



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΚΙΣΣΗΡΙΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΓΥΑΛΙ ΜΕ SURFACE MINER

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Ευστράτιου Γ. Κυρίτση

Επιβλέπων: Θεόδωρος Μιχαλακόπουλος

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΚΙΣΣΗΡΙΣ
ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΓΥΑΛΙ ΜΕ SURFACE MINER

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Ευστράτιου Γ. Κυρίτση

Επιβλέπων: Θεόδωρος Μιχαλακόπουλος

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις:

24 Ιουλίου 2015

Θ. Μιχαλακόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Γ. Παναγιώτου, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Μ. Μεναγάκη, Επίκουρος Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2015

.....

Ευστράτιος Γ. Κυρίτσης

Διπλωματούχος Μηχανικός Μεταλλείων – Μεταλλουργός Ε.Μ.Π.

Copyright © Ευστράτιος Γ. Κυρίτσης, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	iii
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	v
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	ix
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	xi
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	xii
ABSTRACT	xiii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
1.1 ΕΞΕΛΙΞΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ.....	2
1.2 ΣΚΟΠΟΣ.....	3
1.3 ΕΡΕΥΝΑ	3
1.4 ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	4
1.5 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	6
2. ΕΞΟΡΥΞΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	7
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΟΡΥΞΗ	7
2.1.1 Προϋποθέσεις για επιτυχή εξόρυξη.....	9
2.2 ΕΞΟΡΥΞΗ ΜΕ ΕΚΡΗΚΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ	11
2.2.1 Μηχανισμός θραύσης πετρώματος με εκρηκτικές ύλες.....	11
2.3 ΕΞΟΡΥΞΗ ΜΕ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΕΣΑ	13
2.3.1 Χαρακτηριστικά του προς εξόρυξη πετρώματος	13
2.3.2 Χαρακτηριστικά του εξορυγμένου πετρώματος	14
2.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΞΟΡΥΞΙΜΟΤΗΤΑΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ	15
2.4.1 Κριτήρια εξορυξιμότητας πετρωμάτων	16
2.5 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΦΘΟΡΑΣ ΤΩΝ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΝ ΚΥΚΛΟ ΕΞΟΡΥΞΗΣ.....	21
2.5.1 Αιτίες φθοράς κοπτικών	22
2.6 ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ.....	24
2.7 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΕΝΑΝΤΙ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ	25
2.7.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υπαίθριας έναντι υπόγειας εκμετάλλευσης.....	27
2.8 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΝ	28
2.9 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ.....	29

2.10 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΟΡΘΕΣ ΒΑΘΜΙΔΕΣ.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	39
3. WIRTGEN SURFACE MINERS	40
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	40
3.1.1 Απλοποίηση εξορυκτικής διαδικασίας.....	41
3.1.2 Εξόρυξη και θραύση χωρίς τη χρήση εκρηκτικών.....	41
3.1.3 Εκλεκτική εξόρυξη.....	42
3.1.4 Εκσκαφή τάφρων, επιχωμάτων και επίπεδων επιφανειών	43
3.1.5 Διαμόρφωση δαπέδων υπόγειων στοών.....	43
3.1.6 Αποκατάσταση οδών.....	44
3.2 ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	45
3.2.1 Χαρακτηριστικά μηχανήματος.....	47
3.2.2 Ρύθμιση βάθους κοπής.....	49
3.2.3 Διεύθυνση Πορείας	50
3.3 ΤΥΜΠΑΝΟ ΚΑΙ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΚΟΠΗΣ	51
3.3.1 Χαρακτηριστικά τυμπάνου	53
3.3.2 Κοπτικά εργαλεία.....	54
3.4 ΕΠΙΔΟΣΗ ΚΟΠΗΣ.....	55
3.5 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ ΕΞΟΡΥΓΜΕΝΟΥ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ.....	56
3.6 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ	58
3.6.1 Εκλεκτική εξόρυξη.....	59
3.6.2 Χαρακτηριστικά λειτουργίας μηχανημάτων	60
3.6.3 Μέθοδοι εκμετάλλευσης	61
3.6.4 Διεύθυνση και επανατοποθέτηση μηχανήματος	67
3.7 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΞΟΡΥΓΜΕΝΟΥ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ.....	74
3.7.1 Άμεση φόρτωση υλικού	74
3.7.2 Επιτόπου απόθεση υλικού.....	78
3.7.3 Μεταφορά υλικού ανάλογα με τον τύπο φόρτωσης.....	81
3.8 ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ	84
3.8.1 Διαμόρφωση κεκλιμένων κάθετα ή παράλληλα στη διεύθυνση κοπής	85
3.8.2 Μίγμα υλικών διαφορετικών χαρακτηριστικών.....	87
3.8.3 Εκλεκτική εξόρυξη σε κεκλιμένα ή κατακόρυφα στρώματα	88
3.9 ΚΑΤΑΣΤΟΛΗ ΣΚΟΝΗΣ	91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	93

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΝΗΣΟ ΓΥΑΛΙ.....	94
4.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΓΥΑΛΙ.....	95
4.3 ΟΡΥΧΕΙΟ ΚΙΣΣΗΡΙΣ ΤΗΣ ΛΑΒΑ Α.Ε.	97
4.3.1 Μέθοδος εκμετάλλευσης και δυναμικότητα παραγωγής	97
4.3.2 Χαρακτηριστικά και χρήσεις κίσσηρις	99
4.4 ΧΡΗΣΗ SURFACE MINER ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΟΡΥΞΗ ΣΤΟ ΟΡΥΧΕΙΟ ΓΥΑΛΙΟΥ.....	101
4.5 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ	105
4.5.1 Δοκιμή αποξεστικότητας κατά Cerchar	105
4.5.2 Δοκιμή αντοχής σε σημειακή φόρτιση.....	111
4.5.3 Έμμεσος προσδιορισμός αντοχής πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη	122
4.6. ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΙΣΕΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ.....	124
4.7. ΕΞΟΡΥΞΙΜΟΤΗΤΑ ΚΙΣΣΗΡΙΣ ΜΕ SURFACE MINER.....	137
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	141
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	142
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	144
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1	146
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2.....	150

ΛΙΣΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 2. 1. Επιλογή μεθόδου εξόρυξης βάση αντοχής σε μονοαξονική θλίψη και μέσης απόστασης μεταξύ ασυνεχειών. Παναγιώτου (2006).....	8
Διάγραμμα 2. 2. Κοκκομετρία εξορυγμένου και in situ πετρώματος. Παναγιώτου (2006)..	9
Διάγραμμα 2. 3. Μεταφορά ενέργειας εκρηκτικών υλών και μηχανημάτων εξόρυξης στη μάζα του πετρώματος.	10
Διάγραμμα 2. 4. Άρρηκτο πέτρωμα και συστήματα ασυνεχειών βραχομάζας.	14
Διάγραμμα 2. 5. Εξορυξιμότητα πετρωμάτων κατά Franklin. Κλίμακα αξόνων: VL = πολύ μικρός, L = μικρός, M = μέσος, H = υψηλός, VH = πολύ υψηλός, EH = εξαιρετικά υψηλός. Παναγιώτου (2006).	16
Διάγραμμα 2. 6 Δυνατότητα εξόρυξης των πετρωμάτων με διάφορους τύπους μηχανημάτων,.....	17
Διάγραμμα 2. 7. Εκτίμηση της εξορυξιμότητας των πετρωμάτων βάση σεισμικών μεθόδων. (Caterpillar).	18

Διάγραμμα 2. 8. Μέθοδος εξόρυξης πετρώματος βάση της αντοχής του σε σημειακή φόρτιση και απόστασης ασυνεχειών κατά Pettifer και Fookes (1994).	20
Διάγραμμα 2. 9. Μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης ενέργειας εκσκαφής συναρτήσει της φθοράς των κοπτικών εργαλείων. Παναγιώτου (2006).	21
Διάγραμμα 2. 10. Μεταβολή της απόδοσης μηχανήματος εξόρυξης (καδοφόρου εκσκαφέα) συναρτήσει της φθοράς των κοπτικών εργαλείων των κάδων. Παναγιώτου (2006)	22
Διάγραμμα 2. 11. Επίδραση της επίπεδης επιφάνειας φθοράς του κοπτικού εργαλείου στην δύναμη κοπής. Παναγιώτου (2006).....	23
Διάγραμμα 2. 12. Σχέση κόστους-βάθους που καθορίζει τον τρόπο εκμετάλλευσης. Μενεγάκη (2010).....	27
Διάγραμμα 3. 1. Φθορά κοπτικών εργαλείων σε συνάρτηση με τη δομή του πετρώματος και την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη. Wirtgen (2010).	55
Διάγραμμα 3. 2. Κοκκομετρικές καμπύλες εξορυγμένου με surface miner ασβεστολίθου. Wirtgen (2010).	57
Διάγραμμα 3. 3. Αναμενόμενες απώλειες και προσμίξεις. Wirtgen (2010).....	59
Διάγραμμα 4. 1. Εξόρυξη πετρωμάτων με surface miner συναρτήσει της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη. Wirtgen (2010).	103
Διάγραμμα 4. 2. Αναμενόμενος ρυθμός εξόρυξης σε συνάρτηση με την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη. Wirtgen (2010).	104
Διάγραμμα 4. 3. Αναμενόμενη κατανάλωση κοπτικών συναρτήσει της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη. Wirtgen (2010).	104
Διάγραμμα 4. 4. Διάγραμμα συσχέτισης φορτίου και D_e^2 . ISRM (1985).	120
Διάγραμμα 4. 5. Διάγραμμα συντελεστή διόρθωσης μεγέθους F. ISRM (1985).....	121
Διάγραμμα 4. 6. Κατανομή φορτίων αστοχίας.....	132
Διάγραμμα 4. 7. Κατανομή τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη.	135
Διάγραμμα 4. 8. Εξορυξιμότητα πετρωμάτων με surface miner. Wirtgen (2010).....	138
Διάγραμμα 4. 9. Αναμενόμενος ρυθμός εξόρυξης. Wirtgen (2010).	139
Διάγραμμα 4. 10. Αναμενόμενη ειδική κατανάλωση κοπτικών. Wirtgen (2010).....	140

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2. 1. Δράση μηχανισμού εξόρυξης με εκρηκτικές ύλες. Παναγιώτου (2006).	12
Εικόνα 2. 2. Εμφάνιση κοιτάσματος κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Η υπαίθρια εκμετάλλευση κρίνεται κατάλληλη. Μενεγάκη (2010).....	26
Εικόνα 2. 3. Εμφάνιση κοιτάσματος σε μεγάλο βάθος. Η υπόγεια εκμετάλλευση κρίνεται κατάλληλη. Μενεγάκη (2010).....	26
Εικόνα 2. 4. Η επιλογή μεθόδου εκμετάλλευσης στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν είναι εμφανής. Επομένως λαμβάνονται υπόψη για την τελική απόφαση οικονομικά κριτήρια. Μενεγάκη (2010).....	26
Εικόνα 2. 5. Περιορισμός οπτικής ρύπανσης με κατάλληλη επιλογή προσανατολισμού της εκμετάλλευσης. Μενεγάκη (2010)	33
Εικόνα 2. 6. Φυσικό ανάγλυφο περιοχής. Μενεγάκη (2010).....	33
Εικόνα 2. 7. Σχεδιασμός χωρίς την υιοθέτηση των γραμμών του φυσικού ανάγλυφου (έντονη οπτική ρύπανση). Μενεγάκη (2010)	34
Εικόνα 2. 8. Σχεδιασμός με υιοθέτηση των γραμμών του φυσικού ανάγλυφου (περιορισμός της οπτικής ρύπανσης). Μενεγάκη (2010).....	34
Εικόνα 2. 9. Σχεδιασμός προσπελαστικής οδού. Η σωστή χάραξη της επιτρέπει τον περιορισμό της οπτικής ρύπανσης. Μενεγάκη (2010)	35
Εικόνα 2. 10. Χρήση αναχωμάτων για τον περιορισμό της οπτικής ρύπανσης. Μενεγάκη (2010)	36
Εικόνα 2. 11. Οπτική ρύπανση ανάλογα με το σχεδιασμό. (α) η εκμετάλλευση είναι έντονα ορατή, (β) η εκμετάλλευση αποκρύπτεται, (γ) η εκμετάλλευση αποκρύπτεται και περιορίζονται επιπλέον περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Μενεγάκη (2010)	37
Εικόνα 2.12. Εκμετάλλευση με ορθές βαθμίδες. (orykta.gr)	38
Εικόνα 3. 1. Πολυστρωματικό κοίτασμα λιγνίτη με εναλλαγή στρωμάτων λιγνίτη και άγονου υλικού. Wirtgen (2010).....	42
Εικόνα 3. 2. Εκσκαφή τάφρου με surface miner. Wirtgen (2010).....	43
Εικόνα 3. 3. Διαμόρφωση δαπέδου υπόγειας στοάς. Wirtgen (2010).....	44
Εικόνα 3. 4. Αποκατάσταση οδού σε υπόγειο ορυχείο. Wirtgen (2010).	44
Εικόνα 3. 5. Ο τρόπος λειτουργίας ενός surface miner. Wirtgen (2010).....	45
Εικόνα 3. 6. Η μετάδοση της κίνησης από τον κινητήρα στο τύμπανο κοπής. Wirtgen (2010).	46

Εικόνα 3. 7. Μέθοδος κοπής από κάτω προς τα πάνω (up-cutting). Wirtgen (2010).	47
Εικόνα 3. 8. Περιστρεφόμενη και υψομετρικά ρυθμιζόμενη μεταφορική ταινία φόρτωσης. Wirtgen (2010).	48
Εικόνα 3. 9. Χαρακτηριστικά του μηχανήματος SM 2200, με τη μεταφορική ταινία τοποθετημένη στην πρόσθια πλευρά του. Wirtgen (2010).	49
Εικόνα 3. 10. Δυνατότητες διεύθυνσης του μηχανήματος. Wirtgen (2010).	51
Εικόνα 3. 11. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την κοπή. Wirtgen (2010).	52
Εικόνα 3. 12. Απόδοση κοπής και μέγεθος υλικού, ανάλογα με το τύμπανο κοπής. Wirtgen (2010).	53
Εικόνα 3. 13. Κοπτικό εργαλείο σημειακής προσβολής διαμέτρου 38 mm. Wirtgen (2010).	54
Εικόνα 3. 14. Εξόρυξη λεπτών στρωμάτων εδάφους. Wirtgen (2010).	58
Εικόνα 3. 15. Διαδοχικές συνεχείς κοπές σε εκμετάλλευση κλειστής εκσκαφής. Wirtgen (2010).	62
Εικόνα 3. 16. Πλάνο εργασιών χωρίς κοπή κατά την αναστροφή του μηχανήματος. Wirtgen (2010).	63
Εικόνα 3. 17. Διαμήκης εξόρυξη ορθής βαθμίδας. Wirtgen (2010).	64
Εικόνα 3. 18. Εγκάρσια εξόρυξη ορθής βαθμίδας. Wirtgen (2010).	65
Εικόνα 3. 19. Πλάνο εργασιών εγκάρσιας εξόρυξης ορθής βαθμίδας. Wirtgen (2010).	66
Εικόνα 3. 20. Προστατευτικό ανάχωμα. Wirtgen (2010).	66
Εικόνα 3. 21. Εξόρυξη σε προϋπάρχουσες βαθμίδες. Wirtgen (2010).	67
Εικόνα 3. 22. Αναστροφή σε μεγάλη επιφάνεια εργασιών. Wirtgen (2010).	68
Εικόνα 3. 23. Ακολουθία κοπών κατά την εκτέλεση εργασιών σε μεγάλη επιφάνεια. Wirtgen (2010).	69
Εικόνα 3. 24. Κάθετες κοπές με εξόρυξη κατά τη στροφή. Wirtgen (2010).	70
Εικόνα 3. 25. Κάθετες κοπές με ελιγμό χωρίς εξόρυξη. Wirtgen (2010).	70
Εικόνα 3. 26. Αναστροφή σε χώρους μεσαίου πλάτους. Wirtgen (2010).	71
Εικόνα 3. 27. Πρώτος τρόπος αναστροφής σε χώρους μεσαίου πλάτους. Wirtgen (2010).	72
Εικόνα 3. 28. Ελιγμοί σε χώρους μεσαίου πλάτους. Wirtgen (2010).	72
Εικόνα 3. 29. Κοπή προς μία μόνο κατεύθυνση. Wirtgen (2010).	73
Εικόνα 3. 30. Άμεση φόρτωση φορτηγού μπροστά από το surface miner. Wirtgen (2010).	75
Εικόνα 3. 31. Άμεση φόρτωση υλικού πλευρικά. Wirtgen (2010).	75
Εικόνα 3. 32. Άμεση φόρτωση υλικού. Wirtgen (2010).	76

Εικόνα 3. 33. Άμεση φόρτωση υλικού. Wirtgen (2010).	76
Εικόνα 3. 34. Παράλληλη κίνηση φορτηγών πριν την αλλαγή. Wirtgen (2010).	77
Εικόνα 3. 35. Παράλληλη κίνηση φορτωτών αμέσως μετά την αλλαγή. Wirtgen (2010)..	77
Εικόνα 3. 36. Πλευρική απόθεση υλικού σε σωρούς. Wirtgen (2010).	79
Εικόνα 3. 37. Κεντρική απόθεση υλικού. Wirtgen (2010).	80
Εικόνα 3. 38. Απόληψη υλικού. Wirtgen (2010).	81
Εικόνα 3. 39. Φόρτωση σε φορτηγό με φορτωτή. Wirtgen (2010).	81
Εικόνα 3. 40. Διαχείριση υλικού μετά από άμεση φόρτωση. Wirtgen (2010).	82
Εικόνα 3. 41. Διαχείριση υλικού έπειτα από κεντρική απόθεσή του. Wirtgen (2010).	83
Εικόνα 3. 42. Διαχείριση υλικού έπειτα από πλευρική απόθεσή του. Wirtgen (2010).	84
Εικόνα 3. 43. Διαμόρφωση κεκλιμένου πρόσβασης με εκκίνηση από το υψηλότερο σημείο. Wirtgen (2010).	85
Εικόνα 3. 44. Λειτουργία μηχανήματος σε κεκλιμένες επιφάνειες. Wirtgen (2010).	86
Εικόνα 3. 45. Κοπή με κλίση κάθετη στη διεύθυνση εργασιών. Wirtgen (2010).	87
Εικόνα 3. 46. Κοπή πετρώματος και μίξη υλικών σε κεκλιμένη επιφάνεια. Wirtgen (2010).	88
Εικόνα 3. 47. Εξόρυξη σε στρώματα με μικρή κλίση. Wirtgen (2010).	89
Εικόνα 3. 48. Εξόρυξη πολυστρωματικών κεκλιμένων κοιτασμάτων σχετικά μικρού πάχους. Wirtgen (2010).	89
Εικόνα 3. 49. Εξόρυξη πολυστρωματικών κεκλιμένων στρωμάτων μεγάλου πάχους. Wirtgen (2010).	90
Εικόνα 3. 50. Όψη χώρου εργασίας κατά την πραγματοποίηση κοπής με κεντρική απόθεση. Wirtgen (2010).	90
Εικόνα 3. 51. Συστήματα ψεκασμού σε ένα surface miner. Wirtgen (2010).	91
Εικόνα 4. 1. Αεροφωτογραφία Νήσου Γυαλί. (flickr.com).....	94
Εικόνα 4. 2. Στρωματογραφία Νοτιοδυτικού τμήματος. ΛΑΒΑ Α.Ε.	96
Εικόνα 4. 3. Αεροφωτογραφία του ορυχείου κίσηρις της ΛΑΒΑ ΑΕ. (portbook.gr).....	97
Εικόνα 4. 4. Εγκατάσταση φόρτωσης φορτηγών πλοίων. ΛΑΒΑ ΑΕ.....	98
Εικόνα 4. 5. Τύποι συσκευών για τη δοκιμή αποξεστικότητας κατά Cerchar. Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η πρωτότυπη συσκευή Cerchar και στη δεξιά εικόνα η τροποποιημένη συσκευή West. (1) φορτίο, (2) διάταξη συγκράτησης ακίδα, (3) ακίδα, (4)	

δοκίμιο πετρώματος, (5) μέγγενη συγκράτησης δοκιμίου, (6) μοχλός (για τη συσκευή Cerchar), χειροτροχός (για τη συσκευή West). ISRM (2014).....	106
Εικόνα 4. 6. Πλευρική και κατακόρυφη μέτρηση φθοράς ακίδας. ISRM (2014).....	108
Εικόνα 4. 7. (a) Πραγματική φθορά ακίδας σε πλάγια όψη. (b) Εσφαλμένη μέτρηση φθοράς. ISRM (2014).....	109
Εικόνα 4. 8. (a), (b) Αποδεκτή φθορά ακίδας. (c) όταν η ακίδα φθείρεται κατά αυτόν τον τρόπο, η μέτρηση της επιφάνειας φθοράς της δεν είναι εφικτή. ISRM (2014).	109
Εικόνα 4. 9. Κωνική αιχμή άσκησης φορτίου. ISRM (1985).	113
Εικόνα 4. 10 Διαστάσεις δοκιμίου για την εκτέλεση διαμετρική δοκιμής. ISRM (1985).115	
Εικόνα 4. 11. Τρόποι αστοχίας δοκιμίου. ISRM (1985).	116
Εικόνα 4. 12. Διαστάσεις δοκιμίου για την εκτέλεση αξονικής δοκιμής. ISRM (1985). .	117
Εικόνα 4. 13. Διαστάσεις ορθογωνικού ή ακανόνιστου δοκιμίου. ISRM (1985).	118
Εικόνα 4. 14. Χαρακτηριστική μορφή δειγμάτων κίσσηρις.	124
Εικόνα 4. 15. Αστοχία δοκιμίου Νο. 2 σε σημειακή φόρτιση.....	127
Εικόνα 4. 16. Αστοχία δοκιμίου Νο. 10 σε σημειακή φόρτιση.....	128
Εικόνα 4. 17. Όψη δοκιμίου μετά την εκτέλεση της δοκιμής αποξεστικότητας κατά Cerchar.....	136
Εικόνα Π. 1. Δοκίμια 1-12.....	151
Εικόνα Π. 2. Δοκίμια 13-32.....	152
Εικόνα Π. 3. Δοκίμια 33-51.....	153

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2. 1. Βαθμονόμηση των παραμέτρων του Δείκτη Εξορυξιμότητας κατά Muftuoğlu (1983) και Scoble (1984). Παναγιώτου (2006).....	19
Πίνακας 2. 2. Κατάταξη των πετρωμάτων ανάλογα με την ευκολία εξόρυξής τους με βάση τον.....	19
Πίνακας 3. 1. Χρήσεις Wirtgen surface miner. Wirtgen (2010).	41
Πίνακας 3. 2. Ελάχιστες ακτίνες στροφής ανάλογα με το βάθος κοπής. Wirtgen (2010). .	60
Πίνακας 3. 3. Τρόποι φόρτωσης υλικού. Wirtgen (2010).	74
Πίνακας 4. 1. Κοκκομετρική διαβάθμιση προϊόντων της ΛΑΒΑ ΑΕ.....	99
Πίνακας 4. 2. Χημική σύσταση κίσηρις της νήσου Γυαλί.	100
Πίνακας 4. 3. Κατάταξη αποξεστικότητας βάση του δείκτη CAI. ISRM (2014).	111
Πίνακας 4. 4. Συντελεστές έμμεσου προσδιορισμού αντοχής σε μονοαξονική θλίψη. Singh et al (2012).....	123
Πίνακας 4. 5. Συντελεστής μετατροπής για διάφορα πετρώματα. Singh et al (2012).	123
Πίνακας 4. 6. Αποτελέσματα δοκιμών αντοχής σε σημειακή φόρτιση για τα δοκίμια 1 – 17.	129
Πίνακας 4. 7. Αποτελέσματα δοκιμών αντοχής σε σημειακή φόρτιση για τα δοκίμια 18 – 34.	130
Πίνακας 4. 8. Αποτελέσματα δοκιμών αντοχής σε σημειακή φόρτιση για τα δοκίμια 35 – 51.	131
Πίνακας 4. 9. Μέσες τιμές αποτελεσμάτων δοκιμών αντοχής σε σημειακή φόρτιση ανά ομάδα δοκιμών.	132
Πίνακας 4. 10. Ταξινόμηση αντοχής πετρωμάτων βάση δείκτη $I_{s(50)}$. Bieniawski (1975).	133
Πίνακας 4. 11. Έμμεσος προσδιορισμός αντοχής σε μονοαξονική θλίψη.	134
Πίνακας 4. 12. Μέση τιμή αντοχής σε μονοαξονική θλίψη ανά ομάδα δοκιμών.	135
Πίνακας Π. 1. Διαστάσεις W των δοκιμών 1-17.....	147
Πίνακας Π. 2. Διαστάσεις W των δοκιμών 18-34.....	147
Πίνακας Π. 3. Διαστάσεις W των δοκιμών 35-51.....	148

Πίνακας Π. 4. Διαστάσεις D των δοκιμίων 1-17.....	148
Πίνακας Π. 5. Διαστάσεις D των δοκιμίων 18-34.....	149
Πίνακας Π. 6. Διαστάσεις D των δοκιμίων 35-51.....	149

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Εξόρυξης Πετρωμάτων και στο πλαίσιο του μαθήματος «Εξόρυξη Πετρωμάτων II – Εξόρυξη με μηχανικά μέσα» του 8^{ου} εξαμήνου της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ).

Προτού ξεκινήσει η παρουσίαση της διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα κ. Θεόδωρο Μιχαλακόπουλο, Επίκουρο Καθηγητή ΕΜΠ. Η καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, οι σημαντικές γνώσεις που μου μετέδωσε και το βιβλιογραφικό υλικό που μου παρείχε, βοήθησαν τα μέγιστα στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό του Εργαστηρίου Εξόρυξης Πετρωμάτων και ιδιαίτερα την κα. Μαρία Μπασσάνου, Δρ. Μηχανικό ΕΜΠ, για την πολύτιμη βοήθειά τους κατά την εκτέλεση των εργαστηριακών δοκιμών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την ΛΑΒΑ Α.Ε., που εκμεταλλεύεται το κοίτασμα ελαφρόπετρας στη Νήσο Γυαλί, για τη διάθεση των δειγμάτων, χωρίς τα οποία δεν θα ήταν δυνατή η εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, καθώς και τους εργαζόμενους σε αυτήν για τις πληροφορίες που μου παρείχαν όποτε αυτές ζητήθηκαν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Θέμα της διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση μέσω εργαστηριακών δοκιμών της δυνατότητας εξόρυξης κίσηρις (ελαφρόπετρας) της νήσου Γυαλί με surface miner. Η εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Εξόρυξης Πετρωμάτων της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Η εργασία αποτελείται από τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος παρουσιάζονται γενικές πληροφορίες για τις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις και την εξόρυξη πετρωμάτων με μηχανικά μέσα. Στο δεύτερο μέρος περιγράφονται οι surface miners του οίκου Wirtgen. Γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στις αρχές λειτουργίας τους, στα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά τους, στις εφαρμογές τους και, τέλος, παρουσιάζεται η επίδοση εξόρυξης των διαθέσιμων μηχανημάτων.

Στο τρίτο μέρος της εργασίας διερευνάται η δυνατότητα εξόρυξης κίσηρις με surface miners. Προς το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν πενήντα ένα δείγματα ελαφρόπετρας. Τα δείγματα διέθεσε η ΛΑΒΑ ΑΕ, η οποία εκμεταλλεύεται το σχετικό κοίτασμα στη νήσο Γυαλί. Προσδιορίστηκαν ο δείκτης σημειακής φόρτισης και ο δείκτης αποξεστικότητας κατά Cerchar. Στις δοκιμές εφαρμόστηκαν οι προτεινόμενες μέθοδοι της ISRM. Επίσης, με χρήση των αποτελεσμάτων της δοκιμής σημειακής φόρτισης υπολογίστηκε έμμεσα η αντοχή του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη.

Από τις δοκιμές προέκυψε ότι το πέτρωμα είναι χαμηλής αντοχής. Οι τιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη που προσδιορίστηκαν κυμαίνονται από 5.46 έως 43.60 MPa. Η μέση τιμή είναι 15.39 MPa και η τυπική απόκλιση 7.01 MPa. Στην κατανομή των τιμών, 93% είναι μικρότερες από 23 MPa.

Όσον αφορά στην αποξεστικότητα, κατά την εκτέλεση των δοκιμών δεν παρατηρήθηκε μετρήσιμη φθορά στις ακίδες. Επομένως, το πέτρωμα μπορεί να θεωρηθεί ως εξαιρετικά χαμηλής αποξεστικότητας.

Βάση των εργαστηριακών αποτελεσμάτων και των σχετικών διαγραμμάτων που παρέχει η Wirtgen, συμπεραίνεται ότι είναι δυνατή η οικονομικά αποδοτική εξόρυξη ελαφρόπετρας με surface miners. Ο αναμενόμενος ρυθμός παραγωγής κυμαίνεται από 1000 έως 2000 bm^3/h , ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο μηχάνημα. Η αναμενόμενη φθορά στα κοπτικά εργαλεία αναμένεται να είναι χαμηλή και εκτιμάται από 0.003 έως 0.013 tools/bm^3 .

ABSTRACT

The subject of this diploma thesis is the laboratory assessment of cuttability of pumice rock from Yali, Greece, by Wirtgen surface miners. The thesis has been prepared at the Laboratory of Excavation Engineering of NTUA's School of Mining and Metallurgical Engineering.

The thesis consists of three parts. In the first part, general information regarding surface mining methods and rock extraction by mechanical means is provided. In the following second part, the Wirtgen surface miners are described. In particular, principles of operation, essential design features, mining methods, and performance ranges of the available machines are presented.

The third part of the thesis is the assessment of cuttability of pumice rock by surface miners. Fifty one pumice rock samples have been used for the assessment. The samples were provided by LAVA SA, which currently operates a pumice mine in Yali. The point-load index and the CERCHAR abrasivity index (CAI) of the samples have been determined by laboratory testing as described by the pertaining ISRM suggested methods. Uniaxial compressive strength has been predicted by using the point-load test results.

The pumice rock has been found to be of low strength. The range of uniaxial compressive strength values is from 5.46 to 43.60 MPa. The mean value is 15.39 MPa and the standard deviation 7.10 MPa. The distribution of values shows that 93% is lower than 23 MPa.

Regarding abrasivity, no visible wear on the test styli could be found and measured. Thus, the pumice rock is regarded to be of extremely low abrasivity.

Based on charts provided by Wirtgen, the laboratory test results suggest that surface miners can be economically used for the extraction of the investigated rock. The anticipated performance range is from 1000 to 2000 bm^3/h , depending on the machine used. The anticipated specific cutting tool consumption range is from 0.003 to 0.013 tools/bm^3 , which is considered low.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΕΞΕΛΙΞΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ

Η μεταλλευτική δραστηριότητα είναι άκρως συνυφασμένη με την ιστορία και την εξέλιξη του ανθρώπου. Ήδη από τα προϊστορικά χρόνια ο άνθρωπος αναζητούσε τις πρώτες ύλες που θα κάλυπταν βασικές του ανάγκες. Καθώς οι κοινωνίες αναπτύσσονταν, οι ανάγκες των ανθρώπων αυξάνονταν διαρκώς. Κατά τον 20^ο αιώνα παρατηρείται μεγάλη άνθηση του κλάδου εκμετάλλευσης των ορυκτών πόρων, λόγω της ανακάλυψης της δυναμίτιδας, της μηχανοποίησης της εξόρυξης αλλά και της κατακόρυφης αύξησης της κατανάλωσης. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην εξάντληση πλούσιων κοιτασμάτων και στην ανάγκη εκμετάλλευσης φτωχότερων κοιτασμάτων. Η ανάγκη αυτή είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη νέων αποτελεσματικότερων μεθόδων εκμετάλλευσης, που θα εξασφάλιζαν τη μέγιστη δυνατή αποληψιμότητα χρήσιμου υλικού από φτωχά κοιτάσματα, με το ελάχιστο δυνατό κόστος.

Η ύπαρξη και η εκμετάλλευση ορυκτών πρώτων υλών, αποτελούν σημαντικό πυλώνα ανάπτυξης της παγκόσμιας οικονομίας. Όμως, οι εργασίες εκμετάλλευσης ενός κοιτάσματος δεν αποτελούν απλή διαδικασία. Λόγω της έλλειψης πλούσιων κοιτασμάτων απαιτείται η διεξαγωγή εκτενούς μεταλλευτικής έρευνας, βάση της οποίας θα διαπιστωθεί η ποσότητα των απολήψιμων ποσοτήτων υλικού και θα επιλεγθεί η καταλληλότερη μέθοδος εξόρυξης ώστε η εκμετάλλευση του κοιτάσματος να καταστεί οικονομικά συμφέρουσα.

Σε αντίθεση με παλαιότερα, σήμερα σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της μεταλλευτικής δραστηριότητας διαδραματίζει ο περιορισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι μελέτες που διεξάγονται για τη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων κατά τη διάρκεια εκμετάλλευσης του κοιτάσματος, αλλά και η έρευνα η οποία πραγματοποιείται με σκοπό την αποκατάσταση του φυσικού τοπίου μετά το πέρας των εργασιών, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο συνολικό σχεδιασμό της εκμετάλλευσης.

Τα παραπάνω δεδομένα έχουν οδηγήσει στη ανάπτυξη νέων αποδοτικότερων μεθόδων εκμετάλλευσης που βασίζονται σε τρεις βασικούς άξονες:

- Την αύξηση της αποδοτικότητας της εξόρυξης
- Τη μείωση του κόστους εκμετάλλευσης και
- Τον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο τη διερεύνηση της χρήσης surface miner για την εξόρυξη κίσσηρις (ελαφρόπετρας) της νήσου Γυαλί. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, εκτελέστηκαν εργαστηριακές δοκιμές για τον προσδιορισμό συγκεκριμένων ιδιοτήτων του πετρώματος. Επίσης, μελετήθηκαν οι τρόποι και οι μέθοδοι λειτουργίας των συγκεκριμένων μηχανημάτων.

Βάση των αποτελεσμάτων των δοκιμών εξετάστηκε η δυνατότητα πραγματοποίησης εξόρυξης στη συγκεκριμένη περιοχή, με τη χρήση surface miner.

1.3 ΕΡΕΥΝΑ

Προκειμένου να διερευνηθεί η δυνατότητα χρήσης surface miner για την εξόρυξη κίσσηρις της νήσου Γυαλί, εκτελέστηκαν συγκεκριμένες δοκιμές με σκοπό τη μελέτη ορισμένων χαρακτηριστικών του πετρώματος τα οποία επηρεάζουν την εξορυξιμότητά του. Για την πραγματοποίησή τους χρησιμοποιήθηκαν δείγματα κίσσηρις, ακανόνιστου μεγέθους και σχήματος. Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν ελήφθησαν από το ορυχείο της εταιρίας ΛΑΒΑ Α.Ε. η οποία εκμεταλλεύεται το σχετικό κοίτασμα στη νήσο Γυαλί. Από τα διαθέσιμα δείγματα επιλέχθηκαν τελικώς 51 δείγματα που πληρούσαν τις προδιαγραφές των δοκιμών.

Λόγω των χαρακτηριστικών των δειγμάτων ήταν εφικτή η εκτέλεση δύο μόνο δοκιμών για τον προσδιορισμό της εξορυξιμότητάς του με τη χρήση μηχανικών μέσων. Αυτές ήταν:

1. Δοκιμή μέτρησης της αποξεστικής ικανότητας (CERCHAR)
2. Δοκιμή αντοχής σε σημειακή φόρτιση (POINT LOAD)

Με τη δοκιμή Cerchar ελέγχθηκε η αποξεστική ικανότητα του πετρώματος. Με τη συγκεκριμένη δοκιμή είναι εφικτή η πρόβλεψη της φθοράς που θα προκληθεί στα κοπτικά του μηχανήματος κατά την εξόρυξη.

Με τη δοκιμή αντοχής σε σημειακή φόρτιση πραγματοποιήθηκε κατάταξη του πετρώματος βάση αντοχής σε σημειακή φόρτιση, αλλά επίσης εκτιμήθηκε και η αντοχή του σε μονοαξονική θλίψη. Βάση της αντοχής του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη, διερευνήθηκε η δυνατότητα εξόρυξής του με surface miner.

1.4 ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζεται συνοπτικά η δομή της εργασίας, η οποία είναι οργανωμένη σε πέντε κεφάλαια:

Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή. Παρουσιάζεται συνοπτικά το θέμα και ο σκοπός της εργασίας, καθώς και η εργαστηριακή έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της.

Κεφάλαιο 2^ο: Γίνεται αναφορά στις μεθόδους εξόρυξης των πετρωμάτων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην εξόρυξη με μηχανικά μέσα. Τέλος, παρουσιάζονται οι βασικές μέθοδοι υπαίθριων εκμεταλλεύσεων.

Κεφάλαιο 3^ο: Παρουσιάζονται αναλυτικά τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των μηχανημάτων surface miner του οίκου Wirtgen. Περιγράφονται επίσης ο τρόπος με τον οποίο εξορύσσουν το πέτρωμα και οι μέθοδοι οργάνωσης της εκμετάλλευσης.

