της διατμητικής θραύσης του Coulomb. Τέλος τα υλικά αυτά αστοχούν σε διάτμηση σύμφωνα με τα εμπειρικά κριτήρια Mohr-Coulomb και χαρακτηρίζονται ως πλαστικά.

4.2.2 Ψαθυρή συμπεριφορά

Στην κατηγορία αυτή της αστοχίας η μάζα του πετρώματος θραύεται ασυνεχώς και τα θραύσματα του υλικού απομακρύνονται γρήγορα και πολλές φορές βίαια από το κοπτικό. Τα περισσότερα πετρώματα εμφανίζουν ψαθυρή αστοχία κατά την κοπή τους.

Η αστοχία γενικά των πετρωμάτων εξηγείται από τη θεωρία του Griffith (ψαθυρής θραύσης) λόγω υπέρβασης της αντοχής τους σε εφελκυσμό. Υπάρχουν εμπειρικά κριτήρια όπως Hoek-Brown, Mohr-Coulomb και Johnston που υπολογίζεται η αντοχή των υλικών ή πετρωμάτων που χαρακτηρίζονται ως ψαθυρά.

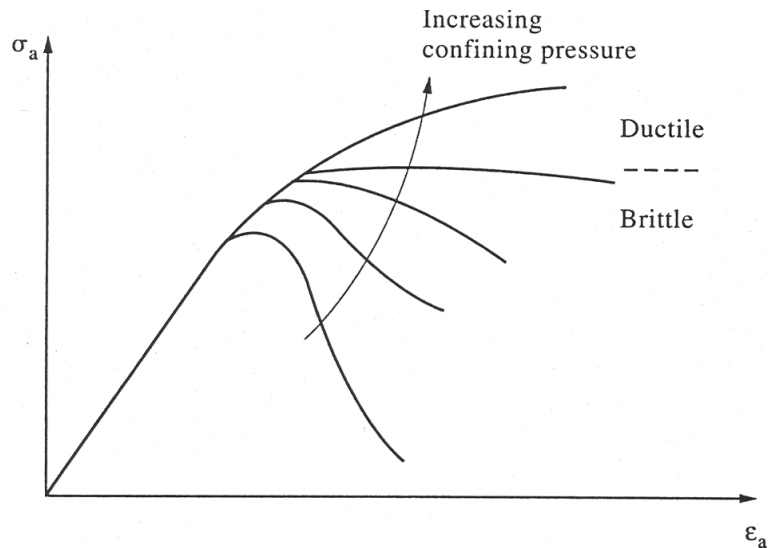
Στο σχήμα 4.2 βλέπουμε τις διακυμάνσεις της δύναμης κοπής σε σχέση με το χρόνο για ψαθυρά αλλά και πλαστικά πετρώματα.



Σχήμα 4.2. Διακύμανση της δύναμης κοπής συναρτήσει του χρόνου για a) πολύ πλαστικό, b) πλαστικό, c) ψαθυρό, d) πολύ ψαθυρό πέτρωμα (Παναγιώτου 1992).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυτές οι διακυμάνσεις κατά την εξόρυξη του πετρώματος τις αντιλαμβανόμαστε με τη μορφή δονήσεων στο μηχανικό μας μέσο.

Βέβαια θα πρέπει να δίνεται προσοχή στον ορισμό ενός πετρώματος ως ψαθυρού ή πλαστικού επειδή η ψαθυρότητα δεν είναι χαρακτηριστική ιδιότητα ενός πετρώματος αλλά εξαρτάται από τη φόρτιση στην οποία υποβάλλεται.



Σχήμα 4.3. Μεταβολή ψαθυρότητας-πλαστικότητας πετρώματος συναρτήσει του εντατικού πεδίου κατά Hudson & Harrison (Αναγνώστου 2006)

Από διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων δοκιμής μονοαξονικής θλίψης μπορούμε γενικά να χαρακτηρίσουμε ένα πέτρωμα πλαστικό όταν αστοχεί μετά από μόνιμες (πλαστικές) παραμορφώσεις ή ψαθυρό όταν αστοχεί πριν εμφανιστούν μόνιμες (πλαστικές) παραμορφώσεις.

Στο σημείο αυτό θα αναφέρουμε το δείκτη ψαθυρότητας που είναι ο λόγος της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη προς την αντοχή σε μονοαξονικό εφελκυσμό.

Ο τύπος που δίνει το δείκτη ψαθυρότητας είναι: $Z = \frac{UCS}{UTS}$

Οι συμβολισμοί είναι:

UCS: αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (MPa)

UTS: αντοχή σε μονοαξονικό εφελκυσμό (MPa)

Z: δείκτης ψαθυρότητας

Για τον ασβεστόλιθο τον οποίο μελετάμε ο δείκτης ψαθυρότητας είναι:

$$Z = \frac{83.4}{7.8} = 10.7$$

Επομένως το πέτρωμα μας χαρακτηρίζεται ως ψαθυρό.

Στον πίνακα που ακολουθεί γίνεται μια προσπάθεια χαρακτηρισμού του πετρώματος με βάση το δείκτη ψαθυρότητας.

Z: δείκτης ψαθυρότητας	Χαρακτηρισμός πετρώματος
>20	Πολύ ψαθυρό
20-10	Ψαθυρό
10-5	Πλαστικό
<5	Πολύ πλαστικό

Πίνακας 4.1. Χαρακτηρισμός ψαθυρότητας-πλαστικότητας πετρώματος κατά Thuro (Αναγνώστου 2006)

Επίσης εκτός από το δείκτη ψαθυρότητας υπάρχει και δείκτης-συντελεστής πλαστικότητας όπου δίνεται από τον τύπο:

$$K = \frac{H_{20} - H_1}{H_{20}} * 100(\%)$$

Οι συμβολισμοί είναι:

K: συντελεστής πλαστικότητας επί τοις εκατό (%)

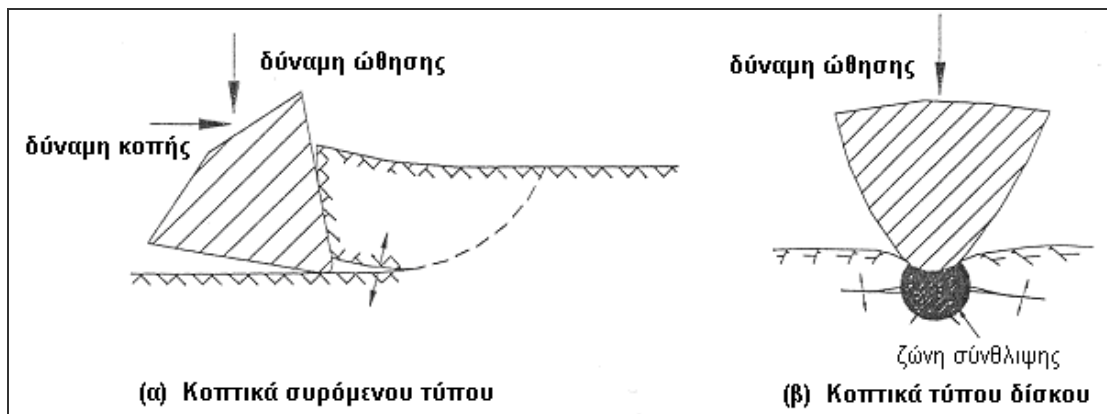
H₂₀: σκληρότητα κατά Shore μετά από 20 ανακρούσεις στο ίδιο σημείο

H₁: σκληρότητα κατά Shore μετά από 1 ανάκρουση

Με βάση το συντελεστή πλαστικότητας τα πετρώματα διακρίνονται σε πλαστικά (μεγάλες τιμές του συντελεστή K) και ψαθυρά (μικρές τιμές του συντελεστή K).

4.3 Είδη κοπτικών εργαλείων

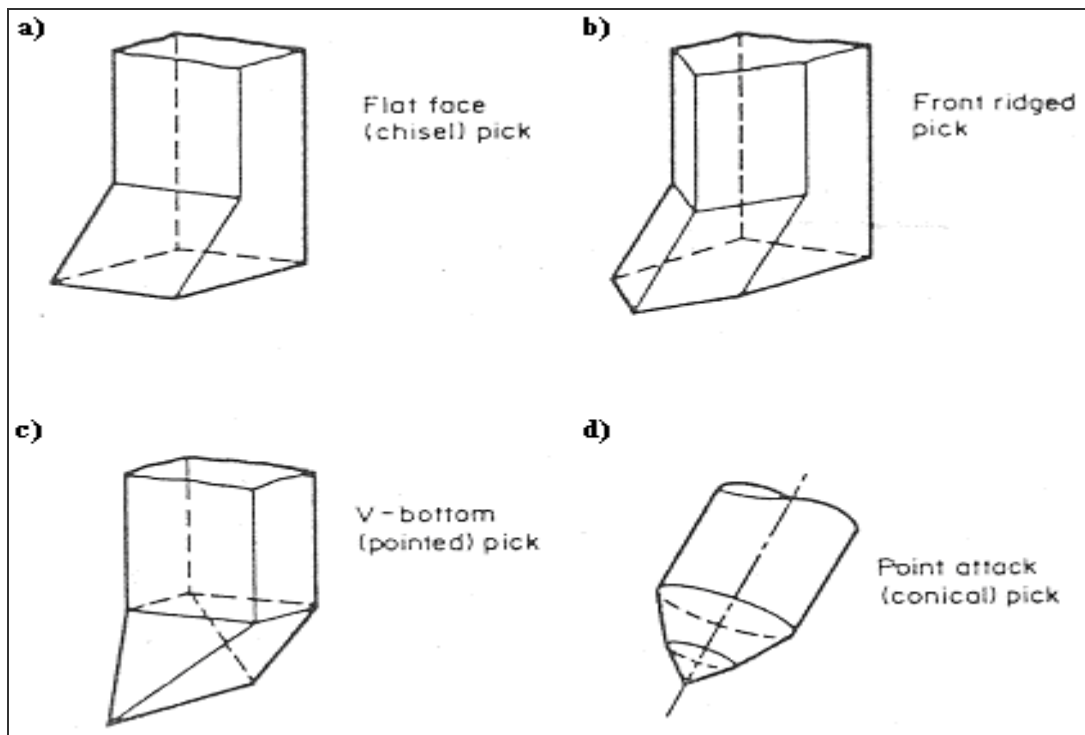
Υπάρχουν δύο κατηγορίες κοπτικών εργαλείων για την μηχανική όρυξη των πετρωμάτων. α) τα κοπτικά εργαλεία συρόμενου τύπου (drag picks) και β) τα κοπτικά εργαλεία τύπου δίσκου (disc cutters).



Σχήμα 4.4. Δυνάμεις που προκαλούν θραύση του πετρώματος για κοπτικά α) συρόμενου τύπου, β) τύπου δίσκου κατά Hood (Αναγνώστου 2006).

Τα κοπτικά συρόμενου τύπου διακρίνονται περαιτέρω σε:

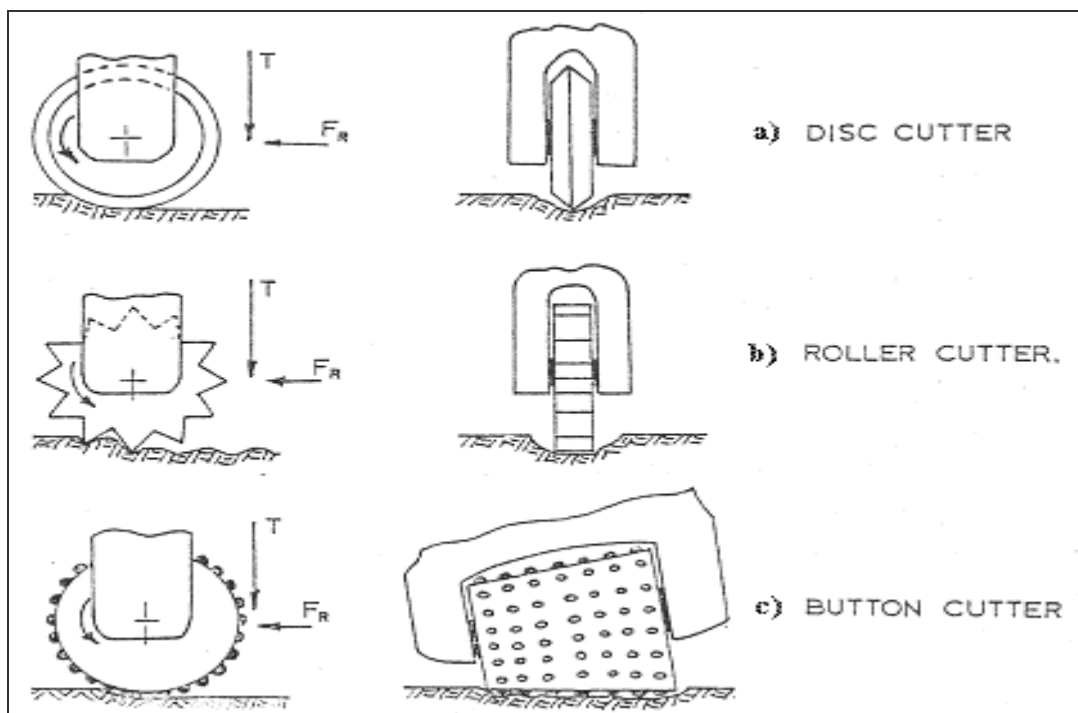
- κοπτικά τύπου σμίλης (chisel picks) και
- κοπτικά σημειακής προσβολής (point attack picks).



Σχήμα 4.5. Κοπτικά συρόμενου τύπου: a), b), c) κοπτικά τύπου σμίλης, d) κοπτικό σημειακής προσβολής κατά Nishimatsu (Αναγνώστου 2006).

Τα κοπτικά τύπου δίσκου διακρίνονται περαιτέρω σε:

- κοπτικά δίσκου (disc cutters)
- κοπτικά οδοντωτού δίσκου (disc rollers ή roller cutters) και
- κοπτικά περιστρεφόμενου τύμπανου με κομβία (button cutters)



Σχήμα 4.6. Κοπτικά τύπου δίσκου: a) κοπτικό δίσκου, b) κοπτικό οδοντωτού δίσκου, c) κοπτικό περιστρεφόμενου τυμπάνου με κομβία κατά Roxborough (Αναγνώστου 2006).

Τα κοπτικά εργαλεία διαφέρουν τόσο στη γεωμετρία όσο και στον τρόπο προσβολής του πετρώματος και στον μηχανισμό αποσύνθεσής του. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορες θεωρίες κοπής που θα αναλύσουμε παρακάτω.

Τα κοπτικά εργαλεία συρόμενου τύπου θραύουν το πέτρωμα εφαρμόζοντας σ' αυτό δύναμη η οποία είναι παράλληλη στην επιφάνεια του (δύναμη κοπής) F_R . Η κάθετη δύναμη στην επιφάνεια του πετρώματος (ώθηση) F_N ή T διατηρεί το κοπτικό στο επιθυμητό βάθος κοπής. Αντίθετα στα κοπτικά εργαλεία τύπου δίσκου η κύρια δύναμη που προκαλεί την θραύση του πετρώματος είναι η δύναμη ώθησης F_N ή T .

Μία γενική κατηγοριοποίηση της εφαρμογής του κάθε τύπου κοπτικού εργαλείου γίνεται βάσει της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη του πετρώματος το οποίο μπορούν με αποτελεσματικότητα να προσβάλλουν. Η αποτελεσματικότητα ενός κοπτικού έχει να κάνει τόσο με την απόδοση του (ενέργεια για την εξόρυξη

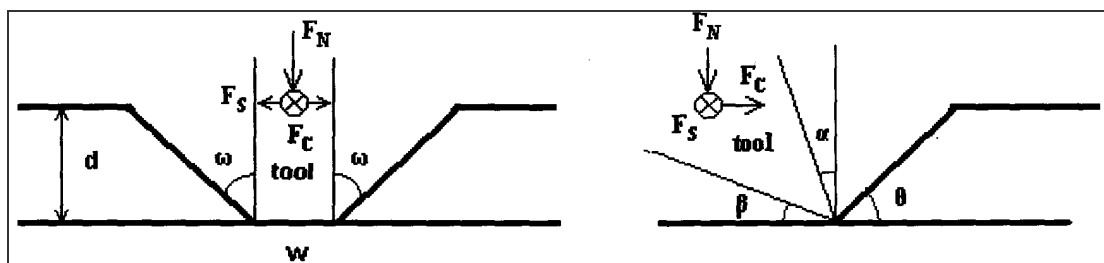
μονάδας όγκου πετρώματος), όσο και με τη διατήρηση των χαρακτηριστικών του (γεωμετρία, μάζα) κατά τη διάρκεια της χρήσης του.

Γενικά τα κοπτικά συρόμενου τύπου είναι αποδοτικότερα έναντι των κοπτικών τύπου δίσκου. Αυτό οφείλεται στον αποδοτικότερο μηχανισμό με τον οποίο προκαλούν αστοχία στο πέτρωμα. Σε υψηλές όμως αντοχές του πετρώματος φθείρονται ευκολότερα έτσι χάνουν τα αρχικά τους χαρακτηριστικά τα οποία τα καθιστούν αποδοτικά και επομένως γίνονται μη αποτελεσματικά.

Στον πίνακα 4.2 βλέπουμε ανάλογα με την αντοχή του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη την επιλογή του κοπτικού εργαλείου.

Κοπτικό εργαλείο	Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (MPa)
Τύπου σφήνας	<20
Σημειακής προσβολής	<124
Τύπου δίσκου	5-310
Τύπου δίσκου με κομβία	>240

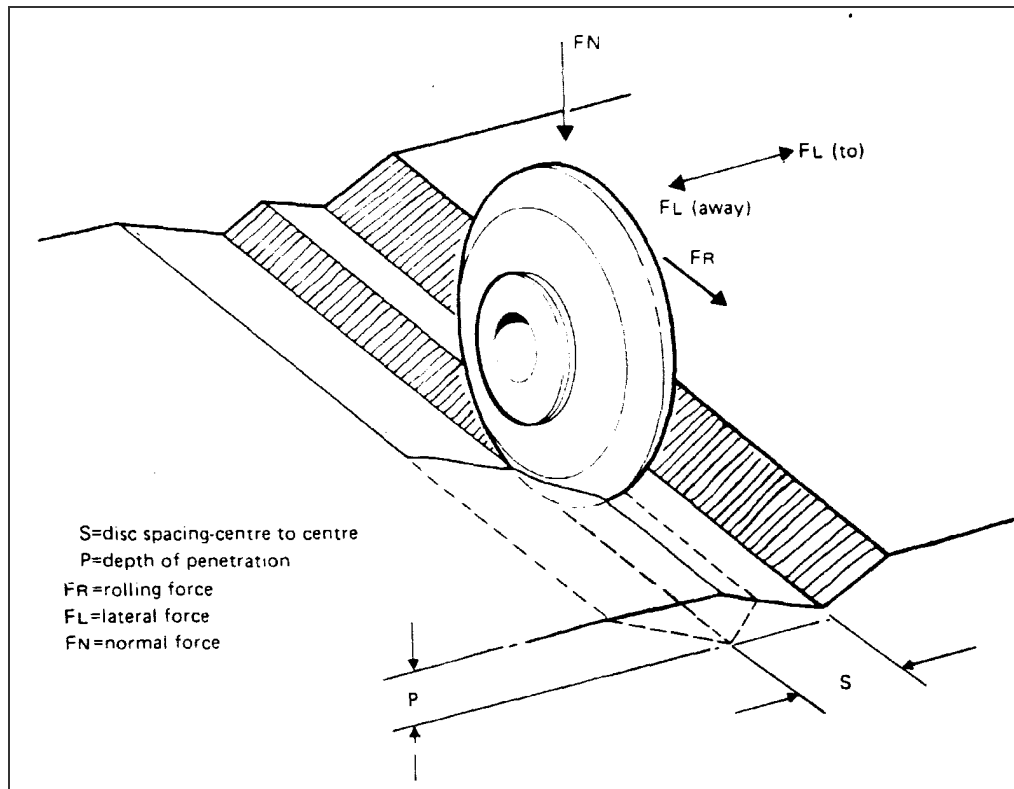
Πίνακας 4.2. Καταλληλότητα κοπτικών εργαλείων βάσει της αντοχής του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη κατά Kramadibrata (Αναγνώστου 2006).



Σχήμα 4.7. Συμβολισμός σε κοπτικά συρόμενου τύπου

Κατά την κοπή πετρωμάτων με κοπτικά εργαλεία συρόμενου τύπου αναπτύσσονται κάποιες δυνάμεις και δημιουργούνται συγκεκριμένες γωνίες που εξηγούνται αναλυτικά παρακάτω:

- Δύναμη Κοπής F_c (kN): δύναμη η οποία ασκείται στο κοπτικό παράλληλα προς τη διεύθυνση κοπής και είναι η μοναδική δύναμη η οποία παράγει έργο.
- Κάθετη Δύναμη ή Ώθηση F_N ή F_T (kN): δύναμη η οποία ασκείται στο κοπτικό κάθετα προς τη διεύθυνση της κοπής και αντιστοιχεί στην ώθηση που διατηρεί το κοπτικό στο επιθυμητό βάθος κοπής.
- Πλάγια Δύναμη F_L ή F_S (kN): δύναμη η οποία ασκείται στο πέτρωμα από τα πλευρικά τοιχώματα του κοπτικού και έχει διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο που σχηματίζουν οι δύο προηγούμενες δυνάμεις.
- Γωνία Εμπρόσθιας Ελευθερίας α (ακτίνια): γωνία που σχηματίζεται από την κάθετο στη διεύθυνση της κοπής και την εμπρόσθια επιφάνεια του κοπτικού ενώ επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το μέγεθος των δυνάμεων κατά την κοπή.
- Γωνία Οπίσθιας Ελευθερίας β (ακτίνια): γωνία που σχηματίζεται από την οριζόντιο και την κάτω επιφάνεια του κοπτικού ενώ σκοπός της είναι να μην τρίβεται η κάτω επιφάνεια του κοπτικού με το πέτρωμα.
- Γωνία Υπερεκσκαφής ω (ακτίνια): γωνία που σχηματίζεται από την πλευρική επιφάνεια του κοπτικού και την επιφάνεια υπερεκσκαφής του πετρώματος.



Σχήμα 4.8. Συμβολισμός σε κοπτικά τύπου δίσκου κατά Snowdon et al (Αναγνώστου 2006).

Επίσης και κατά την κοπή πετρωμάτων με κοπτικά εργαλεία τύπου δίσκου αναπτύσσονται κάποιες δυνάμεις και δημιουργούνται συγκεκριμένες γωνίες που εξηγούνται αναλυτικά παρακάτω:

- Δύναμη Κύλισης F_R (kN): δύναμη η οποία ασκείται στη διεύθυνση της κοπής ώστε ο δίσκος να κυλά στο απαιτούμενο βάθος κοπής.
- Δύναμη Ώθησης F_T ή F_N (kN): δύναμη η οποία ασκείται στο κοπτικό κάθετα προς τη διεύθυνση της κύλισης (κοπής) και αντιστοιχεί στην ώθηση που διατηρεί το κοπτικό στο επιθυμητό βάθος κοπής.
- Πλάγια Δύναμη F_L ή F_S (kN): δύναμη η οποία ασκείται στο πέτρωμα από τα πλευρικά τοιχώματα του κοπτικού και έχει διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο που σχηματίζουν οι δύο προηγούμενες δυνάμεις.
- Ακτίνα Δίσκου R (cm)
- Γωνία Αιχμής Δίσκου α (ακτίνια)

- Επιφάνεια Προσβολής A (cm^2): διεπιφάνεια αιχμής δίσκου-πετρώματος.

Γενικά			
Σύμβολο	Παράμετρος	Μονάδα	Ορισμός
d ή ρ	Βάθος κοπής	cm	
s	Απόσταση διαδοχικών κοπτικών	cm	
W	Πλάτος αιχμής σφήνας	cm	
σ_c	Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη	kN / cm^2	
σ_t	Αντοχή σε μονοαξονικό εφελκυσμό	kN / cm^2	
c	Συνοχή	kN / cm^2	
ϕ	Γωνία εσωτερικής τριβής πετρώματος	ακτίνια	
ϕ'	Γωνία τριβής μετάλλου-πετρώματος	ακτίνια	από εργαστηριακές δοκιμές: $\tan \phi' \cong 0.75 \cdot \tan \phi$
θ	Γωνία αστοχίας	ακτίνια	Γωνία που σχηματίζεται από το οριζόντιο επίπεδο και το επίπεδο αστοχίας

Πίνακας 4.3. Γενικός συμβολισμός

4.4 Κοπτικά Συρόμενου Τύπου

4.4.1 Θεωρία κοπής Merchant

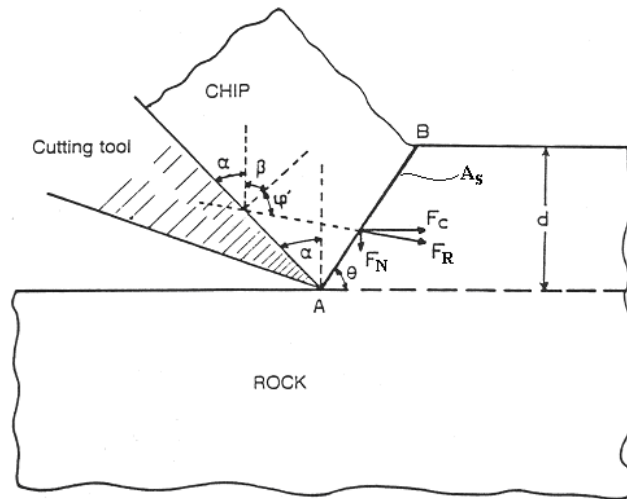
Η πρώτη ημιεμπειρική προσπάθεια μοντελοποίησης αλλά και κατανόησης της κοπής των πετρωμάτων έγινε από τη θεωρία του Merchant (1944). Αν και γενικά εξηγεί το μηχανισμό κοπής πλαστικών υλικών που κυρίως αστοχούν σε διάτμηση

μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ψαθυρά υλικά όπως έχει παρατηρηθεί από πειραματικά αποτελέσματα.

4.4.1.1 Βασικές παραδοχές

- Το θραύσμα θεωρείται ενιαίος όγκος σε ισορροπία υπό τη δράση των δυνάμεων κοπής και της αντίδρασης.
- Κατά βάση έχουμε επίπεδη παραμόρφωση διότι έχουμε μικρό βάθος κοπής σε σχέση με το πλάτος του κοπτικού (δισδιάστατο πρόβλημα).
- Το κοπτικό μεταβιβάζει το σύνολο της δύναμης μέσω της διεπιφάνειας κοπτικού-αποκόμματος. Δηλαδή δεν υπάρχει καμία συγκέντρωση τάσεων στην αιχμή του κοπτικού και συνεπώς καμία ζώνη σύνθλιψης η οποία θα μπορούσε να οδηγήσει σε σύνθλιψη (crushing) ή εφελκυστική αστοχία (βλ. θεωρία Nishimatsu).
- Ο χρόνος δε λαμβάνεται υπόψη (σταθερές δυνάμεις).
- Αστοχία σε διάτμηση.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι το αποκοπτόμενο τμήμα του πετρώματος βρίσκεται σε ισορροπία, εφαπτόμενο επί της επάνω πλευράς της σφήνας, η συνισταμένη δύναμη F αναλύεται σε οριζόντια και κάθετη συνισταμένη, F_C και F_N αντίστοιχα. Στο σχήμα 4.9 απεικονίζονται οι δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την κοπή του πετρώματος.



Σχήμα 4.9. Διάγραμμα δυνάμεων κατά τη θεωρία Merchant (Αναγνώστου 2006).

4.4.1.2 Εξισώσεις-μαθηματική απεικόνιση

Με βάση την γεωμετρία του Σχήματος

$$\frac{F_n}{F_c} = \cot(\pi - \beta - \varphi') = -\cot(\beta + \varphi') \quad (1)$$

Όπου έχουμε:

β = συμπληρωματική γωνία της εμπρόσθιας γωνίας ελευθερίας του κοπτικού.

Αναλύοντας τις δυνάμεις στο επίπεδο αστοχίας AB παίρνουμε:

$$F_c \cdot \cos \theta - F_n \cdot \sin \theta = \frac{C \cdot d}{\sin \theta} \quad (2)$$

Αντικαθιστώντας την F_n από την (1) στη (2) παίρνουμε:

$$F_c \cdot \cos \theta + F_c \cdot \cot(\beta + \phi') \cdot \sin \theta = \frac{C \cdot d}{\sin \theta} \quad (3)$$

$$F_c = \frac{C \cdot d \cdot \sin(\beta + \phi')}{\sin \theta \cdot \sin(\beta + \phi' + \theta)} \quad (4)$$

Αν θεωρήσουμε ότι η διεύθυνση του επιπέδου διάτμησης είναι τέτοια, ώστε η δύναμη κοπής F_c , άρα και το έργο που παράγει κατά τη διάρκεια της κοπής, είναι ελάχιστο δηλαδή θεωρούμε πως είναι μηδέν τότε έχουμε:

$$\Theta = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \cdot (\beta + \phi') \quad (5)$$

Ο Merchant προσδιόρισε πειραματικά τη γωνία θ και ύστερα χρησιμοποιώντας τη σχέση 6 υπολόγισε την τιμή της ϕ' . Αν η ϕ είναι γνωστή τότε:

$$F_{c(\min)} = 2 \cdot C \cdot d \cdot \tan \frac{(\beta + \phi')}{2} \quad (6)$$

Η θεωρία του Merchant αναπτύχθηκε για υλικά που έχουν μόνο συνοχή, μπορεί όμως να επεκταθεί και σε υλικά, που έχουν συνοχή και γωνία εσωτερικής τριβής ϕ , οπότε λαμβάνει τη παρακάτω μορφή:

$$F_c = \frac{2 \cdot C \cdot d \cdot \sin(\beta + \phi')}{[\cos \phi + \cos(\beta + \phi')] \cdot [1 - \tan \phi \cdot \tan \frac{1}{2}(\beta + \phi' - \phi)]} \quad (7)$$

Επεξήγηση μεταβλητών:

F_c = δύναμη κοπής ανά μονάδα μήκους κοπτικού, (Kg/cm).

C = συνοχή του πετρώματος, (Kg/cm²).

d = βάθος κοπής, (cm).

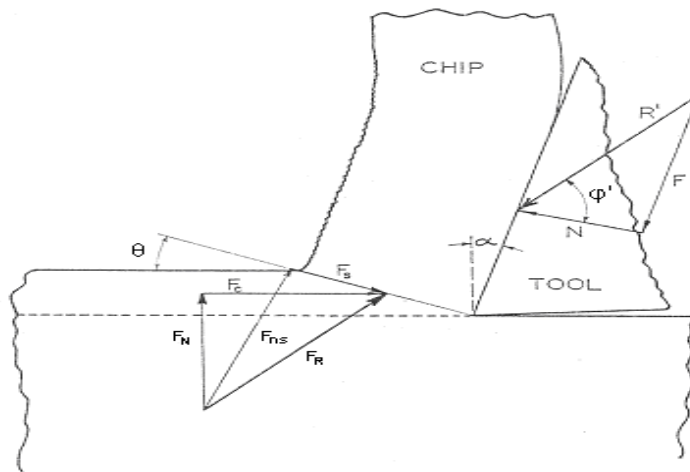
β = συμπληρωματική γωνία της εμπρόσθιας γωνίας ελευθερίας του κοπτικού εργαλείου (γωνία οπίσθιας ελευθερίας).

ϕ' = γωνία τριβής μεταξύ πετρώματος και κοπτικού εργαλείου.

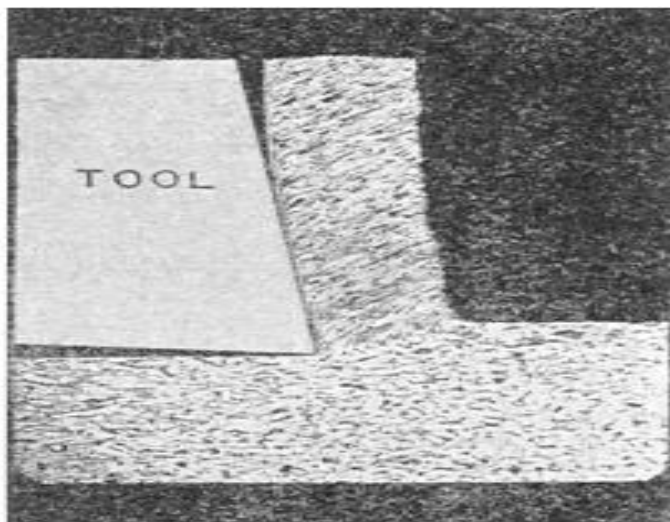
ϕ = γωνία εσωτερικής τριβής του πετρώματος.

α = γωνία πρόσθιας ελευθερίας.

F_{ns} =κάθετη δύναμη στο επίπεδο αστοχίας.



Σχήμα 4.10. Επίδραση της ορθής τάσης F_{ns} στην διατμητική αντοχή του επιπέδου αστοχίας, (Merchant, 1944).



Σχήμα 4.11. Κοπή πλαστικού υλικού (μετάλλου) με δημιουργία συνεχούς θραύσματος και εμφανές επίπεδο αστοχίας, (Αναγνώστου 2006).

4.4.2 Θεωρία Evans

Η σύμπτωση της θεωρίας Merchant με τα πειραματικά αποτελέσματα κοπής σε πετρώματα υπάρχει και μάλιστα σε ικανοποιητικό βαθμό ωστόσο δεν υπάρχει αμφιβολία ότι παραγνωρίζει το πραγματικό μηχανισμό αστοχίας των ψαθυρών υλικών.

Από διερευνήσεις σε κοπές πετρωμάτων δεν υπάρχει ένδειξη διατμητικής αστοχίας ή ακόμη και αν συμβαίνει είναι τόσο εξαιρετικά περιορισμένη και τοπική ώστε να μην υπάρχει σχεδόν κανένα ίχνος πλαστικής παραμόρφωσης τόσο στα θραύσματα όσο και στην επιφάνεια θραύσης.

Στην ουσία η πρώτη θεωρία κοπής η οποία αναπτύχθηκε αποκλειστικά για πετρώματα είναι η θεωρία κοπής του Evans. Ο Evans, εκτελώντας πειράματα διείδυσης σφήνας σε ψαθυρά πετρώματα όπως ο άνθρακας με κοπτικά εργαλεία τύπου σφήνας, παρατήρησε ότι τα ψαθυρά υλικά, αστοχούν σε εφελκυσμό κατά μήκος τόξου το οποίο ξεκινά από το σημείο προσβολής και καταλήγει σε ελεύθερη επιφάνεια της μάζας του πετρώματος.

Αρχικά αναπτύχθηκε η γενική θεωρία η οποία λαμβάνει υπόψη μία αρχική διείσδυση του κοπτικού εργαλείου. Έπειτα κάνοντας την θεώρηση ότι το βάθος διείσδυσης της σφήνας είναι πολύ μικρό σε σχέση με το βάθος κοπής αναπτύχθηκε η απλοποιημένη θεωρία Evans. Έτσι έχουμε συνοπτικά τις ακόλουθες θεωρίες του Evans.

4.4.2.1 Γενική θεωρία κοπής Evans

Βασικά στοιχεία:

- Ομοιόμορφη εφελκυστική αστοχία κατά μήκος της καμπύλης AB.
- Η καμπύλη AB δηλαδή η καμπύλη αστοχίας είναι τόξο κύκλου ακτίνας r με οριζόντια εφαπτομένη στο A.
- Η συνισταμένη εφελκυστική δύναμη T_a έχει διεύθυνση τη μεσοκάθετο της χορδής AB.
- Οι δυνάμεις (μέτρα) είναι ανά μέτρο πλάτους της σφήνας, είναι σταθερές συναρτήσει του χρόνου και είναι ίσες με τις μέγιστες αναπτυσσόμενες.

4.4.2.2 Απλοποιημένη θεωρία κοπής Evans

Βασικά στοιχεία:

- Δε λαμβάνεται υπόψη η διείσδυση της σφήνας
- Από τη γενική θεωρία παρατηρείται ότι όταν ισχύει η σχέση $\sigma_c/\sigma_t=10$, κάτι το οποίο ισχύει για τα περισσότερα πετρώματα, τότε η διείσδυση της σφήνας μέχρι τη θραύση είναι αμελητέα.
- Ισχύει ο τύπος:

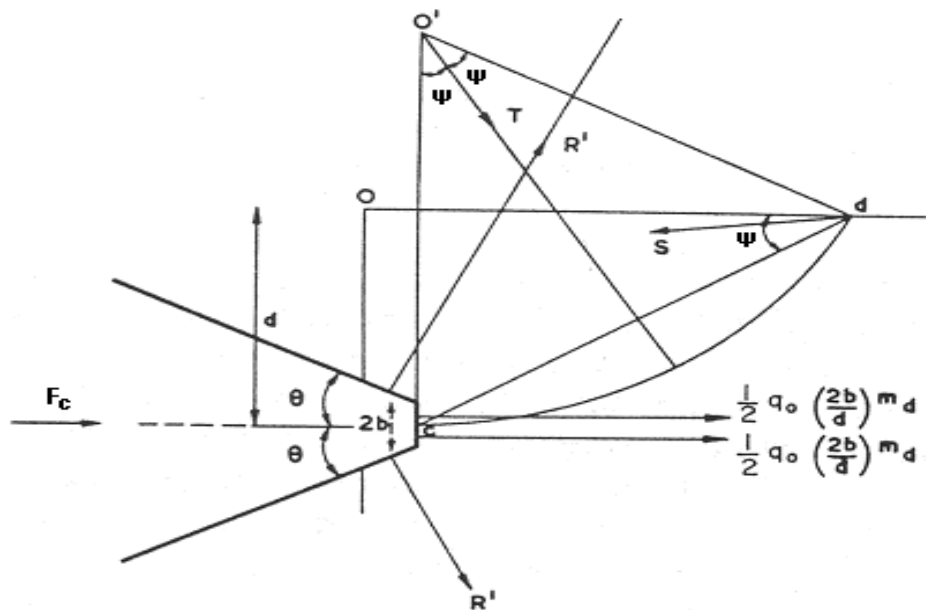
$$F_c = \frac{2\sigma_t * d * \sin(\theta + \phi')}{1 - \sin(\theta + \phi')}$$

4.4.2.3 Θεωρία Evans για αμβλείες σφήνες

- Η αμβλεία επιφάνεια ενεργοποιεί τη θλιπτική αντοχή του πετρώματος που αντιστέκεται στη διείσδυση.

Μαθηματική απεικόνιση:

$$\frac{F_C}{2 \cdot \sigma_t \cdot d} = \frac{\sin(\theta + \phi')}{2 \cdot \sin \psi \cdot \cos(\psi + \theta + \phi')} + 2^{m-1} \cdot \frac{q_o}{\sigma_t} \cdot \left(\frac{b}{d}\right)^m \cdot \left(1 + \frac{\sin \psi \cdot \sin(\theta + \phi')}{\cos(\psi + \theta + \phi')}\right)$$



Σχήμα 4.12. Διάγραμμα δυνάμεων για μη αιχμηρή σφήνα (αμβλεία) κατά τη θεωρία Evans (Αναγνώστου 2006)

4.4.2.4 Κοπτικά σημειακής προσβολής σύμφωνα με τη θεωρία Evans

Βασικά στοιχεία:

- Όταν το κωνικό κατά κύριο λόγο κοπτικό ωθείται προς την ελεύθερη επιφάνεια ενός πετρώματος τότε αναπτύσσονται στην περιφέρεια του εφασπτομενικές εφελκυστικές και ακτινικές θλιπτικές τάσεις.
- Καθώς η εφελκυστική αντοχή του πετρώματος είναι πολύ μικρή όταν ξεπεραστεί αυτή τότε δημιουργούνται ρωγμές που αναπτύσσονται μέχρι την άνω ελεύθερη επιφάνεια.
- Στην περίπτωση μικρής διείσδυσης του κοπτικού τότε υποεκτιμάται η δύναμη κοπής στην αντίθετη περίπτωση υπερεκτιμάται.
- Δε λαμβάνουμε υπόψη μας την απόσταση μεταξύ των διαδοχικών κοπτικών.
- Ενδεικτικά ισχύει:

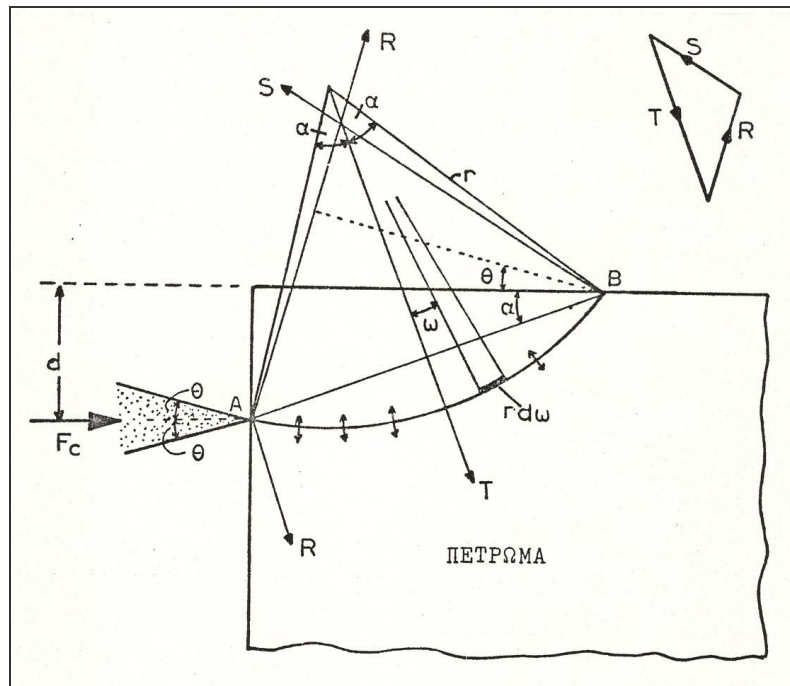
$$F_c = \frac{16\pi}{\cos^2 \beta} \cdot \frac{\sigma_t^2}{\sigma_c} \cdot t$$

Όπου έχουμε:

t= βάθος κοπής

β= ήμισυ γωνίας κοπτικού

Μηχανισμός (Γενική θεωρία κοπής)



Σχήμα 4.13. Διάγραμμα δυνάμεων κατά την απλοποιημένη θεωρία Evans (Παναγιώτου 2006).

Κοπτικό εργαλείο τύπου σφήνας δημιουργεί μια αρχική διείσδυση που όπως αναφέραμε και προηγουμένως είναι πολύ μικρή σε σχέση με το βάθος κοπής. Η διείσδυση αυτή είναι σε απόσταση d από την ελεύθερη επιφάνεια του πετρώματος.

Στη συνέχεια τείνει να ανατρέψει το τεμάχιο του πετρώματος γύρω από το σημείο B όπως φαίνεται και από το σχήμα 4.13. Έχοντας βεβαία γνωστό ότι επικρατούν συνθήκες επίπεδης παραμόρφωσης η αστοχία θα συμβεί κατά μήκος της καμπύλης AB.

Στην οριακή κατάσταση αστοχίας το τεμάχιο του πετρώματος βρίσκεται σε ισορροπία ροπών στο σημείο B με τη δράση των εξής τριών δυνάμεων:

- τη συνιστώσα R της δύναμης κοπής F_c .
- τη συνισταμένη δύναμη της εφελκυστικής αντοχής T .
- τη δύναμη S που διέρχεται από το B και είναι απαραίτητη για την ισορροπία των δυνάμεων.

4.4.2.5 Εξισώσεις-Μαθηματική απεικόνιση

Λόγω της ισορροπίας των δυνάμεων, οι δυνάμεις R, T και S μπορούν να παρασταθούν ως προς την διεύθυνση και το μέγεθος τους με τις πλευρές ενός τριγώνου, ενώ στην ανάλυση λαμβάνεται υπόψη η ισορροπία μιας λωρίδας του αποκοπτόμενου τμήματος πάχους ίσου προς την μονάδα.

$$T = \sigma_t * r * \int_{-\psi}^{\psi} \cos \omega ds = 2 * \sigma_t * r * \sin \psi \quad (1)$$

Όπου έχουμε:

$r \, d\omega$ = τμήμα του τόξου AB που σχηματίζει γωνία ω με την ακτίνα συμμετρίας του τόξου.

$$\text{Ισορροπία ροπών στο σημείο B: } R * \frac{d}{\sin \psi} * \cos(\psi + \theta) = T * r * \sin \psi \quad (2)$$

Επίσης ισχύει:

$$r * \sin \psi = \frac{d}{\sin \psi} \quad (3)$$

με αντικατάσταση στην (2) έχουμε:

$$R = \frac{\sigma_t * d}{2 * \sin \psi * \cos(\psi + \theta)} \quad (4)$$

Η οριζόντια συνιστώσα P της δύναμης R δίνεται από τη σχέση: $P = R * \sin \theta$ (5)

Η συνολική δύναμη κοπής F_c είναι $F_c = 2 * P = 2 * R * \sin \theta$ (6)

Από τις (4) και (6) προκύπτει:

$$F_c = \frac{\sigma_t * d * \sin \theta}{\sin \psi * \cos(\psi + \theta)} \quad (7)$$

Αν θεωρήσουμε ότι η γωνία ψ είναι τέτοια ώστε η δύναμη κοπής άρα και το έργο που παράγει κατά τη διάρκεια της κοπής είναι ελάχιστα τότε:

$$\cos \psi * \cos(\psi + \theta) - \sin \psi * \sin(\psi + \theta) = 0 \Leftrightarrow \cos(\theta + 2\psi) = 0 \Leftrightarrow \psi = \frac{1}{2} * \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right) \quad (8)$$

Αντικαθιστούμε τη γωνία ψ στη σχέση (7) και προκύπτει:

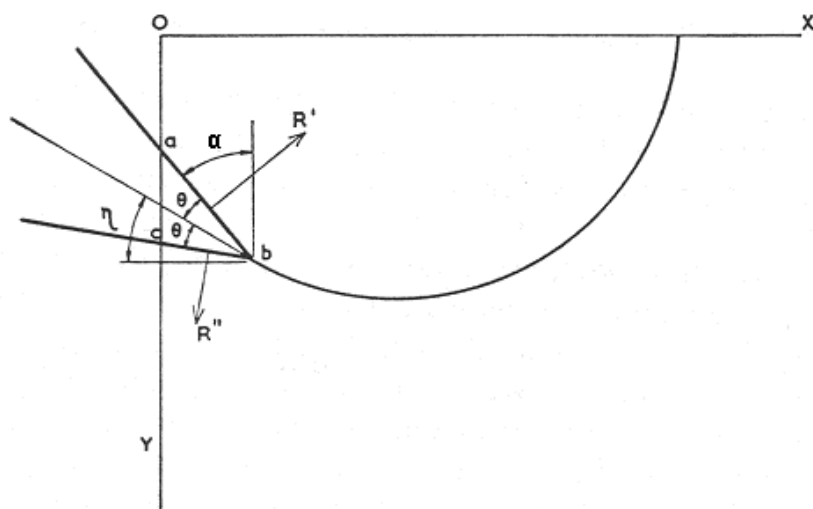
$$F_c = \frac{2 * \sigma_t * d * \sin \theta}{1 - \sin \theta} \quad (9)$$

Άμα συνυπολογίσουμε τη γωνία τριβής μεταξύ κοπτικού και πετρώματος η γωνία θ τότε πρέπει να αντικατασταθεί με $(\theta + \phi')$ οπότε η (9) παίρνει τη μορφή:

$$F_c = \frac{2 * \sigma_t * d * \sin(\theta + \phi')}{1 - \sin(\theta + \phi')} \quad (10)$$

Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλοι οι παραπάνω υπολογισμοί αλλά και η θεωρία αφορά κοπτικά εργαλεία συμμετρικής σφήνας των οποίων η διεύθυνση προσβολής είναι παράλληλη με το επίπεδο συμμετρίας τους.

Ο Whittaker βασιζόμενος στη θεωρία του Evans τη μετέτρεψε για κοπτικά τα οποία προσβάλλουν ασύμμετρα το πέτρωμα που θέλουμε να εξορύξουμε όπως φαίνεται στο σχήμα 4.14:



Σχήμα 4.14. Κοπή με ασύμμετρη σφήνα (Αναγνώστου 2006).

Ενδεικτικά δίνεται η μαθηματική εξίσωση:

όπου α = γωνία κοπτικού (ασύμμετρη σφήνα)

$$F_c = \frac{2 \cdot \sigma_t \cdot d \cdot \sin\left(\frac{1}{2}(\pi/2 - \alpha) + \phi'\right)}{1 - \sin\left(\frac{1}{2}(\pi/2 - \alpha) + \phi'\right)}$$

Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί και το συμπέρασμα του Roxborough, ο οποίος ασχολήθηκε κατά κύριο λόγο με τα κοπτικά δίσκου που θα παρατεθούν στη συνέχεια, παρόλα αυτά απέδειξε στην περίπτωση των εργαστηριακών δοκιμών που στηρίζονται στη θεωρία Evans ότι η μπορεί να εφαρμοστεί η θεωρία αυτή και σε πετρώματα με ψαθυρή συμπεριφορά στην κοπή όπως τους ψαμμίτες αλλά και τους ασβεστόλιθους.

4.4.3 Θεωρία Nishimatsu

Παρατηρώντας τον ασυνεχή σχηματισμό αποκομμάτων πετρώματος (θραύσματα) τα οποία δεν παρουσιάζουν πλαστική παραμόρφωση κατά την κοπή τους, ο Nishimatsu επιβεβαιώνει την θεώρηση της εφελκυστικής αστοχίας του Evans.

Επίσης αναπτύσσει ένα μηχανισμό διακριτών σταδίων φόρτισης και αστοχίας του πετρώματος ο οποίος ερμηνεύει τις μεγάλες διακυμάνσεις των παρατηρούμενων δυνάμεων κοπής. Τέλος βάσει του μηχανισμού αυτού υπολογίζει την αναπτυσσόμενη δύναμη κοπής.

Μηχανισμός

Ζώνη A : Πρωτογενής σύνθλιψη.

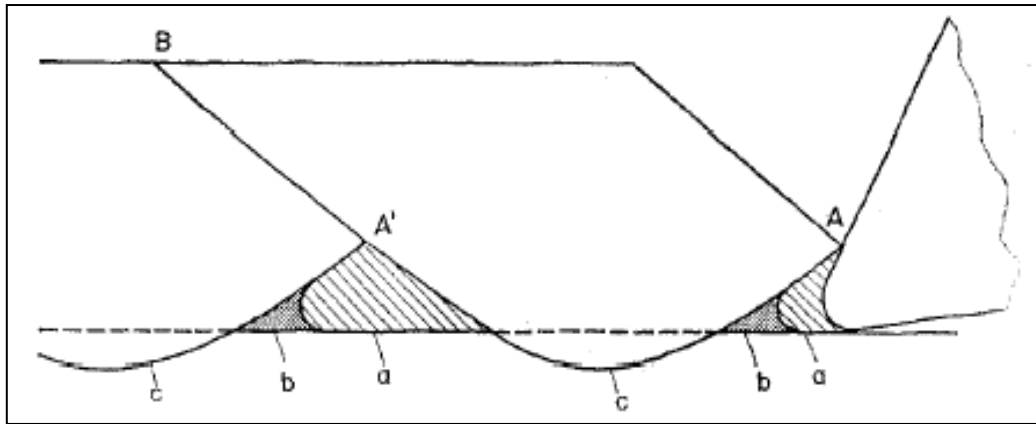
Το υλικό συνθλίβεται και συσσωματώνεται στο κοπτικό. Με τη διείσδυση αυξάνεται η δύναμη κοπής μέχρι τη στιγμή δημιουργίας μακροσκοπικής εφελκυστικής ρωγμής και δημιουργίας θραύσματος.

Ζώνη B : Δευτερογενής σύνθλιψη.

Δημιουργία λεπτομερών θραυσμάτων από τη σύνθλιψη μικρής έξαρσης πετρώματος.

Ζώνη C : Δημιουργία υπερεσκαφής

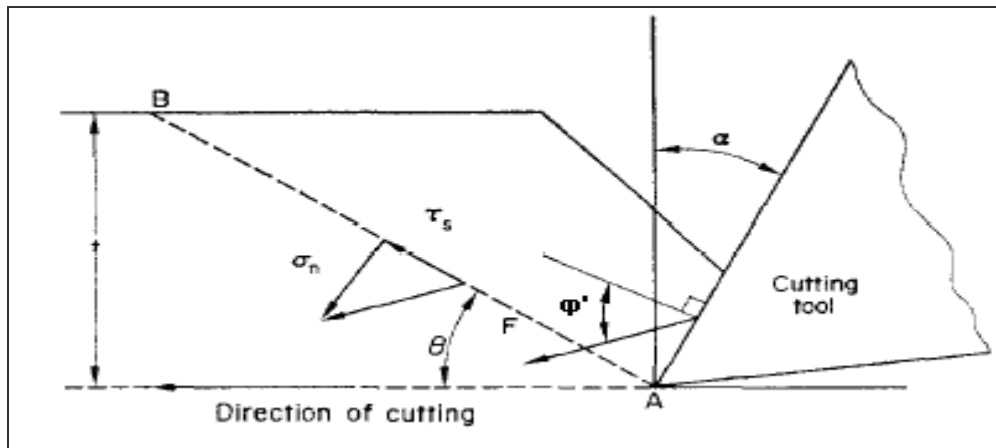
Πρακτικά μηδενική αντίσταση.



Σχήμα 4.15. Μηχανισμός κοπής πετρώματος κατά Nishimatsu (Αναγνώστου 2006)

4.4.3.1 Βασικές παραδοχές

- Το βάθος κοπής είναι μικρό σε σχέση με το πλάτος του κοπτικού έτσι ώστε να μπορούμε να θεωρήσουμε συνθήκες επίπεδης παραμόρφωσης.
- Τα μέτρα των δυνάμεων όπως αναφέρθηκε είναι μεταβλητά συναρτήσει του χρόνου. Η θεωρία κοπής Nishimatsu υπολογίζει μόνο τις μέγιστες δυνάμεις που αναπτύσσονται στο κοπτικό, δηλαδή τις δυνάμεις τη στιγμή δημιουργίας της μακροσκοπικής ρωγμής.
- Στην αιχμή του κοπτικού A, του παρακάτω σχήματος έχουμε συγκέντρωση τάσεων οι οποίες μειώνονται κατά μήκος του επιπέδου (AB) και μηδενίζονται στο σημείο B.
- Η επιφάνεια αστοχίας είναι καμπύλη (π.χ. τόξο κύκλου, υπερβολή).
- Η διεύθυνση του συνισταμένου εντατικού πεδίου p είναι σταθερή κατά μήκος του επιπέδου αστοχίας και είναι αυτή της συνισταμένης δύναμης κοπής.



Σχήμα 4.16. Διάγραμμα δυνάμεων και κατανομή τάσης κατά τη θεωρία Nishimatsu (Αναγνώστου 2006)

4.4.3.2 Εξισώσεις-Μαθηματική απεικόνιση

Το μέτρο του εντατικού πεδίου κατά μήκος του επιπέδου (AB) δίνεται από την σχέση:

$$p = p_0 \left(\frac{d}{\sin \theta} - \lambda \right)^n$$

Οι επεξηγήσεις των μεταβλητών είναι οι παρακάτω:

p_0 : σταθερά του εντατικού πεδίου η οποία προκύπτει από ισορροπία δυνάμεων

λ : απόσταση τυχαίου σημείου που βρίσκεται στο ευθύγραμμο τμήμα (AB) από το A

n : συντελεστής κατανομής των τάσεων. Σταθερά που καθορίζει πόσο συγκεντρωμένες είναι οι τάσεις στην αιχμή του κοπτικού.

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι το επίπεδο (AB) δεν συμπίπτει με την επιφάνεια αστοχίας αλλά χρησιμοποιείται μόνο για την θεώρηση του εντατικού πεδίου προς διευκόλυνση των υπολογισμών.

$$p = -\frac{(n+1) \cdot F}{W \cdot \left(\frac{d}{\sin \theta}\right)^{n+1}} \left(\frac{d}{\sin \theta} - \lambda\right)^n \quad (1)$$

$$F = \frac{2}{n+1} \cdot W \cdot d \cdot c \cdot \frac{\cos \phi}{1 - \sin(\phi + \phi' - \alpha)} \quad (2) \text{ (Συνισταμένη δύναμη κοπής)}$$

$$F_C = \frac{2}{n+1} \cdot W \cdot d \cdot c \cdot \frac{\cos \phi}{1 - \sin(\phi + \phi' - \alpha)} \cdot \cos(\phi' - \alpha) \quad (3)$$

$$F_N = \frac{2}{n+1} \cdot W \cdot d \cdot c \cdot \frac{\cos \phi}{1 - \sin(\phi + \phi' - \alpha)} \cdot \sin(\phi' - \alpha) \quad (4)$$

Από πειραματικά αποτελέσματα προκύπτει:

$$n = 11.3 - 0.18 \cdot a \quad (\text{Nishimatsu, 1972}) \quad (5)$$

$$n = 12 - \frac{a}{5} \quad (\text{Roxborough, 1973}) \quad (6)$$

Όπου α = γωνία οπίσθιας ελευθερίας.

5 ΕΞΟΡΥΞΙΜΟΤΗΤΑ & ΕΙΔΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

5.1 Εξορυξιμότητα

Τα πετρώματα ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους αλλά και με τις μεταγενετικές επιδράσεις που υπέστησαν κατά τη διάρκεια των χρόνων όπως η επίδραση της θερμοκρασίας, της πίεσης, της υγρασίας αλλά και διαφόρων χημικών εξαλλοιώσεων προκαλούν μεγάλες και ευρύτατες διακυμάνσεις στις μηχανικές ιδιότητες του πετρώματος.

Ταυτόχρονα όμως οι μεγάλες διαφορές στις μηχανικές ιδιότητες του πετρώματος προκαλούν και μεγάλες διαφορές στον τρόπο εξόρυξης αλλά και στη συμπεριφορά κατά την εξόρυξη. Συνέπεια όλων των παραπάνω είναι η δυσκολία σύγκρισης των πετρωμάτων ως προς την εξορυξιμότητα τους δηλαδή πόσο εύκολα ή δύσκολα εξορύσσεται ένα πέτρωμα.

Η εξορυξιμότητα των πετρωμάτων είναι στενά συνδεδεμένη με τις εξής παραμέτρους:

- Τα χαρακτηριστικά του προς εξόρυξη πετρώματος.
- Τα χαρακτηριστικά του εξορυγμένου πετρώματος.
- Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του μηχανήματος εξόρυξης.
- Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του μηχανήματος εξόρυξης.
- Τη μέθοδο εκσκαφής που εφαρμόζεται.
- Τη γεωμετρία του μετώπου εκσκαφής.

5.1.1 Η έννοια της οικονομικότητας

Η εξόρυξη των πετρωμάτων στις μέρες μας μπορεί να γίνει είτε με εκρηκτικά διαφόρων ειδών που έχουν να κάνουν με τα χαρακτηριστικά του πετρώματος είτε με μηχανικά μέσα που ενδιαφέρει στην περίπτωση μας.

Τα μηχανικά μέσα έχουν καταστεί πλέον, αναγκαία σχεδόν σε κάθε είδους εκμετάλλευση υπόγειας ή υπαίθριας. Αποτελούνται από πολλά είδη και θα πρέπει να γίνεται η σωστή επιλογή. Από τα ισχυρότερα και μεγαλύτερα μηχανικά μέσα, όπως ο καδοφόρος εκσκαφέας και ο υδραυλικός μετωπικός εκσκαφέας (shovel) μέχρι τα μικρότερα μέσα όπως εκσκαπτικής αερόσφουρα, υπάρχει η βασική αρχή της οικονομικότητας.

Αυτό σημαίνει ότι δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα σε οποιαδήποτε εκμετάλλευση γιατί είναι πολύ πιθανό να καταστεί αυτομάτως ζημιογόνα και αντισυμβατικά. Έτσι πριν την επιλογή των μηχανικών μέσων πρέπει να γίνει διερεύνηση όλων εκείνων των παραγόντων που επηρεάζουν το κόστος ανά μονάδα εξορυγμένου όγκου πετρώματος οι οποίοι παράγοντες είναι οι εξής: τα χαρακτηριστικά του μηχανήματος, η καταναλισκόμενη ενέργεια από το μηχάνημα για την παραγωγή μιας μονάδας εξορυγμένου όγκου και τέλος η απόδοση του μηχανήματος ανάλογα με το μέγεθος του έργου.

Κλείνοντας θα πρέπει να επισημάνουμε και την υπολογίσιμη αξία (έξοδα) των αναλώσιμων και των ανταλλακτικών των μηχανικών μέσων όπως είναι η φθορά των κοπτικών εργαλείων.

5.1.2 Χαρακτηριστικά του πετρώματος που επηρεάζουν την εξορυξιμότητα

Συγκεκριμένα όμως η κατηγορία που επηρεάζει κατά κύριο λόγο την έννοια της εξορυξιμότητας είναι οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες της μάζας του πετρώματος. Στην περίπτωση αυτής της διπλωματικής εργασίας θα ασχοληθούμε και θα

μελετήσουμε τις ιδιότητες του ασβεστολίθου της περιοχής Πρεβέζης και θα διερευνήσουμε την προοπτική εξόρυξης με μηχανικά μέσα.

Όλα αυτά θα αναφερθούν εκτεταμένα και θα παρουσιαστούν τα βασικά στοιχεία των μηχανικών ιδιοτήτων του πετρώματος έτσι ώστε να διερευνήσουμε τη χρήση συγκεκριμένων μηχανικών μέσων στην εκμετάλλευση μας.

Τα χαρακτηριστικά του πετρώματος που επηρεάζουν την εξόρυξη του ασβεστολίθου μας είναι επιγραμματικά τα εξής:

- Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη.
- Αντοχή σε εφελκυσμό.
- Αντοχή σε διάτμηση.
- Σκληρότητα.
- Τριβή μεταξύ ασβεστολίθου και μετάλλων.
- Αντίσταση κοπής.
- Ασυνέχειες-ατέλειες ασβεστολίθου.

Βέβαια τα χαρακτηριστικά του πετρώματος που αναφέραμε ότι επηρεάζουν την εξόρυξη αποτελούν ένα σημαντικό παράγοντα όλης της διαδικασίας της εξόρυξης ωστόσο δε θα πρέπει να παραβλέψουμε και τη σημασία της αλληλεπίδρασης μεταξύ πετρώματος και κοπτικού εργαλείου.

5.1.3 Η φθορά των κοπτικών στην εξόρυξη

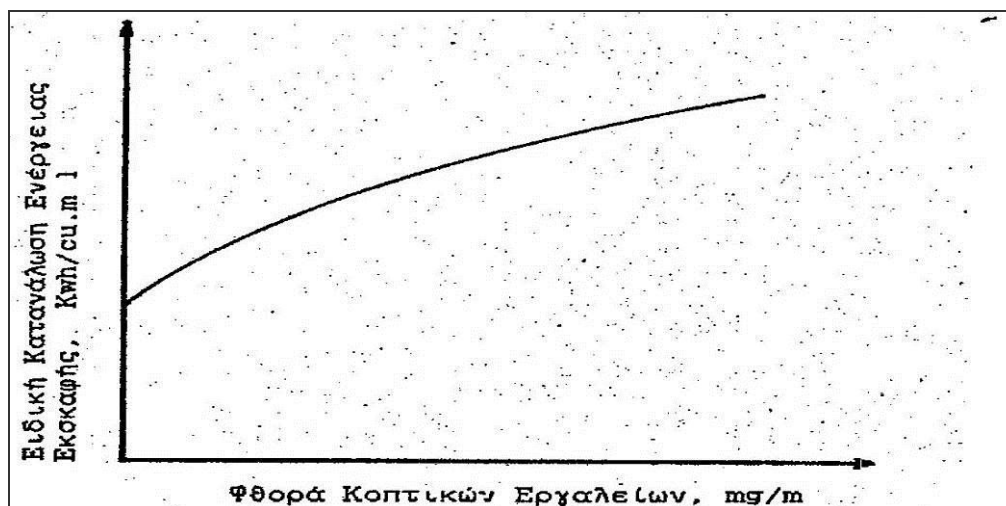
Η φθορά των κοπτικών εργαλείων είναι υψηλής σημασίας στον κλάδο της εξόρυξης και αποτελεί αντικείμενο μελέτης ερευνητών και κατασκευαστών

εξοπλισμού εξόρυξης. Θα παραθέσουμε ορισμένα βασικά στοιχεία που αφορούν τη φθορά των κοπτικών εργαλείων και την επίδρασή τους στην εξορυξιμότητα.