Κεφάλαιο 4^ο: Είναι το κεφάλαιο όπου διερευνάται η δυνατότητα εξόρυξης ελαφρόπετρας της νήσου Γυαλί με surface miner. Παρουσιάζονται γενικά στοιχεία για τη νήσο Γυαλί και για τη ΛΑΒΑ ΑΕ που εκμεταλλεύεται το συγκεκριμένο κοίτασμα. Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά τα πρότυπα που ακολουθήθηκαν για την εκτέλεση των δοκιμών. Τέλος, παρουσιάζεται το πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτή.

Κεφάλαιο 5^ο: Είναι τα συμπεράσματα της εργασίας.

1.5 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της εργασίας, όπως αναφέρθηκε, είναι η διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης surface miner στην εξόρυξη ελαφρόπετρας της νήσου Γυαλί. Η διερεύνηση περιορίζεται αποκλειστικά στα ζητήματα που αφορούν αφενός στην ικανότητα του μηχανήματος να εξορύξει το συγκεκριμένο πέτρωμα και αφετέρου στην αναμενόμενη φθορά των κοπτικών εργαλείων. Δεν επιδιώκεται η πλήρης τεchnοοικονομική ανάλυση της εκμετάλλευσης με surface miner και σε καμία περίπτωση η σύγκριση με την υφιστάμενη μέθοδο εξόρυξης με χρήση προωθητών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Εξόρυξη πετρωμάτων και επιφανειακές εκμεταλλεύσεις

2. ΕΞΟΡΥΞΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΟΡΥΞΗ

Εξόρυξη πετρωμάτων είναι το σύνολο των εργασιών που πραγματοποιούνται με σκοπό την τμηματική απόσπαση του πετρώματος από τη φυσική του θέση. Αυτό 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. Οι εργασίες φόρτωσης, μεταφοράς και απόθεσης του πετρώματος αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του κύκλου εργασιών της εξόρυξης.

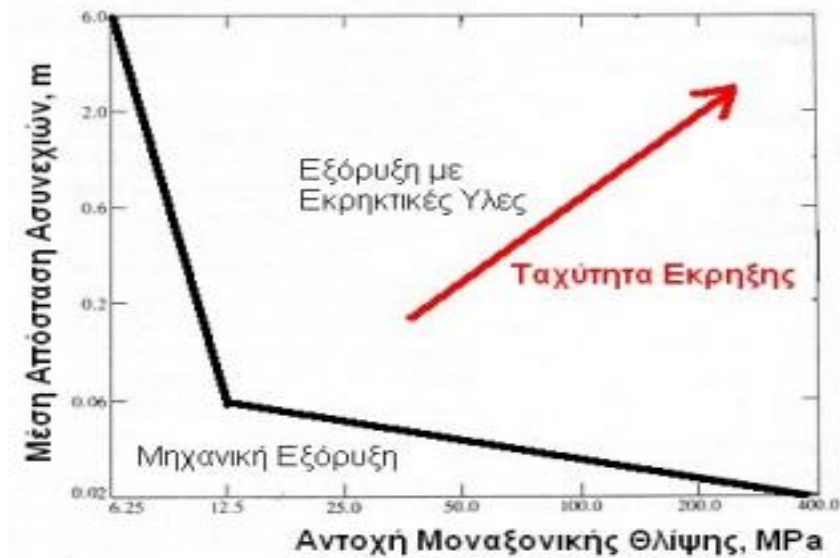
Το μέτωπο, ο χώρος δηλαδή όπου πραγματοποιείται η εξορυκτική δραστηριότητα, είναι είτε υπόγειο είτε υπαίθριο. Η γεωμετρία και οι διαστάσεις των μετώπων διαφέρουν ανάλογα με το σκοπό για τον οποίον πραγματοποιείται η εξόρυξη, τον επιθυμητό ρυθμό εξόρυξης, τη μέθοδο και τα μέσα που χρησιμοποιούνται. Οι εργασίες εξόρυξης πραγματοποιούνται για δύο λόγους. Πρώτον, για την οικονομική εκμετάλλευση του πετρώματος που εξορύσσεται, είτε ως έχει είτε μετά από επεξεργασία. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο όγκος του πετρώματος χαρακτηρίζεται ως κοίτασμα και η εξόρυξη αποτελεί μέρος των εργασιών εκμετάλλευσης του κοιτάσματος. Δεύτερον, για τη δημιουργία κενού χώρου ή τη διαμόρφωση της επιφάνειας κατά την εκτέλεση κάποιου άλλου έργου. Σε αυτή την περίπτωση το πέτρωμα συχνά δεν έχει οικονομική αξία και απορρίπτεται. Σε κάποιες περιπτώσεις είναι δυνατό να αποτελεί υποπροϊόν της δραστηριότητας.

Τα πετρώματα παρουσιάζουν έντονες διαφορές στις μηχανικές τους ιδιότητες, γεγονός το οποίο συμβάλλει στη διαφορετική συμπεριφορά τους κατά την εξόρυξη. Η εξόρυξη πετρωμάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο βασικούς και οικονομικά συμφέροντες τρόπους:

- 1) Εξόρυξη με χρήση εκρηκτικών υλών
- 2) Εξόρυξη με χρήση μηχανικών μέσων

Η επιλογή τρόπου εξόρυξης βασίζεται σε αποτελέσματα τεχνοοικονομικής μελέτης, η οποία λαμβάνει υπόψη της μεγάλο αριθμό παραμέτρων. Η αντοχή του άρρηκτου

πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη και η μέση απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών της μάζας του πετρώματος που θα εξορυχτεί είναι δύο από τις παραμέτρους που λαμβάνονται υπόψη στην τεχνοοικονομική μελέτη. Ο συσχετισμός των δύο αυτών παραμέτρων με την επιλογή μεθόδου εξόρυξης φαίνεται στο διάγραμμα 2.1.



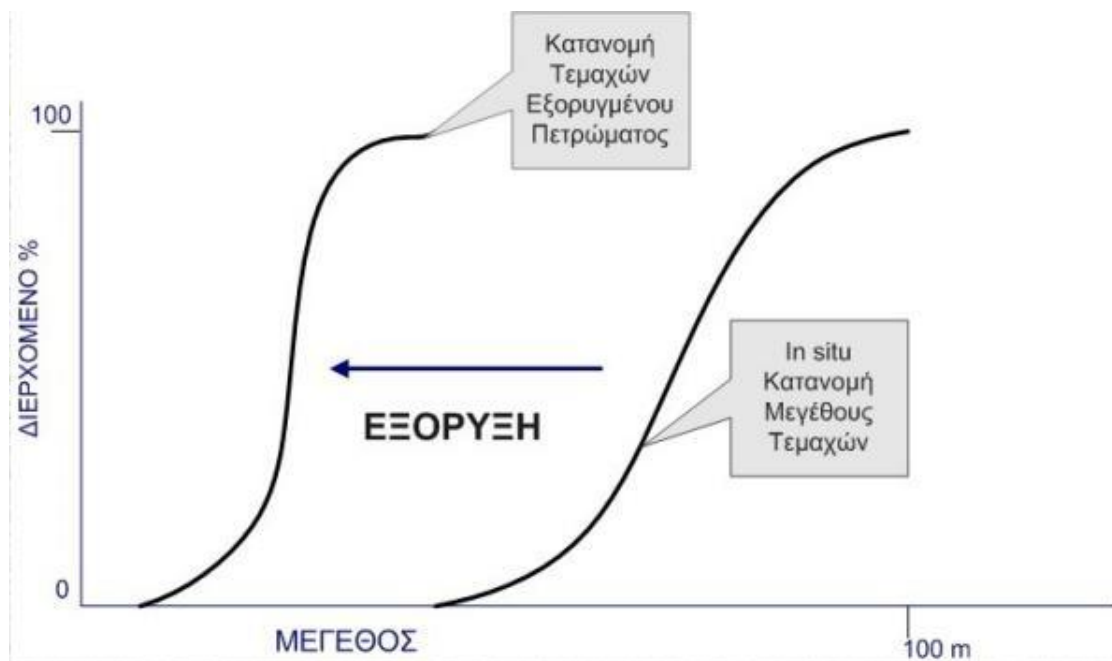
Διάγραμμα 2. 1. Επιλογή μεθόδου εξόρυξης βάσει αντοχής σε μονοαξονική θλίψη και μέσης απόστασης μεταξύ ασυνεχειών. Παναγιώτου (2006)

Η εφαρμογή των μεθόδων εξόρυξης προϋποθέτει τη χρήση υλικών, για τα οποία απαιτούνται ειδικές γνώσεις και ιδιαίτερος χειρισμός (π.χ. εκρηκτικές ύλες και μέσα έναυσης αυτών), καθώς και μηχανικού εξοπλισμού, για τη λειτουργία και συντήρηση του οποίου απαιτείται προσωπικό με ειδικές γνώσεις και δεξιότητες. Σχεδόν όλες οι εργασίες του κύκλου εξόρυξης έχουν σήμερα μηχανοποιηθεί. Εξειδικευμένος εξοπλισμός, κατάλληλος για χρήση σε υπόγεια ή υπαίθρια μέτωπα, επιτρέπει την αποδοτική εφαρμογή διαφόρων μεθόδων και τεχνικών εξόρυξης. Ο βασικός εξοπλισμός εξόρυξης – φόρτωσης – μεταφοράς – απόθεσης, καθώς και ο βοηθητικός εξοπλισμός υποστήριξης των εργασιών εξόρυξης, αξιοποιεί τα πλέον σύγχρονα επιτεύγματα της τεχνολογίας. Το κόστος αγοράς, λειτουργίας και συντήρησης είναι υψηλό, ενώ απαιτείται κατάλληλη εκπαίδευση του προσωπικού.

2.1.1 Προϋποθέσεις για επιτυχή εξόρυξη

Η τμηματική απόσπαση ενός όγκου πετρώματος από τη φυσική του θέση, πρέπει να γίνεται με τρόπο τέτοιο που να ικανοποιεί συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Μεγάλη έμφαση δίνεται στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διαδικασιών εξόρυξης. Υπάρχουν συγκεκριμένοι κανονισμοί, οι οποίοι πρέπει να ακολουθούνται πιστά, και σκοπό έχουν τον περιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Ακόμα οι επιπτώσεις στις μηχανικές ιδιότητες του πετρώματος που περιβάλλει την εξορυσσόμενη μάζα, πρέπει είναι οι μικρότερες δυνατές. Τέλος, ο εξορυγμένος όγκος του πετρώματος πρέπει να αποτελείται από τεμάχια μεγέθους τέτοιου, ώστε να είναι ευχερής η απομάκρυνσή τους από το μέτωπο (φόρτωση και μεταφορά) και, το κυριότερο, η κοκκομετρία τους να είναι κατάλληλη για την τυχόν περαιτέρω επεξεργασία τους (π.χ. τροφοδοσία ενός συγκροτήματος θραύσης και ταξινόμησης).

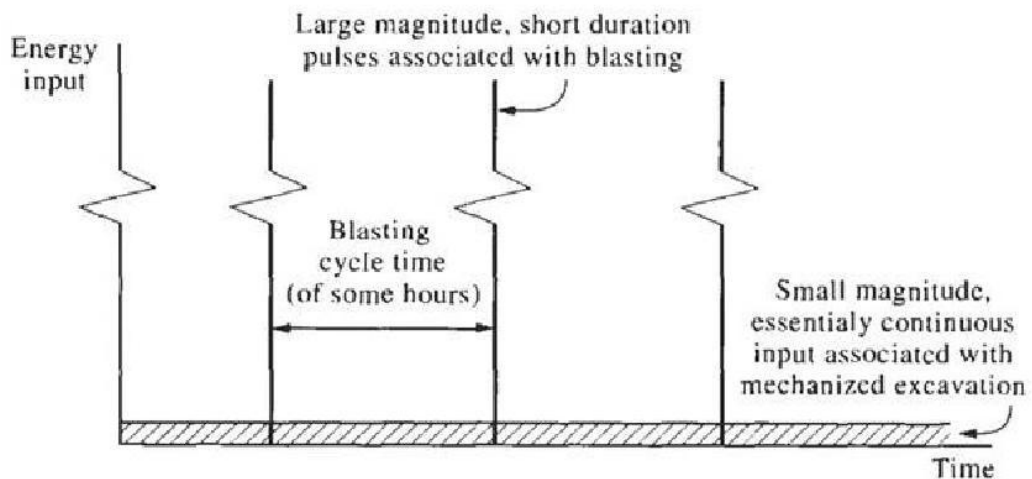
Για να επιτευχθούν οι ανωτέρω στόχοι, πρέπει να ασκηθούν επί του εξορυσσόμενου όγκου του πετρώματος τάσεις, που θα οδηγήσουν στην ελεγχόμενη αστοχία του και στη μείωση του μεγέθους των τεμαχίων του πετρώματος, από εκείνων που έχουν στην φυσική τους θέση, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2.2, σε μέγεθος κατάλληλο για περαιτέρω χειρισμό και επεξεργασία.



Διάγραμμα 2. 2. Κοκκομετρία εξορυγμένου και in situ πετρώματος. Παναγιώτου (2006).

Η αλλαγή του μεγέθους των τεμαχίων του πετρώματος από εκείνο που έχουν στη φυσική τους θέση σε εκείνο του σωρού του εξορυγμένου πετρώματος, αποτελεί τη θεμελιώδη παράμετρο πάνω στην οποία κινείται η εξόρυξη των πετρωμάτων, ιδιαίτερα στην περίπτωση της εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων. Οι τάσεις που θα οδηγήσουν στην αστοχία αλλά και στη μείωση του μεγέθους των τεμαχιδίων, δημιουργούνται είτε με τη χρήση εκρηκτικών υλών είτε με τη χρήση μηχανικών μέσων. Η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή μιας συγκεκριμένης μονάδας όγκου εξορυγμένου πετρώματος ονομάζεται ειδική ενέργεια εξόρυξης. Εξαρτάται από το επιθυμητό μέγεθος των παραγόμενων τεμαχίων και από τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η εξόρυξη.

Κατά την εξόρυξη με εκρηκτικές ύλες, η χημική ενέργεια της εκρηκτικής ύλης μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια. Μεγάλα ποσά ενέργειας απελευθερώνονται, μέσα σε εξαιρετικά σύντομο χρονικό διάστημα, στη μάζα του προς εξόρυξη όγκου του πετρώματος. Στην εξόρυξη με μηχανικά μέσα από την άλλη, το μηχάνημα εξόρυξης με τη βοήθεια κοπτικών εργαλείων μεταφέρει συνεχώς μικρά ποσά ενέργειας σε περιορισμένο τμήμα του προς εξόρυξη όγκου, όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα 2.3.



Διάγραμμα 2. 3. Μεταφορά ενέργειας εκρηκτικών υλών και μηχανημάτων εξόρυξης στη μάζα του πετρώματος.

2.2 ΕΞΟΡΥΞΗ ΜΕ ΕΚΡΗΚΤΙΚΕΣ ΥΛΕΣ

Η εξόρυξη πετρωμάτων με εκρηκτικές ύλες είναι μία ασυνεχής, κυκλική διαδικασία που αποτελείται από τέσσερα στάδια. Τα στάδια αυτά είναι:

1. Η διάτρηση των διατρημάτων
2. Η γόμωσή τους με μέσα έναυσης, έναυσματική γόμωση/γόμωση πυθμένα και κυρίως γόμωση
3. Η τοποθέτηση της επιγόμωσης
4. Η συνδεσμολογία των μέσων έναυσης και η πυροδότηση.

Οι εργασίες αυτές πρέπει να εκτελούνται με ιδιαίτερη προσοχή και από κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό, σύμφωνα με τους σχετικούς νόμους και κανονισμούς.

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

2.2.1 Μηχανισμός θραύσης πετρώματος με εκρηκτικές ύλες

Η μηχανική ενέργεια που προέρχεται από την έκρηξη της εκρηκτικής ύλης εντός των διατρημάτων προκαλεί πρώτα τον κερματισμό του πετρώματος που βρίσκεται μεταξύ της σειράς των διατρημάτων και της ελεύθερης επιφάνειας του μετώπου (πρανές) και, στη συνέχεια, την απόσπαση – μετακίνησή του από το μέτωπο, ως εξής:

1. Η έκρηξη δημιουργεί θλιπτικά κύματα τα οποία διαδίδονται μέσω του πετρώματος με μεγάλη ταχύτητα. Η ταχύτητα εξαρτάται από τον τύπο του πετρώματος και κυμαίνεται μεταξύ 2500 – 6000 m/s. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται μικρορωγμές περιμετρικά του διατρήματος.
2. Πραγματοποιείται ανάκλαση των κυμάτων στις ελεύθερες επιφάνειες του πετρώματος. Το πρανές του μετώπου αλλά και οι προϋπάρχουσες στο πέτρωμα ασυνέχειες αποτελούν τις ελεύθερες επιφάνειες. Λόγω της ανάκλασης, τα κύματα επιστρέφουν προς το διάτρημα προκαλώντας την αστοχία του πετρώματος σε εφελκυσμό.

3. Κατά την έκρηξη, πέραν της δημιουργίας κυμάτων, παρατηρείται παραγωγή μεγάλου όγκου αερίων υπό υψηλή πίεση. Η εκτόνωση των αερίων γίνεται μέσω των ρωγμών που έχουν δημιουργηθεί λόγω της δράσης των θλιπτικών κυμάτων, αλλά και των ρωγμών που φέρει το πέτρωμα από τη φύση του. Η εκτόνωση του όγκου των αερίων έχει ως αποτέλεσμα τη διεύρυνση των ρωγμών και την απόσπαση του πετρώματος από το μέτωπο. Η απόθεση του πετρώματος γίνεται σε σωρό μπροστά από το μέτωπο.

Η διαδικασία αυτή περιγράφεται σχηματικά στην εικόνα 2.1.



Εικόνα 2. 1. Δράση μηχανισμού εξόρυξης με εκρηκτικές ύλες. Παναγιώτου (2006).

Σε περίπτωση που το σχέδιο ανατίναξης περιλαμβάνει περισσότερες από μία σειρές διατηρημάτων, πρέπει να παρέχεται ο απαραίτητος χρόνος για τη μετακίνηση του πετρώματος που βρίσκεται μπροστά από την πρώτη σειρά διατηρημάτων πριν ανατιναχθεί η επόμενη. Σε αντίθετη περίπτωση η μετακίνηση του πετρώματος θα πραγματοποιηθεί προς τα επάνω και όχι πλευρικά-οριζόντια όπως είναι επιθυμητό. Επίσης παράγεται ισχυρό αέριο ωστικό κύμα το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τεμαχών μεγάλου μεγέθους. Η επιβράδυνση των εκρήξεων μεταξύ των σειρών διατηρημάτων κυμαίνεται

μεταξύ 10ms/m φορτίου για πετρώματα υψηλής αντοχής και 30 ms/m φορτίου για πετρώματα χαμηλής αντοχής, με συνήθεις τιμές τα 15-25 ms/m φορτίου.

2.3 ΕΞΟΡΥΞΗ ΜΕ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΕΣΑ

Σε περιπτώσεις όπου το πέτρωμα παρουσιάζει μικρή αντοχή σε μονοαξονική θλίψη και αραιές ασυνέχειες ή μεγάλη αντοχή σε μονοαξονική θλίψη με πυκνές ασυνέχειες, είναι εφικτή η εξόρυξη με μηχανικά μέσα που είναι σήμερα διαθέσιμα. Η εξόρυξη πετρωμάτων με τη χρήση μηχανικών μέσων εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

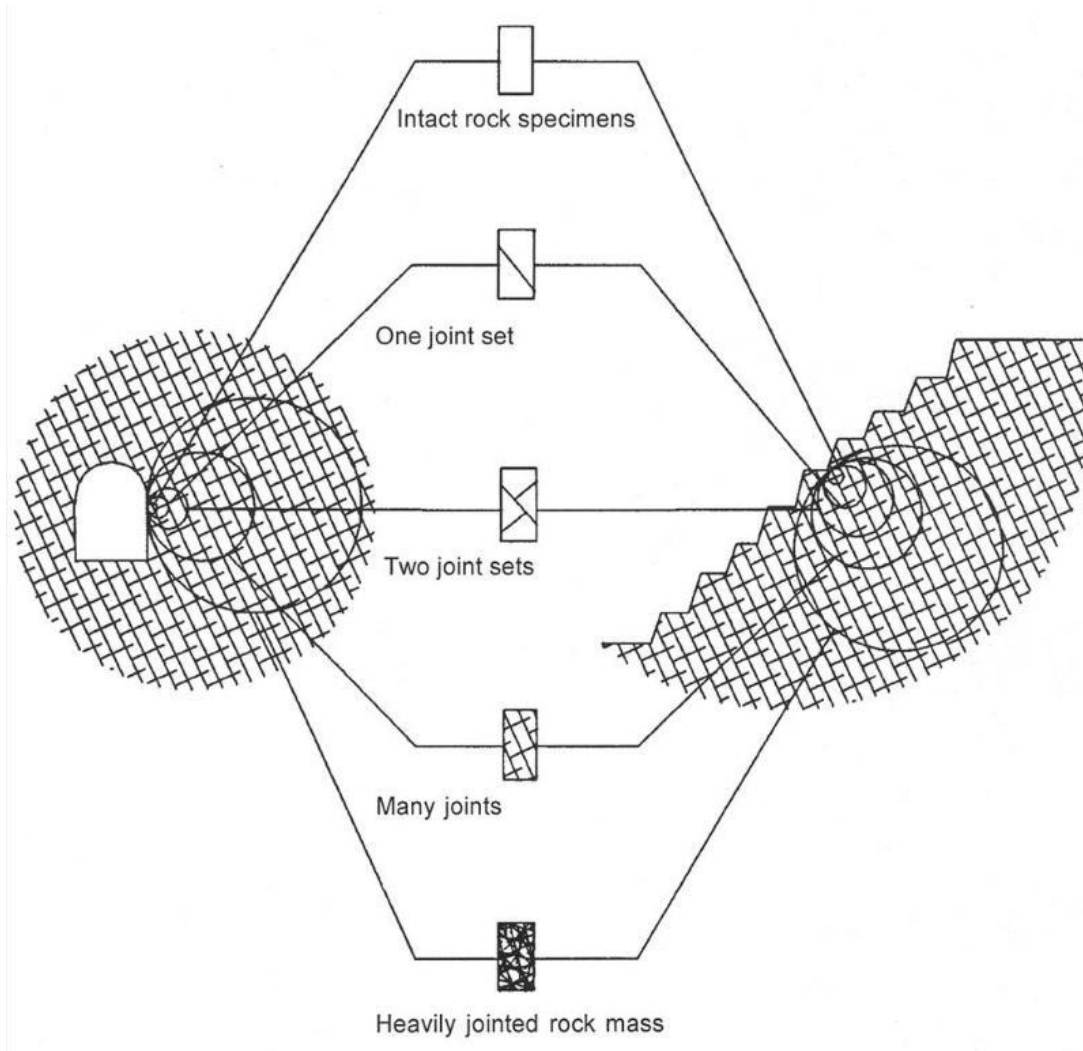
1. Τα χαρακτηριστικά του προς εξόρυξη πετρώματος (άρρηκτο πέτρωμα – μάζα πετρώματος)
2. Τα χαρακτηριστικά του εξορυγμένου πετρώματος
3. Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του μηχανήματος εξόρυξης
4. Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του μηχανήματος εξόρυξης
5. Τη μέθοδο εκσκαφής που εφαρμόζεται
6. Τη γεωμετρία του μετώπου εκσκαφής

2.3.1 Χαρακτηριστικά του προς εξόρυξη πετρώματος

Τα χαρακτηριστικά του προς εξόρυξη πετρώματος (άρρηκτο πέτρωμα – μάζα πετρώματος) επηρεάζουν καθοριστικά την εξορυξιμότητά του. Πρόκειται για φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του πετρώματος, οι κυριότερες των οποίων είναι:

1. Η αντοχή σε θλίψη.
2. Η αντοχή σε εφελκυσμό.
3. Η αντοχή σε διάτμηση.
4. Η σκληρότητα.
5. Ο συντελεστής τριβής μεταξύ πετρώματος και μετάλλων.
6. Η αντίσταση στην κοπή. Εκφράζει τη δύναμη που πρέπει να αναπτύξει η κοπτική ακμή του εργαλείου κοπής, προκειμένου να αστοχήσει το πέτρωμα και να παραχθεί θραύσμα.
7. Τα συστήματα ασυνεχειών στη μάζας του πετρώματος. Η πλέον σημαντική διαφορά μεταξύ της μάζας πετρώματος και του αντίστοιχου άρρηκτου πετρώματος, από το οποίο συγκροτείται η μάζα του πετρώματος, είναι η παρουσία στην πρώτη των πάσης

φύσεως συστημάτων ασυνεχειών, που διαφοροποιούν κατά πολύ τις μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων στην κλίμακα που πραγματοποιείται η εξόρυξή τους με μηχανικά μέσα. Στο διάγραμμα 2.4 φαίνονται συστήματα ασυνεχειών στη βραχομάζα ανάλογα με την κλίμακα του εξεταζόμενου όγκου.



Διάγραμμα 2. 4. Άρηκτο πέτρωμα και συστήματα ασυνεχειών βραχομάζας.

2.3.2 Χαρακτηριστικά του εξορυγμένου πετρώματος

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του εξορυγμένου πετρώματος που επηρεάζουν την επίδοση του συστήματος εξόρυξης - φόρτωσης - αποκόμισης, είναι:

1. Ο συντελεστής επιπλήσματος.

2. Το μέγεθος των παραγομένων τεμαχίων. Το μέγεθος των τεμαχίων του εξορυγμένου πετρώματος εξαρτάται από τις διαστάσεις της εντομής που πραγματοποιεί το μηχάνημα εξόρυξης στο μέτωπο, τα συστήματα των ασυνεχειών στη μάζα του πετρώματος, την ταχύτητα κοπής και τη διάταξη των κοπτικών εργαλείων. Το σχήμα και το μέγεθος των τεμαχίων επηρεάζει άμεσα το βαθμό πλήρωσης των μηχανημάτων φόρτωσης και μεταφοράς, ενώ μεγάλα και αιχμηρά τεμάχια δημιουργούν σοβαρά προβλήματα και καθυστερήσεις σε αυτά.
3. Η τάση συγκόλλησης στις μεταλλικές επιφάνειες. Πετρώματα γαιώδους μορφής, ορισμένες άργιλοι και μάργες, έχουν την τάση να προσκολλώνται στις μεταλλικές επιφάνειες των κάδων των μηχανημάτων εξόρυξης, μειώνοντας την ωφέλιμη χωρητικότητά τους, καθώς και στις επιφάνειες των μηχανημάτων φόρτωσης και μεταφοράς. Η τάση συγκόλλησης εξαρτάται από τη φύση του πετρώματος και το ποσοστό της υγρασίας του.

2.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΞΟΡΥΞΙΜΟΤΗΤΑΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

Προτού τεθεί σε εφαρμογή η διαδικασία εξόρυξης μιας μάζας πετρώματος, θα πρέπει να υπάρχει μία γενική ιδέα για το κατά πόσο και σε ποιόν βαθμό είναι εφικτή η εξόρυξή της.

Θεωρητικά η ασφαλέστερη και εγκυρότερη, ως προς τα αποτελέσματά της, μέθοδος είναι η πραγματοποίηση δοκιμαστικής εξόρυξης σε αντιπροσωπευτικό τμήμα της προς εξόρυξη μάζας, με τον τύπο του μηχανήματος που θα χρησιμοποιηθεί και με τη μέθοδο που πρόκειται να γίνει η εξόρυξη. Κατά τη δοκιμαστική εξόρυξη, με κατάλληλες διατάξεις, είναι δυνατό να μετρηθούν:

- η απαιτούμενη δύναμη για την εκσκαφή του πετρώματος
- η ενέργεια που θα καταναλωθεί κατά την εκσκαφή
- η πραγματική απόδοση του μηχανήματος
- η φθορά των κοπτικών εργαλείων

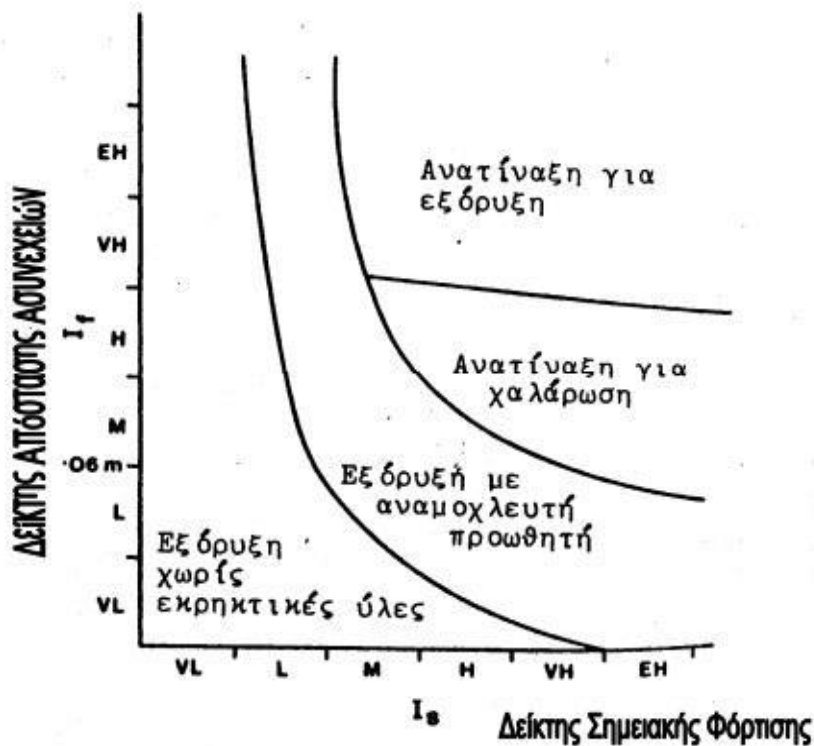
Αναλύοντας τις παραπάνω μετρήσεις είναι εφικτή η βελτιστοποίηση παραμέτρων της εξόρυξης, όπως η γεωμετρία της εκσκαφής, η χωρητικότητα των κάδων και η ταχύτητα κοπής, οι οποίες βοηθούν στην ταχύτερη και ομαλότερη λειτουργία του εργοταξίου. Ακόμα, με αυτή τη μέθοδο, προσδιορίζονται παράμετροι όπως η ισχύς των μηχανημάτων, η διάταξη ο τύπος των κοπτικών κ.α.

Πρακτικά όμως η εφαρμογή αυτής της μεθόδου συνήθως δεν είναι εφικτή. Έτσι η εξορυξιμότητα των πετρωμάτων συχνά εκτιμάται με τη βοήθεια κριτηρίων, που βασίζονται στα γεωλογικά και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του προς εξόρυξη πετρώματος.

2.4.1 Κριτήρια εξορυξιμότητας πετρωμάτων

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν προταθεί διάφορα κριτήρια για την ταξινόμηση των πετρωμάτων ως προς την εξορυξιμότητά τους.

Οι Franklin et al (1971) ταξινομούν με τη βοήθεια του Δείκτη Απόστασης Ασυνεχειών (I_f) και του Δείκτη Σημειακής Φόρτισης (I_s) όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα 2.5.



Διάγραμμα 2. 5. Εξορυξιμότητα πετρωμάτων κατά Franklin. Κλίμακα αξόνων: VL = πολύ μικρός, L = μικρός, M = μέσος, H = υψηλός, VH = πολύ υψηλός, EH = εξαιρετικά υψηλός. Παναγιώτου (2006).

Ο Atkinson (1971) ταξινομεί τα πετρώματα συναρτήσει της ταχύτητας διάδοσης του σεισμικού κύματος, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2.6.

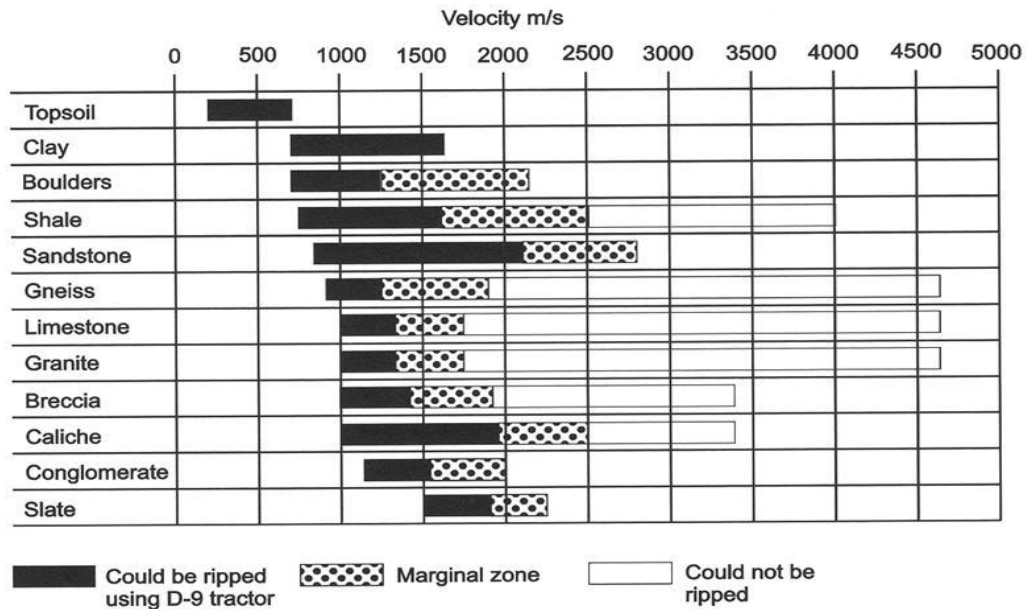


Διάγραμμα 2. 6 Δυνατότητα εξόρυξης των πετρωμάτων με διάφορους τύπους μηχανημάτων, συναρτήσει της ταχύτητας διάδοσης σεισμικού κύματος. Παναγιώτου (2006).

Ο Fung (1981) ταξινόμησε τα πετρώματα βάση των γεωλογικών τους χαρακτηριστικών ως εξής:

1. Πετρώματα που εξορύσσονται με πτύο χειρός. Τέτοια μπορεί να είναι μη συνεκτικοί σχηματισμοί, εδάφη, άμμοι, χάλικες, άργιλοι κ.α.
2. Πετρώματα που εξορύσσονται με σκαπάνη. Για παράδειγμα συνεκτικοί σχηματισμοί, μάργες, σκληροί άργιλοι, έντονα ρωγματωμένα πετρώματα κ.α.
3. Πετρώματα που απαιτούν χαλάρωση με εκρηκτικές ύλες πριν εξορυχτούν με μηχανικά μέσα, όπως σκληρές μάργες, ψαμμίτες κ.α.

Η εταιρία Caterpillar Tractor Co συσχετίζει τη δυνατότητα εξόρυξης πετρωμάτων με ripper προωθητή με την ταχύτητα διάδοσης του διαμήκους σεισμικού κύματος. Με τη βοήθεια του διαγράμματος 2.7, είναι δυνατή η επιλογή κατάλληλου τύπου ripper, ανάλογα με την ταχύτητα διάδοσης του σεισμικού κύματος στο πεδίο εφαρμογής.



Διάγραμμα 2. 7. Εκτίμηση της εξορυξιμότητας των πετρωμάτων βάση σεισμικών μεθόδων. (Caterpillar).

Έπειτα από εκτεταμένη έρευνα στα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά πετρωμάτων, υπαίθριων ορυχείων στη Μεγάλη Βρετανία, οι Munftuoglu (1983) και Scoble (1984) πρότειναν ένα δείκτη εξορυξιμότητας που προκύπτει έπειτα από την αξιολόγηση των παρακάτω τεσσάρων παραμέτρων:

1. Του βαθμού αποσάθρωσης του πετρώματος (W)
2. Της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη ή εναλλακτικά του δείκτη σημειακής φόρτισης του άρρηκτου πετρώματος (S)
3. Της απόστασης μεταξύ των ασυνεχειών (J)
4. Της απόστασης μεταξύ των επιπέδων διάστρωσης του πετρώματος (B)

Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{Δείκτης Εξορυξιμότητας} = W + S + J + B$$

Οι παράμετροι του Δείκτη Εξορυξιμότητας λαμβάνουν τιμές σύμφωνα με τη βαθμονόμηση του πίνακα 2.1.

ΚΛΑΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	I	II	III	IV	V
ΑΠΟΣΘΡΩΣΗ	ΠΛΗΡΗΣ	ΜΕΓΑΛΗ	ΜΕΣΗ	ΜΙΚΡΗ	ΚΑΘΟΛΟΥ
ΒΑΘΜΟΣ (W)	< 0	5	15	20	25
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΟ- ΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ	< 20	20 - 60	40 - 60	60 - 100	> 100
I ₅₀ (MPa)	< 0.5	0.5 - 1.5	1.5 - 2.0	2 - 3.5	> 3.5
ΒΑΘΜΟΣ (S)	0	10	15	20	25
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ, m	< 0.3	0.3 - 0.6	0.6 - 1.5	1.5 - 2	> 2
ΒΑΘΜΟΣ (J)	5	15	30	45	50
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΔΙΑΣΤΡΩΣΕΩΝ, m	< 0.1	0.1 - 0.3	0.3 - 0.6	0.6 - 1.5	> 1.5
ΒΑΘΜΟΣ (B)	0	5	10	20	30

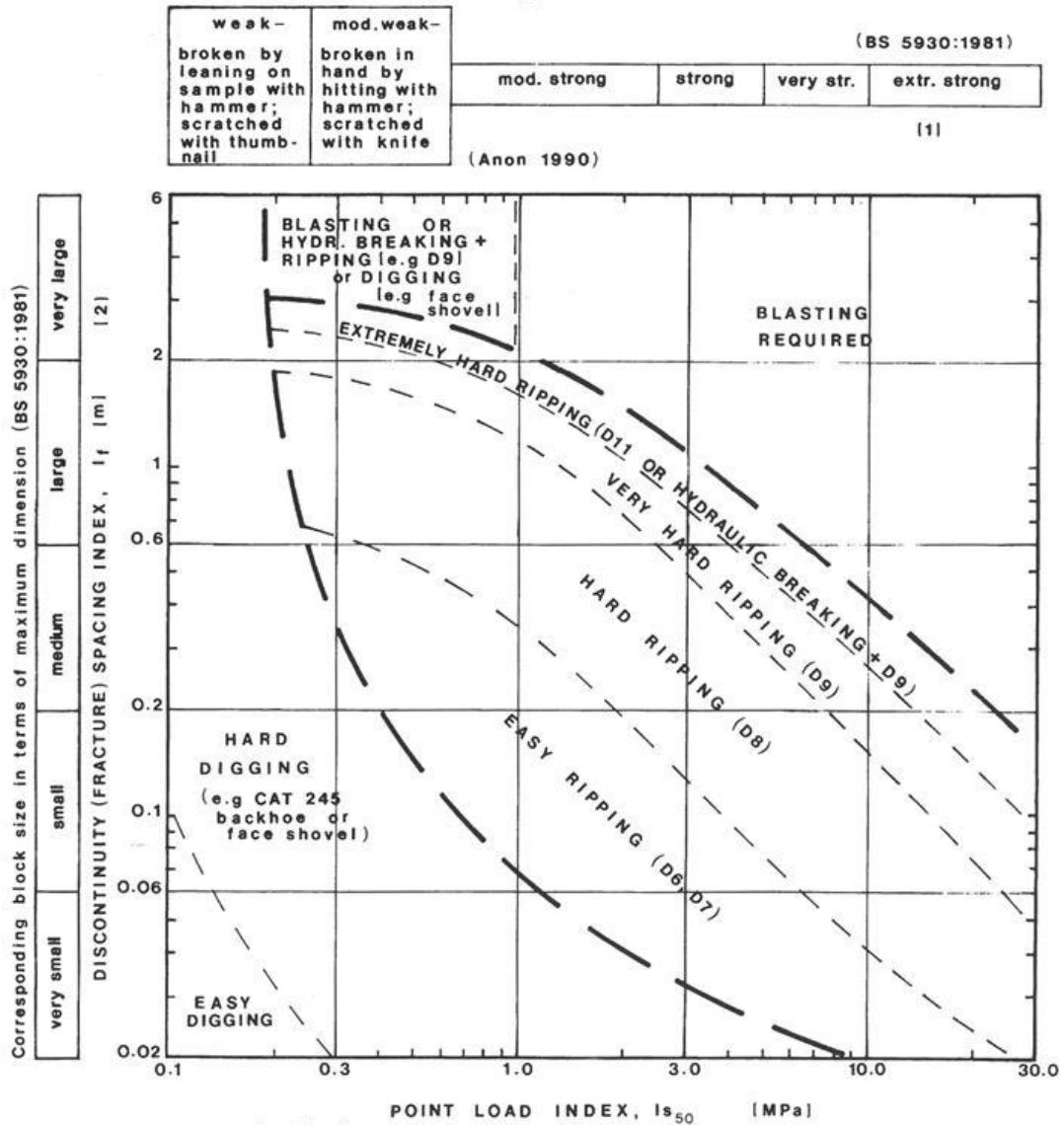
Πίνακας 2. 1. Βαθμονόμηση των παραμέτρων του Δείκτη Εξορυξιμότητας κατά Muftuoglu (1983) και Scoble (1984). Παναγιώτου (2006)

Οι ίδιοι ερευνητές, με βάση το Δείκτη Εξορυξιμότητας που διαμόρφωσαν, κατατάσσουν τα πετρώματα σε επτά κλάσεις, όπως φαίνεται στον πίνακα 2.2 ανάλογα με το βαθμό ευκολίας που παρουσιάζει η εξόρυξή τους με μηχανικά μέσα.

ΚΛΑΣΗ	ΕΥΚΟΛΙΑ ΕΞΟΡΥΞΗΣ	ΔΕΙΚΤΗΣ (W-S-J-B)	ΜΕΘΟΔΟΣ	ΜΗΧΑΝΗΜΑ (ΜΕ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ)
I	ΠΟΛΥ ΕΥΚΟΛΑ	< 40	1. Ripping 2. Dragline Cast 3. Shovel Digging	A. Ripper-Scraper Cat. D8 B. Dragline > 5m ³ Lima 2400 C. Rope Shovel > 3m ³ Ruston Bucyrus 71RB
II	ΕΥΚΟΛΑ	40-50	1. Ripping 2. Dragline Cast 3. Shovel Digging	A. Ripper-Scraper Cat. D9 B. Dragline > 8m Marion 195 C. Rope Shovel > 5m ³ Ruston Bucyrus 150RB
III	ΜΕΤΡΙΩΣ ΔΥΣΚΟΛΑ	50-60	1. Ripping 2. Shovel Digging	A. Ripper-Shov./F.E.Ldr. Cat. D9 B. Hydraulic Shovel > 3m ³ Cat. 245
IV	ΔΥΣΚΟΛΑ	60-70	1. Ripping 2. Shovel Digging	A. Ripper-Shov./F.E.Ldr. Cat. D10 B. Hydraulic Shovel > 3m ³ C245 or O&K RH40
V	ΠΟΛΥ ΔΥΣΚΟΛΑ	70-95	Shovel Digging	Hyd. Shovel > 3m ³ C245 O&K RH40
VI	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΔΥΣΚΟΛΑ	95-100	Shovel Digging	Demag H111 Poclain 1000CK P&H 1200 RH 75 Hyd. Shovels > 7m ³
VII	ΟΡΙΑΚΑ ΧΩΡΙΣ ΕΚΡΗΚΤΙΚΑ	> 100	Shovel Digging	Demag H186 H241 O&K RH300 Hyd. Shovels > 10m ³

Πίνακας 2. 2. Κατάταξη των πετρωμάτων ανάλογα με την ευκολία εξόρυξής τους με βάση τον Δείκτη Εξορυξιμότητας κατά Muftuoglu και Scoble. Παναγιώτου (2006)

Οι Pettifer και Fookes (1994) κατέστρωσαν το διάγραμμα 2.8, στο οποίο δίνεται η μέθοδος εξόρυξης πετρώματος, ανάλογα με την τιμή αντοχής του σε σημειακή φόρτιση και την απόσταση μεταξύ ασυνεχειών.

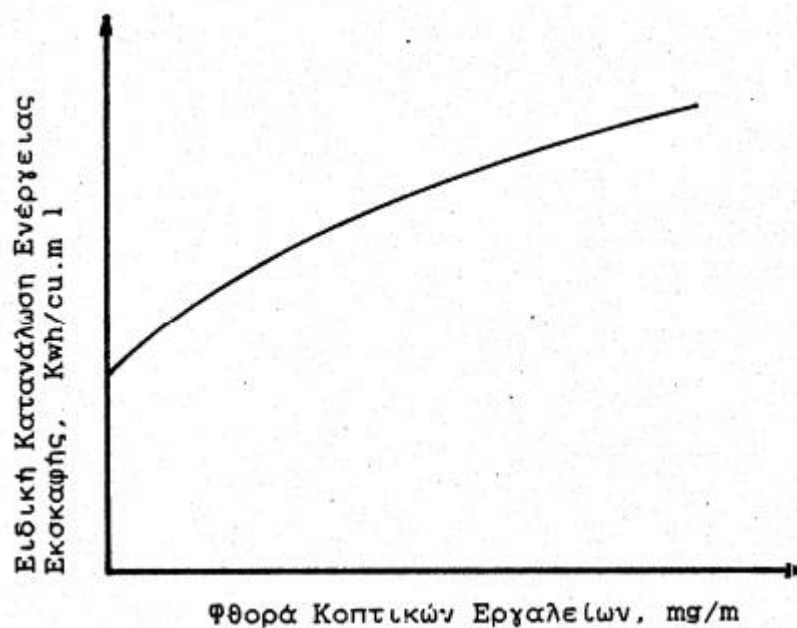


Διάγραμμα 2. 8. Μέθοδος εξόρυξης πετρώματος βάση της αντοχής του σε σημειακή φόρτιση και απόστασης ασυνεχειών κατά Pettifer και Fookes (1994).

2.5 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΦΘΟΡΑΣ ΤΩΝ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΣΤΟΝ ΚΥΚΛΟ ΕΞΟΡΥΞΗΣ

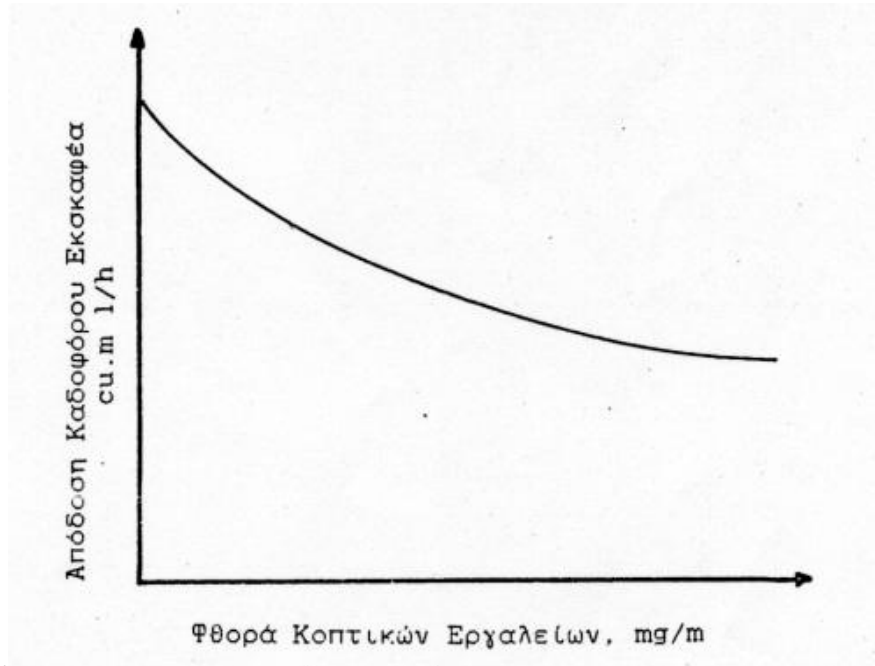
Ενδιαφέρον, τόσο από οικονομικής απόψεως όσο και στο επίπεδο απόδοσης της εξόρυξης, παρουσιάζει η φθορά των κοπτικών του μηχανήματος που θα χρησιμοποιηθεί. Το πρόβλημα της φθοράς των κοπτικών εργαλείων είναι κεφαλαιώδους σημασίας στην τεχνολογία των εξορύξεων και αντικείμενο μελέτης ερευνητών και κατασκευαστών εξοπλισμού εξόρυξης. 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, μαζί π.χ. με τα καύσιμα και τα λιπαντικά.

Κατά τη διάρκεια της εκσκαφής τα κοπτικά υφίστανται συνεχή φθορά που οδηγεί σε μείωση των διαστάσεων των κοπτικών εργαλείων, λόγω της απομάκρυνσης μετάλλου εξαιτίας της τριβής, και μεταβολή της γεωμετρίας τους. Συνέπεια αυτής της φθοράς είναι η αύξηση της ειδικής κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό συμβαίνει καθώς, λόγω της μείωσης των διαστάσεων αλλά και της γεωμετρίας των κοπτικών εργαλείων, αυξάνεται η δύναμη κοπής που απαιτείται για την εξόρυξη του πετρώματος. Η μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης ενέργειας εκσκαφής σε σχέση με τη φθορά των κοπτικών παρουσιάζεται στο διάγραμμα 2.9.



Διάγραμμα 2. 9. Μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης ενέργειας εκσκαφής συναρτήσει της φθοράς των κοπτικών εργαλείων. Παναγιώτου (2006).

Ακόμα παρατηρείται ότι κρατώντας σταθερή την ισχύ του μηχανισμού εκσκαφής του μηχανήματος, μειώνεται η απόδοση της εκσκαφής λόγω της φθοράς των κοπτικών, γεγονός το οποίο παρουσιάζεται στο διάγραμμα 2.10.



Διάγραμμα 2. 10. Μεταβολή της απόδοσης μηχανήματος εξόρυξης (καδοφόρου εκσκαφέα) συναρτήσει της φθοράς των κοπτικών εργαλείων των κάδων. Παναγιώτου (2006)

2.5.1 Αιτίες φθοράς κοπτικών

Η φθορά των κοπτικών μπορεί να είναι αποτέλεσμα των παρακάτω δράσεων:

1. Φθορά λόγω τριβής με το πέτρωμα
2. Αποκόλληση μικρών τεμαχίων μετάλλου
3. Αποκόλληση ή και θραύση μεγάλων τεμαχίων μετάλλου
4. Αστοχία του υλικού λόγω υπερθέρμανσης

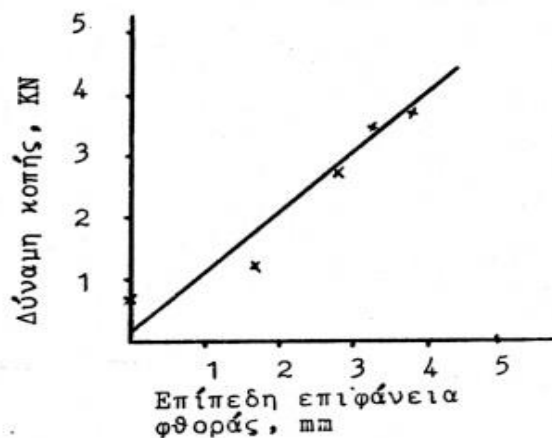
Τα κοπτικά εργαλεία θα πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε, κατά περίπτωση, να επιτυγχάνονται τα βέλτιστα αποτελέσματα.

Φθορά λόγω τριβής

Η φθορά λόγω τριβής εξαρτάται άμεσα από:

- 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 κύρια επίδραση της φθοράς των κοπτικών λόγω τριβής είναι η δημιουργία επίπεδης επιφάνειας στην άκρη του κοπτικού. Έτσι η απόδοση κοπής μειώνεται. Για να διατηρηθεί σταθερή η απόδοση κοπής, απαιτείται αύξηση της δύναμης κοπής. Η δημιουργία επίπεδης επιφάνειας έστω και λίγων χιλιοστών αυξάνει σε σημαντικό βαθμό την απαιτούμενη δύναμη κοπής, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2.11.



Διάγραμμα 2. 11. Επίδραση της επίπεδης επιφάνειας φθοράς του κοπτικού εργαλείου στην δύναμη κοπής. Παναγιώτου (2006)

Φθορά λόγω αποκόλληση τεμαχίων

Η φθορά λόγω της αποκόλλησης τεμαχίων μετάλλου από το κοπτικό εργαλείο, είναι συνάρτηση της σκληρότητας του εξορυσσόμενου πετρώματος και του τρόπου προσβολής του από το μηχάνημα εξόρυξης.

Κατά την εξόρυξη των πετρωμάτων με μηχανήματα συνεχούς εξόρυξης παρατηρείται τέτοιας μορφής φθορά στα κοπτικά εργαλεία των κοπτικών κεφαλών ή των κάδων, όταν

κατά την περιστροφή τους προσκρούουν σε σκληρές ενστρώσεις πετρωμάτων που απαντώνται στους σχηματισμούς που εξορύσσονται.

Αστοχία λόγω υπερθέρμανσης

Αστοχία λόγω υπερθέρμανσης έχει παρατηρηθεί σε κοπτικά εργαλεία που εξορύσσουν εξαιρετικά σκληρούς σχηματισμούς. Θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 600 °C έχουν μετρηθεί σε κοπτικά εργαλεία τύπου σφήνας τα οποία εξορύσσουν χαλαζίτη σε μεταλλεία της Ν. Αφρικής.

2.6 ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ

Η απόφαση για την εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος απαιτεί μελέτη και διερεύνηση για το κατά πόσο είναι οικονομικά συμφέρουσα. Η απόφαση αυτή λαμβάνεται έπειτα από τη μελέτη συγκεκριμένων παραμέτρων, οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι:

- Η περιεκτικότητά του σε χρήσιμο συστατικό. Αυτή θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το κατώτερο όριο εκμεταλλευσιμότητας. Η τιμή του ορίου αυτού υπολογίζεται βάση τεχνολογικών και οικονομικών παραμέτρων.
- Τα αποθέματά του. Τα αποθέματα ενός κοιτάσματος χαρακτηρίζονται ως βέβαια, πιθανά και δυνατά. Ως βέβαια χαρακτηρίζονται τα αποθέματα των οποίων η ύπαρξη έχει εξακριβωθεί με τη χρήση κατάλληλων μεθόδων όπως η συστηματική δειγματοληψία, η εκτεταμένη γεωτρητική έρευνα, οι γεωφυσικές και γεωχημικές διασκοπήσεις. Αν η παραπάνω έρευνα δεν είναι εξακριβωμένη τότε τα αποθέματα καλούνται πιθανά. Τα δυνατά αποθέματα υπολογίζονται με βάση τη γεωμετρία του κοιτάσματος, την πιθανή έκτασή του και των στρωματογραφικών και τεκτονικών παραγόντων της περιοχής.
- Ο τρόπος εμφάνισης του μεταλλεύματος.
- Η δυνατότητα απόληψης του κοιτάσματος. Η γεωγραφική θέση του κοιτάσματος (το πόσο κοντά βρίσκεται σε κατοικημένη περιοχή, το αν βρίσκεται σε ιστορικό χώρο κ.α.), καθώς και οι γεωμορφολογικές συνθήκες μπορούν να επηρεάσουν τη δυνατότητα απόληψής του.
- Ο τρόπος εξόρυξης.
- Η ανάγκη για έργα υποδομής.
- Το κόστος μεταφοράς του υλικού.
- Η τιμή του μεταλλεύματος. Για παράδειγμα η εξόρυξη ενός φτωχού κοιτάσματος μπορεί να είναι οικονομικά συμφέρουσα, αν η τιμή του μεταλλεύματος είναι υψηλή

και αντιστρόφως, η εξόρυξη ενός πλούσιου κοιτάσματος μπορεί να είναι οικονομικά ασύμφορη εάν η τιμή του μεταλλεύματος είναι χαμηλή.

- Το επίπεδο τεχνολογίας.
- Η πολιτική κατάσταση της χώρας.
- Η επέμβαση των cartel στη διαμόρφωση της τιμής του προϊόντος.

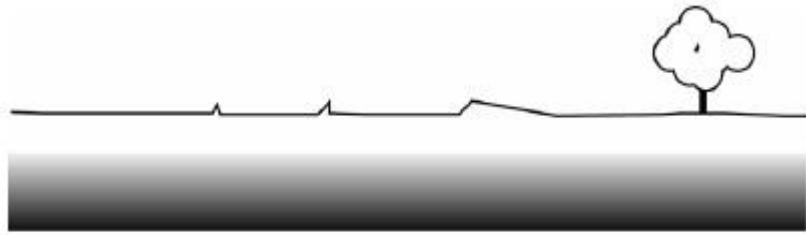
Είναι φανερό λοιπόν πως ένα κοίτασμα μπορεί να θεωρείται εκμεταλλεύσιμο σε μία περιοχή, ενώ σε μία άλλη όχι. Επίσης η εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος μπορεί να είναι οικονομικά ασύμφορη στο παρόν, λόγω έλλειψης κατάλληλης τεχνολογίας ή λόγω της τρέχουσας τιμής του μεταλλεύματος, αλλά στο μέλλον υπάρχει η πιθανότητα να είναι οικονομικά συμφέρουσα.

Γίνεται αντιληπτό, ότι ο σχεδιασμός μίας εκμετάλλευσης δεν είναι μία σταθερή και προκαθορισμένη διαδικασία, αλλά μία συνεχής διαδικασία, η οποία ανάλογα με τα στοιχεία που προκύπτουν μεταβάλλεται και διαρκεί από την έναρξη των μεταλλευτικών ερευνών μέχρι το πέρας του συνόλου των εργασιών.

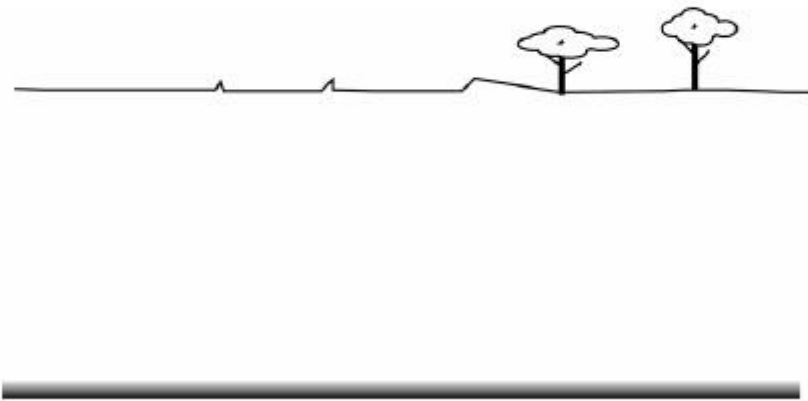
2.7 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΕΝΑΝΤΙ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

Οι υπαίθριες εκμεταλλεύσεις είναι στο σύνολο των περιπτώσεων πιο συμφέρουσες οικονομικά σε σχέση με τις υπόγειες. Είναι όμως λογικό να υπάρχουν περιπτώσεις, λόγω των γεωλογικών συνθηκών που επικρατούν σε μία περιοχή, όπου προτιμώνται υπόγειες εκμεταλλεύσεις. Όταν π.χ. το κοίτασμα βρίσκεται σε μεγάλο βάθος, η επιφανειακή εκμετάλλευση είναι οικονομικά ασύμφορη.

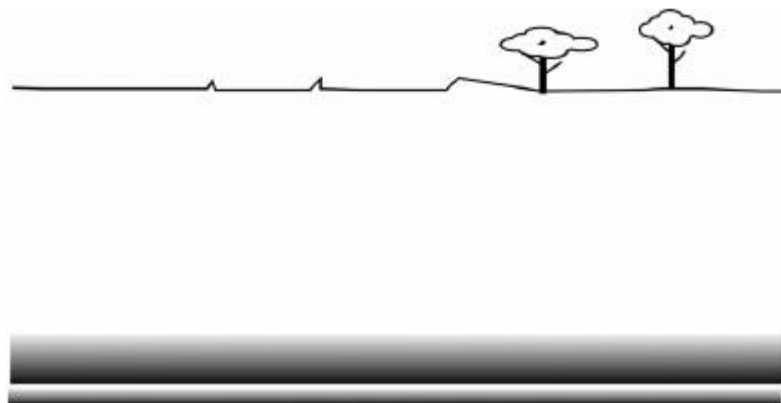
Στις εικόνες 2.2, 2.3 και 2.4 παρουσιάζονται χαρακτηριστικά παραδείγματα εμφάνισης κοιτάσματος σε διάφορα βάθη από την επιφάνεια του εδάφους, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείται η εκμετάλλευση.



Εικόνα 2. 2 Εμφάνιση κοιτάσματος κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Η υπαίθρια εκμετάλλευση κρίνεται κατάλληλη. Μενεγάκη (2010)

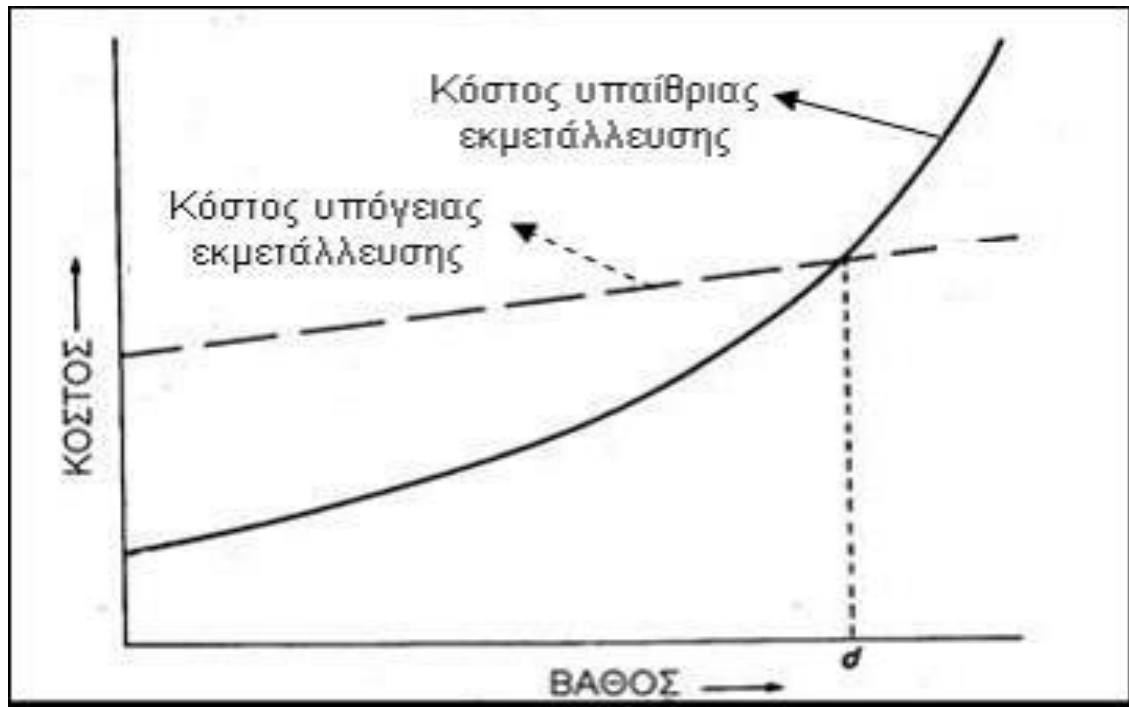


Εικόνα 2. 3. Εμφάνιση κοιτάσματος σε μεγάλο βάθος. Η υπόγεια εκμετάλλευση κρίνεται κατάλληλη. Μενεγάκη (2010)



Εικόνα 2. 4. Η επιλογή μεθόδου εκμετάλλευσης στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν είναι εμφανής. Επομένως λαμβάνονται υπόψη για την τελική απόφαση οικονομικά κριτήρια. Μενεγάκη (2010)

Το κόστος μίας υπαίθριας εκμετάλλευσης αυξάνει ανάλογα με το βάθος στο οποίο βρίσκεται το κοίτασμα. Στην περίπτωση υπόγειας εκμετάλλευσης το κόστος είναι από την αρχή υψηλό και μεταβάλλεται σημαντικά με την αύξηση του βάθους. Στο διάγραμμα 2.12 παρουσιάζεται η μεταβολή του κόστους εκμετάλλευσης για υπόγεια και επιφανειακή εκμετάλλευση συναρτήσει του βάθους.



Διάγραμμα 2. 12. Σχέση κόστους-βάθους που καθορίζει τον τρόπο εκμετάλλευσης. Μενεγάκη (2010)

Το σημείο τομής των δύο καμπυλών αποτελεί το οριακό βάθος για το οποίο η επιφανειακή εκμετάλλευση είναι προτιμότερη από την υπόγεια.

2.7.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υπαίθριας έναντι υπόγειας εκμετάλλευσης

Συγκριτικά με τις υπόγειες εκμεταλλεύσεις, οι υπαίθριες παρουσιάζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

1. Υπό προϋποθέσεις δίνεται η δυνατότητα εκλεκτικής εκμετάλλευσης.
2. Παρουσιάζουν υψηλότερο συντελεστή απόληψης.
3. Έχουν χαμηλότερο κόστος εξόρυξης.
4. Δίνεται η δυνατότητα παραγωγής όγκων μεγάλων διαστάσεων για κατάλληλες χρήσεις.
5. Παρουσιάζουν ευελιξία στην παραγωγή.

Βέβαια υπάρχουν και παράγοντες στους οποίους οι υπαίθριες εκμεταλλεύσεις υστερούν έναντι των υπόγειων. Οι παράγοντες αυτοί είναι:

1. Επηρεάζονται άμεσα από τις καιρικές συνθήκες. Έτσι πολλές φορές ο βαθμός δυσκολίας των εργασιών αυξάνεται. Ακόμα υπάρχουν περιπτώσεις όπου η παραγωγική διαδικασία σταματάει λόγω των καιρικών συνθηκών με αποτέλεσμα τη μη τήρηση του προκαθορισμένου χρονοδιαγράμματος.
2. Ο σημαντικότερος όμως παράγοντας στον οποίο υστερούν οι υπαίθριες εκμεταλλεύσεις είναι η εμφανής καταστροφή του φυσικού περιβάλλοντος από τις εργασίες εξόρυξης αλλά και από την απόθεση αγόνων. Ο παράγοντας αυτός, σε συνδυασμό με τα οικονομικά κριτήρια, καθορίζουν την απόφασή για την πραγματοποίηση υπαίθριας ή υπόγειας εκμετάλλευσης.

2.8 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΝ

Οι κύριες μέθοδοι επιφανειακών εκμεταλλεύσεων είναι οι εξής:

1. **Επιφανειακή εκμετάλλευση κοιτασμάτων κατά λωρίδες (strip mining).** Αυτή η μέθοδος εκμετάλλευσης εφαρμόζεται κυρίως σε κοιτάσματα γαιανθράκων. Μπορεί να χωριστεί σε δύο υποκατηγορίες, την περιφερειακή εκμετάλλευση και την εκμετάλλευση ευρείας περιοχής. Η πρώτη βρίσκει εφαρμογή σε λοφώδες περιβάλλον, όταν το κοίτασμα είναι οριζόντιο ή σχεδόν οριζόντιο. Κύρια χαρακτηριστικά αυτής της μεθόδου εκμετάλλευσης είναι η ύπαρξη ενός απότομου πρανούς, το οποίο ορίζει το σύνολο της έκτασης που είναι οικονομικά συμφέρον να εξορυχτεί. Ο εξοπλισμός που απαιτείται, αποτελείται από μικρούς ερπυστριοφόρους εκσκαφείς, μηχανικά πτύα προωθητήρες, μηχανικά άροτρα, ελαστικοφόρους φορτωτές και αποξεστήρες. Η δεύτερη μέθοδος εφαρμόζεται όταν, εκτός από το κοίτασμα, οριζόντιο είναι και το έδαφος. Με αυτόν τον τρόπο η εκμετάλλευση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε συνεχείς λωρίδες. Σε αυτή τη μέθοδο απαιτούνται συνήθως μεγάλα μηχανήματα.
2. **Επιφανειακή εκμετάλλευση με βαθμίδες για κοιτάσματα μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης (terrace mining).** Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όταν τα υπερκείμενα ή το κοίτασμα έχουν πολύ μεγάλο πάχος και η μεταφορά τους έξω από το χώρο εκμετάλλευσης κρίνεται αναγκαία. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται, στην Ελλάδα κυρίως

σε λιγνιτικά κοιτάσματα. Η διαδικασία της εκμετάλλευσης είναι συνεχής και ο εξοπλισμός αποτελείται από ηλεκτροκίνητους καδοφόρους εκσκαφείς, ταινιόδρους και αποθέτες. Επίσης, σε συγκεκριμένες θέσεις της εκμετάλλευσης γίνεται χρήση εκρηκτικών, σκοπός της οποίας είναι η χαλάρωση σκληρών σχηματισμών. Οι σχηματισμοί αυτοί εκσκάπτονται με μηχανικά πτύα και μεταφέρονται με τη βοήθεια χωματουργικών αυτοκινήτων.

3. **Επιφανειακή εκμετάλλευση με κλειστές βαθμίδες (χοανοειδής εκμετάλλευση).** Η μέθοδος αυτή βρίσκει εφαρμογή σε κοιτάσματα ακανόνιστου σχήματος και έντονα κεκλιμένων στρωσιγενών κοιτασμάτων. Το σχήμα της εκμετάλλευσης δεν είναι πάντα το ίδιο, καθώς καθορίζεται από τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής αλλά και από τη διακύμανση της ποιότητας του μεταλλεύματος. Σε πετρώματα χαμηλής αντοχής η εξόρυξη γίνεται με μηχανικά μέσα, ενώ σε πετρώματα υψηλής αντοχής γίνεται εξόρυξη με χρήση εκρηκτικών υλών.

4. **Επιφανειακή εκμετάλλευση με τη μέθοδο των ανοικτών βαθμίδων.** Είναι η μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται περισσότερο από κάθε άλλη στην Ελλάδα. Χρησιμοποιείται κυρίως στην εκμετάλλευση αδρανών υλικών και μαρμάρων. Η μορφή που θα έχει το ορυχείο εξαρτάται από τις γεωμορφολογικές συνθήκες και τις ιδιαιτερότητες του κοιτάσματος. Σε πετρώματα χαμηλής αντοχής η εξόρυξη γίνεται με μηχανικά μέσα, ενώ σε πετρώματα υψηλής αντοχής γίνεται εξόρυξη με χρήση εκρηκτικών υλών.

2.9 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

Το κόστος και ο σχεδιασμός μιας εκμετάλλευσης επηρεάζεται από διάφορες παραμέτρους, οι οποίες μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες:

1. **Φυσικές παράμετροι.** Η γεωλογία και η ορυκτολογία της περιοχής όπου βρίσκεται το κοιτάσμα παίζουν σημαντικό ρόλο στον οικονομικό σχεδιασμό αλλά και στον τρόπο εκμετάλλευσης του κοιτάσματος. Για παράδειγμα η ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα επηρεάζει την ευστάθεια των πρανών. Επίσης σε περιπτώσεις όπου η άντληση υδάτων

είναι επιβεβλημένη, το συνολικό κόστος της εκμετάλλευσης αυξάνεται σημαντικά. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την ευστάθεια των πρυνών είναι η ύπαρξη ρηγμάτων, συστημάτων κατακλάσεων κ.α. Τα τεκτονικά αυτά χαρακτηριστικά της περιοχής επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό και την αντοχή αλλά και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του προς εξόρυξη πετρώματος. Συνεπώς τα παραπάνω καθορίζουν τη μέθοδο και τα χαρακτηριστικά της εκμετάλλευσης (κλίση πρυνών, μέγεθος βαθμίδων κ.α.). Ακόμα, η γεωμετρία της περιοχής καθώς και η σχέση αποκάλυψης του κοιτάσματος εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την τοπογραφία της περιοχής. Επίσης, τα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος διαδραματίζουν σπουδαίο ρόλο στην επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης αλλά και στο κόστος της. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι: α) το σχήμα και η μορφή του κοιτάσματος, β) η κλίση του, γ) το πάχος των υπερκειμένων, δ) το τελικό βάθος του κοιτάσματος και ε) η γεωμετρία του, η οποία σε συνδυασμό με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του καθορίζουν τα απολήψιμα αποθέματα. Φυσική παράμετρος η οποία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το κόστος της εκμετάλλευσης είναι η γεωγραφική θέση του κοιτάσματος. Η θέση του καθορίζει κυρίως την ανάγκη κατασκευής έργων υποδομής, όπως οδικό δίκτυο και δίκτυο διανομής ενέργειας. Σημαντικό όμως στοιχείο είναι και η ύπαρξη αστικών κέντρων κοντά στην περιοχή εκμετάλλευσης. Υπάρχει η πιθανότητα, όπως για παράδειγμα στα ορυχεία λιγνίτη της ΔΕΗ στην Πτολεμαΐδα, μετεγκατάστασης ολόκληρου οικισμού για την πραγματοποίηση της εκμετάλλευσης. Επίσης έργα αποκατάστασης του περιβάλλοντος στο οποίο πραγματοποιήθηκε η εξόρυξη είναι πιο αναγκαία και πιο απαιτητικά σε περίπτωση γειτνίασης με κατοικημένες περιοχές. Τέλος, ένας ακόμα φυσικός παράγοντας, ο οποίος επηρεάζει την περίοδο λειτουργίας της εκμετάλλευσης αλλά και τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί, είναι το κλίμα της περιοχής.