Συγκεκριμένα τα κοπτικά εργαλεία κατά την διάρκεια της εκσκαφής υφίστανται συνεχή φθορά, η οποία έχει ως αποτέλεσμα, αφ' ενός μεν την απομάκρυνση μετάλλου από το κοπτικό εργαλείο και κατά συνέπεια την μείωση των διαστάσεών του, αφ' ετέρου δε την μεταβολή της γεωμετρίας του κοπτικού εργαλείου.

Η μεταβολή της γεωμετρίας του κοπτικού εργαλείου είναι ουσιαστικής σημασίας στην διαδικασία κοπής του πετρώματος. Αυτό προκύπτει από τις θεωρίες κοπής όπου αλλάζοντας έστω και λίγο τη γεωμετρία του κοπτικού άκρου που προσβάλλει το πέτρωμα θα καταλάβουμε ότι αλλάζει δραστικά και η δύναμη κοπής. Επομένως αποτέλεσμα της φθοράς των κοπτικών εργαλείων είναι η αύξηση της ειδικής κατανάλωσης ενέργειας εκσκαφής, επειδή αυξάνεται η δύναμη κοπής που πρέπει να αναπτύξουν τα κοπτικά εργαλεία για την εκσκαφή του πετρώματος, ενώ παράλληλα παρατηρείται μείωση της απόδοσης του μηχανήματος εξόρυξης, υπό την προϋπόθεση ότι διατηρείται σταθερή η ισχύς του μηχανισμού εκσκαφής του μηχανήματος.

Στο σχήμα 5.1 που ακολουθεί αποδεικνύεται η σχέση μεταξύ φθοράς κοπτικού και ειδικής κατανάλωσης ενέργειας.



Σχήμα 5.1. Μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης ενέργειας εκσκαφής συναρτήσει της φθοράς των κοπτικών εργαλείων (Παναγιώτου 2006).

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να πούμε ότι το ετήσιο κόστος με το οποίο επιβαρύνεται ο βιομηχανικός τομέας που ασχολείται με εργασίες εξόρυξης, λόγω της φθοράς που προκαλούν τα πετρώματα στα μέταλλα είναι εξαιρετικά υψηλό και αποτελεί στοιχείο του λειτουργικού κόστους του μηχανήματος, όπως π.χ. τα καύσιμα και τα λιπαντικά.

5.1.4 Μηχανισμός της φθοράς των κοπτικών εργαλείων

Η φθορά των κοπτικών εργαλείων επέρχεται κυρίως λόγω της ύπαρξης τριβής μεταξύ του μετάλλου του κοπτικού και του πετρώματος που εξορύσσεται.

Η φθορά λόγω τριβής εξαρτάται άμεσα από τους εξής παράγοντες:

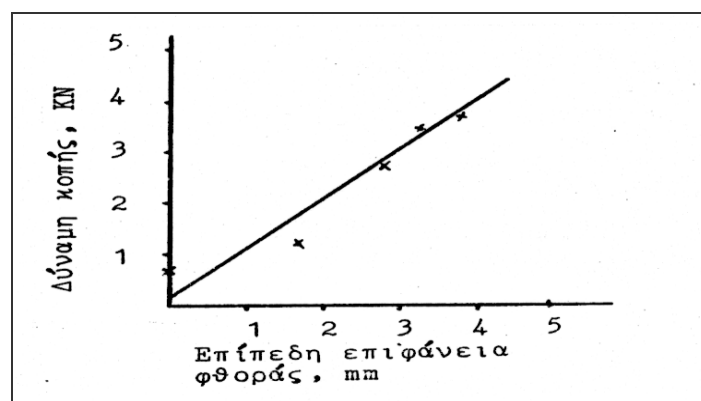
- Τις δυνάμεις που ασκούνται επί του κοπτικού εργαλείου.
- Την ταχύτητα κοπής.
- Τη σύσταση και μεταλλουργία του κοπτικού εργαλείου.
- Τη σκληρότητα του εξορυσσόμενου πετρώματος.
- Τη φθοροποιό ικανότητα του εξορυσσόμενου πετρώματος.

Η φθορά του κοπτικού μας μπορεί βέβαια να εμφανιστεί σε διάφορες μορφές όπως είναι:

- Φθορά λόγω τριβής με το πέτρωμα.
- Αποκόλληση μικροσκοπικών τεμαχίων μετάλλου.
- Αποκόλληση ή και θραύση μεγάλων τεμαχίων μετάλλου.
- Ρωγμάτωση του κοπτικού λόγω υπερθέρμανσης.

Βέβαια οι συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιείται η εξόρυξη, παίζουν σημαντικό ρόλο τόσο στην διαμόρφωση του μηχανισμού όσο και του βαθμού φθοράς των κοπτικών εργαλείων.

Σημαντική είναι επίσης η επίδραση του τρόπου εξόρυξης στη φθορά των κοπτικών εργαλείων, η οποία είναι δυνατόν να είναι μεγάλης έκτασης, όταν η εκσκαφή πραγματοποιείται με μηχανήματα συνεχούς εκσκαφής. Τέλος στο διάγραμμα του σχήματος 5.2 βλέπουμε το πόσο δυσχεραίνεται το έργο της εξόρυξης όταν υπάρχει αλλαγή στη γεωμετρία του κοπτικού μας άκρου και η επιφάνεια μας γίνεται επίπεδη.



Σχήμα 5.2. Επίδραση της επίπεδης επιφάνειας φθοράς του κοπτικού εργαλείου στην δύναμη κοπής (Παναγιώτου 2006).

5.2 Ειδική ενέργεια εκσκαφής

Για τη θραύση ενός συμπαγούς πετρώματος σε υλικό συγκεκριμένης κοκκομετρίας υπάρχει μία ποσότητα ενέργειας που πρέπει να δαπανήσουμε έτσι ώστε να επιτευχθεί αυτό το αποτέλεσμα. Η ποσότητα αυτής της ενέργειας είναι η διαφορά μεταξύ της αρχικής και της τελικής του κατάστασης και εξαρτάται κυρίως από τις ιδιότητες του υλικού.

Σε πραγματικές όμως συνθήκες όπου υπάρχουν πάντοτε απώλειες ενέργειας είτε με τη μορφή θερμότητας είτε με τη μορφή κινητικής ενέργειας θα πρέπει να πούμε ότι οι εκάστοτε μέθοδοι εξόρυξης καταναλώνουν πολύ περισσότερη ενέργεια από αυτή που αρχικά υπολογίζαμε.

Η ενέργεια που παρέχεται στη μονάδα συμπαγούς όγκου πετρώματος προκειμένου να επιτευχθεί η θραύση του ονομάζεται ειδική ενέργεια θραύσεως. Συνήθως αναφέρεται στη θραύση πετρώματος κατά τις δοκιμές αντοχής του ή για τη θραύση του με εκρηκτικές ύλες. Ειδικά για τις μεθόδους εξόρυξης με μηχανικά μέσα, η ενέργεια που απαιτείται για την εξόρυξη μονάδας συμπαγούς όγκου πετρώματος αναφέρεται ως ειδική ενέργεια εκσκαφής. (S.E.-specific energy).

Γίνεται κατανοητό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ειδική ενέργεια εκσκαφής ενός πετρώματος τόσο περισσότερη ενέργεια πρέπει να καταναλώσουμε για την όρυξη μονάδας όγκου του και συνεπώς δυσκολότερη και πιο δαπανηρή είναι η όρυξη του.

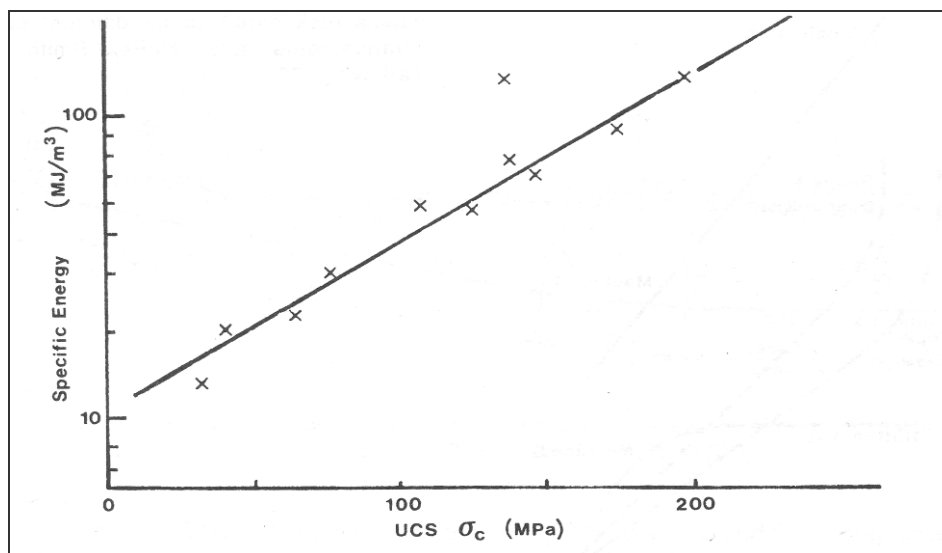
Στο σύστημα S.I η μονάδα μέτρησης είναι το J/m^3 .

5.2.1 Παράμετροι που επηρεάζουν την ειδική ενέργεια εκσκαφής

5.2.1.1 Χαρακτηριστικά (ιδιότητες) του πετρώματος

Η αντοχή σε φόρτιση (θλίψη-εφελκυσμός)

Όσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή του πετρώματος στην μονοαξονική-ανεμπόδιστη θλίψη τόσο μεγαλύτερη είναι και ειδική ενέργεια κοπής. Οπότε καταλαβαίνουμε ότι αυξάνεται έτσι και το κόστος της εξόρυξης. Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε και από το σχήμα 5.3 όπου απεικονίζεται η σχέση της μονοαξονικής θλίψης με την ειδική ενέργεια κοπής.

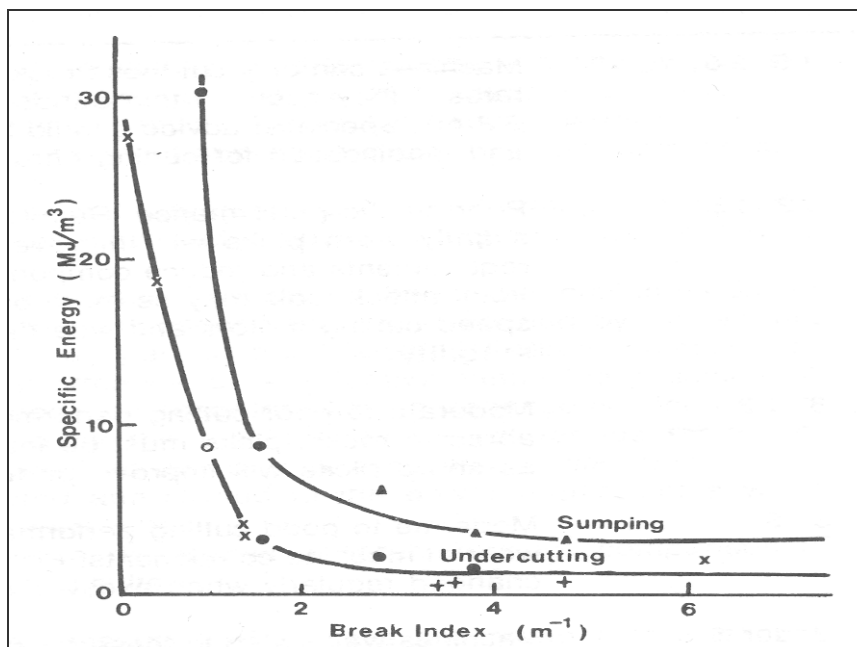


Σχήμα 5.3. Επίδραση της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη στην ειδική ενέργεια εκσκαφής κατά Barendsen (Αναγνώστου 2006).

Οι ασυνέχειες του πετρώματος.

Σε αυτή την περίπτωση για τις ασυνέχειες του πετρώματος μας ενδιαφέρει τόσο το πλήθος και η μεταξύ τους απόσταση αλλά και η διεύθυνση-προσανατολισμός τους.

Συγκεκριμένα όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος των ασυνεχειών και όσο μειώνεται η απόσταση τους τόσο ελαττώνεται και μάλιστα εκθετικά η ειδική ενέργεια κοπής. Το παρακάτω διάγραμμα το αποδεικνύει.



Σχήμα 5.4. Επίδραση της απόστασης των ασυνεχειών ιλυολιθικών πετρωμάτων στην ειδική ενέργεια κοπής κατά Fowell&McFeat-Smith (Αναγνώστου 2006).

Από την άλλη μεριά η διεύθυνση των ασυνεχειών του πετρώματος ως τη διεύθυνση της κοπής παίζει καθοριστικό ρόλο στην τιμή της ειδικής ενέργειας κοπής.

5.2.1.2 Χαρακτηριστικά της κοπής

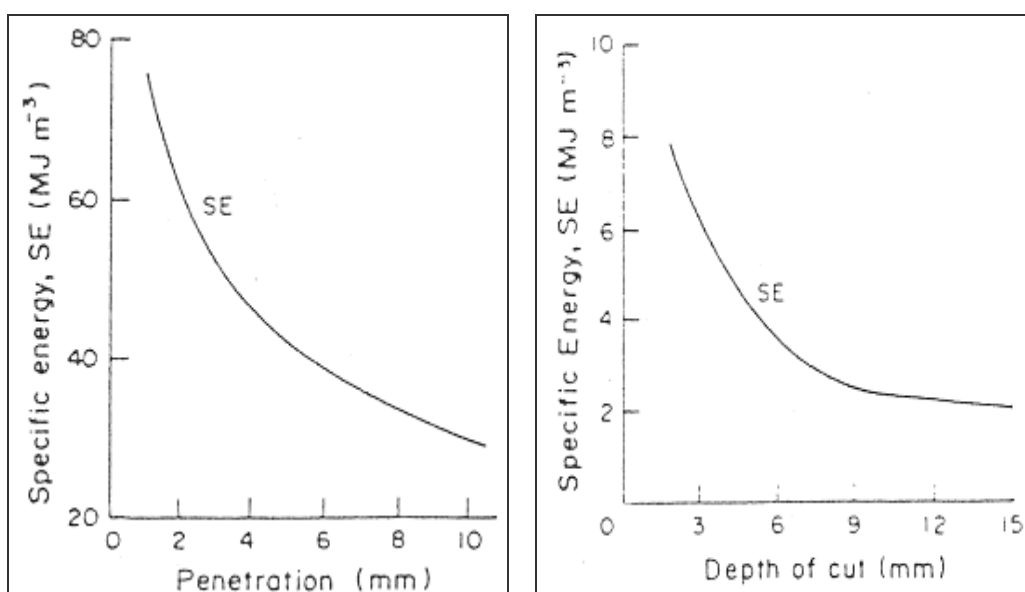
Ο τύπος του κοπτικού εργαλείου.

Το είδος του κοπτικού εργαλείου καθορίζει και το μηχανισμό της κοπής του πετρώματος. Έτσι για διαφορετικά κοπτικά εργαλεία αλλά με τα υπόλοιπα στοιχεία ίδια έχουμε διαφορετικά αποτελέσματα στην ενέργεια κοπής. Αυτό οφείλεται στο ότι η διαφορετική γεωμετρία του κοπτικού μας άκρου έχει ως αποτέλεσμα να

αναπτύσσονται διαφορετικές δυνάμεις και ταυτόχρονα διαφορετική ποσότητα εξορυγμένου υλικού.

Το βάθος κοπής

Θεωρώντας ότι έχουμε το ίδιο κοπτικό εργαλείο τότε όσο αυξάνεται το βάθος της κοπής του πετρώματος τόσο πιο μικρή είναι η ειδική ενέργεια κοπής.

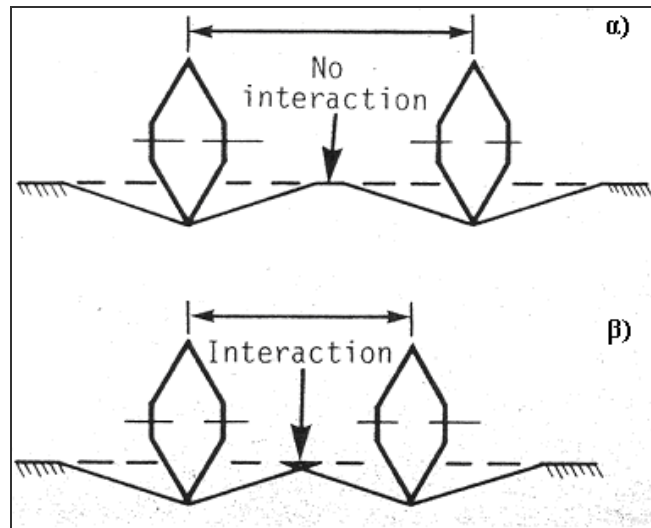


Σχήμα 5.5. Ειδική ενέργεια εκσκαφής συναρτήσει του βάθους κοπής για α) κοπτικό τύπου δίσκου κατά Fowell, β) κοπτικό συρόμενου τύπου (Αναγνώστου 2006).

Η διάταξη των κοπτικών εργαλείων

Η διάταξη των κοπτικών εργαλείων, δηλαδή η απόσταση μεταξύ διαδοχικών κοπτικών εργαλείων επιδρά καθοριστικά στην τιμή της ειδικής ενέργειας εκσκαφής. Μάλιστα η ελαχιστοποίηση της τιμής της αποτελεί το βασικότερο κριτήριο για την επιλογή της διάταξης των κοπτικών εργαλείων.

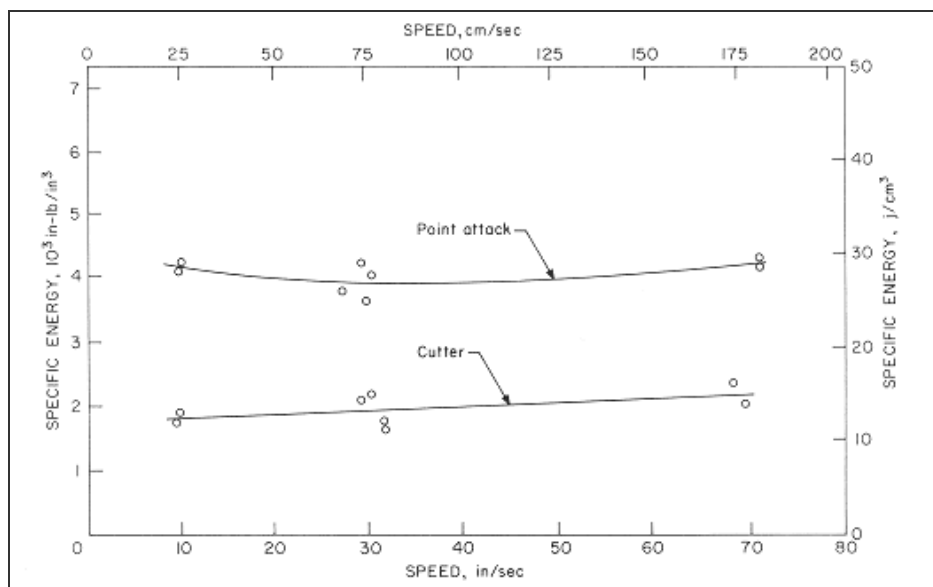
Για δεδομένο κοπτικό εργαλείο και βάθος κοπής αναλόγως του βαθμού αλληλεπίδρασης των κοπτικών εργαλείων υπάρχουν δύο ενδεχόμενα που δύνανται να προκύψουν λόγω της απόστασης διαδοχικών κοπτικών: α) μη αλληλεπίδραση, β) αλληλεπίδραση.



Σχήμα 5.6. Αλληλεπίδραση διαδοχικών κοπτικών κατά Poole (Αναγνώστου 2006).

Η ταχύτητα κοπής

Στην πραγματικότητα είναι η μοναδική παράμετρος κοπής που δεν έχει επίδραση στις δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά τη διαδικασία της κοπής του πετρώματος. Αυτό ισχύει διότι οι ταχύτητες θραύσεως των πετρωμάτων είναι μεγαλύτερες από τις συνήθεις ταχύτητες κοπής.



Σχήμα 5.7. Επίδραση της ταχύτητας κοπής στην ειδική ενέργεια κοπής κατά Demou et al (Αναγνώστου 2006).

Η μη απομάκρυνση των θραυσμάτων

Αναλόγως του συστήματος όρυξης που εφαρμόζεται είναι δυνατόν στη διεπιφάνεια κοπτικού-πετρώματος να εισέρχονται θραύσματα από κοπή του ίδιου ή άλλου κοπτικού με αποτέλεσμα να υποβάλλονται σε περαιτέρω θραύση (δευτερογενής θραύση).

Η ατελής απομάκρυνση των θραυσμάτων από την κεφαλή και η συνεχής ανακύκλωση αυτών με κατανάλωση ενέργειας προς μείωση του μεγέθους τους επιφέρει αύξηση στην τιμή της ειδικής ενέργειας εκσκαφής

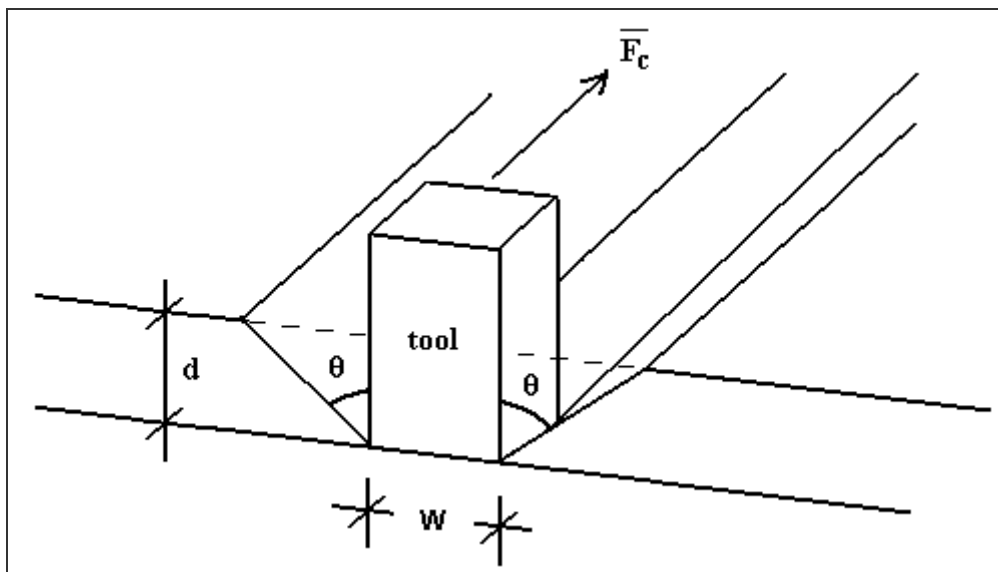
5.3 Υπολογισμός ειδικής ενέργειας κοπής

5.3.1 Υπολογισμός ειδικής ενέργειας από θεωρίες κοπής

Από τις θεωρίες κοπής των πετρωμάτων λαμβάνονται οι δυνάμεις κοπής συναρτήσει του βάθους κοπής. Επίσης δεδομένου ότι η γωνία υπερεκσκαφής είναι σχεδόν σταθερή συναρτήσει του βάθους κοπής και περί τις 30-50 μοίρες για τα

περισσότερα ψαθυρά πετρώματα είναι δυνατόν να εκτιμηθεί ο όγκος εξορυσσόμενου πετρώματος ανά μονάδα μήκους κοπής και έτσι να γίνει μια πρώτη εκτίμηση της ειδικής ενέργειας εκσκαφής.

$$S.E. = \frac{W}{V} = \frac{\overline{F_c}}{W \cdot d + d^2 \cdot \tan \theta} \quad (\text{θεωρία Roxborough και Phillips})$$



Σχήμα 5.8. Μηχανισμός κοπής και απεικόνιση συμβόλων.

$$\overline{F_c} = \frac{F_c}{R} = \text{μέση δύναμη κοπής}$$

Όπου:

F_c : δύναμη κοπής κατά Roxborough (μέγιστη δύναμη κοπής).

R : λόγος μέγιστης δύναμης κοπής προς μέση δύναμη κοπής ο οποίος έχει βρεθεί πειραματικά και είναι σπανίως μικρότερος του 2 (για χαμηλής αντοχής πετρώματα περίπου 2 και για υψηλής αντοχής μέχρι και 3).

θ : γωνία υπερεκσκαφής η οποία λαμβάνεται από την πλευρά του κοπτικού.

W : πλάτος αιχμής σφήνας.

Χρησιμοποιώντας τη δύναμη κοπής κατά Roxborough (F_c) παίρνουμε τελικά:

$$S.E. = \frac{k_1}{k_2 + d}$$

Με k_1 που ποικίλει ανάλογα αν υπολογιστεί και με ή χωρίς την ύπαρξη τριβής και

με k_2 : $\frac{W}{d}$

5.3.2 Υπολογισμός ειδικής ενέργειας από εμπειρικές σχέσεις και διαγράμματα

- McFeat-Smith

$$S.E. = -0.65 + 0.41 \cdot CI^2 + 1.81 \cdot K^{1/3} \pm 2.6 \left(\frac{MJ}{m^3} \right)$$

Επεξήγηση συμβόλων:

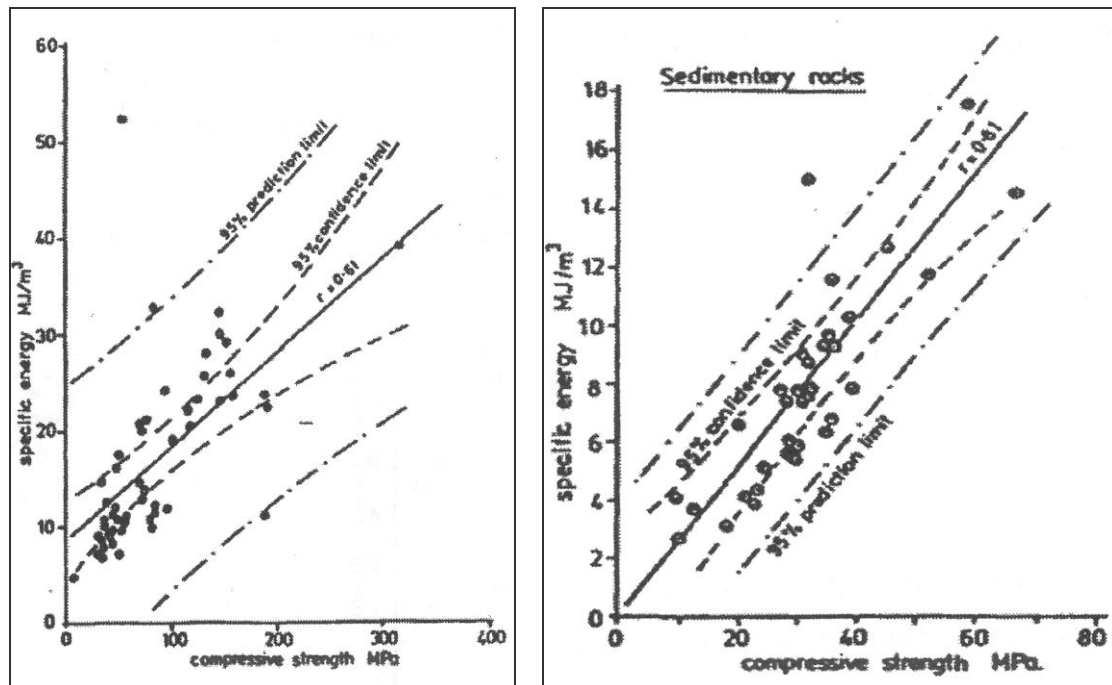
CI: (Cone Indenter Hardness), σκληρότητα διείδυσης κώνου η οποία μετράται με N.C.B cone indenter

K: συντελεστής πλαστικότητας Shore

- Roxborough

Η ειδική ενέργεια εκσκαφής μπορεί να προβλεφθεί από την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του πετρώματος. Ειδικά για τα ιζηματογενή πετρώματα, όπως είναι στην περίπτωση μας ο ασβεστόλιθος, παρουσιάζει καλή συσχέτιση. Στα σχήματα 5.9. α και 5.9. β βλέπουμε την σχέση που μπορεί να έχει η μονοαξονική θλίψη με την ειδική ενέργεια κοπής.

$$S.E. = 0.25 \cdot \sigma_c + 0.11, R^2 = 0.81$$



Σχήμα 5.9. Συσχέτιση αντοχής σε θλίψη με ειδική ενέργεια κοπής για α) όλους του τύπους πετρωμάτων, β) ιζηματογενή πετρώματα κατά Roxborough (Αναγνώστου 2006).

5.3.3 Υπολογισμός ειδικής ενέργειας από εργαστηριακές δοκιμές κοπής

Γενικά η ειδική ενέργεια εκσκαφής ενός πετρώματος λαμβάνεται με μία δοκιμή κοπής η οποία εκτελείται με τις επιθυμητές παραμέτρους εκσκαφής-κοπής (τύπος κοπτικού εργαλείου, βάθος κοπής, ταχύτητα κοπής). Από τη δοκιμή λαμβάνεται η μέση δύναμη κοπής η οποία διαιρούμενη με τον όγκο εξορυγμένου πετρώματος ανά μονάδα μήκους κοπής δίνει την ειδική ενέργεια εκσκαφής.

Οι δοκιμές κοπής που θα αναλυθούν με εργαστηριακές μετρήσεις στη συνέχεια χωρίζονται σε δύο κατηγορίες με την ίδια βέβαια εργαστηριακή διάταξη. Έχουμε λοιπόν τη δοκιμή κοπής με πρότυπα κοπτικά και τη δοκιμή κοπής προσδιορισμού παραμέτρων δεδομένων κοπτικών.

Η μόνη διαφορά τους είναι ότι στη δεύτερη εκτελείται με προδιαγεγραμμένες παραμέτρους εκσκαφής-κοπής έτσι ώστε να υπολογίζεται ο δείκτης ειδικής ενέργειας εκσκαφής ο οποίος περιγράφει το πέτρωμα και αποτελεί ιδιότητα του πετρώματος.

Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε ότι όλα όσα διατυπώθηκαν παραπάνω μας βοηθούν να κατανοήσουμε το σημαντικό ρόλο της κατανάλωσης ενέργειας στην κοπή. Επίσης η ενέργεια που δαπανάται για την εξόρυξη της μονάδας όγκου ενός πετρώματος με εφαρμογή μίας μεθόδου εξόρυξης μας δείχνει συγκριτικά με την θεωρητικά ελάχιστη, την αποτελεσματικότητα της.

Κλείνοντας, η ειδική ενέργεια εκσκαφής αποτελεί κριτήριο σύγκρισης της αποτελεσματικότητας διαφορετικών μεθόδων μηχανικής εξόρυξης. Μάλιστα σε συνδυασμό με το κριτήριο της φθοράς των κοπτικών εργαλείων καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την αποτελεσματικότητα της μεθόδου ή την σχετική αποτελεσματικότητα δύο μεθόδων.

6 SURFACE MINER

Το Surface Miner αποτελεί μια σύγχρονη μηχανή εξόρυξης με μεγάλη αποδοτικότητα στους τομείς στους οποίους χρησιμοποιείται. Στην πραγματικότητα είναι μια πολύ καλή λύση κυρίως λόγω της σχετικά απλής λειτουργίας του. Ουσιαστικά το Surface Miner είναι ένα αυτοκινούμενο μηχάνημα συνεχούς μηχανικής εξόρυξης που χρησιμοποιείται σε υπαίθρια ορυχεία, λατομεία, σε χωματοουργικά έργα, σε εξορύξεις σε υπόγεια μέτωπα αλλά και σε διαμόρφωση χώρων.

Χαρακτηρίζεται ως σύνθετο γιατί εκτελεί συγχρόνως τις τρεις βασικές φάσεις της εξορυκτικής δραστηριότητας, δηλαδή την εξόρυξη, την φόρτωση και την απόθεση του υλικού όταν αυτό απαιτείται. Το Surface Miner είναι ένα μηχάνημα το οποίο χρησιμοποιείται στην μεταλλευτική για εξόρυξη πετρωμάτων μέτριας έως υψηλής σχετικά αντοχής.

Η ευαισθητοποίηση του ανθρώπου σε ότι αφορά το περιβάλλον καθώς επίσης και η απόκτηση γνώσεων στον τομέα της μεταλλευτικής ώθησαν στην επιβολή αυστηρότερων περιβαλλοντικών κανονισμών σχετικά με την εκμετάλλευση υπαίθριων και υπόγειων μεταλλείων. Έτσι, έχουν επιβάλει έμμεσα την εύρεση μιας άλλης οικονομικής λύσης για την εξόρυξη πρώτων υλών, ώστε να περιορίσουν το θόρυβο, τις δονήσεις και την σκόνη.

6.1 Χρησιμότητα του Surface miner

1. Εκλεκτική - επιλεκτική εξόρυξη.
2. Εξόρυξη και θραύση του υλικού χωρίς την χρήση εκρηκτικών.
3. Όρυξη τάφρων, διαμόρφωση πρανών, αναχωμάτων με μεγάλη ακρίβεια.
4. Εξόρυξη στο πάτωμα μια υπόγειας εκμετάλλευσης.
5. Διαμόρφωση δρόμων.

Εκλεκτική – επιλεκτική εξόρυξη

Το μηχάνημα Surface Miner έχει ως κύριο και βασικό χαρακτηριστικό του την ακρίβεια στην εξορυκτική του δραστηριότητα. Έχει τη δυνατότητα να εξορύσσει με μεγάλη επιλεκτικότητα και ενδείκνυται κυρίως για κοιτάσματα που εμφανίζουν οριζόντια εξάπλωση. Χρησιμοποιείται πολύ σε ανθρακωρυχεία σε ορυχεία γύψου, φωσφόρου και ασβεστόλιθου. Έχει την ικανότητα να ελέγχει με ακρίβεια και συνεχόμενα το βάθος κοπής του πετρώματος.

Τέλος, εμφανίζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Καλύτερη ποιότητα εξορυγμένου υλικού
- Καλύτερη εκμετάλλευση του εναποθέσαντος του υλικού
- Βέλτιστη αναλογία ως προς το χρήσιμο υλικό
- Λιγότερο χρονοβόρα διαδικασία εκμετάλλευσης
- Αρκετά οικονομική μέθοδος σε σύγκριση με άλλες μεθόδους



Σχήμα 6.1. Επιλεκτική εξόρυξη άνθρακα.

Εξόρυξη και θραύση του υλικού χωρίς την χρήση εκρηκτικών.

Με τη χρήση του μηχανήματος Surface Miner επιτυγχάνεται εξόρυξη με την ελάχιστη δυνατή περιβαλλοντική επίπτωση. Συγκεκριμένα, αποφεύγονται οι διαδικασίες της διάτρησης και της εξόρυξης με εκρηκτικές ύλες που προκαλούν

δονήσεις και εκτόξευση βραχώδους υλικού. Επίσης, ελαχιστοποιείται η όχληση και η έκλυση αερίων και σκόνης.

Το υλικό της εξόρυξης είναι στο κατάλληλο μέγεθος χωρίς πολλές φορές να χρειάζεται η περαιτέρω επεξεργασία του με ενεργοβόρες διαδικασίες όπως είναι η δευτερογενής θραύση. Επιπρόσθετα, το υλικό μας στην πλειονότητα των περιπτώσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως αδρανές υλικό. Το εξορυγμένο υλικό λόγω του μικρού του μεγέθους δεν προκαλεί βλάβες στο μηχανολογικό εξοπλισμό του ορυχείου, π.χ. φορτωτές και μεταφορικές ταινίες.

Τέλος, το κόστος επένδυσης για μια τέτοιου είδους εκμετάλλευση είναι πολύ μικρότερο από την καθιερωμένη και συμβατική μέθοδο εξόρυξης ενώ επίσης με τη χρήση αυτού του μηχανήματος ελαχιστοποιούνται οι κίνδυνοι εργατικών ατυχημάτων.

Όρυξη τάφρων, διαμόρφωση πρανών, αναχωμάτων με μεγάλη ακρίβεια

Το συγκεκριμένο μηχάνημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάνοιξη τάφρων και εκτεταμένων αυλακώσεων με μεγάλη ακρίβεια. Επιπλέον χρησιμεύει στη διαμόρφωση επιφανειών και αναχωμάτων με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Τα πλεονεκτήματα και σε αυτή την περίπτωση είναι παρόμοια με της προηγούμενης.



Σχήμα 6.2. Εξόρυξη ασβεστολίθου σε βαθμίδες και δυνατότητα δημιουργίας τάφρων.

Εξόρυξη στο πάτωμα μια υπόγειας εκμετάλλευσης

Η χρησιμότητα του μηχανήματος και σε αυτή την περίπτωση είναι μεγάλη. Συγκεκριμένα μας δίνει τη δυνατότητα να προχωρήσουμε την εξόρυξη μας όχι μετωπικά αλλά στο πάτωμα της υπόγειας εκμετάλλευσης κάτι το οποίο ή δεν γινόταν καθόλου ή γινόταν με μεγάλη δυσκολία καθώς δεν υπήρχε ο ανάλογος εξοπλισμός. Έτσι αποφεύγουμε όσο το δυνατόν περισσότερο τη χρήση εκρηκτικών υλών που είναι ένα ευαίσθητο κομμάτι της συνολικής εργασίας στα υπόγεια έργα.



Σχήμα 6.3. Όρυξη στο πάτωμα ενός υπόγειου έργου.

Επίσης με τη χρήση του surface miner έχουμε μικρότερο αριθμό μηχανολογικού εξοπλισμού κάτι το οποίο αυτομάτως μας μειώνει το κόστος της εκμετάλλευσης. Ακόμη, λόγω του μειωμένου αριθμού μηχανημάτων και ανθρώπινου δυναμικού έχουμε και μικρότερες απαιτήσεις σε αερισμό. Τέλος το σημαντικότερο είναι ότι μειώνεται ο κίνδυνος την ώρα της εργασίας καθώς έχουμε πλέον μεγαλύτερη ασφάλεια σε όλη τη διαδικασία της εξόρυξης.

Διαμόρφωση δρόμων

Σε αυτή την περίπτωση το surface miner μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό και για τη διαμόρφωση οδών εντός λατομικών περιοχών, σε οδούς γενικά υπαίθριων εκμεταλλεύσεων αλλά και σε στοές υπόγειων έργων. Η χρησιμότητα του σε αυτή την περίπτωση είναι ουσιαστικά έμμεση. Αυτό συμβαίνει

κυρίως για τη με την διαμόρφωση των οδών διέλευσης των βαρέων οχημάτων του εργοταξίου μειώνεται αισθητά το κόστος σε βάθος χρόνου. Αυτό συμβαίνει διότι τα οχήματα πλέον θα έχουν λιγότερες φθορές τόσο σε αναλώσιμα μέρη όπως τα ελαστικά και οι αναρτήσεις όσο και σε μηχανικά μέσα που το κόστος εκεί είναι αρκετά μεγαλύτερο. Τέλος έχουμε μικρότερη κατανάλωση καυσίμων καθώς δεν έχουμε περιπτώσεις διαδρομές και απότομες κλίσεις.



Σχήμα 6.4. Διαμόρφωση δρόμων για καλύτερη προσπέλαση τόσο α) σε υπόγεια έργα, β)όσο και σε υπαίθρια.

6.2 Συγκρότηση του Surface Miner

Το Surface Miner αποτελείται από τα εξής μέρη:

1. Υποδομή
2. Ανωδομή
3. Κοπτικό τύμπανο
4. Πρωτεύουσα μεταφορική ταινία
5. Βραχίονας με την κύρια μεταφορική ταινία

Η κίνηση των διαφόρων μηχανισμών του Surface Miner επιτυγχάνεται με την βοήθεια ενός V12 πετρελαιοκινητήρα με ισχύ που κυμαίνεται ανάλογα με τον τύπο του μηχανήματος. Η ισχύς μεταβιβάζεται δια μέσου ενός ισχυρού ιμάντα που οδηγεί στο κοπτικό τύμπανο εξασφαλίζοντας έτσι την αποτελεσματική μεταφορά ισχύος. Τέλος τα υπόλοιπα μέρη κινούνται με υδραυλικό σύστημα.

1. Υποδομή

Η υποδομή του Surface Miner αποτελείται από τις τέσσερις ερπύστριες οι οποίες προσφέρουν στο μηχάνημα εξαιρετική σταθερότητα και έλξη ακόμα και όταν κόβει σκληρό πέτρωμα. Και οι τέσσερις ερπύστριες είναι ρυθμισμένες έτσι ώστε να δίνουν τη δυνατότητα στο μηχάνημα να κάνει εύκολα ελιγμούς κατά τη διάρκεια της εξορυκτικής διαδικασίας.

2. Ανωδομή

Στην ανωδομή του Surface Miner βρίσκεται η καμπίνα του χειριστή, η οποία παρέχει στον χειριστή άνεση και ασφάλεια. Μέσα στην καμπίνα βρίσκονται όλα τα όργανα ελέγχου του μηχανήματος, τα οποία είναι με τέτοιο τρόπο τοποθετημένα γύρω από τον χειριστή έτσι ώστε να εξασφαλίζεται μια απλή και ακριβής λειτουργία του μηχανήματος. Επίσης στο πίσω μέρος της ανωδομής του μηχανήματος υπάρχει και ο ένας κινητήρας.

3. Κοπτικό τύμπανο

Το κοπτικό τύμπανο είναι τοποθετημένο στο κέντρο του μηχανήματος μεταξύ των τεσσάρων ερπυστριών. Είναι τοποθετημένο πλησίον του κέντρου βάρους του μηχανήματος. Το εγκάρσιο κοπτικό τύμπανο έχει διάμετρο που διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του μηχανήματος και είναι κατασκευασμένο από σκληρό μέταλλο (Brinell hardness HB 400).

Επί της κυλινδρικής επιφάνειας του τυμπάνου ευρίσκονται κοπτικά τοποθετημένα ελικοειδώς, τα οποία κόβουν το πέτρωμα και το οδηγούν στο κέντρο του μηχανήματος. Το κοπτικό τύμπανο και τα αναλώσιμα κοπτικά εργαλεία του μηχανήματος είναι τα πλέον κατάλληλα για το πέτρωμα το οποίο πρόκειται να εξορυχτεί. Υπάρχουν διάφοροι τύποι κοπτικών όπου ο κάθε τύπος χρησιμοποιείται για συγκεκριμένες συνθήκες. Η συνήθης ταχύτητα του κοπτικού τυμπάνου κυμαίνεται από 60 έως 100 στροφές το λεπτό.

Ένα από τα χαρακτηριστικά του κοπτικού είναι η κοπτική ακμή που είναι κατασκευασμένη από καρβίδια του βολφραμίου. Ο τύπος κάθε ακμής είναι

διαφορετικός για κάθε περίπτωση. Τα κοπτικά είναι τοποθετούνται σε καθορισμένες θέσεις. Είναι κολλημένα σε δακτύλιο και εφαρμοσμένα πάνω σε ένα δακτυλίδι έτσι ώστε να παραμένουν στη θέση τους αλλά να μπορούν να εξορύσσουν το πέτρωμα. Τα φθαρμένα κοπτικά μπορούν να απομακρύνονται με απλή χαλάρωση του δακτυλιδιού.



Σχήμα 6.5. Απεικόνιση των κοπτικών εργαλείων και του κοπτικού τύμπανου.

4. Πρωτεύουσα μεταφορική ταινία

Η πρωτεύουσα μεταφορική ταινία βρίσκεται μπροστά και πολύ κοντά από το εγκάρσιο κοπτικό τύμπανο. Είναι κατασκευασμένη από ειδικό συνθετικό υλικό για να έχει ανθεκτικότητα λόγω της μεγάλης καταπόνησης που υφίσταται κατά την λειτουργία του μηχανήματος.

5. Βραχίονας του μηχανήματος

Ο βραχίονας του Surface Miner αποτελείται από ένα δικτύωμα χαλύβδινων δοκών, ο οποίος στηρίζεται μέσω υδραυλικών κυλίνδρων και συρματόσχοινων στον πύργο της ανωδομής. Το μήκος του βραχίονα είναι σταθερό. Κατά μήκος του βραχίονα υπάρχει μια μεταφορική ταινία η οποία ξεκινάει από το τέλος της πρωτεύουσας μεταφορικής ταινίας και καταλήγει στο τέλος του βραχίονα όπου και το υλικό φεύγει από την ταινία.

Η ταινία αυτή είναι από το ίδιο υλικό που έχει φτιαχτεί και η πρωτεύουσα μεταφορική ταινία και στην επιφάνεια της φέρει ραβδώσεις, ώστε το θραυσμένο υλικό να μην κυλάει προς τα πίσω, όταν η ταινία λαμβάνει μεγάλη κλίση.

6.3 Τύποι Surface Miner

1. Surface Miner 2200 SM

Πλάτος κοπής	2,200mm
Βάθος κοπής	0-300mm
Ιπποδύναμη	949Hp
Βάρος κατά την κοπή	47,730 – 49,080 Kg

Πίνακας 6.1. Χαρακτηριστικά του Surface Miner 2200 SM.

2. Surface Miner 2500SM

Πλάτος κοπής	2,500mm
Βάθος κοπής	0-600mm
Ιπποδύναμη	1.050Hp
Βάρος κατά την κοπή	100.500 Kg

Πίνακας 6.2. Χαρακτηριστικά του Surface Miner 2500SM.

3. Surface Miner 4200 SM (για σκληρά και μέτρια πετρώματα)

Πλάτος κοπής	4,200 mm
Βάθος κοπής	0-830 mm
Ιπποδύναμη	1,601 Hp
Βάρος κατά την κοπή	211,300 Kg

Πίνακας 6.3. Χαρακτηριστικά του Surface Miner 4200SM (για σκληρά πετρώματα).

4. Surface Miner 4200 SM (για μαλακά πετρώματα)

Πλάτος κοπής	4,200 mm
Βάθος κοπής	0-650 mm
Ιπποδύναμη	1,601 Hp
Βάρος κατά την κοπή	208,300 Kg

Πίνακας 6.4. Χαρακτηριστικά του Surface Miner 4200SM (για μαλακά πετρώματα).

5. Dinting machine 2600

Πλάτος κοπής	2.600 mm
Βάθος κοπής	0-200 mm
Ιπποδύναμη	366 Hp
Βάρος κατά την κοπή	100,500 Kg

Πίνακας 6.5. Χαρακτηριστικά του Dinting machine 2600.

6.4 Κοπτικά εργαλεία μηχανήματος

Η τεχνολογία όσο αναφορά την κοπή έχει εξελιχθεί και συνεχίζει να προχωρά και να ερευνά προκειμένου να βελτιστοποιήσει τη διαδικασία. Από τη μεριά της η εταιρεία του μηχανήματος προσπαθεί να δημιουργήσει ένα μηχάνημα το οποίο να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των κοπτικών εργαλείων.
- Τη συρρίκνωση του κόστους λειτουργίας για μία πιο οικονομική εκμετάλλευση.
- Τη βέλτιστη απόδοση των κοπτικών.
- Τον έλεγχο της κατάστασης των κοπτικών άκρων.

Βέβαια η απόδοση του μηχανήματος εξαρτάται καθοριστικά και από τις εκάστοτε παραμέτρους στη συγκεκριμένη κοπή που κάνουμε. Δηλαδή τα νέα στοιχεία που πρέπει να λάβουμε υπόψη μας προκειμένου να διαφοροποιηθεί ειδικά και το τύμπανο με τα κοπτικά μας εργαλεία. Έτσι λοιπόν συγκεκριμένα για κάθε εξόρυξη έχουμε:

- Τον τύπο και σχήμα του κοπτικού μας εργαλείου.
- Το πώς συνδέονται αυτά με το τύμπανο του μηχανήματος.
- Τον αριθμό των κοπτικών εργαλείων.
- Την απόσταση των κοπτικών εργαλείων.
- Τη διάταξη και τον σχηματισμό των κοπτικών.
- Την ταχύτητα περιστροφή του τυμπάνου.

- Την ταχύτητα προχώρησης του μηχανήματος.
- Το βάθος κοπής.

6.5 Διαδικασία εξόρυξης ασβεστόλιθου

Η εξόρυξη του ασβεστόλιθου από το Surface Miner γίνεται συνήθως σε μια επίπεδη επιφάνεια μεγάλης έκτασης σχήματος έλλειψης. Η περιοχή εκμετάλλευσης είναι ανεπτυγμένη για κοπή από φέτα σε φέτα.

Αφού τοποθετηθεί το πρώτο χωματοουργικό αυτοκίνητο μπροστά ή σε άλλη θέση ανάλογα με τον τύπο του Surface Miner, τότε αυτό αρχίζει την εξόρυξη του ασβεστόλιθου. Το κοπτικό τύμπανο κατεβαίνει και αρχίζει να περιστρέφεται και τα κοπτικά κόβουν το πέτρωμα σε βάθος που κυμαίνεται ανάλογα με τον τύπο της εκμετάλλευσης. Η περιστροφή του κοπτικού κυμαίνεται γύρω στις 80 - 90 στροφές το λεπτό. Καθώς το κοπτικό κόβει το πέτρωμα γίνεται φόρτωση στα χωματοουργικά αυτοκίνητα ενώ ταυτόχρονα το μηχάνημα κινείται με μια ταχύτητα 10 – 11 m/min.

Η ταχύτητα αυτή εξαρτάται από δύο βασικούς παράγοντες:

- Συμπαγές υλικό. Όσο το υλικό είναι πιο συμπαγές το μηχάνημα κινείται με μειωμένη αλλά σταθερή ταχύτητα.
- Βάθος κοπής. Όσο αυξάνεται το βάθος κοπής μειώνεται η ταχύτητα κίνησης του μηχανήματος και ο χρόνος φόρτωσης των χωματοουργικών αυτοκινήτων.

Όταν το μηχάνημα πλησιάσει το χωματοουργικό αυτοκίνητο τότε ο χειριστής του μηχανήματος ειδοποιεί τον οδηγό του χωματοουργικού αυτοκινήτου μέσω μιας κόρνας να προχωρήσει προς τα εμπρός. Το χωματοουργικό αυτοκίνητο κινείται προς τα εμπρός με πολύ μικρή ταχύτητα μέχρι να ξανακουστεί η κόρνα του Surface Miner, η οποία τον ειδοποιεί να σταματήσει ξανά. Αυτή η διαδικασία γίνεται μέχρι το χωματοουργικό αυτοκίνητο να πληρωθεί ομοιόμορφα από εξορυγμένο υλικό.



Σχήμα 6.6. Το Surface Miner κατά τη διάρκεια της εξόρυξης.

Αφού το μηχάνημα τελειώσει την πρώτη φέτα τότε το κοπτικό τύμπανο σηκώνεται και το μηχάνημα οδηγείται σε νέα θέση για την κοπή της επόμενης φέτας. Κατά την διάρκεια της εξόρυξης του ασβεστόλιθου το μηχάνημα ελέγχεται από δυο χειριστές. Ο κύριος χειριστής που βρίσκεται μέσα στην καμπίνα έχει την ευθύνη της οδήγησης και τον έλεγχο του μηχανήματος μέσω των διάφορων οργάνων που έχει η καμπίνα. Σημειώνεται ότι το μηχάνημα διαθέτει χειριστήρια και στις δυο πλευρές της καμπίνας.

Ο βοηθός χειριστή βρίσκεται στο δεξιό ή το αριστερό πίσω μέρος του μηχανήματος στο δάπεδο του λατομείου. Ο ρόλος του είναι να ρυθμίζει το βάθος κοπής των κοπτικών στον ασβεστόλιθο και την κλίση του τυμπάνου κοπής, και να απομακρύνει χαλαρά ή θραυσμένα πετρώματα τα οποία βρίσκονται μπροστά από το μηχάνημα και είναι δυνατόν να προκαλέσουν προβλήματα στο κοπτικό τύμπανο όπως π.χ. το σφήνωμα του πετρώματος ανάμεσα στα κοπτικά με αποτέλεσμα την γρήγορη φθορά των κοπτικών ή ακόμα και την θραύση αυτών.

6.6 Διαχωρισμός ανάλογα με τον τρόπο φόρτωσης

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία του μηχανήματος που περιγράφουμε είναι η ικανότητα του να φορτώνει απευθείας το υλικό που μόλις έχει εξορυχτεί.

Συγκεκριμένα υπάρχουν δύο κατηγορίες κατά βάση, η πρώτη είναι αυτή που η φόρτωση του υλικού γίνεται μπροστά από το Surface Miner και η δεύτερη όταν το εξορυγμένο υλικό τοποθετείται σε φορτωτή που βρίσκεται πλαγίως του μηχανήματος μας.

Στην πρώτη περίπτωση της φόρτωσης μπροστά του μηχανήματος, έχουμε τον τύπο 2200 SM. Είναι ένα μηχάνημα μικρής σχετικά δυναμικότητας που και οι απαιτήσεις σε μηχάνημα φόρτωσης δεν είναι μεγάλες. Έτσι λοιπόν επειδή είναι μικρός ο φορτωτής δεν τίθεται θέμα με την ορατότητα σχετικά με το σχέδιο της εξόρυξης. Αντιθέτως έχει καλύτερο έλεγχο όλης της διαδικασίας της φόρτωσης προκειμένου να είναι όσο το δυνατόν πιο ομαλή.



Σχήμα 6.7. Φόρτωση του εξορυγμένου υλικού μπροστά από το μηχάνημα κοπής.

Από την άλλη μεριά έχουμε τους τύπους των μηχανημάτων όπως είναι το 2500 SM και το 4200 SM, όπου η φόρτωση του εξορυγμένου υλικού γίνεται από τα πλαγίως πλευρές του μηχανήματος. Πρόκειται για μηχανήματα μεγαλύτερης δυναμικότητας και επομένως χρειάζονται ανάλογης δυναμικότητας μηχανήματα φόρτωσης. Στην περίπτωση αυτή έχουμε καλύτερη ορατότητα του έργου και του σχεδίου της εξόρυξης. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορων ειδών μηχανήματα φόρτωσης χωρίς να επηρεάζεται η λειτουργία του Surface Miner.



Σχήμα 6.8. Φόρτωση του εξορυγμένου υλικού πλευρικά του μηχανήματος κοπής.

Από την άλλη μεριά θα πρέπει να επισημάνουμε και άλλες δύο κατηγορίες του Surface Miner όπου σε αυτές τις περιπτώσεις δεν έχουμε απευθείας φόρτωση του εξορυγμένου υλικού μας, αλλά εναπόθεση του είτε στο πλάι, με τη βοήθεια της μεταφορικής του ταινίας, είτε πίσω του. Και δύο περιπτώσεις δεν έχουμε χάσιμο χρόνου επειδή είναι μία ανεξάρτητη διαδικασία χωρίς να εμπλέκονται φορτωτικά μηχανήματα.

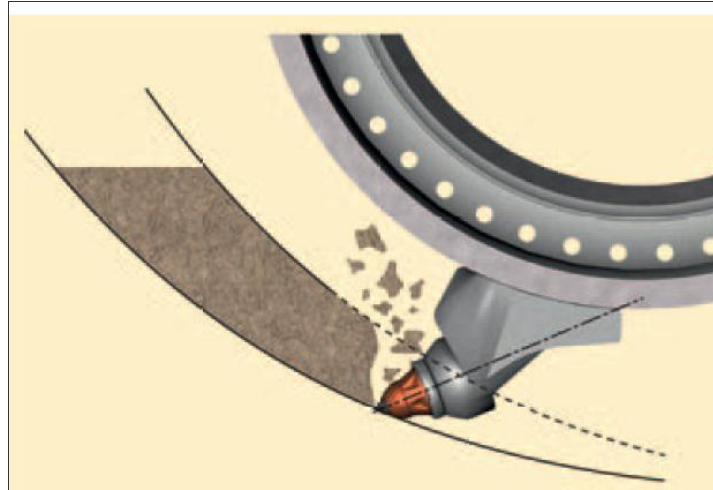


Σχήμα 6.9. Εναπόθεση του υλικού είτε α) πλευρικά είτε β) μπροστά του μηχανήματος εξόρυξης χωρίς χρήση φορτωτή.

6.7 Λειτουργικά χαρακτηριστικά

Το Surface Miner αρχικά είχε σχεδιαστεί για κοπή πετρωμάτων με αντοχή σε θλίψη μέχρι 70 MPa. Σήμερα έχει την δυνατότητα να λειτουργήσει σε πετρώματα με αντοχή σε θλίψη μεταξύ 10 - 120 MPa. Το βάρος του και η ισχύς που διαθέτει μετατρέπεται σε δυνάμεις κοπής (ορθή δύναμη και κοπτική). Αυτό επιτρέπει την

κοπή του πετρώματος με αρκετά καλά αποτελέσματα και ταυτόχρονα εξασφαλίζει τη σταθερότητα του μηχανήματος, μειώνοντας τους κραδασμούς. Στο σχήμα 6.10 που ακολουθεί βλέπουμε ένα κοπτικό άκρο του τυμπάνου κατά τη διάρκεια της κοπής.



Σχήμα 6.10. Κοπτικό άκρο κατά τη διάρκεια της κοπής.

Ο σχεδιασμός (θέση του κοπτικού τυμπάνου στην μέση του μηχανήματος) και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά επιτρέπουν στο μηχάνημα να δουλεύει κάτω από διάφορες συνθήκες και να δίνει λύσεις για αρκετά απαιτητικά έργα στην εξόρυξη πετρωμάτων, ενώ έχει την δυνατότητα να κάνει εκλεκτική εξόρυξη του κεκλιμένου στρώματος.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι εργασίας για την εξόρυξη κεκλιμένου στρώματος εξαρτώμενες πάντα από την κλίση του. Έχει επίσης τη δυνατότητα να διαμορφώνει δικές του ράμπες με κλίση 10 - 15% περίπου. Οι ράμπες αυτές μπορούν να κόβονται με διεύθυνση προς τα πάνω ή προς τα κάτω.

6.8 Προβλήματα από την χρήση του Surface Miner

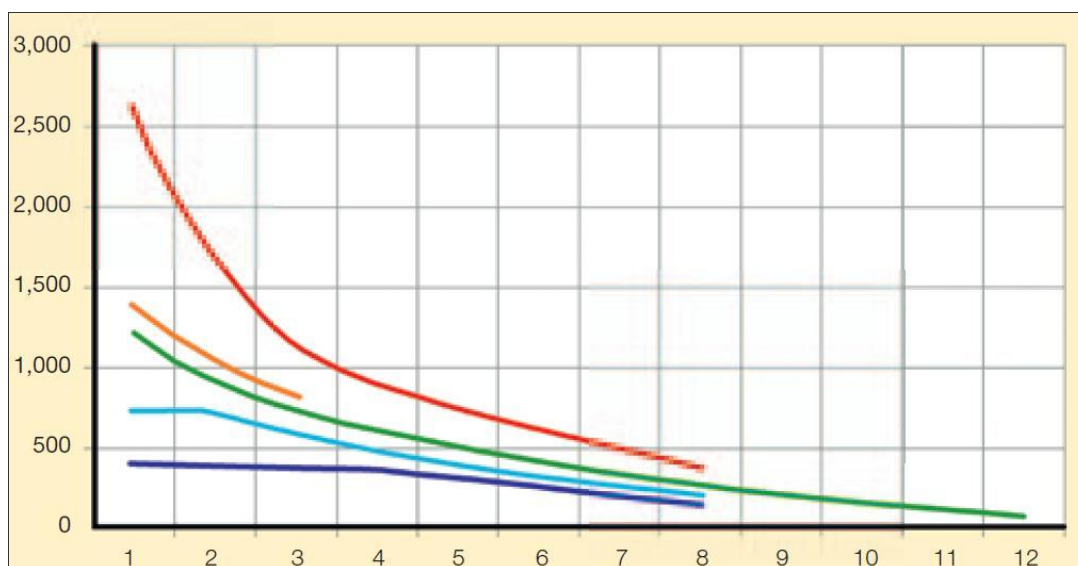
Τα προβλήματα σκόνης δημιουργούνται κατά την διάρκεια της κοπής και της φόρτωσης του πετρώματος. Η διαβροχή του εξορυγμένου πετρώματος με

ψεκασμό νερού από ακροφύσια που βρίσκονται επί του μηχανήματος, μειώνει σημαντικά το πρόβλημα της σκόνης, καθώς επίσης και η διαβροχή του τμήματος του δαπέδου που εξορύσσεται πριν την κοπή του.

Το πρόβλημα του θορύβου είναι ένα αναπόφευκτο στοιχείο που δημιουργείται κατά την λειτουργία τόσο του Surface Miner όσο και από την λειτουργία όλων των άλλων μηχανημάτων που εμπλέκονται στην διαδικασία εξόρυξης – φόρτωσης – μεταφοράς. Ακόμη ο βοηθός χειριστής, είναι ο άνθρωπος που βρίσκεται στο πίσω δεξή ή αριστερό μέρος του μηχανήματος ο οποίος βρίσκεται σε συνθήκες που μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να γίνουν επικίνδυνες. Επίσης στα λειτουργικά του προβλήματα είναι και η αδυναμία με τη γωνία κλίσης του κοιτάσματος η οποία δεν πρέπει να είναι μεγάλη.

6.9 Διαγράμματα λειτουργίας του Surface Miner

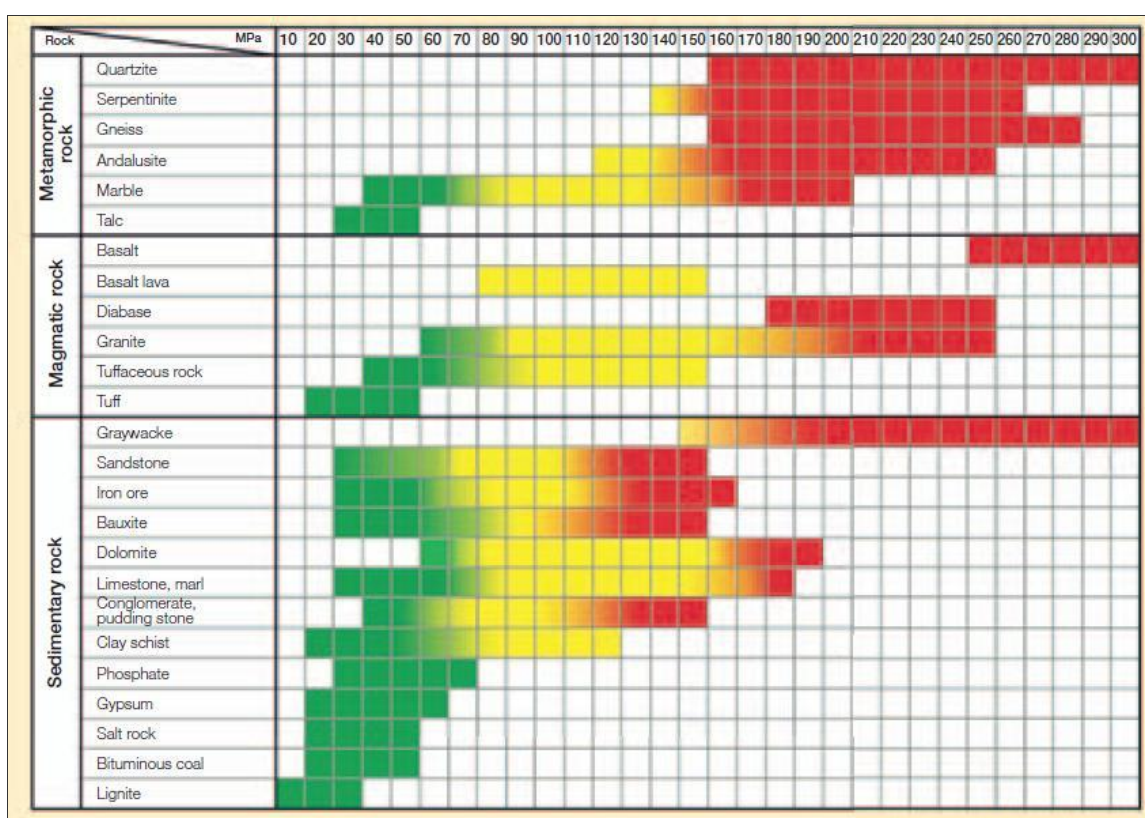
Στο σχήμα 6.11 που ακολουθεί βλέπουμε τη συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ της απόδοσης του μηχανήματος και της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για τους διάφορους τύπους του συγκεκριμένου μηχανήματος.



Σχήμα 6.11. Συσχέτιση της απόδοσης του μηχανήματος με την αντοχή του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη.

- Η κόκκινη γραμμή είναι ο τύπος 4200 SM.
- Η πορτοκαλί γραμμή είναι ο τύπος 2200 SM/ 3800 SM (χωρίς φόρτωση)
- Η πράσινη γραμμή είναι ο τύπος 2500 SM.
- Η γαλάζια γραμμή είναι ο τύπος 2200 SM (χωρίς φόρτωση).
- Η μπλε γραμμή είναι ο τύπος 2200 SM (με φόρτωση).

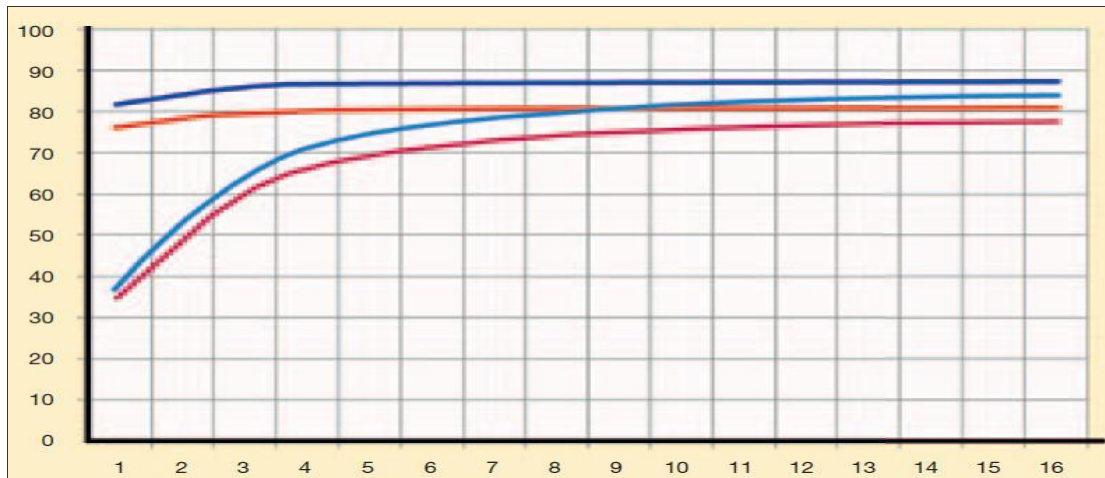
Στο σχήμα 6.12 βλέπουμε ορισμένα πετρώματα, που συναντώνται συχνά στις διαδικασίες εξόρυξης, ανάλογα με την αντοχή τους σε μονοαξονική αντοχή και στο να είναι οικονομικά συμφέρουσα η εξόρυξη με τον τρόπο που αναλύουμε.



Σχήμα 6.12. Σχέση οικονομικότητας και αντοχής πετρώματος σε μονοαξονικής θλίψης.

- Με πράσινο χρώμα είναι η οικονομικά συμφέρουσα περιοχή.
- Με κίτρινο χρώμα είναι η κατάσταση στην οποία η εξόρυξη είναι συμφέρουσα κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες.
- Με κόκκινο χρώμα είναι η μη οικονομικά συμφέρουσα περιοχή με τη χρήση του μηχανήματος.

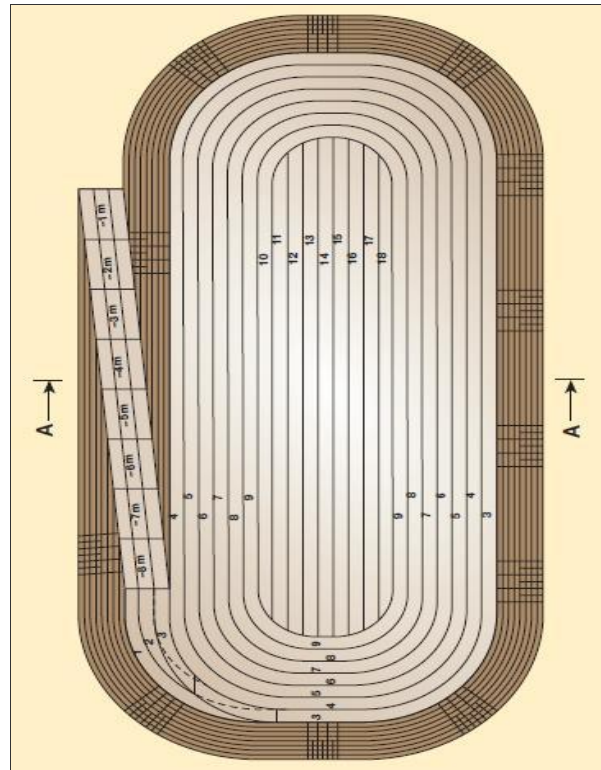
Στο επόμενο σχήμα 6.13 θα δούμε τη σχέση μεταξύ αποτελεσματικότητας όσο αναφορά το χρόνο κοπής και του μήκους (διαδρομής) της κοπής.



Σχήμα 6.13. Σχέση μεταξύ αποτελεσματικότητας όσο αναφορά το χρόνο κοπής και του μήκους (διαδρομής) της κοπής.

- Με μπλε χρώμα την κοπή σκληρών πετρωμάτων χωρίς φόρτωση.
- Με πορτοκαλί χρώμα την κοπή σκληρών πετρωμάτων με τη βοήθεια φορτωτή.
- Με γαλάζιο χρώμα την κοπή μαλακών πετρωμάτων χωρίς φόρτωση.
- Με κόκκινο χρώμα την κοπή μαλακών πετρωμάτων με τη βοήθεια φορτωτή.

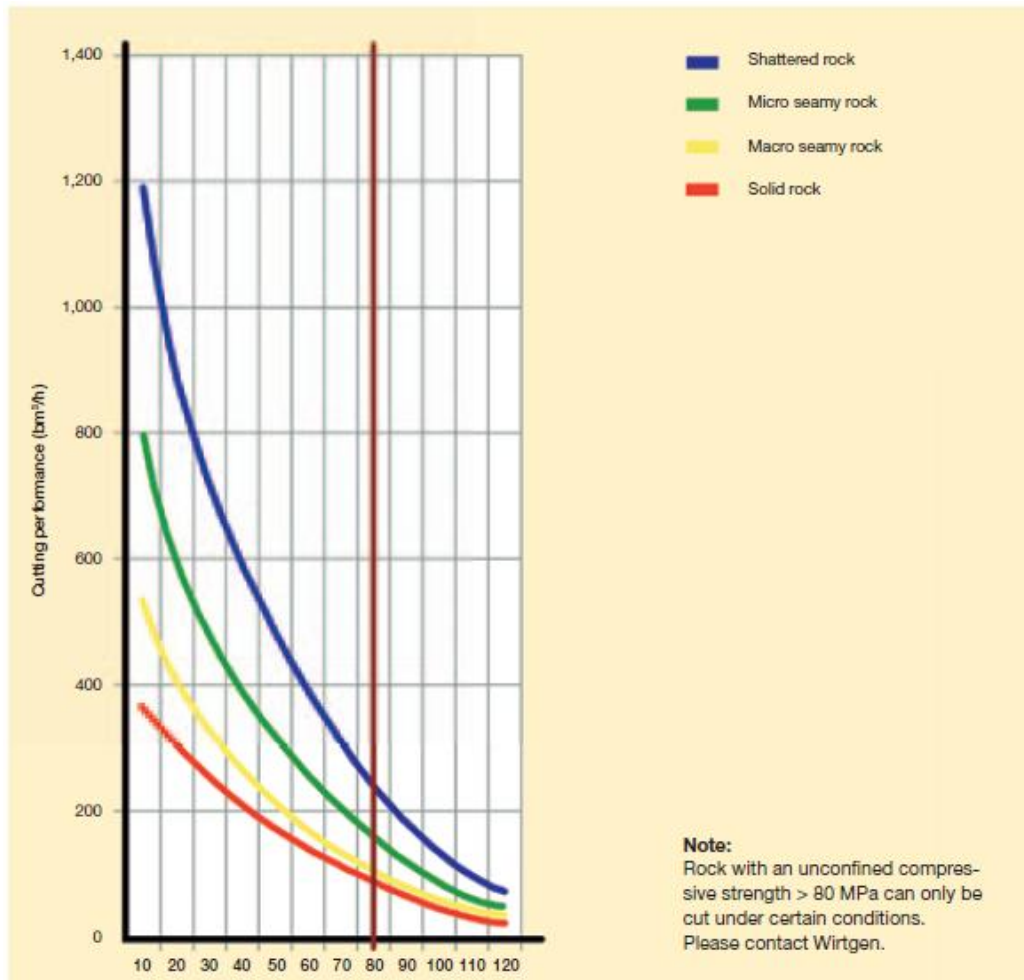
Απεικόνιση της διαδρομής του Surface Miner σε υπαίθριο μεταλλείο



Σχήμα 6.14. Διαδρομές του μηχανήματος εξόρυξης σε ένα υπαίθριο μεταλλείο.

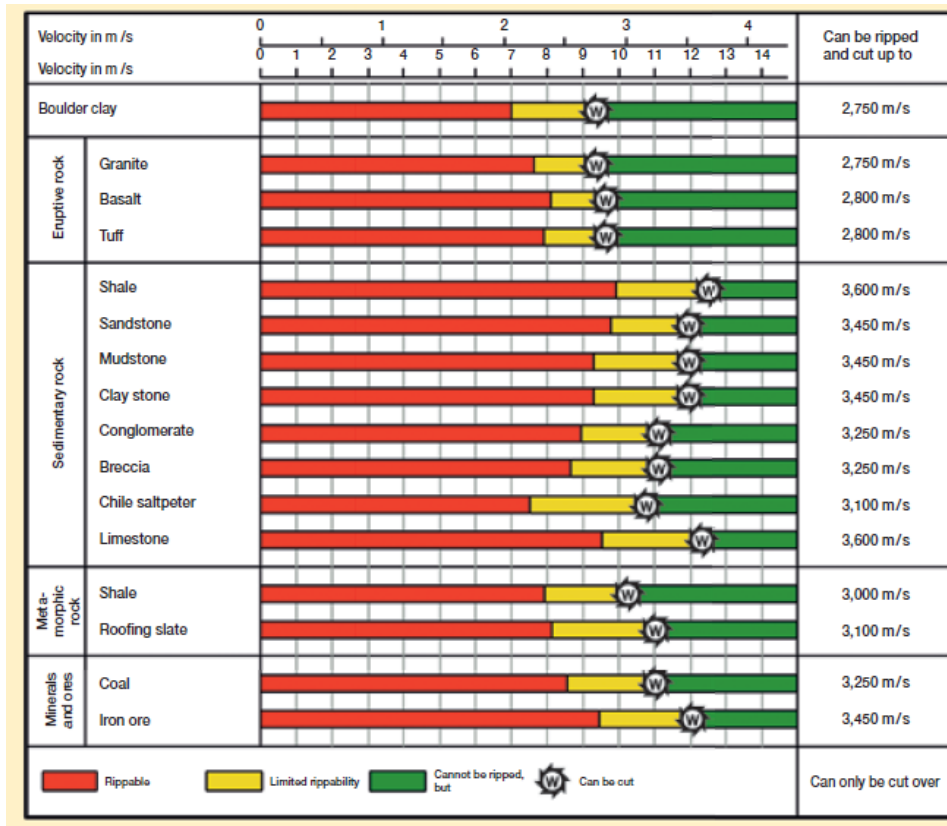
Στο σχήμα 6.14 απεικονίζεται η διαδρομή που κάνει το εξορυκτικό μηχάνημα στη συγκεκριμένη περίπτωση προκειμένου να έχουμε το μικρότερο κόστος αλλά και το καλύτερο αποτέλεσμα για τη συνέχιση της εκμετάλλευσης μας. Οι διαδρομές είναι καθορισμένες βάση σχεδίου και δεν πρέπει να αλλάζουν καθώς τότε αυτομάτως θα υπάρξει χάσιμο χρόνου και παράλληλη αύξηση του κόστους.

Το σχήμα 6.15 που ακολουθεί αφορά αποκλειστικά τον τύπο 2500SM (Surface miner) και μας παρουσιάζει τη σχέση που έχει η απόδοση της εξόρυξης (σε κυβικά μέτρα ανά ώρα) με την αντοχή του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη (σε MPa). Η παράμετρος που λαμβάνεται υπόψιν στο διάγραμμα είναι η κατηγοριοποίηση του ανάλογα με την συνεκτικότητα του αλλά και με την ύπαρξη ασυνεχειών.



Σχήμα 6.15. Απόδοση του μηχανήματος 2500SM συναρτήσει της αντοχής του πετρώματος σε UCS

Στο σχήμα 6.16 που ακολουθεί παρουσιάζονται κάποια βασικά πετρώματα όπως ο ασβεστόλιθος που μελετάμε και η ταχύτητα διάδοσης του σεισμικού κύματος (V_s) από τη μάζα τους. Με διαφορετικό χρωματισμός απεικονίζονται τρεις καταστάσεις οι οποίες είναι η δυνατότητα εξόρυξης με αναμόχλευση (rippable) και είναι η κόκκινη περιοχή, η δυνατότητα εξόρυξης με αναμόχλευση κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες απεικονίζεται με κίτρινο χρώμα και τέλος η εξόρυξη μόνο με κοπή του πετρώματος και είναι η πράσινη περιοχή στο σχήμα μας. Τέλος πάνω από τις ταχύτητες που αναφέρονται το πέτρωμα μας μπορεί μόνο να κοπεί



Σχήμα 6.16. Τρόπος εξόρυξης με βάση την ταχύτητα του σεισμικού κύματος

7 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΚΟΠΗΣ

7.1 Γενικά

Η ειδική ενέργεια εκσκαφής ενός πετρώματος είναι δυνατόν να υπολογιστεί από μια δοκιμή κοπής σε δοκίμιο πετρώματος. Η ενέργεια αυτή εξαρτάται πέρα από τις ιδιότητες του πετρώματος και από τις συνθήκες κοπής (γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου, τρόπος προσβολής, βάθος κοπής, ταχύτητα κοπής). Για το λόγο αυτό ένα πέτρωμα παρουσιάζει διάφορες τιμές ειδικής ενέργειας εκσκαφής για διαφορετικές συνθήκες κοπής και συνεπώς οι ειδικές ενέργειες εκσκαφής διαφορετικών πετρωμάτων που προέρχονται από δοκιμές με διαφορετικές συνθήκες κοπής δεν είναι άμεσα συγκρίσιμες.

Έτσι η θεωρία McFeat-Smith θέτει τις προδιαγραφές της δοκιμής κοπής για τον προσδιορισμό του δείκτη ειδικής ενέργειας εκσκαφής:

- Δοκίμιο

Γεωμετρία: κυλινδρικό δοκίμιο διαμέτρου 54.7mm (NX)

- Κοπτικό εργαλείο

Τύπος: συρόμενου τύπου

Σύνθεση: καρβίδιο βολφραμίου με ονομαστικό μέγεθος κόκκου 3-3.5μm και 9-10% περιεκτικότητα σε κοβάλτιο

Πλάτος αιχμής (W): 12.7 mm

Γωνία εμπρόσθιας ελευθερίας (α): 5°

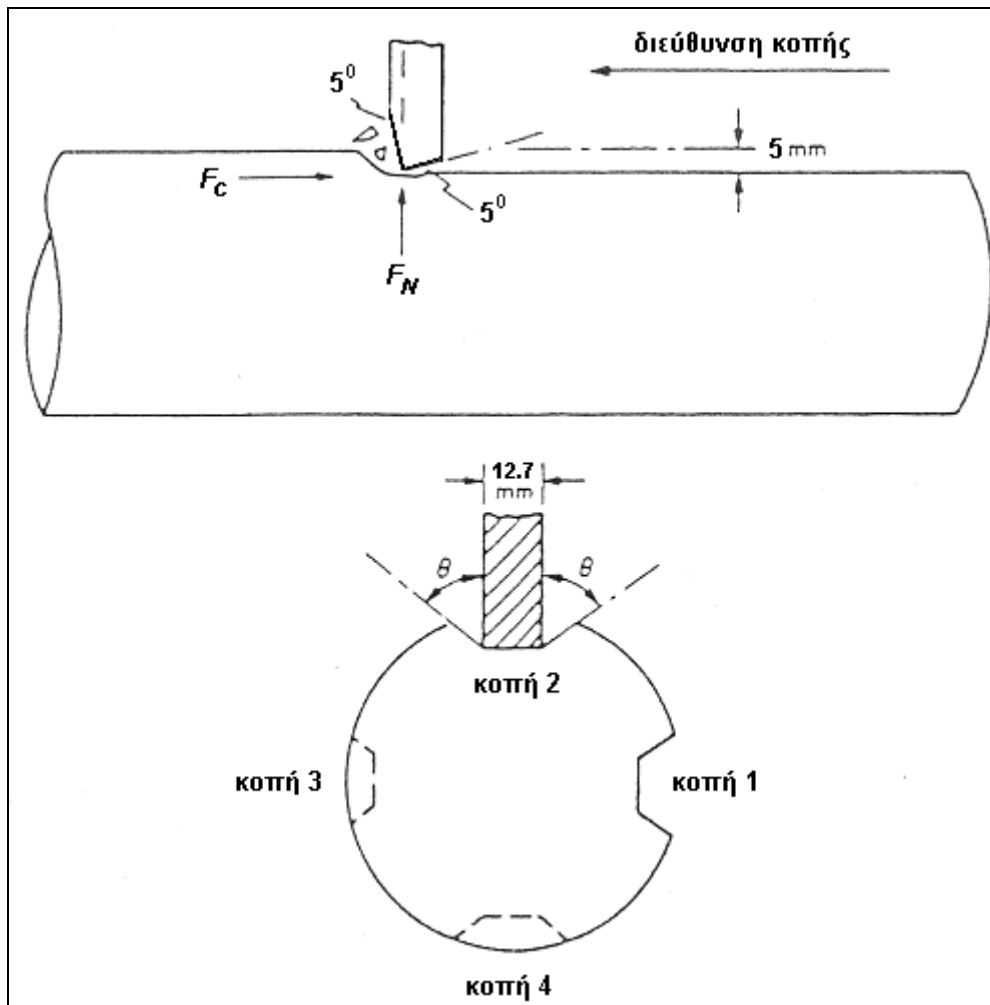
Γωνία οπίσθιας ελευθερίας (β): -5°

- Προσβολή

Διεύθυνση κοπής: διαμήκης άξονας του κυλίνδρου

Βάθος κοπής: 5 mm από γενέτειρα

Ταχύτητα κοπής: 150 mm/sec



Σχήμα 7.1. Προδιαγραφές εργαστηριακής δοκιμής κοπής για τον υπολογισμό του δείκτη ειδικής ενέργειας εκσκαφής κατά Fowell (Αναγνώστου 2006).

7.2 Εργαστηριακή διάταξη

Η διάταξη της δοκιμής κοπής για τον προσδιορισμό του δείκτη ειδικής ενέργειας εκσκαφής του Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων του Ε.Μ.Π περιλαμβάνει:

1. Οριζόντια μηχανική ταχυπλάνη
2. Δυναμόμετρο
3. Μονάδα ελέγχου δυναμόμετρου με ενισχυτή σήματος
4. Κάρτα εισαγωγής δεδομένων στον υπολογιστή
5. Υπολογιστής και λογισμικό καταγραφής και επεξεργασίας δεδομένων

7.2.1 Οριζόντια μηχανική ταχυπλάνη

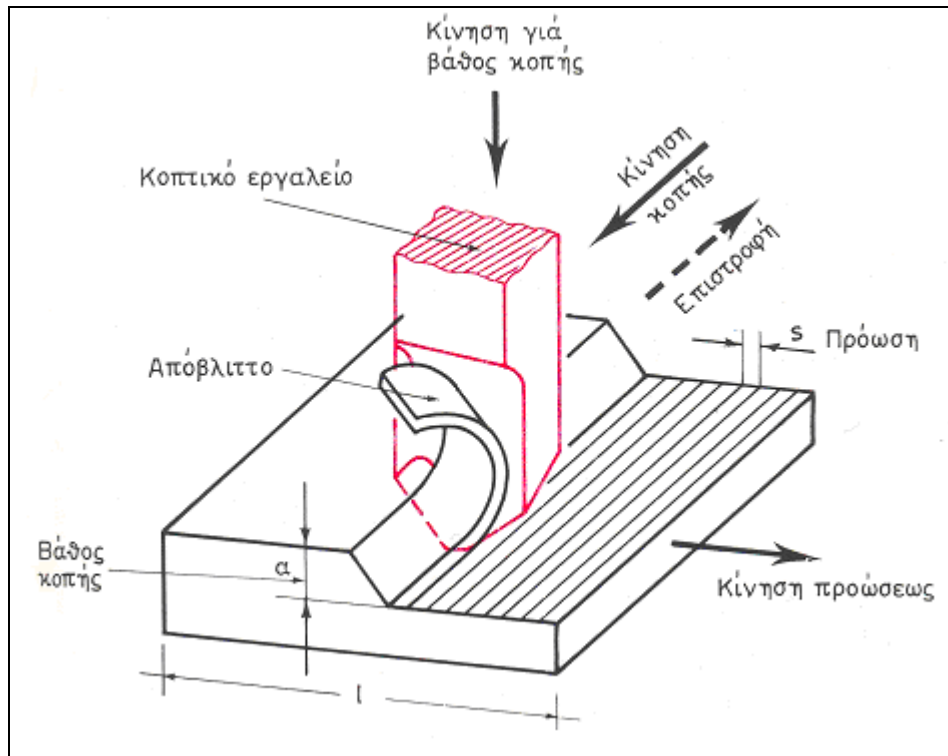
Γενικά

Με πλάνισμα κατεργαζόμαστε μηχανουργικά επιφάνειες επίπεδες, οριζόντιες, κατακόρυφες ή υπό κλίση. Η κύρια κίνηση κοπής σ' αυτό είναι ευθύγραμμη παλινδρομική.

Ο πλήρης κύκλος εργασίας περιλαμβάνει:

- κύρια ωφέλιμη ευθύγραμμη κίνηση του κοπτικού εργαλείου για την κοπή.
- κίνηση του εργαλείου προς τα πίσω (επιστροφή, μη ωφέλιμη κίνηση).
- πρόωση του κομματιού με διεύθυνση κάθετη προς την κίνηση κοπής
- κάθετη κίνηση του εργαλείου προς την επιφάνεια κατεργασίας για νέο βάθος κοπής.

Κατά την έναρξη της διαδρομής επιστροφής, το εργαλείο ανασηκώνεται ελαφρά προς τα επάνω για να μην τρίβεται η αιχμή του πάνω στην επιφάνεια κοπής.

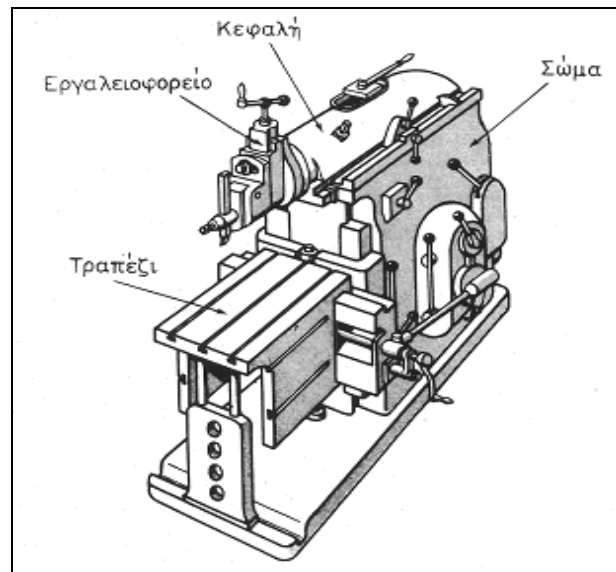


Σχήμα 7.2. Κινήσεις κοπτικού και επιφάνειας κατεργασίας σε ένα πλήρη κύκλο εργασίας πλανίσματος (Αναγνώστου 2006).

Περιγραφή και λειτουργία ταχυπλάνης

Η ταχυπλάνη είναι μια σχετικά απλή εργαλειομηχανή και αποτελείται από τα εξής βασικά μέρη:

1. το σώμα
2. το συγκρότημα των ταχυτήτων και προώσεων
3. την κεφαλή
4. το μηχανισμό μετατροπής της κίνησης
5. το τραπέζι
6. τη μέγγενη
7. το εργαλειοφορείο



Σχήμα 7.3. Βασικά μέρη ταχυπλάνης (Αναγνώστου 2006).



Σχήμα 7.4. Οριζόντια μηχανική ταχυπλάνη Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων Ε.Μ.Π.

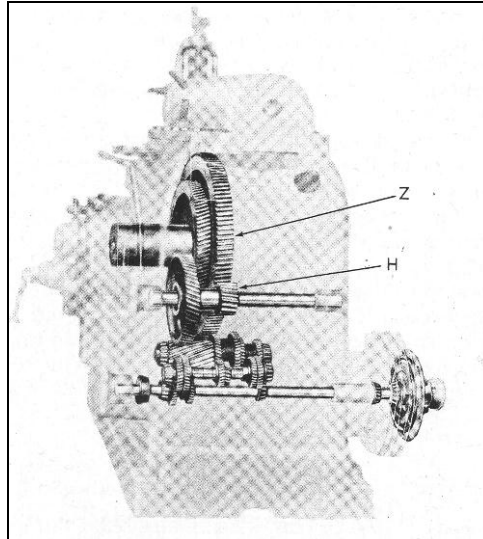
1. Το σώμα

Το σώμα της πλάνης κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο. Μέσα σ' αυτό τοποθετείται ο μηχανισμός ταχυτήτων της κύρια κίνησης και το σύστημα της μετατροπής της σε ευθύγραμμη παλινδρομική κίνηση, καθώς και ο μηχανισμός των προώσεων.

Στο σώμα υπάρχει επίσης ένας συμπλέκτης τριβής, τοποθετημένος στον πρώτο άξονα, ο οποίος παίρνει κίνηση από τον ηλεκτροκινητήρα και τη δίνει στο κιβώτιο ταχυτήτων. Χρησιμεύει για να θέτει σε κίνηση ή να σταματά την πλάνη. Ο συμπλέκτης αυτός είναι διπλός ώστε να εκτελεί χρέη πέδης της πλάνης χωρίς να σταματήσει ο ηλεκτροκινητήρας. Στο κάτω μέρος του σώματος υπάρχει βάση με τρύπες, για τους κοχλίες αγκυρώσεως.

2. Ο μηχανισμός ταχυτήτων και προώσεων.

Ο μηχανισμός αυτός βρίσκεται τοποθετημένος μέσα στο σώμα της πλάνης όπως φαίνεται στο σχήμα 7.5. Με κατάλληλους συνδυασμούς των μεταδόσεων των οδοντοτροχών ο τελικός κινητήριος τροχός Η μπορεί και παίρνει από τις λιγότερες μέχρι τις περισσότερες στροφές στο λεπτό. Με αυτόν, αλλά και με τη βοήθεια του μηχανισμού μετατροπής της κινήσεως σε ευθύγραμμη, επιτυγχάνονται βραδύτερες ή ταχύτερες παλινδρομικές κινήσεις της κεφαλής.



Σχήμα 7.5. Συνδυασμοί οδοντοτροχών για τη μετάδοση της κίνησης σε πλάνη (Αναγνώστου 2006).

Ο αριθμός των παλινδρομήσεων στις μηχανικές ταχυπλάνες κυμαίνεται από 10 μέχρι 120 στο λεπτό. Οι παλινδρομήσεις αυτές κλιμακώνονται σε 6 ή 8 βαθμίδες ταχυτήτων, όπως π.χ. 20-28-40-56-80-112 παλινδρομήσεις/λεπτό. Στην οριζόντια μηχανική ταχυπλάνη του Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων του Ε.Μ.Π οι βαθμίδες ταχυτήτων παλινδρόμησης είναι 8 και η κλιμάκωσή τους είναι: 12.5-17.7-25-34.5-49-71-100-138 παλινδρομήσεις/λεπτό.

3. Κεφαλή

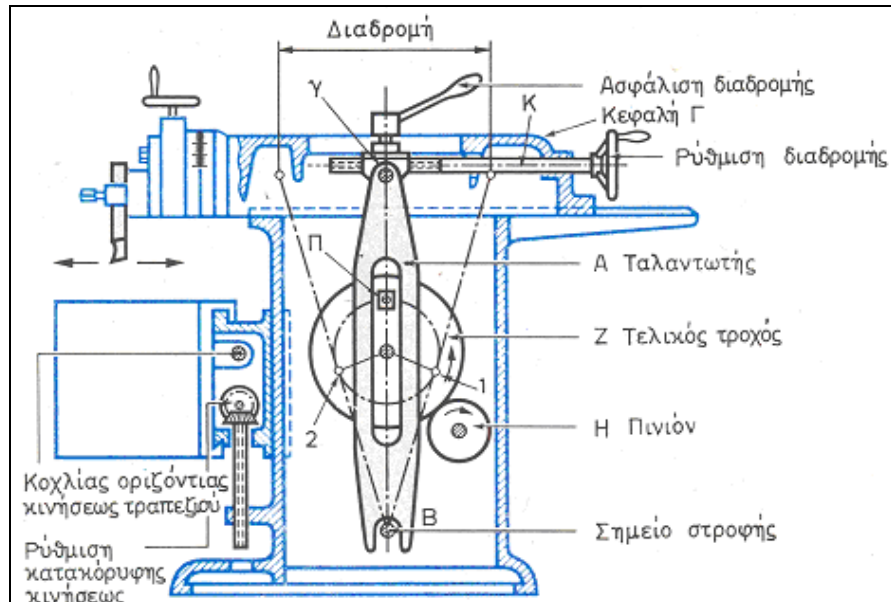
Στο εμπρόσθιο μέρος της φέρει το εργαλειοφορείο. Ολισθαίνει παλινδρομικά μέσα σε οδηγούς-γλισιέρες που βρίσκονται στο επάνω μέρος του σώματος της πλάνης.

4. Μηχανισμός μετατροπής της κινήσεως (μηχανισμός ταλαντωτή-σχήμα 4.6)

Ο μηχανισμός αυτός αποτελείται:

- από το βραχίονα (ταλαντωτή) Α. Ο ταλαντωτής στο κάτω άκρο του στηρίζεται ελεύθερα στο σταθερό σημείο Β, ενώ στο επάνω συνδέεται αρθρωτά.

- από το μεγάλο γρανάζι Z. Πάνω σ' αυτό είναι στερεωμένο το ορθογωνικό κομβίο Π το οποίο ολισθαίνει μέσα στην σχισμή του βραχίονα A.

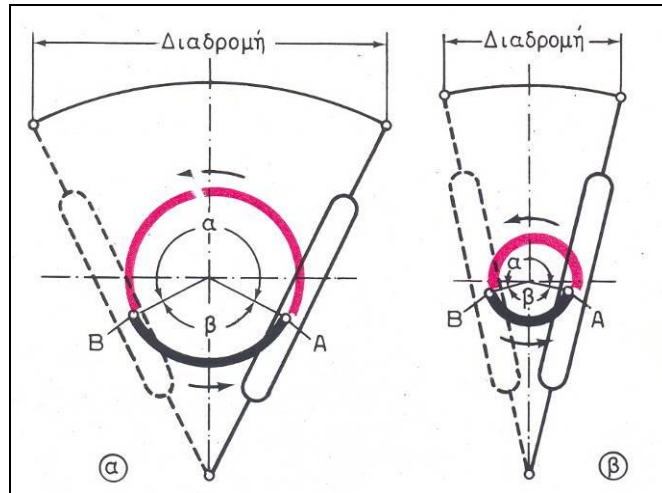


Σχήμα 7.6. Μηχανισμός ταλαντωτή (Αναγνώστου 2006).

Όταν περιστρέφεται ο οδοντοτροχός Z, ταλαντεύεται ο βραχίονας A, επειδή ταυτόχρονα με τον οδοντοτροχό Z περιστρέφεται και το κομβίο Π που αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του. Με την ταλάντωση του όμως ο βραχίονας μεταδίδει την κίνησή του στην κεφαλή Γ, αφού είναι συνδεδεμένος μαζί της. Έτσι η περιστροφική κίνηση, που από το κιβώτιο ταχυτήτων καταλήγει στον οδοντοτροχό Z, μετατρέπεται σε παλινδρομική κίνηση της κεφαλής Γ.

Ρύθμιση της διαδρομής της κεφαλής.

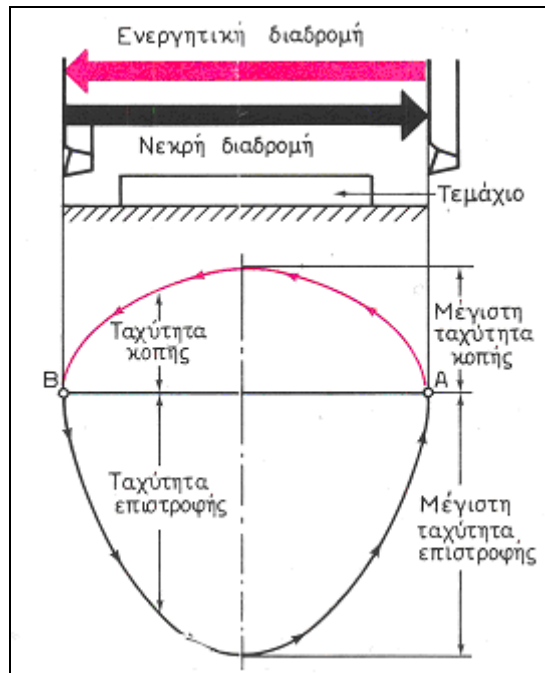
Όπως φαίνεται και από το σχήμα 7.7 όσο περισσότερο απέχει το κομβίο Π από το κέντρο O του τροχού Z, τόσο μεγαλύτερη γίνεται η διαδρομή της κεφαλής Γ και επομένως και η διαδρομή του εργαλείου κοπής. Αντίθετα, όσο το κομβίο πλησιάζει προς το κέντρο, τόσο μικραίνει η διαδρομή κοπής.



Σχήμα 7.7. Μεταβολή διαδρομής της κεφαλής (Αναγνώστου 2006).

Στο σχήμα 7.6 τα βέλη δείχνουν τη φορά περιστροφής του γριναζιού Z και του κομβίου Π. Όταν το κομβίο φύγει από τη θέση 1 και φθάσει στη θέση 2, η κεφαλή Γ προχωρεί προς τα εμπρός, όταν στη συνέχεια γυρίσει από τη θέση 2 στη θέση 1, η κεφαλή επιστρέφει. Η προς τα εμπρός κίνηση της κεφαλής επάνω στην οποία στερεώνεται το εργαλείο, είναι η ενεργητική διαδρομή, γιατί μόνο τότε κόβει το εργαλείο. Η κίνηση προς τα πίσω είναι η νεκρή διαδρομή γιατί το εργαλείο επιστρέφει χωρίς να κόβει.

Η ενεργητική διαδρομή όμως αντιστοιχεί σε πολύ μεγαλύτερο τόξο κύκλου απ' ότι η νεκρή. Άρα και ο χρόνος της κοπής του εργαλείου είναι μεγαλύτερος από το χρόνο επιστροφής. Το 60-70% του χρόνου μίας παλινδρόμησης προσφέρεται για την κοπή και το 30-40% για την επιστροφή του εργαλείου. Στο σχήμα 7.8 φαίνεται πώς μεταβάλλεται η ταχύτητα κίνησης της κεφαλής στις διάφορες θέσεις της διαδρομής της. Ακόμη ότι η ταχύτητα της επιστροφής του εργαλείου είναι πολύ μεγαλύτερη από την ταχύτητα κοπής.



Σχήμα 7.8. Μεταβολή της ταχύτητας του κοπτικού κατά την ενεργητική και τη νεκρή διαδρομή (Αναγνώστου 2006).

Άλλο χαρακτηριστικό σημείο κατά την κίνηση της κινητής κεφαλής είναι ότι μπορεί και μεταβάλλεται η θέση μίας ορισμένης διαδρομής, δηλαδή ένα ορισμένο μήκος διαδρομής π.χ. 150 mm μπορεί να ρυθμιστεί και να γίνει στην αρχή του τραπέζιου, κοντά στο σώμα της πλάνης ή στο άκρο του τραπέζιου. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μετατόπιση του συνδετικού κομματιού γ κατά μήκος της κεφαλής με τον κοχλία Κ. Έτσι λέμε ότι η διαδρομή στην πλάνη μεταβάλλεται κατά θέση και μέγεθος.

5. Τραπέζι ταχυπλάνης

Το τραπέζι της πλάνης έχει σχήμα ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου. Σ' αυτό στερεώνεται το κομμάτι που θα πλανιστεί. Στην επάνω επιφάνεια και στα δύο πλευρά του έχει τυποποιημένα λούκια για να περνούν οι ειδικοί κοχλίες για τη συγκράτηση των κομματιών ή της μέγγενης. Το τραπέζι στερεώνεται στο σώμα της πλάνης μέσω ενός ενδιάμεσου φορέα κατά τρόπο που να μπορεί να μετακινείται οριζόντια και κατακόρυφα. Η μετακίνηση γίνεται με τη βοήθεια δύο συστημάτων γλισιέρων που έχει ο ενδιάμεσος φορέας.

6. Μέγγενη

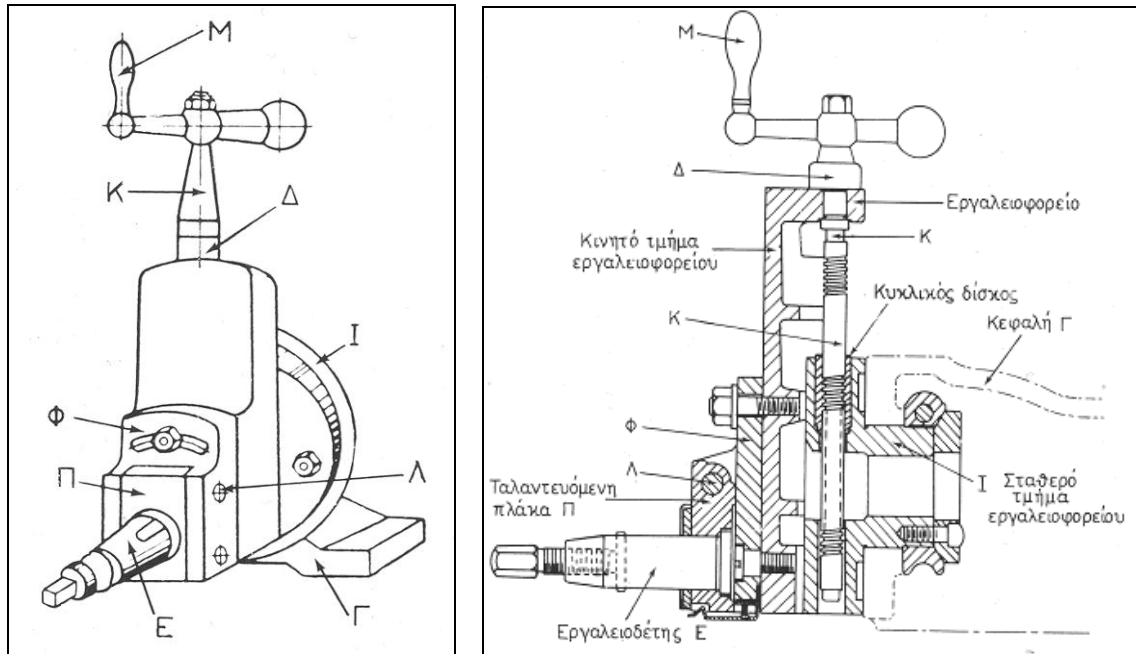
Για τη συγκράτηση κομματιών χρησιμοποιείται μέγγενη η οποία στερεώνεται στο τραπέζι της πλάνης. Ειδικά για τις ανάγκες συγκράτησης κυλινδρικών κομματιών (δοκίμια πετρώματος) κατασκευάστηκαν για την εργαστηριακή διάταξη του Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων οι σιαγώνες του σχήματος 7.9.



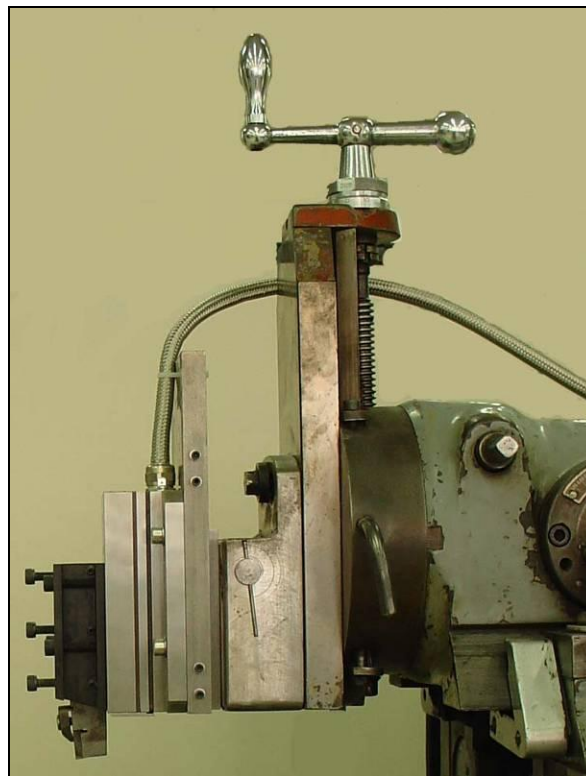
Σχήμα 7.9. Σιαγωνωτή μέγγενη ειδικά σχεδιασμένη για τη συγκράτηση κυλινδρικών δοκιμίων (Αναγνώστου 2006).

7. Εργαλειοφορείο

Το τμήμα της κεφαλής της ταχυπλάνης που φέρει το κοπτικό εργαλείο ονομάζεται εργαλειοφορείο και απεικονίζεται στα σχήματα 7.10 και 7.11. Στην εργαστηριακή διάταξη του Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων το εργαλειοφορείο φέρει επιπλέον ένα δυναμόμετρο. Το εργαλειοφορείο είναι βιδωμένο πάνω στην κεφαλή και αποτελείται από δύο κύρια τμήματα: το σταθερό και το κινητό. Το σταθερό τμήμα I, στο μέρος που συνδέεται με την κεφαλή, έχει έναν κυκλικό δίσκο εδράσεως με υποδιαίρεσεις σε μοίρες, για να μπορεί ολόκληρο το εργαλειοφορείο να σταθεροποιείται σε διάφορες κλίσεις προκειμένου να πλανήσει επιφάνειες που έχουν ορισμένη κλίση προς της κατακόρυφο.



Σχήμα 7.10. Εργαλειοφορείο (Αναγνώστου 2006).



Σχήμα 7.11. Εργαλειοφορείο πλάνης Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων.

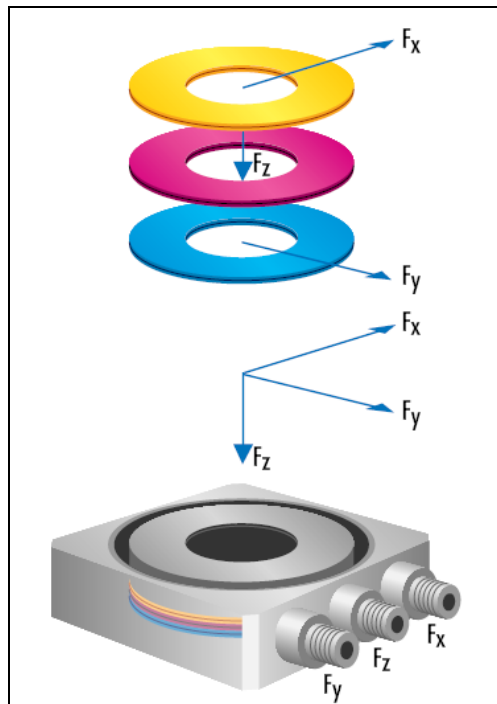
Τα δύο τμήματα του εργαλειοφορείου έχουν γλισιέρες σε μορφή χελιδονουράς. Το κινητό, μαζί φυσικά με το εργαλείο κοπής ανεβοκατεβαίνει με τη βοήθεια του μεταφορικού κοχλία Κ που το χειρίζεται κανείς με το χειρομοχλό Μ. Στο κινητό τμήμα βρίσκεται και η φωλιά Φ της πλάκας Π, που φέρει τον εργαλειοδέτη Ε με το κοπτικό εργαλείο. Στην εργαστηριακή διάταξη του Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων μεταξύ της πλάκας Π και του εργαλειοδέτη προσαρμόζεται το δυναμόμετρο. Ο φορέας Φ της πλάκας Π μπορεί να στρέφεται και να σταθεροποιείται με κάποια κλίση προς τα δεξιά ή αριστερά.

7.2.2 Δυναμόμετρο

Το δυναμόμετρο το οποίο χρησιμοποιείται είναι της εταιρίας Kistler τύπου 9257BA και έχει ως αρχή λειτουργίας του το φαινόμενο του πιεζοηλεκτρισμού. Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά όπως ο χαλαζίας παραμορφώνονται ελάχιστα ακόμα και για υψηλά φορτία. Έτσι λόγω της μεγάλης του ακαμψίας και της υψηλής φυσικής του συχνότητας είναι κατάλληλος για τη μέτρηση εξαιρετικά γρήγορων μεταβολών δυνάμεων, όπως συμβαίνει κατά την κοπή.

Το δυναμόμετρο αποτελείται από 4 αισθητήρες με 3 επίπεδα αισθητήρων:

- 2 διάτμησης για την μέτρηση της F_x και της F_y (πλάγια και κάθετη δύναμη αντίστοιχα) δύναμη
- 1 πίεσης για την μέτρηση της F_z (δύναμη κοπής) ο καθένας.



Σχήμα 7.12. Αισθητήρας τριών επιπέδων (Αναγνώστου 2006).

7.2.3 Μονάδα ελέγχου δυναμόμετρου με ενισχυτή σήματος

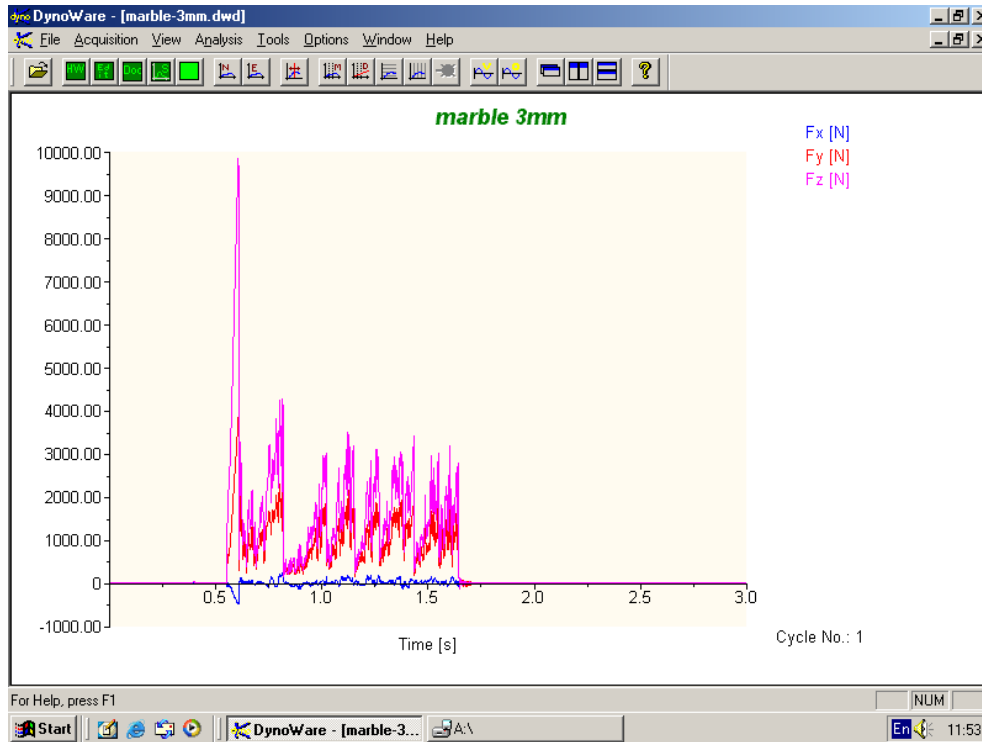
Μέσω καλωδίου (Kistler MIL 1419) το δυναμόμετρο συνδέεται με τη μονάδα ελέγχου δυναμόμετρου (Kistler 5233A1). Η μονάδα ελέγχου έχει ως είσοδο τα 3 σήματα F_x, F_y, F_z του δυναμόμετρου και εξόδους που μεταφέρουν τα σήματα στον υπολογιστή. Επίσης με εξόδους στη μονάδα ελέγχου καθορίζεται το εύρος μέτρησης των δυνάμεων στο δυναμόμετρο.

7.2.4 Κάρτα εισαγωγής δεδομένων στον υπολογιστή

Από την μονάδα ελέγχου τα 3 σήματα μέσω καλωδίου (Kistler 1500A5) οδηγούνται στην κάρτα εισαγωγής δεδομένων (Data Acquisition Card) τύπου PCIM-DAS1602 στον υπολογιστή.

7.2.5 Υπολογιστής και λογισμικό καταγραφής και επεξεργασίας σήματος

Στον υπολογιστή και μέσω του λογισμικού Dynoware 2825A1 της Kistler γίνεται η καταγραφή και επεξεργασία του σήματος (δεδομένων) από το δυναμόμετρο.



Σχήμα 7.13. Πρόγραμμα Dynoware για την καταγραφή και επεξεργασία σήματος.

7.3 Πειραματική διαδικασία

Προετοιμασία-Ρυθμίσεις στην πλάνη

Αφού μετρηθούν οι διαστάσεις (διάμετρος, ύψος) και το βάρος του κυλινδρικού δοκιμίου πετρώματος, αυτό σταθεροποιείται στη μέγγενη του τραπεζιού της πλάνης έτσι ώστε το κοπτικό να προσβάλλει συμμετρικά τη γενέτειρα. Ρυθμίζεται το βάθος κοπής στα 5 mm με το χειρομοχλό του εργαλιοφορείου και επιλέγεται η βαθμίδα ταχύτητας παλινδρόμησης του κοπτικού και η διαδρομή της κεφαλής έτσι ώστε το μήκος της διαδρομής να είναι μεγαλύτερο του ύψους του δοκιμίου και η ταχύτητα κατά την κοπή να είναι περί τα 150mm/sec. (π.χ. για δοκίμιο 200mm

επιλέγεται διαδρομή 500mm και ταχύτητα παλινδρόμησης 12.5 παλινδρομήσεις/min). Ρυθμίζεται η θέση έναρξης και πέρατος της διαδρομής έτσι ώστε το μέσο της διαδρομής να βρίσκεται στο μέσο του στερεωμένου δοκιμίου.

Ρυθμίσεις δυναμομέτρου και προγράμματος

Από τη μονάδα ελέγχου του δυναμόμετρου επιλέγεται το εύρος μέτρησης των δυνάμεων στο δυναμόμετρο αναλόγως του επιπέδου των δυνάμεων που αναμένονται να αναπτυχθούν (π.χ max 10kN για την δύναμη κοπής και 5kN για την κάθετη και πλάγια δύναμη). Στον υπολογιστή γίνονται ρυθμίσεις στο λογισμικό καταγραφής σήματος Dynoware. (ρύθμιση ρυθμού δειγματοληψίας π.χ. 1000Hz)

Εκκίνηση πλάνης-(Θέση πλάνης σε λειτουργία ρελαντί)

Με το συμπλέκτη να βρίσκεται σε θέση αποσύμπλεξης τίθεται σε λειτουργία ο ηλεκτροκινητήρας της πλάνης. (Στη φάση αυτή η κεφαλή και το κοπτικό δεν παλινδρομούν).

Έναρξη παλινδρόμησης κεφαλής- (Έναρξη πειράματος)

Για την έναρξη του πειράματος γίνεται έναρξη καταγραφής σήματος από το λογισμικό καταγραφής σήματος (Dynoware) και αμέσως μετά τοποθετείται ο συμπλέκτης σε θέση σύμπλεξης. (Στη φάση αυτή η κεφαλή και το κοπτικό παλινδρομούν και εκτελείται η κοπή).

Τερματισμός παλινδρόμησης κεφαλής- (Πέρασ πειράματος)

Όταν το κοπτικό φθάσει στο πέρασ της διαδρομής της κεφαλής τοποθετείται ο συμπλέκτης σε θέση αποσύμπλεξης και τερματίζεται από το πρόγραμμα η

καταγραφή του σήματος. Τερματίζεται η λειτουργία της πλάνης και μετράται η διαφορά μάζας του δοκιμίου.

Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται 4 φορές για κάθε δοκίμιο στρέφοντας το δοκίμιο κατά 90^0 μοίρες.

7.3.1 Χρήσιμα στοιχεία για τους υπολογισμούς

- Για τον υπολογισμό του δείκτη ειδικής ενέργειας εκσκαφής απαιτείται το έργο των δυνάμεων κατά την κοπή. Οι δυνάμεις F_x και F_y δεν παράγουν έργο γιατί μετατοπίζουν το σημείο εφαρμογής τους κάθετα προς τη διεύθυνση τους. Έτσι η συνολική ενέργεια που δαπανάται κατά την κοπή ισούται με το έργο της δύναμης κοπής F_z η οποία μετατοπίζει το σημείο εφαρμογής της κατά τη διεύθυνση της και είναι: $W = \int F_z \cdot dl$ με F_z δύναμη κοπής και dl στοιχειώδης μετακίνηση του κοπτικού.
- Το έργο της δύναμης κοπής F_z υπολογίζεται ως το γινόμενο της μέσης δύναμης κοπής με τη συνολική μετατόπιση (η οποία ισούται με το μήκος του δοκιμίου).
- Η μάζα του δοκιμίου μετράται πριν και μετά από κάθε κοπή όπως θα δούμε και στη συνέχεια. Αυτή η διαφορά της μάζας του δοκιμίου είναι η μάζα η οποία εξορύχτηκε.
- Διαιρώντας την εξορυγμένη μάζα με την πυκνότητα του δοκιμίου υπολογίζεται ο όγκος που εξορύχτηκε.
- Τέλος το πηλίκο του έργου της δύναμης κοπής F_z με τον εξορυγμένο όγκο είναι ο δείκτης της ειδικής ενέργειας κοπής του πετρώματος.

Στον ακόλουθο πίνακα δίνονται τα στοιχεία του κάθε δοκιμίου που υποβλήθηκε στη δοκιμή της κοπής στο εργαστήριο της σχολής.

Πέτρωμα	Δοκίμιο	Διάμετρος (mm)	Μήκος (mm)	Μάζα (gr)	Πυκνότητα (gr/cm ³)
Ασβεστόλιθος	Pa_01	53,95	153,28	936,6	2,67
Ασβεστόλιθος	Pa_02	53,92	140,92	861,1	2,67
Ασβεστόλιθος	Pa_04	54,015	146,07	893,1	2,67
Ασβεστόλιθος	Pa_07	54,04	138,99	849,9	2,66

Πίνακας 7.1. Στοιχεία δοκιμών που υποβλήθηκαν στη δοκιμή της κοπής.

Στον πίνακα 7.2 δίνεται το βάρος του δοκιμίου μετά το τέλος της κάθε κοπής. Στις περιπτώσεις που δεν αναγράφεται το βάρος στον πίνακα σημαίνει ότι υπήρχε θραύση με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η εκτέλεση της επόμενης κοπής.

Κωδικός δοκιμίου	Αρχικό βάρος (gr)	Κοπή 1 (βάρος)	Κοπή 2 (βάρος)	Κοπή 3 (βάρος)	Κοπή 4 (βάρος)
Pa_01	936,6	916,6	895,6	878,3	852,1
Pa_02	861,1	842,3	824,9	793,5	771,1
Pa_04	893,1	877,1	852	834,1	820,1
Pa_07	849,9	829,5	795,7		

Πίνακας 7.2. Τα βάρη των δοκιμών μετά την κάθε κοπή που πραγματοποιήθηκε.

Εργαστηριακή Διερεύνηση της Εξόρυξης Ασβεστολίθου
Περιοχής Πρεβέζης με Μηχανικά Μέσα

Κεφάλαιο 7

Δοκίμιο	A/A Κοπής	Μέση δύναμη κοπής (N)	Μήκος δοκιμίου (m)	Έργο δύναμης κοπής (J)	Εξορυγμένη μάζα (gr)	Πυκνότητα δοκιμίου (gr/cm ³)	Εξορυγμένος όγκος (cm ³)	Δείκτης ειδικής ενέργειας κοπής (MJ/m ³)
Pa_01	1η	1222,384	0,153	187,025	20	2,674	7,479	25,007
Pa_01	2η	1568,099	0,153	239,919	21	2,674	7,853	30,551
Pa_01	3η	1421,036	0,153	217,418	17,3	2,674	6,469	33,609
Pa_01	4η	1487,957	0,153	227,657	26,2	2,674	9,798	23,235
Pa_02	1η	1424,557	0,141	200,863	18,8	2,677	7,022	28,605
Pa_02	2η	1348,329	0,141	190,114	17,4	2,677	6,499	29,253
Pa_04	1η	1245,709	0,146	181,874	16	2,669	5,994	30,343
Pa_04	2η	1431,342	0,146	208,976	25,1	2,669	9,404	22,222
Pa_04	3η	1587,775	0,146	231,815	17,9	2,669	6,706	34,568
Pa_04	4η	1500,396	0,146	219,058	14	2,669	5,245	41,765
Pa_07	1η	1312,272	0,139	182,406	20,4	2,666	7,651	23,841
Pa_07	2η	1736,599	0,139	241,387	33,8	2,666	12,678	19,040

Πίνακας 7.3. Τα αναλυτικά αποτελέσματα των υπολογισμών.

Μ.Ο ειδικής ενέργειας κοπής για κάθε δοκίμιο (MJ/m ³)	
Pa 01	28.100
Pa_02	28,928
Pa 04	32,224
Pa 07	21,439
Μ.Ο ειδικής ενέργειας για τον ασβεστόλιθο (MJ/m ³)	
27,672	

Πίνακας 7.4. Ειδική ενέργεια κοπής του ασβεστολίθου που μελετάμε.

Δοκίμιο	A/A Κοπής	Μέση δύναμη κοπής Fz (N)	Μέση κάθετη δύναμη Fy (N)	Συντελεστής κοπής
Pa_01	1η	1222,38	1885,20	0,65
Pa_01	2η	1568,10	2700,97	0,58
Pa_01	3η	1421,04	2365,11	0,60
Pa_01	4η	1487,96	2398,84	0,62
Pa_02	1η	1424,56	2337,92	0,61
Pa_02	2η	1348,33	2151,92	0,63
Pa_04	1η	1245,71	1855,09	0,67
Pa_04	2η	1431,34	2339,24	0,61
Pa_04	3η	1587,78	2768,76	0,57
Pa_04	4η	1500,40	2537,51	0,59
Pa_07	1η	1312,27	2214,78	0,59
Pa_07	2η	1736,60	2808,63	0,62

Πίνακας 7.5. Υπολογισμός του συντελεστή κοπής για το κάθε δοκίμιο.

8 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

8.1 Δειγματοληψία-Προετοιμασία δοκιμίων

Η δειγματοληψία αποτελεί έναν αδιαμφισβήτη σημαντικό παράγοντα τόσο για την εγκυρότητα όσο και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων που θα λάβουμε από τις δοκιμές. Επιβάλλεται λοιπόν ιδιαίτερη προσοχή και εμπειρία στην αναζήτηση αντιπροσωπευτικών δειγμάτων από τη μάζα του πετρώματος καθώς και στην επεξεργασία αυτών. Οι δειγματοληπτικές γεωτρήσεις καθώς και η δειγματοληψία στο εργαστήριο θα πρέπει να διασφαλίζουν τη λήψη εδαφικών και βραχωδών δειγμάτων πολύ καλής ποιότητας. Τα δείγματα αυτά θα πρέπει να αντιπροσωπεύουν όσο το δυνατόν καλύτερα, από πλευράς σύστασης, δομής και περιεχόμενης υγρασίας, τη φυσική κατάσταση των υπεδαφικών στρωμάτων από τα οποία προέρχονται.

Επειδή η βραχώμαζα, στην έκταση που ενδιαφέρει, είναι κατά κανόνα ανομοιογενής, τα δείγματα που θα ληφθούν από μία θέση είναι πολύ πιθανόν να διαφέρουν σημαντικά από εκείνα μιας άλλης θέσεως μέσα στην ίδια γεωλογική ενότητα. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η δειγματοληψία πρέπει να περιλαμβάνει δείγματα από πολλές θέσεις της ίδιας μάζας, ιδιαίτερα όταν τα χαρακτηριστικά αυτής διαφοροποιούνται σημαντικά στην συνολική της έκταση.

Οι δειγματοληψίες πρέπει να καθορίζονται κατόπιν προσεκτικής μακροσκοπικής λιθολογικής εξέτασης της μάζας του πετρώματος. Οι περιοχές όπου παρατηρούνται ορυκτολογικές διάφορες, διαφορές στην φύση του συνδετικού υλικού ή διαφορές στο βαθμό εξαλλοιώσεως ή του χρώματος του πετρώματος, αποτελούν τις κατάλληλες για δειγματοληψία περιοχές. Ακόμη κατά την μακροσκοπική αυτή εξέταση επισημαίνεται η παρουσία διακλάσεων, ρωγμών και άλλης μορφής ασυνεχειών της μάζας του πετρώματος και αναλόγως λαμβάνονται δείγματα με ασυνέχειες ή χωρίς αυτές. Γενικά ο τρόπος δειγματοληψίας εξαρτάται από την απαιτούμενη ποιότητα των δειγμάτων η οποία καθορίζεται και από τη

δυνατότητα εκτέλεσης αξιόπιστων εργαστηριακών δοκιμών στις οποίες υποβάλλονται τα δοκίμια.

8.1.1 Επί τόπου δειγματοληψία

Συνήθως η δειγματοληψία των πετρωμάτων επί τόπου, γίνεται με γεωτρύπανο περιστροφικού τύπου με τη χρήση ειδικών δειγματοληπτών (διπλού ή τριπλού τοιχώματος) με κοπτικό άκρο από βιομηχανικά διαμάντια. Κατά την περιστροφή του δειγματολήπτη χρησιμοποιείται σαν ψυκτικό μέσο και για την απαγωγή των θραυσμάτων κυρίως νερό.

Τα δείγματα πετρωμάτων, στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται γεωτρύπανο, εξορύσσονται από τη μάζα του πετρώματος σε ογκόλιθους μορφής κύβου (κυβόλιθοι). Στην περίπτωση μαλακών πετρωμάτων η εξόρυξη μπορεί να γίνει εύκολα με τη βοήθεια κατάλληλου κοπτήρα. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιήθηκαν εκρηκτικά για την εξόρυξη των ογκόλιθων που στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν στο εργαστήριο. Στην περίπτωση όμως αυτή πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ο όγκος του πετρώματος έχει ήδη υποβληθεί σε μία δυναμική εντατική κατάσταση, που ενδεχομένως να προκαλέσει την δημιουργία ή την επέκταση υφιστάμενων μικρορωγμών στο πέτρωμα.