2. **Οικονομικές παράμετροι.** Ορισμένες οικονομικές παράμετροι αλλά και ο τρόπος συσχέτισής τους επιτρέπουν προβλέψεις όπως: α) το αν η εκμετάλλευση που θα πραγματοποιηθεί είναι οικονομικά συμφέρουσα και β) τον τρόπο εκμετάλλευσης ο οποίος θα είναι όσο το δυνατόν πιο αποδοτικός και οικονομικός. Η πρώτη κύρια παράμετρος είναι η οικονομική σχέση αποκάλυψης. Ο όρος αυτός αναφέρεται στο σημείο εκείνο της δραστηριότητας, όπου το κόστος επιφανειακής εκμετάλλευσης ισούται με το έσοδα της επιχείρησης. Είναι δηλαδή το ελάχιστο όριο το οποίο καθιστά μία εκμετάλλευση ζημιολόγη. Ένας άλλος σημαντικός όρος είναι η οριακή

περιεκτικότητα. Ο όρος αυτός καταδεικνύει την ελάχιστη περιεκτικότητα του κοιτάσματος σε χρήσιμο συστατικό, για την οποία υπό δεδομένες οικονομικές συνθήκες, η εκμετάλλευσή του είναι συμφέρουσα οικονομικά. Η σχέση αποκάλυψης αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη τιμή μεταλλεύματος και οριακής περιεκτικότητας. Στην ουσία η σχέση αποκάλυψης επιτρέπει τον προσδιορισμό του μέγιστου όγκου αγόνων που μπορούν να μετακινηθούν για την αποκάλυψη ενός κοιτάσματος, χωρίς να υπάρξουν οικονομικές ζημίες. Η τιμή της σχέσης αποκάλυψης και η μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση πρηνούς προσδιορίζουν τα όρια εκμετάλλευσης του κοιτάσματος επομένως και τον όγκο των απολήψιμων αποθεμάτων. Ο λόγος της σχέσης αποκάλυψης με το χρόνο, είναι αυτός ο οποίος χαρακτηρίζει τέσσερις βασικές μεθόδους σχεδιασμού οι οποίες είναι:

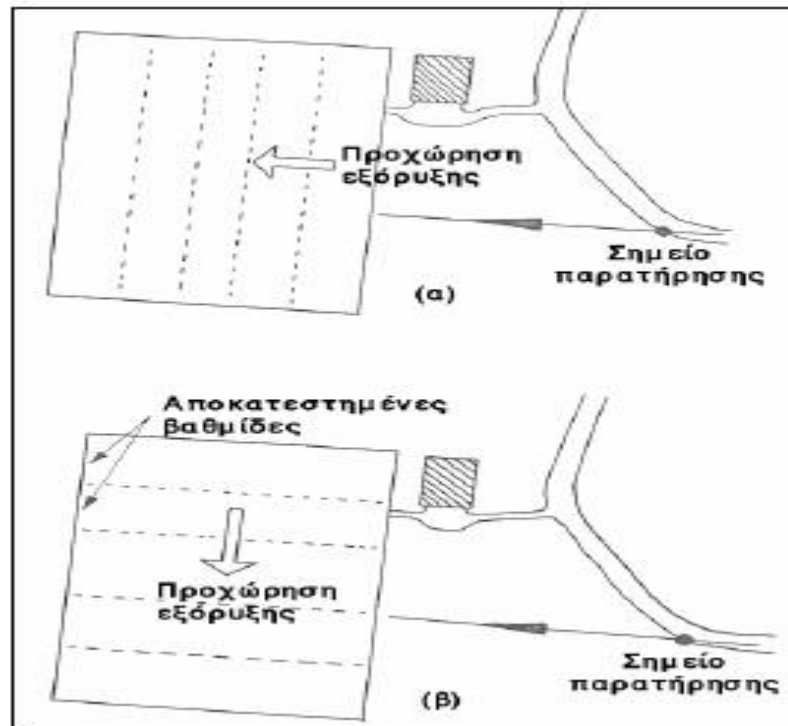
α) Φθίνουσα σχέση εκμετάλλευσης. Διακινείται όλη η ποσότητα των αγόνων από τη βαθμίδα εκμετάλλευσης μέχρι τα τελικά όρια του ορυχείου. Η μέθοδος αυτή υπερτερεί έναντι των υπολοίπων καθώς παρέχει το μέγιστο δυνατό χώρο εργασίας, η πρόσβαση στο μέταλλευμα από βαθμίδα σε βαθμίδα είναι άμεση, όλος ο εξοπλισμός χρησιμοποιείται σε μία βαθμίδα, επομένως οι εργασίες πραγματοποιούνται ταχύτερα, περιορίζεται στο ελάχιστο η μόλυνση του μεταλλεύματος από το εξορυσσόμενο με εκρηκτικά υπερκείμενο πέτρωμα και, τέλος, στα τελευταία στάδια της παραγωγής η απαίτηση σε μηχανικό εξοπλισμό είναι μικρή. Αρνητικά της μεθόδου αυτής είναι οι χειρότεροι οικονομικοί δείκτες που παρουσιάζει λόγω της ανάγκης για εργασία από την αρχή στο maximum (το σύνολο του εξοπλισμού βρίσκεται σε λειτουργία επομένως και το σύνολο σχεδόν του κεφαλαίου επενδύεται από την αρχή).

β) Αύξουσα σχέση εκμετάλλευσης. Στη μέθοδο αυτή είναι προκαθορισμένη η ποσότητα μεταλλεύματος που θα εξορυχθεί, επομένως η εξόρυξη αγόνων περιορίζεται σε συγκεκριμένη ποσότητα. Η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει τους καλύτερους οικονομικούς δείκτες σε σχέση με τις υπόλοιπες. Αρνητικό της μεθόδου είναι ότι η εκμετάλλευση πραγματοποιείται ταυτόχρονα σε πολλές βαθμίδες.

γ) Σταθερή σχέση εκμετάλλευσης. Ο εξοπλισμός και το έμπυχο δυναμικό που χρησιμοποιείται είναι σταθερά. Εμφανίζει ορισμένα πλεονεκτήματα και ορισμένα μειονεκτήματα από τις παραπάνω μεθόδους.

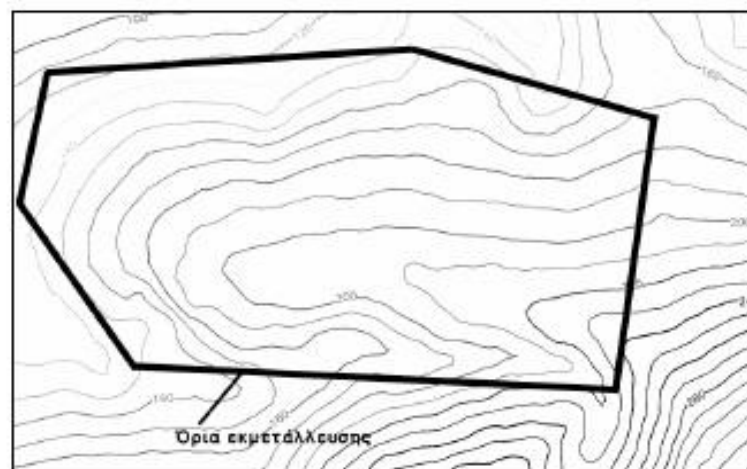
δ) Εκμετάλλευση σε διαδοχικές φάσεις. Οι σημαντικές χρηματικές εισροές κατά την αρχική περίοδο εκμετάλλευσης, η μέγιστη παραγωγική δυναμικότητα που παρουσιάζουν σε σύντομο χρονικό διάστημα ο μηχανικός εξοπλισμός και το εργατικό δυναμικό, η ευελιξία που παρουσιάζει στην εκμετάλλευση αλλά και η δυνατότητα για λειτουργία σε λίγα μέτωπα είναι τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου. Επίσης, εξασφαλίζονται ιδανικές συνθήκες λειτουργίας του εξοπλισμού σε κοιτάσματα μεγάλης εξάπλωσης.

3. **Περιβαλλοντικές παράμετροι.** Ο σχεδιασμός της εκμετάλλευσης θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο φιλικός προς το περιβάλλον. Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου η εκμετάλλευση πραγματοποιείται κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Για αυτό το λόγο θα πρέπει να επιδιώκεται: α) η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον (μόλυνση υδροφόρου ορίζοντα, παραγωγή καυσαερίων κ.α.), β) η μείωση της όχλησης (σε περίπτωση γειτνίασης με οικισμούς), γ) η διαμόρφωση ενός αποτελεσματικού σχεδίου αποκατάστασης του χώρου όπου πραγματοποιείται η εκμετάλλευση. Πέρα από τη ρύπανση που προκαλείται στο περιβάλλον λόγω της εξορυκτικής δραστηριότητας (παραγωγή καυσαερίων, καταστροφή του φυσικού ανάγλυφου κ.α.), σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το σχεδιασμό του μεταλλείου είναι και η οπτική ρύπανση που τυχόν προκαλείται. Το μέγεθος της οπτικής ρύπανσης μπορεί να ελαττωθεί με μια σειρά από ενέργειες. Για παράδειγμα ο δυσμενής προσανατολισμός της εκμετάλλευσης και η διεύθυνση προχώρησης των εξορυκτικών εργασιών, οδηγούν στην αύξηση της εκτιθέμενης επιφάνειας. Σαν αποτέλεσμα παρατηρείται η αύξηση της οπτικής ρύπανσης. Επομένως, η επιλογή διεύθυνσης προχώρησης και προσανατολισμού της εκμετάλλευσης πρέπει να γίνονται με κριτήρια τέτοια ώστε, μέσω της μείωσης της επιφάνειας των πρανών, να μειώνεται η χρωματική και γεωμετρική αντίθεση με το φυσικό περιβάλλον. Στην εικόνα 2.5, παρουσιάζεται η διεύθυνση που πρέπει να ακολουθηθεί κατά την εξόρυξη, ώστε να περιοριστεί η οπτική ρύπανση.

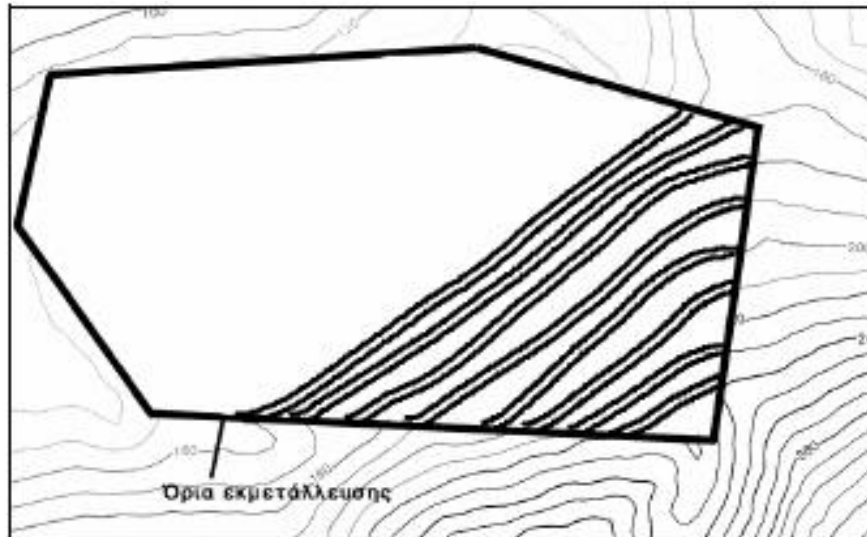


Εικόνα 2. 5. Περιορισμός οπτικής ρύπανσης με κατάλληλη επιλογή προσανατολισμού της εκμετάλλευσης. Μενεγάκη (2010)

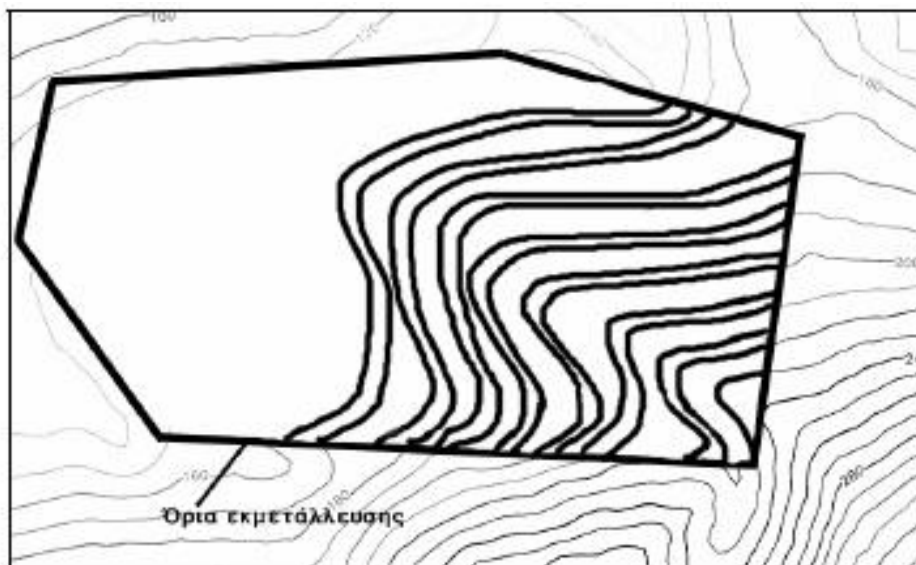
Η δημιουργία βαθμίδων που ακολουθούν τις φυσικές γραμμές του ανάγλυφου, συμβάλει στη μείωση της οπτικής ρύπανσης. Στις εικόνες 2.6, 2.7 και 2.8 παρουσιάζονται το φυσικό ανάγλυφο μια περιοχής και η οπτική ρύπανση από την εκμετάλλευση, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των βαθμίδων.



Εικόνα 2. 6. Φυσικό ανάγλυφο περιοχής. Μενεγάκη (2010)

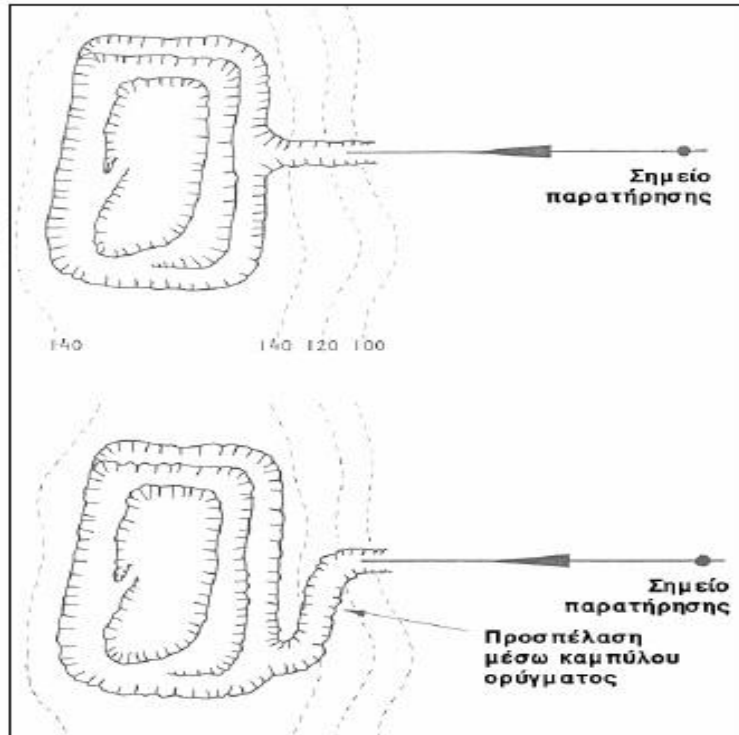


Εικόνα 2. 7. Σχεδιασμός χωρίς την υιοθέτηση των γραμμών του φυσικού ανάγλυφου (έντονη οπτική ρύπανση). Μενεγάκη (2010)



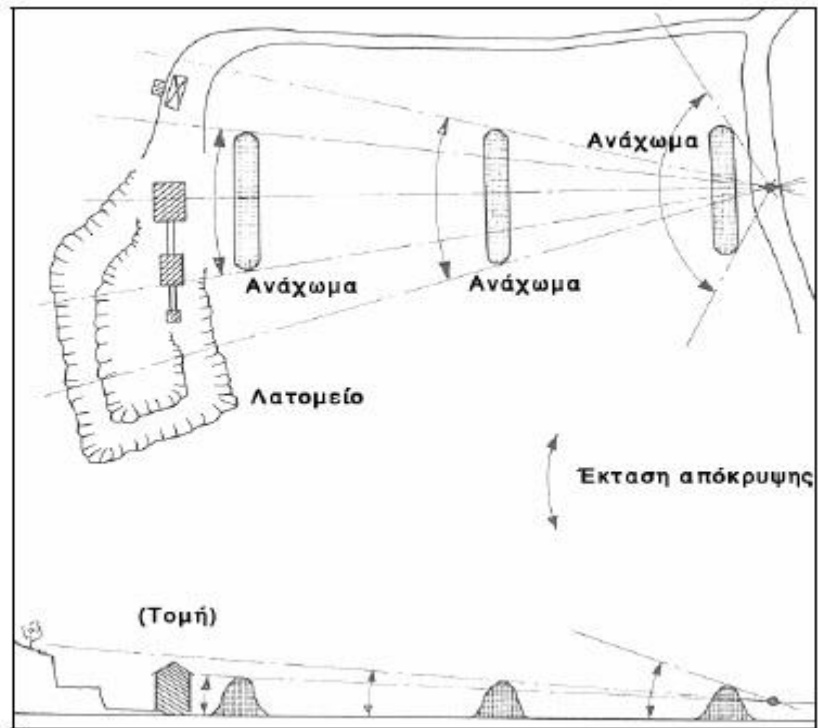
Εικόνα 2. 8. Σχεδιασμός με υιοθέτηση των γραμμών του φυσικού ανάγλυφου (περιορισμός της οπτικής ρύπανσης). Μενεγάκη (2010)

Για τον περιορισμό του φαινομένου αυτού, συχνά αφήνεται μία στήλη πετρώματος ανεκμετάλλευτη και διαμορφώνεται ανάλογα με το φυσικό ανάγλυφο, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 2.9. Με τον τρόπο αυτό ελαττώνεται η άμεση οπτική επαφή με την εκμετάλλευση.



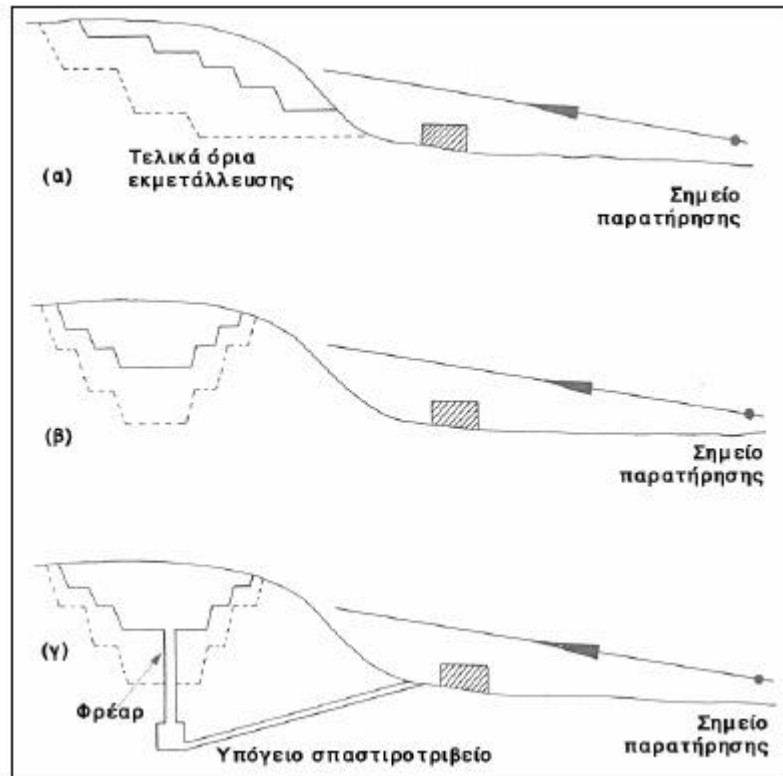
Εικόνα 2. 9. Σχεδιασμός προσπελαστικής οδού. Η σωστή χάραξή της επιτρέπει τον περιορισμό της οπτικής ρύπανσης. Μενεγάκη (2010)

Σε περίπτωση που το εκμεταλλευόμενο κοίτασμα έχει μεγάλη οικονομική αξία, προτιμάται η δημιουργία αναχωμάτων, ώστε να αποφευχθεί η όποια απώλεια υλικού. Σε αυτό το ενδεχόμενο το σημείο όπου θα δημιουργηθεί το ανάχωμα με σκοπό τη μείωση της οπτικής ρύπανσης παίζει, αρκετές φορές, σημαντικότερο ρόλο από το σχεδιασμό της εκμετάλλευσης. Στην εικόνα 2.10 απεικονίζεται η χρήση αναχωμάτων με σκοπό τον περιορισμό της οπτικής ρύπανσης.



Εικόνα 2. 10. Χρήση αναχωμάτων για τον περιορισμό της οπτικής ρύπανσης. Μενεγάκη (2010)

Τέλος, για την αντιμετώπιση του προβλήματος της οπτικής ρύπανσης συνίσταται η εκσκαφή να γίνεται με τη μορφή χοάνης. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατό να αποκρύπτεται πλήρως η εκμετάλλευση. Επίσης με τη δημιουργία άλλων έργων υποδομής είναι εφικτή και η μείωση όχλησης όπως και η μείωση της παραγωγής σκόνης. Στην εικόνα 2.11 παρουσιάζονται οι διάφοροι τρόποι σχεδιασμού της εκσκαφής.



Εικόνα 2. 11. Οπτική ρύπανση ανάλογα με το σχεδιασμό. (α) η εκμετάλλευση είναι έντονα ορατή, (β) η εκμετάλλευση αποκρύπτεται, (γ) η εκμετάλλευση αποκρύπτεται και περιορίζονται επιπλέον περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Μενεγάκη (2010)

4. **Τεχνολογικές παράμετροι.** Η επιλογή κατάλληλων μηχανημάτων βοηθάει τόσο στη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας, όσο και στη μείωση του συνολικού κόστους της εκμετάλλευσης.
5. **Νομοθετικές παράμετροι.** Μια σειρά από νομικές απαιτήσεις, οι οποίες είναι καταγεγραμμένες κυρίως στον Κ.Μ.Λ.Ε. και αφορούν κυρίως σε θέματα ασφάλειας των εργασιών και μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης, καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το σχεδιασμό της εκμετάλλευσης.

2.10 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΟΡΘΕΣ ΒΑΘΜΙΔΕΣ

Η επικρατέστερη μέθοδος υπαίθριας εκμετάλλευσης στην Ελλάδα είναι η σταδιακή απόληψη του κοιτάσματος σε ορθές βαθμίδες. Οι βαθμίδες έχουν ύψος 10-15 m και πλάτος 10 m περίπου κατά τη φάση της λειτουργίας και 6 m κατά την τελική τους διαμόρφωση. Συνήθως, ορύσσονται με μια μικρή κλίση ως προς την κατακόρυφο σε γωνία περί τις 75-80°. Το τελικό πρανές συνήθως έχει τελική κλίση άνω των 60°. Τα χαρακτηριστικά των βαθμίδων όπως και η τελική κλίση εκσκαφής καθορίζονται βάση των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών του εξορυσσόμενου πετρώματος και των υπερκειμένων. Οι διαστάσεις των βαθμίδων και των οδών μεταφοράς καθορίζονται από το μέγεθος των μηχανημάτων χρησιμοποιούνται. Στην εικόνα 2.12 παρουσιάζεται μία χαρακτηριστική μορφή εκμετάλλευσης με ορθές βαθμίδες.



Εικόνα 2.12. Εκμετάλλευση με ορθές βαθμίδες. (orykta.gr)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3
Wirtgen Surface Miners

3. WIRTGEN SURFACE MINERS

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

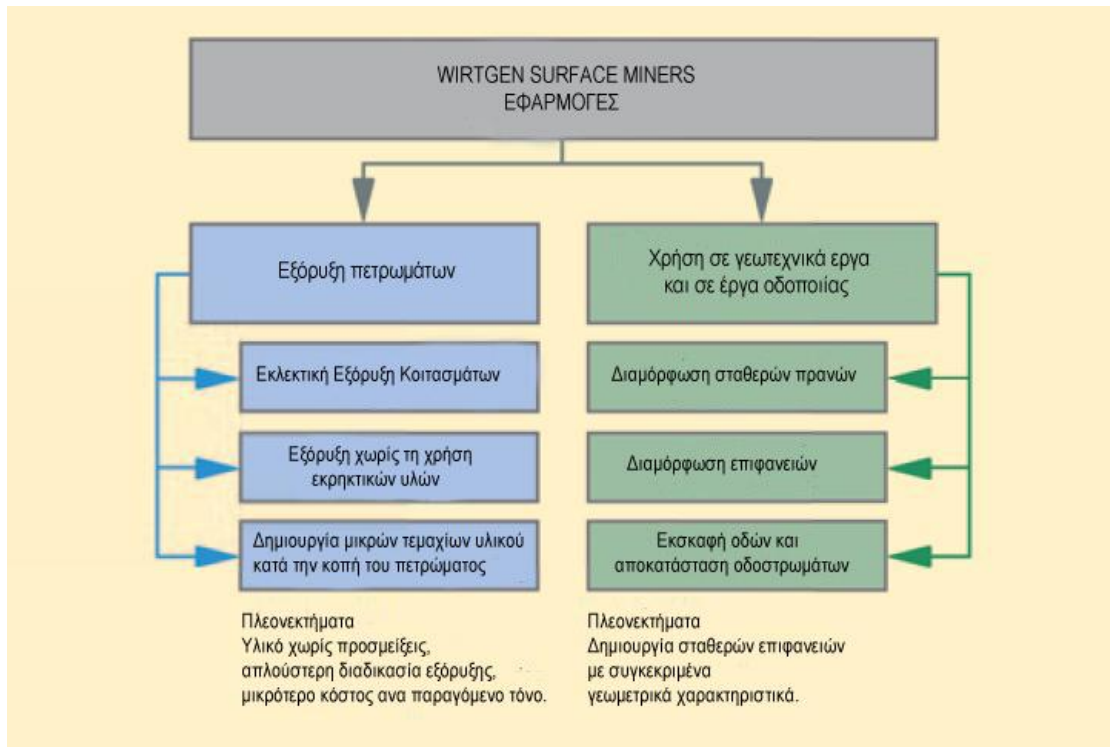
Surface miners είναι αυτοκίνητες μονάδες μηχανικής εξόρυξης πετρωμάτων. Ο κύριος κατασκευαστής τέτοιων μηχανημάτων είναι ο γερμανικός οίκος Wirtgen.

Τα συγκεκριμένα μηχανήματα χρησιμοποιούνται στην εκμετάλλευση κοιτασμάτων, στη διαμόρφωση ομαλών οριζόντιων και κεκλιμένων επιφανειών σε γεωτεχνικά έργα, καθώς και σε έργα οδοποιίας. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται αποκλειστικά η χρήση τους στην εκμετάλλευση κοιτασμάτων.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης ενός surface miner σε σχέση με τη χρήση εκρηκτικών υλών είναι:

- Μεγαλύτερη ασφάλεια
- Απλοποίηση της εξόρυξης
- Παραγωγή υψηλότερης ποιότητας υλικού χάρη στη δυνατότητα εκλεκτικής εξόρυξης
- Διαμόρφωση σταθερών βαθμίδων

Στον πίνακα 3.1 παρουσιάζονται οι χρήσεις ενός τέτοιου μηχανήματος.



Πίνακας 3. 1. Χρήσεις Wirtgen surface miner. Wirtgen (2010).

3.1.1 Απλοποίηση εξορυκτικής διαδικασίας

Τα συγκεκριμένα μηχανήματα παρέχουν τη δυνατότητα ταυτόχρονης εκτέλεσης τριών εργασιών: της εξόρυξης του πετρώματος, της πρωτογενούς θραύσης του, καθώς και της φόρτωσής του σε άλλα μηχανήματα. Με τον τρόπο αυτό απλοποιείται η παραγωγική διαδικασία, μειώνεται το κόστος και ταυτόχρονα αυξάνεται ο ρυθμός εκτέλεσης των εργασιών.

3.1.2 Εξόρυξη και θραύση χωρίς τη χρήση εκρηκτικών

Η χρήση των μηχανημάτων αυτών, επιτρέπει την εκτέλεση εργασιών εξόρυξης χωρίς τη χρήση εκρηκτικών. Με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται η ασφάλεια των εργαζομένων καθώς εκμηδενίζεται η έκθεσή τους τόσο σε εκρηκτικές ύλες όσο και στον εκσφενδονισμό πετρωμάτων. Επίσης, η μη χρήση εκρηκτικών βελτιώνει τις συνθήκες εργασίας, καθώς παρατηρείται περιορισμός της παραγόμενης σκόνης και μείωση του θορύβου και των δονήσεων που παράγονται κατά την εξόρυξη. Πλεονέκτημα χρήσης των συγκεκριμένων μηχανημάτων, αποτελεί και η παραγωγή λεπτομερέστερων τεμαχίων υλικού. Το γεγονός αυτό μειώνει το κόστος της παραγωγικής διαδικασίας και ταυτόχρονα αυξάνει το ρυθμό

εκτέλεσης των εργασιών, καθώς δεν απαιτείται πρωτογενής θραύση του υλικού έπειτα από την εξόρυξή του. Ακόμα ένας παράγοντας που συμβάλει προς αυτές τις κατευθύνσεις, είναι η δυνατότητα άμεσης φόρτωσης του υλικού σε μηχανήματα μεταφοράς. Τέλος, παρατηρείται σημαντικός περιορισμός του κόστους της παραγωγικής διαδικασίας καθώς οι απαιτήσεις σε ανθρώπινο δυναμικό και μηχανικό εξοπλισμό περιορίζονται σε σημαντικό βαθμό.

3.1.3 Εκλεκτική εξόρυξη

Η εκλεκτική εξόρυξη είναι μία από τις σημαντικότερες λειτουργίες που πραγματοποιούνται στα συγκεκριμένα μηχανήματα. Η ακρίβεια στη ρύθμιση του βάθους κοπής, παρέχει τη δυνατότητα ακριβούς εξόρυξης ακόμα και λεπτών στρωμάτων κοιτάσματος. Η χρήση των μηχανημάτων αυτών οδηγεί στη βελτίωση της ποιότητας του υλικού που εξορύσσεται, στην υψηλότερη απόδοση της εκμετάλλευσης, στη μείωση των απαιτούμενων εργασιών και σε καλύτερη σχέση εκμετάλλευσης.

Στην εικόνα 3.1 παρουσιάζεται πολυστρωματικό κοιτάσμα λιγνίτη στο οποίο απαιτείται εκλεκτική εξόρυξη.



Εικόνα 3. 1. Πολυστρωματικό κοιτάσμα λιγνίτη με εναλλαγή στρωμάτων λιγνίτη και άγονου υλικού. Wirtgen (2010).

3.1.4 Εκσκαφή τάφρων, επιχωμάτων και επίπεδων επιφανειών

Σε περιπτώσεις όπου απαιτείται η εκσκαφή τάφρων, επιχωμάτων και επίπεδων επιφανειών σε μεσαίας έως υψηλής αντοχής πετρώματα, η χρήση των surface miners παρέχει μία σειρά από πλεονεκτήματα. Πρώτον, αποφεύγεται η χρήση εκρηκτικών. Δεύτερον, είναι δυνατή η διαμόρφωση απότομων, αλλά σταθερών επιφανειών. Τρίτον, οι εργασίες χαρακτηρίζονται από μεγάλη ακρίβεια. Τέταρτον, η κοκκομετρία του εξορυγμένου πετρώματος το καθιστά κατάλληλο για χρήση ως σκύρο αδρανές υλικό.

Στην εικόνα 3.2 παρουσιάζεται η εκσκαφή τάφρου με τη χρήση surface miner.



Εικόνα 3. 2. Εκσκαφή τάφρου με surface miner. Wirtgen (2010).

3.1.5 Διαμόρφωση δαπέδων υπόγειων στοών

Η διαμόρφωση του τελικού προφίλ υπόγειων στοών είναι μία αρκετά χρονοβόρα εργασία, η οποία απαιτεί υψηλή ακρίβεια στην εκτέλεσή της. Η χρήση εκρηκτικών υλών προκαλεί σε αρκετές περιπτώσεις σημαντικά προβλήματα λόγω της διατάραξης του πετρώματος. Με τη χρήση εκρηκτικών η ακρίβεια δεν είναι δεδομένη και συχνά απαιτούνται επιπλέον εργασίες διαμόρφωσης. Η χρήση surface miner επιτρέπει την εκσκαφή και την αποκατάσταση των δαπέδων υπόγειων στοών χωρίς χρήση εκρηκτικών υλών και με εξαιρετική ακρίβεια. Στην εικόνα 3.3 παρουσιάζεται ο τρόπος εργασίας ενός τέτοιου μηχανήματος στη διαμόρφωση δαπέδου υπόγειας στοάς.



Εικόνα 3. 3. Διαμόρφωση δαπέδου υπόγειας στοάς. Wirtgen (2010).

3.1.6 Αποκατάσταση οδών

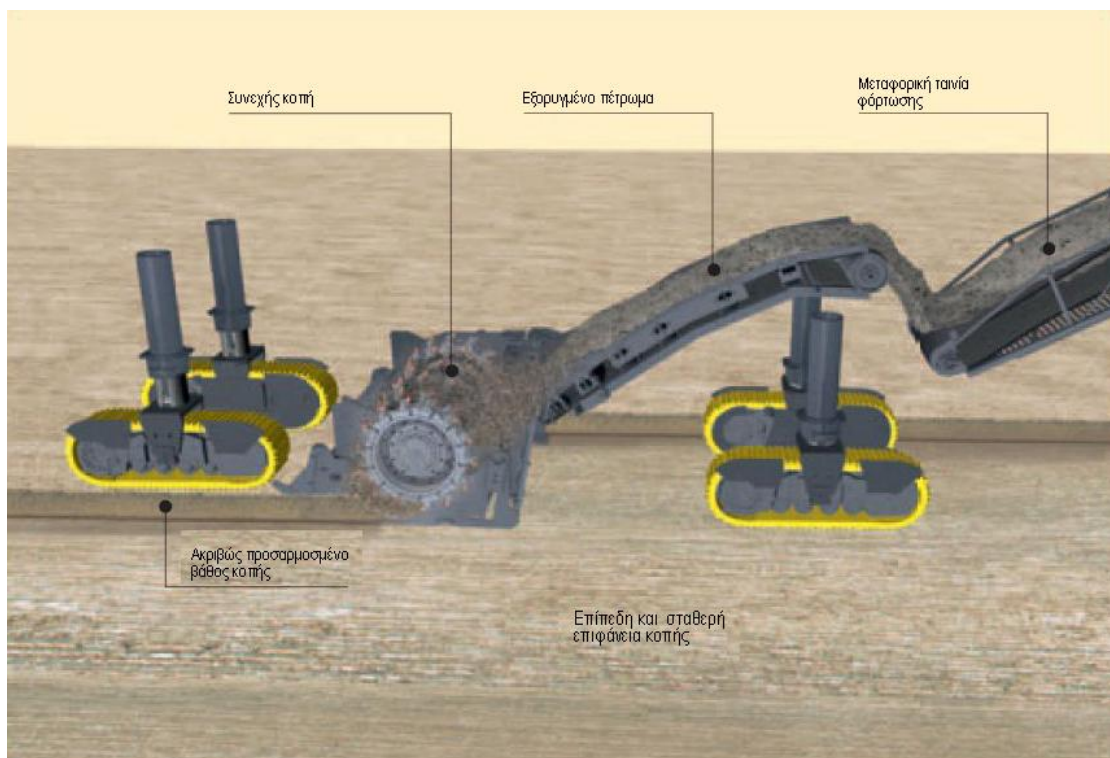
Η χρήση των συγκεκριμένων μηχανημάτων επιτρέπει την εξομάλυνση οδών. Η εξομάλυνση των οδών έχει σαν αποτέλεσμα την ταχύτερη κίνηση των μηχανημάτων, τη μικρότερη φθορά των ελαστικών τους, τη μικρότερη κατανάλωση καυσίμων, καθώς και την αύξηση της ασφάλειας. Στην εικόνα 3.4 παρουσιάζεται η αποκατάσταση οδού σε υπόγειο ορυχείο.



Εικόνα 3. 4. Αποκατάσταση οδού σε υπόγειο ορυχείο. Wirtgen (2010).

3.2 ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

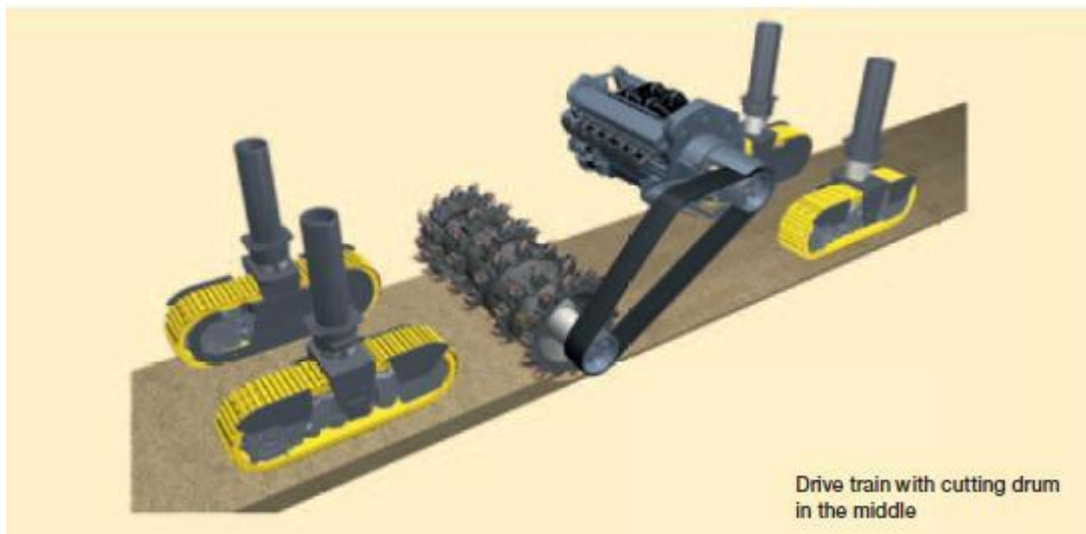
Τα μηχανήματα αυτά έχουν κατασκευαστεί με σκοπό την αποτελεσματική και συνεχή λειτουργία τους κατά την εξόρυξη πετρωμάτων. Το κάθε μηχάνημα εδράζεται σε και κινείται από τέσσερις ανεξάρτητες ερπύστριες, η ταχύτητα και το σχετικό ύψος των οποίων ρυθμίζεται ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο χώρο εκτέλεσης των εργασιών. Κατά τη διάρκεια κίνησης του μηχανήματος, ένα περιστρεφόμενο τύμπανο, το οποίο είναι τοποθετημένο χαμηλά στο κέντρο του μηχανήματος και φέρει κοπτικά σημειακής προσβολής, εξορύσσει το πέτρωμα και το θραύει σε μεγέθη κατάλληλα για φόρτωση στις μεταφορικές ταινίες που βρίσκονται ακριβώς μετά το τύμπανο. Η περιστροφή του τυμπάνου έχει φορά τέτοια ώστε η κοπή του πετρώματος να γίνεται από κάτω προς τα πάνω. Καθώς το τύμπανο περιστρέφεται, το υλικό μεταφέρεται στην πρώτη ταινία μεταφοράς και από εκεί στην ταινία φόρτωσης. Ο βασικός τρόπος λειτουργίας ενός surface miner παρουσιάζεται σχηματικά στην εικόνα 3.5.