Κατά την μεταφορά των δειγμάτων λαμβάνονται ορισμένα μέτρα προστασίας για να μην θραυσθούν, ενώ στο εργαστήριο προστατεύονται μέχρι να χρησιμοποιηθούν από όλους τους παράγοντες εκείνους που μπορεί να προκαλέσουν αλλοιώσεις σε αυτά.

8.1.2 Δειγματοληψία στο εργαστήριο

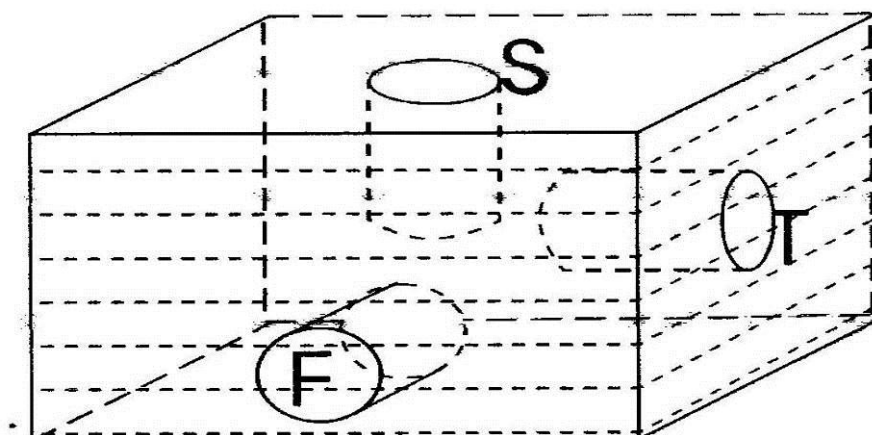
Η δειγματοληψία στο εργαστήριο εκτελείται ακολουθώντας σε γενικές γραμμές τις αρχές που περιγράφηκαν παραπάνω με τη μόνη διαφορά ότι τα δοκίμια

εξορύσσονται από κάποιο τέμαχος πετρώματος που έχει μεταφερθεί στο εργαστήριο. Η συλλογή των τεμάχων αυτών πρέπει να γίνεται από αντιπροσωπευτικές θέσεις της βραχομάζας και η μεταφορά τους να εκτελείται με προσοχή έτσι ώστε να μην γίνεται καταπόνηση του γεωυλικού καθώς και να αποφεύγεται και η απώλεια υγρασίας. Η πυρηνοληψία από το βραχώδες τέμαχος πραγματοποιείται με περιστροφική εργαστηριακή καροταρία και το σύνηθες ψυκτικό μέσο είναι το νερό.



Σχήμα 8.1. Καροταρία εργαστηρίου για τη λήψη δοκιμίων.

Η δειγματοληψία, η επεξεργασία των δειγμάτων καθώς και οι κατάλληλες δοκιμές θα πρέπει να πραγματοποιείται το συντομότερο δυνατό από την παραλαβή των δειγμάτων στο εργαστήριο.



Σχήμα 8.2. Αντιπροσωπευτική δειγματοληψία δοκιμών.

8.1.3 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά

Δοκίμια	Μήκος (mm)	Διάμετρος (mm)	Πυκνότητα (gr/cm ³)	Σχήμα
Ρα_01	153,28	53,95	2,67	Κυλινδρικό
Ρα_02	140,92	53,92	2,68	Κυλινδρικό
Ρα_03	131,15	54,03	2,66	Κυλινδρικό
Ρα_04	146,07	54,01	2,67	Κυλινδρικό
Ρα_05	131,47	54,00	2,67	Κυλινδρικό
Ρα_06	126,88	53,96	2,67	Κυλινδρικό
Ρα_07	138,99	54,04	2,67	Κυλινδρικό

Πίνακας 8.1. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά δοκιμών

- Το μήκος είναι ο μέσος όρος από δύο μετρήσεις προκειμένου να υπάρχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια.
- Με την ίδια φιλοσοφία προέκυψε και η διάμετρος του κάθε δοκιμίου όπου σε αυτή την περίπτωση η τιμή είναι ο μέσος όρος έξι διαμέτρων.
- Η πυκνότητα προέκυψε από το βάρος του κάθε δοκιμίου και τον όγκο του, που για συντομία δεν αναγράφονται σε αυτήν την περίπτωση.
- Το σχήμα θεωρείται κυλινδρικό για τη δική μας διευκόλυνση παρόλα αυτά οι επιφάνειες είναι ελλειψοειδείς.

8.1.4 Προετοιμασία - Επεξεργασία δοκιμίων

Από τα βραχώδη τεμάχια πρέπει να παρασκευασθούν δοκίμια για την εκτέλεση των πειραματικών μετρήσεων. Τα δοκίμια, που χρησιμοποιούνται στις εργαστηριακές δοκιμές είναι:

- Κανονικά, που είναι κυλινδρικής και σπανιότερα κυβικής μορφής.
- Ακανόνιστα.
- Ειδικής μορφής.

Συνήθως οι μηχανικές ιδιότητες σε βραχώδες υλικό προσδιορίζονται σε κυλινδρικά δοκίμια. Τυπικές διαμέτροι είναι μεταξύ 50-75mm περίπου 54mm ως βέλτιστη διάμετρος. Σπανιότερα χρησιμοποιούνται διαμέτροι μέχρι 100 ή 150mm. Τα κυλινδρικά δοκίμια λαμβάνονται, όπως προαναφέρθηκε στο ύπαιθρο με τη χρήση εκρηκτικών υλών για το συγκεκριμένο λατομείο αδρανών υλικών, στο εργαστήριο δε με εργαστηριακό αδαμαντογεωτρύπανο λεπτού τοιχώματος (καροταρία).

Στην συνέχεια, το κάθε τέμαχος τοποθετείται στην εργαστηριακή καροταρία και πραγματοποιείται η πυρηνοληψία. Από κάθε τέμαχος άρρηκτου βράχου γίνεται προσπάθεια να εξαχθούν όσο περισσότερα δοκίμια είναι δυνατόν με στόχο βεβαίως την καλύτερη στατιστική περιγραφή των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων του εκάστοτε υλικού.

Τα δείγματα μορφής πυρήνα που προέκυψαν από το πέτρωμα ελέγχονται στην συνέχεια μακροσκοπικά και μετά αποκόπτονται με αδαμαντοτροχό σε κατάλληλα μήκη ανάλογα με την επιθυμητή σχέση L/D.

Για κάθε εργαστηριακή δοκιμή, το δείγμα πρέπει μορφώνεται με συγκεκριμένες διαστάσεις και αναλογίες διαστάσεων έτσι ώστε να τηρεί τις απαιτούμενες προδιαγραφές των πρότυπων δοκιμών. Κατά την κοπή με τον αδαμαντοτροχό,

Μικρά τμήματα του δοκιμίου αρχίζουν να αποκολλούνται κατά την διεύθυνση κυρίως της σχιστότητας. Για το λόγο αυτό τα δοκίμια πρέπει να κοπούν με μικρές σχετικά ταχύτητες και να τοποθετηθούν σωστά στην μηχανή κοπής.



Σχήμα 8.3. Τροχός κοπής για τη διαμόρφωση των δοκιμίων.

Την κοπή ακολουθεί προσεκτική λείανση της μεν κυλινδρικής επιφάνειας, εάν είναι αναγκαία, σε τόρνο, των δε βάσεων σε δίσκο λειάνσεως. Σ' ένα ιδανικό δοκίμιο οι βάσεις πρέπει να είναι τελείως παράλληλες μεταξύ τους και κάθετες προς τον μεγάλο άξονα του δοκιμίου.

Σημειώνεται τέλος ότι, κατά τη λήψη των κυλινδρικών δοκιμίων από το δείγμα με το αδαμαντογεωτρύπανο, αντί νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ψύξη του κοπτικού άκρου και την απαγωγή των θραυσμάτων πεπιεσμένος αέρας στα πετρώματα εκείνα που επηρεάζονται από το νερό. Στην περίπτωση αυτή η διάτρηση είναι βραδύτερη και χρειάζεται μεγαλύτερη προσοχή.

8.1.5 Απαιτούμενος αριθμός δοκιμών

Ανεξάρτητα από την προσοχή που δόθηκε για την ετοιμασία του δοκιμίου και την αυστηρή συμμόρφωση προς την πειραματική διαδικασία, η δοκιμή ενός ή δύο δοκιμίων από ένα δείγμα και στην πιο απλή πειραματική μέθοδο προσδιορισμού μιας μηχανικής ιδιότητας του πετρώματος δεν δίνει ικανοποιητικό αντιπροσωπευτικό αποτέλεσμα.

Οι αποκλίσεις που παρατηρούνται στα πετρώματα είναι πολύ μεγαλύτερες από εκείνες των τεχνικών δομικών υλικών ή των μετάλλων, γιατί εκτός από τις συνήθεις πειραματικές αποκλίσεις ενυπάρχουν επιπρόσθετοι παράγοντες σφαλμάτων που προκύπτουν από το γεγονός ότι:

- Η γεωμετρία του δοκιμίου δεν μπορεί να φθάσει σε τελειότητα εκείνη των δοκιμίων των τεχνικών υλικών.
- Από τη δομή τη πετρώματος, που εκτός από λίγες εξαιρέσεις, λόγω της παρουσίας μικροασυνεχειών δεν μπορεί να πλησιάσει την ομοιογένεια των τεχνικών υλικών.

Εάν συνεπώς απαιτείται σε ένα πέτρωμα πολύ υψηλή προσέγγιση προς την πραγματική τιμή μιας μηχανικής του ιδιότητας τότε ο αριθμός των δοκιμίων που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να αυξηθεί τόσο ώστε ο προσδιορισμός της ζητούμενης ιδιότητας να επιτύχει την απαιτούμενη στατιστική ακρίβεια.

Για τον περιορισμό όμως του κόστους και του χρόνου των δοκιμών χωρίς να μειωθεί η ζητούμενη αξιοπιστία των πειραματικών αποτελεσμάτων είναι απαραίτητο να καθορισθεί ένας ελάχιστος για κάθε περίπτωση αριθμός δοκιμίων που πρέπει να δοκιμασθούν. Ο αριθμός αυτός εξαρτάται από την διασπορά των πειραματικών τιμών σε σχέση προς τη μέση τιμή και από την επιθυμητή ακρίβεια. Η διασπορά εξαρτάται με την σειρά της από την ανομοιογένεια του πετρώματος και από το μέγεθος του δοκιμίου. Τα μικρά δοκίμια δίνουν την μεγαλύτερη

διασπορά. Συνεπώς όταν χρησιμοποιούνται για δοκιμές στο εργαστήριο μικρών διαστάσεων δοκίμια, ο αριθμός τους πρέπει να είναι σχετικά μεγάλος.

8.2 Δοκιμή Υπερήχων

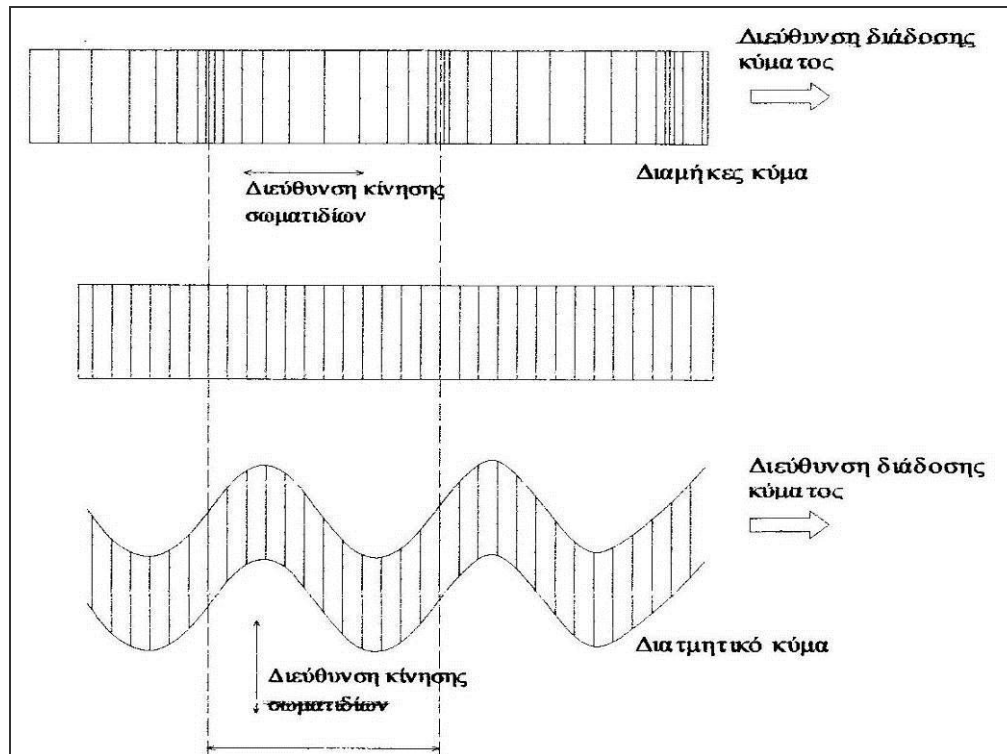
8.2.1 Διάδοση κυμάτων

Ένας ήχος με συχνότητα μεγαλύτερη από τη μέγιστη που μπορεί να αντιληφθεί το ανθρώπινο αυτί, που είναι περίπου (20kHz), καλείται υπέρηχος. Ο υπέρηχος κινείται στο μέσο διάδοσης με τη μορφή ενός κύματος με μικρό μήκος και την ιδιότητα να ανακλάται σε πολύ μικρές επιφάνειες. Τα χαρακτηριστικά αυτά τον καθιστούν χρήσιμο για το μη καταστροφικό έλεγχο κάθε είδους πετρώματος. Η ταχύτητα διάδοσης του υπερηχητικού κύματος υπό σταθερή θερμοκρασία και πίεση είναι σταθερή και σχετίζεται με το μήκος κύματος, τη συχνότητα και την περίοδο (χρόνος κύκλος).

Για τον έλεγχο των πετρωμάτων με υπέρηχους χρησιμοποιούνται δύο είδη κυμάτων:

- Τα διαμήκη (P)
- Τα διατμηματικά ή εγκάρσια (S)

Στο σχήμα 8.4 που ακολουθεί γίνεται μια σχηματική αναπαράσταση της κίνησης των σωματιδίων σε συνάρτηση με τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος για τα διαμήκη και τα εγκάρσια κύματα αντίστοιχα.



Σχήμα 8.4. Κίνηση των σωματιδίων σε συνάρτηση με τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος (Νομικός 2008)

8.2.2 Ταχύτητα διάδοσης υπερήχων

Όταν τα ηχητικά κύματα διέρχονται διαμέσου ενός υλικού υφίστανται ελάττωση της έντασης τους, καθώς μέρος της ενέργειας τους μετατρέπεται σε άλλη μορφή ενέργειας. Έτσι κύμα με ένταση J_0 , διερχόμενο διαμέσου υλικού πάχους l , εξέρχεται με μειωμένη ένταση J που δίνεται από τη σχέση: $J=J_0 \cdot e^{-\mu l}$, δηλαδή η ένταση του κύματος ελαττώνεται εκθετικά με το πάχος (l) του υλικού. Ο συντελεστής (μ) καλείται συντελεστής εξασθένησης και εξαρτάται από το είδος του υλικού και τη συχνότητα του κύματος.

Θεωρητικά η ταχύτητα των κυμάτων που διέρχονται από το ακέραιο πέτρωμα εξαρτάται από τις ελαστικές παραμέτρους του πετρώματος, την πυκνότητα του και το πορώδες. Η ύπαρξη πόρων, μικρορωγμών και άλλων ασυνεχειών μικρής κλίμακας επηρεάζουν σημαντικά την ταχύτητα των κυμάτων.

Η δοκιμή των υπερήχων εμφανίζεται σε τρεις κυρίως παραλλαγές αλλά βασίζονται στις ίδιες αρχές: τεχνική υπερηχητικών παλμών υψηλής συχνότητας, η τεχνική υπερηχητικών παλμών χαμηλής συχνότητας και η μέθοδος συντονισμού.

Αν και υπάρχουν αυτές οι τρεις διαφορετικές μέθοδοι, ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός πρέπει να επιλέγεται όσο αυτό είναι δυνατόν ώστε να είναι εφαρμόσιμος και από τις τρεις μεθόδους. Το ίδιο πέτρωμα ή ακόμη και το ίδιο δείγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τις τρεις μεθόδους. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στις συχνότητες που χρησιμοποιούνται για τις διαφορετικές μεθόδους. Τα ηλεκτρονικά στοιχεία πρέπει να έχουν αντίστοιχες σύνθετες ηλεκτρικές αντιστάσεις και να έχουν προστατευόμενα (μονωμένα) καλώδια για να εξασφαλίζεται αποδοτική μεταφορά ενέργειας. Για να αποτραπεί η ζημιά στο σύστημα δεν πρέπει να υπερβαίνονται οι επιτρεπόμενες ηλεκτρικές τάσεις.

Η μέτρηση της ταχύτητας των ηχητικών κυμάτων δια μέσου του ακέραιου πετρώματος πραγματοποιείται με μια απλή μεθοδολογία που προβλέπει στο ένα άκρο ενός πυρήνα του ακέραιου πετρώματος την τοποθέτηση πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου που δημιουργεί τα ηχητικά κύματα, τα οποία λαμβάνονται από το άλλο άκρο με δέκτη και μετρείται έτσι άμεσα ο χρόνος διαδρομής των κυμάτων P και S που διατρέχουν τον πυρήνα.

Με τον προσδιορισμό των ταχυτήτων V_s και V_p μπορούν στη συνέχεια να υπολογιστούν τα δυναμικά μέτρα διάτμησης (G) και ελαστικότητας (E) καθώς επίσης και ο λόγος του Poisson (ν), σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις οι οποίες εξάγονται από τη θεωρία της ελαστικότητας ομογενών και ισότροπων στερεών υλικών:

$$G = \rho \cdot V_s^2$$

$$\nu = \frac{(V_p^2 - 2V_s^2)}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$

$$E = \rho V_p^2 (3V_p^2 - 4V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2)$$

Όπου έχουμε τα εξής σύμβολα:

ρ = πυκνότητα του βραχώδους υλικού

V_p = ταχύτητα διαμήκων κυμάτων

V_s = ταχύτητα διατμητικών κυμάτων

G = δυναμικό μέτρο διάτμησης

ν = λόγος Poisson

E = δυναμικό μέτρο ελαστικότητας (E_D)

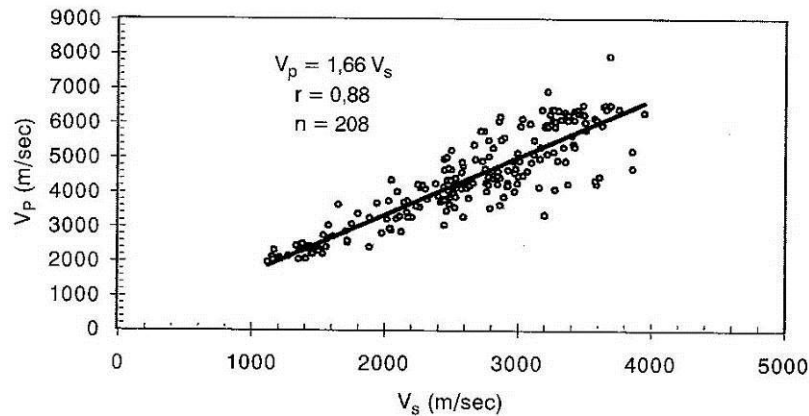
8.2.3 Συσχέτιση ιδιοτήτων και μεταβλητών

Το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας (E_D), υπολογίζεται από την παραπάνω σχέση, διαφέρει από το στατικό μέτρο ελαστικότητας (E_{ST}) του ακέραιου πετρώματος, που υπολογίζεται από τις καμπύλες τάσεων-αξονικών παραμορφώσεων κατά την εκτέλεση της δοκιμής σε μονοαξονική θλίψης με παράλληλη μέτρηση των αξονικών παραμορφώσεων.

Γενικά ισχύει: $E_D = K \cdot E_{ST}$

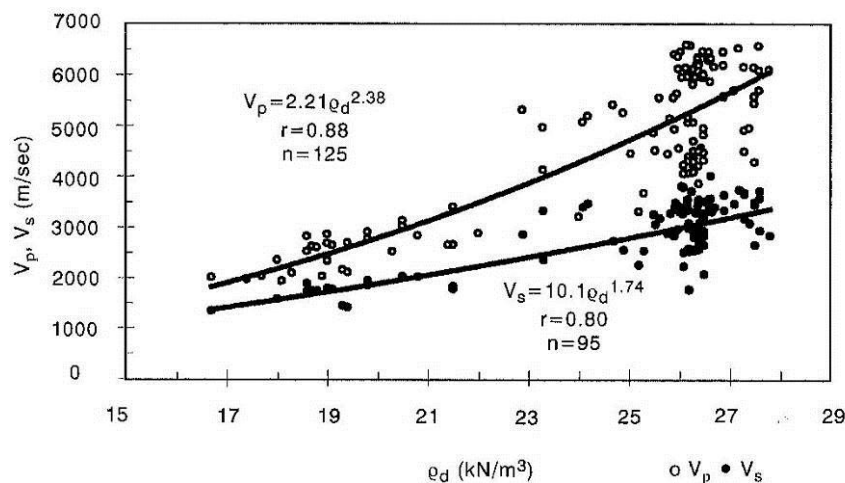
Όπου K = συντελεστής που συνήθως κυμαίνεται από 1 μέχρι 3.

Η ταχύτητα V_p συνδέεται με την V_s σύμφωνα με τη σχέση $V_p = 1,7 V_s$ και στο σχήμα 8.5 φαίνεται μία τέτοια συσχέτιση για διάφορα πετρώματα του Ελληνικού χώρου.



Σχήμα 8.5. Σχέση ταχυτήτων P και S κυμάτων από δοκιμές υπερήχων για διάφορα πετρώματα του Ελληνικού χώρου (Κούκης, Σαμπατακάκης 2002).

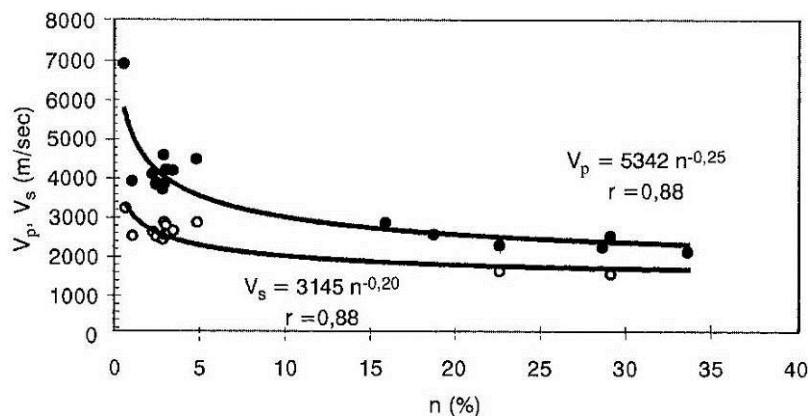
Στο σχήμα 8.6 που ακολουθεί φαίνεται ότι η αύξηση της πυκνότητας του αέριου πετρώματος προκαλεί αύξηση των ταχυτήτων S και P κυμάτων και αυτό συμβαίνει γιατί όσο αυξάνεται η πυκνότητα τόσο πιο συμπαγές γίνεται το πέτρωμα που μελετάμε.



Σχήμα 8.6. Σχέση ξηρής πυκνότητας (ρ_d) και ταχυτήτων υπερήχων για ασβεστολιθικά πετρώματα του Ελληνικού χώρου (Κούκης, Σαμπατακάκης 2002).

Ωστόσο στο σχήμα 8.7 θα δούμε ακριβώς το αντίθετο από αυτό που είδαμε προηγουμένως με την σχέση πυκνότητας-ταχύτητας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση γίνεται μια απεικόνιση της σχέσης και της αλληλεπίδρασης μεταξύ του πορώδους και των ταχυτήτων τόσο των διαμήκων κυμάτων όσο και των διατμητικών (εγκάρσιων). Συγκεκριμένα με την αύξηση του πορώδους του

πετρώματος μας έχουμε ταυτόχρονη μείωση τόσο των διαμήκων όσο και των εγκάρσιων κυμάτων. Αυτό συμβαίνει διότι όσο μεγαλύτερο είναι το πορώδες τόσο χάνει το πέτρωμα μας σε συνεκτικότητα και γίνεται λιγότερο συμπαγές.



Σχήμα 8.7. Σχέση πορώδους (n) και ταχυτήτων υπερήχων για διάφορα πετρώματα του Ελληνικού χώρου (Κούκης, Σαμπατακάκης 2002).

Ενδεικτικά θα δούμε τις διακυμάνσεις των τιμών των V_p , V_s (σε m/sec) για μερικές κατηγορίες πετρωμάτων του Ελληνικού χώρου. Θα παρατηρήσουμε ότι στα πετρώματα που ακολουθούν όπως και σε άλλα που δεν αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα, η ταχύτητα των διαμήκων κυμάτων είναι στις περισσότερες των περιπτώσεις υψηλότερη από την ταχύτητα των εγκάρσιων κυμάτων.

Βραχώδες υλικό	V_p (m/s)	V_s (m/s)
Ασβεστόλιθος	2550-6500	1700-4000
Κρυσταλλικοί, συμπαγείς ασβεστόλιθοι	4800-6500	2800-4000
Μαργαικοί ασβεστόλιθοι	1700-5600	1200-3300
Ψαμμίτες (μαργαικοί, χαλαζιακοί)	1900-6000	1100-3500
Γνεύσιοι - Σχιστόλιθοι	2300-5900	1400-3600

Πίνακας 8.2. Διακυμάνσεις των V_p και V_s για μερικές κατηγορίες πετρωμάτων.

Θα πρέπει τέλος να αναφερθεί και μία παράμετρος που μας δείχνει εμπειρικά την ποιότητα του αέριου πετρώματος. Η παράμετρος (IQ) υπολογίζεται από τη μέτρηση των επιμηκών κυμάτων V_1 δια μέσου του πετρώματος και παράλληλα τον υπολογισμό της θεωρητικά αναμενόμενης ταχύτητας V_1^* με βάση την ορυκτολογική σύσταση του πετρώματος.

Ο τύπος που μας δίνει αυτή την παράμετρο είναι ο εξής:

$$IQ = V_1 / V_1^* \cdot 100$$

Ο χαρακτηρισμός των πετρωμάτων με τη χρήση μη καταστροφικών μεθόδων όπως είναι η τεχνική με διάδοση κυμάτων είτε διαμήκων είτε εγκάρσιων αποτελεί μια εξαιρετικά εύχρηστη αλλά και σημαντική μέθοδος. Μπορούμε να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα και να πάρουμε μια ξεκάθαρη εικόνα για το υλικό μας.

Μπορούμε λοιπόν να καταλάβουμε αρκετά πράγματα σχετικά με τα εξής χαρακτηριστικά του πετρώματος:

1. Ο τύπος του βραχώδους υλικού
2. Η ορυκτολογική σύσταση
3. Η υφή
4. Η δομή
5. Το σχήμα και το μέγεθος των κόκκων
6. Η πυκνότητα
7. Το πορώδες
8. Η ανισοτροπία
9. Το νερό των πόρων
10. Οι Πλευρικές και αξονικές πιέσεις

11. Η Θερμοκρασία
12. Ο βαθμός αποσάθρωσης
13. Οι ιδιότητες των ασυνεχειών (τραχύτητα, υλικό πλήρωσης)

Η παραπάνω ταξινόμηση έχει γίνει με τυχαία και όχι με αύξουσα ή φθίνουσα σειρά επιρροής και αυτό γιατί σε κάθε περίπτωση μέτρησης κυριαρχεί και κάποιο χαρακτηριστικό γνώρισμα που ορίζει τη διακύμανση της ταχύτητας διάδοσης υπερήχων π.χ. σε ένα πέτρωμα με ασυνέχειες, η ταχύτητα θα καθοριστεί σύμφωνα με τις ιδιότητες των ασυνεχειών αυτών και δευτερευόντως από τη δομή ή το μέγεθος των κόκκων.

Στο ίδιο πέτρωμα όμως, υπό την επήρεια υψηλών αξονικών και πλευρικών τάσεων (όπου υπάρχει κλείσιμο των ρωγμών), ο κύριος παράγοντας μπορεί να είναι η υφή και η δομή του. Αντίθετα σε δοκίμιο αέριου πετρώματος μεγάλη σημασία θα έχει η ανισοτροπία ή η ορυκτολογική σύσταση συγκριτικά με την επιρροή των μικρορωγμών που μπορεί να υπάρχουν. Η επιρροή των παραπάνω παραμέτρων είναι εν μέρει πολύπλοκη, υπάρχουν όμως κάποιες γενικές συσχετίσεις που προκύπτουν από πλήθος ερευνών αλλά και δημοσιεύσεων.

Η τεχνική υπολογισμού των ταχυτήτων των διαμήκων κυμάτων ενός πετρώματος όπως και στην περίπτωση μας χρησιμοποιώντας σήματα με υπερηχητικές συχνότητες θεωρείται μια χρήσιμη και αξιόπιστη μέθοδος για τον υπολογισμό των ελαστικών ιδιοτήτων όπως είναι το μέτρο ελαστικότητας του Young (E), το μέτρο διάτμησης (G), ο λόγος Poisson (ν), καθώς και της αντοχής των πετρωμάτων. Οι μετρήσεις της ταχύτητας των διαμήκων κυμάτων μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση κλειστών ρωγμών στα υλικά ή στα πετρώματα μας, καθώς και για τον υπολογισμό του βάθους των ρωγμών σε ένα πέτρωμα.

Όπως προαναφέραμε η σύγκριση των θεωρητικών τιμών με τη μετρούμενη τιμή της ταχύτητας των κυμάτων αυτών μπορεί να αποτελέσει ένα δείκτη ποιότητας του

πετρώματος. Ο υπολογισμός της ταχύτητας των διαμήκων κυμάτων σε ένα συγκεκριμένο τύπο φυσικών πετρωμάτων όπως είναι ο ασβεστόλιθος επιτρέπει τον καθορισμό των δομών των ρωγμών, της υγρασίας, του πορώδους, της πυκνότητας ακόμη και της αλατότητας που υπάρχει μέσα σε αυτό το πέτρωμα. Έτσι μπορούν να εντοπιστούν υπάρχουσες ρωγμές σε παλιές κατασκευές αλλά και σε χώρους αρχαιολογικούς, σε αρχαία μνημεία, σε αγάλματα ή σε εκκλησίες.

Βέβαια πέρα από τον ασβεστόλιθο με τη χρήση των κυμάτων στα μάρμαρα, που αποτελούν σημαντικό δομικό υλικό διαχρονικά, μπορούν να ανιχνευθούν χημικές και δομικές ανωμαλίες καθώς επίσης και τυχόν ασυνέχειες στη μάζα του. Μπορεί επίσης να εκτιμηθούν κάποιοι δείκτες σχετικά με το βαθμό αποσάθρωσης.

Όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος των πόρων και των μικροδιακλάσεων τόσο πιο αργή είναι η διάδοση των κυμάτων. Είναι ξεκάθαρο πως η ταχύτητα των διαμήκων μπορεί να αποτελέσει ένα καλό διαγνωστικό εργαλείο σχετικά με τις αλλαγές στο πορώδες και τις μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα διαμήκη κύματα που διαδίδονται μέσω του πετρώματος αναφέρονται και ως ακουστικά (sonic waves) λόγω του όμοιου τρόπου διάδοσης. Επίσης όταν οι ταλαντώσεις που παράγουν τέτοια κύματα είναι σε φάσμα υψηλότερο των ακουστικών συχνοτήτων, τότε τα κύματα αυτά χαρακτηρίζονται ως υπερήχοι. Για να έχουμε όμως μια ολοκληρωμένη εικόνα σχετικά με το πέτρωμα μας θα πρέπει τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από τη δοκιμή των υπερήχων να συνδυαστούν και να μελετηθούν σε συνάρτηση με τα αποτελέσματα των άλλων δοκιμών μόνο τότε θα έχουμε στοιχεία σωστά για το πέτρωμα μας (ασβεστόλιθος). Επομένως μόνο με τους υπερήχους δεν έχουμε τον πλήρη ποσοτικό χαρακτηρισμό του πετρώματος.

Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μέθοδος των υπερήχων εφαρμόζεται και στα μέταλλα προκειμένου να ανιχνευθούν τυχόν εσωτερικές ατέλειες του υλικού. Εάν υπάρχει εσωτερική ατέλεια, αυτή δρα σαν επιφάνεια ανακλάσεως για τον κυματικό

παλμό, ο οποίος ανακλά σε αυτή και επιστρέφει πίσω. Μετρώντας τον χρόνο και γνωρίζοντας την ταχύτητα του υπερηχητικού παλμού εντός του υλικού μπορούμε να υπολογίσουμε την θέση της ατέλειας.

Η ταχύτητα διαμήκου κύματος εντός ελαστικού υλικού δίνεται από τον εξής τύπο:

$$V_P = \sqrt{\frac{E^*(1-\nu)}{\rho^*(1+\nu)^*(1-2\nu)}}$$

Το δοκίμιο μας θα πρέπει να ακολουθεί κάποιους κανόνες προκειμένου να έχουμε τα σωστά αποτελέσματα στην δοκιμή με τους υπερήχους. Έτσι η ελάχιστη διάσταση του δοκιμίου (δηλαδή το μήκος εκείνο που διασχίζει ο κυματοπαλμός) πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το μήκος κύματος του κυματικού παλμού.

Για παράδειγμα:

Αν έχουμε συχνότητα $f=1\text{MHz}$ και ταχύτητα $c=5000\text{m/sec}$ τότε λύνοντας τον γενικό τύπο $f=c/\lambda$ ως προς λ έχουμε $\lambda=(5000\text{m/sec})/(1000000\text{Hz})=0.005\text{m}$

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην διάδοση μέσω κατάλληλα διαμορφωμένου δοκιμίου του πετρώματος ενός υπερηχητικού παλμού και στην μέτρηση του χρόνου που κάνει ο παλμός αυτός να διανύσει το μήκος του δοκιμίου.

Η ταχύτητα διαδόσεως του κύματος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V=l/t$$

Όπου:

V =ταχύτητα

l =το μήκος που διανύει το κύμα

t =ο χρόνος που χρειάζεται ο παλμός για να διανύσει το μήκος l .

Οι ασυνέχειες όπως έχει αναφερθεί επανειλημμένως του πετρώματος επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ταχύτητα διαδόσεως των κυμάτων. Όπως δείχνει ο πίνακας 8.2 η ταχύτητα του διαμήκους θλιπτικού κύματος είναι πολύ μεγαλύτερη στο άθικτο πέτρωμα, απ' ό τι στο ρωγματωμένο. Σε πολλές περιπτώσεις μάλιστα η διαφορά αυτή στην ταχύτητα είναι μεγαλύτερη για τον ίδιο τύπο πετρώματος με διαφορετική πυκνότητα ασυνεχειών, απ' ό τι μεταξύ διαφορετικών τύπων πετρωμάτων.

Τύπος πετρώματος	Θλιπτικό κύμα (p)		Εγκάρσιο κύμα (S)	
	Έντονα ρωγματωμένο	Άθικτο	Έντονα ρωγματωμένο	Άθικτο
Ασβεστόλιθος	2000	5900	1000	3100
Μεταμορφωμένα πετρώματα	2100	3500	1000	1700
Βασάλτης	2300	4500	1100	2200
Γρανίτης	2400	5000	1200	2500
Άμμος	500	2000	250	850
Άργιλος	400	1700	200	800

Πίνακας 8.3. Ταχύτητες διάδοσης P-κυμάτων και S-κυμάτων, για διάφορους τύπους πετρωμάτων με ύπαρξη ασυνεχειών και χωρίς ασυνέχειες (Νομικός 2008).

Θα πρέπει να ισχύει η συνθήκη άπειρης έκτασης η οποία εξασφαλίζεται πρακτικά εάν το μέσο μέγεθος του κόκκου του πετρώματος είναι μικρότερο από το μήκος κύματος του παλμού, που με τη σειρά του να είναι μικρότερο από τη μικρότερη

διάσταση του δοκιμίου. Τα δοκίμια μας μπορεί να είναι κυβικά ή σφαιρικά ή κυλινδρικά όπως ισχύει και στην περίπτωση μας.

Η ελάχιστη πλευρική διάσταση των δοκιμίων (κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του υπερηχητικού παλμού) πρέπει να είναι τουλάχιστον 5-10 φορές μεγαλύτερη από το μήκος κύματος του παλμού. Η απόσταση που διανύει ο παλμός μέσα στο πέτρωμα πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 φορές μεγαλύτερη από το μέσο μέγεθος των κόκκων του πετρώματος.

8.2.4 Πειραματικό μέρος

Με βάση τη δοκιμή των υπερήχων που πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Εξόρυξης Πετρωμάτων προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα που παρατίθενται στη συνέχεια με τη βοήθεια των πινάκων.

Θα πρέπει βέβαια να επισημάνουμε ότι η δοκιμή πραγματοποιήθηκε με τη συσκευή Pundit lab της proceq και καταγράφηκαν τα διαμήκη κύματα (P-waves).

- Χρησιμοποιήθηκαν φύλλα μολύβδου, αφού έγιναν οι απαραίτητες καταγραφές προηγουμένως, για την καλύτερη επαφή του δοκιμίου μας με τον πομπό και το δέκτη αντίστοιχα.
- Εφαρμόσαμε βάρος το οποίο είναι 8929 gr στο πάνω μέρος της διάταξης μας πάλι για να έχουμε σωστή επαφή του ακροδέκτη με το δοκίμιο μας.
- Η συχνότητα του υπερηχητικού παλμού ήταν 54kHz.
- Η συσκευή μας πραγματοποιεί δέκα μετρήσεις και καταγράφει αυτή με το μεγαλύτερο σήμα.

Δοκίμιο	Μήκος δοκιμίου (mm)	Μήκος δοκιμίου (m)	Μήκος με φύλλα μολύβδου (m)
Pa_01	153,28	0,153	0,156
Pa_02	140,92	0,141	0,144
Pa_03	131,15	0,131	0,134
Pa_04	146,07	0,146	0,149
Pa_05	131,47	0,131	0,134
Pa_06	126,88	0,127	0,13
Pa_07	138,99	0,139	0,142

Πίνακας 8.4. Στοιχεία για τα μήκη των δοκιμίων.

Δοκίμιο	Χρόνος (μs)	Χρόνος (s)	Ταχύτητα από υπολογισμούς (m/s)
Pa_01	16,6	0,0000166	9397
Pa_02	15,9	0,0000159	9056
Pa_03	13,6	0,0000136	9853
Pa_04	15,6	0,0000156	9551
Pa_05	14,1	0,0000141	9503
Pa_06	12,6	0,0000126	10317
Pa_07	14	0,000014	10143

Πίνακας 8.5. Στοιχεία για τους χρόνους της δοκιμής.

Δοκίμιο	Χρόνος (s)	Ταχύτητα από συσκευή (m/s)
Pa_01	0,0000166	9398
Pa_02	0,0000159	9056
Pa_03	0,0000136	9853
Pa_04	0,0000156	9551
Pa_05	0,0000141	9504
Pa_06	0,0000126	10000
Pa_07	0,000014	10000

Πίνακας 8.6. Αποτελέσματα από τη δοκιμή υπερήχων.

Κωδικός δοκιμίου	Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας (GPa)
Pa_01	162
Pa_02	150
Pa_03	177
Pa_04	167
Pa_05	112
Pa_06	222
Pa_07	183

Πίνακας 8.7. Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας δοκιμίων ύστερα από υπολογισμούς.

8.3 Δοκιμές εφελκυσμού

Ο προσδιορισμός της αντοχής σε εφελκυσμό ενός πετρώματος ενδιαφέρει κυρίως τη μηχανική πετρωμάτων σε θέματα αστοχίας γιατί τα πετρώματα έχουν πολύ μικρότερη αντοχή σε εφελκυσμό απ' ό τι σε θλίψη.

Η δοκιμή εφελκυσμού όπως θα δούμε παρακάτω χωρίζεται σε δύο κατηγορίες:

- Στην άμεση δοκιμή εφελκυσμού.
- Στην έμμεση δοκιμή εφελκυσμού.

8.3.1 Άμεση δοκιμή εφελκυσμού

Η δοκιμή αυτή είναι η ίδια με εκείνη που χρησιμοποιείται στα μέταλλα. Η μεγαλύτερη δυσχέρεια στην εκτέλεση της άμεσης δοκιμής είναι η συγκράτηση του κυλινδρικού σχήματος του δοκιμίου από τις σιαγόνες της μηχανής δοκιμών. Για τη συγκράτηση αυτή, ώστε να μην καταστρέφεται η επιφάνεια του δοκιμίου και την επίτευξη ταυτόχρονα ομοιόμορφης κατά το δυνατόν κατανομής της εφελκυστικής τάσης σε όλη τη διατομή του δοκιμίου, χρησιμοποιούνται ειδικά δοκίμια των οποίων το κόστος κατασκευής είναι μεγάλο.

Ο Fairhurst χρησιμοποίησε συνηθισμένα κυλινδρικά δοκίμια με χαλύβδινους υποδοχείς βάσεων στους οποίους συγκολλούνται με ειδική ρητίνη υψηλής αντοχής σε εφελκυσμό (20-30MPa) οι βάσεις του δοκιμίου αφού πρώτα γίνουν αυτές τραχείες για καλύτερη επαφή της ρητίνης με το πέτρωμα. Το σχήμα που ακολουθεί δείχνει ένα δοκίμιο έτοιμο για δοκιμή (α) και ένα άλλο μετά τη δοκιμή (β).

Η δοκιμή του Fairhurst θεωρείται ικανοποιητική σε σύγκριση με άλλες μεθόδους άμεσης δοκιμής σε εφελκυσμό. Δίνει καλά αποτελέσματα ενώ η προετοιμασία του δοκιμίου είναι σχετικά απλή. Μόνο σε λίγα πετρώματα που αντοχή τους σε εφελκυσμό είναι μεγαλύτερη εκείνης της συγκολλησεως, δε μπορεί να εφαρμοστεί.

8.3.2 Έμμεσες δοκιμές εφελκυσμού

Για την παράκαμψη των προβλημάτων που υπάρχουν στην άμεση δοκιμή, χρησιμοποιούνται διάφορες έμμεσες δοκιμές προσδιορισμού της αντοχής σε εφελκυσμό. Στις έμμεσες δοκιμές, κατάλληλης μορφής δοκίμια, υποβάλλονται συνήθως σε θλίψη κατά τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργηθούν στα δοκίμια εφελκυστικές τάσεις που θα προκαλέσουν πρώτα αστοχία του δοκιμίου σε εφελκυσμό του πετρώματος, οποία είναι πολύ μικρότερη εκείνης σε θλίψη. Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορες τέτοιες μέθοδοι.

Από αυτές, η μέθοδος της αντιδιαμετρικής θλίψης δίσκων (ή αλλιώς Brazilian test) και η μέθοδος του δακτυλίου (Ring test), λόγω απλότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιοδήποτε εργαστήριο με θλιπτική μηχανή, ενώ παράλληλα δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει και η δοκιμή ακανόνιστου δοκιμίου λόγω κυρίως της ταχύτητας προσδιορισμού και του χαμηλού κόστους της υστερώντας όμως ταυτόχρονα όσον αφορά την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

8.3.2.1 Δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης (Brazilian tensile strength test)

Σκοπός:

Η Δοκιμή Αντιδιαμετρικής Θλίψεως (Brazilian Test) χρησιμοποιείται για την έμμεση μέτρηση της αντοχής του πετρώματος σε μονοαξονικό εφελκυσμό. Στη δοκιμή αυτή δοκίμιο μορφής δίσκου υποβάλλεται σε αντιδιαμετρική θλίψη μέχρι θραύσεως. Υπό τις συνθήκες αυτές φόρτισης το δοκίμιο αστοχεί κατά τη διάμετρο φόρτισης σε εφελκυσμό και η εφελκυστική τάση, που θα προκαλέσει την αστοχία αυτή, θεωρείται ότι είναι ίση με την αντοχή του δοκιμίου σε μονοαξονικό εφελκυσμό.

Η δοκιμή βασίζεται στο γεγονός, ότι τα περισσότερα πετρώματα, όταν βρεθούν σε διαξονικά εντατικά πεδία αστοχούν σε εφελκυσμό, όταν η μία κύρια τάση είναι εφελκυστική και η άλλη κύρια τάση θλιπτική και εφ' όσον το μέγεθος της τελευταίας δεν υπερβαίνει το τριπλάσιο της κύριας εφελκυστικής τάσεως.

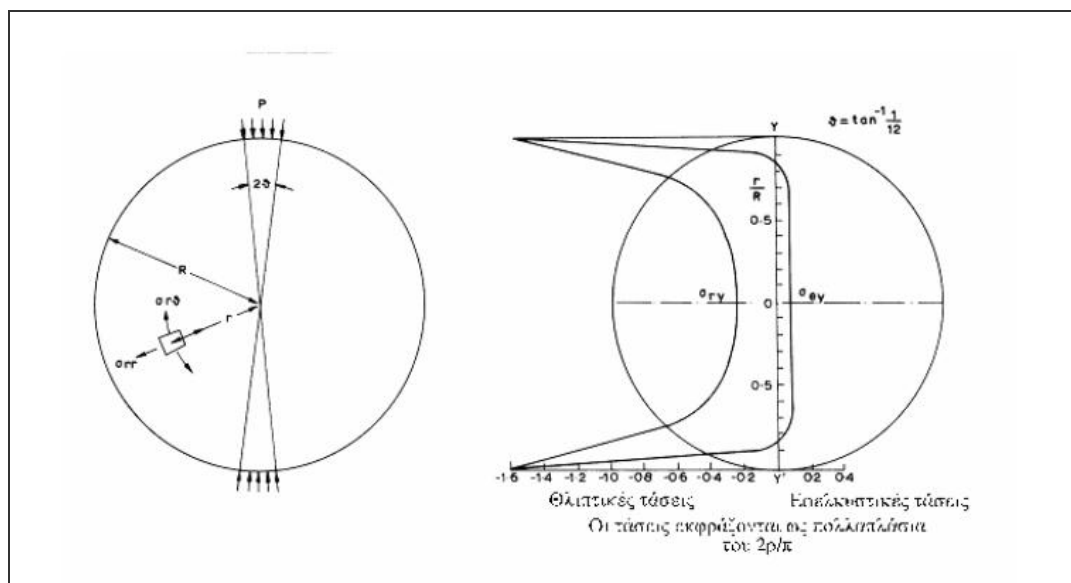
Εκτέλεση δοκιμής:

Η δοκιμή πραγματοποιείται σε δοκίμια πετρώματος μορφής δίσκου. Η συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία δίνεται από την ISRM (International Society for Rock Mechanics). Βάση αυτής τα δοκίμια πρέπει να αποκόπτονται και να προετοιμάζονται με χρήση καθαρού νερού. Οι κυλινδρικές επιφάνειες θα πρέπει να είναι ελεύθερες από εμφανή σημεία των εργαλείων και οι όποιες ανωμαλίες τους δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 0.025 mm. Ο προσανατολισμός του δοκιμίου θα πρέπει να είναι γνωστός, ενώ η διάμετρος του δεν πρέπει να είναι μικρότερη από NX (54,7 mm), και το πάχος του ίσο με την ακτίνα του. Η φόρτιση του δοκιμίου πρέπει να είναι συνεχής και να πραγματοποιείται με σταθερό ρυθμό. Προτεινόμενος ρυθμός φόρτισης είναι 200 N/s.

Το δοκίμιο φορτίζεται μέχρι τη στιγμή της αστοχίας του. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην μέτρηση του φορτίου αστοχίας, καθόσον υπάρχουν περιπτώσεις όπου το δοκίμιο εξακολουθεί να αναλαμβάνει αυξημένα φορτία ακόμη και ύστερα από την αστοχία του. Παρά ταύτα, η διαφορά μεταξύ του φορτίου αρχικής θραύσεως και του τελικού φορτίου, που δύναται να αναλάβει το δοκίμιο είναι το πολύ 5 %. Ο αριθμός των απαιτούμενων δοκιμών ανά δείγμα καθορίζεται από τη διαθέσιμη ποσότητα δείγματος. Το ISRM προτείνει 10 δοκιμές ανά δείγμα.

Θεωρία δοκιμής:

Στην περίπτωση δίσκου από ομοιογενές, ισότροπο και γραμμικώς ελαστικό υλικό, ο οποίος φορτίζεται ομοιόμορφα αντιδιαμετρικά, είναι δυνατό, με βάση τη θεωρία της ελαστικότητας, να υπολογισθούν οι τάσεις εφελκυσμού σ_{θ} και θλίψεως σ_r , κατά μήκος της διαμέτρου φορτίσεως $Y-Y'$. Η μεταβολή των τάσεων αυτών κατά μήκος της $Y-Y'$ δίνεται στο σχήμα 8.8 για την περίπτωση όπου $\theta = \tan^{-1}(1/12)$ $2\theta = 9,50$. Από αυτήν προκύπτει ότι η τάση σ_{θ} , με εξαίρεση τις αντιδιαμετρικές περιοχές φορτίσεως είναι εφελκυστική στο μεγαλύτερο τμήμα της διαμέτρου $Y-Y'$ και ταυτόχρονα σταθερή.



Σχήμα 8.8. Μεταβολή της εφελκυστικής (σ_{θ}) και της θλιπτικής (σ_r) τάσεως κατά μήκος της διαμέτρου $Y-Y'$ για φόρτιση υπό γωνία $2\theta=9,50$.

Η εφελκυστική αυτή τάση δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_{\theta} = -\frac{F}{\pi * r_0 * t} * \left\{ \frac{\sin 2a}{a} - 1 \right\} \quad (1)$$

όπου:

F = επιβαλλόμενη δύναμη τη στιγμή της αστοχίας.

r₀ = ακτίνα του μορφής δίσκου δοκιμίου.

t = πάχος του μορφής δίσκου δοκιμίου.

2α= τόξο γωνίας στο οποίο δρα ομοιόμορφα η δύναμη F επί του δοκιμίου.

Η παραπάνω σχέση, για μικρές γωνίες 2α, δίνεται με ικανοποιητική προσέγγιση από την σχέση:

$$\sigma_{\theta} = -\frac{2F}{\pi * D * t} \quad (2)$$

όπου:

D=2r₀ =διάμετρος του δοκιμίου.

Οι σχέσεις (1) και (2) χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της αντοχής σε εφελκυσμό του πετρώματος, υπό την προϋπόθεση ότι κατά την πειραματική διαδικασία παρατηρείται έναρξη αστοχίας του δοκιμίου κατά μήκος της διαμέτρου φορτίσεως.

Επίδραση των παραμέτρων:

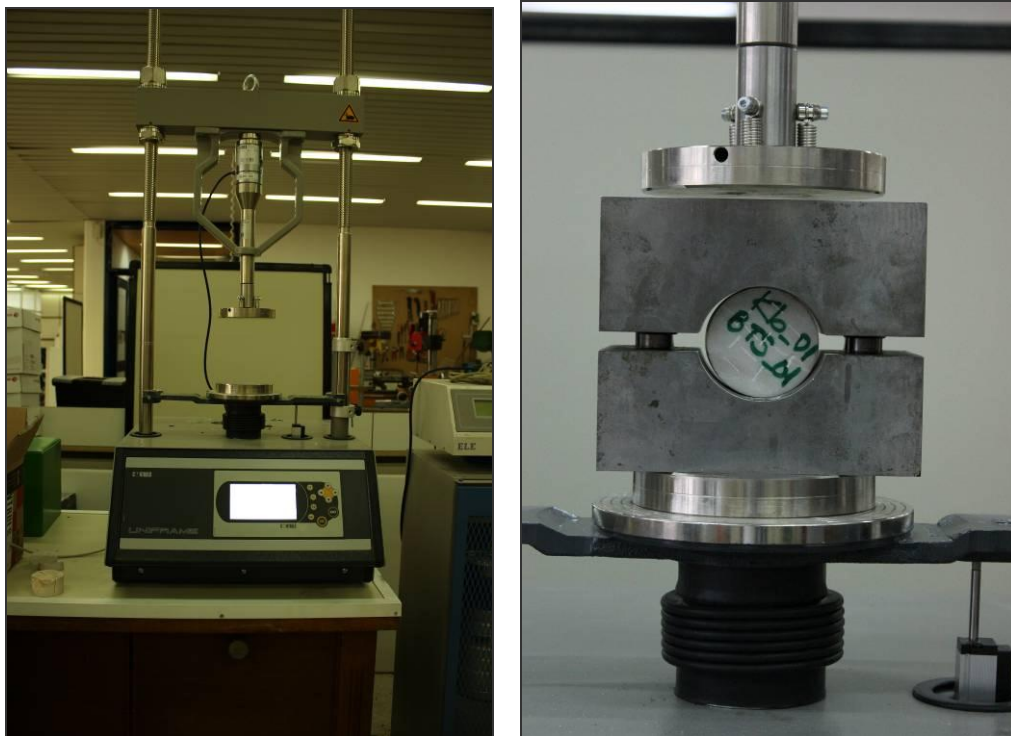
Η τιμή της εφελκυστικής αντοχής πετρώματος, που υπολογίζεται από τη δοκιμή Brazilian επηρεάζεται από τη γωνία 2α , στο τόξο της οποίας εφαρμόζεται το θλιπτικό φορτίο, το λόγο πάχους προς διάμετρο του δοκιμίου (t/D), το πάχος του δοκιμίου και το ρυθμός φορτίσεως.

Η γωνία 2α λαμβάνεται μεταξύ $10-14^\circ$, ο λόγος $t/D=0.5$ και $t=25-30$ mm. Αύξηση του λόγου t/D οδηγεί σε μείωση της αντοχής σε εφελκυσμό του δοκιμίου, ενώ αύξηση του ρυθμού φορτίσεως δίνει γενικά αύξηση της αντοχής.

Πειραματικό μέρος

Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε σε 2 δοκίμια ασβεστολίθου στο εργαστήριο εξόρυξης πετρωμάτων της σχολής.

Η θλιπτική μηχανή και η διάταξη της, στην οποία έγινε η δοκιμή είναι η ακόλουθη.



Σχήμα 8.9. Εργαστηριακή μηχανή φόρτισης (α) και δακτύλιος προσαρμογής δοκιμίου (β).

Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι ο ρυθμός φόρτισης (load rate) ήταν της τάξης των 75N/s και η τιμή της έναρξης καταγραφής (preload) είναι της τάξης των 30N ή 0,030KN.

Κωδικός δοκιμίου	Κωδικός δοκιμίου (BTS)	Μήκος (L)	Βάρος (W)	Φορτίο θραύσης	Διάρκεια	Μετατόπιση
Pb_01	BTS_2	27,06mm	165,1gr	20,147KN	4min 34s	1,202mm
Pb_02	BTS_1	22,34mm	136,3gr	13,229KN	2min 58s	1,971mm

Πίνακας 8.8. Στοιχεία που προέκυψαν από τη δοκιμή της αντιδιαμετρικής θλίψης.

Κωδικός δοκιμίου	Κωδικός δοκιμίου (BTS)	L (1 ^η μέτρηση)	L (2 ^η μέτρηση)	Μέσο μήκος (L)
Pb_01	BTS_2	27,14mm	26,98mm	27,06mm
Pb_02	BTS_1	22,32mm	22,36mm	22,34mm

Πίνακας 8.9. Τα μήκη των δοκιμών που εξετάστηκαν στο εργαστήριο.

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν στη δοκιμή εφελκυσμού ήταν το δοκίμια που είχαν χρησιμοποιηθεί και στη δοκιμή αποξεστικότητας. Στην περίπτωση του δοκιμίου BTS_2 μετά τη δοκιμή η αστοχία του δεν κρίθηκε απόλυτα σωστή καθώς ήταν ακανόνιστη και όχι διαμετρική.

Η εφελκυστική τάση για τα δοκίμια μας δίνεται όπως είπαμε και προηγουμένως

από τον τύπο $\sigma_{\theta} = -\frac{2F}{\pi * D * t}$ έτσι θα έχουμε τα εξής για κάθε δοκίμιο:

$$\text{Για το BTS}_1 \quad \sigma_{\theta} = -\frac{2F}{\pi * D * t} = -\frac{2 * 13.229}{3.14 * 54.10 * 22.34} = -6,97\text{MPa}$$

8.4 Δοκιμή Cerchar

8.4.1 Γενικά

Στις μέρες μας υπάρχουν πολλές πειραματικές δοκιμές για τον προσδιορισμό της αποξεστικής ικανότητας των πετρωμάτων. Η δοκιμή Cerchar είναι πολύ διαδεδομένη και χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό για την αποτίμηση της αποξεστικής ικανότητας των πετρωμάτων στην εξόρυξη τους με μηχανικά μέσα.

Η αποξεστική ικανότητα του πετρώματος (abrasiveness) είναι μία από τις ιδιότητες των πετρωμάτων η οποία μπορεί να ποσοτικοποιηθεί έτσι ώστε να συμπεράνουμε εάν ένα πέτρωμα είναι κατάλληλο για μηχανική εκσκαφή – εξόρυξη. Έχει να κάνει κατά κύριο λόγο με τη φθορά που προκαλεί το πέτρωμα στα διάφορα κοπτικά άκρα των μηχανημάτων εξόρυξης και όχι με τη φθορά που προκαλείται στο ίδιο το πέτρωμα.

8.4.2 Σκοπός

Η δοκιμή Cerchar προσδιορίζεται με βάση τη φθορά που προκαλείται από το δοκίμιο του πετρώματος σε μία κυλινδρική μεταλλική ράβδο της οποίας το κάτω άκρο είναι κώνος γωνίας 90° (ακίδα). Η μεταλλική ακίδα βρίσκεται σε επαφή με το δοκίμιο μας καθώς επάνω της ασκείται φορτίο 70N όπως θα αναλύσουμε και στη συνέχεια.

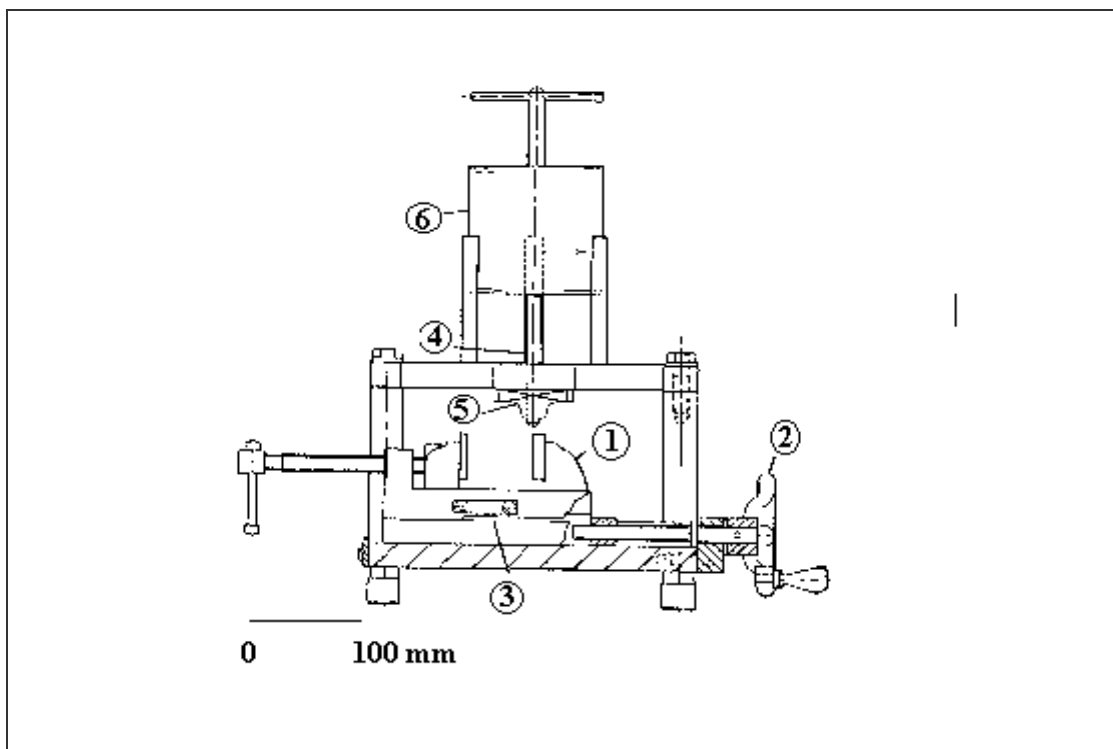
Η ακίδα στη συνέχεια μέσω μιας κατάλληλης διάταξης μετακινείται χειροκίνητα κατά 10mm με αποτέλεσμα να δημιουργούνται χαραγές στην επιφάνεια του δοκίμιου μας. Η αποξεστικότητα του πετρώματος υπολογίζεται μετρώντας την φθορά που προκαλείται στην αιχμή της μεταλλικής μας ακίδας η οποία παραμορφώνεται αποκτώντας επίπεδη επιφάνεια. Ο δείκτης αποξεστικότητας CAI

(Cerchar Abrasiveness Index) ορίζεται ως η φθορά που αντιστοιχεί στο κοπτικό άκρο διαμέτρου 0.1 mm.

8.4.3 Πειραματική συσκευή

Το δοκίμιο που στην περίπτωση μας είναι κυλινδρικό συγκρατείται με τη βοήθεια μιας μέγγενης η οποία μπορεί να μετακινηθεί εγκάρσια προς τη βάση μέσω χειροτροχού προσαρμοσμένου σε κοχλία με σπείρωμα βήματος 1mm/rev. Η μετατόπιση της μέγγενης μπορεί να μετρηθεί στην κλίμακα που είναι προσαρμοσμένη στο μηχάνημα μας. Επίσης έχουμε και την ατσάλινη ακίδα η οποία τοποθετείται χωρίς τριβές στην οπή και στην οποία επιβάλλεται φορτίο 70N.

Στο σχήμα 8.10 βλέπουμε την πειραματική συσκευή Cerchar.

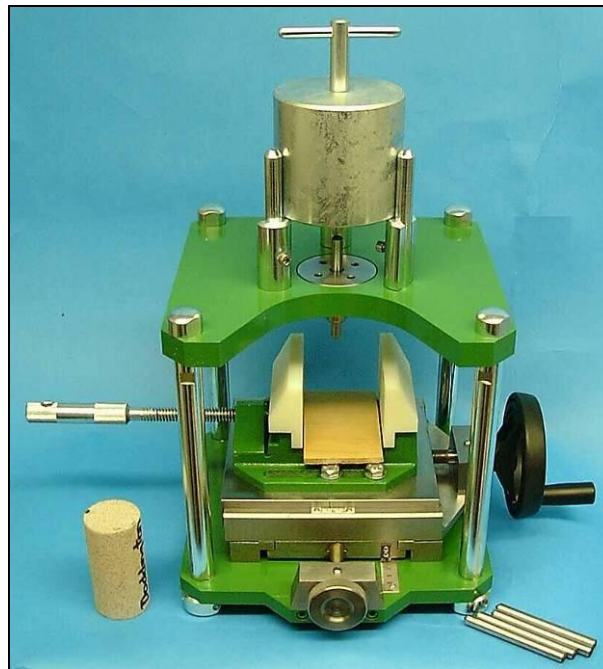


Σχήμα 8.10. Σχέδιο της πειραματικής συσκευής για τον προσδιορισμό του δείκτη αποξεστικότητας Cerchar (Plinninger 2003).

(1)= μέγγενη συγκράτησης δοκιμίου

(2)= μετακίνηση δοκιμίου μέσω χειροτροχού

- (3)= μέτρηση της μετατόπισης
- (4)= η χαλύβδινη ακίδα μας
- (5)= η οπή τοποθέτησης της ακίδας μας
- (6)= επιβολή φορτίου στην ακίδα μας



Σχήμα 8.11. Συσκευή Cerchar στο εργαστήριο εξόρυξης πετρωμάτων.

8.4.4 Πειραματική διαδικασία

Δοκίμια προς εξέταση

Επιλέγονται κατάλληλα δοκίμια κυλινδρικά ή κυβικά έτσι ώστε να προσαρμόζονται στις σιαγώνες της μέγγενης. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιούμε κυλινδρικά ειδικά διαμορφωμένα και κατάλληλα για τη δοκιμή. Η άνω πλευρά του δοκιμίου πρέπει να είναι επίπεδη και ομαλή. Έχει αποδειχθεί ότι σε πολλά ανομοιογενή πετρώματα (κροκαλοπαγή) δεν μπορεί να ληφθεί κατάλληλη ομαλή επιφάνεια πετρώματος με το σπάσιμο του πετρώματος με σφυρί ή οποιαδήποτε άλλη

συσκευή θραύσεως. Έτσι θα ακολουθήσει και η κοπή με αδαμαντοπρίονο ή άλλες λειαντικές μηχανές.

Εκτέλεση δοκιμής:

Εφόσον το δοκίμιο έχει προσαρμοστεί στις σιαγώνες της μέγγενης επικαλύπτεται πλευρικά ο χαλύβδινος κύλινδρος με λιπαντικό, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι τριβές, εισέρχεται στην οπή και εφαρμόζεται στην επιφάνεια του δοκιμίου. Στην συνέχεια επιβάλλεται το φορτίο και η μέγγενη μετακινείται κατά 10mm με περιστροφή του χειροτροχού κατά 10 πλήρεις κύκλους.

Η μετατόπιση ελέγχεται μέσω κλίμακας. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι η διακύμανση του δείκτη CAI (μονάδα της αποξεστικότητας) που οφείλεται στη μεταβλητότητα του μήκους χάραξης είναι αμελητέα όταν το μήκος χάραξης είναι 9.5 έως 10.5mm. Στη συνέχεια αφαιρείται το φορτίο καθώς και ο χαλύβδινος κύλινδρος.

Απαραίτητος είναι ο καθαρισμός του κωνικού άκρου από τυχόν θρύμματα πετρώματος έτσι ώστε να τοποθετηθεί σε μικροσκόπιο κατάλληλης μεγέθυνσης και ανάγνωσης (μεγέθυνση x24, μικρόμετρο βαθμονομημένο σε 0.01 mm και αναγνώσιμο στα 0.001mm). Η φθορά του κωνικού άκρου (mm) πολλαπλασιασμένη επί 10 είναι ο δείκτης αποξεστικότητας του πετρώματος κατά Cerchar. Για να έχουμε όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα γίνονται 5 δοκιμές για κάθε δοκίμιο πετρώματος και υπολογίζεται ο μέσος όρος τους.

Κατάλληλα δοκίμια

Η δοκιμή της αποξεστικότητας για τον προσδιορισμό της φθοροποιούς ικανότητας του πετρώματος μας, στηρίζεται όπως αναφέραμε και παραπάνω στην δημιουργία

αυλακών στην επιφάνεια του πετρώματος με τη βοήθεια μιας χαλύβδινης ακίδας. Βλέποντας στη συνέχεια τη φθορά της ακίδας ποσοτικοποιούμε την αποξεστικότητα. Ωστόσο παρόλο που τα περισσότερα πετρώματα έχουν αποδειχθεί κατάλληλα για την δοκιμή Cerchar θα πρέπει να αναφέρουμε όμως ότι αυτή δε μπορεί να εφαρμοστεί ικανοποιητικά για πολύ μαλακά πετρώματα ή για πάρα πολύ σκληρά.

Στα μαλακά πετρώματα το κωνικό άκρο τείνει να διεισδύσει στα πετρώματα. Η διείσδυση διευκολύνεται τόσο περισσότερο όσο μαλακότερο είναι το πέτρωμα. Κατά συνέπεια σε μαλακά πετρώματα το κωνικό άκρο βυθίζεται υπερβολικά στο πέτρωμα ανακατανέμοντας το αξονικό φορτίο επάνω στις πλευρές του κώνου και όχι στην κωνική αιχμή, με αποτέλεσμα ο υπολογιζόμενος δείκτης αποξεστικότητας του πετρώματος να είναι μικρότερος του αναμενόμενου.

Αντίστοιχα εάν το πέτρωμα είναι πολύ σκληρό δεν μπορεί να χαραχθεί και να προσδιορισθεί κατάλληλα ο δείκτης αποξεστικότητάς του. Επίσης εάν το πέτρωμα παρουσιάζει ανισοτροπία πρέπει να προσδιοριστεί ο δείκτης CAI για διάφορες διευθύνσεις πάνω στο πέτρωμα μας για να υπάρχει μεγαλύτερη αντιπροσωπευτικότητα για όλη την επιφάνεια της δοκιμής.

Κοπτικά εργαλεία (μεταλλικές ακίδες)

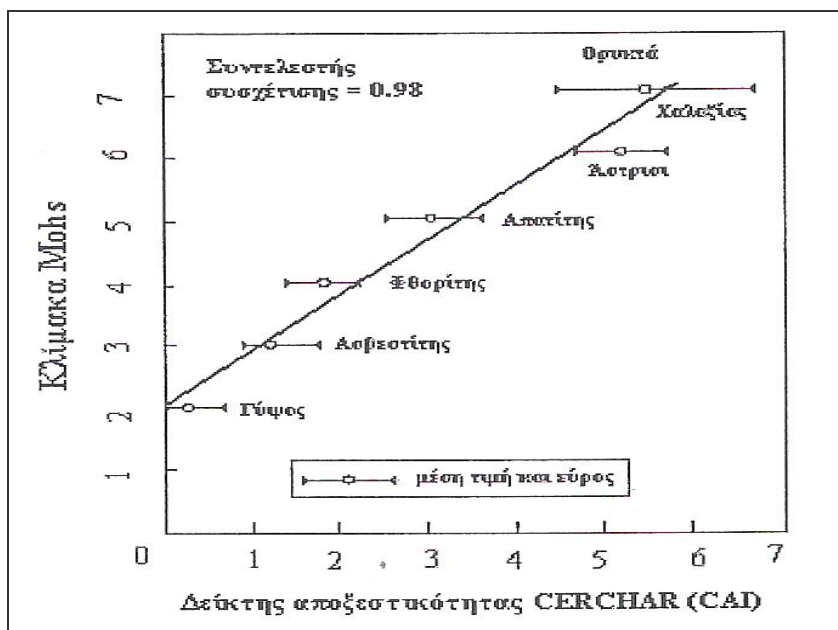
Σύμφωνα με τη δοκιμή Cerchar τα κοπτικά εργαλεία θα πρέπει να πληρούν κάποιες προδιαγραφές όπως οι εξής: να είναι από χάλυβα εφελκυστικής αντοχής 2000 MPa, να υφίστανται θερμική κατεργασία ώστε να αποκτήσουν σκληρότητα Rockwell C40. Οι ακίδες για τις οποίες γίνεται λόγος γίνονται από ράβδο διαμέτρου 10 mm και έχουν μήκος περίπου 100mm (10cm).

Οι κοπτικές ακμές κατασκευάζονται στη μία άκρη τους υπό γωνία 90°. Έπειτα όμως οξύνονται μετά από κάθε δοκιμή, χρησιμοποιώντας ψυκτικό μέσο ώστε να αποκτήσουν την απαραίτητη αιχμηρή ακμή. Μετά όμως από κάθε όξυνση τα

εργαλεία πρέπει να ελεγχθούν για να βεβαιωθεί εάν η ακμή είναι ικανοποιητικά αιχμηρή όπου ένας μεγεθυντικός φακός x10 είναι κατάλληλος για αυτή την εργασία.

Συσχέτιση των αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της δοκιμής Cerchar έχουν συγκριθεί με την κλίμακα σκληρότητας κατά Mohs η οποία αναφέρεται στην ικανότητα ενός σκληρότερου ορυκτού να φθείρει ένα μαλακότερο ορυκτό. Έτσι δοκιμές Cerchar έχουν πραγματοποιηθεί σε ορυκτά γνωστής σκληρότητας κατά Mohs προκειμένου να ελεγχθεί η αξιοπιστία της μεθόδου από τους κατασκευαστές. Στο σχήμα 8.12 με συντελεστή συσχέτισης $r=0.98$ βλέπουμε τις τιμές της δοκιμής Cerchar σε σύγκριση με τις τιμές στην κλίμακα ορυκτών κατά Mohs.



Σχήμα 8.12. Συσχέτιση τιμών μεταξύ κλίμακας Mohs και δοκιμών Cerchar για διάφορα ορυκτά.

Γενικά η αποξεστικότητα του πετρώματος δεν είναι ποτέ η ίδια με την αποξεστικότητα των ορυκτών που το αποτελούν διότι παράγοντες όπως υλικά

συνένωσης, διάφορες ακαθαρσίες-προσμίξεις, το μέγεθος και η μορφή του κόκκου παίζουν ένα σημαντικό ρόλο και διαφοροποιούν τιμές στις δύο αυτές κλίμακες.

Έτσι το πλεονέκτημα της δοκιμής Cerchar έναντι της κλίμακας Mohs είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί και στα ορυκτά και στα πετρώματα σε αντίθεση με την κλίμακα Mohs που έχει εφαρμογή αποκλειστικά και μόνο στα ορυκτά.

Τέλος με βάση τον πίνακα 8.10 κατατάσσουμε τα πετρώματα ανάλογα με το δείκτη Cerchar από ελάχιστα φθοροποιοί σε εξαιρετικά φθοροποιοί.

Κατάταξη πετρωμάτων	Δείκτης Cerchar (Σκληρότητα 55)	Δείκτης Cerchar (Σκληρότητα 40)
Ελάχιστα φθοροποιοί	0,30-0,50	0,32-0,66
Λίγο φθοροποιοί	0,50-1,00	0,66-1,51
Μετρίως φθοροποιοί	1,00-2,00	1,51-3,22
Πολύ φθοροποιοί	2,00-4,00	3,22-6,62
Εξαιρετικά φθοροποιοί	4,00-6,00	6,62-10,03

Πίνακας 8.10. Κατάταξη πετρωμάτων με βάση τον δείκτη αποξεστικότητας CAI (Michalakopoulos et al.,2005).

Προβλήματα στην εκτέλεση της δοκιμής:

- Ορισμένα πετρώματα παρουσιάζουν τόσο μεγάλη σκληρότητα ώστε η κοπτική ακμή να μην μπορεί να χαράξει αύλακα. Σε αυτήν την περίπτωση η κοπτική ακμή παραμορφώνεται και δεν υπάρχει αλληλεπίδραση με το πέτρωμα ώστε να προκύψει χαραγή. Συνεπώς μετά την εκτέλεση των δοκιμών σε σκληρά δοκίμια θα πρέπει να εξετάζεται προσεκτικά το δοκίμιο ώστε να εξασφαλίζεται ότι η κοπτική ακμή χάραξε το πέτρωμα και δεν γλίστρησε πάνω σε αυτό αλλιώς δεν πραγματοποιείται.

- Για τα μαλακά και μη φθοροποιά πετρώματα με δείκτη CAI μικρότερο από 0,7 υπάρχει δυσκολία κατάταξης τους λόγω της μη διαφοροποίησης των μετρούμενων δεικτών τους. Τέλος μερικά πολύ μαλακά πετρώματα μετά την εκτέλεση της δοκιμής αδυνατούν να δημιουργήσουν ορατή φθορά στην κοπτική ακμή.
- Υπάρχει επίσης η πιθανότητα ένα είδος ορυκτού ή ένας μεμονωμένος κόκκος να παρουσιάζεται στο μήκος της αύλακας κατά πολύ περισσότερο από την αναλογία του στο πέτρωμα. Αυτό οδηγεί σε μεγάλη απόκλιση των τιμών από τα αποτελέσματα των επιμέρους δοκιμών. Αυτό συμβαίνει συνήθως σε χονδρόκοκκα πετρώματα.
- Πρέπει επίσης να δοθεί προσοχή κατά την μέτρηση μη συμμετρικών και ανώμαλων επιφανειών φθοράς των κοπτικών ακμών. Για την αποφυγή αυτού του σφάλματος, λαμβάνονται μετρήσεις δύο διαμέτρων οι οποίες σχηματίζουν γωνία 90° μεταξύ τους και υπολογίζεται ο μέσος όρος αυτών.
- Μεγάλα προβλήματα επίσης συναντώνται κατά τον προσδιορισμό αντιπροσωπευτικής τιμής αποξεστικότητας στα πετρώματα που παρουσιάζουν ανισοτροπία, φύλλωση ή σχιστότητα. Τότε για να ληφθεί αντιπροσωπευτική τιμή απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός δοκιμών.

8.4.5 Πειραματικά αποτελέσματα

Στους πίνακες που ακολουθούν παρατίθενται αναλυτικά τα πειραματικά αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών που εκτελέστηκαν με τη διαδικασία που περιγράφηκε προηγουμένως.

Στους ακόλουθους πίνακες οι δοκιμές έγιναν με τύπο ακίδας σκληρότητας HRC 55 κατά Rockwell.

Κωδικός Δοκιμίου: **Pb_01**

Ημερομηνία Δοκιμής: 06/07/2011

α/α		Φθορά ακίδα			Δείκτης
χαραγής (scratch)	ακίδα HRC	Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)	CERCHAR (CAI)
1	55	0,103	0,098	0,100	1,00
2	55	0,103	0,128	0,115	1,15
3	55	0,227	0,261	0,244	2,44
4	55	0,171	0,180	0,175	1,75
5	55	0,154	0,124	0,139	1,39
Μέση τιμή:					1,55
Τυπική Απόκλιση:					0,57

Κωδικός Δοκιμίου: **Pb_02**

Ημερομηνία Δοκιμής: 06/07/2011

α/α		Φθορά ακίδα			Δείκτης
χαραγής (scratch)	ακίδα HRC	Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)	CERCHAR (CAI)
1	55	0,107	0,103	0,105	1,05
2	55	0,098	0,107	0,103	1,03
3	55	0,171	0,158	0,165	1,65
4	55	0,120	0,141	0,131	1,31
5	55	0,115	0,137	0,126	1,26
Μέση τιμή:					1,26
Τυπική Απόκλιση:					0,25

Κωδικός Δοκιμίου: **Pb_03**

Ημερομηνία Δοκιμής: 06/07/2011

α/α	Φθορά ακίδας				Δείκτης CERCHAR (CAI)
	χαραγής (scratch)	ακίδα HRC	Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	
				Μέση τιμή (mm)	
1	55	0,150	0,158	0,154	1,54
2	55	0,120	0,090	0,105	1,05
3	55	0,167	0,103	0,135	1,35
4	55	0,218	0,265	0,242	2,42
5	55	0,124	0,158	0,141	1,41
Μέση τιμή:					1,55
Τυπική Απόκλιση:					0,52

Κωδικός Δοκιμίου: **Pb_04**

Ημερομηνία Δοκιμής: 06/07/2011

α/α	Φθορά ακίδας				Δείκτης CERCHAR (CAI)
	χαραγής (scratch)	ακίδα HRC	Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	
				Μέση τιμή (mm)	
1	55	0,120	0,098	0,109	1,09
2	55	0,113	0,094	0,103	1,03
3	55	0,107	0,127	0,117	1,17
4	55	0,107	0,103	0,105	1,05
5	55	0,056	0,120	0,088	0,88
Μέση τιμή:					1,04
Τυπική Απόκλιση:					0,10

Κωδικός Δοκιμίου: **Pb_05**

Ημερομηνία Δοκιμής: 06/07/2011

α/α		Φθορά ακίδας			Δείκτης
χαραγής (scratch)	ακίδα HRC	Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)	CERCHAR (CAI)
1	55	0,129	0,098	0,114	1,14
2	55	0,108	0,082	0,095	0,95
3	55	0,082	0,111	0,096	0,96
4	55	0,099	0,107	0,103	1,03
5	55	0,155	0,128	0,142	1,42
Μέση τιμή:					1,10
Τυπική Απόκλιση:					0,19

Στους ακόλουθους πίνακες οι δοκιμές έγιναν με τύπο ακίδας σκληρότητας HRC 40 κατά Rockwell.

Κωδικός Δοκιμίου: **Pb_01**

Ημερομηνία Δοκιμής: 06/07/2011

α/α		Φθορά ακίδας			Δείκτης
χαραγής (scratch)	ακίδα HRC	Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)	CERCHAR (CAI)
1	40	0,235	0,274	0,254	2,54
2	40	0,274	0,231	0,252	2,52
3	40	0,231	0,205	0,218	2,18
4	40	0,252	0,214	0,233	2,33
5	40	0,244	0,235	0,239	2,39
Μέση τιμή:					2,39
Τυπική Απόκλιση:					0,15

Κωδικός Δοκιμίου: **Pb_02**

Ημερομηνία Δοκιμής: 06/07/2011

α/α		Φθορά ακίδας			Δείκτης
χαραγής (scratch)	ακίδα HRC	Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)	CERCHAR (CAI)
1	40	0,338	0,188	0,263	2,63
2	40	0,227	0,231	0,229	2,29
3	40	0,214	0,184	0,199	1,99
4	40	0,205	0,252	0,229	2,29
5	40	0,334	0,201	0,267	2,67
Μέση τιμή:					2,37
Τυπική Απόκλιση:					0,28

Κωδικός Δοκιμίου: **Pb_03**

Ημερομηνία Δοκιμής: 06/07/2011

α/α		Φθορά ακίδας			Δείκτης
χαραγής (scratch)	ακίδα HRC	Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)	CERCHAR (CAI)
1	40	0,184	0,210	0,197	1,97
2	40	0,231	0,231	0,231	2,31
3	40	0,257	0,257	0,257	2,57
4	40	0,248	0,274	0,261	2,61
5	40	0,201	0,227	0,214	2,14
Μέση τιμή:					2,32
Τυπική Απόκλιση:					0,27

Κωδικός Δοκιμίου: **Pb_04**

Ημερομηνία Δοκιμής: 06/07/2011

α/α		Φθορά ακίδας			Δείκτης
χαραγής (scratch)	ακίδα HRC	Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)	CERCHAR (CAI)
1	40	0,411	0,308	0,359	3,59
2	40	0,171	0,167	0,169	1,69
3	40	0,188	0,231	0,210	2,10
4	40	0,227	0,206	0,217	2,17
5	40	0,244	0,175	0,210	2,10
Μέση τιμή:					2,33
Τυπική Απόκλιση:					0,73

Κωδικός Δοκιμίου: **Pb_05**

Ημερομηνία Δοκιμής: 06/07/2011

α/α		Φθορά ακίδας			Δείκτης
χαραγής (scratch)	ακίδα HRC	Μέτρηση 1 (mm)	Μέτρηση 2 (mm)	Μέση τιμή (mm)	CERCHAR (CAI)
1	40	0,192	0,158	0,175	1,75
2	40	0,082	0,154	0,118	1,18
3	40	0,107	0,180	0,144	1,44
4	40	0,218	0,235	0,227	2,27
5	40	0,188	0,227	0,207	2,07
Μέση τιμή:					1,74
Τυπική Απόκλιση:					0,45

Οι τιμές του δείκτη αποξεστικότητας Cerchar (CAI) για τα δοκίμια του ασβεστολίθου όταν χρησιμοποιούνται ακίδες HRC 40 είναι 2,23 ενώ όταν χρησιμοποιούνται ακίδες HRC 55 είναι 1,30. Από τον πίνακα 8.10 συμπεραίνουμε ότι το πέτρωμα μας είναι μετρίως φθοροποιό.

8.5 Προσδιορισμός της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη

8.5.1 Παράμετροι που επηρεάζουν την αντοχή

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

- Το υλικό του πετρώματος δηλαδή την ορυκτολογική σύσταση, το μέγεθος των κόκκων, την ανισοτροπία μικρής κλίμακας
- Την περιεχόμενη υγρασία του
- Τις συνθήκες εκτέλεσης της δοκιμής και τη διαμόρφωση των δειγμάτων

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

- Αύξηση της πυκνότητας σημαίνει αύξηση της αντοχής
- Αύξηση του πορώδους σημαίνει μείωση της αντοχής
- Αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας προκαλεί μείωση της αντοχής. Δοκίμια ακέραιου πετρώματος που έχουν ξηρανθεί παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή από αυτά που έχουν κάποια περιεχόμενη υγρασία.

Επίδραση του μεγέθους του δοκιμίου στην αντοχή σε μονοαξονική θλίψη

Οι Hoek & Brown (1980) μετά από συγκέντρωση από τη βιβλιογραφία δοκιμών σε μονοαξονική θλίψη κυλινδρικών δοκιμών διαφόρων πετρωμάτων με διαμέτρους που κυμαίνονταν από 10 έως 200 mm, παρατήρησαν μια σαφή εξάρτηση της αντοχής από τη διάμετρο του δοκιμίου. Όσο λοιπόν αυξάνεται το μέγεθος του κυλινδρικού δοκιμίου, παρατηρείται μια σημαντική μείωση της αντοχής του.

Έτσι θεωρήθηκε σωστό να γίνεται αναγωγή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη σε μια πρότυπη διάμετρο έτσι ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση των δεδομένων ανεξάρτητα των διαστάσεων του δοκιμίου. Σαν πρότυπη διάμετρος λοιπόν επιλέχθηκε αυτή των 50mm.

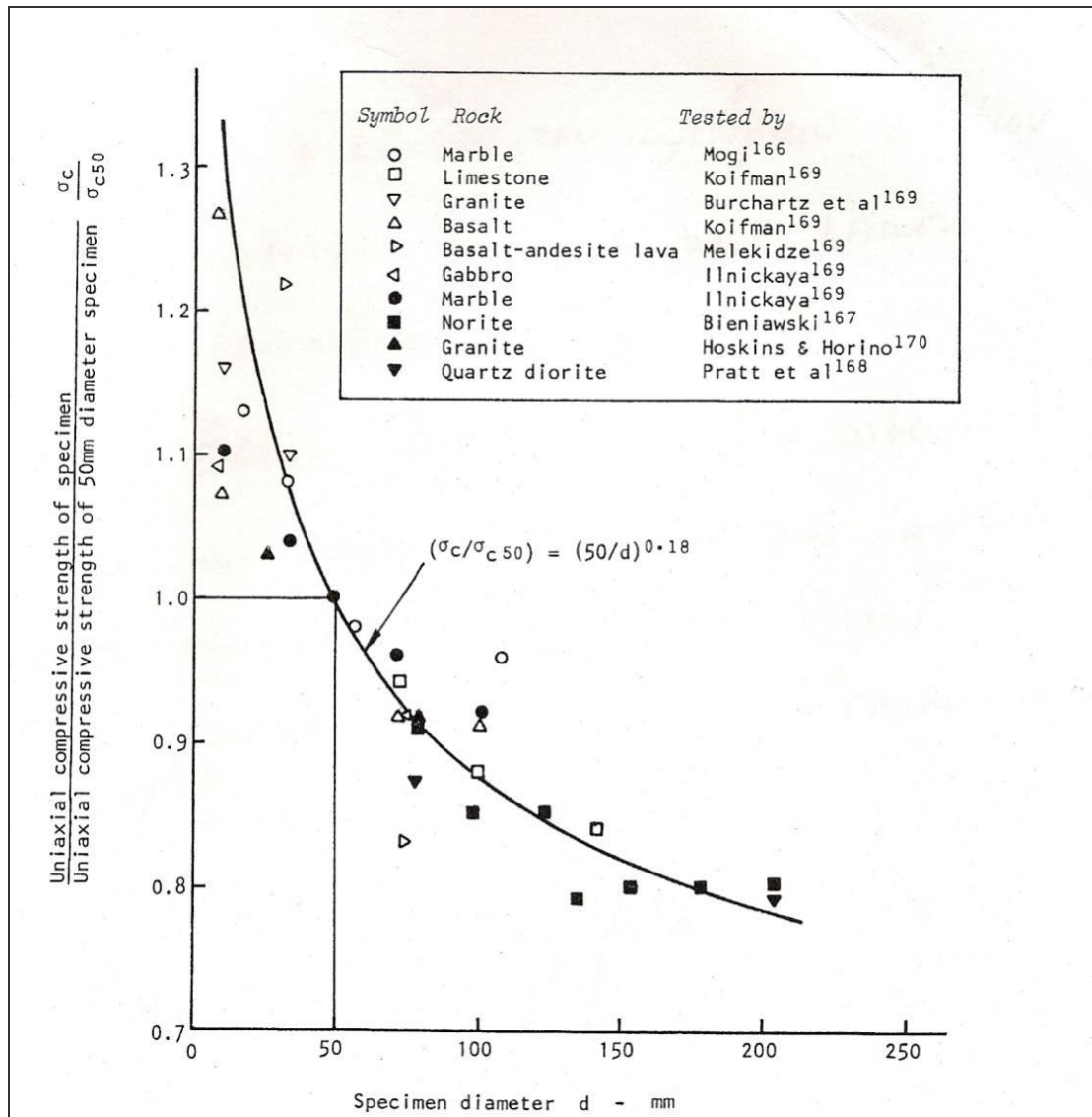
Οι Hoek & Brown (1980) προτείνουν την παρακάτω σχέση που σχετίζει την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (σ_{cd}) ενός δοκιμίου d με την αντίστοιχη αντοχή δοκιμίου διαμέτρου 50mm (σ_{c50}).

Η σχέση είναι η εξής:

$$\sigma_{cd} = \sigma_{c50} \left(\frac{50}{d} \right)^{0.18}$$

όπου:

d σε mm



Σχήμα 8.13. Επιρροή του μεγέθους του δοκιμίου στην αντοχή σε μονοαξονική θλίψη κατά Hoek & Brown.

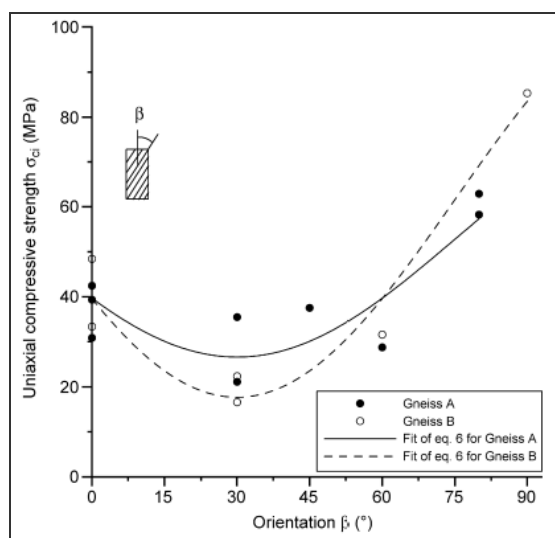
Ανισοτροπία αντοχής

Στα ιζηματογενή και εκρηξιγενή πετρώματα η αντοχή του βραχώδους υλικού είναι πιθανό να παρουσιάζει κάποια ανισοτροπία που οφείλεται κυρίως στην παρουσία των μικροδιακλάσεων που τέμνουν τη μάζα τους. Η τιμή της αντοχής τους προς μια ορισμένη κατεύθυνση εξαρτάται από τον προσανατολισμό των μικροασυνεχειών και τη μεταξύ τους απόσταση. Στα φυλλώδη μεταμορφωμένα πετρώματα η ανισοτροπία της αντοχής τους είναι περισσότερο έντονη και

οφείλεται πρωταρχικά στην ορυκτολογική σύσταση και δομή τους, καθώς και τα πετρώματα αυτά παρουσιάζουν εκλεκτικό προσανατολισμό των κρυστάλλων.

Είναι γνωστό ότι η μηχανική συμπεριφορά της βραχώμαζας, λόγω της παρουσίας μακροασυνεχειών (στρώση, διακλάσεις, ζώνες ρηγμάτωσης) διαφοροποιείται από αυτή του ακέραίου πετρώματος. Στην περίπτωση αυτή εκτός των μηχανικών χαρακτηριστικών του ακέραίου πετρώματος θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και τα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών καθώς και η μηχανική τους συμπεριφορά. Στην περίπτωση όμως που οι ασυνέχειες είναι μικρής κλίμακας (μικροασυνέχειες) και περιέχονται στο ακέραιο πέτρωμα, όπως είναι η σχιστότητα και η φύλλωση, τότε η ανισοτροπία αντοχής του ακέραίου πετρώματος μπορεί να προσδιορισθεί άμεσα με τις κλασσικές εργαστηριακές δοκιμές (δοκιμή μονοαξονικής θλίψης, δοκιμή σημειακής φόρτισης). Η συμπεριφορά της βραχώμαζας τέτοιων πετρωμάτων εξαρτάται όχι μόνο βέβαια από την παρουσία των μικροασυνεχειών αλλά και από την πιθανή παρουσία μακροασυνεχειών που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Όπως έχει παρατηρηθεί εργαστηριακά, η αντοχή του ακέραίου πετρώματος που παρουσιάζει κάποια φύλλωση ή σχιστότητα κυμαίνεται ανάλογα με τη γωνία που σχηματίζει η φύλλωση με τη μέγιστη εφαρμοζόμενη τάση (σ_1).



Σχήμα 8.14. Ανισοτροπία αντοχής σε μονοαξονική θλίψη για το γνεύσιο στον Ελληνικό χώρο.

8.5.2 Ελαστική συμπεριφορά & ελαστικές σταθερές

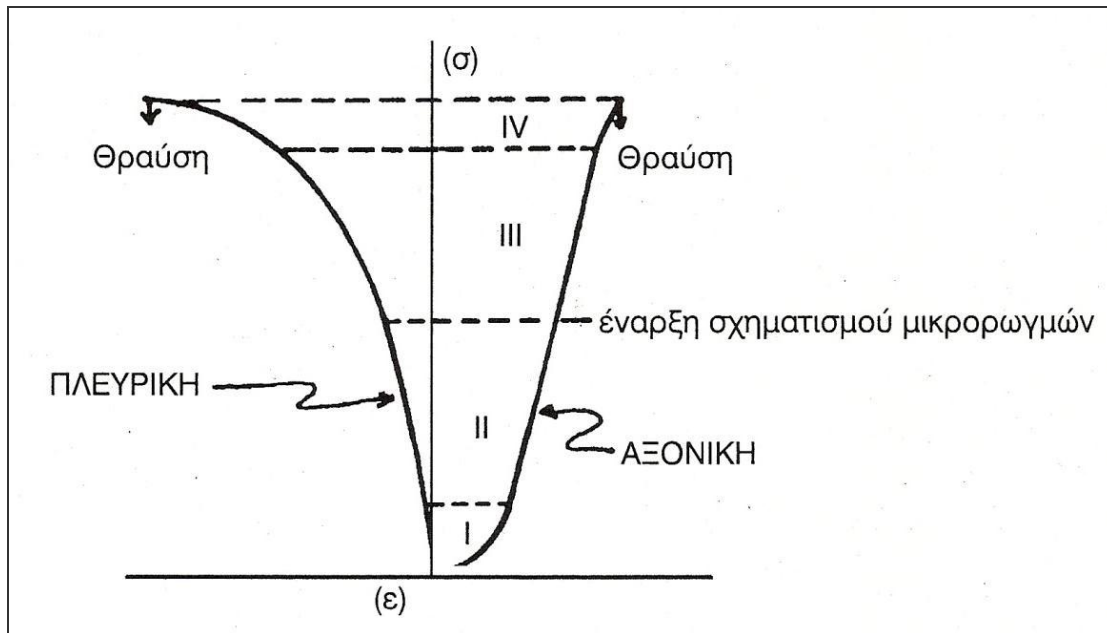
Για να περιγραφεί η ελαστική συμπεριφορά ενός στερεού υλικού είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός των ελαστικών σταθερών του. Από αυτές στα πετρώματα ενδιαφέρουν περισσότερο το E και το ν .

Το μέτρο ελαστικότητας (E) ορίζεται από το νόμο του Hooke σαν ο λόγος της εξασκούμενης αξονικής τάσης προς την αξονική παραμόρφωση και αντιπροσωπεύει τη δυσκαμψία του υλικού. Όσο μεγαλύτερη τιμή έχει το E τόσο το βραχώδες υλικό είναι περισσότερο δύσκαμπτο.

Ο λόγος Poisson (ν), ορίζεται σαν ο λόγος της πλευρικής προς την αξονική παραμόρφωση του υλικού και είναι καθαρός αριθμός: $\nu = - \left| \frac{\varepsilon_{\pi\lambda}}{\varepsilon_{\alpha\xi}} \right|$. Για γραμμικά ελαστικά υλικά το ν παίρνει τιμές από 0 μέχρι 0.5 .

Η πιο απλή μέθοδος για τη μελέτη των χαρακτηριστικών παραμόρφωσης ενός πετρώματος, είναι η δοκιμή μονοαξονικής θλίψης ενός κυλινδρικού δοκιμίου που το μήκος του είναι δύο μέχρι τρεις φορές τη διάμετρο του. Για κάθε εφαρμοζόμενη τάση στο δοκίμιο, μετριέται η αξονική και η πλευρική παραμόρφωσή του κυρίως με ειδικούς μετρητές παραμορφώσεων (strain gauges) που είναι κολλημένοι στην επιφάνεια του δοκιμίου σε οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση, οπότε και καταγράφεται το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων (αξονικών και πλευρικών). Εναλλακτική και σχετικά ευκολότερη μεθοδολογία μέτρησης των παραμορφώσεων αποτελεί η τοποθέτηση στο δοκίμιο ειδικού δακτυλίου που φέρει ηλεκτρονικά μηκυνσιόμετρα.

Οι τυπικές καμπύλες τάσεων-παραμορφώσεων ενός ψαθυρού πετρώματος όπως προσδιορίζονται από εργαστηριακή δοκιμή μονοαξονικής θλίψης σε συνηθισμένη συσκευή φόρτισης γενικά διαιρούνται σε τέσσερις επί μέρους περιοχές:



Σχήμα 8.15. Τυπικές καμπύλες τάσεων – παραμορφώσεων για βραχώδες υλικό.

Περιοχή I: Η καμπύλη τάσεων-αξονικών παραμορφώσεων είναι κοίλη προς τα άνω και η κλίση της προοδευτικά αυξάνεται, ενώ η καμπύλη τάσεων-πλευρικών παραμορφώσεων είναι κοίλη προς τα κάτω. Στην περιοχή αυτή η συμπεριφορά του πετρώματος δεν είναι ελαστική και οφείλεται στο μερικό κλείσιμο των μικρορωγμών και των πόρων του πετρώματος με την αύξηση της ορθής τάσης. Όσο η εφαρμοζόμενη ορθή τάση αυξάνεται τόσο το μέτρο ελαστικότητας (E) αυξάνεται και ο ρυθμός της αύξησής του εξαρτάται από το είδος του πετρώματος και το πορώδες του.

Περιοχή II: Οι καμπύλες τάσεων-παραμορφώσεων είναι σχεδόν γραμμικές και τα E και ν έχουν σταθερές τιμές. Η περιοχή αυτή τερματίζει όταν η ορθή τάση αποκτήσει μια χαρακτηριστική για το συγκεκριμένο πέτρωμα τιμή, μετά την οποία κάθε αύξηση της έχει σαν αποτέλεσμα τον σχηματισμό νέων μικρορωγμών ή την επέκταση άλλων που προϋπήρχαν στο πέτρωμα. Το σημείο τερματισμού της περιοχής αυτής αντιπροσωπεύει το 35% περίπου της τελικής αντοχής του πετρώματος

Στις περιοχές I και II παρατηρείται συνήθως υστέρηση χωρίς να προκαλούνται μόνιμες αλλαγές στον ιστό και στις ιδιότητες του πετρώματος. Η υστέρηση

αποδίδεται στην ολίσθηση λόγω τριβής των παρειών των μικρορωγμών που έκλεισαν.

Περιοχή III: Η πλευρική παραμόρφωση αυξάνεται σε σχέση με την αξονική οπότε αυξάνεται ο λόγος του Poisson. Μικρορωγμές αρχίζουν να σχηματίζονται κυρίως στο κεντρικό τμήμα του δοκιμίου με διεύθυνση παράλληλη στη φόρτιση. Επίσης παρατηρείται έναρξη της αύξησης του όγκου του δοκιμίου που είναι αποτέλεσμα κυρίως της δημιουργίας των μικρορωγμών.

Περιοχή IV: Οι μικρορωγμές πολλαπλασιάζονται ανεξέλεγκτα και συνωστίζονται σε ένα σύστημα μικρορωγμών, οπότε τελικά σχηματίζουν μια μακροσκοπική επιφάνεια θραύσης. Η πλευρική παραμόρφωση αυξάνεται γρήγορα και ο λόγος Poisson πλησιάζει μεγάλες τιμές που στην περιοχή της θραύσης πιθανόν να είναι μεγαλύτερες από 0,5. η περιοχή αυτή συνήθως αρχίζει όταν η εφαρμοζόμενη τάση υπερβεί τα $2/3$ της αντοχής και εδώ προκαλούνται μόνιμες αλλαγές στον ιστό του πετρώματος. Το σημείο που αρχίζει η περιοχή αυτή ονομάζεται σημείο διαρροής και η αντίστοιχη τάση, τάση διαρροής. Η περιοχή αυτή αντιστοιχεί σε όλκιμη κατάσταση του πετρώματος που σημαίνει ότι αυτό μπορεί να δέχεται μεγάλες παραμορφώσεις με μικρή αύξηση της ορθής τάσης. Η μέγιστη τιμή της καμπύλης αντιστοιχεί στην αντοχή του πετρώματος σε ανεμπόδιστη θλίψη και στις συνηθισμένες συσκευές φόρτισης, η θραύση γίνεται συνήθως έντονα και απότομα στο σημείο αυτό.

Με τη χρήση μιας άκαμπτης, υδραυλικά ελεγχόμενης συσκευής φόρτισης, παρατηρείται ότι η εξέλιξη της θραύσης είναι συνεχής μέσα σε μια περιοχή που αρχίζει μετά το σημείο που αντιστοιχεί συνεχώς (**Περιοχή V**). Η περιοχή αυτή αντιστοιχεί στην ψαθυρή κατάσταση του πετρώματος, που σημαίνει ότι η δυνατότητά του να αντέχει σε φόρτιση ελαττώνεται συνεχώς όσο αυξάνεται η παραμόρφωσή του. Η μέγιστη κλίση της καμπύλης που αντιστοιχεί στην περιοχή αυτή ονομάζεται ψαθυρότητα (brittleness).

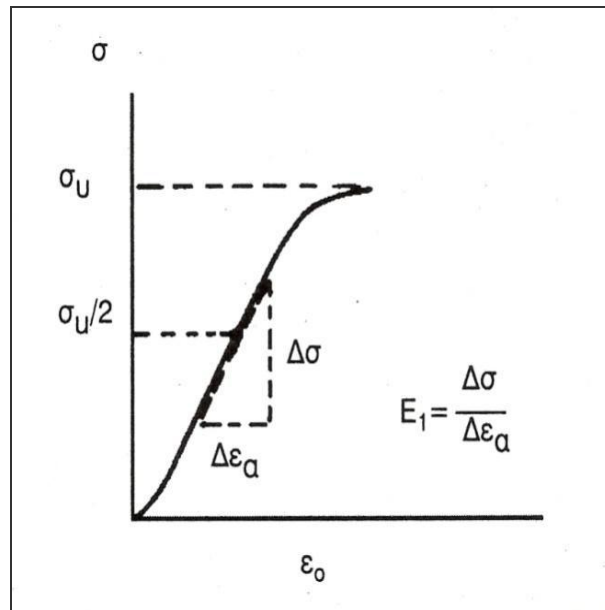
8.5.3 Μέτρο ελαστικότητας Young

Για να ένα γραμμικά ελαστικό υλικό η σχέση τάσεων - αξονικών παραμορφώσεων θα πρέπει να είναι όπως προαναφέρθηκε γραμμική, με σταθερή κλίση που αντιστοιχεί στο μέτρο ελαστικότητας E . Στο αέριο πέτρωμα η κλίση της καμπύλης ποικίλει ανάλογα με το είδος του πετρώματος, το είδος της εφαρμοζόμενης τάσης και επί πλέον με το ρυθμό φόρτισης

Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο η κλίση της να αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο σημείο ή σε μια καθορισμένη περιοχή ώστε να είναι αντίστοιχα καθορισμένο το μέτρο ελαστικότητας E . Επειδή το E είναι συνάρτηση της τάσης ή της παραμόρφωσης, για το λόγο αυτό είναι απαραίτητοι μερικοί ορισμοί για τον ακριβή προσδιορισμό του.

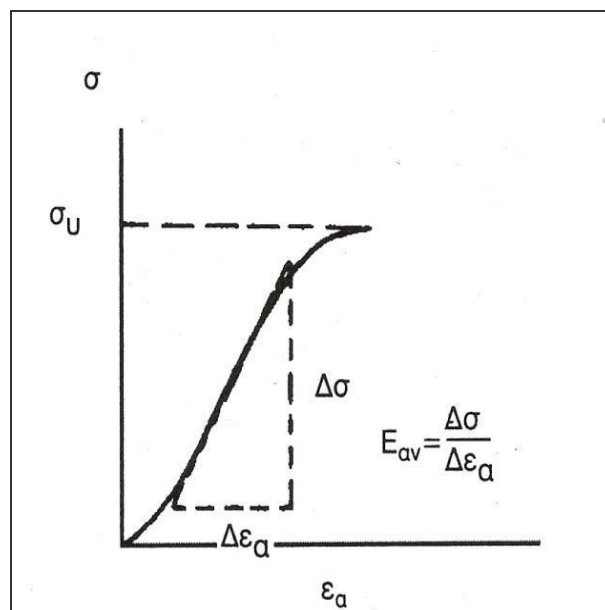
Οι περισσότεροι εύχρηστοι ορισμοί είναι αυτοί που προτείνει η Διεθνής Ένωση Βραχομηχανικής:

1. Εφαπτομενικό μέτρο Ελαστικότητας (Tangent Young's modulus, E_t) το οποίο μετριέται σαν κλίση της εφαπτομένης της καμπύλης τάσεων-παραμορφώσεων, που αντιστοιχεί σε μια δεδομένη τάση. Τέτοια τάση λαμβάνεται το 50% της αντοχής του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη.



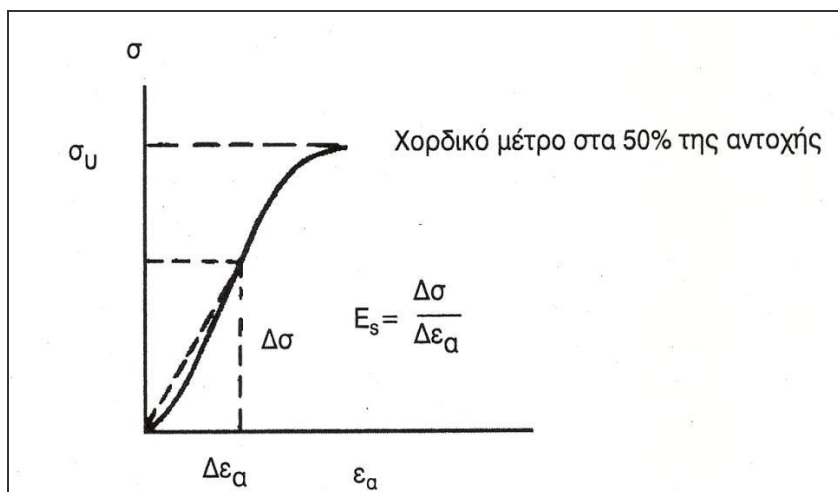
Σχήμα 8.16. Εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας (E_t).

2. Μέσο μέτρο Ελαστικότητας (Average Young's modulus E_{av}). Υπολογίζεται από τη μέση κλίση του γραμμικού (ελαστικού) τμήματος της καμπύλης τάσεων-αξονικών παραμορφώσεων.



Σχήμα 8.17. Μέσο μέτρο ελαστικότητας (E_{av}).

3. Τέμνον μέτρο Ελαστικότητας (Secant Young's modulus E_s) που μετριέται σαν η κλίση της ευθείας που διέρχεται από την αρχή των αξόνων και του σημείου της καμπύλης που αντιστοιχεί στο 50% της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη.



Σχήμα 8.18. Τέμνον (χονδρικό) μέτρο ελαστικότητας (E_s).

Πολλοί ερευνητές προτείνουν ότι η καμπύλη που προκύπτει από ένα κύκλο φόρτισης-αποφόρτισης του δοκιμίου, σε κάποιο σημείο της καμπύλης τάσεων-παραμορφώσεων κατά την εκτέλεση μιας μονοαξονικής δοκιμής, δίνει την καλύτερη εκτίμηση του E . Έτσι γίνεται διάκριση του E που μετριέται άμεσα από την καμπύλη τάσεων-αξονικών παραμορφώσεων και ορίζεται σε μέτρο παραμόρφωσης και του E που μετριέται στην καμπύλη ενός κύκλου φόρτισης-αποφόρτισης και ορίζεται σε μέτρο ελαστικότητας. Η αντικατάσταση του μέτρου ελαστικότητας από το μέτρο παραμόρφωσης κρίνεται αναγκαία, αν και δεν έχει γίνει γενικά αποδεκτή, γιατί η καμπύλη τάσεων αξονικών παραμορφώσεων περιλαμβάνει και τις ελαστικές και τις πλαστικές παραμορφώσεις.

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την παραμορφωσιμότητα του βραχώδους υλικού είναι οι παρακάτω:

1. Πλευρική Πίεση

Γενικά αυξανόμενης της πλευρικής πίεσης που εξασκείται, αυξάνεται η αντοχή του πετρώματος και η συμπεριφορά του γίνεται πιο όλκιμη. Μετά από μια ορισμένη για το πέτρωμα τιμή πλευρικής πίεσης, γίνεται μετάβαση από ψαθυρή σε όλκιμη συμπεριφορά.

2. Θερμοκρασία

Η αύξηση της θερμοκρασίας είναι γενικά ένας σημαντικός παράγοντας στην επίτευξη της ολκιμότητας ενός πετρώματος. Σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης ($\sigma_3=0$), δηλαδή μονοαξονική θλίψη, η επίδραση της θερμοκρασίας στην όλκιμη συμπεριφορά των σκληρών εκρηξιγενών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων δεν είναι σημαντική. Στην περίπτωση αυτή για να επιτευχθεί όλκιμη συμπεριφορά απαιτείται και μεγάλη πλευρική πίεση. Γενικά αυξανόμενης της θερμοκρασίας μειώνεται η αντοχή του πετρώματος και η συμπεριφορά του γίνεται πιο όλκιμη.

3. Ταχύτητα Παραμόρφωσης

Γενικά φαίνεται ότι αυξανόμενης της ταχύτητας παραμόρφωσης, αυξάνεται η αντοχή του πετρώματος και η συμπεριφορά του γίνεται πιο ψαθυρή. Είναι γνωστό ότι πολλά στερεά υλικά παραμορφώνονται πολύ αργά με το χρόνο σε σταθερή θερμοκρασία, όταν υποβάλλονται σε σταθερή τάση που μπορεί να είναι ένα μικρό κλάσμα της αντοχής τους. Η επίδραση αυτή του χρόνου στην παραμόρφωση καλείται ερπυσμός. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται σε όλα σχεδόν τα πετρώματα και πολύ περισσότερο στους εβαπορίτες.

4. Νερό Πόρων

Γενικά αυξανόμενου του βαθμού κορεσμού ή της πίεσης πόρων, η αντοχή του πετρώματος μειώνεται και η συμπεριφορά του γίνεται πιο ψαθυρή.

8.5.4 Σκοπός

Η δοκιμή αυτή έχει σκοπό τον προσδιορισμό της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη δοκιμίων πετρωμάτων ορθού κυλινδρικού σχήματος. Κατά τη δοκιμή αυτή εκτός από τη μονοαξονική αντοχή των δοκιμίων προσδιορίζεται από το διάγραμμα τάσεων – ανηγμένων παραμορφώσεων το μέτρο ελαστικότητας E του πετρώματος (Young's Modulus) και ο συντελεστής Poisson ν (Poisson's Ratio).

8.5.5 Εκτέλεση δοκιμής

Χρησιμοποιούνται 5 κυβόλιθοι ασβεστόλιθου που προέρχονται από τα λατομεία Πρεβέζης και προκειμένου να λάβουμε τα δοκίμια χρησιμοποιείται συγκεκριμένος προσανατολισμός ως προς το μητρικό πέτρωμα.

Τα δοκίμια πρέπει να είναι ορθού κυλινδρικού σχήματος με λόγο ύψους προς διάμετρο (L/D) 2,5 – 3,0 και διάμετρο όχι μικρότερη των 54 mm. Οποσδήποτε η διάμετρος του δοκιμίου θα πρέπει να είναι 10πλάσια του μεγέθους του μεγαλύτερου κόκκου των ορυκτών που συμμετέχουν στη δομή του πετρώματος. Τα άκρα του δοκιμίου πρέπει να είναι λεία και επίπεδα με μέγιστη απόκλιση 0,02 mm και να κόπτονται παράλληλα μεταξύ τους ώστε να μην αποκλίνουν από την κάθετο προς άξονα του δοκιμίου περισσότερο από 0,001 rad.

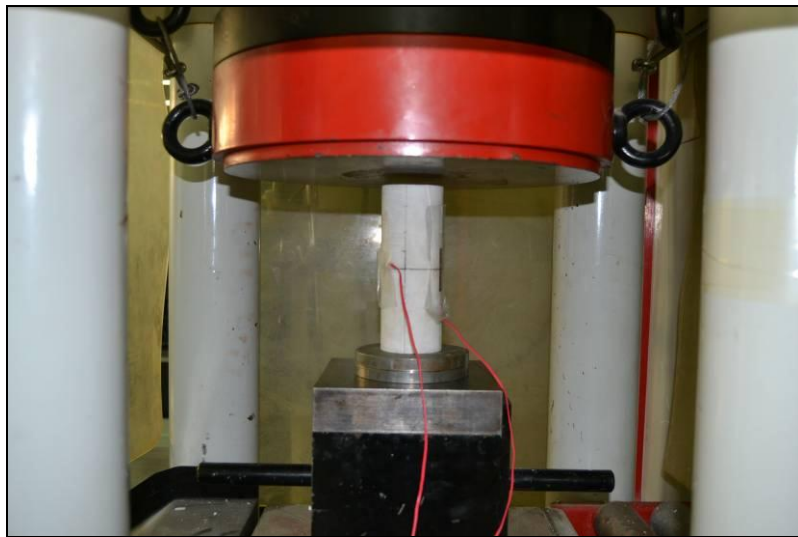
Η διάμετρος του δοκιμίου πρέπει να μετράται με ακρίβεια 0,1 mm με τη λήψη του μέσου όρου δύο μετρήσεων της διαμέτρου σε ορθή γωνία μεταξύ τους στο μέσον του δοκιμίου, καθώς και στο άνω και κάτω άκρο αυτού. Ο μέσος όρος των έξι αυτών μετρήσεων χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της εγκάρσιας διατομής του δοκιμίου. Το ύψος του δοκιμίου μετράται με ακρίβεια 1,0 mm.

Οι συνθήκες υγρασίας του δοκιμίου κατά τη δοκιμή θα πρέπει να αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές επί τόπου συνθήκες. Είναι δυνατόν όμως οι συνθήκες υγρασίας να είναι διαφορετικές ή τα δοκίμια να είναι σε ξηρά κατάσταση, οπότε οι συνθήκες αυτές της δοκιμής θα πρέπει να αναφέρονται στο δελτίο αποτελεσμάτων. Τα δοκίμια που εξετάζονται σε ξηρά κατάσταση πρέπει να τοποθετούνται σε φούρνο θερμοκρασίας $105 \pm 5^\circ \text{C}$ για 24 ώρες.

Το φορτίο πρέπει να εφαρμόζεται συνεχώς και βαθμιαία πάνω στο δοκίμιο με μία σταθερή ταχύτητα φορτίσεως τέτοια ώστε η θραύση του δοκιμίου να επέλθει μέσα σε 3 – 10 min από την αρχή της φορτίσεως. Η ταχύτητα αυτή θα πρέπει να

κυμαίνεται από 0,5 έως 1,0 MPa/sec. Το μέγιστο φορτίο που επιβλήθηκε στο δοκίμιο πρέπει να αναγράφεται σε Newtons (ή kN ή MN) με ακρίβεια 1%.

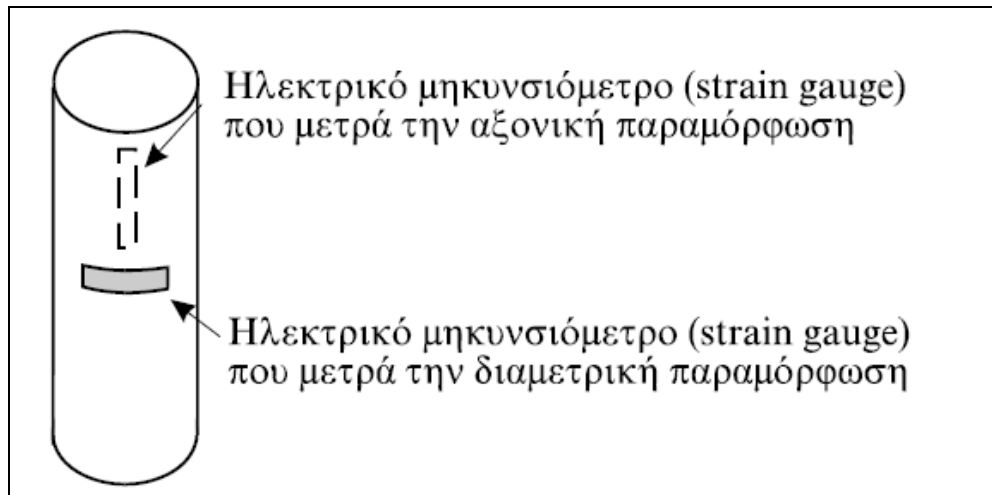
Ο αριθμός των δοκιμών που υποβάλλονται σε θραύση εξαρτάται από τον τύπο του πετρώματος και του διαθέσιμου δείγματος. Συνιστάται πάντως τα δοκίμια να είναι περισσότερα από δύο, για κάθε δείγμα πετρώματος.



Σχήμα 8.19. Δοκίμιο έτοιμο για τη μονοαξονική θλίψη μετά την τοποθέτηση και των strain gauges.

8.5.6 Τοποθέτηση των ηλεκτρικών μετρητών παραμόρφωσης

Η τοποθέτηση των μετρητών παραμόρφωσης (strain gauges), γίνεται με τη χρήση ειδικής κόλλας, σύμφωνα με το σχήμα 8.20. Ο κατακόρυφος μετρητής μετράει την αξονική παραμόρφωση (axial strain) του δοκιμίου και ο οριζόντιος τη διαμετρική παραμόρφωση (lateral strain).



Σχήμα 8.20. Επικόλληση των μετρητών παραμόρφωσης (Σοφιανός 2008).

8.5.7 Υπολογισμοί

Η αντοχή του δοκιμίου σε ανεμπόδιστη θλίψη υπολογίζεται δια διαιρέσεως του μέγιστου φορτίου που επιβλήθηκε στο δοκίμιο με το εμβαδόν της εγκάρσιας διατομής, σύμφωνα με τον τύπο:

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

όπου: σ_c η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη του δοκιμίου σε Pa (ή kPa ή MPa)

P το μέγιστο φορτίο σε N (ή kN ή MN)

A το εμβαδόν της εγκάρσιας διατομής του δοκιμίου σε m²

8.5.8 Πειραματικά αποτελέσματα

Στους πίνακες που ακολουθούν δίνονται όλα εκείνα τα στοιχεία που προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές με την ταυτότητα του δοκιμίου.

Κωδικός Δοκιμίου	Pa_03
Προέλευση	«Μπούφος» Πρέβεζας
Πετρολογική Περιγραφή	Ασβεστόλιθος
Ύψος	h 131,15 mm
Διάμετρος	d 54,02 mm
Λόγος Ύψους/Διάμετρο	h/d 2,43
Μάζα	m 0,799 kg
Πυκνότητα	ρ 2657,3 kg/m ³

Πίνακας 8.11. Στοιχεία δοκιμίου Pa_03 που υποβλήθηκε σε ucs.

Κωδικός Δοκιμίου	Pa_03
Χρόνος Θραύσης	t 7,71 min
Αξονικό Φορτίο Θραύσης	F _c 299 kN
Αξονική Τάση Θραύσης	σ_c 130,9 MPa
Αξονικό Εφαπτομενικό Μέτρο Ελαστικότητας για $\sigma_{50\%}$	E _{t50%} 47,14 GPa
Εφαπτομενικός λόγος του Poisson για $\sigma_{50\%}$	V _{t50%} -0,71

Πίνακας 8.12. Συνοπτικά αποτελέσματα της δοκιμής ucs για το δοκίμιο Pa_03.

Κωδικός Δοκιμίου	Pa_05
Προέλευση	«Μπούφος» Πρέβεζας
Πετρολογική Περιγραφή	Ασβεστόλιθος
Ύψος	h 131,40 mm
Διάμετρος	d 54,00 mm
Λόγος Ύψους/Διάμετρο	h/d 2,43
Μάζα	m 0,802 kg
Πυκνότητα	ρ 2665,4 kg/m ³

Πίνακας 8.13. Στοιχεία δοκιμίου Pa_05 που υποβλήθηκε σε ucs.

Κωδικός Δοκιμίου	Pa_05	
Χρόνος Θραύσης	t	6,25 min
Αξονικό Φορτίο Θραύσης	F_c	239 kN
Αξονική Τάση Θραύσης	σ_c	104,6 MPa
Αξονικό Εφαπτομενικό Μέτρο Ελαστικότητας για $\sigma_{50\%}$	$E_{t50\%}$	48 GPa
Εφαπτομενικός λόγος του Poisson για $\sigma_{50\%}$	$V_{t50\%}$	-0,4

Πίνακας 8.14. Συνοπτικά αποτελέσματα της δοκιμής ucs για το δοκίμιο Pa_05.

Κωδικός Δοκιμίου	Pa_06	
Προέλευση Πετρολογική Περιγραφή	«Μπούφος» Πρέβεζας Ασβεστόλιθος	
Ύψος	h	126,88 mm
Διάμετρος	d	53,96 mm
Λόγος Ύψους/Διάμετρο	h/d	2,35
Μάζα	m	0,773 kg
Πυκνότητα	ρ	2666,0 kg/m ³

Πίνακας 8.15. Στοιχεία δοκιμίου Pa_06 που υποβλήθηκε σε ucs.

Κωδικός Δοκιμίου	Pa_06	
Χρόνος Θραύσης	t	3,67 min
Αξονικό Φορτίο Θραύσης	F_c	142,65 kN
Αξονική Τάση Θραύσης	σ_c	62,24 MPa
Αξονικό Εφαπτομενικό Μέτρο Ελαστικότητας για $\sigma_{50\%}$	$E_{t50\%}$	50 GPa
Εφαπτομενικός λόγος του Poisson για $\sigma_{50\%}$	$V_{t50\%}$	-0,25

Πίνακας 8.16. Συνοπτικά αποτελέσματα της δοκιμής ucs για το δοκίμιο Pa_06.

Από τα δεδομένα των πινάκων η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (Uniaxial Compression Strength) του ασβεστολίθου της περιοχής υπολογίστηκε ως η μέση τιμή της αντοχής των δοκιμών τους. Επομένως η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη είναι 83.4 MPa με εύρος τιμών $R=42.36$, τυπική απόκλιση $s=29.95$ και εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας $E=49\text{GPa}$.

Τέλος ο λόγος Poisson είναι $\nu=-0,325$.

8.6 Δοκιμή Shore

8.6.1 Γενικά

Η σκληρότητα δεν αποτελεί θεμελιώδη ιδιότητα των πετρωμάτων όπως η πυκνότητα ή το πορώδες αλλά είναι περισσότερο μια ιδιότητα που περιγράφει εμπειρικά τη συμπεριφορά των υλικών. Έτσι λοιπόν η μέτρηση της σκληρότητας ενός υλικού εξαρτάται κάθε φορά από την τύπο της εφαρμοζόμενης δοκιμής. Αποτελεί ένδειξη του τύπου αλλά και της ορυκτολογικής σύστασης του υλικού-πετρώματος καθώς επίσης και της αντοχής των κόκκων των ορυκτών μεταξύ τους.

Η δοκιμή της σκληρότητας έχει αναπτυχθεί ώστε να μας δίνει μια πρώτη και γρήγορη εικόνα του πετρώματος μας από άποψη αντοχής αλλά και τεχνικών χαρακτηριστικών. Ακόμη μπορούμε με τη δοκιμή σκληρότητας να προσομοιάσουμε ή και να συσχετίσουμε τα εργαστηριακά πειράματα με τις επί τόπου δοκιμές στον τόπο εξόρυξης στην περίπτωσή μας. Γενικά θα μπορούσαμε να βγάλουμε το συμπέρασμα όσο πιο σκληρό είναι ένα πέτρωμα τόσο πιο μεγάλη αντίσταση παρουσιάζει στη διείδυση του από εργαλεία κοπής (συρόμενου τύπου, δίσκου).

Έχουν αναπτυχθεί τρεις διαφορετικοί τύποι δοκιμών προκειμένου να μετρηθεί με αξιοπιστία και ακρίβεια η σκληρότητα των πετρωμάτων αλλά και των αποτελούμενων ορυκτών του.

Έτσι οι τύποι των δοκιμών που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- Οι δοκιμές διείσδυσης στην επιφάνεια δοκιμής (indentation tests).
- Οι δυναμικές δοκιμές ή δοκιμές αναπήδησης (dynamic or rebound tests).
- Οι δοκιμές που χαράσσουν την επιφάνεια του δοκιμίου (scratch tests).

Θα πρέπει να πούμε ότι η κατηγορία που θα αναλύσουμε στο παρόν κεφάλαιο είναι η δεύτερη από τις δοκιμές σκληρομέτρησης που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

8.6.2 Σκοπός

Για την ποσοτικοποίηση της σκληρότητας του πετρώματος μας χρησιμοποιήσαμε το σκληροσκόπιο Shore. Πρόκειται για μια δοκιμή σκληροσκόπησης που είναι ευρέως διαδεδομένη και γενικά αποδεκτή και αξιόπιστη. Η δοκιμή αυτή συγκεκριμένα χρησιμοποιείται για τη σκληρότητα του πετρώματος και των επιμέρους ορυκτών του καθώς και για την πιστοποίηση της ικανότητας ακριβούς σκληρομέτρησης άλλων πειραματικών συσκευών όπως της δοκιμής αναπήδησης με σφυρί Schmidt ή και άλλων εργαστηριακών διατάξεων που μπορεί να εμφανίζουν αποκλίσεις και σφάλματα.

Όσον αφορά τη μέτρηση της σκληρότητας ενός πετρώματος για να είναι πιο αντιπροσωπευτική και να έχει λιγότερα σφάλματα, λόγω ανομοιογένειας του πετρώματος, θα πρέπει οι μετρήσεις να γίνονται σε τυχαίες θέσεις του πετρώματος. Οι θέσεις αυτές θα πρέπει να λαμβάνονται από όλη τη μάζα του πετρώματος και από σημεία με διαφορές στην ορυκτολογική σύσταση. Στη συνέχεια η σκληρότητα είναι το αποτέλεσμα του μέσου όρου όλων αυτών των διαφορετικών μετρήσεων.

Ως εργαστηριακή δοκιμή, η σκληρομέτρηση (Shore), αποτελεί ένα βασικό μέρος και κομμάτι της διαδικασίας αναγνώρισης έμμεσα των παραμέτρων αντοχής ενός υλικού που στην περίπτωση μας είναι ο ασβεστόλιθος. Έτσι έχει διαπιστωθεί από πολλούς μελετητές με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα ότι υπάρχει σχέση μεταξύ σκληρότητας κατά Shore με την αντοχή του πετρώματος σε ανεμπόδιστη θλίψη και αυτό αποτυπώνεται και με απλές εμπειρικές σχέσεις.