Εικόνα 3. 5. Ο τρόπος λειτουργίας ενός surface miner. Wirtgen (2010).

Τα κύρια χαρακτηριστικά της λειτουργίας των surface miners της Wirtgen είναι τα παρακάτω:

- Κινητήρας DIESEL. Η κίνηση των μηχανημάτων γίνεται με τη βοήθεια δηζελοκινητήρα. Εκτός από την κίνηση του μηχανήματος, που γίνεται με το σύστημα ερπυστριών, ο κινητήρας κινεί μέσω μάντα και το τύμπανο κοπής. Άλλες λειτουργίες, όπως αυτές των μεταφορικών ταινιών, κινούνται μέσω υδραυλικών συστημάτων. Στην εικόνα 3.6 παρουσιάζεται η μετάδοση της κίνησης από τον κινητήρα στο τύμπανο κοπής.

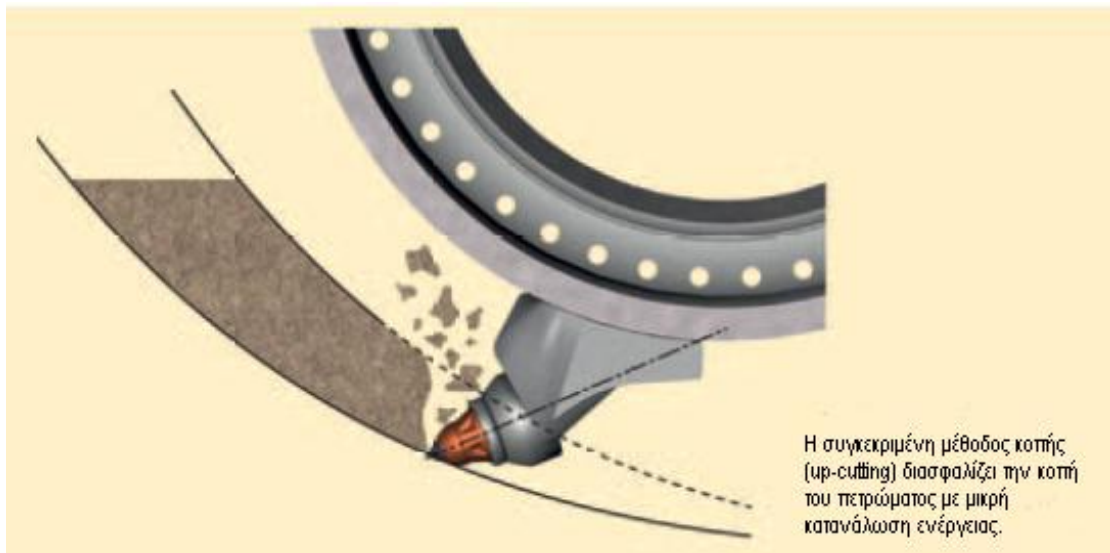


Εικόνα 3. 6. Η μετάδοση της κίνησης από τον κινητήρα στο τύμπανο κοπής. Wirtgen (2010).

- Τύμπανο κοπής. Είναι τοποθετημένο κεντρικά, μεταξύ των τεσσάρων ερπυστριών, περίπου στο κέντρο βάρους του μηχανήματος. Αυτή η θέση επιτρέπει την αξιοποίηση του βάρους του μηχανήματος κατά την κοπή και αυξάνει τη σταθερότητά του. Ως αποτέλεσμα είναι δυνατή η κοπή πετρωμάτων υψηλής αντοχής με καλή απόδοση. Η ταχύτητα περιστροφής του τυμπάνου κοπής κυμαίνεται από 60 έως 100 στροφές το λεπτό, ανάλογα με την επιλεγμένη μετάδοση της κίνησης. Αναλυτικά ο ρόλος του τυμπάνου κοπής περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.
- Μέθοδος κοπής. Το τύμπανο περιστρέφεται με φορά που κόβει το πέτρωμα από κάτω προς τα πάνω (up-cutting). Συγκεκριμένα η κοπή με φορά προς τα πάνω παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- α) Η μεγάλη οριζόντια δύναμη εξασφαλίζει την αποτελεσματική κοπή ακόμα και πετρωμάτων υψηλής αντοχής.
- β) Η κατακόρυφη δύναμη επιτρέπει τη διατήρηση του προκαθορισμένου βάθους κοπής.
- γ) Η συνισταμένη δύναμη κοπής σε κάθε κοπτικό αυξάνεται από το μηδέν στο μέγιστο κατά τη διάρκεια της κοπής, δηλαδή της προσβολής του πετρώματος από το κοπτικό.

Στην εικόνα 3.7 παρουσιάζεται η μέθοδος κοπής.



Εικόνα 3. 7. Μέθοδος κοπής από κάτω προς τα πάνω (up-cutting). Wirtgen (2010).

Χάρη στη μέθοδο up-cutting επιτυγχάνεται: α) μείωση της κατανάλωσης καυσίμων, β) μείωση της φθοράς των κοπτικών, γ) έλεγχος του μεγέθους των τεμαχίων του υλικού, δ) αύξηση της επίδοσης κοπής.

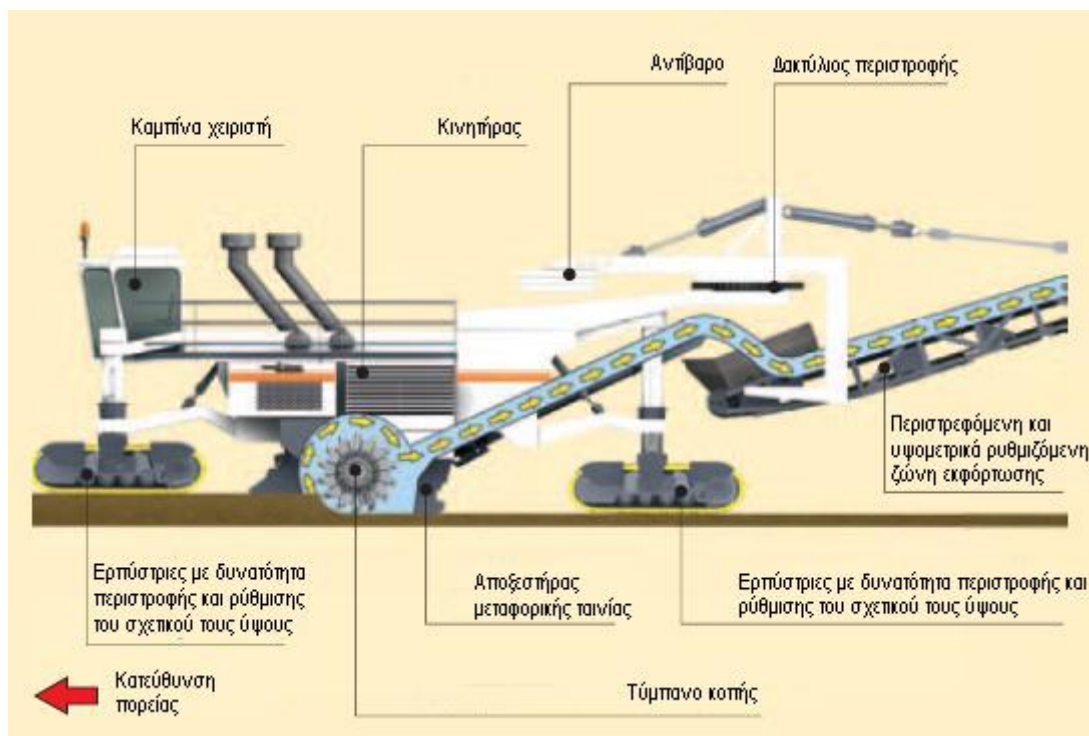
3.2.1 Χαρακτηριστικά μηχανήματος

Τα μηχανήματα της Wirtgen διακρίνονται σε δύο ομάδες με κριτήριο την πλευρά απόθεσης/φόρτωσης του εξορυγμένου πετρώματος.

Τα μηχανήματα 2500 SM και 4200 SM έχουν τη μεταφορική ταινία τοποθετημένη στην οπίσθια πλευρά του μηχανήματος. Αυτός ο σχεδιασμός παρέχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Επιτρέπει τη χρήση μεταφορικών ταινιών μεγάλου πλάτους με αποτέλεσμα τη δυνατότητα μεταφοράς μεγάλων ποσοτήτων υλικού.
- Γίνεται εφικτή η περιστροφή της μεταφορικής ταινίας έως και 180°.
- Ο μεγάλος πρόβολος (boom) της μεταφορικής ταινίας παρέχει τη δυνατότητα φόρτωσης φορητών μεγάλων διαστάσεων.
- Είναι εφικτή η πλευρική απόθεση υλικού σε μεγάλη απόσταση.

Στην εικόνα 3.8 παρουσιάζονται τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του μηχανήματος SM 2500.

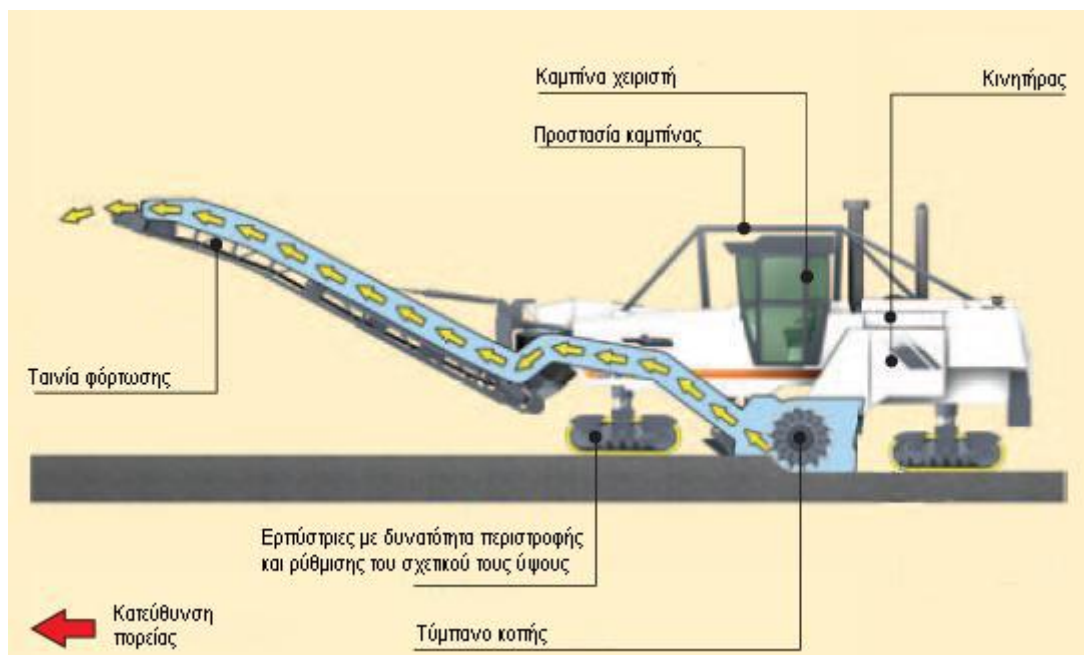


Εικόνα 3. 8. Περιστρεφόμενη και υψομετρικά ρυθμιζόμενη μεταφορική ταινία φόρτωσης. Wirtgen (2010).

Το μηχάνημα 2200 SM έχει σχεδιαστεί έχοντας τη μεταφορική ταινία τοποθετημένη στην πρόσθια πλευρά του. Τα πλεονεκτήματα τα οποία παρέχονται μέσω αυτού του σχεδιασμού είναι:

- Εύκολη αλλαγή του τρόπου διαχείρισης του εξορυγμένου πετρώματος από χρήση μεταφορικής ταινίας σε windrowing και αντίστροφα.
- Η ευκολία μεταφοράς του μηχανήματος λόγω μικρότερων διαστάσεων.
- Η ευκολία μεταφόρτωσης του υλικού σε άλλα μηχανήματα ακόμα και σε περιορισμένους χώρους.
- Η πολύ καλή επίβλεψη της διαδικασίας φόρτωσης από το χειριστή του μηχανήματος, καθώς η μεταφορική ταινία είναι τοποθετημένη ακριβώς μπροστά από την καμπίνα χειρισμού.
- Η ευκολία μετατροπής του μηχανήματος από μηχανήμα εξόρυξης σε μηχανήμα απόξεσης ασφαλτικών οδοστρωμάτων ή ψυχρής ανακύκλωσης.

Στην εικόνα 3.9 παρουσιάζεται το μηχανήμα 2200 SM.



Εικόνα 3. 9. Χαρακτηριστικά του μηχανήματος SM 2200, με τη μεταφορική ταινία τοποθετημένη στην πρόσθια πλευρά του. Wirtgen (2010).

3.2.2 Ρύθμιση βάθους κοπής

Η δυνατότητα ρύθμισης του βάθους κοπής με εξαιρετική ακρίβεια, επιτρέπει την πραγματοποίηση εκλεκτικής εξόρυξης, καθώς και τη διαμόρφωση ομαλών και επίπεδων οριζόντιων και κεκλιμένων επιφανειών.

Το βάθος κοπής καθώς και η κλίση του τυμπάνου κοπής, ορίζονται και ελέγχονται μέσω της προσαρμογής του σχετικού ύψους των ερπυστριών.

Η τοποθέτηση του τυμπάνου κοπής χαμηλά στο κέντρο του μηχανήματος παρουσιάζει μία σειρά από πλεονεκτήματα. Πρώτον, η τοποθέτηση του κατά αυτόν τον τρόπο, συμβάλλει σημαντικά στη διατήρηση σταθερού βάθους κοπής αλλά και σταθερής κλίσης με την οποία πραγματοποιείται η κοπή. Δεύτερον, οι ερπύστριες παρέχουν σταθερότητα στο μηχανήμα και αποτρέπουν τυχόν μεταβολές του βάθους όπου πραγματοποιείται η κοπή του πετρώματος. Τέλος, η μέθοδος με την οποία πραγματοποιείται η κοπή (up-cutting) παρέχει κατάλληλη σταθερότητα στο τύμπανο, ακόμα και σε περιπτώσεις όπου το πέτρωμα που κόβεται παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση στην κοπή.

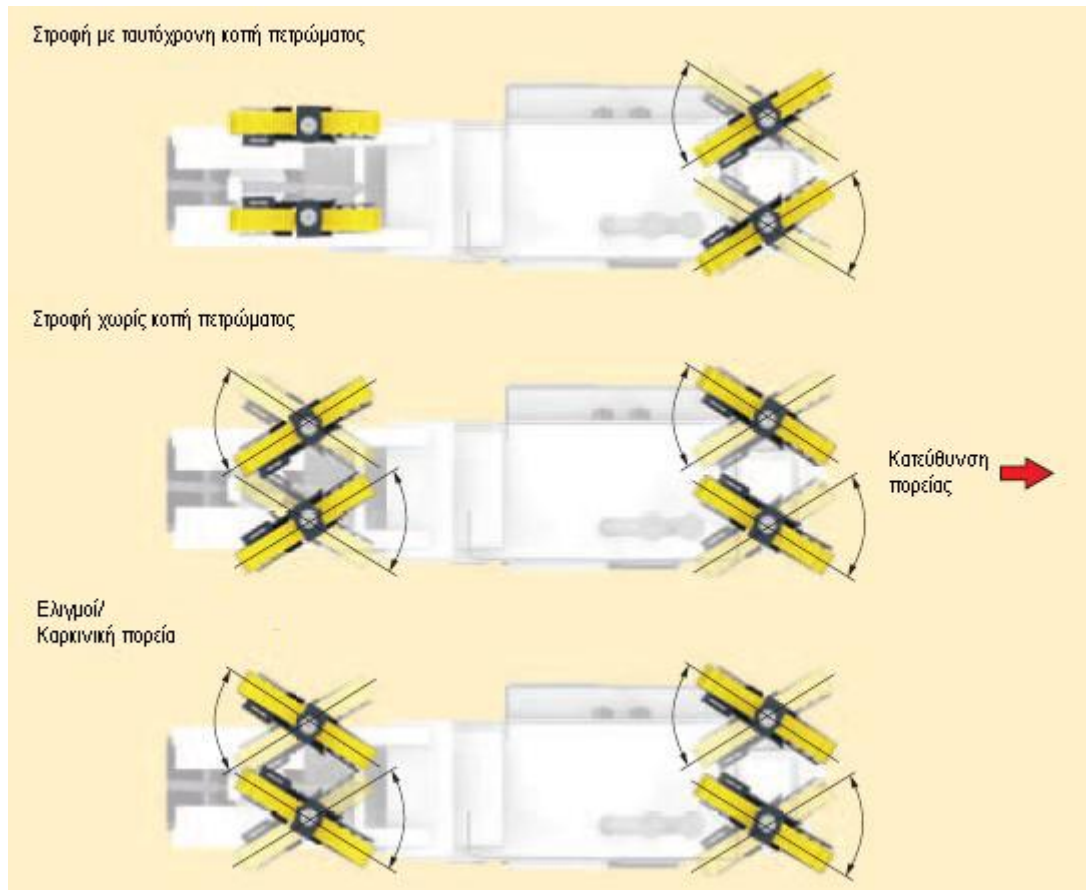
Οι surface miners μπορούν να πραγματοποιήσουν με μεγάλη ακρίβεια τις παρακάτω εργασίες:

- Εκσκαφή ομαλών οριζόντιων ή κεκλιμένων επιφανειών
- Διαμόρφωση επιφανειών συγκεκριμένων γεωμετρικών χαρακτηριστικών
- Αφαίρεση στρωμάτων εδάφους συγκεκριμένου πάχους

Το βάθος κοπής ελέγχεται με κατάλληλα συστήματα, όπως με νήμα (guide wire), συστήματα laser, αισθητήρες ύψους, συστήματα GPS κ.α.

3.2.3 Διεύθυνση Πορείας

Το κέντρο βάρους του μηχανήματος βρίσκεται στην περιοχή όπου είναι τοποθετημένο το τύμπανο κοπής, δηλαδή στο μέσο μεταξύ των μπροστινών και πίσω ερπυστριών. Το γεγονός αυτό, παρέχει τη δυνατότητα πραγματοποίησης ασφαλών ελιγμών του μηχανήματος ακόμα και σε ανώμαλες επιφάνειες. Την αλλαγή κατεύθυνσης του μηχανήματος διευκολύνει η δυνατότητα περιστροφής και των τεσσάρων ερπυστριών. Κατά την κοπή οι στροφές του μηχανήματος ελέγχονται μέσω των ερπυστριών που βρίσκονται στο μπροστινό μέρος. Η περιστροφή των εμπρός και πίσω ερπυστριών σε αντίθετη κατεύθυνση, επιτρέπουν την κίνηση του μηχανήματος σε μικρό κύκλο. Η περιστροφή τους προς την ίδια κατεύθυνση επιτρέπουν την καρκινική πορεία (crab steering) του μηχανήματος. Στην εικόνα 3.10 παρουσιάζονται οι δυνατότητες διεύθυνσης του μηχανήματος.



Εικόνα 3. 10. Δυνατότητες διεύθυνσης του μηχανήματος. Wirtgen (2010).

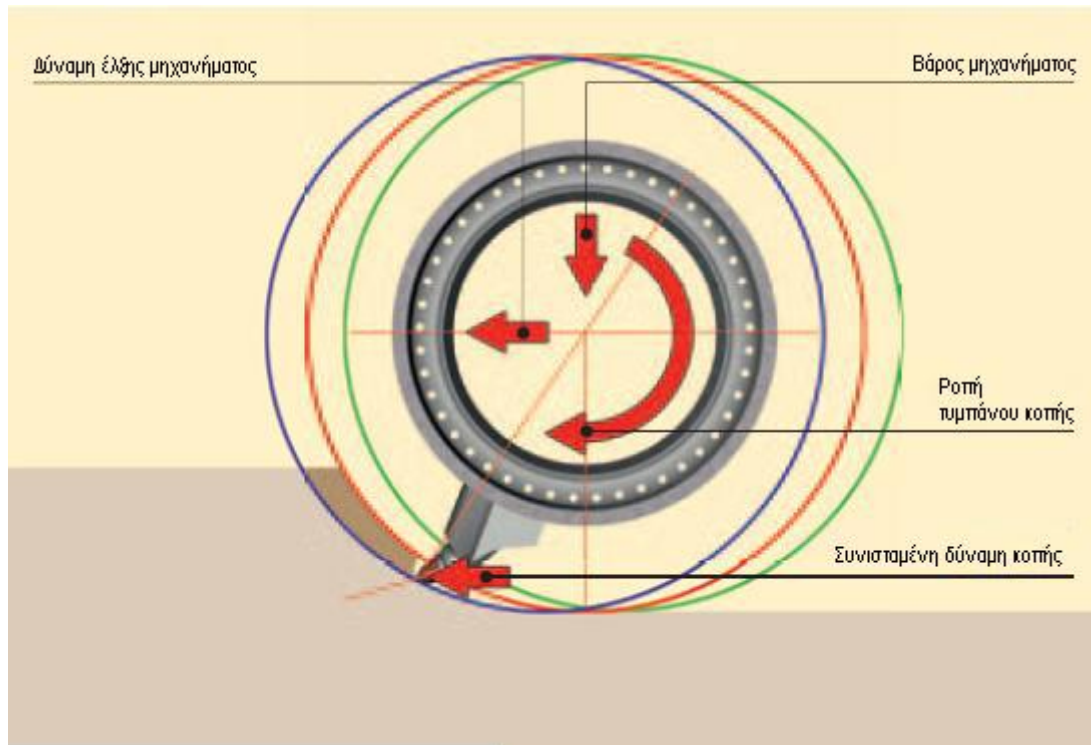
3.3 ΤΥΜΠΙΑΝΟ ΚΑΙ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΚΟΠΗΣ

Η τεχνολογία κοπής εξελίσσεται και βελτιώνεται συνεχώς έχοντας ως σκοπό τη βελτιστοποίηση της επίδοσης κοπής, την αύξηση του ορίου ζωής των κοπτικών εργαλείων, την ελαχιστοποίηση των λειτουργικών εξόδων και τη βελτίωση του ελέγχου του μεγέθους τεμαχίων που παράγονται κατά την κοπή (κοκκομετρία).

Η επίδοση κοπής ενός surface miner καθορίζεται από τους παρακάτω παράγοντες:

1. Από τον τύπο κοπτικών εργαλείων
2. Από τον τύπο της βάσης των κοπτικών εργαλείων
3. Από το πλήθος κοπτικών που φέρει το τύμπανο
4. Από την κλίση των κοπτικών εργαλείων
5. Από την ταχύτητα περιστροφής του τυμπάνου
6. Από το βάθος προσβολής του πετρώματος
7. Από την ταχύτητα προχώρησης του μηχανήματος.

Οι δυνάμεις, η συνισταμένη των οποίων είναι η δύναμη που ασκούν τα κοπτικά εργαλεία στο πέτρωμα, παρουσιάζονται στην εικόνα 3.11.



Εικόνα 3. 11. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την κοπή. Wirtgen (2010).

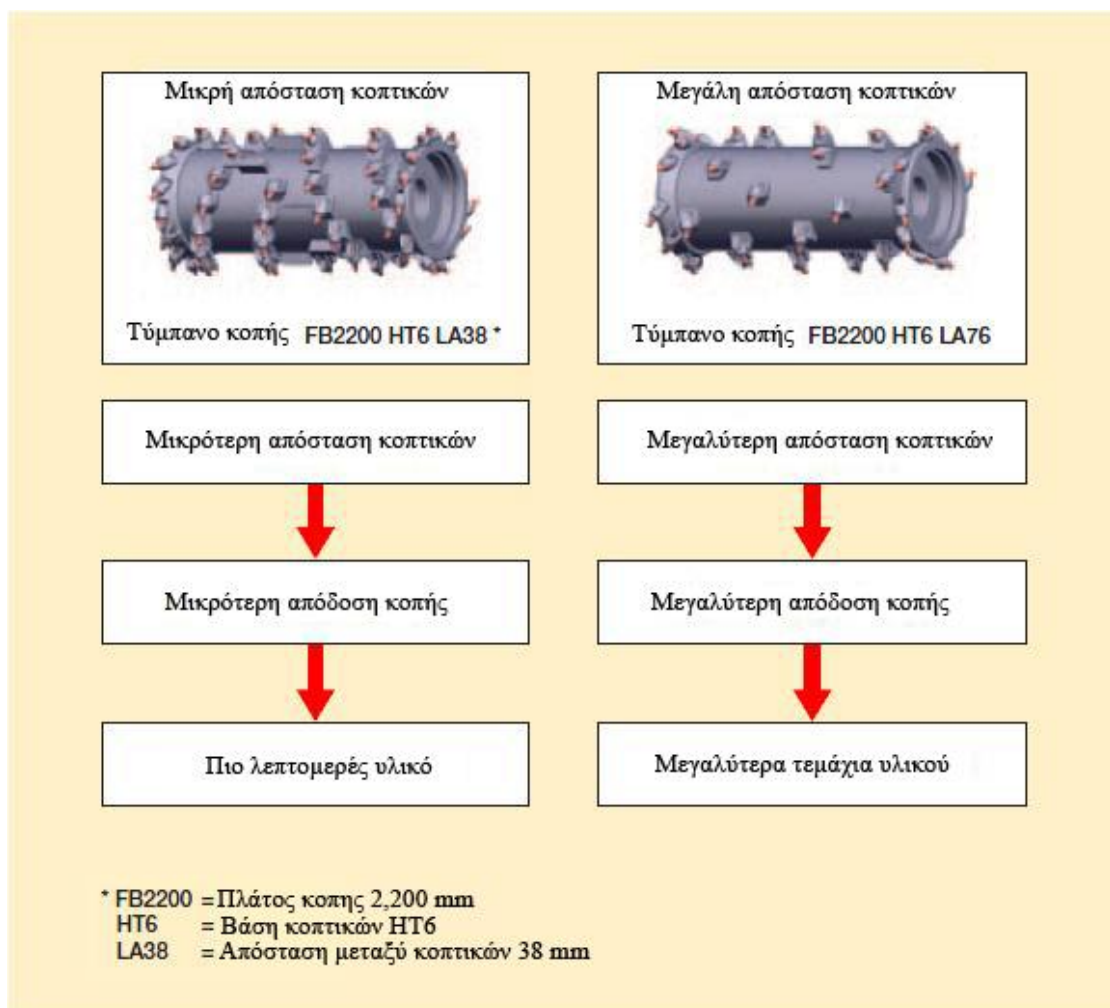
Το είδος του τυμπάνου κοπής που θα χρησιμοποιηθεί, ο αριθμός των κοπτικών που θα φέρει και η βάση τους, διαφέρουν ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εξορυσσόμενου πετρώματος. Ο σωστός συνδυασμός των τριών παραπάνω είναι κρίσιμος για τη βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της κοπής. Οι παράγοντες που καθορίζουν το είδος του τυμπάνου, της βάσης και των κοπτικών εργαλείων που θα χρησιμοποιηθούν είναι:

- Η αντοχή του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη
- Η δομή του πετρώματος
- Η αποξεστικότητα του πετρώματος
- Η επιθυμητή επίδοση κοπής
- Το επιθυμητό μέγεθος παραγόμενων τεμαχίων
- Τα λειτουργικά έξοδα

- Το διάστημα που απαιτείται για την αλλαγή κοπτικών υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες εργασίας.

3.3.1 Χαρακτηριστικά τυμπάνου

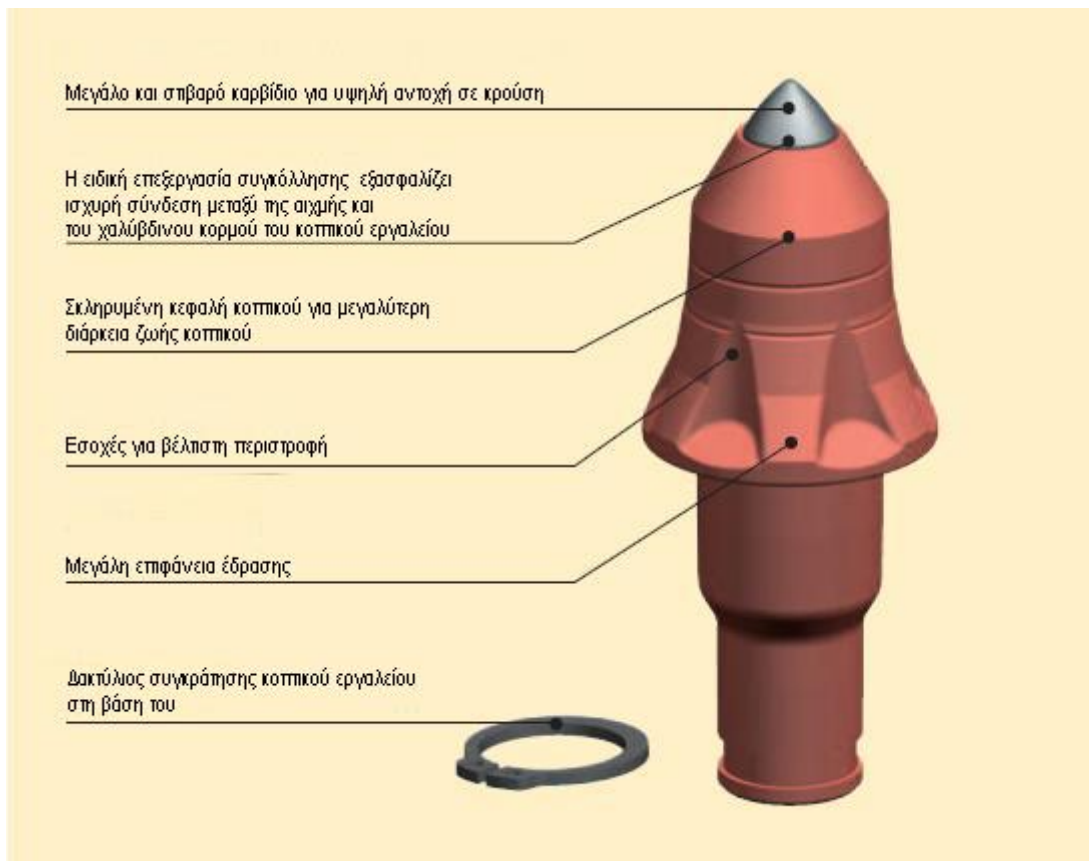
Το πλήθος των κοπτικών εργαλείων που φέρει το τύμπανο και ο τρόπος με τον οποίο αυτά είναι τοποθετημένα επηρεάζουν άμεσα την επίδοση κοπής. Οι δύο αυτοί παράγοντες διαφέρουν ανάλογα με την απόσταση μεταξύ των κοπτικών. Στην εικόνα 3.12 παρουσιάζεται τόσο η επίδοση κοπής όσο και το μέγεθος των παραγόμενων τεμαχίων, ανάλογα με την απόσταση που έχουν τα κοπτικά εργαλεία του τυμπάνου FB2200.



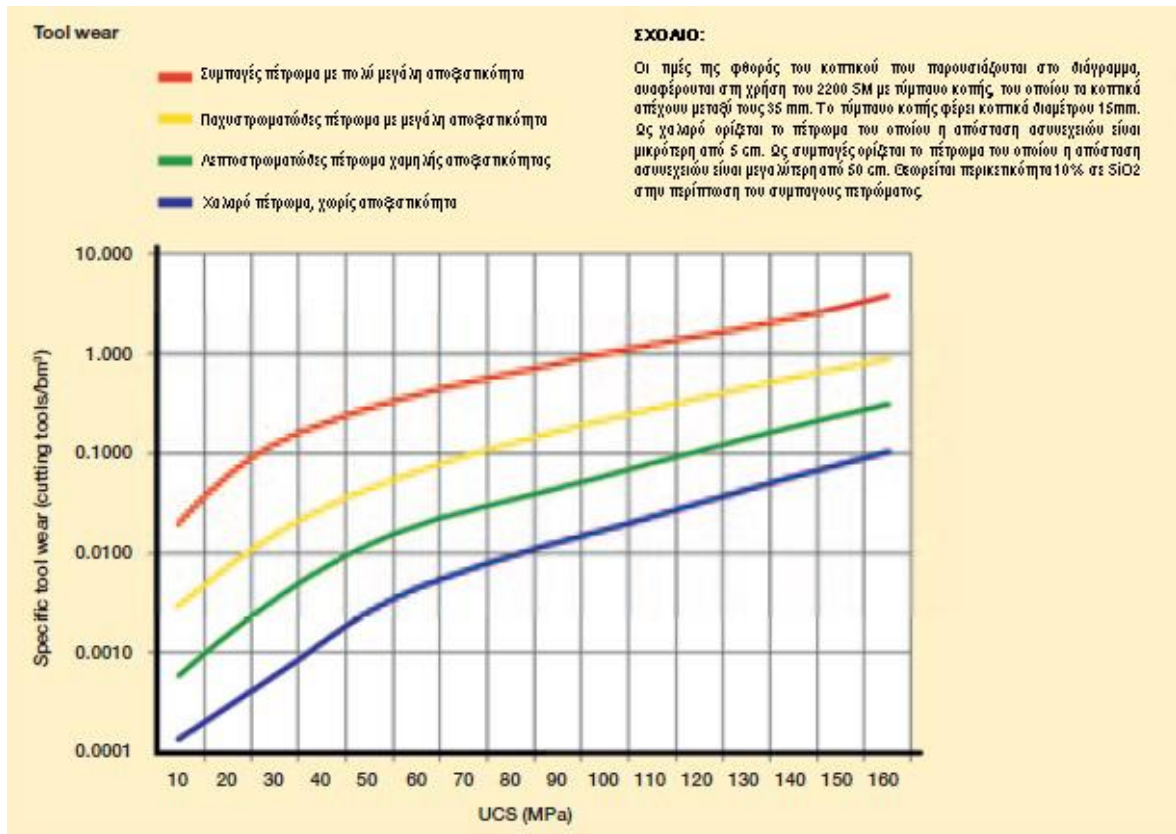
Εικόνα 3. 12. Απόδοση κοπής και μέγεθος υλικού, ανάλογα με το τύμπανο κοπής. Wirtgen (2010).

3.3.2 Κοπτικά εργαλεία

Η επιλογή κατάλληλων κοπτικών εργαλείων, σε συνάρτηση με τις συνθήκες εργασίας, είναι κομβικής σημασίας τόσο για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης κοπής, όσο και για τη μείωση της φθοράς που προκαλείται στα κοπτικά. Η χρήση κατάλληλων κοπτικών εργαλείων υψηλών προδιαγραφών, επιφέρει σημαντική μείωση στο κόστος των εργασιών. Στην εικόνα 3.13 παρουσιάζεται χαρακτηριστικό κοπτικό εργαλείο της εταιρίας Wirtgen ενώ στο διάγραμμα 3.1 παρουσιάζεται η σχετική φθορά των κοπτικών εργαλείων σε συνάρτηση με τη δομή του πετρώματος και την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη.



Εικόνα 3. 13. Κοπτικό εργαλείο σημειακής προσβολής διαμέτρου 38 mm. Wirtgen (2010).



Διάγραμμα 3. 1. Φθορά κοπτικών εργαλείων σε συνάρτηση με τη δομή του πετρώματος και την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη. Wirtgen (2010).

3.4 ΕΠΙΔΟΣΗ ΚΟΠΗΣ

Η επίδοση κοπής, η φθορά των κοπτικών εργαλείων και επομένως και το κόστος εξόρυξης, εξαρτώνται κυρίως από τις μηχανικές ιδιότητες του πετρώματος που θα κοπεί.

Η εταιρία Wirtgen, προκειμένου να εκτιμήσει την επίδοση κοπής, τη φθορά των κοπτικών αλλά και του μεγέθους των τεμαχίων που θα δημιουργηθούν, λαμβάνει υπόψη κυρίως τα παρακάτω χαρακτηριστικά του πετρώματος:

- Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη
- Αντοχή σε εφελκυσμό
- Αποξεστική ικανότητα
- Πυκνότητα
- Δομή βραχομάζας (πλήθος, απόσταση, διεύθυνση και πλήρωση ασυνεχειών)
- Εδαφική ταξινόμηση
- Ταχύτητα διάδοσης σεισμικού κύματος
- RQD

- Δείκτης σημειακής φόρτισης
- Ενέργεια κατάτμησης (π.χ. δείκτης Bond)
- Φθοροποιός ικανότητα (Schimazek ή CERCHAR)
- Μέτρο ελαστικότητας
- Πορώδες
- Συνοχή

3.5 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ ΕΞΟΡΥΓΜΕΝΟΥ ΠΙΕΤΡΩΜΑΤΟΣ

Οι surface miners της Wirtgen θραύουν απευθείας το πέτρωμα σε μικρά τεμάχια. Το μέγεθος των τεμαχίων που παράγονται με αυτόν τον τρόπο αντιστοιχεί στο μέγεθος που παράγει μία συμβατική μονάδα θραύσης πετρωμάτων.

Το μέγεθος εξαρτάται κυρίως από τη δομή τη μάζας του πετρώματος, την αντοχή του σε μονοαξονική θλίψη και τη δυσθραυστότητά του.