8.6.3 Σκληροσκόπιο Shore (συσσκευή)

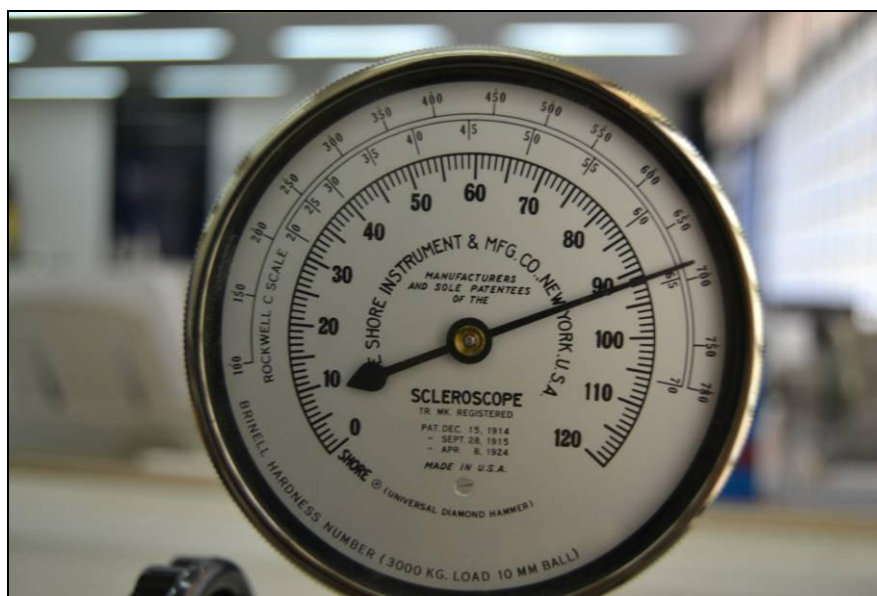
Η πειραματική συσκευή Shore (D model), η οποία χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση της δοκιμής απεικονίζεται στο σχήμα 8.21.



Σχήμα 8.21. Συσκευή shore στο εργαστήριο εξόρυξης πετρωμάτων.

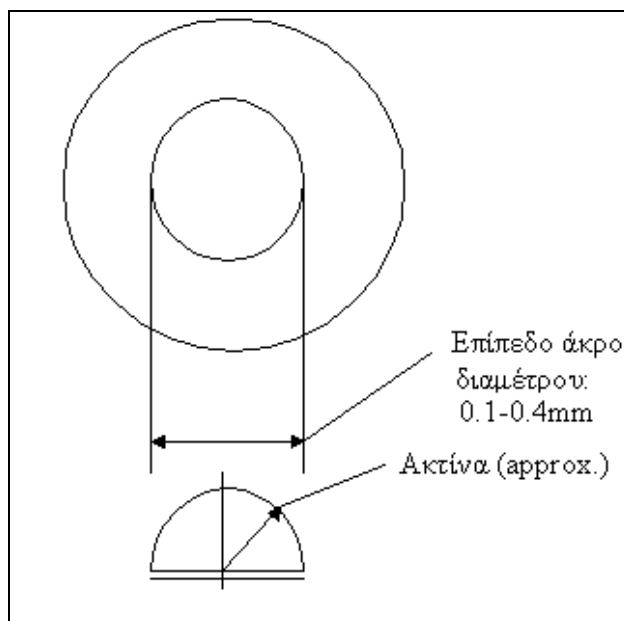
Το σκληροσκόπιο Shore (D model) αποτελείται από έναν κάθετα τοποθετημένο μεταλλικό κύλινδρο ο οποίος περιέχει ένα πολύ μικρού μεγέθους αδαμάντινο σφυρί με στρογγυλεμένη ακμή. Μια βαθμονομημένη κλίμακα από την ένδειξη 0 έως την ένδειξη 120, όπως φαίνεται στο σχήμα 8.22, είναι τοποθετημένη πάνω από το μεταλλικό σωλήνα, έτσι ώστε να είναι ορατή. Με τη βοήθεια ενός

ελατηριωτού κομβίου το δοκίμιο του πετρώματος συσφίγγεται ελαφρά μεταξύ της επίπεδης επιφάνειας δοκιμής της συσκευής και του άκρου του μεταλλικού σωλήνα. Με τη βοήθεια ενός περιστρεφόμενου τροχού ανεβάζουμε χειρωνακτικά το αδαμάντινο σφυρί στην άνω θέση (στιγμιαία) και το αφήνουμε να πέσει και να αναπηδήσει ελεύθερα εντός του μεταλλικού σωλήνα, εξαιτίας της κρούσης στην επιφάνεια του δοκιμίου. Η συσκευή έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να μετράει την αναπήδηση αυτή, δίνοντας την αντίστοιχη ένδειξη στη βαθμονομημένη κλίμακα. Επιπλέον, είναι ευαίσθητη στη χρήση της και παρόλο που είναι πολύ απλή και εξασφαλίζει ταχύτητα στις δοκιμές, απαιτεί ειδικευση στο χειρισμό της.



Σχήμα 8.22. Λεπτομέρεια μετρητικού οργάνου σκληροσκοπίου Shore (D model)

Το αδαμάντινο σφυρί πρέπει να είναι σχηματισμένο έτσι ώστε να παράγει τη σωστή ανάγνωση στις στήλες αναφοράς, οι οποίες έχουν γνωστή σκληρότητα. Σε τομή το αδαμάντινο σφυρί είναι κυρτό και έχει ακτίνα η οποία καταλήγει σε μία επίπεδη κρουστική επιφάνεια, όπως απεικονίζεται στο σχήμα 8.23. Η επίπεδη επιφάνεια κρούσης του σφυριού είναι περίπου κυκλική διαμέτρου 0.1-0.4mm και η γεωμετρία της εξαρτάται από τη σκληρότητα και άλλα φυσικά χαρακτηριστικά του χρησιμοποιούμενου διαμαντιού



Σχήμα 8.23. Τομή του αδαμάντινου άκρου του σκληροσκοπίου Shore

8.6.4 Πειραματική διαδικασία

Προετοιμασία δοκιμών

Οι δοκιμές για να έχουν τα σωστά αποτελέσματα θα πρέπει τα δοκίμια να πληρούν κάποιες προϋποθέσεις. Έτσι λοιπόν είναι απαραίτητο τα δοκίμια μας να έχουν επίπεδες και καλά λειασμένες επιφάνειες χρησιμοποιώντας κατάλληλη λειαντική πούδρα. Μια τραχεία επιφάνεια μπορεί να προκαλέσει σφάλματα στις μετρήσεις κυρίως από την πλευρά της ανάγνωσης μειωμένων τιμών σκληρότητας του υλικού.

Σε ότι αφορά τις διαστάσεις αλλά και η μορφή των δοκιμών δεν υπάρχουν κάποιοι ιδιαίτεροι περιορισμοί. Έτσι λοιπόν μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε κυλινδρικά είτε κυβικά δοκίμια με οποιοδήποτε ύψος που μπορεί να κυμαίνεται. Βέβαια κλείνοντας θα πρέπει να πούμε ότι στα δοκίμια απαιτείται και ελάχιστο εμβαδόν επιφάνειας 10cm^2 και ελάχιστο πάχος 1cm .

8.6.5 Εκτέλεση δοκιμής

Τα δοκίμια που είναι μικρού σχετικά μεγέθους θα πρέπει να συγκρατούνται με ασφάλεια στην επίπεδη επιφάνεια και να τοποθετούνται κάθετα στον άξονα της συσκευής μας.

Για να αποφύγουμε σφάλματα που μπορεί να προέρχονται από κακή ευθυγράμμιση της συσκευής είναι σωστό να γίνεται έλεγχος της καθετότητας. Επίσης θα πρέπει να αποφεύγονται οι πλευρικές δονήσεις στη συσκευή γιατί εμποδίζουν την απρόσκοπη πτώση του σφυριού και προκαλούν την ανάγνωση χαμηλών τιμών σκληρότητας.

Για να διαπιστώσουμε τη σωστή λειτουργία του σκληρομέτρου μας είναι απαραίτητο να πραγματοποιήσουμε πέντε (5) μετρήσεις της σκληρότητας ενός γνωστού δοκιμίου (γνωστής σκληρότητας) που μας το παρέχει ο κατασκευαστής. Εφόσον κάνουμε τις μετρήσεις και οι τιμές είναι μειούμενες εντός του εύρους της σκληρότητας του δοκιμίου τότε η συσκευή λειτουργεί κανονικά.

Είναι απαραίτητο να διενεργούνται τουλάχιστον είκοσι (20) δοκιμές για κάθε δοκίμιο που χρησιμοποιούμε σε θέσεις βέβαια που να απέχουν μια μικρή απόσταση μεταξύ τους και ποτέ να μην γίνεται παραπάνω από μια δοκιμή στο ίδιο σημείο (ίχνος της προηγούμενης).

Για την εκτέλεση μιας δοκιμής η συσκευή πρέπει να τοποθετείται σε κάθετη θέση σε σχέση με τον κύλινδρο του οποίου η άκρη πρέπει να εφαρμόζει ακριβώς στην επιφάνεια του δοκιμίου επίσης σε κάθετη θέση. Η πρώτη αναπήδηση στο δοκίμιο μας δείχνει και την σκληρότητα του.

Η γενική αρχή του σκληρομέτρου Shore είναι η μέτρηση της αναπήδησης μιας πολύ μικρού μεγέθους αδαμάντινης σφύρας. Αρχικά είχε χρησιμοποιηθεί για τη σκληρότητα μετάλλων στη συνέχεια βέβαια επεκτάθηκε και στα πετρώματα που

μελετούμε. Φαίνεται μια απλή διαδικασία αλλά απαιτεί λεπτούς χειρισμούς και ειδίκευση λόγω της μεγάλης της ευαισθησίας.

Η χρήση του σκληρομέτρου ωστόσο έχει και κάποιους περιορισμούς στην ευρεία εφαρμογή του και αυτοί αναφέρονται σε σχέση με την κοκκομετρία του εξεταζόμενου πετρώματος και την ομοιογένεια του. Συγκεκριμένα σε στρωσιγενή και σε χονδρόκοκκα υλικά οι τιμές της σκληρότητας Shore (SH) παρουσιάζουν διακυμάνσεις οι οποίες συνήθως μειώνονται.

8.6.6 Πειραματικά αποτελέσματα

α/α	Pa_01				Pa_02				Pa_03				Pa_04				Pa_05			
	ΓΕ-1	ΓΕ-2	ΓΕ-3	ΓΕ-4	ΓΕ-1	ΓΕ-2	ΓΕ-3	ΓΕ-4	ΓΕ-1	ΓΕ-2	ΓΕ-3	ΓΕ-4	ΓΕ-1	ΓΕ-2	ΓΕ-3	ΓΕ-4	ΓΕ-1	ΓΕ-2	ΓΕ-3	ΓΕ-4
H1	51	50	53	51	51	52	54	51	46	52	46	48	52	51	55	49	53	55	49	49
H20	63	69	56	55	58	63	60	57	54	53	49	49	58	53	63	54	58	56	50	50
1	50	48	50	42	46	45	43	45	42	41	41	41	40	40	41	41	42	48	50	46
2	51	52	51	49	45	49	50	51	45	41	41	44	46	49	45	49	50	55	51	49
3	45	55	52	44	55	42	53	54	42	48	42	51	47	54	54	44	50	50	51	50
4	54	49	47	45	51	42	52	45	51	41	50	49	51	48	52	54	51	48	47	54
5	51	49	48	50	47	45	48	44	44	47	45	40	46	49	49	48	50	46	50	45
K	0,190	0,275	0,054	0,073	0,121	0,175	0,100	0,105	0,148	0,019	0,061	0,020	0,103	0,038	0,127	0,093	0,086	0,018	0,020	0,020

Πίνακας 8.17. Συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν από τη δοκιμή σκληρομέτρησης.

Όπου H₁ και H₂₀, η πρώτη και η τελευταία αντίστοιχα μέτρηση της σκληρότητας των 20 δοκιμών, που εκτελέστηκαν στο ίδιο σημείο του εκάστοτε δοκιμίου μας και K (%) ο συντελεστής πλαστικότητας Shore (%).

Ασβεστόλιθος	Pa_01	Pa_02	Pa_03	Pa_04	Pa_05
K (μέσος όρος)	0,148	0,125	0,062	0,09	0,036
K (μέσος όρος %)	14,8	12,5	6,2	9	3,6

Πίνακας 8.18. Συντελεστές πλαστικότητας των δοκιμών.

Με βάση τις μετρήσεις που πραγματοποιήσαμε με το σκληροσκόπιο Shore βρήκαμε ότι ο συντελεστής πλαστικότητας του ασβεστολίθου Πρεβέζης είναι περίπου $K (\%) = 9.22$.

Όσο αναφορά τη σκληρότητα των δοκιμών μας έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

$$1^{\circ} \text{ δοκίμιο : } (50.2+50.6+49.6+46)/4 = 49.1$$

$$2^{\circ} \text{ δοκίμιο : } (48,8+44,6+49,2+47,8)/4 = 47.6$$

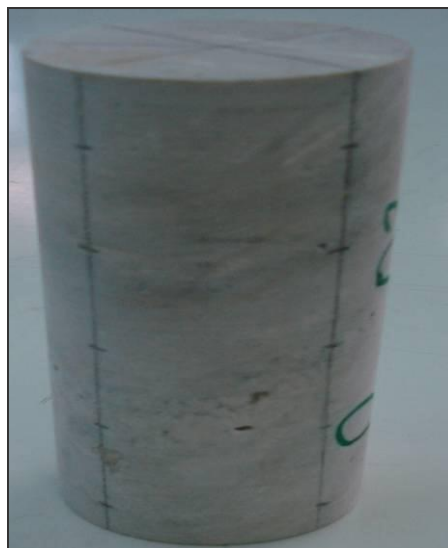
$$3^{\circ} \text{ δοκίμιο : } (44.8+43.6+43.8+45)/4 = 44.3$$

$$4^{\circ} \text{ δοκίμιο : } (46+48+48.2+47.2)/4 = 47.35$$

$$5^{\circ} \text{ δοκίμιο : } (48.6+49.4+49.8+48.8)/4 = 49.15$$

Τελικά συμπεραίνουμε ύστερα από υπολογισμούς ότι η μέση σκληρότητα του πετρώματος της περιοχής Πρεβέζης είναι περίπου 47,5.

Τέλος θα πρέπει να επισημάνουμε ότι όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις τέσσερις γενέτειρες του κάθε πετρώματος για να είναι έτσι πιο αντιπροσωπευτικές οι τιμές. Οι γενέτειρες θα πρέπει να πούμε ότι ανά δύο είναι αντιδιαμετρικές.



Σχήμα 8.24. Ενδεικτικό δοκίμιο που υποβλήθηκε σε σκληρομέτρηση όπου απεικονίζονται οι γενέτειρές του.

					Specimen						Test results									
No.	Year	Student	Code	Description	Diameter	Length	L/D	Mass	Density	Specific cutting energy	UCS	Static Young's modulus	Brazilian tensile strength	PUNDIT Vp	PUNDIT Young's modulus	Shore hardness	Shore plasticity index	CERCHAR 55	CERCHAR 40	
					(mm)	(mm)	(—)	(kg)	(kg/m3)	(MJ/m3)	(MPa)	(GPa)	(MPa)	(m/s)	(GPa)	(—)	(%)	(—)	(—)	
Count	12				7	7	7	7	7	4	2	2	2	7	7	5	5	5	5	
Min					53,9	126,88	2,35	0,773	2653,8	21,439	62,2	48,0	7,0	9056,0	112,0	44,3	3,6	1,04	1,74	
95% CI of the mean					0,03	6,90	0,13	0,043	5,2	4,431	41,5	2,0	1,7	258,2	24,8	1,7	4,0	0,2	0,2	
Avg					54,0	138,39	2,56	0,845	2665,7	27,673	83,4	49,0	7,8	9623,1	167,6	47,5	9,2	1,30	2,23	
StDev					0,045	9,31	0,17	0,058	7,0	4,521	30,0	1,4	1,2	348,5	33,5	2,0	4,5	0,24	0,28	
Max					54,04	153,28	2,84	0,936	2675,7	32,224	104,6	50,0	8,7	10000,0	222,0	49,2	14,8	1,55	2,39	
1	2011	Λάζαρος	Pa_01	Ασβεστόλιθος	53,95	153,28	2,84	0,936	2671,3	28,100				9398,000	162	49,1	14,80			
2	2011	Λάζαρος	Pa_02	Ασβεστόλιθος	53,92	140,92	2,61	0,861	2675,7	28,928				9056,000	150	47,6	12,50			
3	2011	Λάζαρος	Pa_03	Ασβεστόλιθος	54,03	131,15	2,43	0,798	2653,8					9853,000	177	44,3	6,20			
4	2011	Λάζαρος	Pa_04	Ασβεστόλιθος	54,01	146,07	2,70	0,893	2668,4	32,224				9551,000	167	47,4	9,00			
5	2011	Λάζαρος	Pa_05	Ασβεστόλιθος	54,00	131,47	2,43	0,802	2663,6		104,6	48,0		9504,000	112	49,2	3,60			
6	2011	Λάζαρος	Pa_06	Ασβεστόλιθος	53,96	126,88	2,35	0,773	2664,1		62,2	50,0		10000,000	222					
7	2011	Λάζαρος	Pa_07	Ασβεστόλιθος	54,04	138,99	2,57	0,849	2663,2	21,439				10000,000	183					
8	2011	Λάζαρος	Pb_01	Ασβεστόλιθος	54,00	27,06	0,50	0,165	2662,4				8,7					1,55	2,39	
9	2011	Λάζαρος	Pb_02	Ασβεστόλιθος	53,96	22,34	0,41	0,136	2662,1				7,0					1,26	2,37	
10	2011	Λάζαρος	Pb_03	Ασβεστόλιθος														1,55	2,32	
11	2011	Λάζαρος	Pb_04	Ασβεστόλιθος														1,04	2,33	
12	2011	Λάζαρος	Pb_05	Ασβεστόλιθος														1,10	1,74	

9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκε η εξόρυξη ασβεστολίθου από την περιοχή της Πρέβεζας με μηχανικά μέσα. Συγκεκριμένα μελετήθηκε ο ασβεστόλιθος από το λατομείο αδρανών υλικών που βρίσκεται στην τοποθεσία Μπούφος. Η εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Εξόρυξης Πετρωμάτων της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π.

Για τον σκοπό της εργασίας, δηλαδή τη διερεύνηση της δυνατότητας μηχανικής εξόρυξης του συγκεκριμένου υλικού δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στον εργαστηριακό προσδιορισμό του δείκτη ειδικής ενέργειας. Επίσης προσδιορίστηκαν τα μηχανικά και φυσικά χαρακτηριστικά του άρρηκτου πετρώματος που είναι διαπιστωμένο ότι σχετίζονται με τη συμπεριφορά του κατά την εξόρυξή του με μηχανικά μέσα. Συγκεκριμένα, εκτελέστηκαν οι εξής δοκιμές:

- Δοκιμή υπερήχων
- Δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης
- Δοκιμή αποξεστικότητας κατά Cerchar
- Δοκιμή μονοαξονικής θλίψης
- Δοκιμή σκληρομέτρησης με το σκληροσκόπιο Shore

Συγκεκριμένα διαπιστώθηκαν τα εξής:

Όσον αφορά στη δοκιμή των υπερήχων, τα αποτελέσματα για την ταχύτητα διάδοσης των διαμήκων κυμάτων αποδεικνύουν ότι οι τιμές της ταχύτητας είναι πολύ μεγάλες και συγκεκριμένα ο μέσος όρος αυτών είναι 9.623 m/sec και το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας $E_{dyn}=167.5$ GPa.

Στη δοκιμή έμμεσου εφελκυσμού (αντιδιαμετρική θλίψη) ο μέσος όρος των μετρήσεων μας ήταν 7,8 MPa ο οποίος είναι περίπου το 1/10 της αντοχής σε θλίψη.

Η δοκιμή της μονοαξονικής θλίψης μας έδωσε αποτελέσματα που ο μέσος όρος τους είναι 83,4 MPa κάτι το οποίο μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο

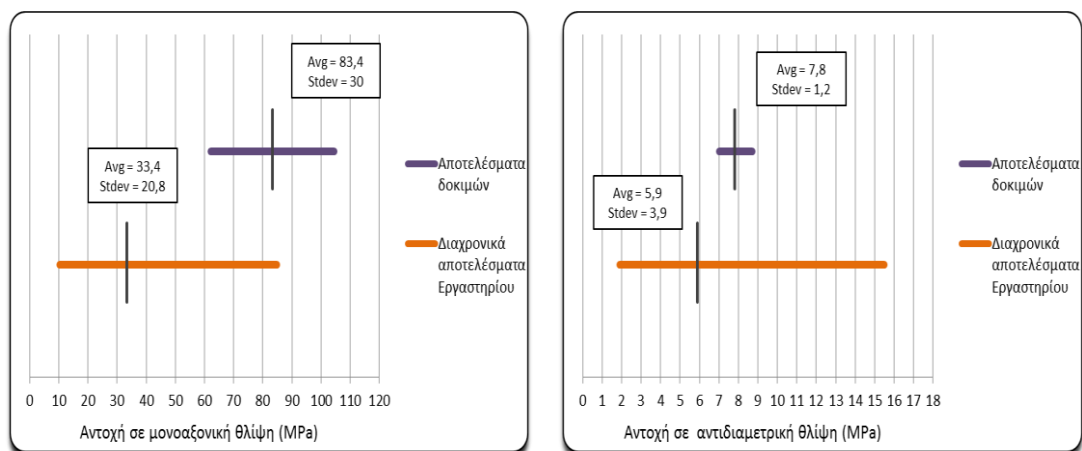
ασβεστόλιθος μας είναι υψηλής αντοχής και υπολογίστηκε το στατικό μέτρο ελαστικότητας $E=49\text{GPa}$ και ο λόγος Poisson $\nu=-0.325$.

Στη δοκιμή αποξεστικότητας κατά Cerchar χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι ακίδων σκληρότητας HRC 55 και 40 όπου αντίστοιχα προέκυψαν τα αποτελέσματα του δείκτη CAI 1,30 και 2,23 που υποδεικνύουν ότι το πέτρωμα μας είναι μετρίως φθοροποιό.

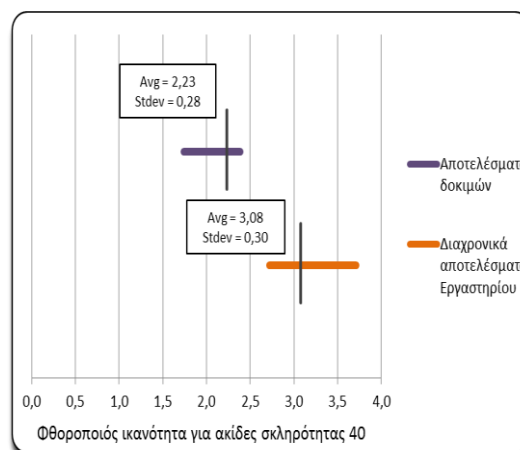
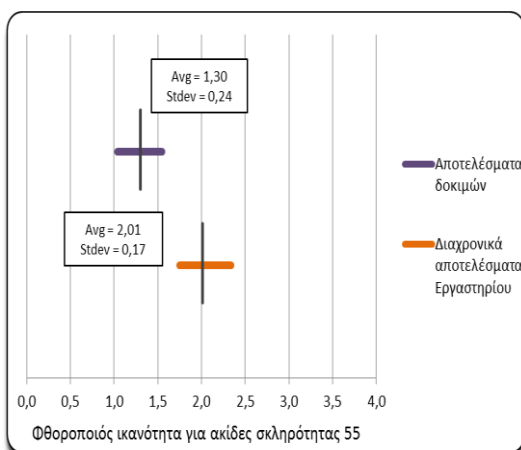
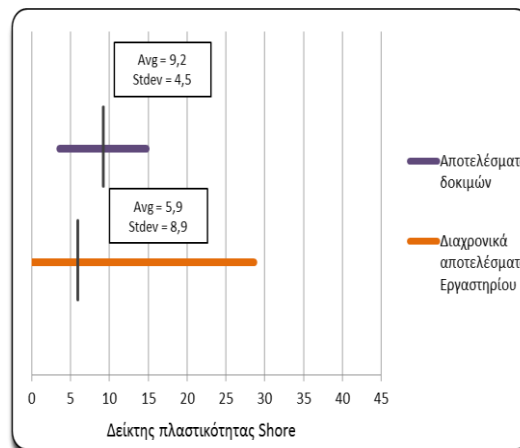
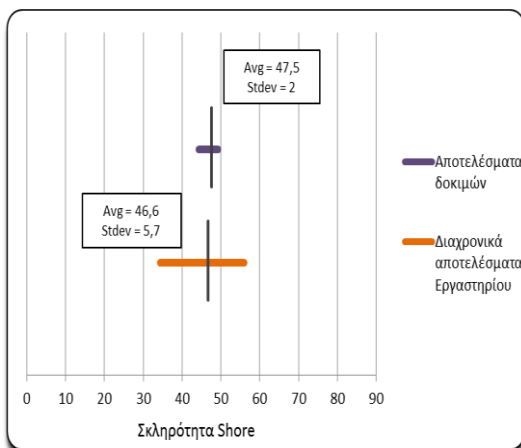
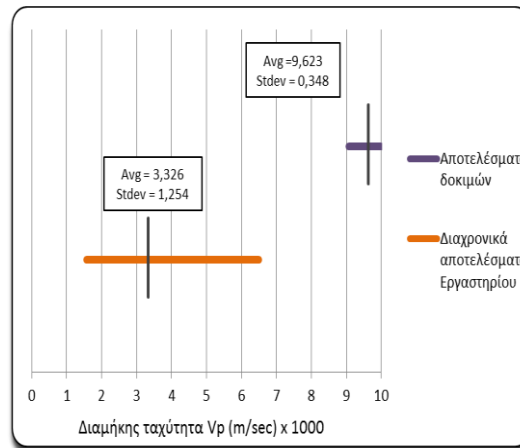
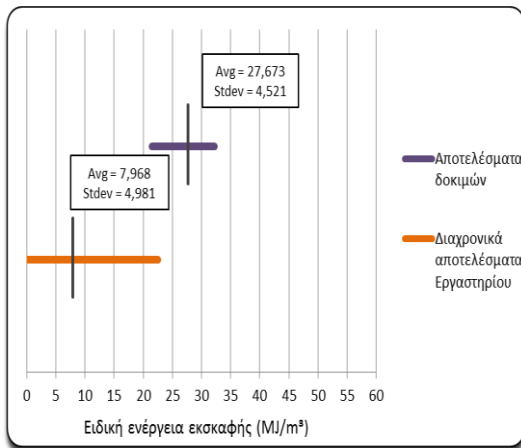
Στη δοκιμή σκληρομέτρησης κατά Shore προσδιορίστηκε μέσος όρος σκληρότητας 47,5 και δείκτης πλαστικότητας 9,2. Άρα το πέτρωμα μας χαρακτηρίζεται ως ψαθυρό.

Τέλος από την εργαστηριακή δοκιμή κοπής προέκυψαν τα διαγράμματα δυνάμεων-μετατόπισης κοπτικού εργαλείου από τα οποία είναι δυνατή η ερμηνεία του μηχανισμού κοπής αλλά και της συμπεριφοράς του πετρώματος (πλαστική-ψαθυρή). Επίσης από τα διαγράμματα υπολογίστηκαν: 1) ο δείκτης ειδικής ενέργειας κοπής που βρέθηκε $27,67 \text{ MJ/m}^3$, 2) Οι δυνάμεις κοπής, 3) Ο συντελεστής κοπής.

Στα σχήματα που ακολουθούν δίνονται συνοπτικά όλα τα αποτελέσματα των δοκιμών για τον ασβεστόλιθο που εξετάστηκε σε σχέση με τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει παλαιότερα στο Εργαστήριο.



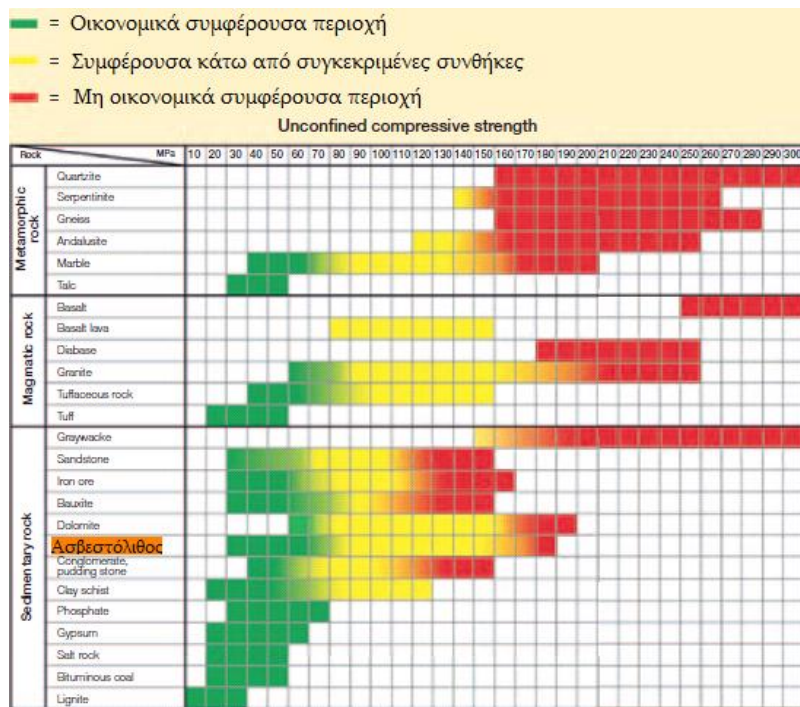
Συμπεράσματα



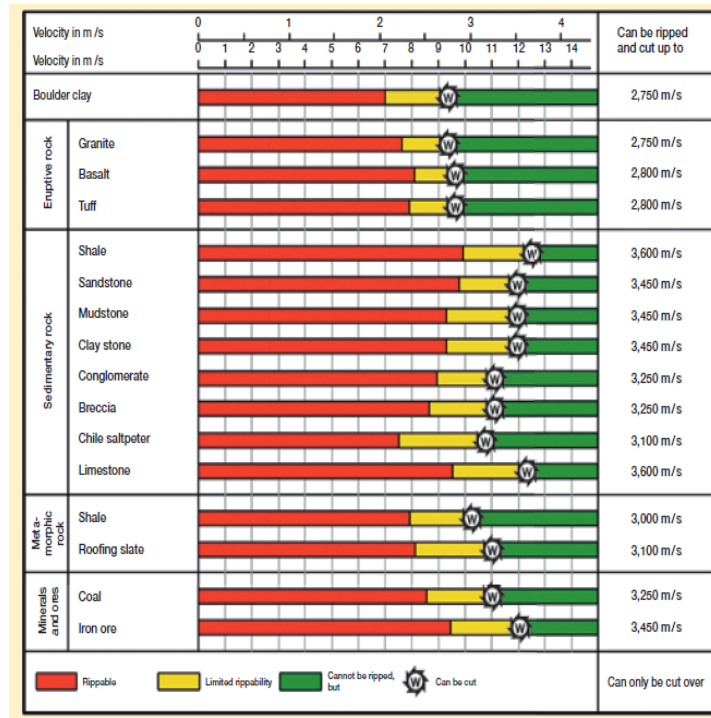
Επισημαίνεται ότι στη διπλωματική εργασία τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι προκαταρκτικά καθώς δεν έχουν ληφθεί υπόψιν στοιχεία που αφορούν στα

χαρακτηριστικά της βραχώμαζας όπως είναι το εντατικό πεδίο της περιοχής λήψης του πετρώματος, οι ασυνέχειες και ο προσανατολισμός τους κ.α.

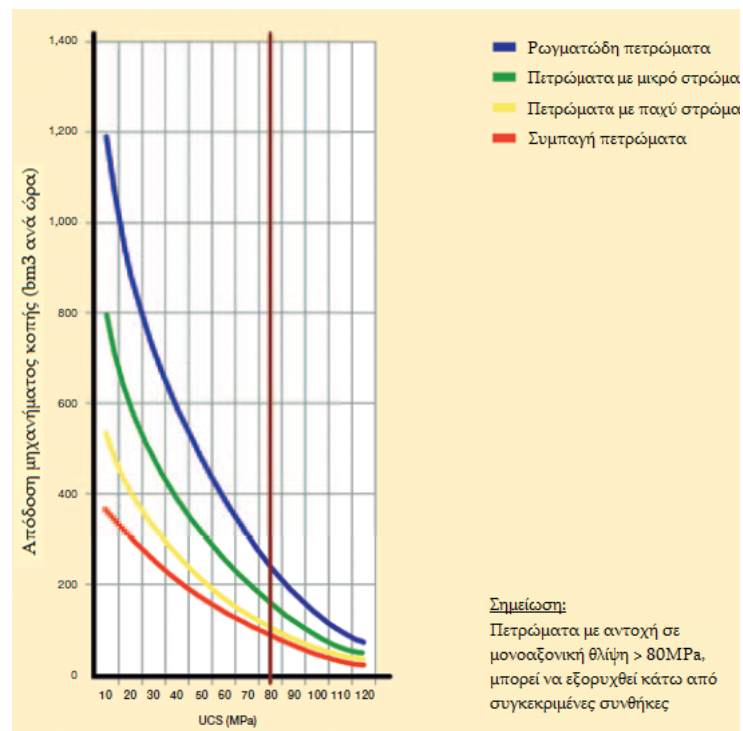
Μετά από προσεκτική μελέτη των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές αλλά και μετά την παρουσίαση στοιχείων για το εξορυκτικό μηχάνημα (Surface Miner) συμπεραίνεται ότι ο ασβεστόλιθος που εξετάστηκε δύναται να εξορυχτεί με τον τύπο 2500 SM. Συγκεκριμένα με βάση την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη στο σχήμα 9.1 και στο σχήμα 9.3 παρατηρείται ότι η εξόρυξη είναι οικονομικά συμφέρουσα και ο ρυθμός εξόρυξης θα κυμαίνεται περίπου στα 100-150 bm^3/h . Κλείνοντας, στο σχήμα 9.2 που παρουσιάζεται η δυνατότητα κοπής ή αναμόχλευσης ανάλογα με την ταχύτητα του σεισμικού κύματος, φαίνεται ότι με βάση την ταχύτητα διάδοσης στο πέτρωμα είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί το συγκεκριμένο μηχανικό μέσο.



Σχήμα 9.1. Συνάρτηση οικονομικότητας και μονοαξονικής θλίψης



Σχήμα 9.2. Σχέση κοπής και ταχύτητας υπερήχων



Σχήμα 9.3. Απόδοση του Surface Miner 2500 SM ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του πετρώματος

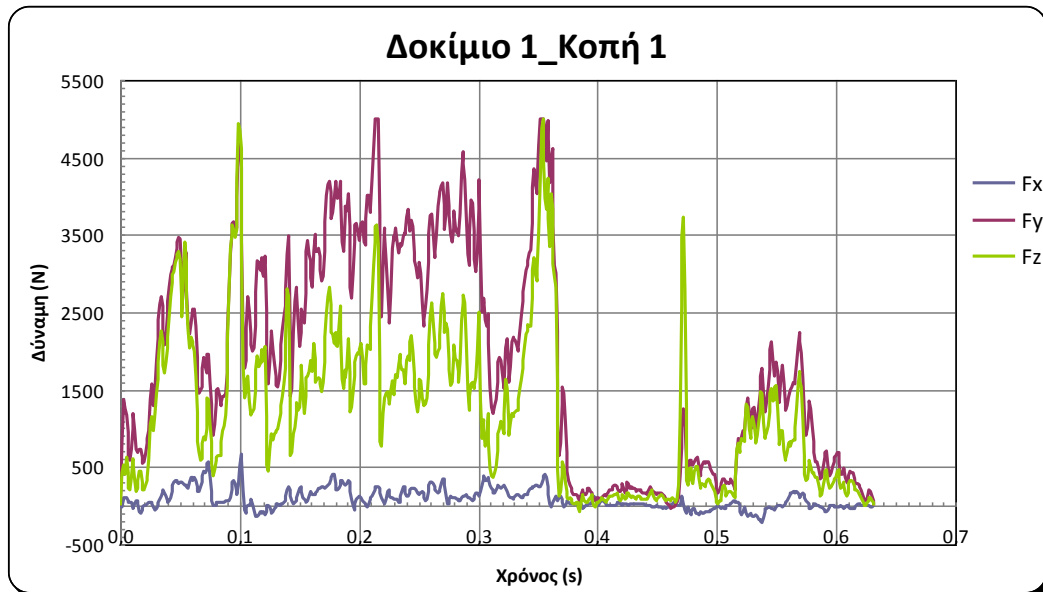
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

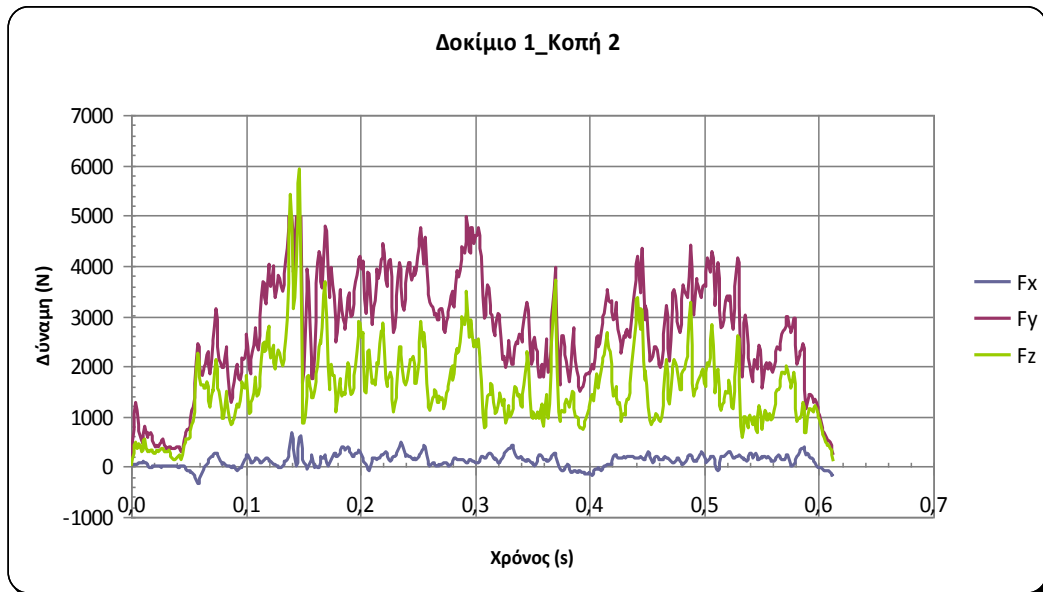
1. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts (1979), Vol.16, No.2, pp.137-140 (UCS)
2. Engineering Geology (1970), Vol.4, No.3, pp.177-285 (UCS)
3. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts (1978), Vol.15, No.3, pp.99-103 (Brazilian)
4. Rock Mechanics and Rock Engineering (1990), Vol.15, No.3, pp.99-103 (Brazilian)
5. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences (2005), Vol.42, No.1, pp.153-160 (Shore)
6. Rock Mechanics and Rock Engineering (2002), Vol.35, No.2, pp.109-113 (Shore)
7. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts (1989), Vol.26, No.2, pp.151-160 (Cerchar)
8. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences (2003), Vol.40, No.2, pp.259-263 (Cerchar)
9. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts (1978), Vol.15, No.2, pp.53-58 (Pundit)
10. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences (2007), Vol.44, No.1, pp.1-13 (ratio Poisson)
11. R. Zorzini Γνωρίζοντας τα ορυκτά (2000)
12. Wirtgen Surface Mining Manual «Application and Planning Guide» (2010)
13. Α. Σοφιανός «Προχωρημένη Μηχανική Πετρωμάτων», Σημειώσεις Πανεπιστημιακών Παραδόσεων ΕΜΠ, Αθήνα (2005)
14. Γ. Κούκης, και Ν. Σαμπατάκης «Τεχνική Γεωλογία», Αθήνα (2002)

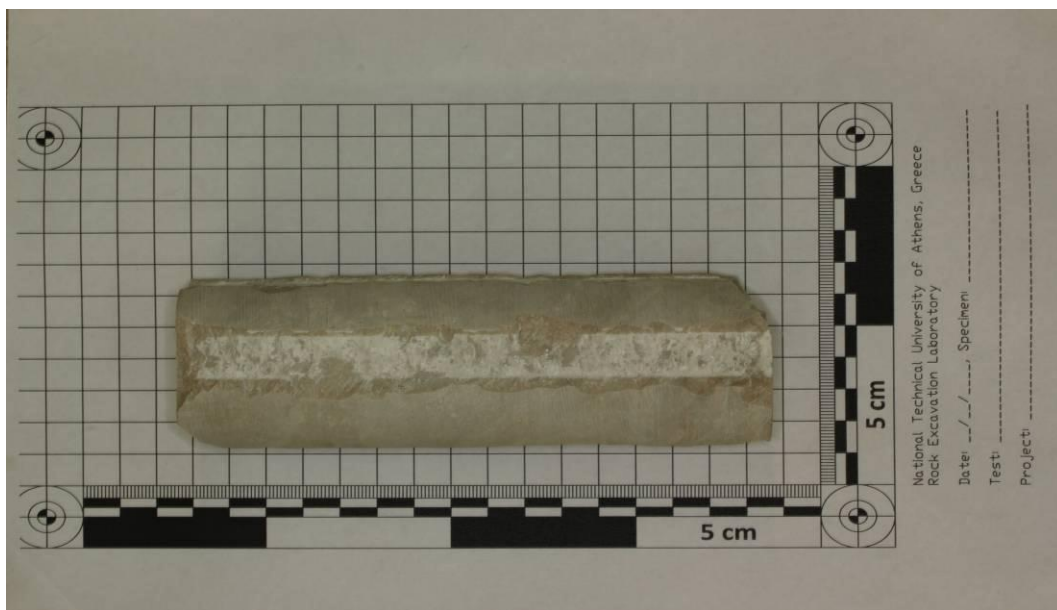
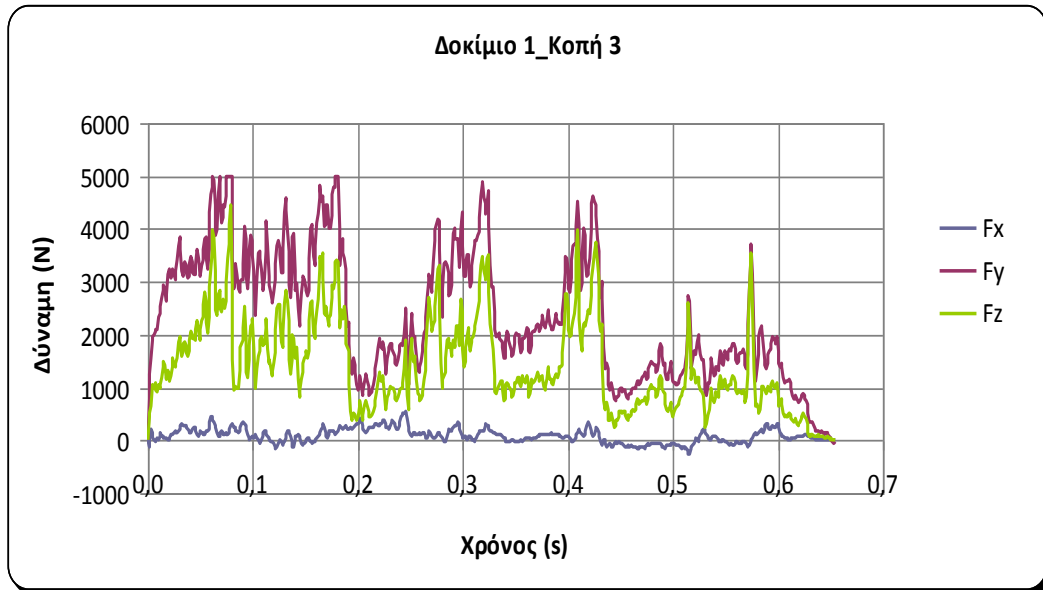
15. Γ. Κούκης και Ν. Σαμπατάκης «Γεωλογία Τεχνικών Έργων», Αθήνα (2007)
16. Γ. Παναγιώτου «Μηχανική Εξόρυξη των Πετρωμάτων» Σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος εξόρυξη πετρωμάτων II, Αθήνα (2003)
17. Γ. Παναγιώτου «Δοκιμή σκληρομέτρησης πετρωμάτων με το σκληροσκόπιο Shore» Εργαστηριακές ασκήσεις μηχανικής εξόρυξης πετρωμάτων, Αθήνα (2002)
18. Γ. Παναγιώτου και Θ. Μιχαλακόπουλος «Συστήματα Φόρτωσης – Μεταφοράς και Μηχανικός Εξοπλισμός Μεταλλείων» Αθήνα (2007)
19. Μ. Μενεγάκη «Σχεδιασμός Υπαίθριων Εκμεταλλεύσεων», Αθήνα (2010)
20. Χ. Τσουτρέλης «Στοιχεία μηχανικής πετρωμάτων», Μέρος I, Βασικά θεωρητικά στοιχεία και πειραματικοί μέθοδοι, Αθήνα (1985)
21. Χ. Τσουτρέλης, Ν. Γκίκας και Π. Νομικός «Εργαστηριακές ασκήσεις Μηχανικής Πετρωμάτων», Αθήνα (2000)
22. Β. Αναγνώστου «Προσδιορισμός του δείκτη ειδικής ενέργειας εκσκαφής», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Αθήνα (2006)
23. Γ. Πασιδής «Εργαστηριακός προσδιορισμός της ειδικής ενέργειας κοπής λατερίτη και ασβεστολίθου από το μεταλλείο του Αγίου Ιωάννη της Λάρκο Α.Ε», Προπτυχιακή διπλωματική εργασία Αθήνα (2009)

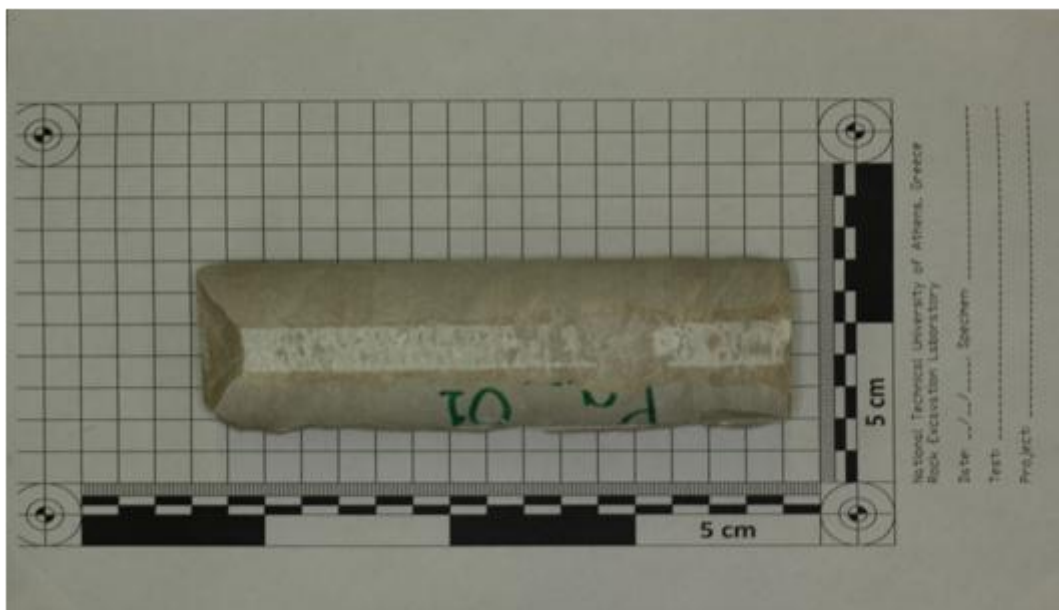
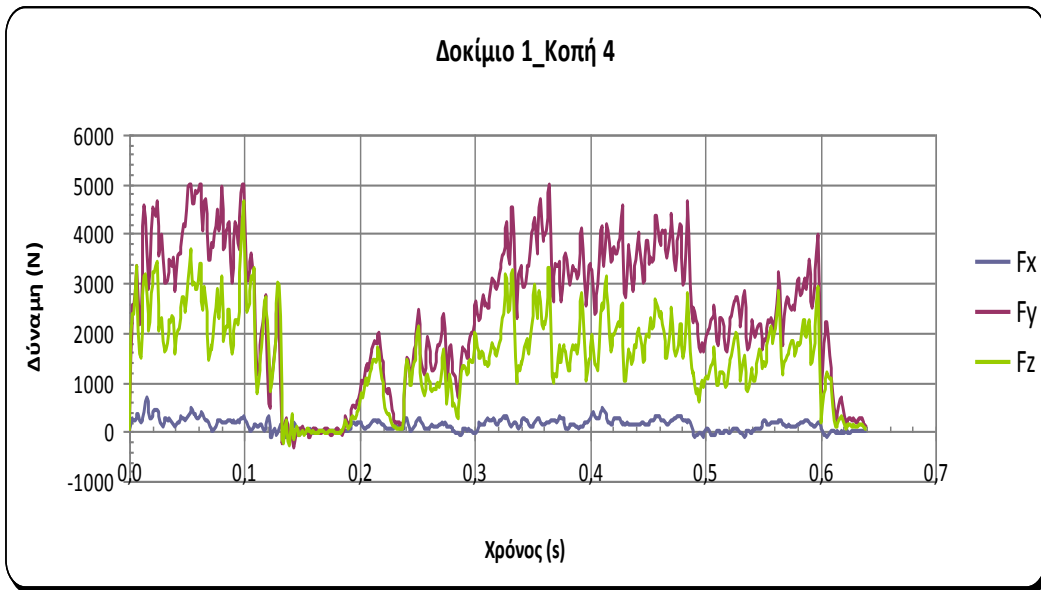
Παράρτημα 1

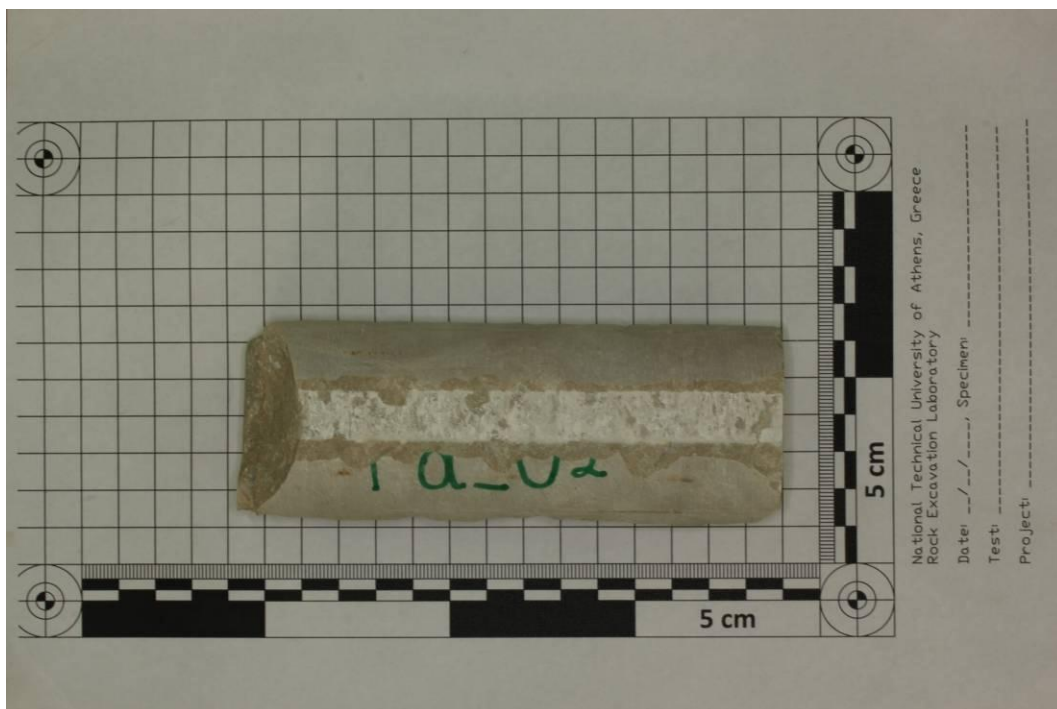
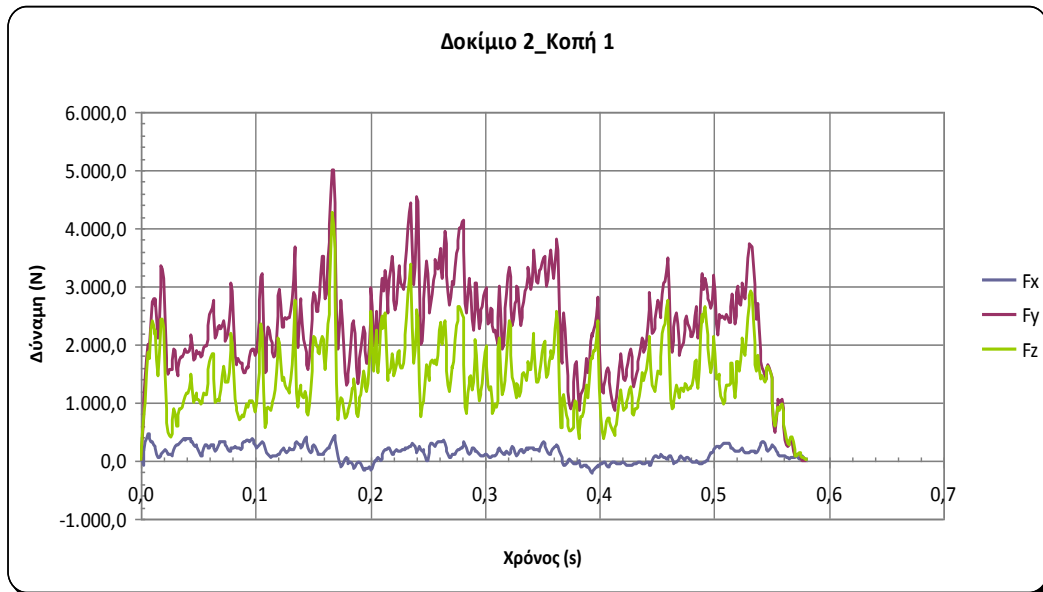
Διαγράμματα Δυνάμεων κατά την Κοπή

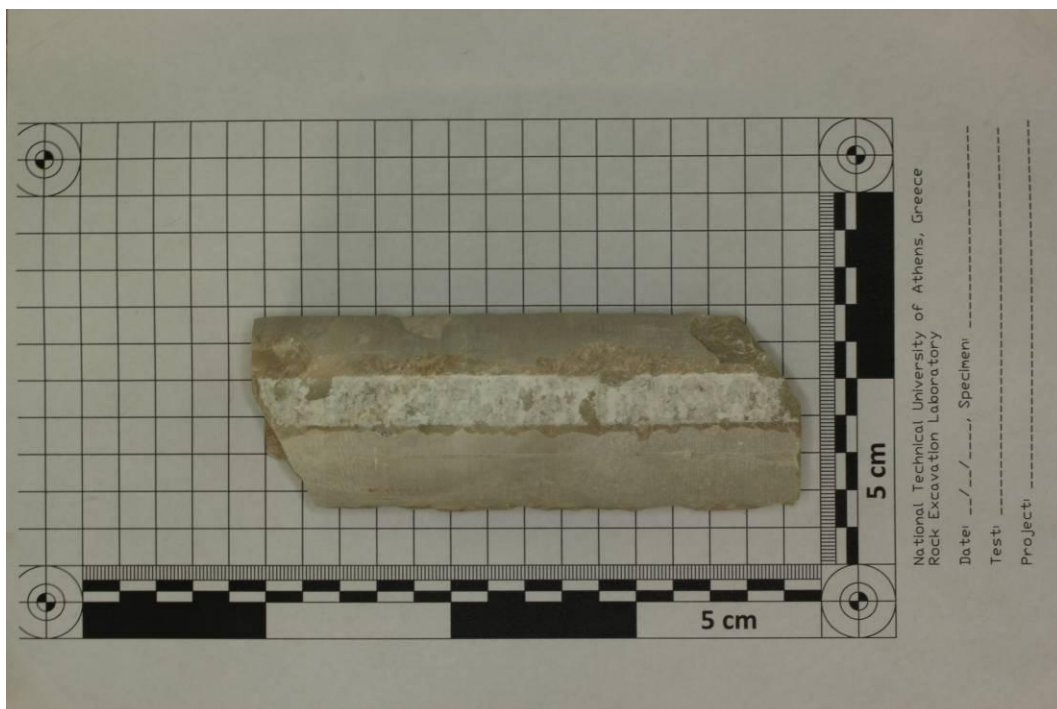
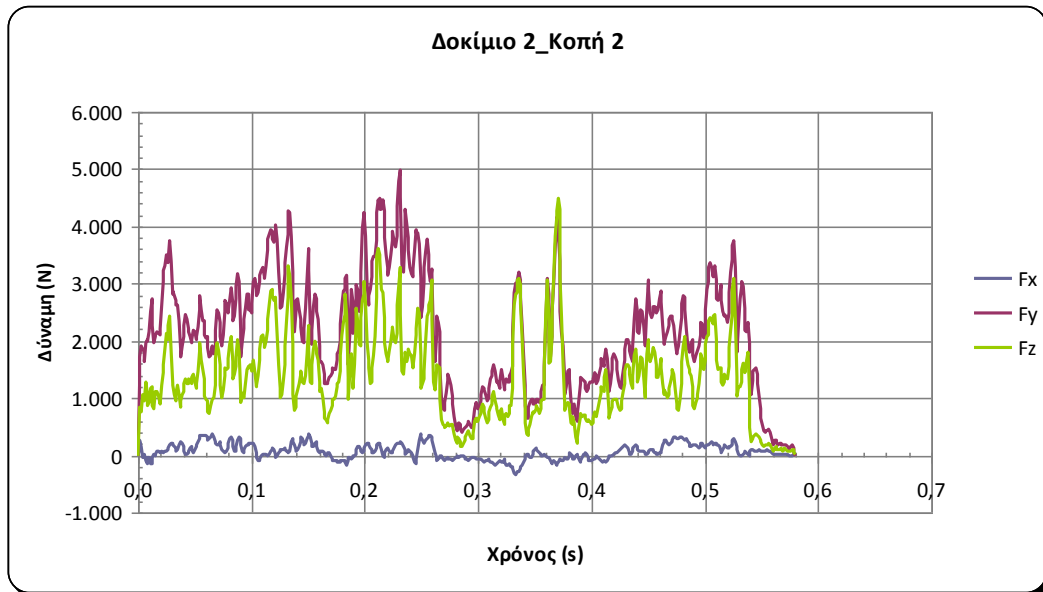


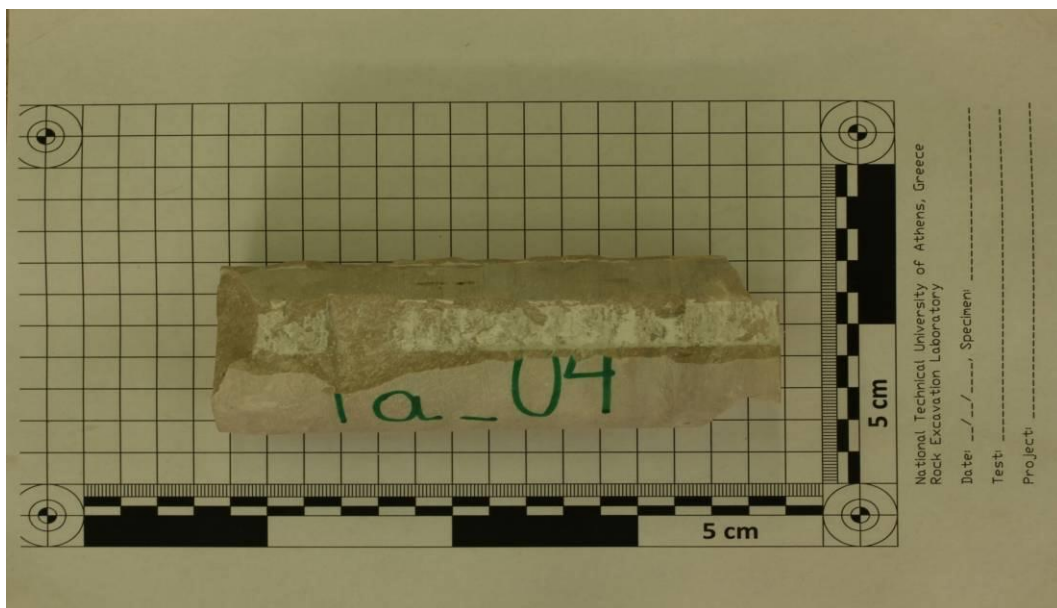
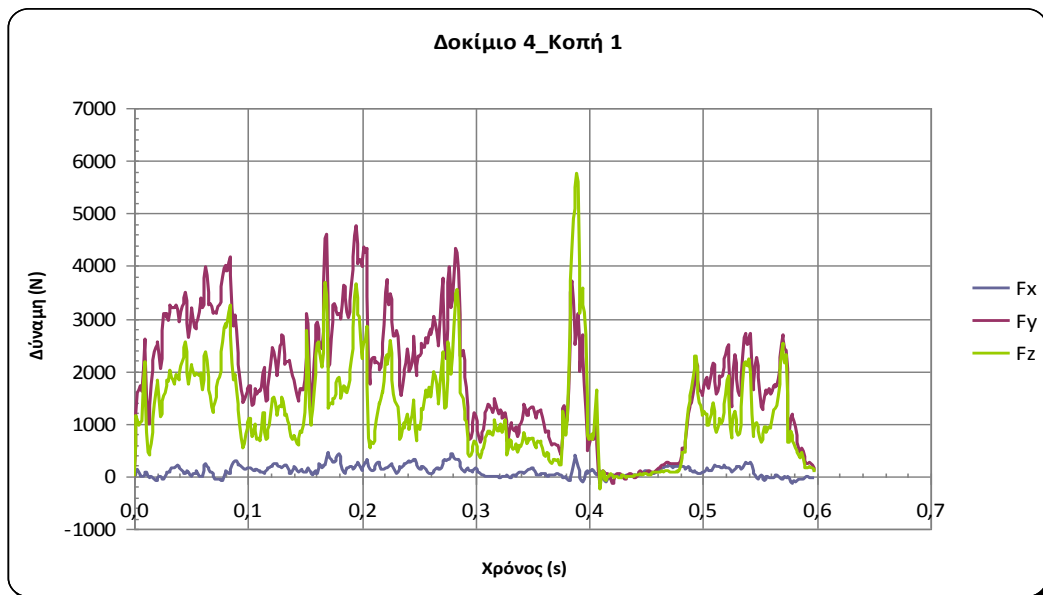


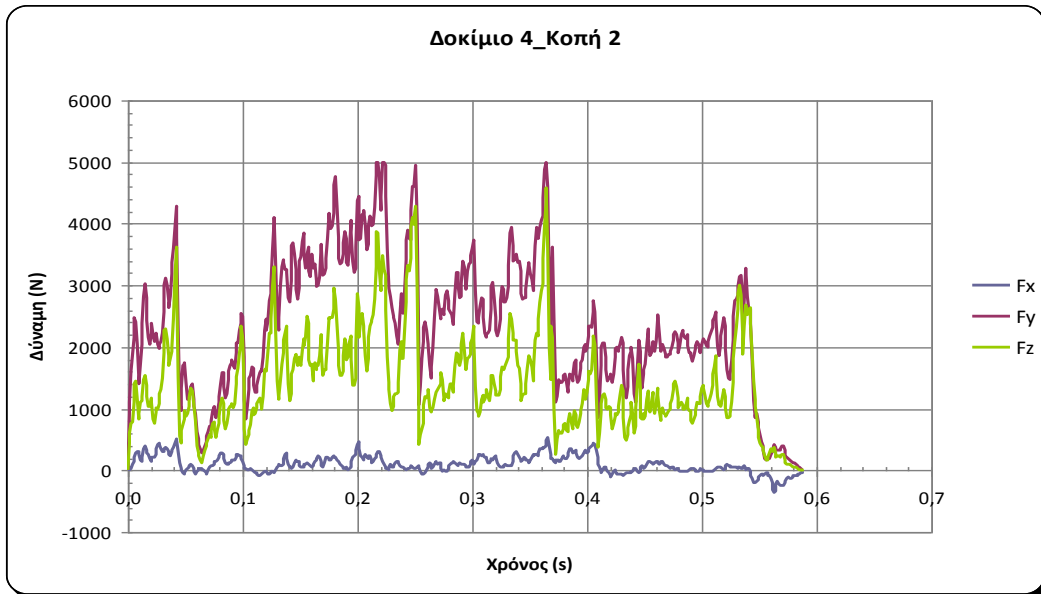


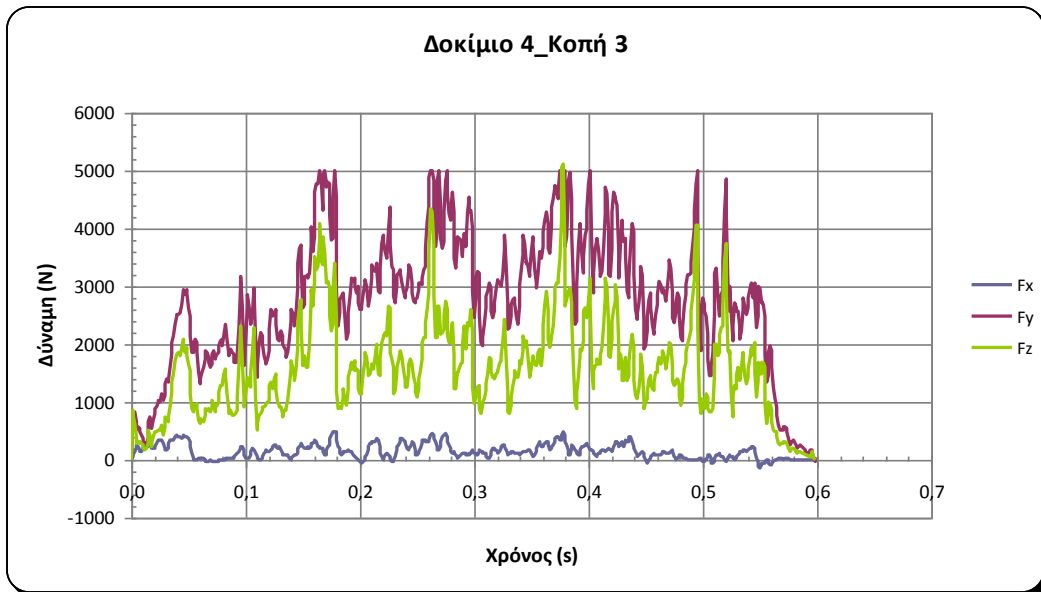


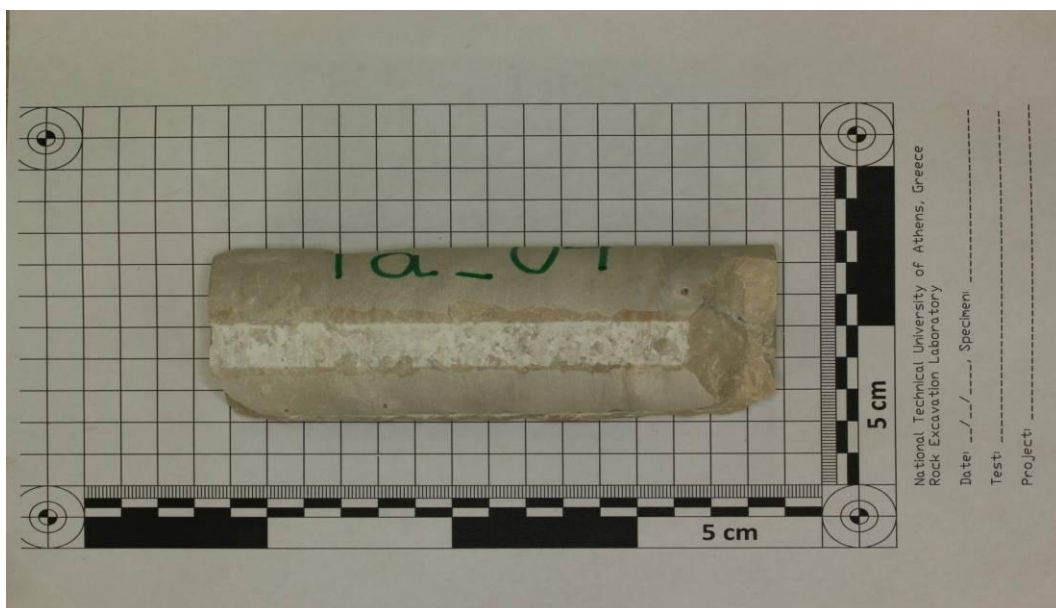
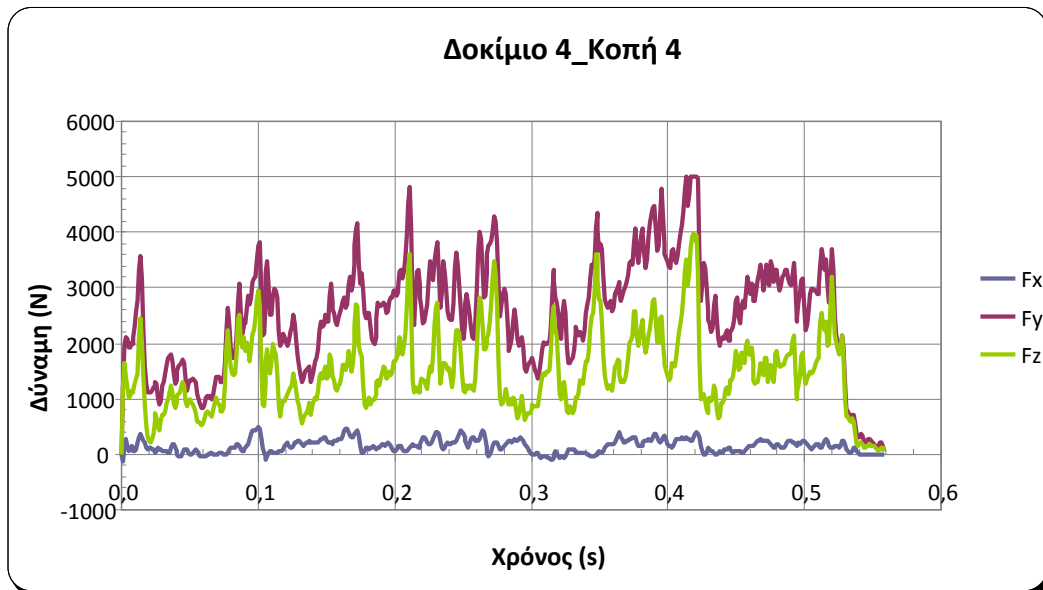


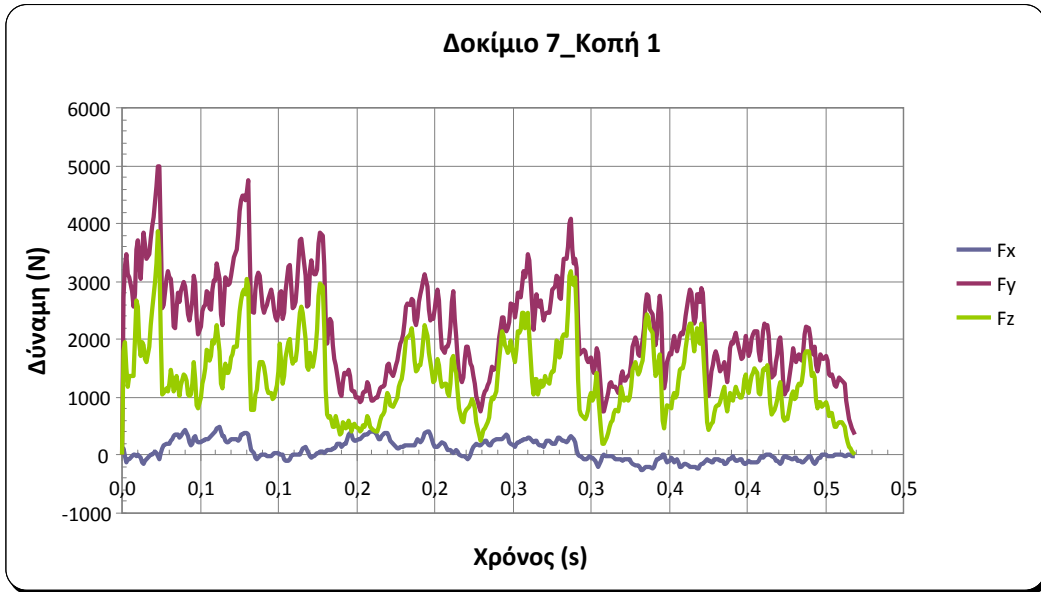


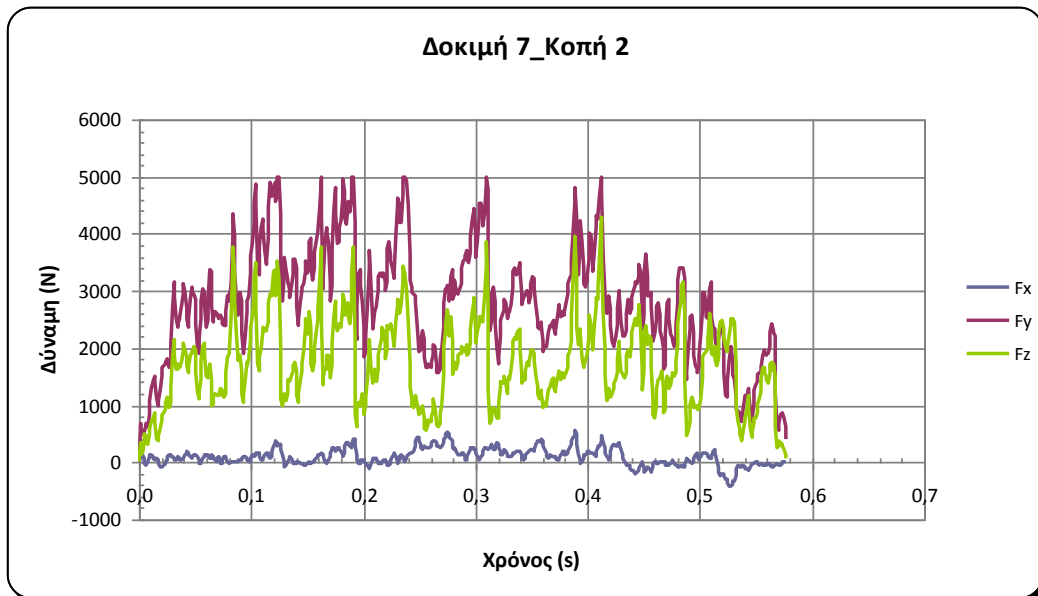








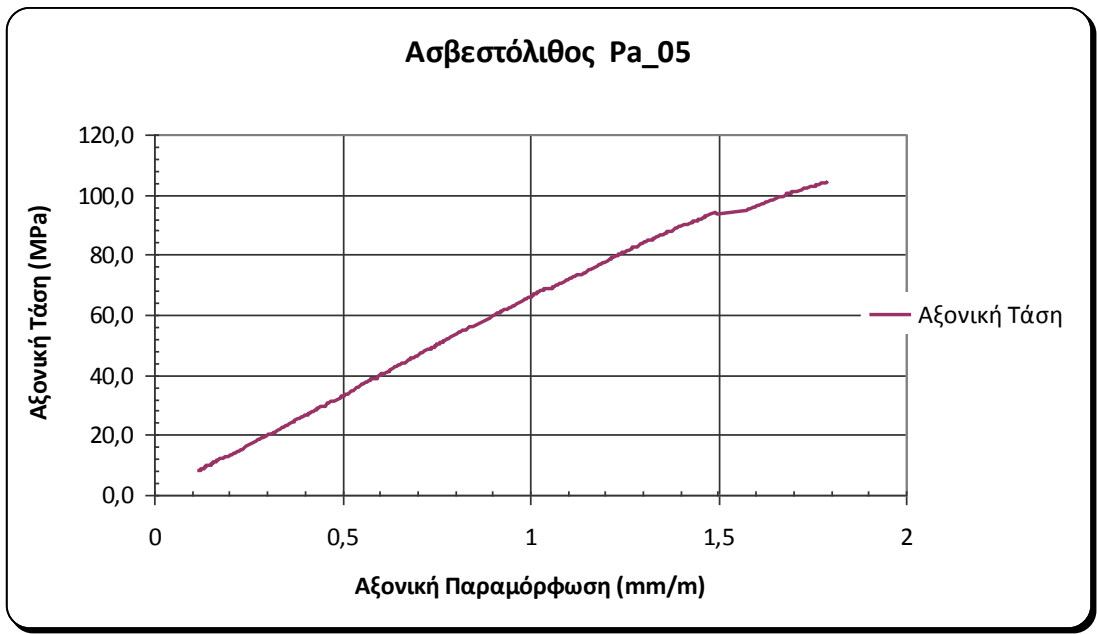
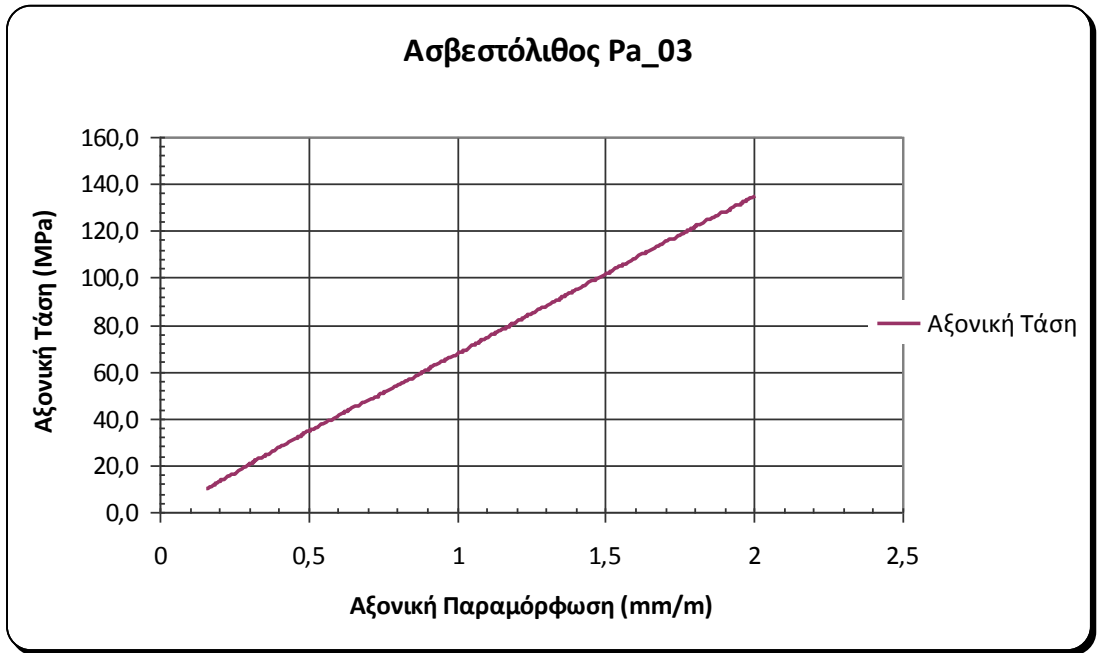


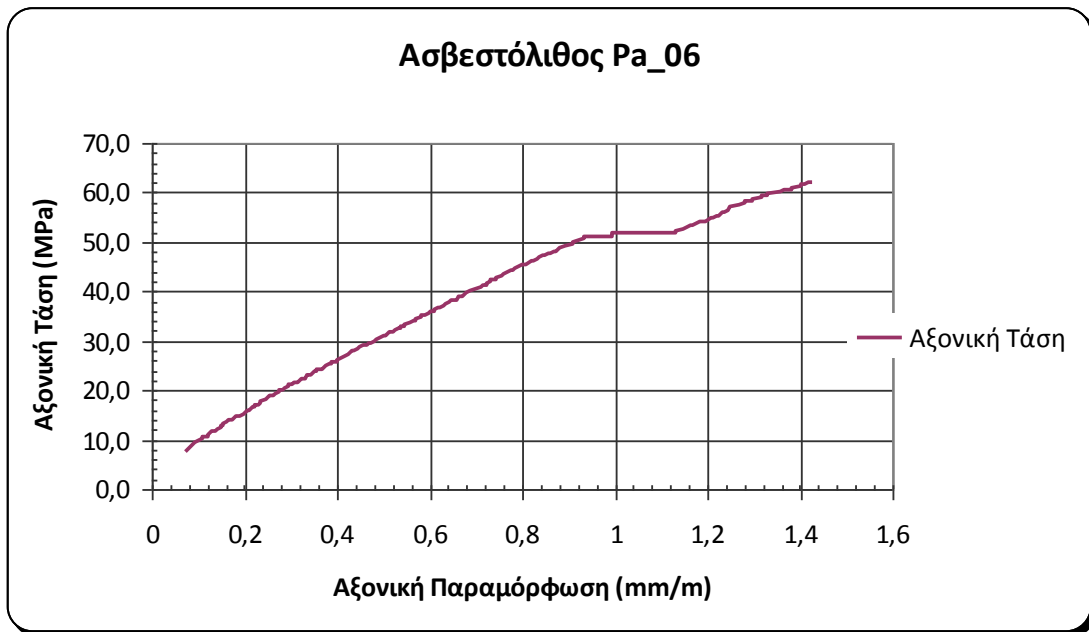


Παράρτημα 2

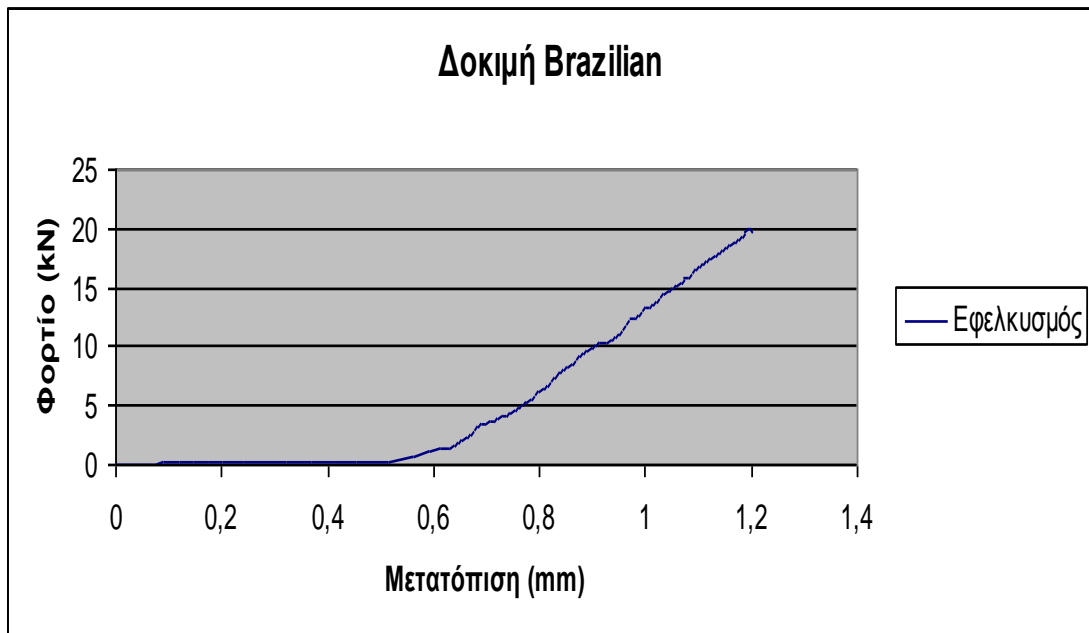
Διαγράμματα Εργαστηριακών Δοκιμών

Διαγράμματα δοκιμής μονοαξονικής θλίψης (UCS)





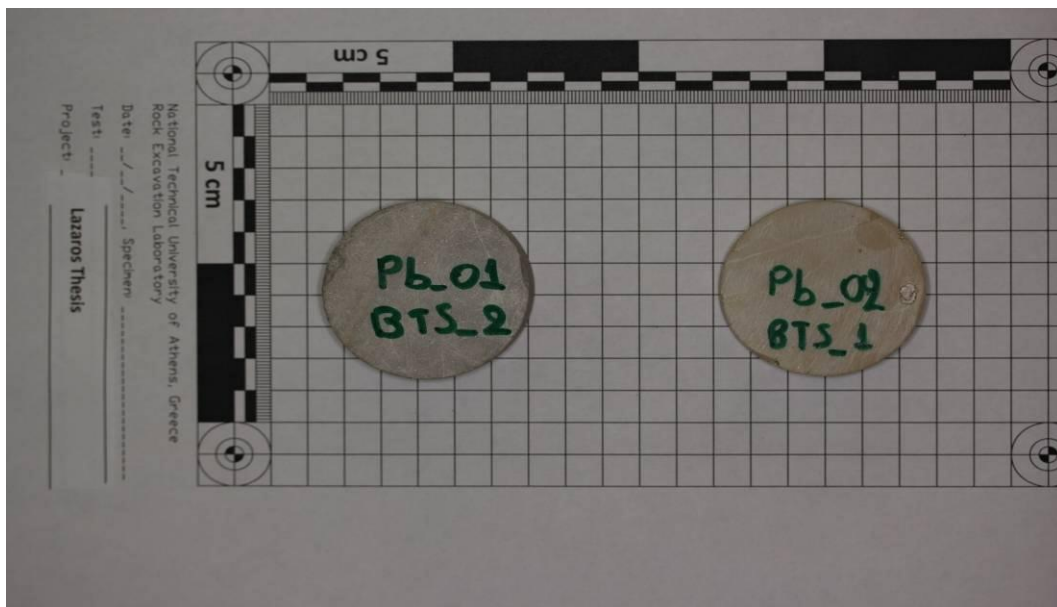
Διάγραμμα δοκιμής αντιδιαμετρικής θλίψης (Brazilian Test)



Παράρτημα 3

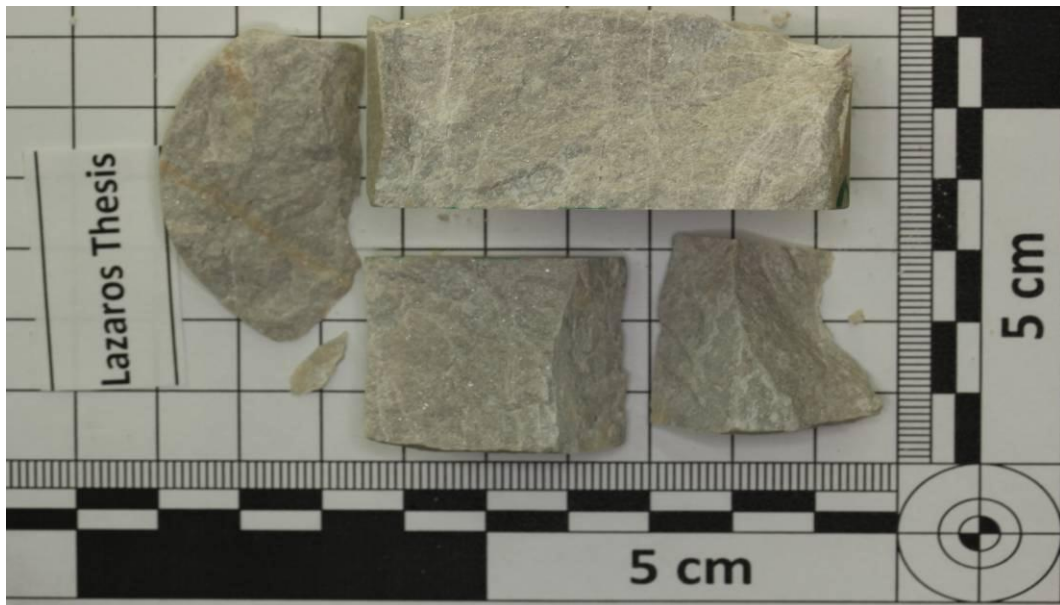
Φωτογραφική Τεκμηρίωση

Φωτογραφίες των δοκιμών που αστόχησαν κατά τη δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης (Brazilian Test – BTS)





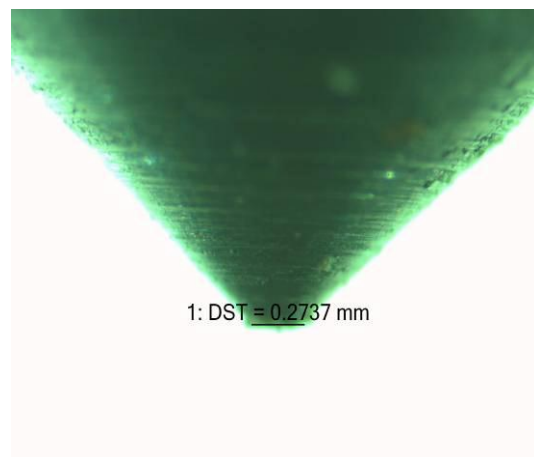
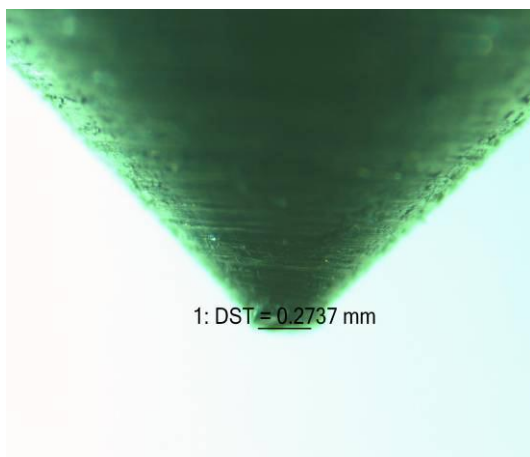


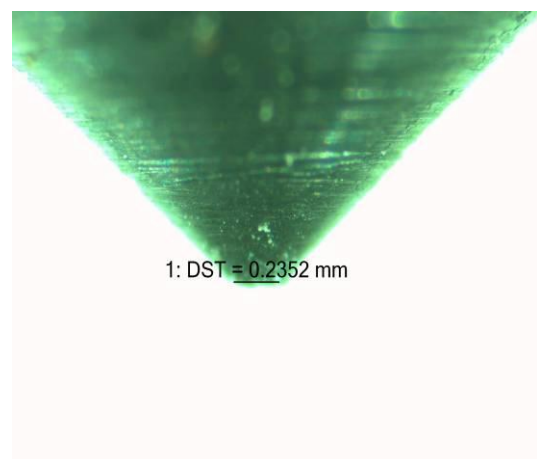
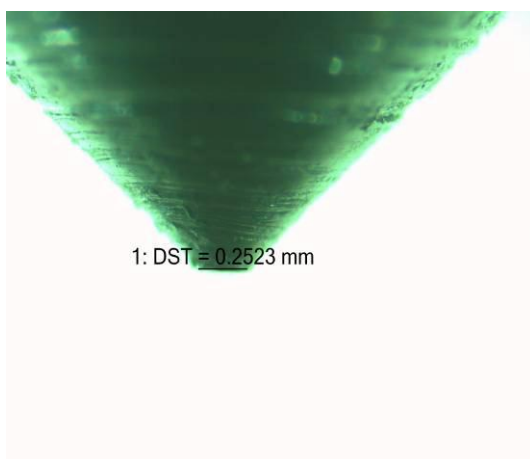
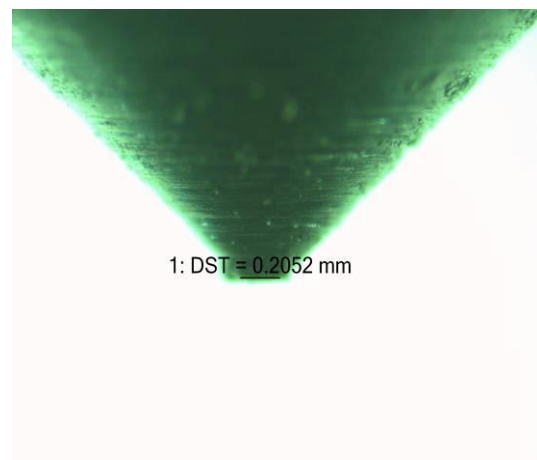
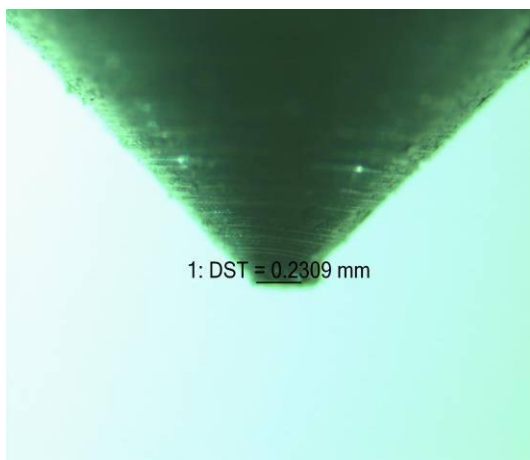
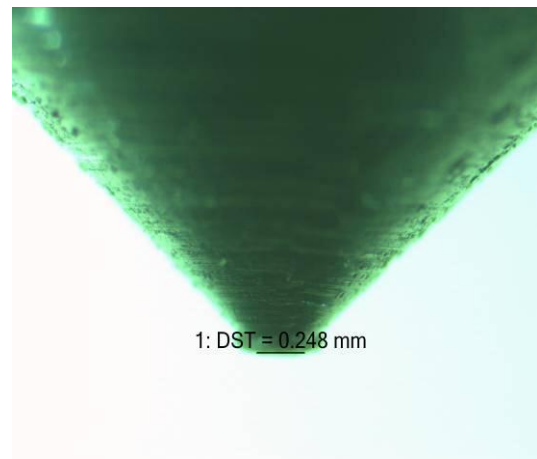
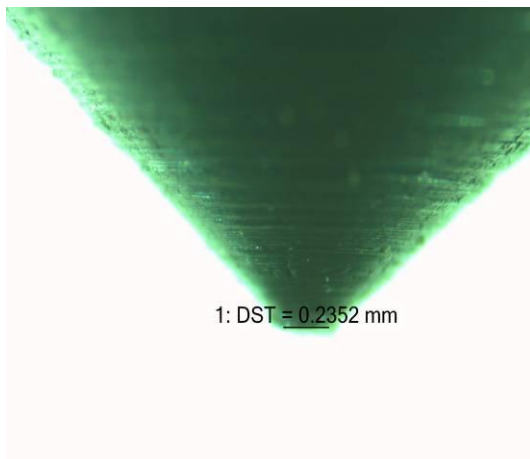


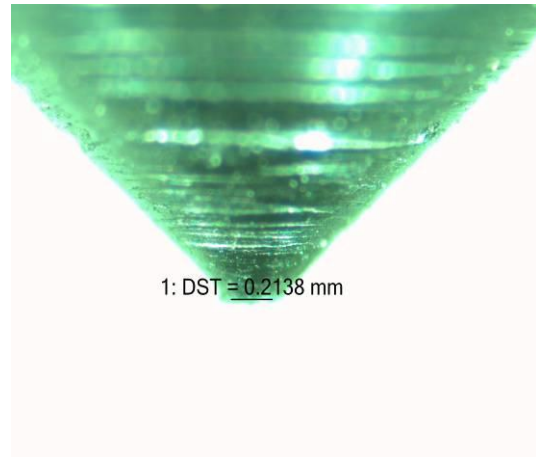
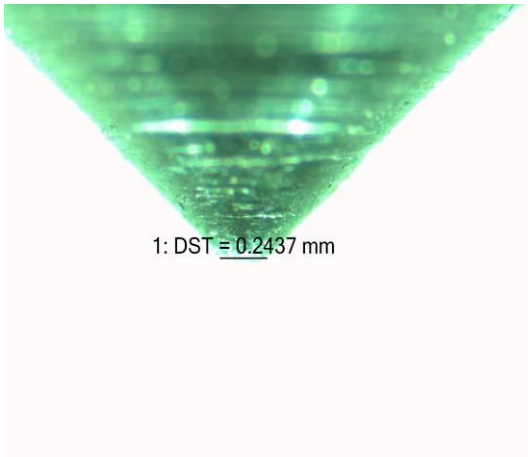
Ακίδες που χρησιμοποιήθηκαν στη δοκιμή αποξεστικότητας Cerchar

Ακίδα HRC 40 (σκληρότητα 40 κατά Rockwell)

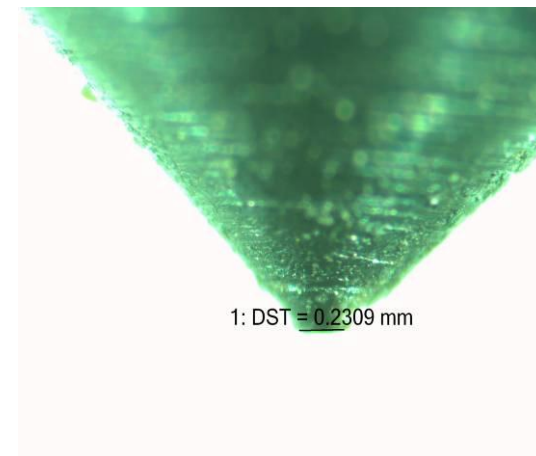
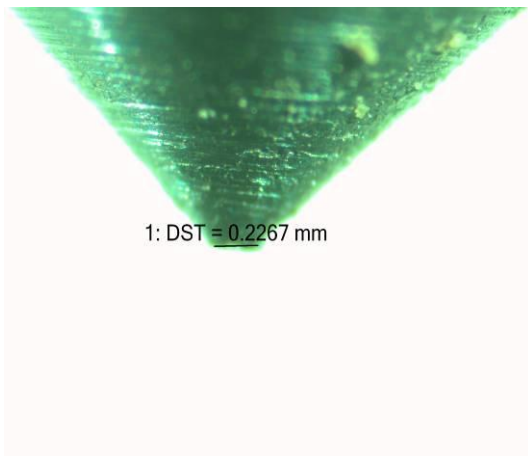
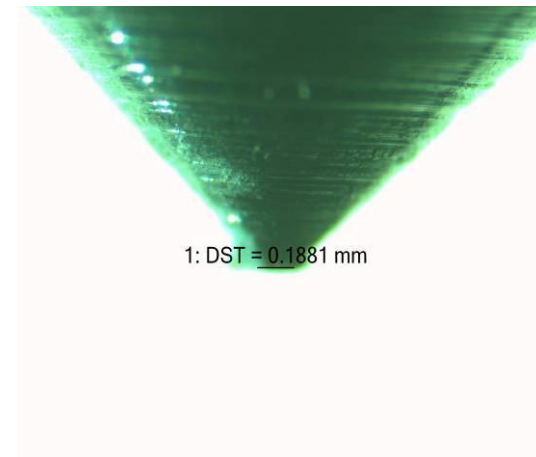
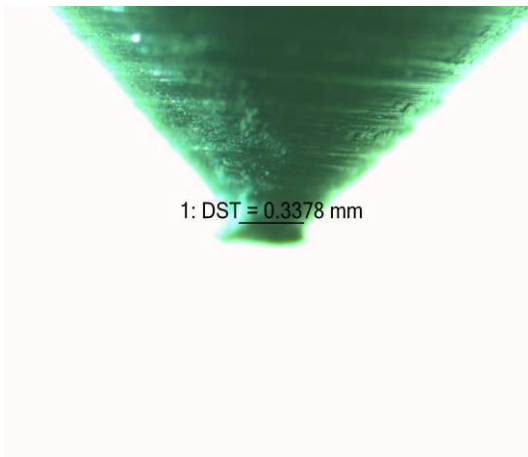
Δοκίμιο_1

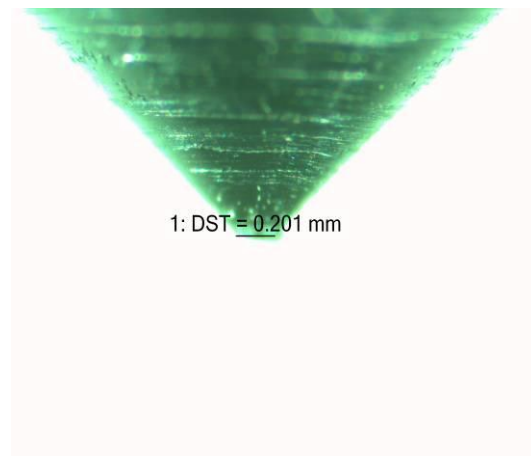
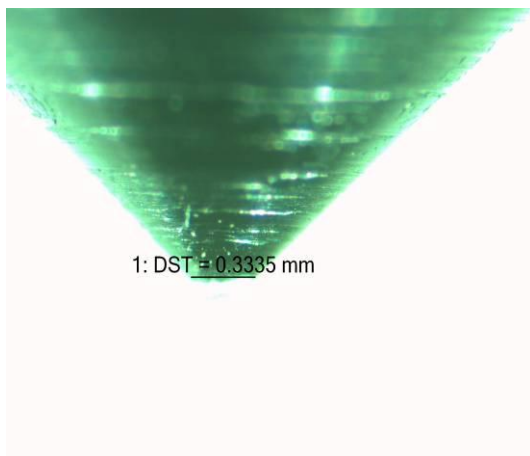
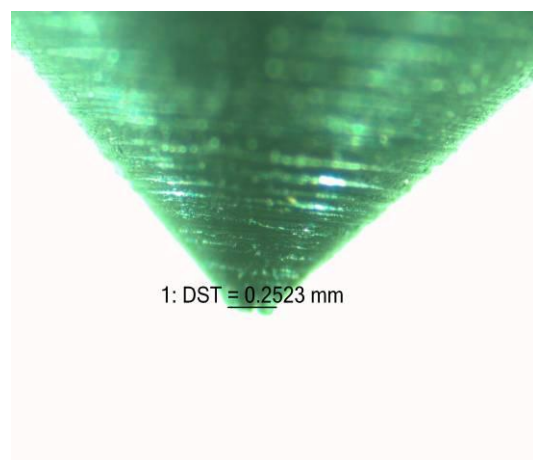
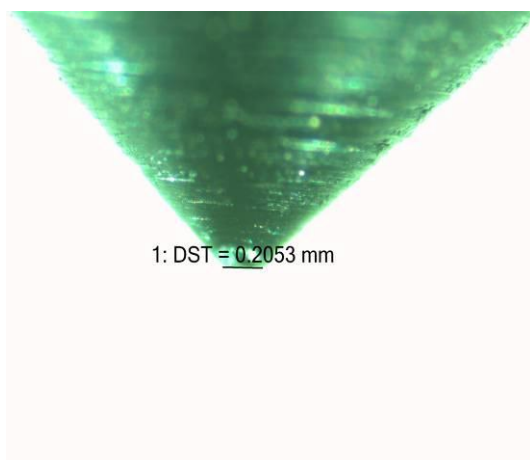
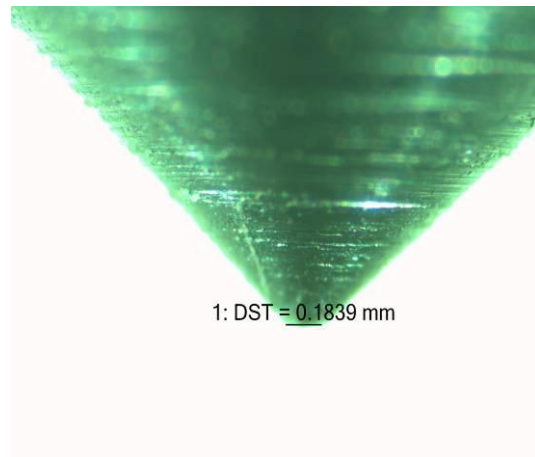
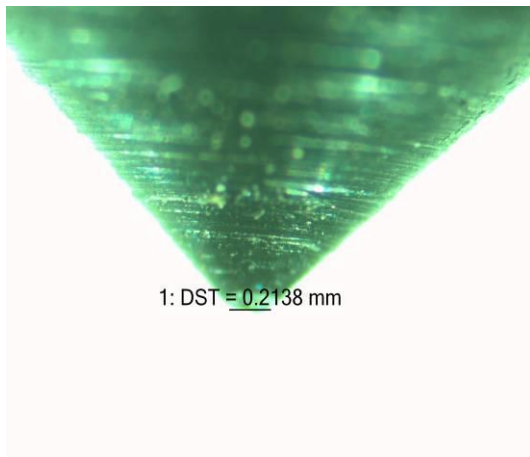




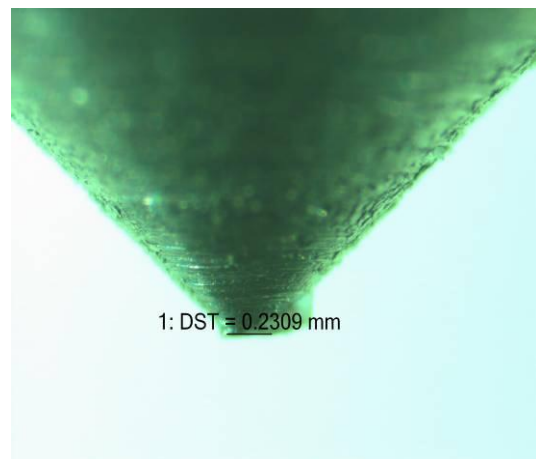
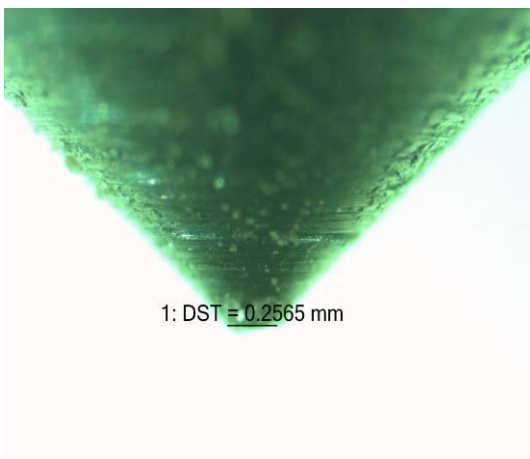
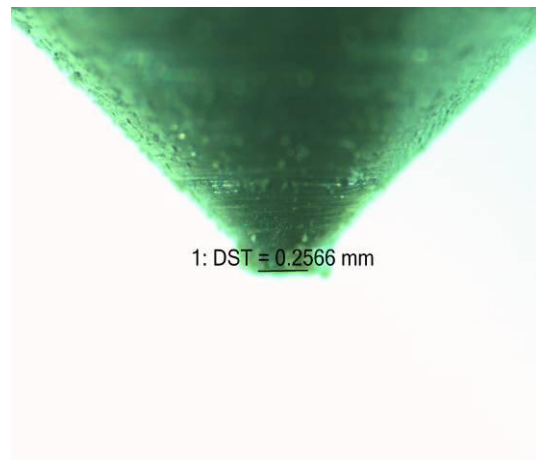
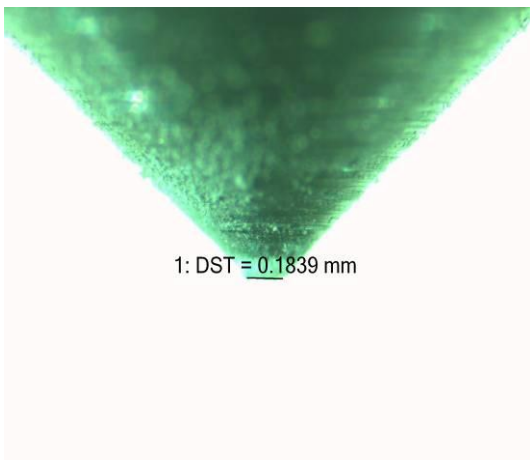
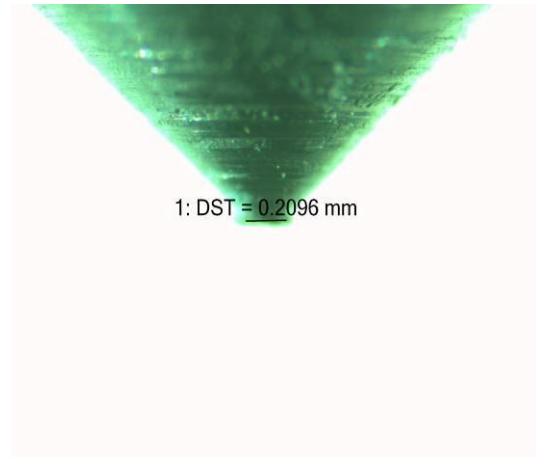
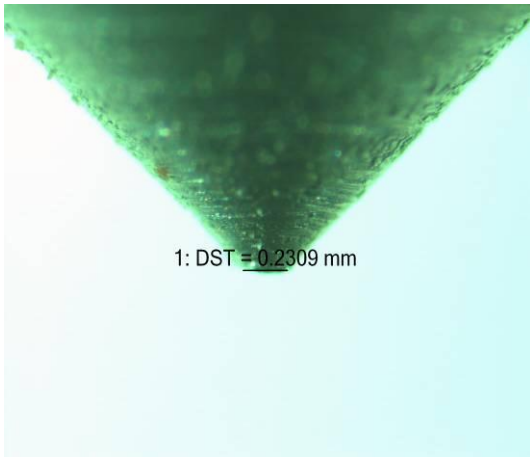


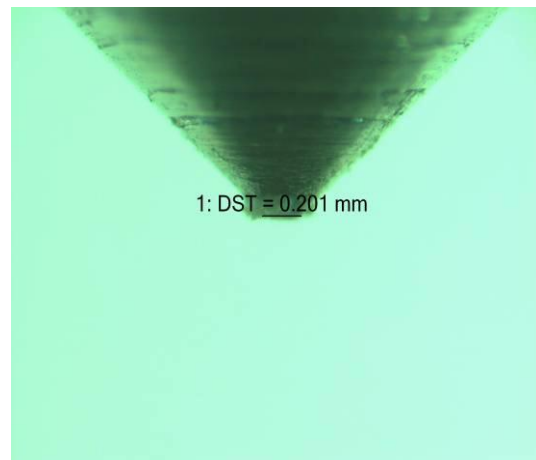
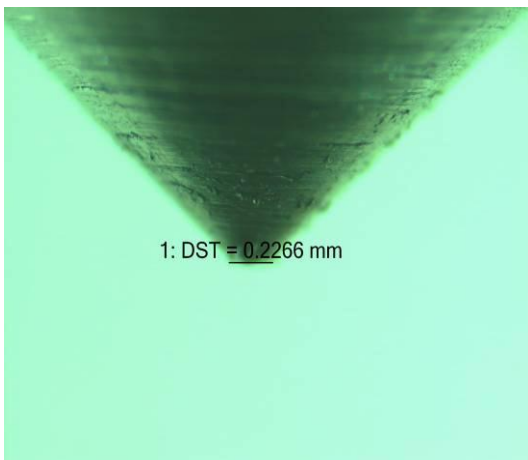
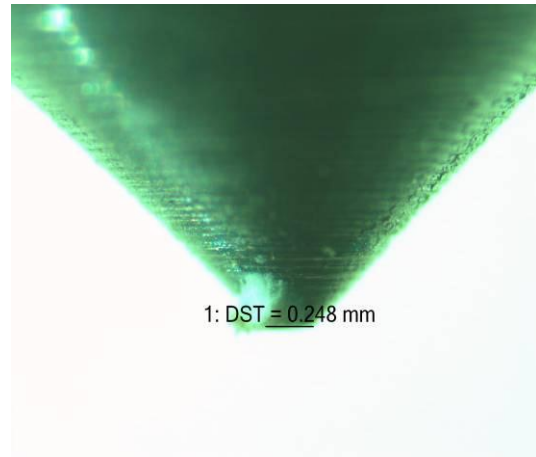
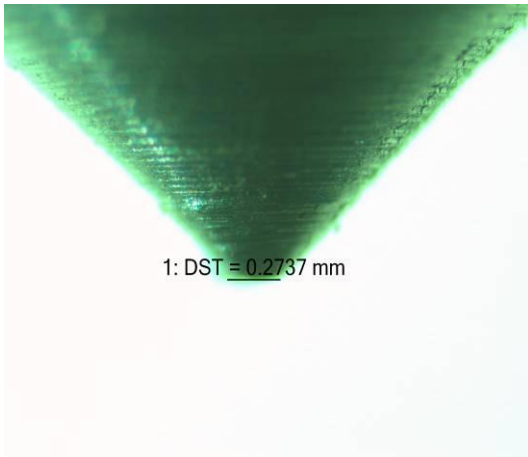
Δοκίμιο _2



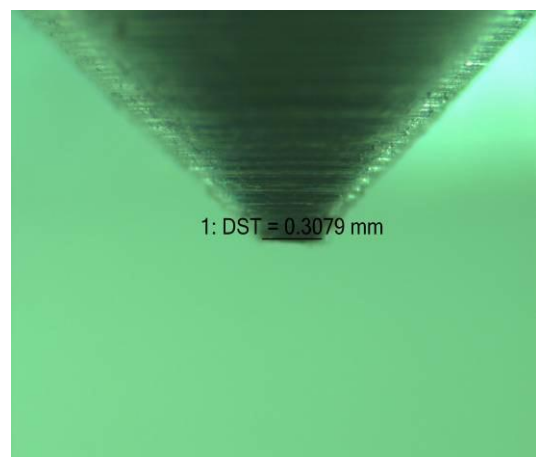
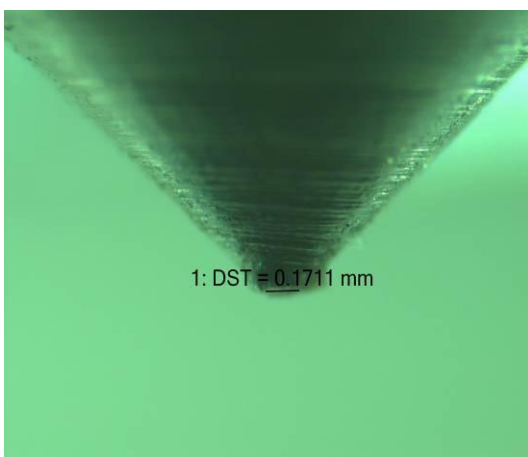


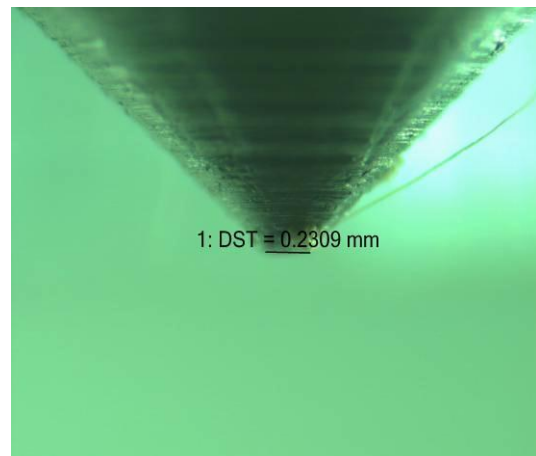
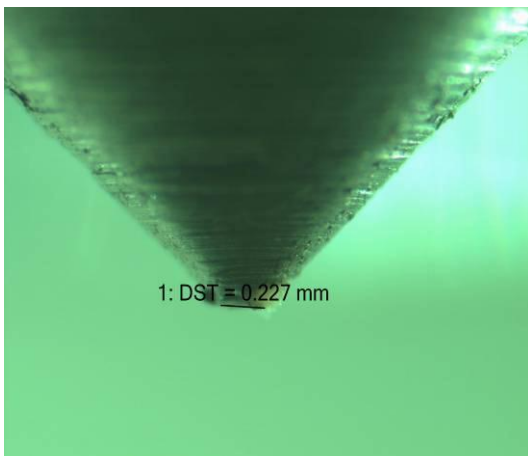
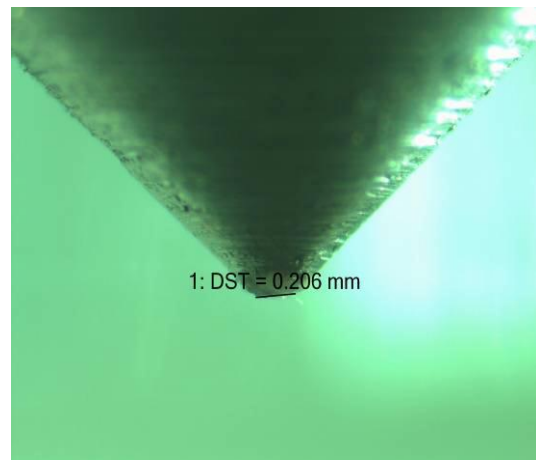
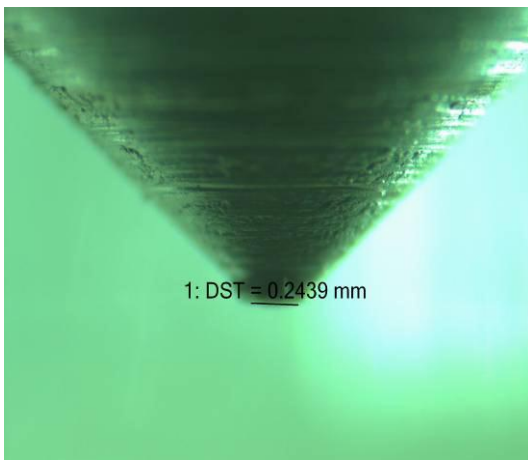
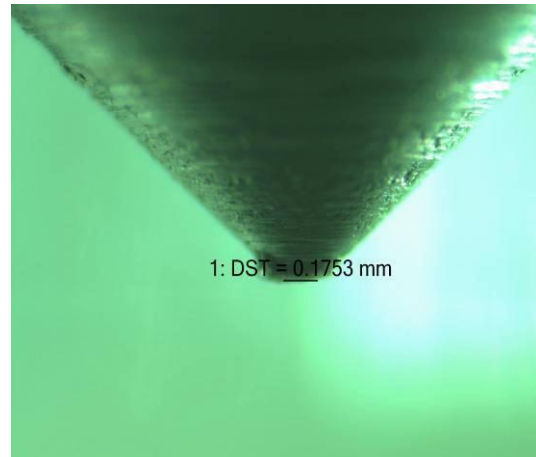
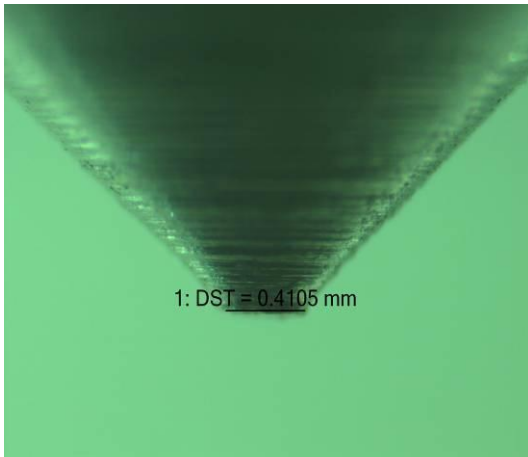
Δοκίμιο_3

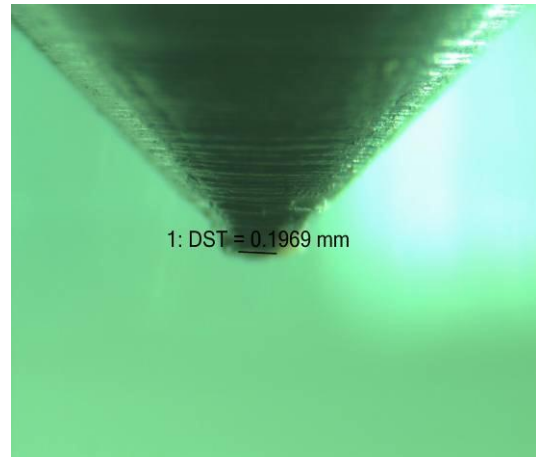
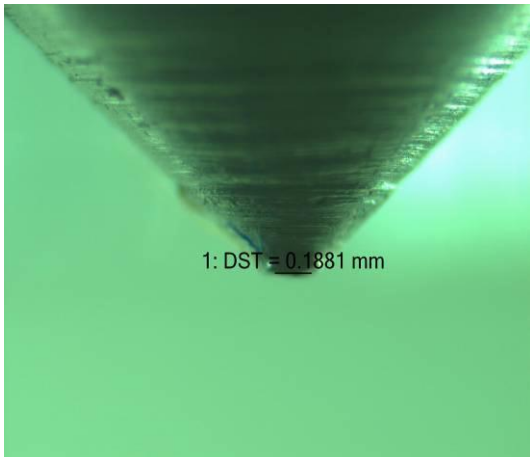




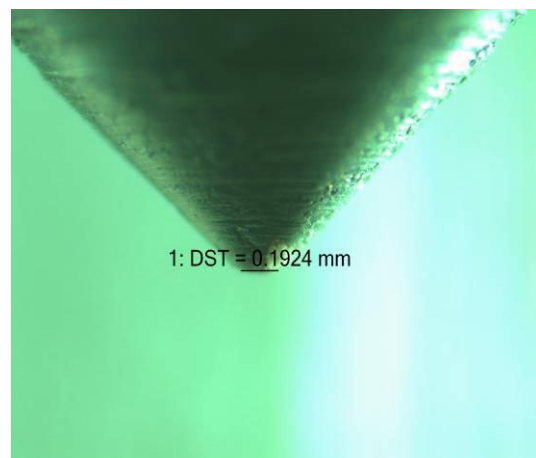
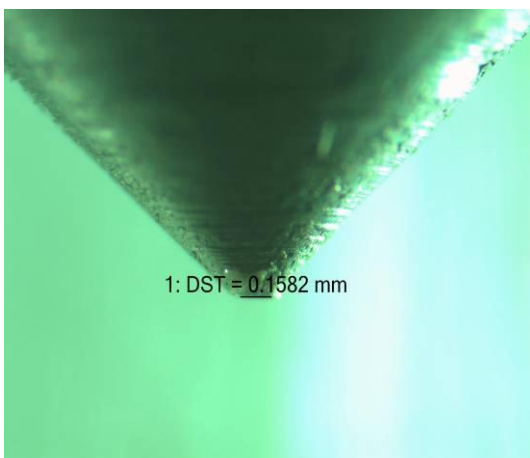
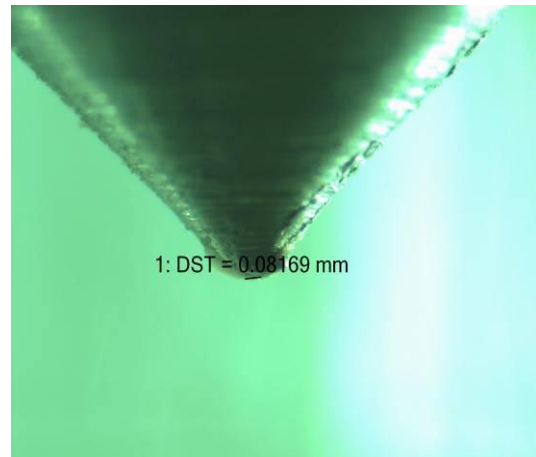
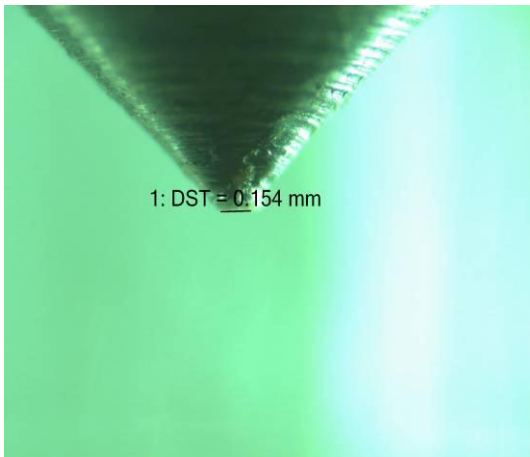
Δοκίμιο_4

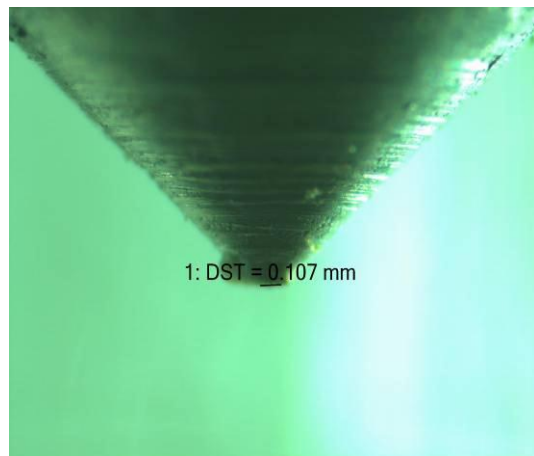
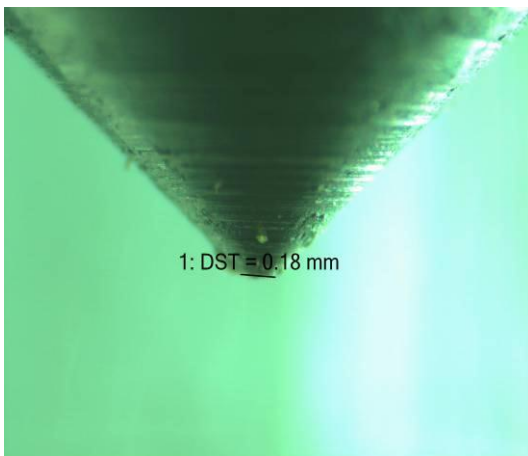
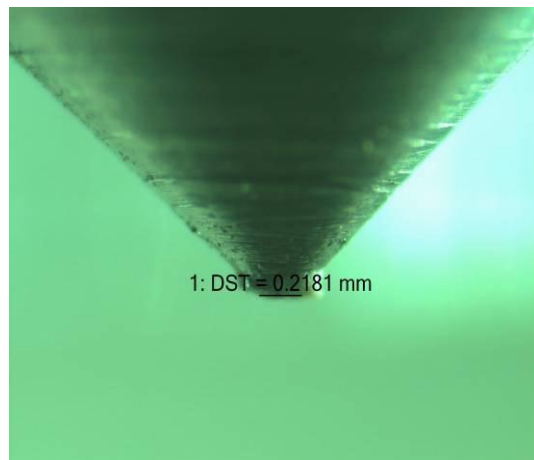
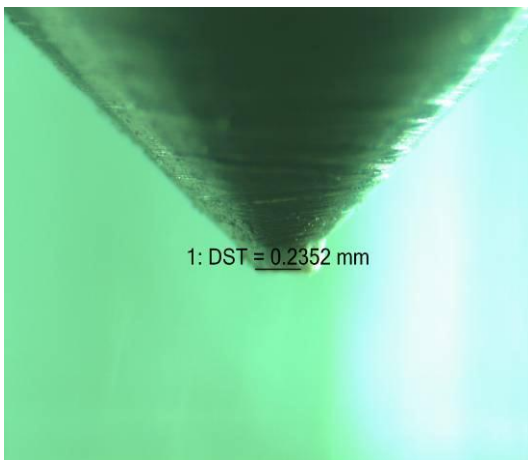
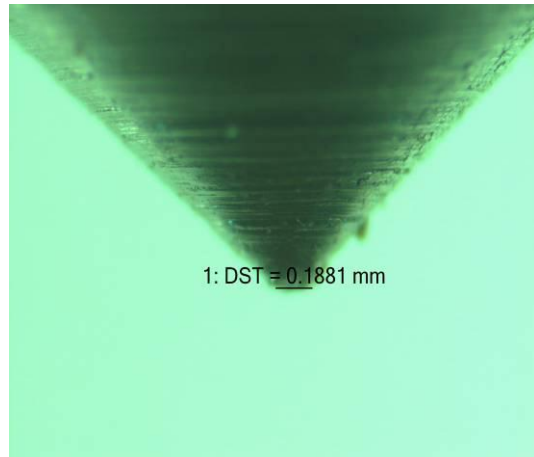
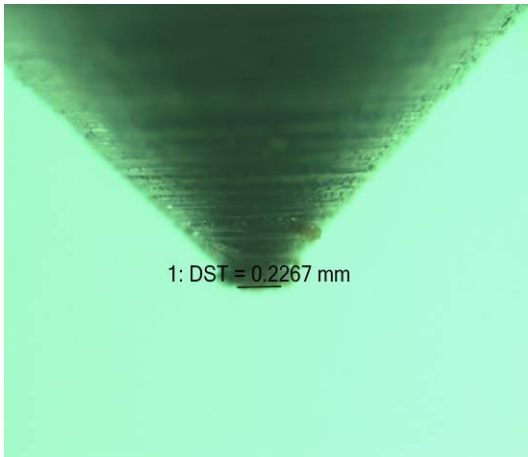