Μικρότερα τεμάχια υλικού παράγονται όταν:

- Στη μάζα του πετρώματος παρατηρούνται ελάχιστες ή και καθόλου ασυνέχειες
- Το πέτρωμα παρουσιάζει μεγάλη αντοχή σε μονοαξονική θλίψη
- Το πέτρωμα παρουσιάζει μεγάλη δυσθραυστότητα

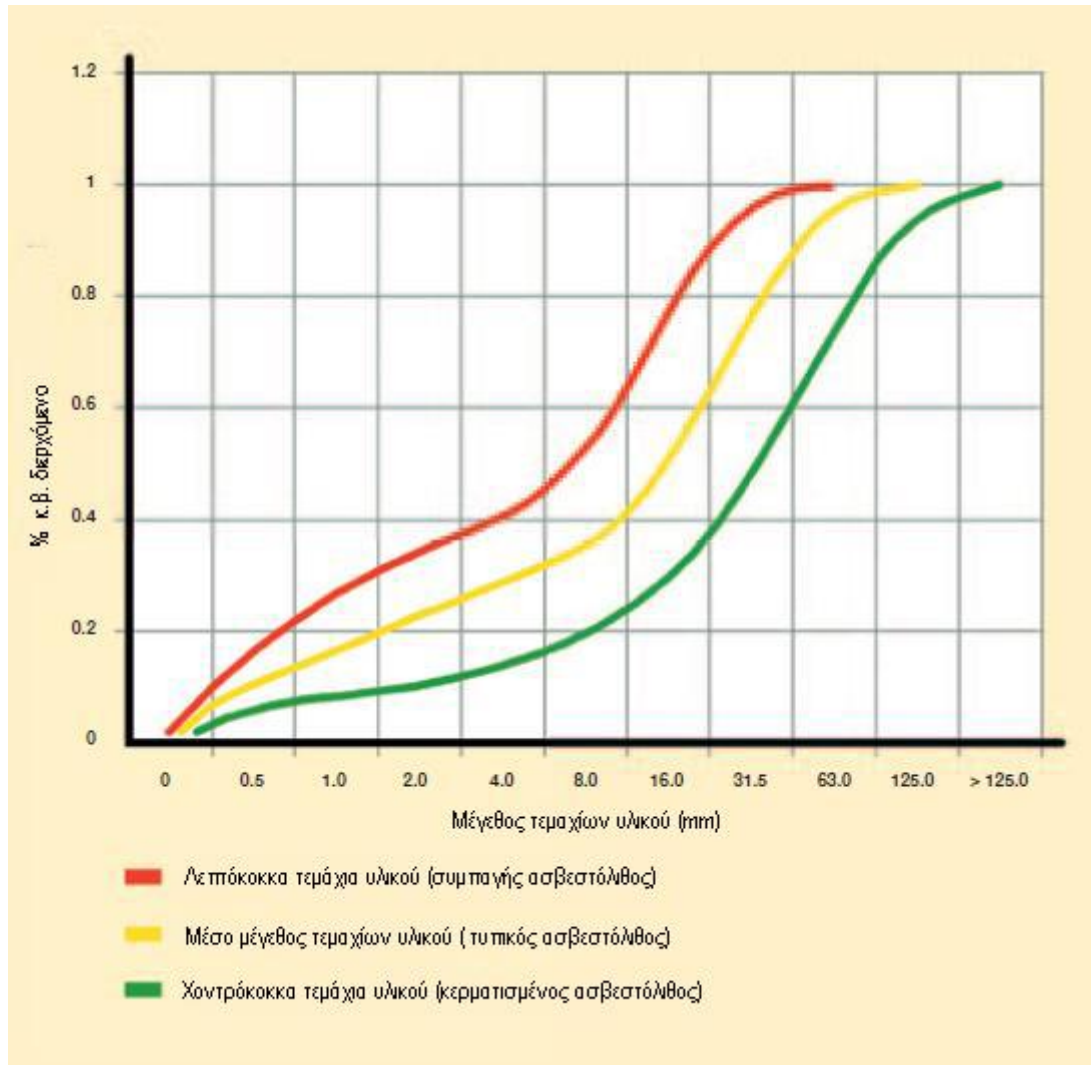
Αντιθέτως, μεγαλύτερα τεμάχια υλικού παράγονται όταν:

- Οι ασυνέχειες στη μάζα του υλικού είναι ευδιάκριτες και έχουν οριζόντια διεύθυνση
- Το πέτρωμα παρουσιάζει μικρή αντοχή σε μονοαξονική θλίψη
- Το πέτρωμα παρουσιάζει μικρή δυσθραυστότητα

Το μέγεθος τεμαχίων του παραγόμενου υλικού είναι δυνατό να μεταβληθεί αν κάτι τέτοιο είναι επιθυμητό. Η μεταβολή αυτή μπορεί να προέλθει μετά από τροποποίηση:

- Του βάθους κοπής
- Της ταχύτητας προχώρησης
- Της ταχύτητας περιστροφής τυμπάνου
- Της απόστασης των κοπτικών
- Του τύπου των κοπτικών
- Της μεθόδου φόρτωσης

Στο διάγραμμα 3.2, φαίνονται κοκκομετρικές καμπύλες εξορυγμένου με surface miner ασβεστολίθου.



Διάγραμμα 3. 2. Κοκκομετρικές καμπύλες εξορυγμένου με surface miner ασβεστολίθου. Wirtgen (2010).

3.6 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

Οι surface miners εξορύσσουν το πέτρωμα σε στρώματα πάχους 0.1 έως 0.8 m με τον τρόπο που παρουσιάζεται στην εικόνα 3.14.

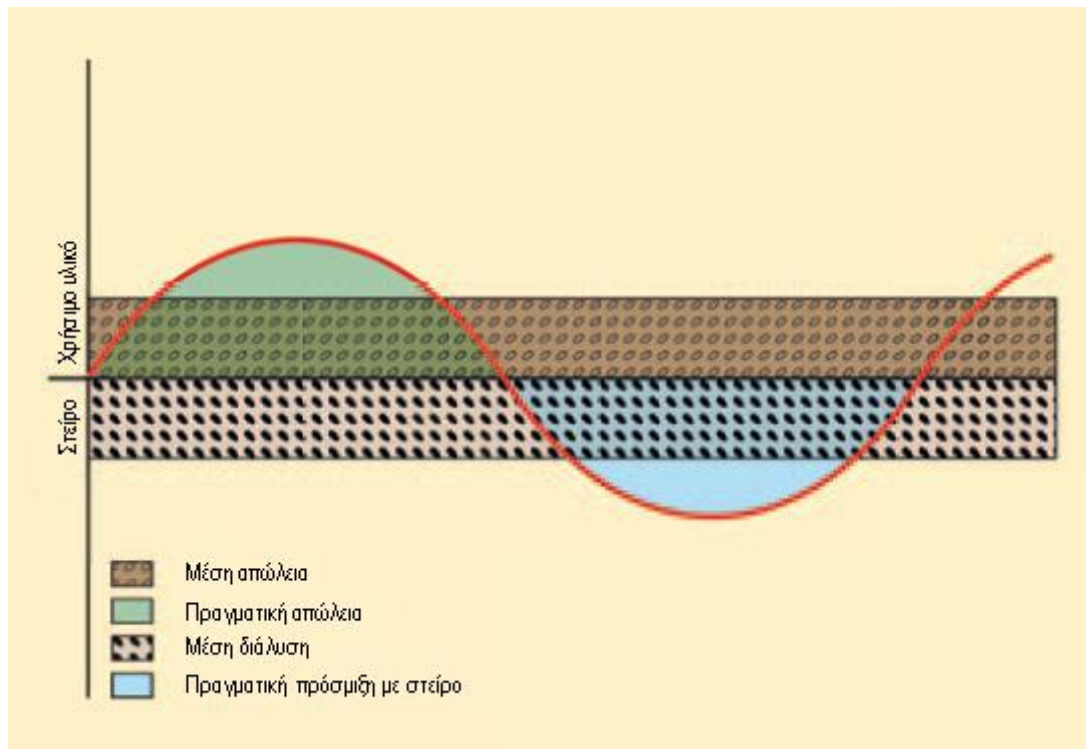


Εικόνα 3. 14. Εξόρυξη λεπτών στρωμάτων εδάφους. Wirtgen (2010).

Η δυνατότητα ακριβούς ρύθμισης του βάθους κοπής, επιτρέπει την αφαίρεση λεπτών στρώσεων υλικού ή τη διαμόρφωση επιφανειών συγκεκριμένων χαρακτηριστικών με μεγάλη ακρίβεια. Το πλάτος και η διεύθυνση του στρώματος που εξορύσσεται, ορίζεται με τη βοήθεια του συστήματος διεύθυνσης. Ωστόσο, η ελάχιστη ακτίνα στροφής του μηχανήματος περιορίζεται από το βάθος κοπής και την ανθεκτικότητα του πετρώματος.

3.6.1 Εκλεκτική εξόρυξη

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, πλεονέκτημα της χρήσης αυτών των μηχανημάτων είναι η δυνατότητα εκλεκτικής εξόρυξης. Παρόλα αυτά, όταν πραγματοποιείται κοπή πετρώματος κατά μήκος της επαφής του χρήσιμου υλικού με το στείρο, πρέπει να αναμένεται κατά θέσεις τόσο απώλεια σε χρήσιμο υλικό όσο και πρόσμιξη με στείρο, λόγω ταλαντώσεων του τυμπάνου ή ανωμαλιών στο δάπεδο. Η ζώνη αναμενόμενων απωλειών ή/και προσμίξεων κυμαίνεται στα 2.5 cm εκατέρωθεν της επαφής. Στο διάγραμμα 3.3 παρουσιάζονται οι αναμενόμενες απώλειες και προσμίξεις υλικού σε μία τέτοια περίπτωση.



Διάγραμμα 3. 3. Αναμενόμενες απώλειες και προσμίξεις. Wirtgen (2010).

3.6.2 Χαρακτηριστικά λειτουργίας μηχανημάτων

Ελάχιστη ακτίνα στροφής

Τα συγκεκριμένα μηχανήματα μπορούν να στρίψουν κατά τη λειτουργία τους είτε διακόπτοντας την κοπή πετρώματος είτε συνεχίζοντάς την. Η ελάχιστη ακτίνα στροφής διαφέρει ανά περίπτωση και μεταβάλλεται σημαντικά ανάλογα με το βάθος στο οποίο πραγματοποιείται η κοπή, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 3.2.

Βάθος κοπής	2200 SM	2500 SM	4200 SM
0 mm (δεν πραγματοποιείται κοπή)	6 m	9,5 m	13 m
έως 100 mm	11 m	20 m	29 m
από 100 mm έως 300 mm	56 m	80 m	153 m
από 300 mm έως 600 mm	75 m	107 m	205 m

Πίνακας 3. 2. Ελάχιστες ακτίνες στροφής ανάλογα με το βάθος κοπής. Wirtgen (2010).

Θερμοκρασία περιβάλλοντος και υψόμετρο

Η κατασκευή αυτών των μηχανημάτων, επιτρέπει τη λειτουργία τους σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος από -20 °C έως +45 °C. Σε περίπτωση που οι εργασίες εκτελούνται υπό δυσμενείς συνθήκες, επιπλέον ρυθμίσεις ή εξαρτήματα είναι δυνατόν να βελτιώσουν την απόδοση και τη λειτουργία τους. Σε περίπτωση χαμηλών θερμοκρασιών για παράδειγμα, είναι δυνατή η χρήση ειδικών λιπαντικών, ενώ σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών είναι δυνατή η χρήση ειδικών ψυκτικών.

Τέλος, τα μηχανήματα αυτά παρέχουν τη δυνατότητα απρόσκοπτης λειτουργίας σε υψόμετρο το οποίο φτάνει τα 3000 m από την επιφάνεια της θάλασσας.

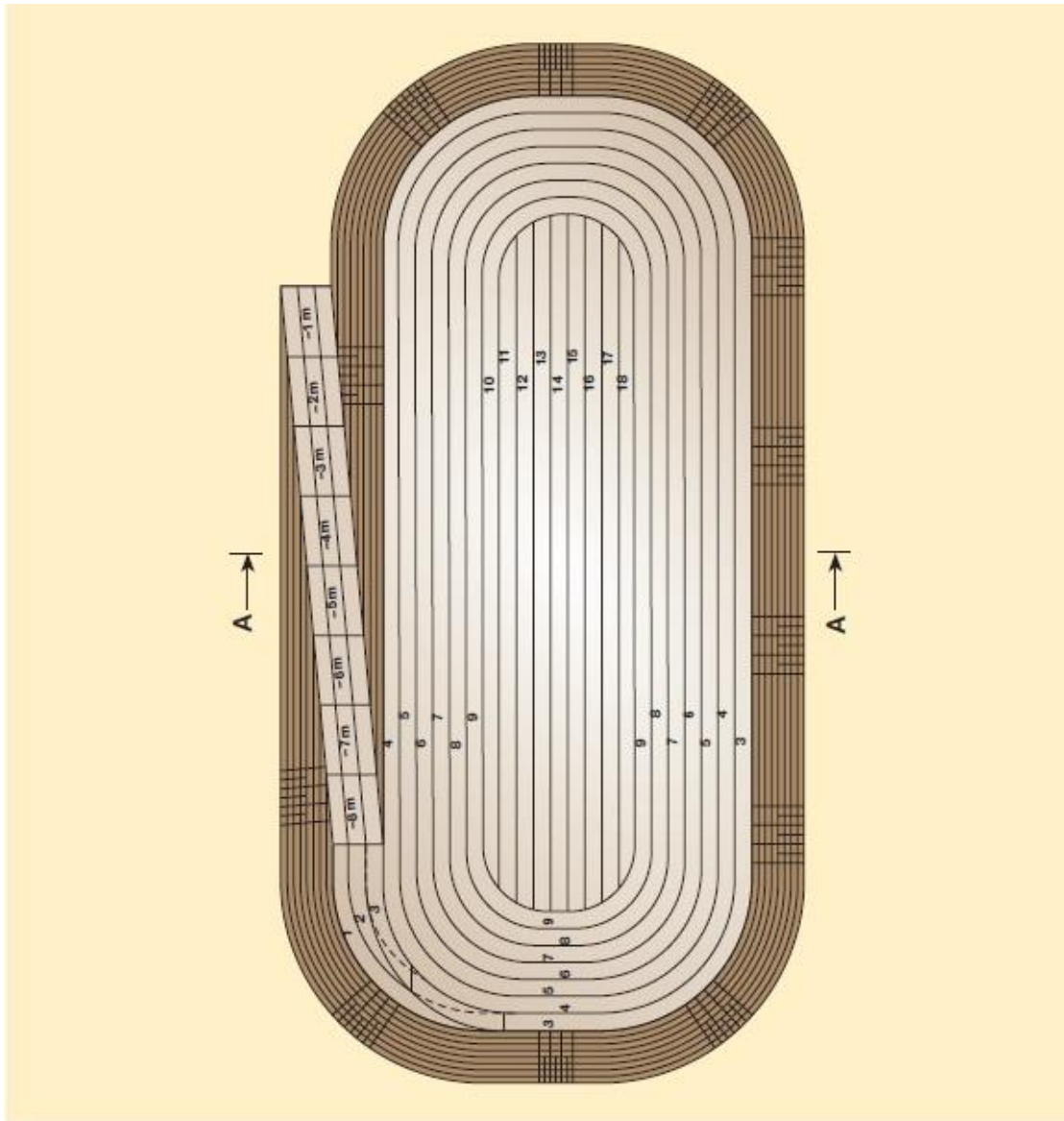
3.6.3 Μέθοδοι εκμετάλλευσης

Ανάλογα με τις περιστάσεις και τις ιδιαιτερότητες κάθε χώρου εργασίας ένας surface miner μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους και με διάφορες μεθόδους. Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζονται τρόποι λειτουργίας του μηχανήματος ανάλογα με τις συνθήκες εκσκαφής.

Κλειστή εκσκαφή

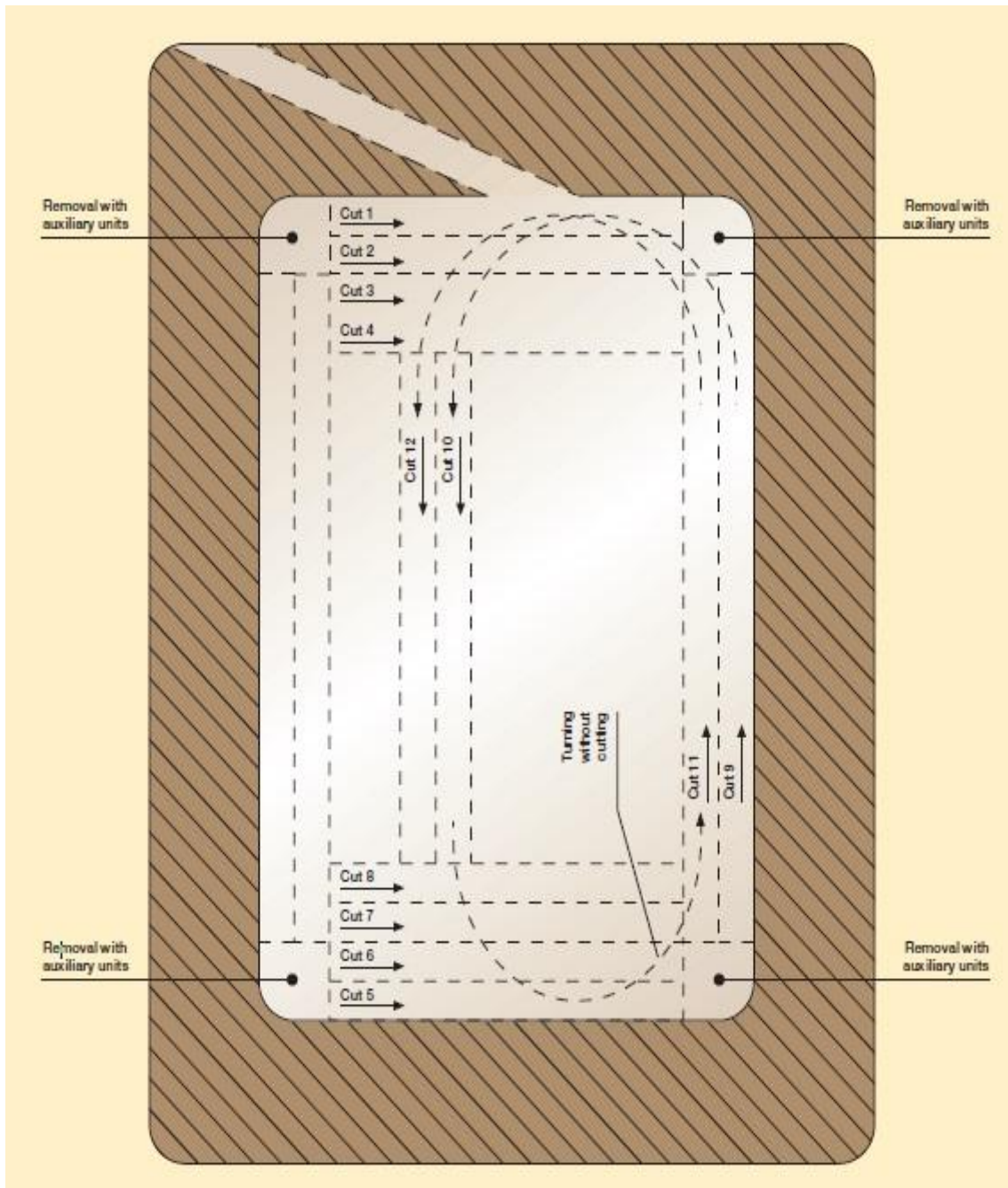
Βασική απαίτηση για την πραγματοποίηση της εξόρυξης με αυτή τη μέθοδο, είναι η ύπαρξη επιφάνειας εργασίας μεγάλου μήκους και πλάτους (τουλάχιστον 4 φορές μεγαλύτερο από την ελάχιστη ακτίνα στροφής του μηχανήματος). Το κοίτασμα εξορύσσεται με τη σταδιακή αφαίρεση λεπτών στρωμάτων πετρώματος. Το βάθος κοπής καθορίζεται από την αρχή και παραμένει σταθερό κατά τη διάρκεια των εργασιών.

Σε πετρώματα χαμηλής αντοχής και αποξεστικότητας, είναι εφικτή η κοπή ακόμα και κατά τη διάρκεια αλλαγής πορείας. Ένα γενικό πλάνο των εργασιών που πραγματοποιούνται με αυτόν τον τρόπο δίνεται στην εικόνα 3.15.



Εικόνα 3. 15. Διαδοχικές συνεχείς κοπές σε εκμετάλλευση κλειστής εκσκαφής. Wirtgen (2010).

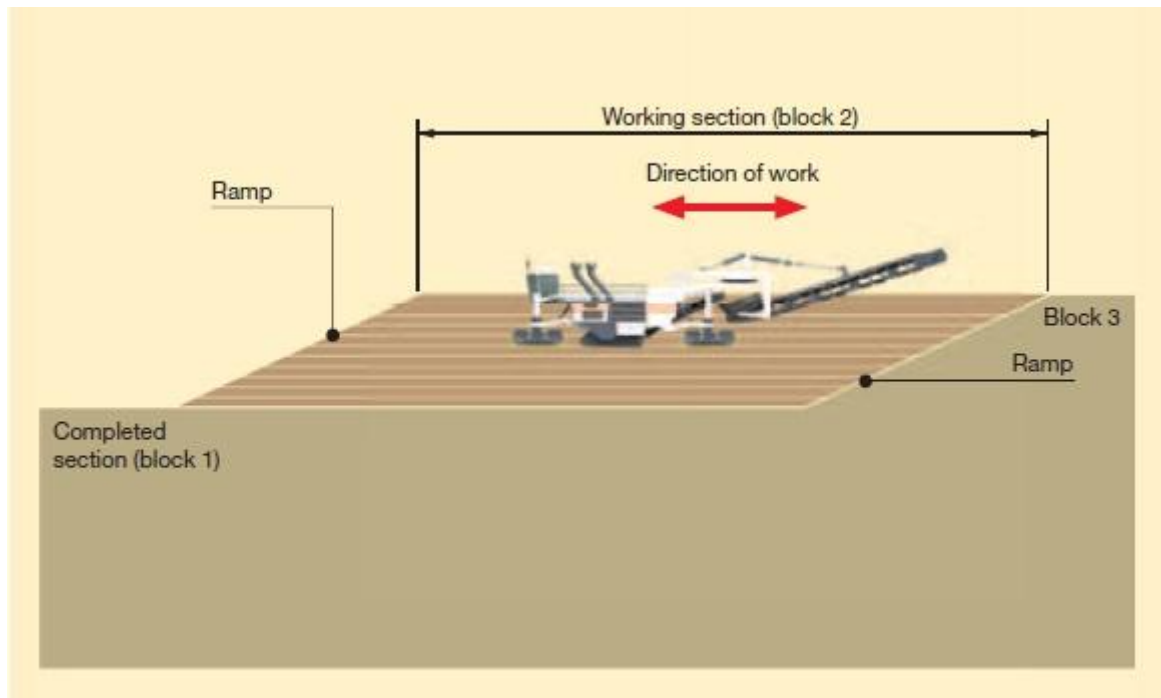
Σε πετρώματα υψηλής αντοχής κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό. Οι εργασίες σε αυτήν την περίπτωση γίνεται όπως στην εικόνα 3.16. Πρώτα εξορύσσονται λωρίδες με αθροιστικό πλάτος περίπου 1.5 φορές την ελάχιστη ακτίνα στροφής του μηχανήματος, οι οποίες είναι κάθετες προς την κύρια διεύθυνση κοπής. Έτσι διαμορφώνεται η ζώνη στροφής του μηχανήματος. Στη συνέχεια εξορύσσονται οι λωρίδες κατά την κύρια διεύθυνση κοπής. Στις γωνίες της εκσκαφής η εξόρυξη γίνεται με βοηθητικό εξοπλισμό.



Εικόνα 3. 16. Πλάνο εργασιών χωρίς κοπή κατά την αναστροφή του μηχανήματος. Wirtgen (2010).

Διαμήκης εξόρυξη ορθής βαθμίδας

Η εξόρυξη κατά αυτόν τον τρόπο, πραγματοποιείται όπως φαίνεται στην εικόνα 3.17.



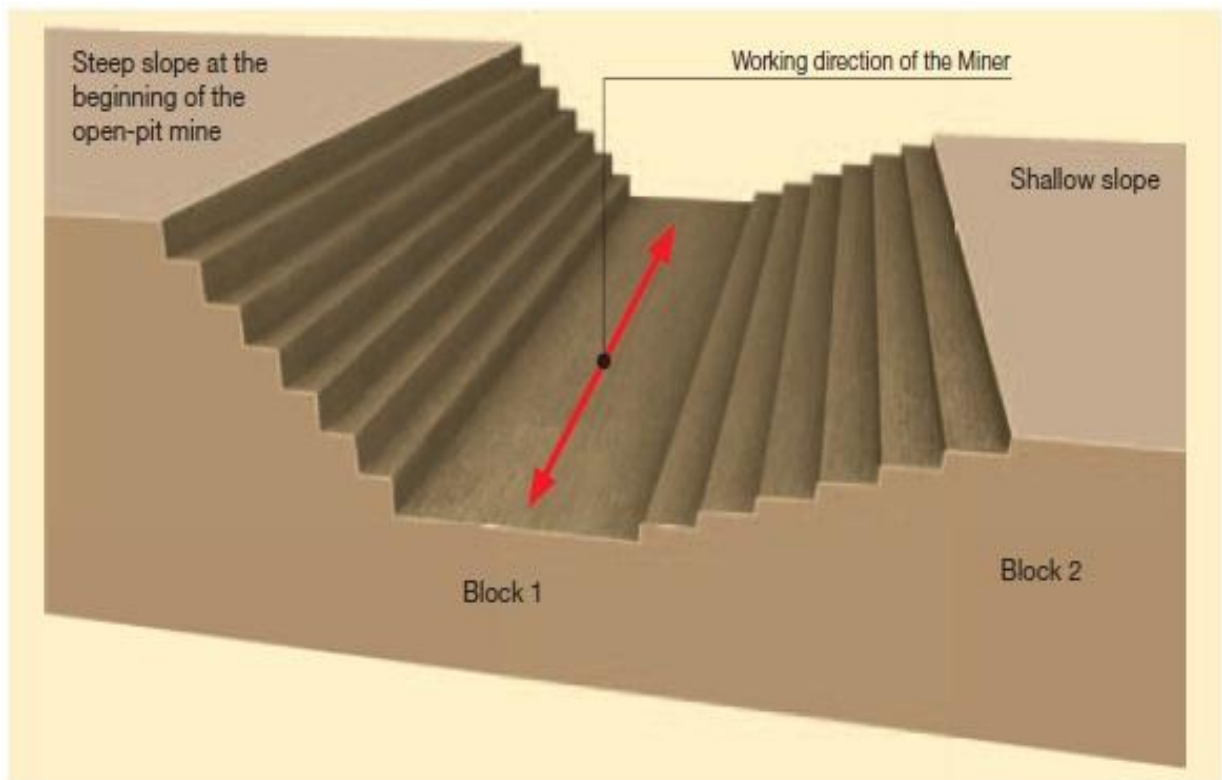
Εικόνα 3. 17. Διαμήκης εξόρυξη ορθής βαθμίδας. Wirtgen (2010).

Η εξόρυξη του κοιτάσματος γίνεται με διαδοχικές κοπές κατά μήκος της βαθμίδας. Στην αρχή και στο τέλος κάθε κοπής διαμορφώνεται κεκλιμένο επίπεδο (ράμπα) το οποίο επιτρέπει την πρόσβαση του μηχανήματος στο επίπεδο της επόμενης κοπής. Με τη δημιουργία κεκλιμένων, είναι εφικτή η πρόσβαση σε οποιοδήποτε επίπεδο καθ' όλη τη διάρκεια των εργασιών. Η μέθοδος αυτή θεωρείται κατάλληλη για την εκλεκτική εξόρυξη υλικού σε διακριτές κοπές ή για τη συνεχή εξόρυξη υλικού σε βαθμίδες. Ανάλογα με το πλάτος της βαθμίδας επιλέγεται κατάλληλη μέθοδος στροφής του μηχανήματος για τη συνέχιση των εργασιών.

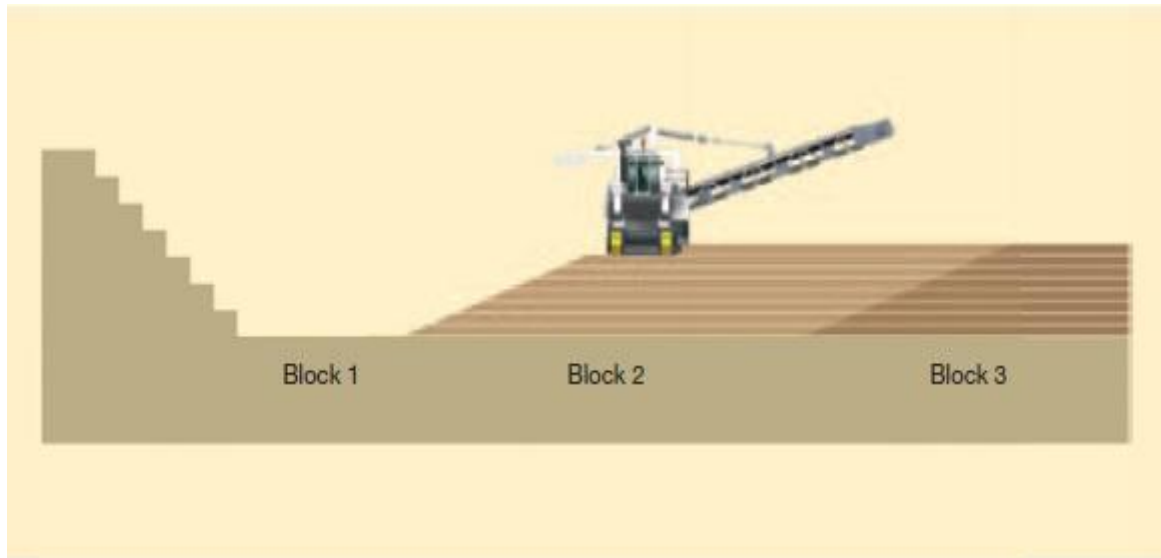
Εγκάρσια εξόρυξη ορθής βαθμίδας

Σε περιπτώσεις με συγκεκριμένα γεωλογικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά, η εξόρυξη συχνά είναι αποδοτικότερη όταν εκτελείται σε διεύθυνση κάθετη προς αυτή των βαθμίδων. Αρχικά, το πρώτο μπλοκ της βαθμίδας εξορύσσεται σε διαδοχικές λωρίδες, έτσι ώστε να διαμορφωθεί απότομο πρηνές προς την πλευρά που ορίζει το όριο της εκμετάλλευσης και

πρανές μικρότερης κλίσης προς την πλευρά του δεύτερου μπλοκ. Στη συνέχεια εξορύσσεται με όμοιο τρόπο το δεύτερο μπλοκ διαμορφώνοντας νέο πρανές μικρής κλίσης προς την πλευρά του τρίτου μπλοκ της βαθμίδας. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι το πέρας της βαθμίδας. Ένα πλάνο των εργασιών με τη συγκεκριμένη μέθοδο παρουσιάζεται στις εικόνες 3.18 και 3.19.



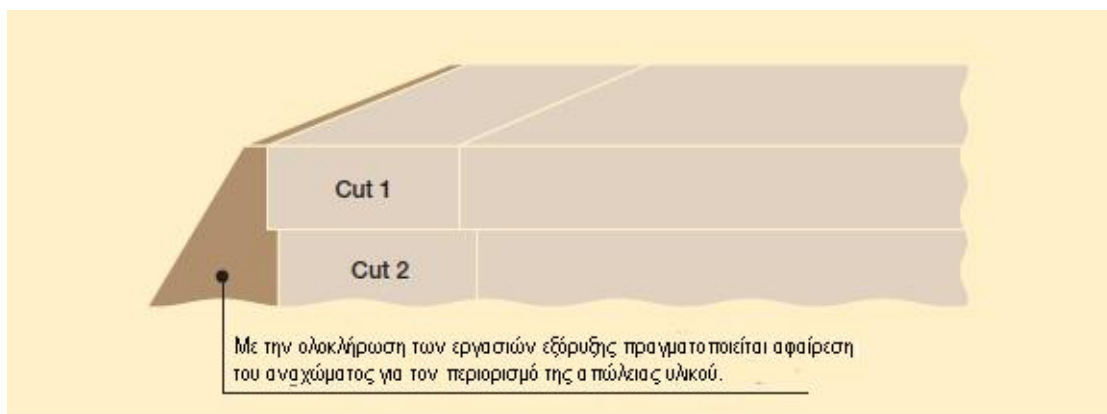
Εικόνα 3. 18. Εγκάρσια εξόρυξη ορθής βαθμίδας. Wirtgen (2010).



Εικόνα 3. 19. Πλάνο εργασιών εγκάρσιας εξόρυξης ορθής βαθμίδας. Wirtgen (2010).

Εξόρυξη σε προϋπάρχουσες βαθμίδες

Η εκμετάλλευση με ορθές βαθμίδες είναι η τυπική μέθοδος υπαίθριων εκμεταλλεύσεων με χρήση εκρηκτικών υλών. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι βαθμίδες έχουν συνήθως μεγάλο ύψος και –τελικά– μικρό πλάτος. Μια τέτοια εκμετάλλευση είναι δυνατό να μετασχηματιστεί σταδιακά σε εκμετάλλευση ευρείας έκτασης χωρίς βαθμίδες με χρήση του surface miner. Αυτό επιτυγχάνεται με την εξόρυξη των βαθμίδων λωρίδα-λωρίδα. Κατά τη λειτουργία του surface miner αφήνεται ένα μικρό ανάχωμα στο φρύδι της βαθμίδας για λόγους ασφαλείας. Το πλάτος του καθορίζεται από τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας. Το ανάχωμα εξορύσσεται σε δεύτερο χρόνο από βοηθητικό εξοπλισμό. Η εργασία του μηχανήματος σε αυτές τις συνθήκες παρουσιάζεται στις εικόνες 3.20 και 3.21.



Εικόνα 3. 20. Προστατευτικό ανάχωμα. Wirtgen (2010).



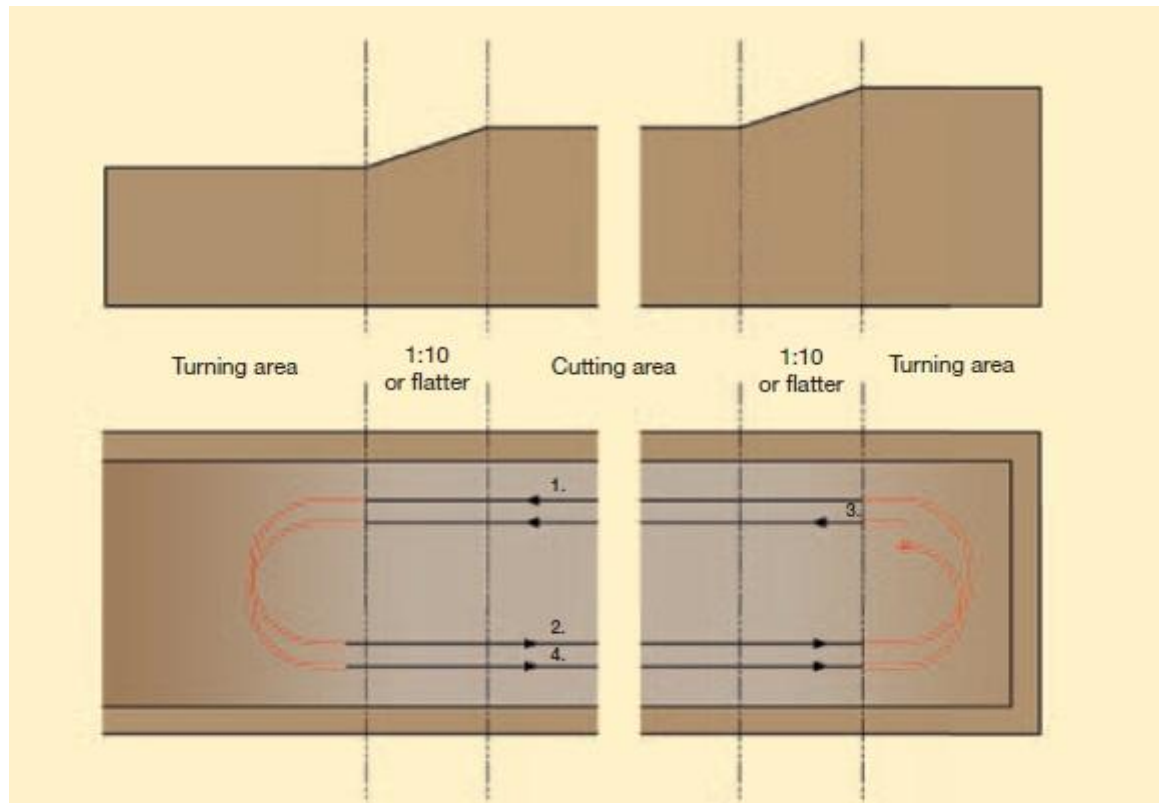
Εικόνα 3. 21. Εξόρυξη σε προϋπάρχουσες βαθμίδες. Wirtgen (2010).