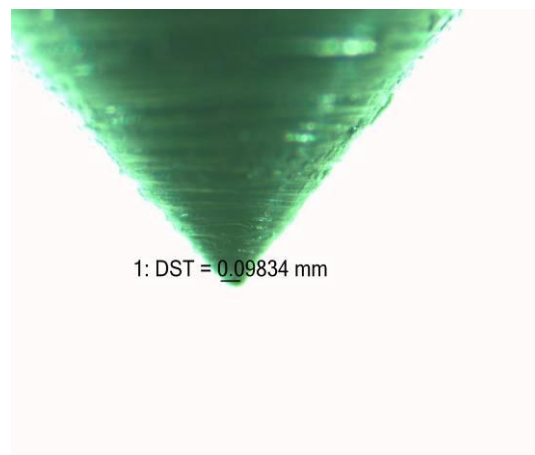
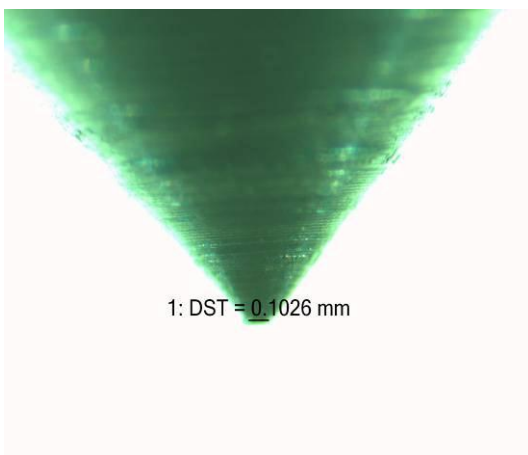
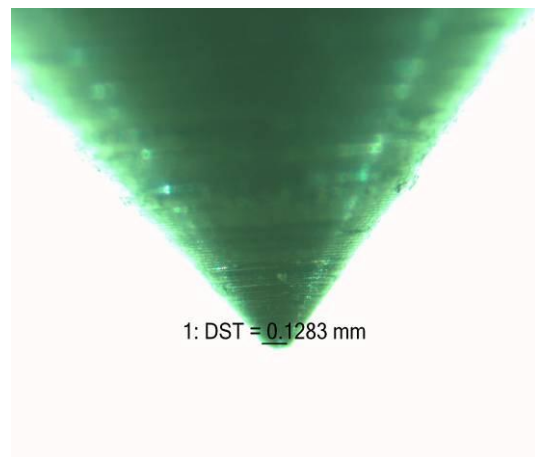
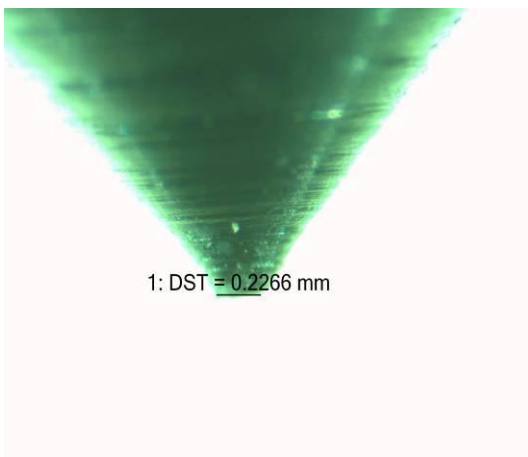
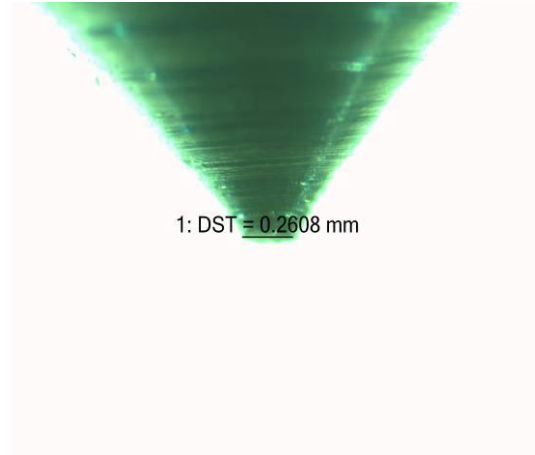
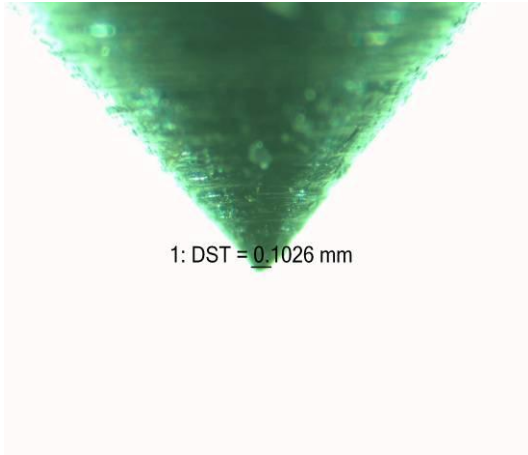
Δοκίμιο_5

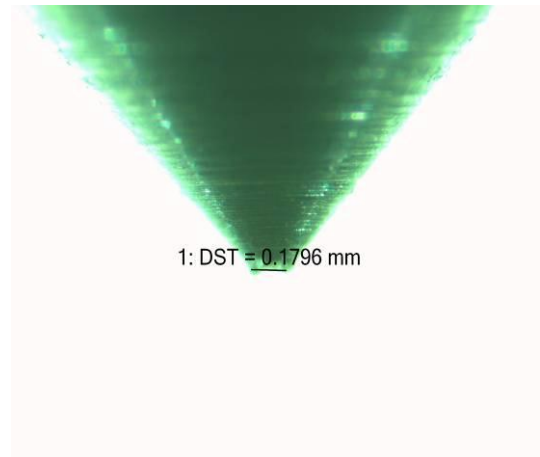
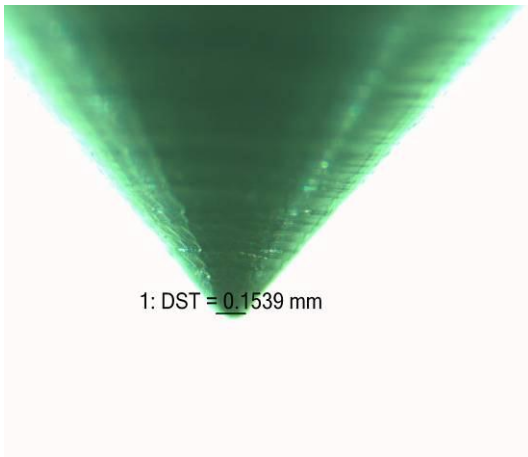
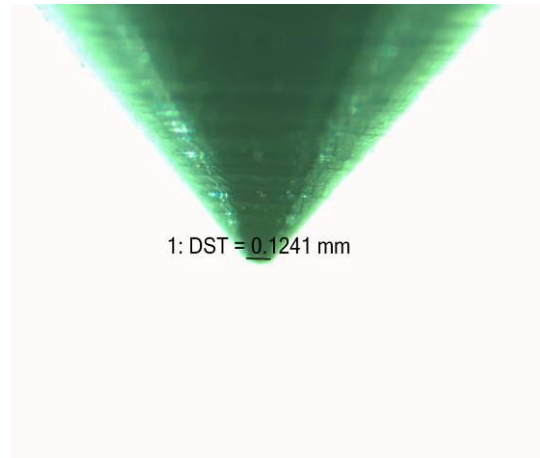
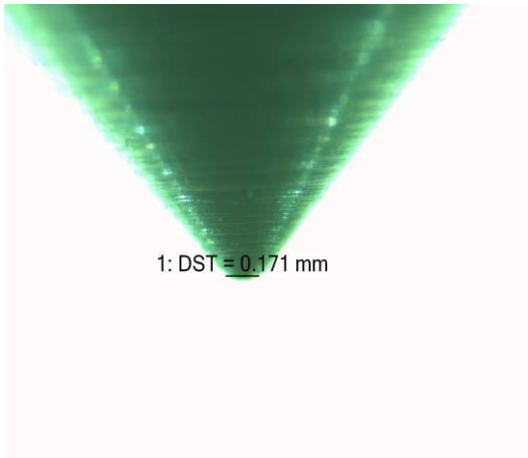




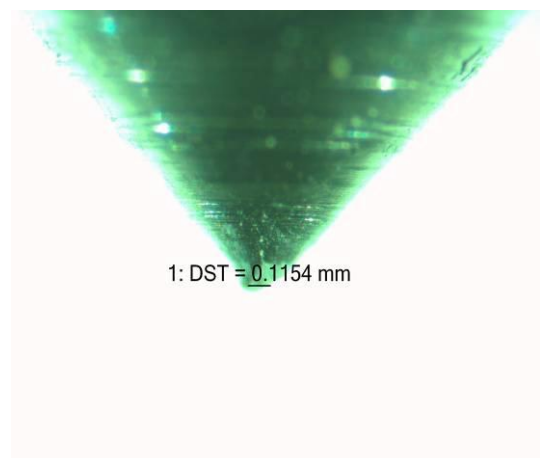
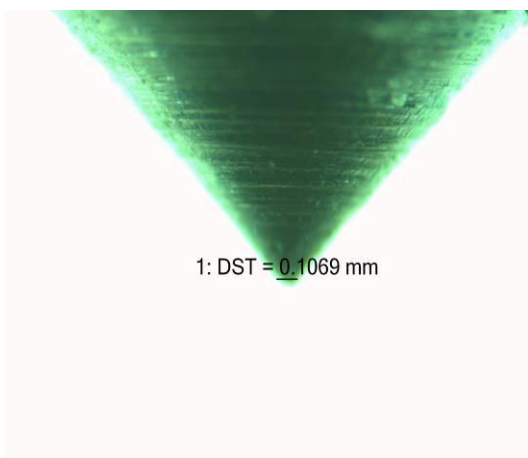
Ακίδα HRC 55 (σκληρότητα 55 κατά Rockwell)

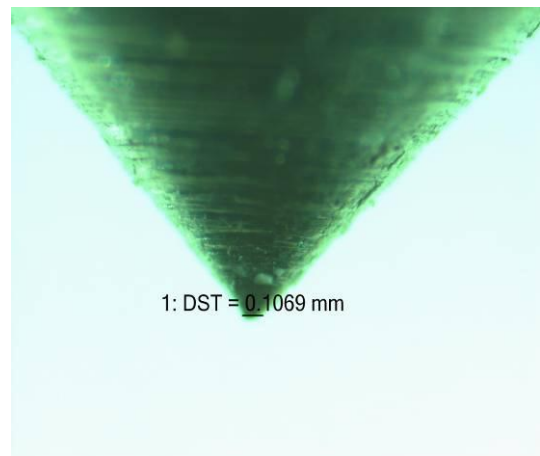
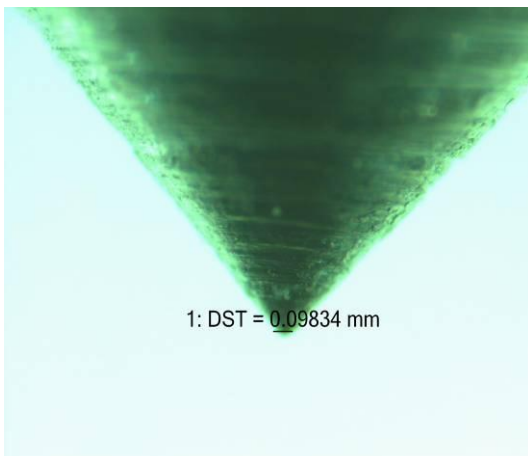
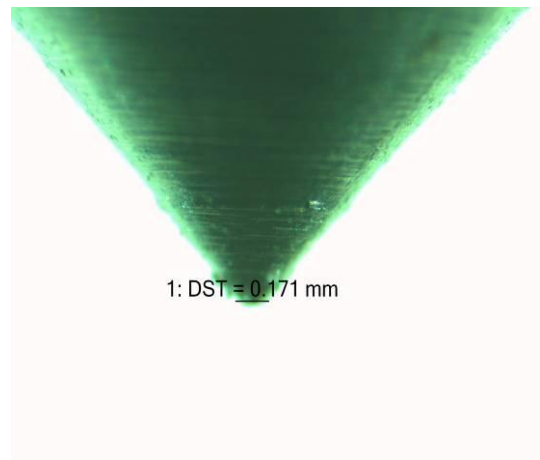
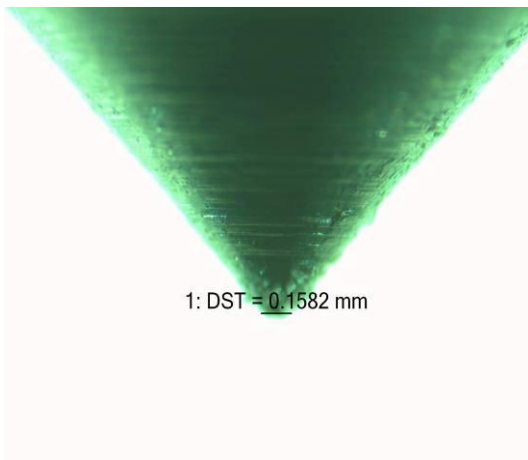
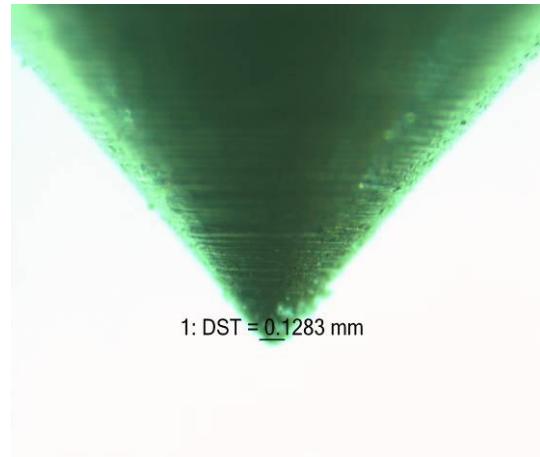
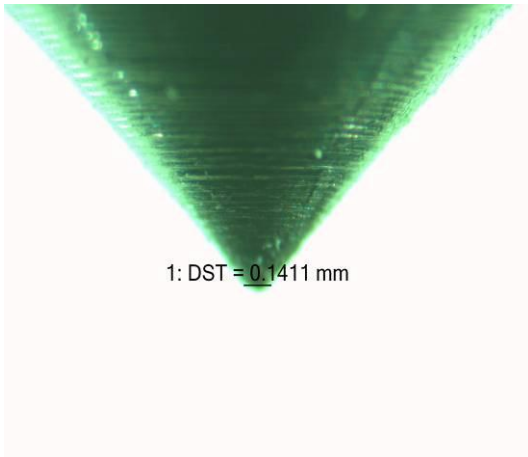
Δοκίμιο_1

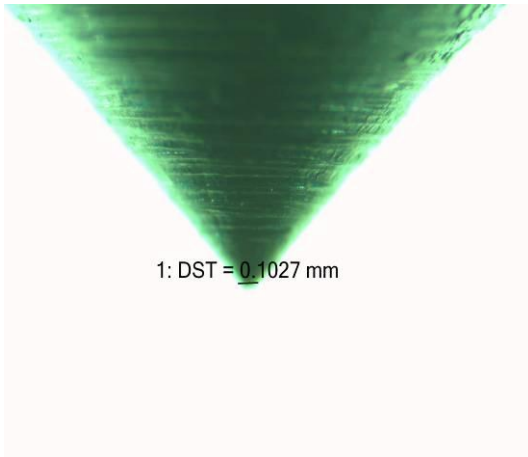




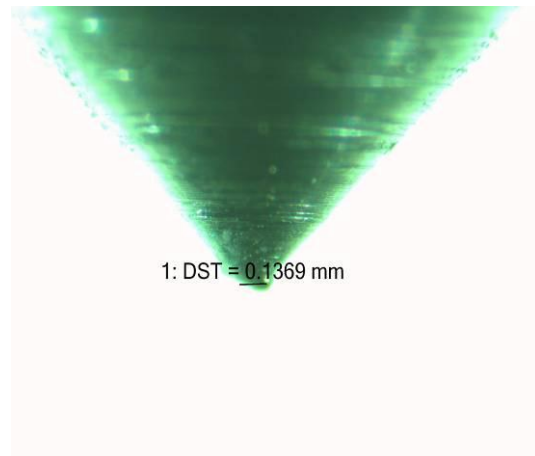
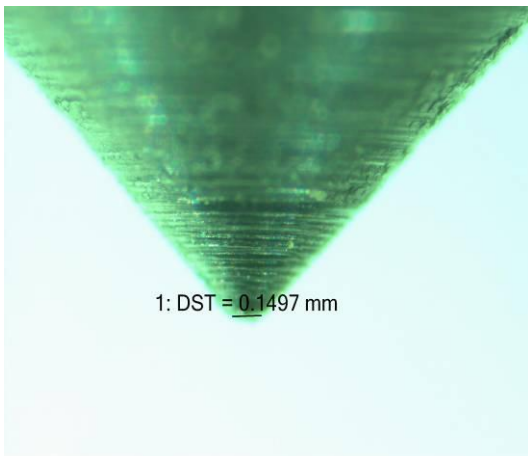
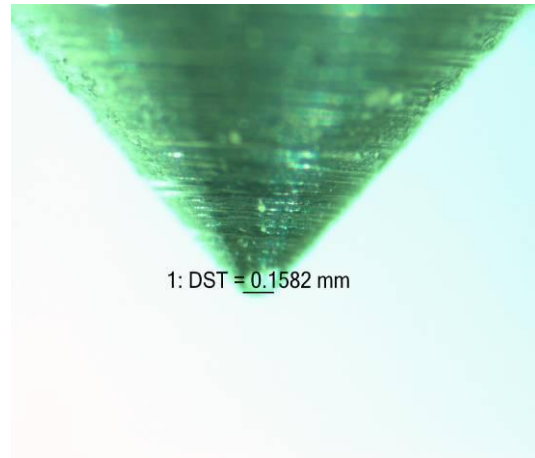
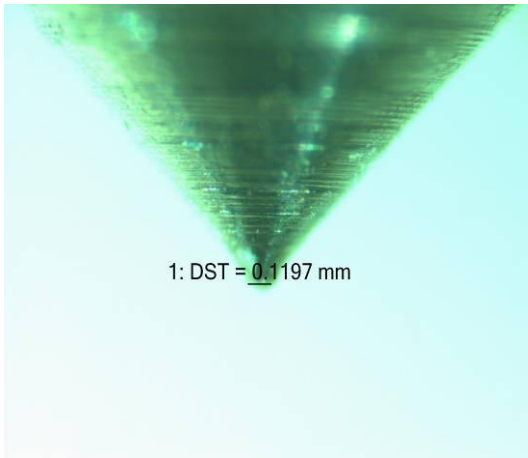
Δοκίμιο_2

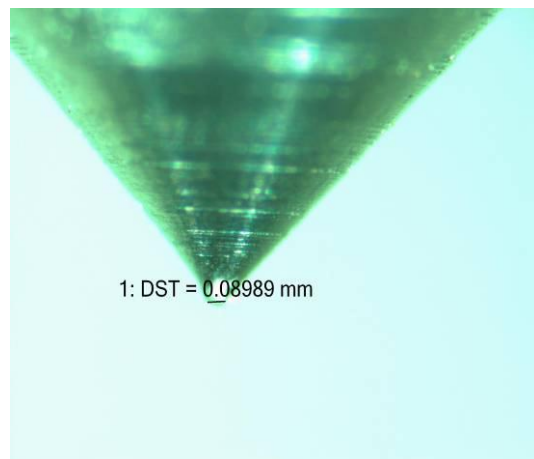
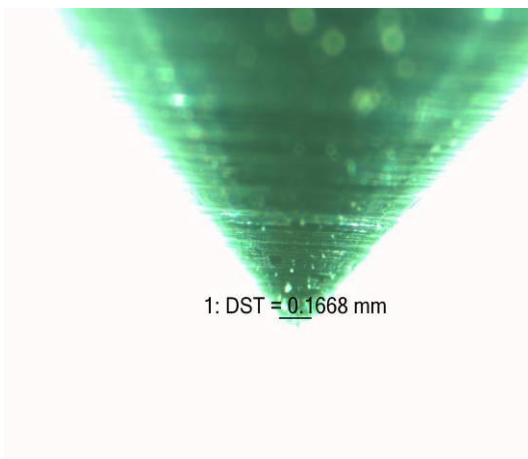
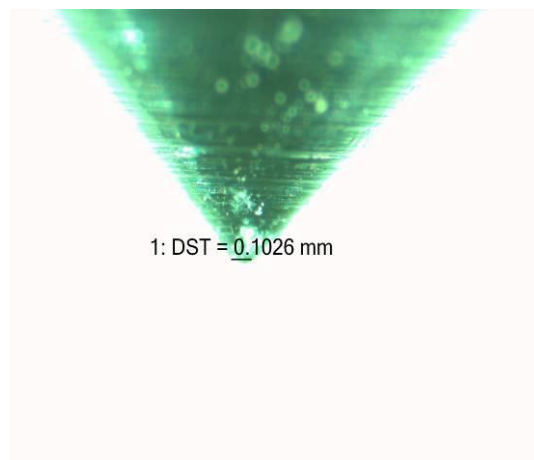
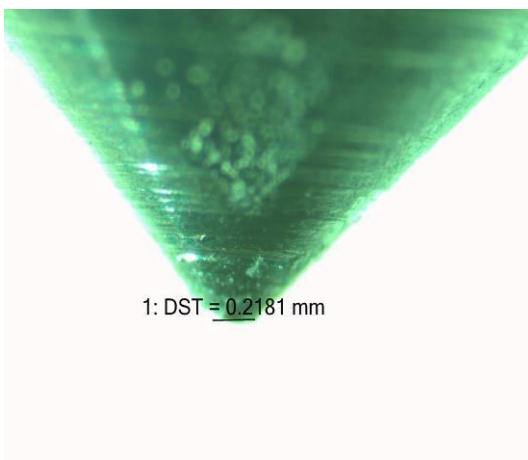
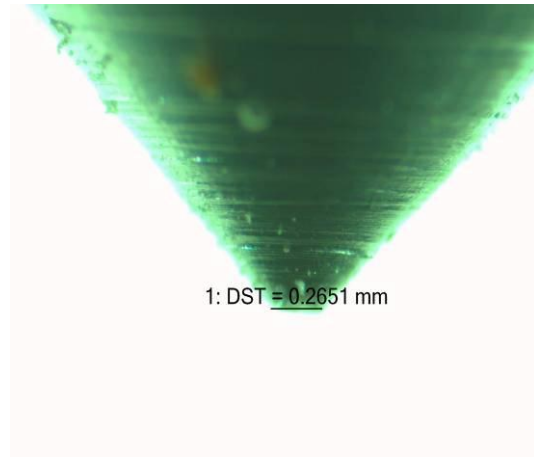
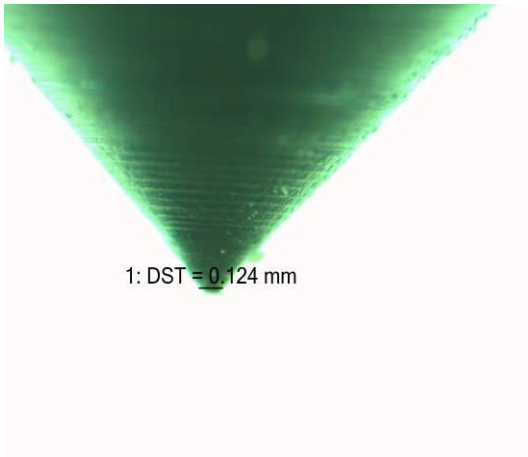




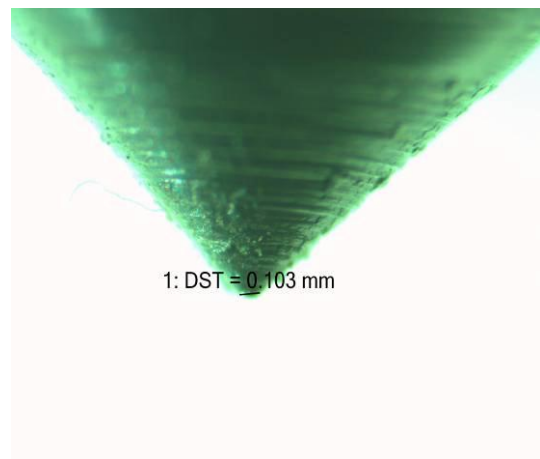
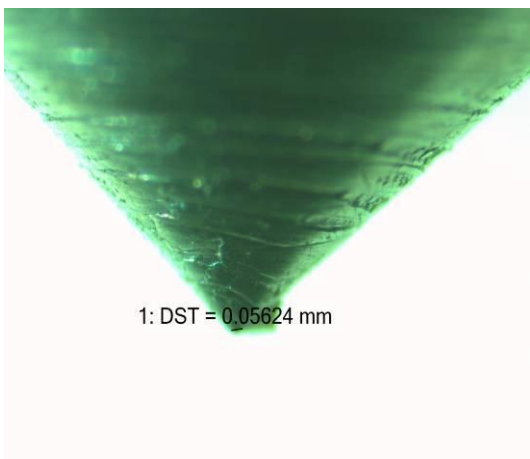
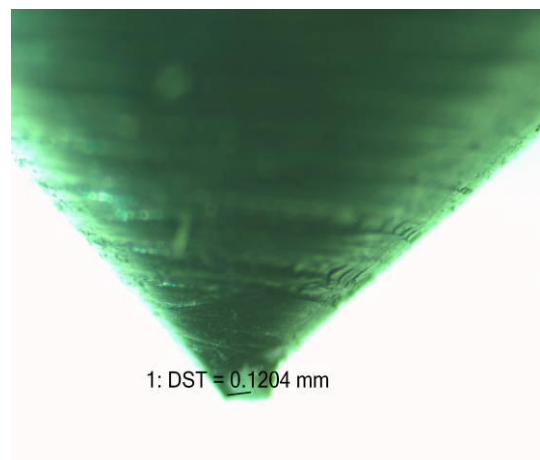
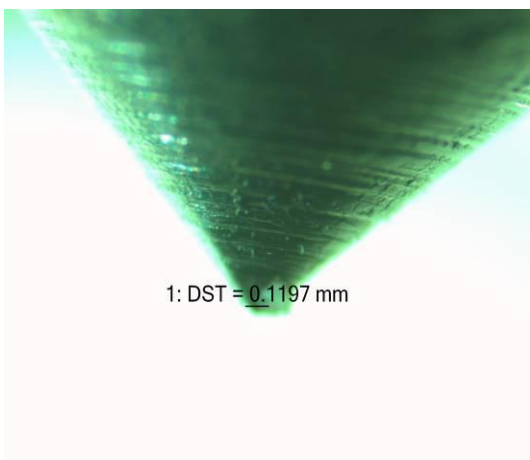
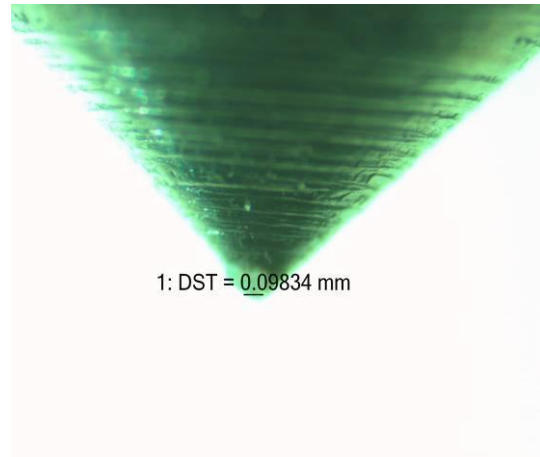
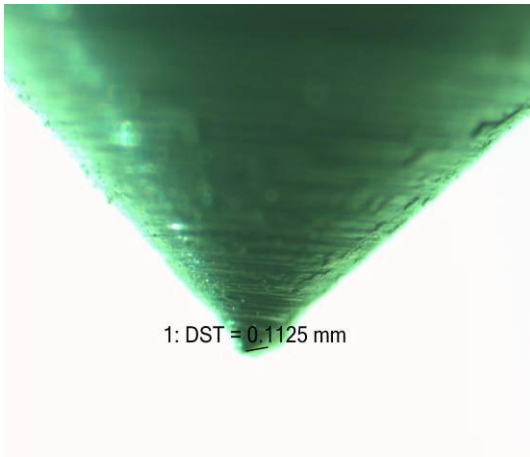


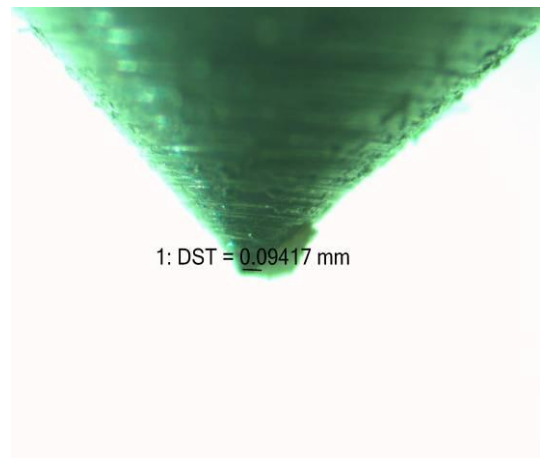
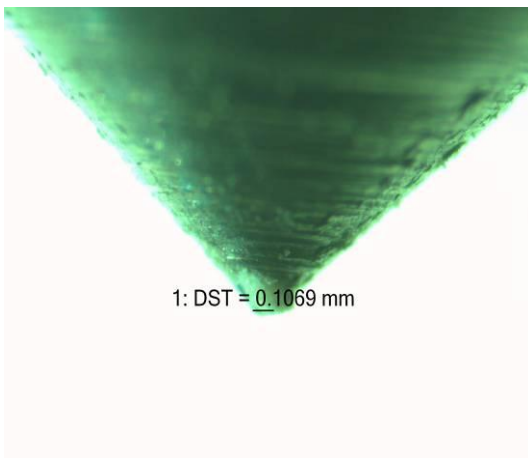
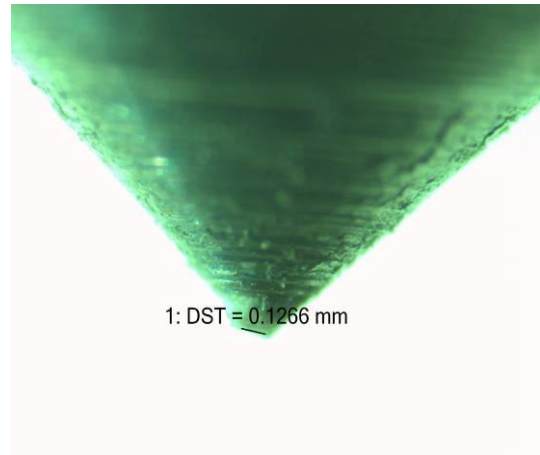
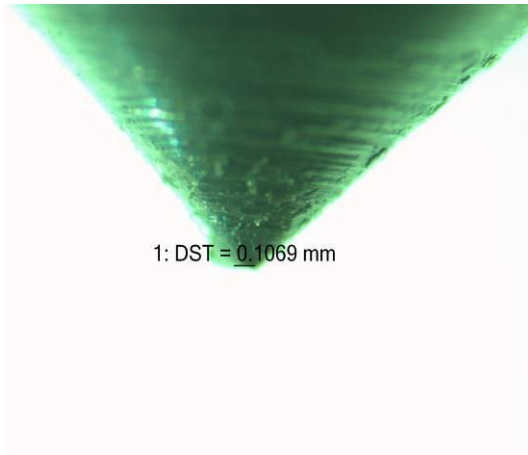
Δοκίμιο_3



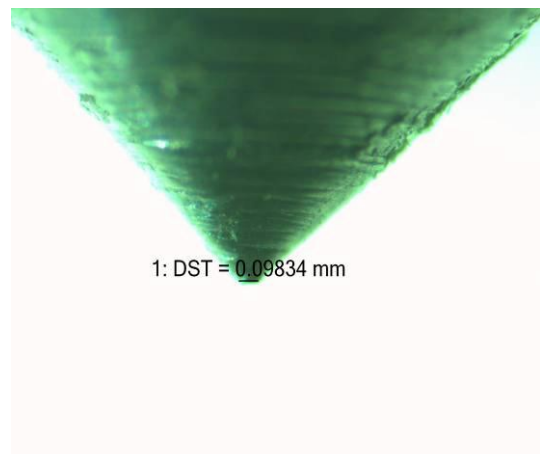
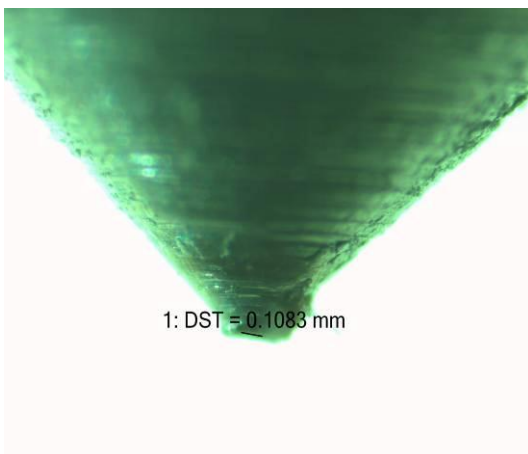


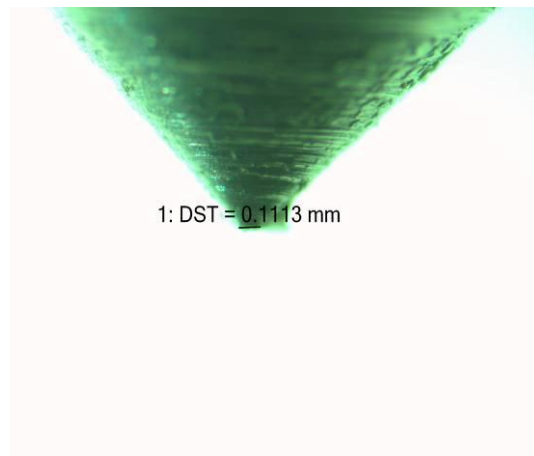
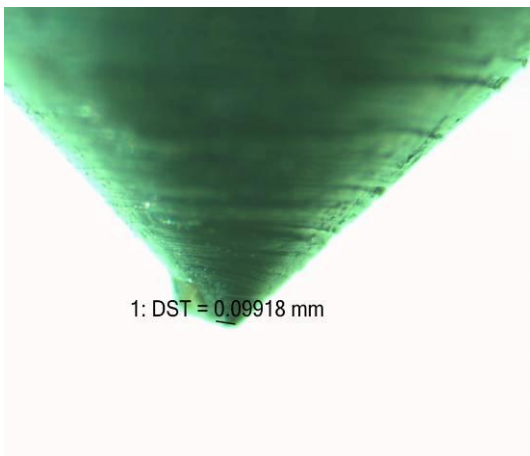
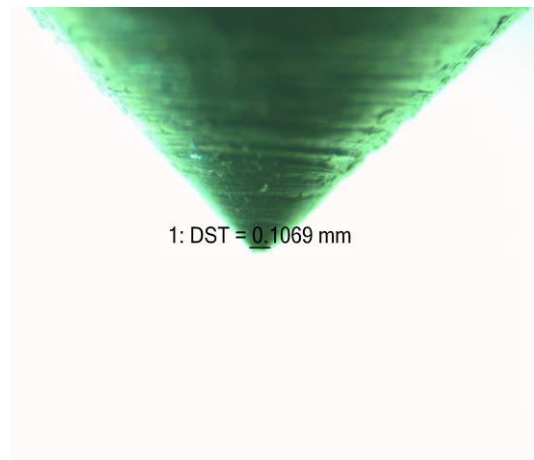
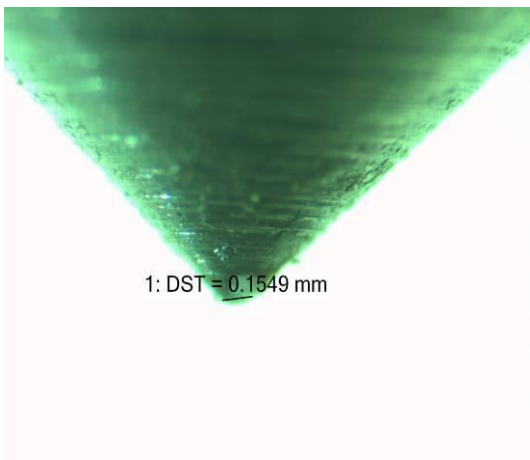
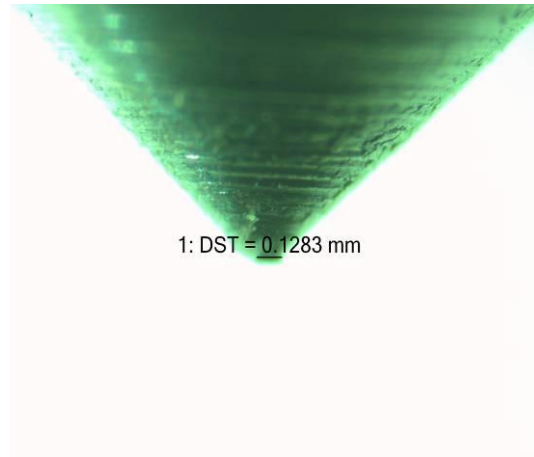
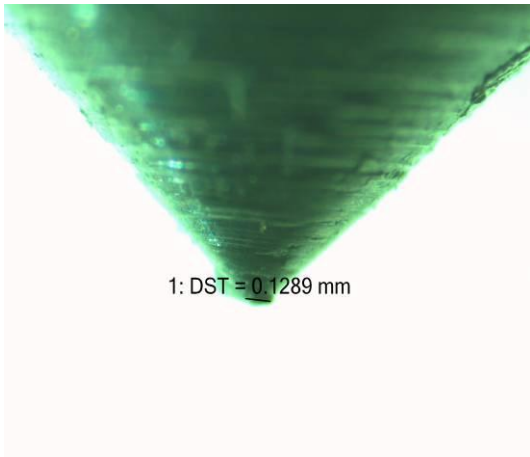
Δοκιμή_4

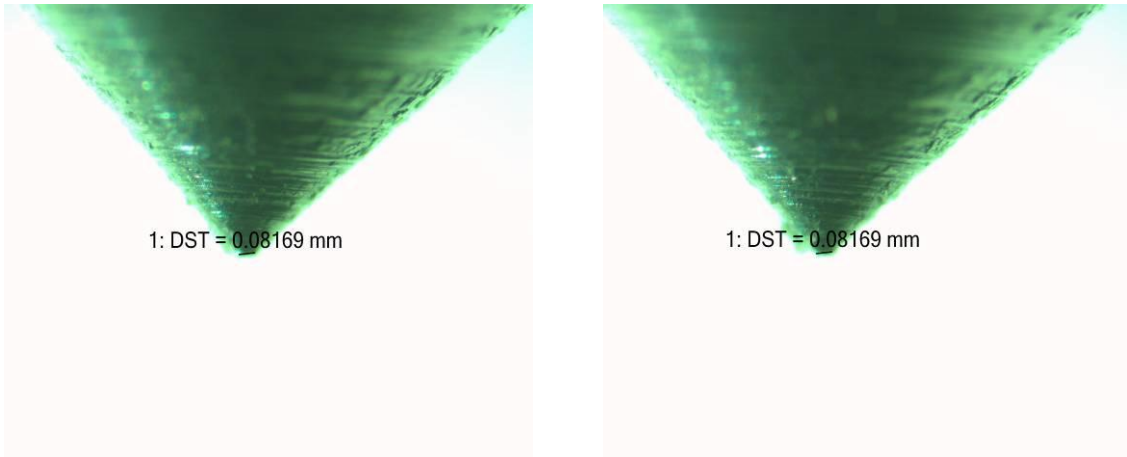




Δοκίμιο_5

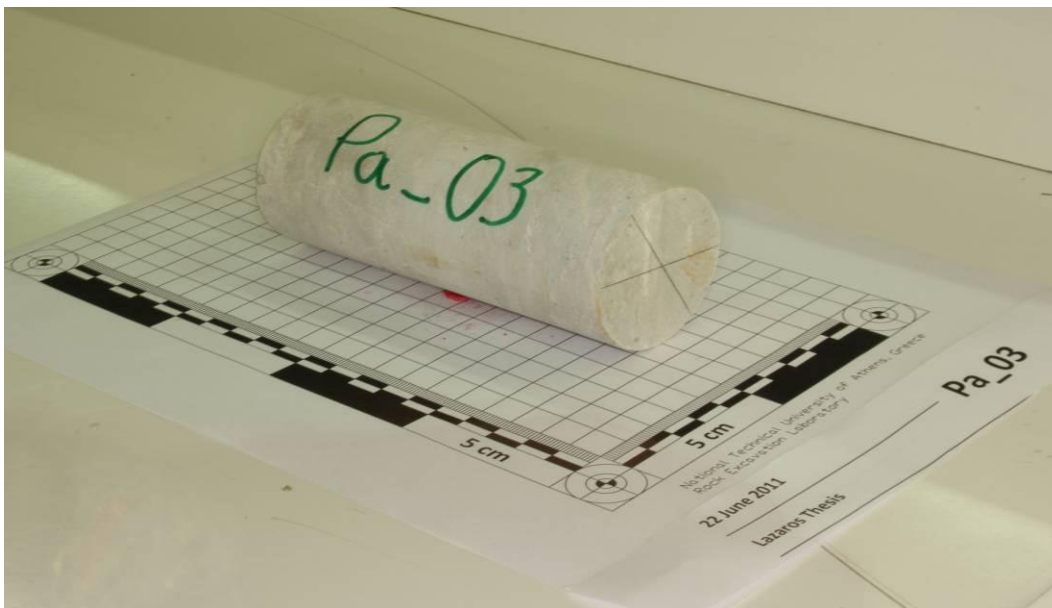
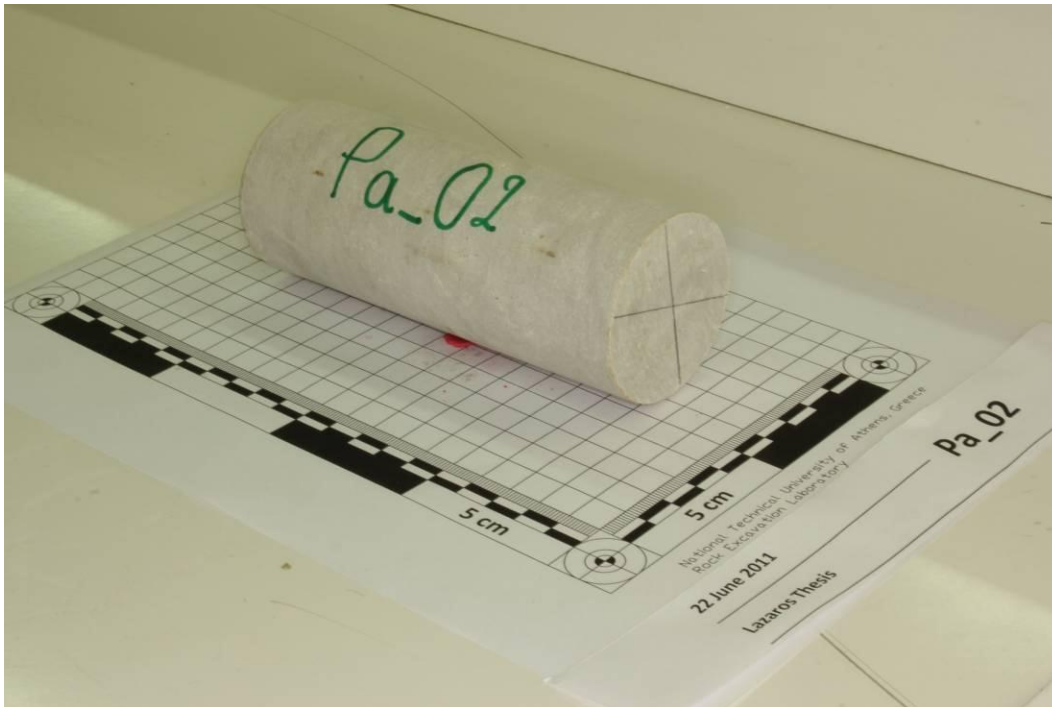


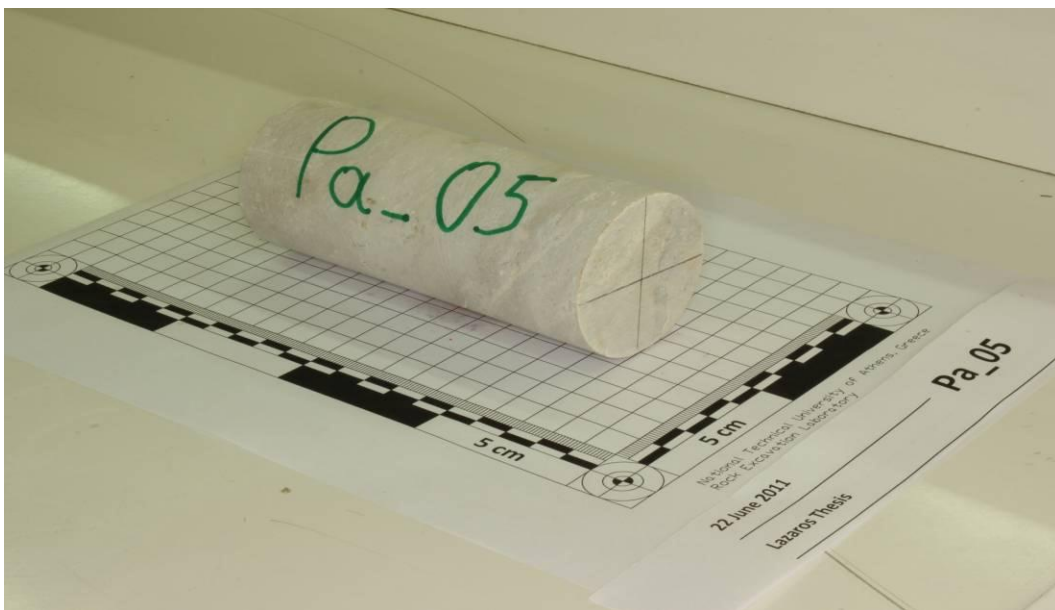


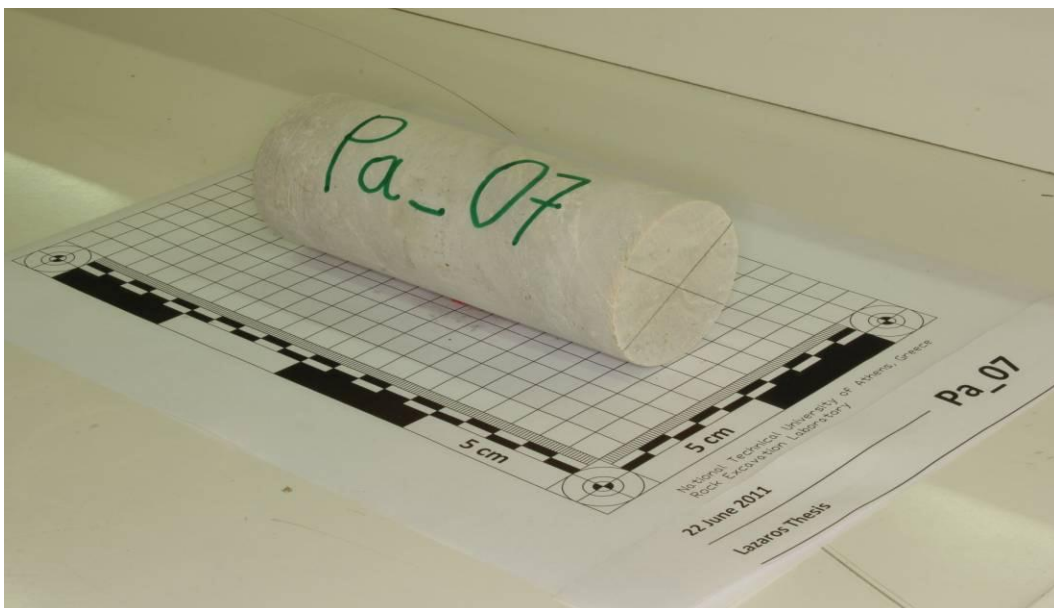


Δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν στο εργαστήριο

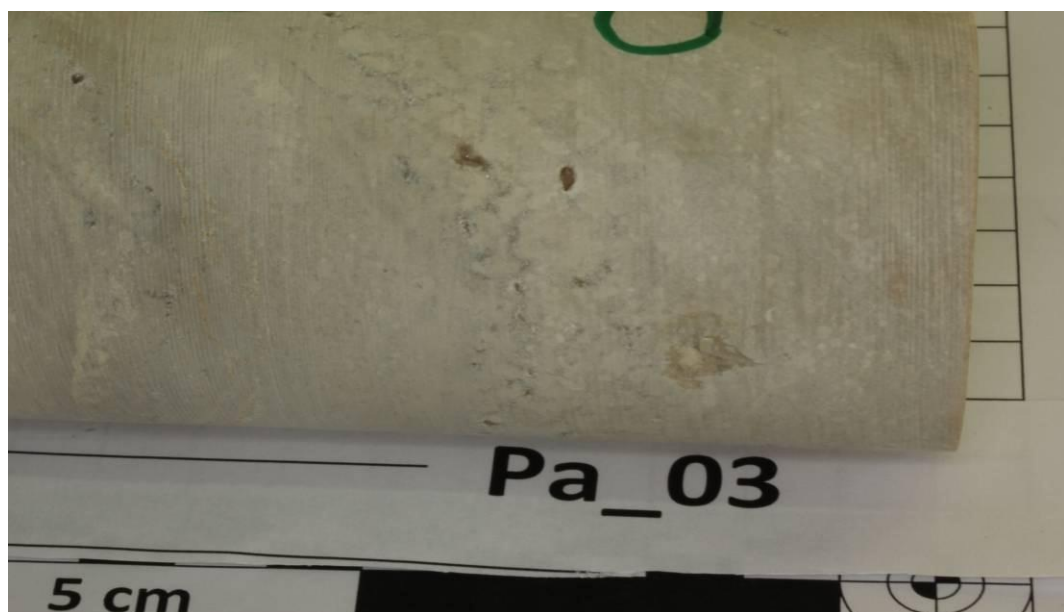
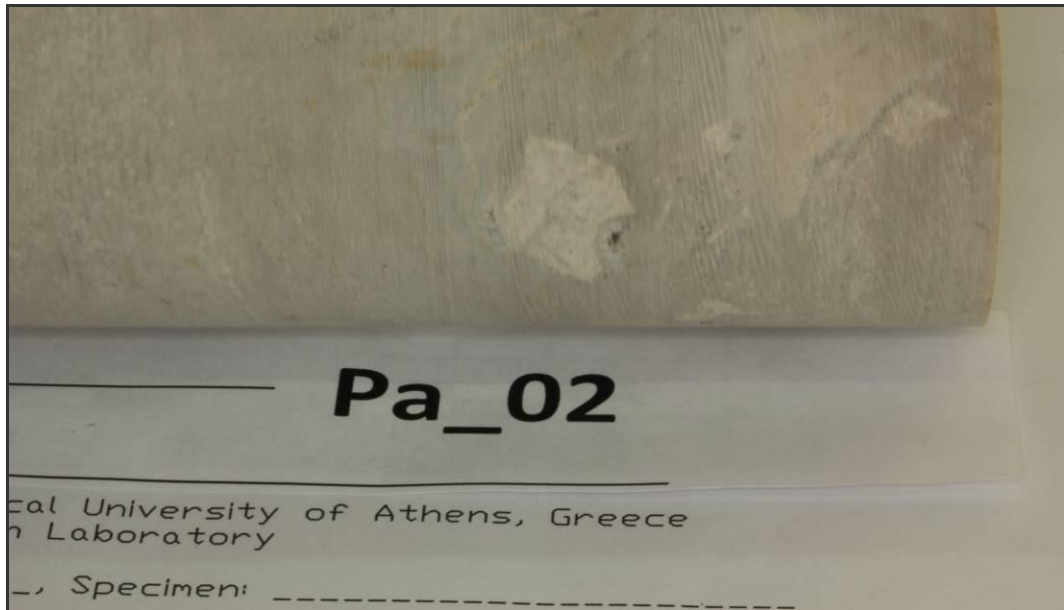


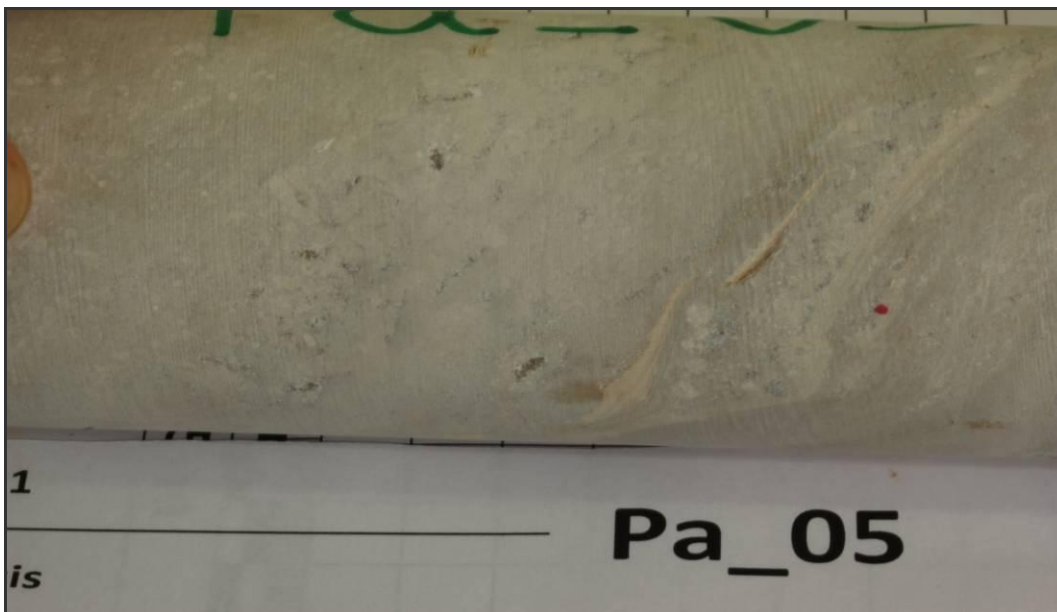
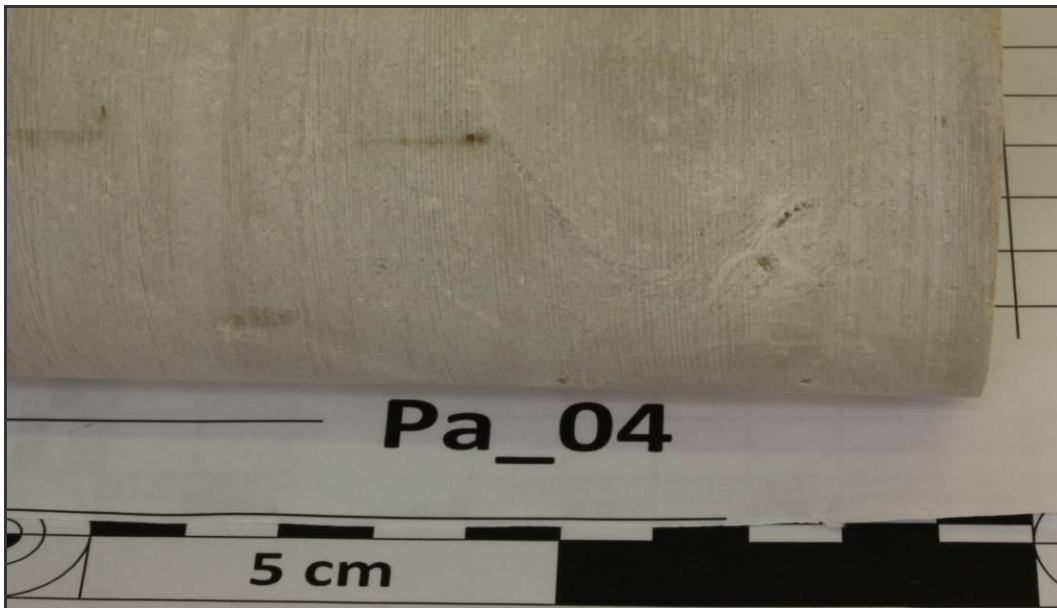


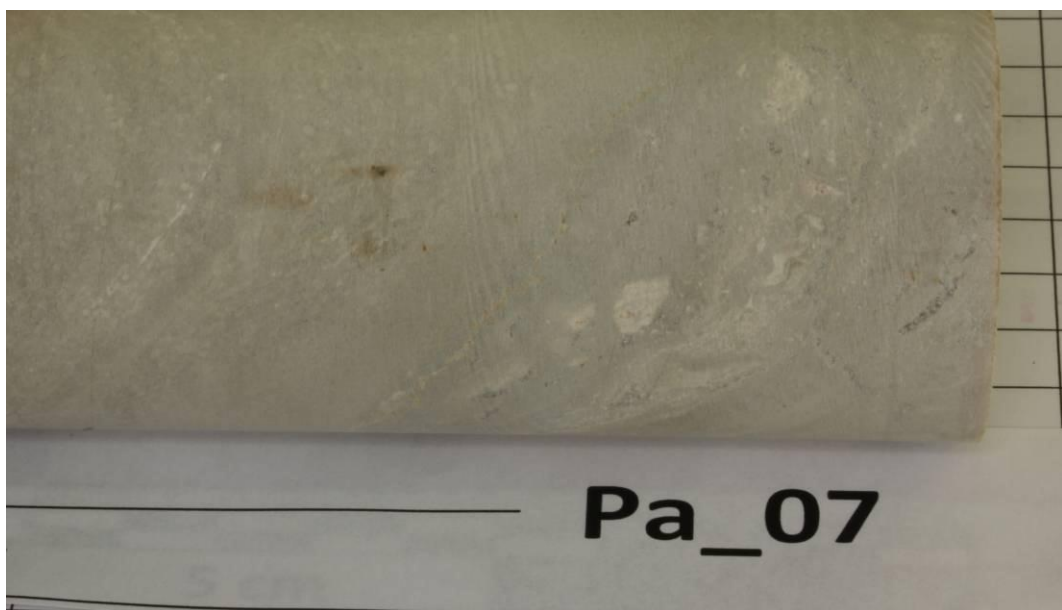
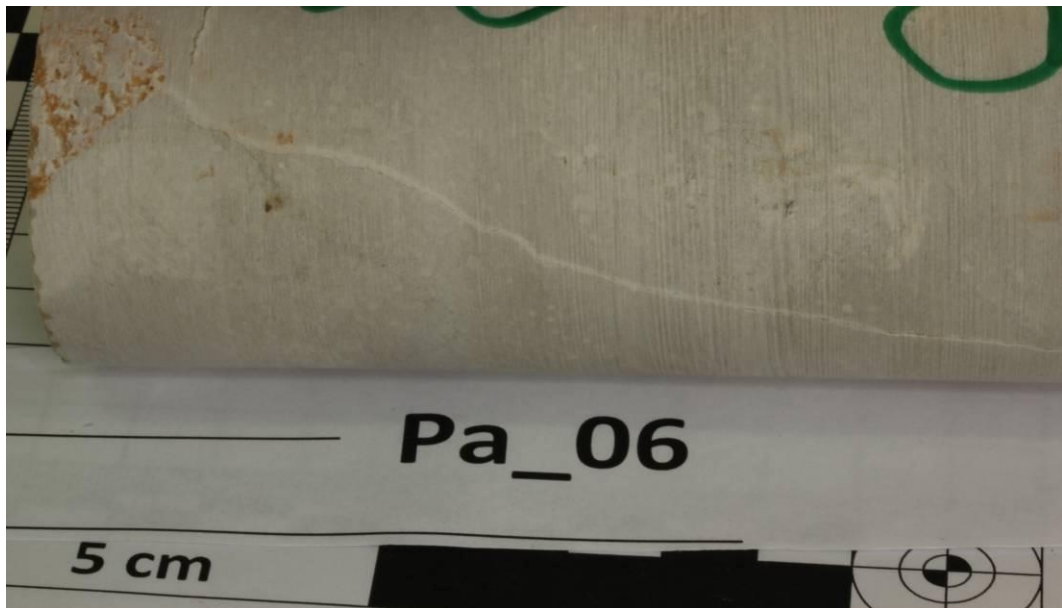




Ατέλειες που εντοπίστηκαν στα χρησιμοποιούμενα δοκίμια





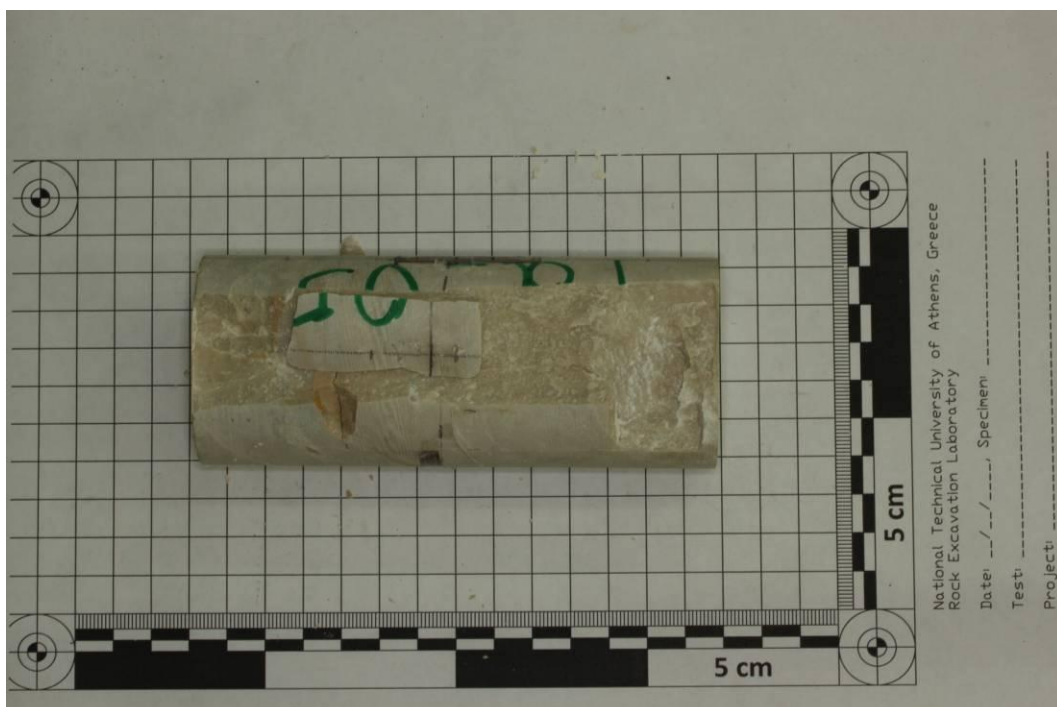


Δοκίμια που αστόχησαν στη δοκιμή μονοαξονικής θλίψης (UCS)

Δοκίμιο Pa_03



Δοκίμιο Pa_05



Δοκίμιο Pa_06