3.6.4 Διεύθυνση και επανατοποθέτηση μηχανήματος

Σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματική λειτουργία ενός surface miner διαδραματίζει ο χρόνος που απαιτείται για την επανατοποθέτηση του μηχανήματος μεταξύ δύο διαδοχικών κοπών. Η μέθοδος που επιλέγεται για τη στροφή του μηχανήματος εξαρτάται από τις συνθήκες στις οποίες πραγματοποιείται η εκσκαφή. Οι τρόποι με τους οποίους τα μηχανήματα αυτά επανατοποθετούνται παρουσιάζονται σε αυτή την παράγραφο.

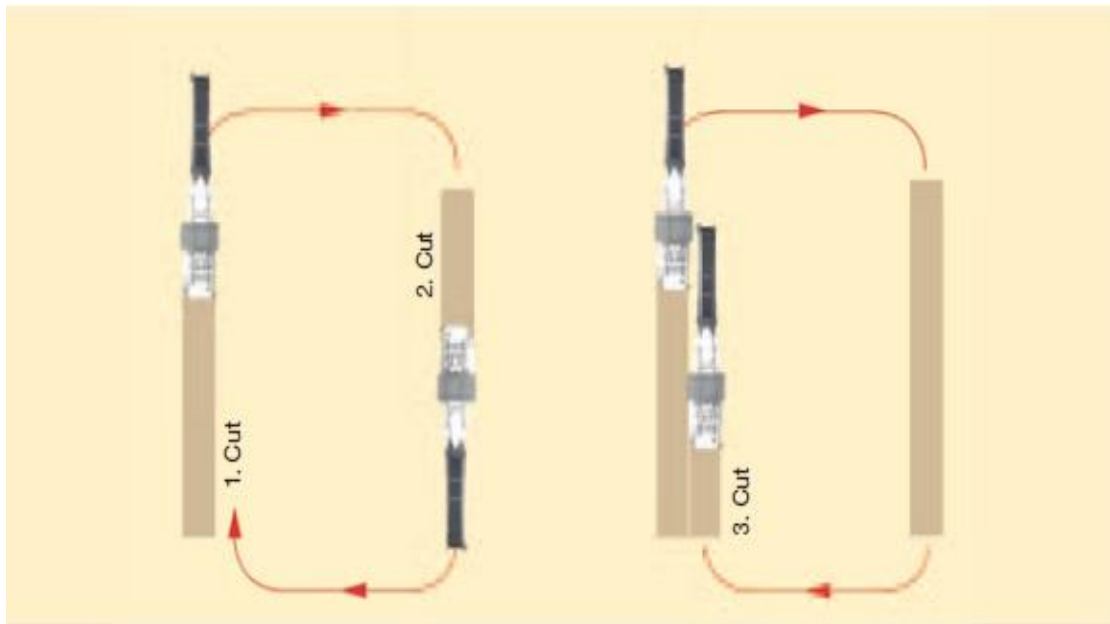
Αναστροφή σε μεγάλες επιφάνειες εργασιών

Όταν οι εργασίες πραγματοποιούνται σε χώρους με μεγάλη επιφάνεια (δηλαδή σε χώρους με μήκος και πλάτος μεγαλύτερο από το τετραπλάσιο της ελάχιστης ακτίνας στροφής) τα μηχανήματα μπορούν να πραγματοποιήσουν αναστροφή χωρίς δυσκολίες. Τα κεκλιμένα πρόσβασης στην αρχή και στο τέλος των κοπών διαμορφώνονται άμεσα ως μέρος της κύριας εξορυκτικής εργασίας. Ανάλογα με την κλίση σχεδιασμού αυτών των επιπέδων, το μηχάνημα μπορεί είτε μόνο να ξεκινήσει την αναστροφή ευρισκόμενο στο κεκλιμένο είτε και να την ολοκληρώσει πάνω σε αυτό. Στην εικόνα 3.22 παρουσιάζεται αυτή η μέθοδος.



Εικόνα 3. 22. Αναστροφή σε μεγάλη επιφάνεια εργασιών. Wirtgen (2010).

Όταν ολοκληρωθεί η πρώτη κοπή, το μηχάνημα πραγματοποιεί στροφή 180° και προχωρεί στη δεύτερη κοπή σε απόσταση τουλάχιστον διπλάσια της ελάχιστης ακτίνας στροφής. Με τον ίδιο τρόπο τοποθετείται για την τρίτη κοπή δίπλα στην πρώτη κ.ο.κ., όπως φαίνεται στην εικόνα 3.23.



Εικόνα 3. 23. Ακολουθία κοπών κατά την εκτέλεση εργασιών σε μεγάλη επιφάνεια. Wirtgen (2010).

Η στροφή του μηχανήματος σε αυτήν την περίπτωση δεν παρουσιάζει δυσκολίες, γεγονός που ελαχιστοποιεί και τον απαιτούμενο χρόνο. Μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η απαίτηση για ύπαρξη μεγάλου χώρου εκτέλεσης εργασιών.

Κάθετες κοπές

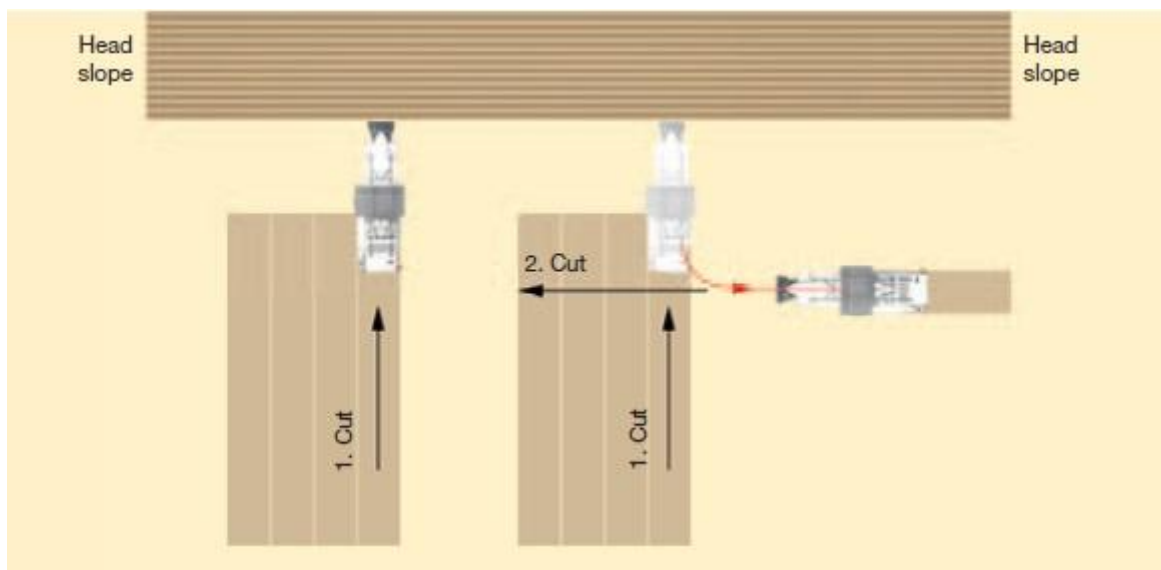
Σε αυτή τη μέθοδο διακρίνονται 2 περιπτώσεις.

Στην πρώτη περίπτωση οι διαδοχικές κοπές είναι κάθετες μεταξύ τους και το μηχάνημα εξορύσσει κατά τη στροφή. Στη δεύτερη περίπτωση το μηχάνημα πραγματοποιεί μεταξύ διαδοχικών κοπών ελιγμό 90° χωρίς να εξορύσσει, αφήνοντας στις γωνίες υλικό που πρέπει να εξορυχτεί με βοηθητικό εξοπλισμό. Ο τρόπος λειτουργία του μηχανήματος κατά την εκτέλεση κάθετων κοπών παρουσιάζεται στις εικόνες 3.24 και 3.25.

Η μέθοδος των κάθετων κοπών επιλέγεται συνήθως σε εκσκαφές με πρηνή στα άκρα τους, έτσι ώστε αυτά να διαμορφώνονται κατά την εξέλιξη της εκμετάλλευσης χωρίς να απαιτούνται ειδικές εργασίες.



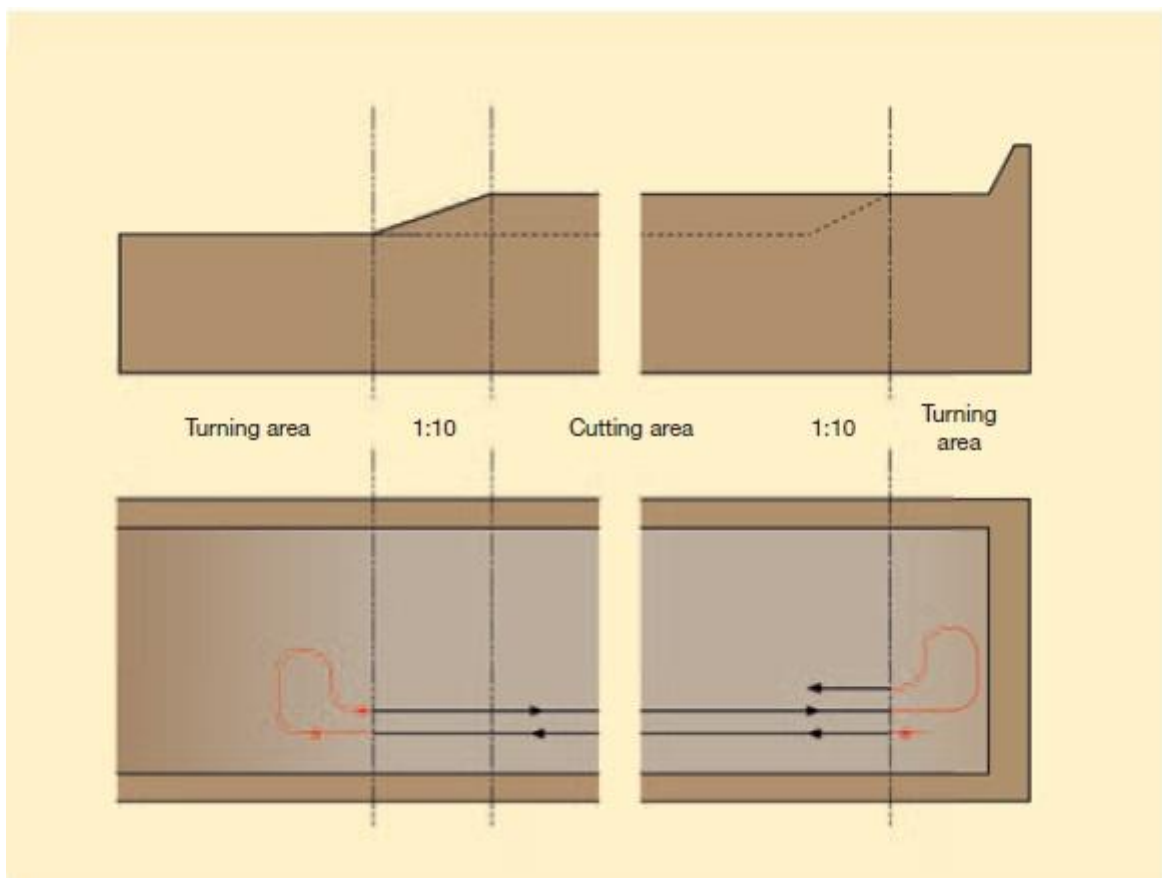
Εικόνα 3. 24. Κάθετες κοπές με εξόρυξη κατά τη στροφή. Wirtgen (2010).



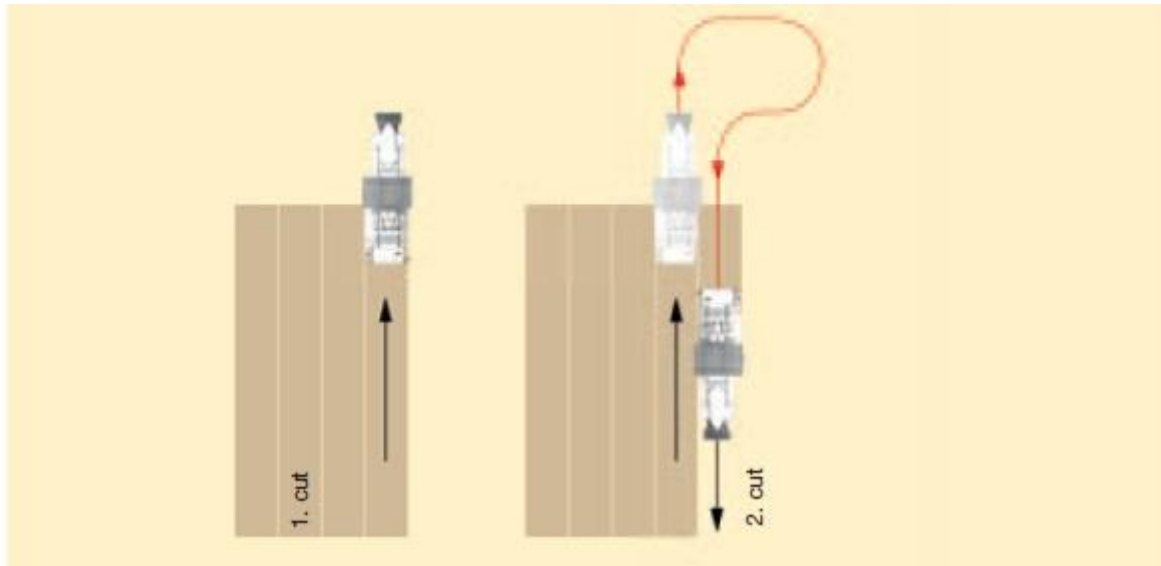
Εικόνα 3. 25. Κάθετες κοπές με ελιγμό χωρίς εξόρυξη. Wirtgen (2010).

Αναστροφή σε χώρους μέτριου πλάτους

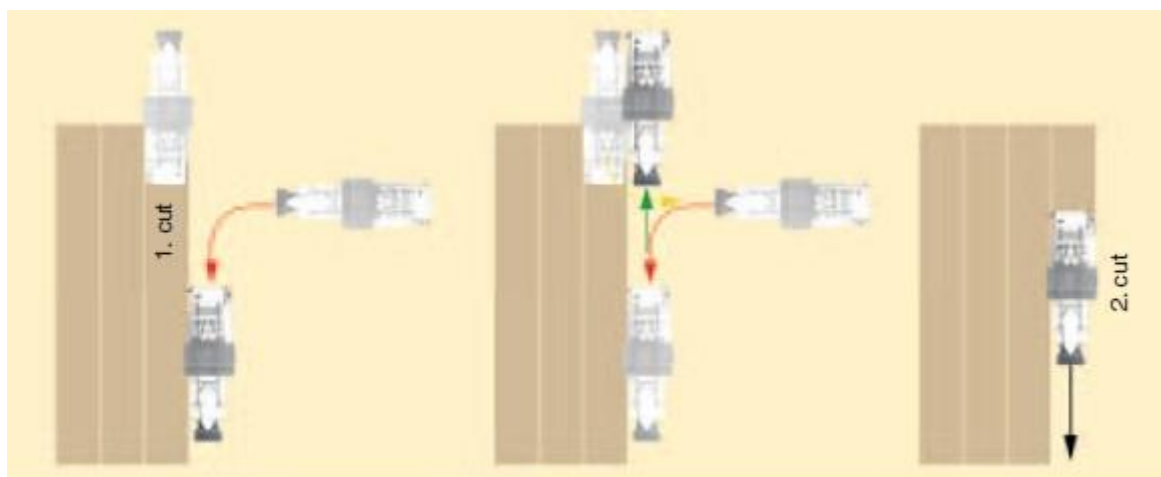
Σε χώρους μέτριου πλάτους, δηλαδή διπλάσιου έως τετραπλάσιου της ελάχιστης ακτίνας στροφής, προτείνεται οι διαδοχικές κοπές να τοποθετούνται η μία δίπλα στην άλλη, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.26. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους. Πρώτον, με την επί τόπου αναστροφή του μηχανήματος, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 3.27. Μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι μένει ανεκμετάλλευτη στα άκρα των κοπών μία περιοχή περίπου τριπλάσια της ελάχιστης ακτίνας στροφής. Η εκμετάλλευση αυτής της περιοχής γίνεται με τη χρήση άλλων μηχανημάτων. Δεύτερον, η επανατοποθέτηση του μηχανήματος γίνεται με ελιγμούς, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.28. Αυτός ο τρόπος απαιτεί περισσότερο χρόνο.



Εικόνα 3. 26. Αναστροφή σε χώρους μεσαίου πλάτους. Wirtgen (2010).



Εικόνα 3. 27. Πρώτος τρόπος αναστροφής σε χώρους μεσαίου πλάτους. Wirtgen (2010).



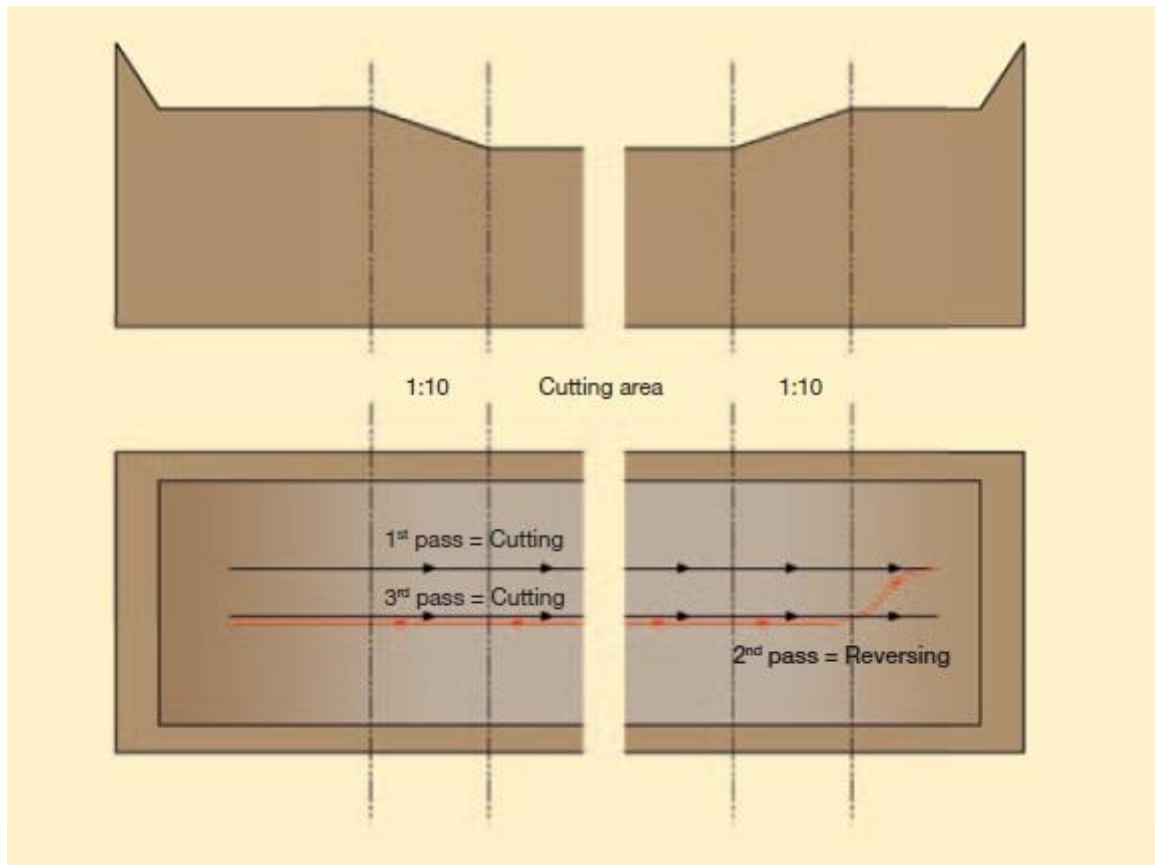
Εικόνα 3. 28. Ελιγμοί σε χώρους μεσαίου πλάτους. Wirtgen (2010).

Αλλαγή κατεύθυνσης σε στενούς χώρους

Σε στενούς χώρους, δηλαδή πλάτους μικρότερου από το διπλάσιο της ελάχιστης ακτίνας στροφής, δεν συνίσταται η πραγματοποίηση αναστροφής. Σε τέτοιες περιπτώσεις η ύπαρξη κεκλιμένων επιπέδων για την είσοδο αλλά και την έξοδο του μηχανήματος είναι αναγκαίες. Υπάρχουν δύο μέθοδοι αλλαγής κατεύθυνσης, οι οποίες εξαρτώνται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των εκσκαφών.

Πρώτον, σε εκσκαφές περιορισμένου μήκους (μικρότερου από 150 m) προτείνεται η κοπή να γίνεται προς μία μόνο κατεύθυνση. Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται λιγότερος χρόνος για την επανατοποθέτηση του μηχανήματος με όπισθεν πορεία χωρίς κοπή απ' ότι για την πραγματοποίηση ελιγμών. Ο τρόπος πραγματοποιούμενης αναστροφής σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο παρουσιάζεται στην εικόνα 3.29

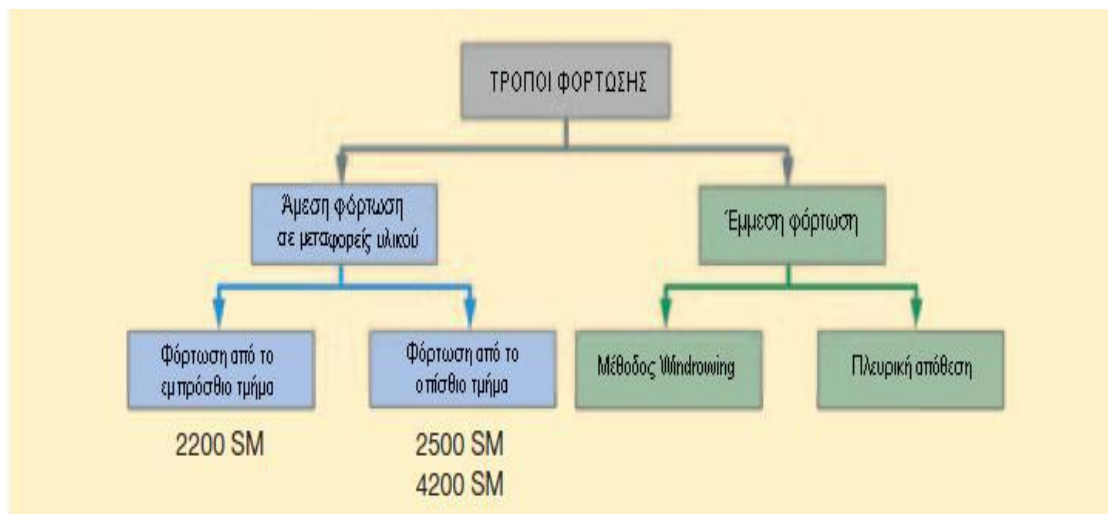
Δεύτερον, σε περιοχές με μήκος μεγαλύτερο από 150 m η ύπαρξη κεκλιμένου στην αρχή και στο τέλος της εκσκαφής είναι απαραίτητη.



Εικόνα 3. 29. Κοπή προς μία μόνο κατεύθυνση. Wirtgen (2010).

3.7 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΞΟΡΥΓΜΕΝΟΥ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ

Η σωστή και γρήγορη φόρτωση και μεταφορά του υλικού, συμβάλλει σε σημαντικό βαθμό στην αποτελεσματική λειτουργία μιας μονάδας εξόρυξης, καθώς και στην αύξηση της παραγωγικότητάς της. Οι surface miners της Wirtgen παρέχουν τη δυνατότητα είτε άμεσης φόρτωσης του εξορυσσόμενου προϊόντος σε φορτηγά είτε της επιτόπου απόθεσής του. Οι τρόποι φόρτωσης παρουσιάζονται στον πίνακα 3.3 και περιγράφονται στην επόμενη παράγραφο.



Πίνακας 3. 3. Τρόποι φόρτωσης υλικού. Wirtgen (2010).

3.7.1 Άμεση φόρτωση υλικού

Η δυνατότητα απευθείας φόρτωσης υλικού από το μηχάνημα εξόρυξης σε ένα φορτηγό είναι μία από τις σημαντικότερες λειτουργίες που παρέχεται από ένα surface miner. Ανάλογα με το μοντέλο η φόρτωση γίνεται με μεταφορική ταινία τοποθετημένη είτε στο πρόσθιο είτε στο οπίσθιο μέρος του μηχανήματος.

- Φόρτωση με τη μεταφορική ταινία στο πρόσθιο μέρος του μηχανήματος. Φόρτωση κατά αυτόν τον τρόπο πραγματοποιεί το μηχάνημα SM 2200. Η μεταφορική ταινία μπορεί να περιστραφεί προς τα δεξιά ή τα αριστερά. Το ύψος της ταινίας προσαρμόζεται εύκολα και ρυθμίζεται κατάλληλα βάση των συνθηκών της φόρτωσης. Ανάλογα με το μέγεθος του φορτηγού η φόρτωση μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με το φορτηγό μπροστά από το μηχάνημα εξόρυξης είτε δίπλα του. Στη συγκεκριμένη

περίπτωση η οπτική επαφή του χειριστή με τη μεταφορική ταινία και τα φορτηγό είναι η βέλτιστη. Στις εικόνες 3.30 και 3.31 παρουσιάζεται η άμεση φόρτωση υλικού από ένα SM 2200.



Εικόνα 3. 30. Άμεση φόρτωση φορτηγού μπροστά από το surface miner. Wirtgen (2010).



Εικόνα 3. 31. Άμεση φόρτωση υλικού πλευρικά. Wirtgen (2010).

- Φόρτωση με τη μεταφορική ταινία στο οπίσθιο μέρος του μηχανήματος. Φόρτωση κατ' αυτόν τον τρόπο πραγματοποιούν τα μηχανήματα SM 2500 και 4200. Η μεταφορική ταινία μπορεί να τοποθετηθεί δεξιά και αριστερά του μηχανήματος κατά 90°. Λόγω της θέσης της είναι πιθανό το μηχάνημα να παρουσιάσει αστάθεια. Για αυτό το λόγο γίνεται χρήση αντίβαρου το οποίο εξισορροπεί την κατανομή βάρους. Για την καλύτερη οπτική επαφή του χειριστή με την ταινία φόρτωσης, δίνεται η δυνατότητα περιστροφής της θέσης χειρισμού. Στις εικόνες 3.32 και 3.33 παρουσιάζεται η άμεση φόρτωση υλικού με τη χρήση SM 2500.



Εικόνα 3. 32. Άμεση φόρτωση υλικού. Wirtgen (2010).



Εικόνα 3. 33. Άμεση φόρτωση υλικού. Wirtgen (2010).

Για την εύρυθμη και ταχεία διεκπεραίωση των εργασιών είναι σημαντικό ο χρόνος που απαιτείται για τη φόρτωση του υλικού να είναι μικρός. Συνήθως, για την ελαχιστοποίησή του η φόρτωση πραγματοποιείται όπως στις εικόνες 3.34 και 3.35. Κατά τη διάρκεια φόρτωσης ενός φορτηγού, ένα δεύτερο κινείται δίπλα και παράλληλά του. Έτσι με την ολοκλήρωση φόρτωσης του πρώτου φορτηγού, το δεύτερο παίρνει θέση κατάλληλη για τη συνέχιση της διαδικασίας, χωρίς να απαιτείται διακοπή της. Το μέγεθος της επιφάνειας του χώρου στον οποίο πραγματοποιείται η φόρτωση, αλλά και η εμπειρία του χειριστή του surface miner επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την ταχύτητα φόρτωσης.



Εικόνα 3. 34. Παράλληλη κίνηση φορτηγών πριν την αλλαγή. Wirtgen (2010).



Εικόνα 3. 35. Παράλληλη κίνηση φορτωτών αμέσως μετά την αλλαγή. Wirtgen (2010).

Συναρμογή με φορτηγό

Η επιλογή των κατάλληλων φορτηγών εξαρτάται από δύο παράγοντες. Πρώτον, το ύψος του φορτηγού εξαρτάται από το μέγιστο ύψος στο οποίο μπορεί να λειτουργήσει η μεταφορική ταινία. Δεύτερον, από την κοπή. Όσο μικρότερα είναι τα τεμάχια που προκύπτουν τόσο πιο ομοιόμορφα φορτώνεται το υλικό στη σκάφη των φορτηγών. Επομένως, η απαίτηση για φορτηγά μεγάλης χωρητικότητας μειώνεται.

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της άμεσης φόρτωσης

Στο σύνολό της αυτή η μέθοδος φόρτωσης και μεταφοράς του υλικού παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

Πλεονεκτήματα:

1. Δεν απαιτείται επαναφόρτωση του υλικού
2. Είναι πιο οικονομική μέθοδος, κυρίως για αποστάσεις μεταφοράς μεγαλύτερες από 500 m.

Μειονεκτήματα:

1. Απαιτείται μεγάλος χώρος εργασιών
2. Μειώνεται η ταχύτητα παραγωγής εάν χάνεται χρόνος κατά την αλλαγή των φορτηγών
3. Παρουσιάζεται φθορά στον ιμάντα μεταφοράς

3.7.2 Επιτόπου απόθεση υλικού

Σε αυτή τη μέθοδο το εξορυγμένο υλικό αποτίθεται είτε πλευρικά μέσω μεταφορικής ταινίας (sidecasting) είτε σε συνεχείς σωρούς (windrowing) πίσω από το μηχάνημα.

Πλευρική απόθεση

Το εξορυγμένο υλικό αποτίθεται σε σωρούς πλευρικά του surface miner με τη χρήση της μεταφορικής ταινίας. Ρυθμίζοντας κατάλληλα την προβολή της ταινίας είναι δυνατή η απόθεση του εξορυγμένου υλικού 3 έως 5 παράλληλων, διαδοχικών κοπών σε έναν κοινό σωρό. Το ύψος του σωρού που δημιουργείται καθορίζει το πόσο εύκολη είναι η φόρτωσή του από άλλα μηχανήματα. Στην εικόνα 3.36 παρουσιάζεται η μέθοδος πλευρικής απόθεσης.

Πλεονεκτήματα μεθόδου:

1. Γίνεται ανάμιξη του υλικού κατά την απόθεση
2. Δημιουργούνται σωροί αποθέματος στο χώρο εξόρυξης, επομένως δεν απαιτείται χώρος αποθήκευσης
3. Η διαδικασία εξόρυξης είναι συνεχής και ανεξάρτητη καθώς δεν απαιτείται η άμεση φόρτωση σε άλλο μηχάνημα.

Μειονεκτήματα μεθόδου:

1. Περιορισμός διαθέσιμου πλάτους κοπών λόγω της ύπαρξης σωρών στο χώρο εξόρυξης
2. Φθορά στον ιμάντα μεταφοράς

3. Απαιτείται χρήση άλλων μηχανημάτων για τη φόρτωση του υλικού
4. Το υλικό, λόγω της απόθεσης του στο χώρο όπου πραγματοποιείται η εξόρυξη και χωρίς την ύπαρξη κάποιου είδους προστασίας, είναι εκτεθειμένο στις κλιματικές συνθήκες.



Εικόνα 3. 36. Πλευρική απόθεση υλικού σε σωρούς. Wirtgen (2010).

Κεντρική απόθεση

Το υλικό αποτίθεται σε σωρούς πίσω από το μηχάνημα, αμέσως μετά την κοπή του χωρίς τη χρήση μεταφορικής ταινίας. Στην εικόνα 3.37 παρουσιάζεται ο τρόπος απόθεσης του υλικού κατ' αυτόν τον τρόπο, ενώ στις εικόνες 3.38 και 3.39 παρουσιάζεται ο τρόπος απόληψης και μεταφοράς του υλικού.

Πλεονεκτήματα μεθόδου:

1. Καμιά αναμονή φορτηγού
2. Καμιά φθορά σε ιμάντα μεταφοράς
3. Μεγαλύτερη παραγωγικότητα σε σχέση με την άμεση φόρτωση
4. Παραγωγή μεγαλύτερων τεμαχίων υλικού
5. Οικονομικότερη μέθοδος για μεταφορά του υλικού σε αποστάσεις έως 150 m

Μειονεκτήματα μεθόδου:

1. Απαιτήση για ύπαρξη μεγάλου χώρου εκτέλεσης εργασιών
2. Η αυξημένη παραγωγικότητά του μειώνεται λόγω της ανάγκης φόρτωσης του υλικού από άλλα μηχανήματα.
3. Το υλικό, λόγω της απόθεσης του στο χώρο όπου πραγματοποιείται η εξόρυξη και χωρίς την ύπαρξη κάποιου είδους προστασίας, είναι εκτεθειμένο στις κλιματικές συνθήκες.



Εικόνα 3. 37. Κεντρική απόθεση υλικού. Wirtgen (2010).



Εικόνα 3. 38. Απόληψη υλικού. Wirtgen (2010).

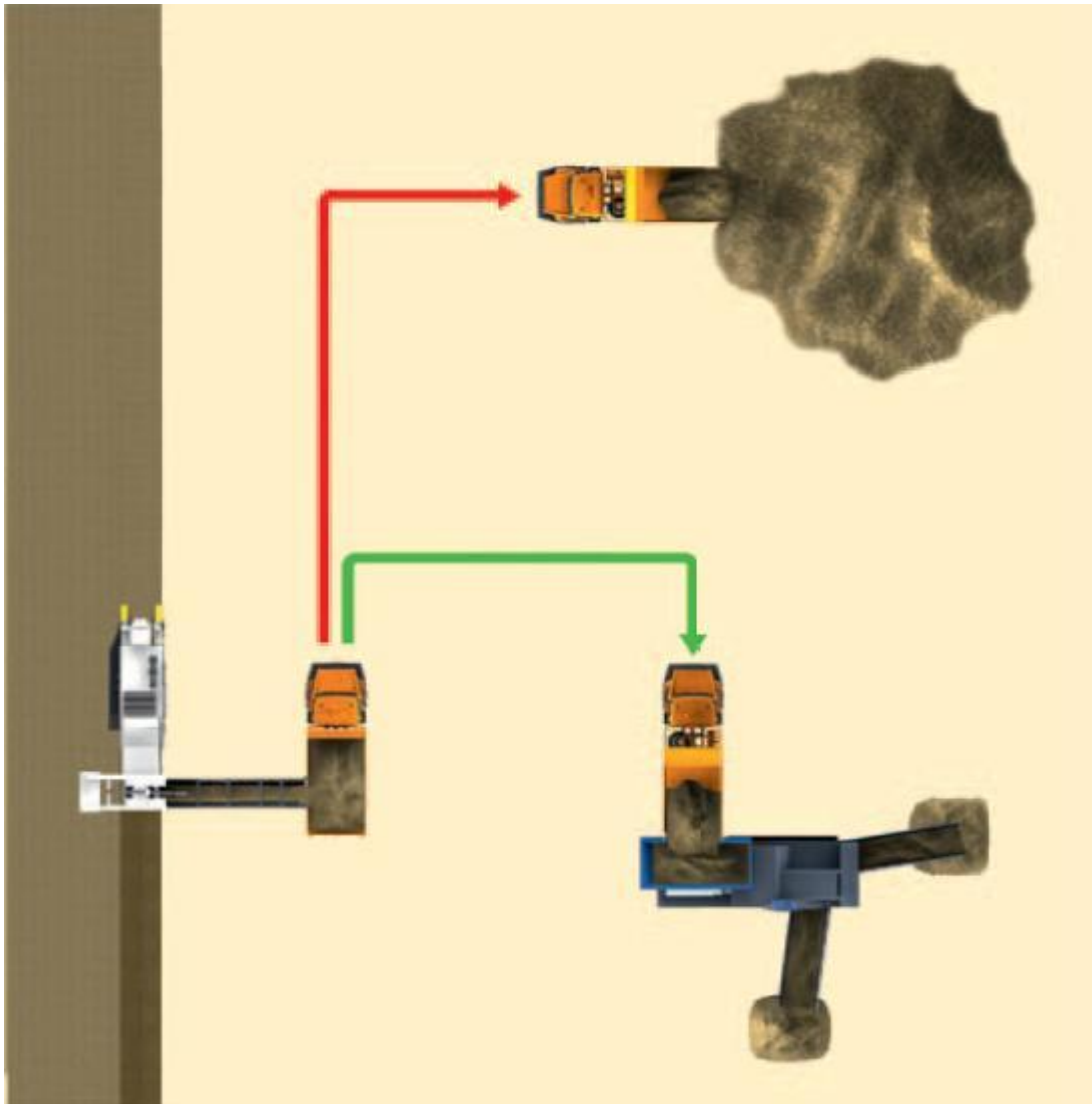


Εικόνα 3. 39. Φόρτωση σε φορτηγό με φορτωτή. Wirtgen (2010).

3.7.3 Μεταφορά υλικού ανάλογα με τον τύπο φόρτωσης

Η φόρτωση του υλικού από τους surface miners σε φορτηγά παρουσιάστηκε αναλυτικά στην προηγούμενη παράγραφο. Για τη μεταφορά του υλικού από αυτά υπάρχουν οι εξής εναλλακτικές επιλογές.

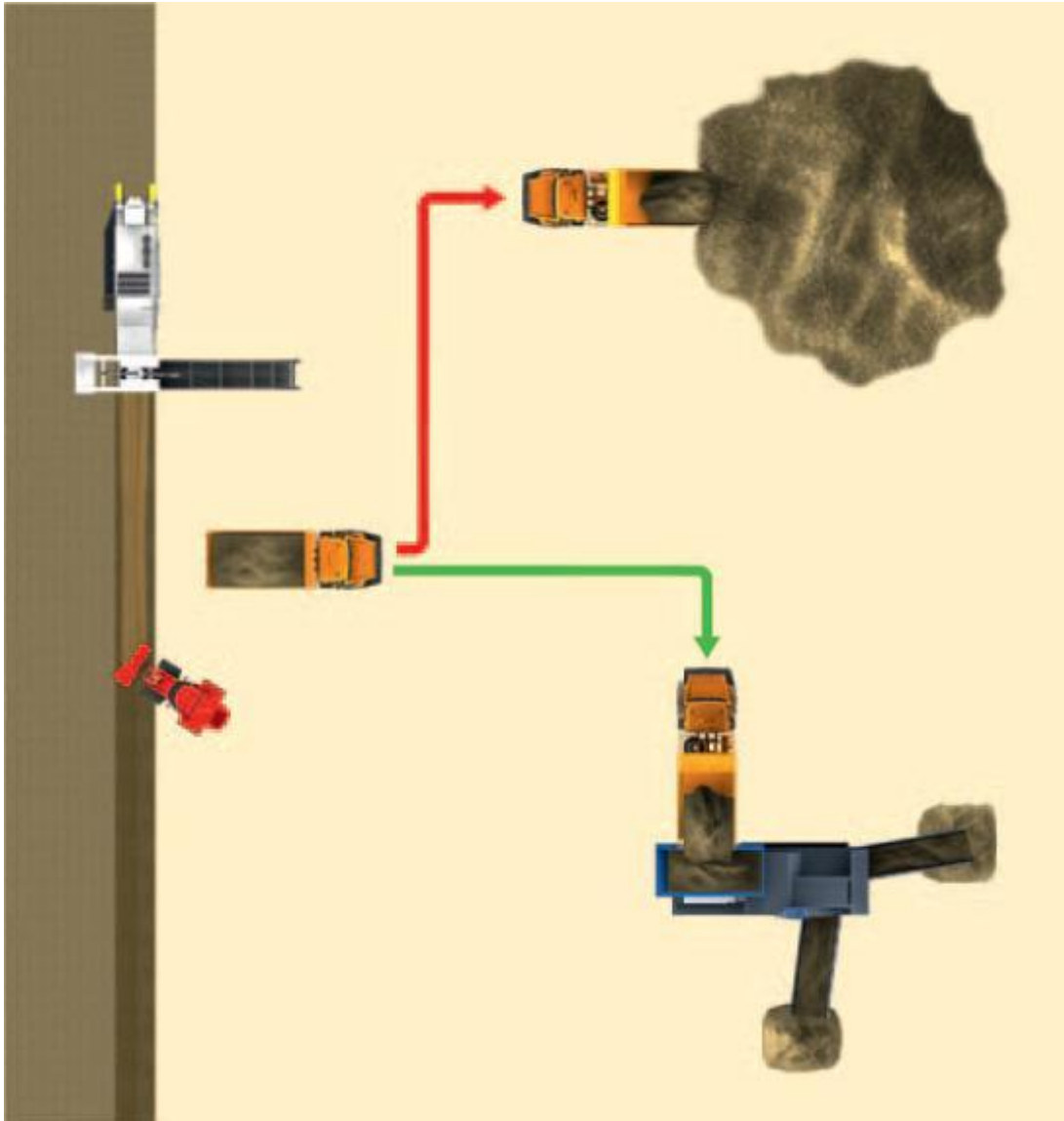
Όταν η φόρτωση του εξορυγμένου υλικού γίνεται απευθείας από τους surface miners σε φορτηγά, οι επιλογές που υπάρχουν είναι δύο. Πρώτον, το φορτηγό μεταφέρει το υλικό σε μονάδα θραύσης ή διαλογής όπου πραγματοποιείται περαιτέρω επεξεργασία του. Δεύτερον, το υλικό μεταφέρεται και αποτίθεται υπαίθρια σε σωρό. Σε περίπτωση που πραγματοποιείται εκλεκτική εξόρυξη, υπάρχουν περισσότεροι από ένας σωροί. Στη συνέχεια από το χώρο απόθεσης, το υλικό μεταφέρεται για περαιτέρω επεξεργασία όπως φαίνεται στην εικόνα 3.40.



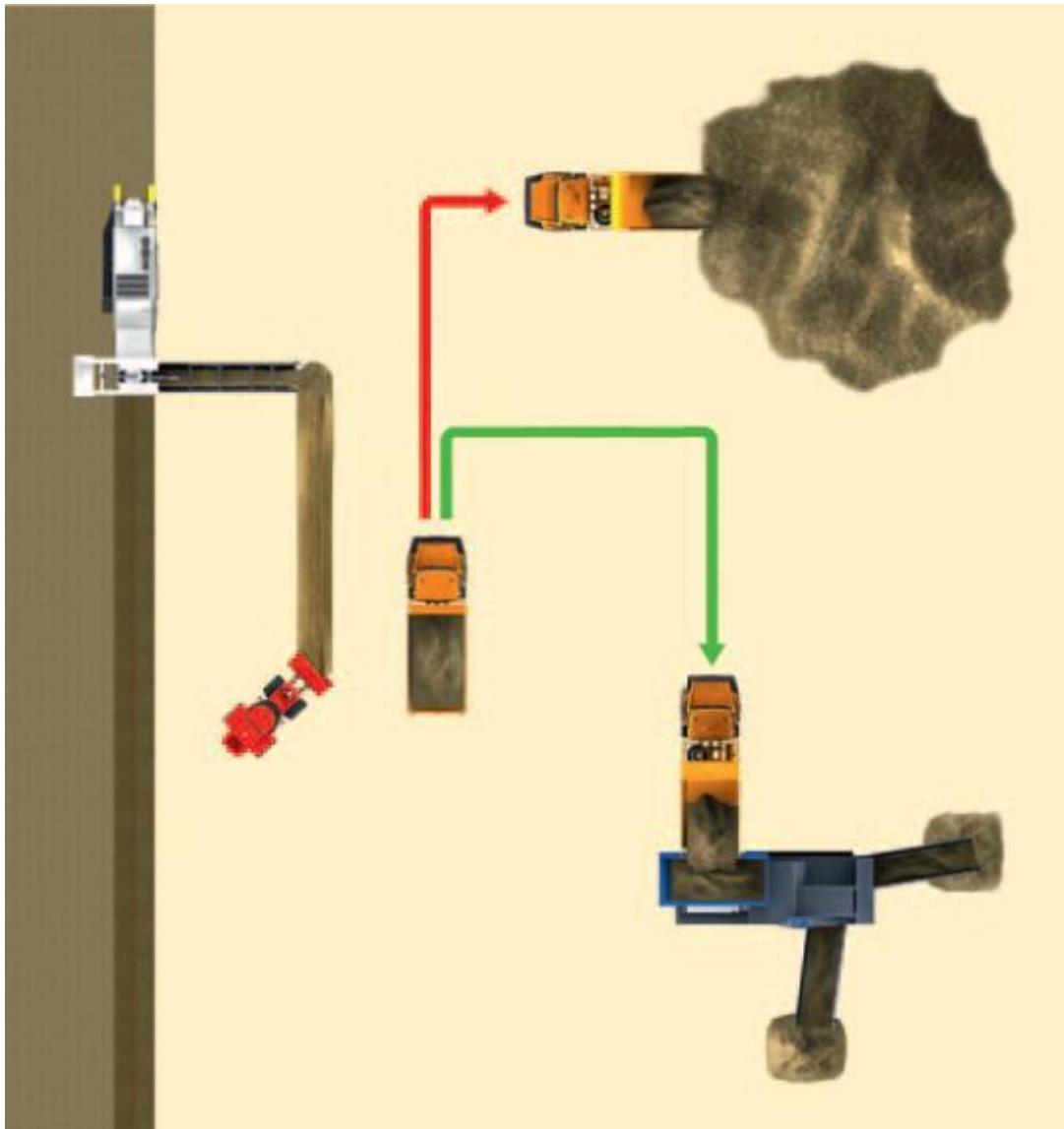
Εικόνα 3. 40. Διαχείριση υλικού μετά από άμεση φόρτωση. Wirtgen (2010).

Σε περίπτωση που μετά από την κοπή του πετρώματος, γίνεται επιτόπου απόθεσή του είτε πλευρικά είτε κεντρικά, το υλικό φορτώνεται με φορτωτές σε φορτηγά. Στη συνέχεια

ακολουθείται η διαδικασία που παρουσιάστηκε προηγουμένως. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στις εικόνες 3.41 και 3.42.



Εικόνα 3. 41. Διαχείριση υλικού έπειτα από κεντρική απόθεσή του. Wirtgen (2010).



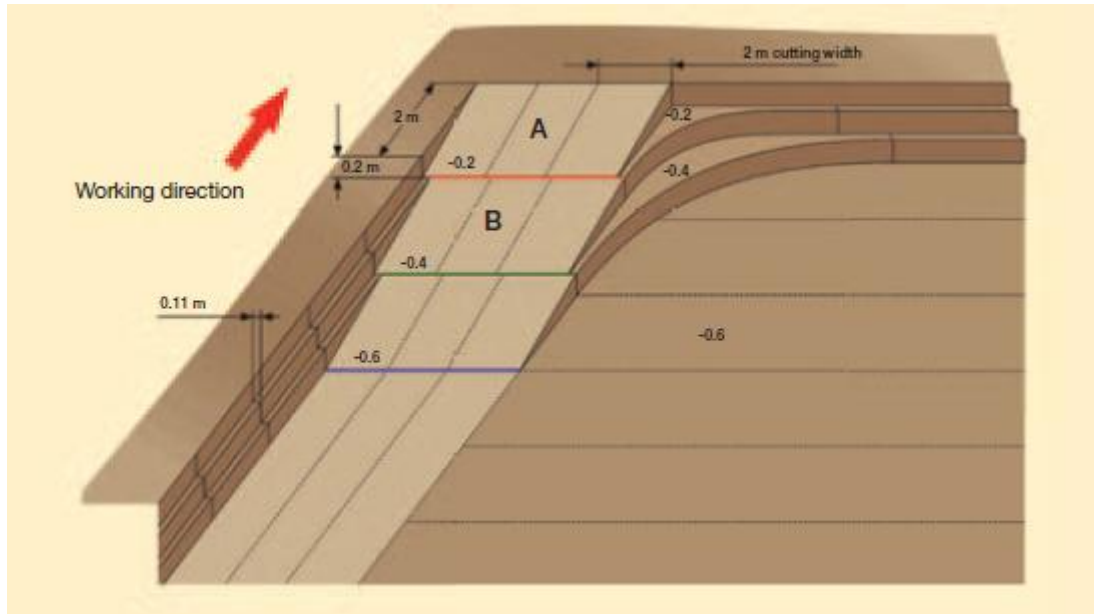
Εικόνα 3. 42. Διαχείριση υλικού έπειτα από πλευρική απόθεσή του. Wirtgen (2010).

Εναλλακτικά, ο φορτωτής χρησιμοποιείται και για τη μεταφορά (load-and-carry) σε μονάδα θραύσης ή διαλογής.

3.8 ΚΕΚΛΙΜΕΝΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Συνήθως, τα κεκλιμένα πρόσβασης (ράμπες) έχουν κλίση 10-15% ώστε να είναι εφικτή η κίνηση ακόμα και έμφορτων φορτηγών σε αυτά. Οι surface miners είναι δυνατό να εκτελέσουν τις απαραίτητες εργασίες για τη διαμόρφωση κεκλιμένων πρόσβασης. Οι εργασίες αυτές, μπορούν να έχουν φορά από πάνω προς τα κάτω και αντιστρόφως. Στην

εικόνα 3.43 παρουσιάζεται η διαμόρφωση κεκλιμένου ξεκινώντας από το υψηλότερο σημείο.



Εικόνα 3. 43. Διαμόρφωση κεκλιμένου πρόσβασης με εκκίνηση από το υψηλότερο σημείο. Wirtgen (2010).

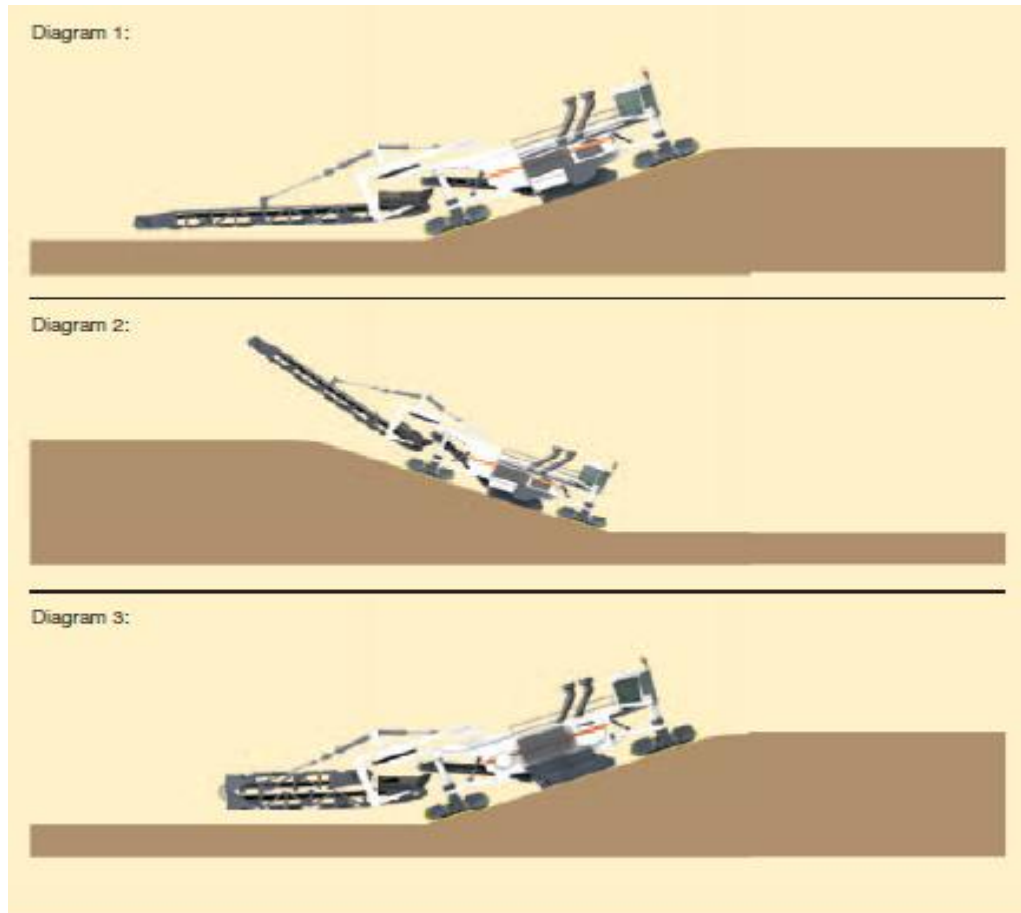
Η διαδικασία κοπής του πετρώματος ξεκινάει από το υψηλότερο σημείο. Όταν το μηχάνημα φτάσει στο σημείο A, το βάθος κοπής μειώνεται σταδιακά για τα επόμενα δύο μέτρα από τα 20 cm μέχρι 0 στην έξοδο του κεκλιμένου. Η ποσότητα υλικού που κόβεται σταδιακά μειώνεται, και διαμορφώνεται κεκλιμένο με κλίση 10%. Στη συνέχεια το μηχάνημα μετακινείται στο σημείο B και με τον ίδιο τρόπο διαμορφώνει τα επόμενα δύο μέτρα του κεκλιμένου. Αυτή η διαδικασία ακολουθείται μέχρι να διαμορφωθεί κεκλιμένο με τις διαστάσεις σχεδιασμού.

Η διαδικασία που ακολουθείται σε περίπτωση κοπής με φορά από κάτω προς τα πάνω είναι η ακριβώς αντίστροφη.

3.8.1 Διαμόρφωση κεκλιμένων κάθετα ή παράλληλα στη διεύθυνση κοπής

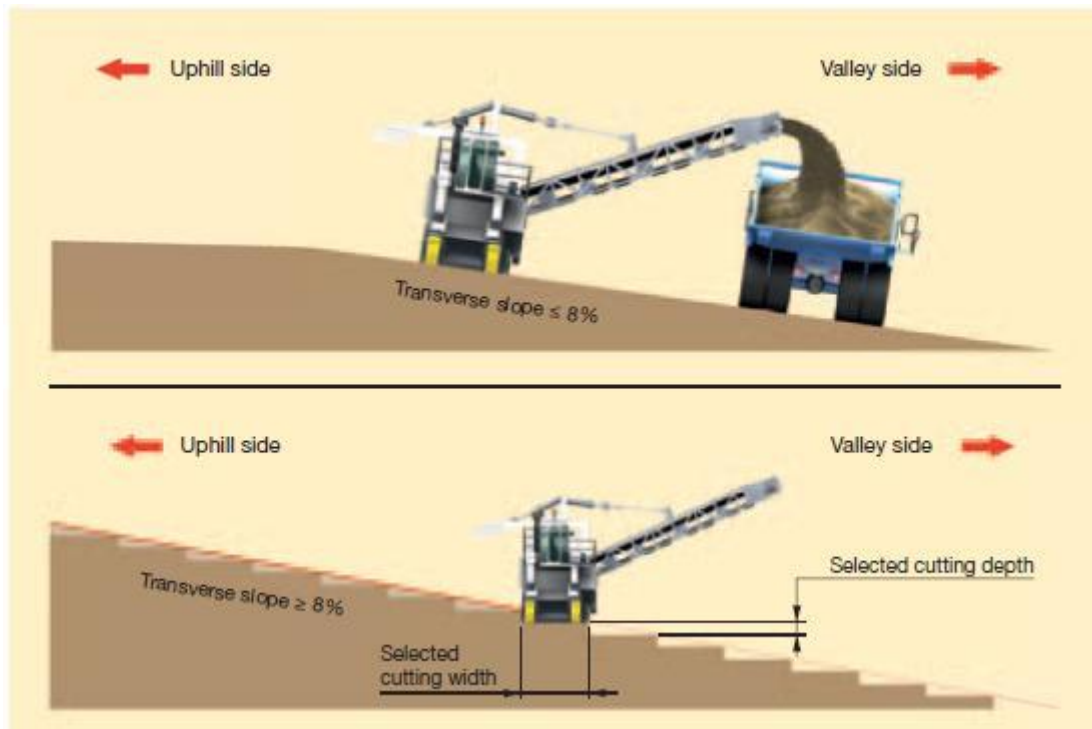
Τα μηχανήματα αυτά μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά σε κεκλιμένες επιφάνειες, είτε κόβοντας το πέτρωμα κάθετα στη διεύθυνση της κλίσης είτε παράλληλα. Με αυτό τον τρόπο είναι εφικτή η διαμόρφωση κεκλιμένων επιφανειών σε έργα κατασκευαστικά ή γεωτεχνικά ή για την απομάκρυνση υδάτων με φυσική ροή σε ορυχεία. Στην τελευταία περίπτωση, η κλίση είναι περίπου 2-3%.

Η κοπή πετρώματος σε κεκλιμένες επιφάνειες επηρεάζει τόσο τη σταθερότητα όσο και την επίδοση του μηχανήματος. Στην εικόνα 3.44, παρουσιάζεται η λειτουργία του μηχανήματος σε κεκλιμένες επιφάνειες.



Εικόνα 3. 44. Λειτουργία μηχανήματος σε κεκλιμένες επιφάνειες. Wirtgen (2010).

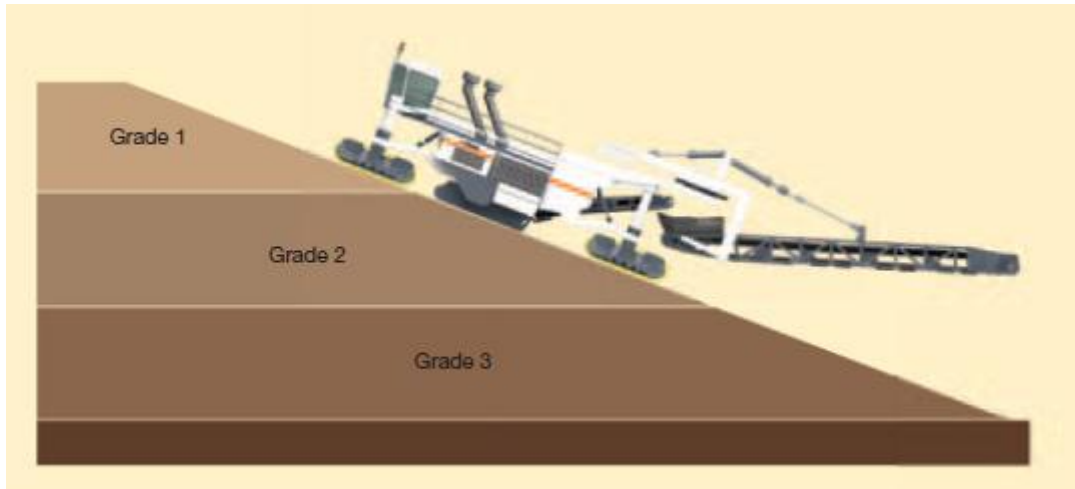
Ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείται κοπή με κλίση κάθετη στη διεύθυνση εργασιών, εξαρτάται από το είδος του μηχανήματος. Μηχανήματα τα οποία λειτουργούν αποθέτοντας το υλικό απευθείας μετά την κοπή του, μπορούν να δημιουργήσουν κεκλιμένα έως και 8%. Όταν λειτουργούν με μεταφορική ταινία η κλίση πρέπει να είναι μικρότερη από 8%. Ο τρόπος λειτουργίας τους παρουσιάζεται στην εικόνα 3.45.



Εικόνα 3. 45. Κοπή με κλίση κάθετη στη διεύθυνση εργασιών. Wirtgen (2010).

3.8.2 Μίγμα υλικών διαφορετικών χαρακτηριστικών

Η δημιουργία μίγματος είναι απαραίτητη σε κοιτάσματα όπου τα χαρακτηριστικά του χρήσιμου υλικού δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένα. Στόχος αυτής της διαδικασίας είναι η δημιουργία υλικού σταθερής περιεκτικότητας σε χρήσιμο συστατικό. Οι surface miners εκτελούν αυτή τη διαδικασία αυτομάτως κατά τη διάρκεια της κοπής του πετρώματος. Η κοπή και η μίξη του πετρώματος που πραγματοποιείται σε κεκλιμένη επιφάνεια φαίνεται στην εικόνα 3.46.

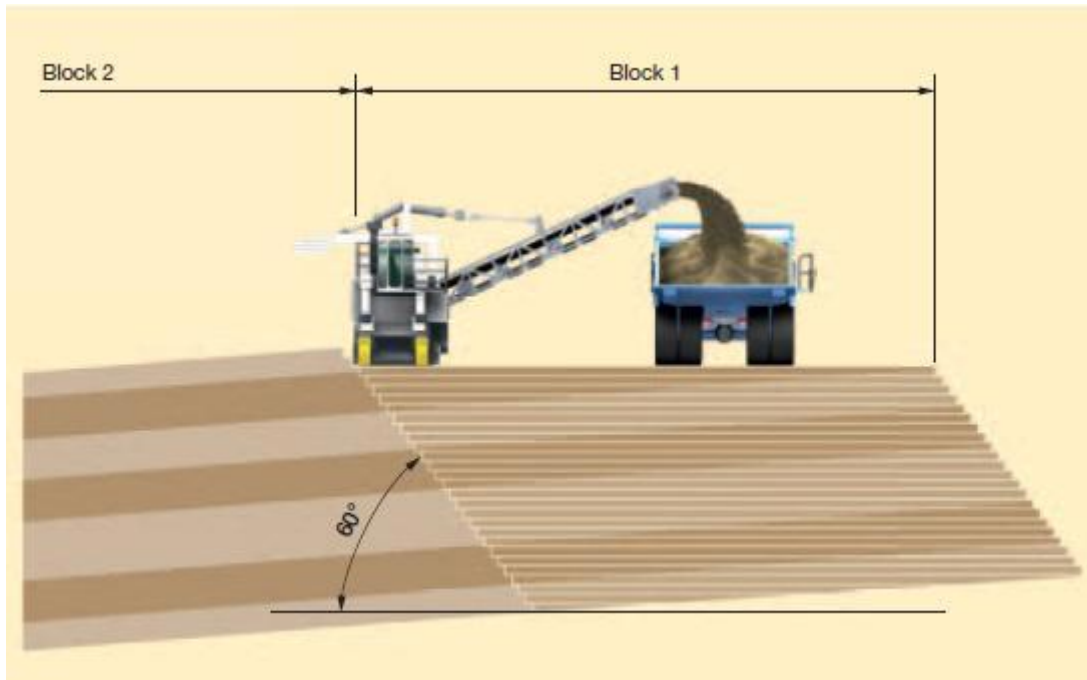


Εικόνα 3. 46. Κοπή πετρώματος και μίξη υλικών σε κεκλιμένη επιφάνεια. Wirtgen (2010).

Το μηχάνημα πραγματοποιεί κοπή του πετρώματος σε όλα τα στρώματα του κοιτάσματος και δημιουργεί υλικό σταθερής περιεκτικότητας. Επομένως αποφεύγονται οι διαδικασίες περαιτέρω επεξεργασίας του εξορυγμένο υλικού για τη δημιουργία τελικού προϊόντος με σταθερή περιεκτικότητα.

3.8.3 Εκλεκτική εξόρυξη σε κεκλιμένα ή κατακόρυφα στρώματα

Η εκλεκτική εξόρυξη στρωμάτων με κλίση έως και 8° είναι εφικτή με τη χρήση των surface miners. Οι μέθοδοι εκμετάλλευσης που εφαρμόζονται, διαφέρουν ανάλογα με την κλίση των στρωμάτων. Στην εικόνα 3.47 παρουσιάζεται η μέθοδος εξόρυξης που πραγματοποιείται σε στρώματα με μικρή κλίση. Φαινόμενα προσμίξεων πρέπει να αναμένονται, ειδικά όταν η εξόρυξη πραγματοποιείται στο όριο μεταξύ του χρήσιμου συστατικού και των αγόνων.



Εικόνα 3. 47. Εξόρυξη σε στρώματα με μικρή κλίση. Wirtgen (2010).

Πολυστρωματικά κεκλιμένα κοιτάσματα, σχετικά μικρού πάχους εξορύσσονται όπως στην εικόνα 3.48.



Εικόνα 3. 48. Εξόρυξη πολυστρωματικών κεκλιμένων κοιτασμάτων σχετικά μικρού πάχους. Wirtgen (2010).

Πολυστρωματικά κεκλιμένα κοιτάσματα, σχετικά μεγάλου πάχους μπορούν να εξορυχθούν με μεγάλη ακρίβεια. Ο τρόπος παρουσιάζεται στην εικόνα 3.49.



Εικόνα 3. 49. Εξόρυξη πολυστρωματικών κεκλιμένων στρωμάτων μεγάλου πάχους. Wirtgen (2010).

Στην κοπή με επιτόπου κεντρική απόθεση του υλικού τα διαφορετικά στρώματα είναι δυνατό να φορτωθούν ξεχωριστά με οπτική αναγνώρισή τους από το χειριστή του φορτωτή. Στην εικόνα 3.50 παρουσιάζεται ο χώρος εργασιών σε μία τέτοια περίπτωση



Εικόνα 3. 50. Όψη χώρου εργασίας κατά την πραγματοποίηση κοπής με κεντρική απόθεση. Wirtgen (2010).

3.9 ΚΑΤΑΣΤΟΛΗ ΣΚΟΝΗΣ

Ο χώρος του τυμπάνου κοπής, όπου πραγματοποιείται η κοπή του πετρώματος, είναι κλειστός. Το γεγονός αυτό οδηγεί στον περιορισμό της ποσότητας σκόνης που εκλύεται κατά τη διαδικασία της εξόρυξης. Η σκόνη που παράγεται εντοπίζεται κυρίως στις μεταφορικές ταινίες και στη σκόνη που δημιουργείται στην επιφάνεια του ορυχείου.

Στον περιορισμό της δημιουργούμενης σκόνης, συμβάλει και το σύστημα ψεκασμού το οποίο υπάρχει στα συγκεκριμένα μηχανήματα. Όπως φαίνεται στην εικόνα 3.51, συστήματα ψεκασμού υπάρχουν σε τέσσερα σημεία του μηχανήματος:

1. Στο τύμπανο
2. Στο πλευρικά προστατευτικά του τυμπάνου
3. Μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης μεταφορικής ταινίας
4. Στο σημείο απόρριψης του υλικού, δηλαδή στο άκρο της δεύτερης μεταφορικής ταινίας



Εικόνα 3. 51. Συστήματα ψεκασμού σε ένα surface miner. Wirtgen (2010).

Ανάλογα με τις απαιτήσεις της εργασίας, τα ακροφύσια ψεκασμού νερού μπορούν να είναι ανοικτά ή κλειστά. Το γεγονός ότι τα μηχανήματα αυτά διαθέτουν σύστημα ψεκασμού, δε σημαίνει ότι δεν απαιτείται διαβροχή των οδών μεταφοράς και των θέσεων εκμετάλλευσης με συμβατικά υδροφόρα οχήματα. Η διαδικασία αυτή είναι μείζονος σημασίας για τον περιορισμό της παραγωγής σκόνης στο ορυχείο και πραγματοποιείται ανεξάρτητα από την ύπαρξη ή όχι συστήματος ψεκασμού.

Πέρα από την καταστολή της σκόνης, το σύστημα ψεκασμού νερού παρέχει και άλλα σημαντικά πλεονεκτήματα. Συμβάλει για παράδειγμα στην αύξηση του ορίου χρήσης του

τυμπάνου κοπής. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς με την απομάκρυνση της σκόνης από το τύμπανο, πραγματοποιείται καλύτερη περιστροφή του και μειώνεται η φθορά του. Επίσης συμβάλει στη μείωση της υπερθέρμανσης των κοπτικών εργαλείων, γεγονός που επιδρά θετικά στην αύξηση του χρόνου ζωής τους. Το προστατευτικό τυμπάνου φθείρεται έντονα, λόγω της ύπαρξης σκόνης αλλά και λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών που επικρατούν στην επιφάνειά του. Το σύστημα ψεκασμού νερού βοηθά τόσο στην απομάκρυνση της σκόνης όσο και στη μείωση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του προστατευτικού. Το συγκεκριμένο σύστημα επιβάλλεται να παραμένει ανοικτό όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη από 5 °C.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Εργαστηριακή Διερεύνηση Εξόρυξης Κίσσηρις της Νήσου Γυαλί με Surface Miner

4. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΚΙΣΣΗΡΙΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΓΥΑΛΙ ΜΕ SURFACE MINER

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΝΗΣΟ ΓΥΑΛΙ

Η νήσος Γυαλί τοποθετείται γεωγραφικά στο Νοτιοανατολικό Αιγαίο μεταξύ της Κω και της Νισύρου. Η έκτασή της είναι 4.6 km². Διοικητικά υπάγεται στο δήμο Νισύρου. Η μεγαλύτερη απόσταση στο νησί είναι 5 km στον άξονα Β/ΒΑ-Ν/ΝΔ. Το μεγαλύτερο πλάτος του νησιού είναι περίπου 2 km, ενώ το μικρότερο είναι λιγότερο από 500 m. Έχει σχήμα τοξοειδές, επίμηκες και αποτελείται από δύο ηφαιστειακούς δόμους, οι οποίοι ενώνονται με μία στενή λωρίδα γης που έχει δημιουργηθεί από παράκτιες αποθέσεις.

Στη νήσο Γυαλί, παρατηρείται έντονη εξορυκτική δραστηριότητα. Συγκεκριμένα δραστηριοποιούνται δύο εταιρείες, Η μία εκμεταλλεύεται το κοίτασμα περλίτη που βρίσκεται στο Βορειοανατολικό τμήμα της νήσου. Η άλλη εκμεταλλεύεται το κοίτασμα κίσσηρις που βρίσκονται στο Νοτιοδυτικό τμήμα της και τα αποθέματα του υπολογίζονται σε 157·10⁹ m³.

Στην εικόνα 4.1 φαίνεται η εξορυκτική δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα στο νησί.



Εικόνα 4. 1. Αεροφωτογραφία Νήσου Γυαλί. (flickr.com)

4.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΓΥΑΛΙ

Το νοτιοδυτικό τμήμα της νήσου χωρίζεται σε δέκα στρώματα όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2, τα οποία περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω:

Στρώμα 1: αποτελείται από καθαρή κίσσηρη. Δημιουργήθηκε από την έντονη δραστηριότητα του ηφαιστείου της Νισύρου. Το πάχος του είναι 160 m.

Στρώμα 2: είναι λατυποπαγές αποτελούμενο από τμήματα ηφαιστειακών πετρωμάτων. Κύριο πέτρωμα είναι η κίσσηρις, ενώ το συνδετικό υλικό των πετρωμάτων είναι ασβεστιτικό. Το πάχος του είναι 1 m.

Στρώμα 3: ψαμμιτικό ασβεστιτικό στρώμα. Αποτελείται αποκλειστικά από απολιθωμένα κελύφη. Το πάχος του είναι 1 m.

Στρώμα 4: αποτελείται από απολιθωματοφόρο ασβεστιτικό ψαμμίτη. Το πάχος του είναι 1 m.

Στρώμα 5: αποτελείται από άργιλο και απολιθώματα. Το πάχος του είναι 30-40 cm.

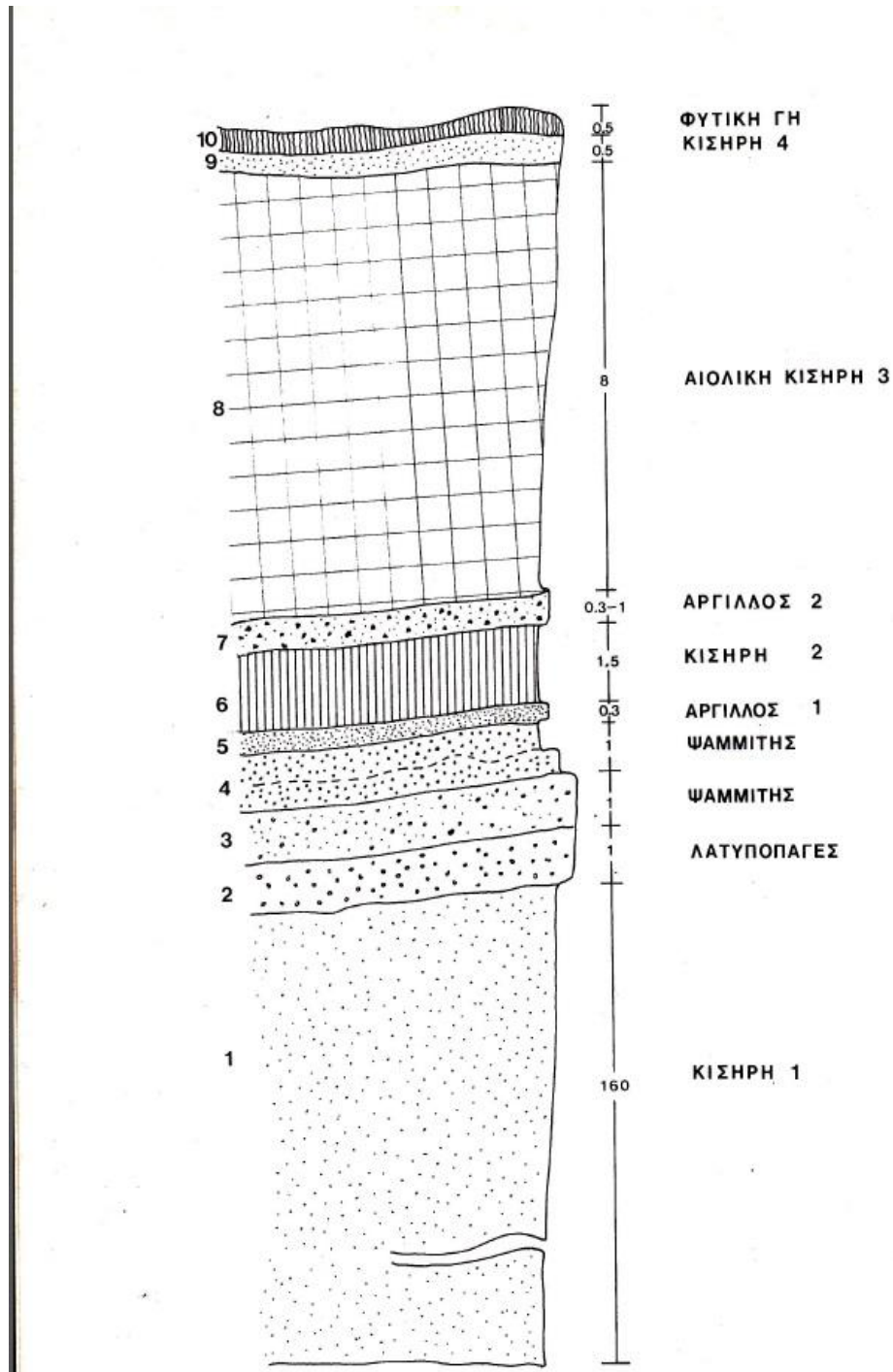
Στρώμα 6: αποτελείται από ανομοιογενή κίσσηρη. Στο υψηλότερο τμήμα του στρώματος συναντάται οψιδιανός. Το πάχος του στρώματος αυτού είναι 1.5 m.

Στρώμα 7: αποτελείται από άργιλο και διάσπαρτο οψιδιανό. Το πάχος του κυμαίνεται από 0.3 έως 1 m. Σε μερικά σημεία το πάχος του φτάνει τα 2-2.5 m. Παρουσιάζει κλίση προς τα ΝΔ.

Στρώμα 8: αποτελείται από κίσσηρη. Το πάχος του δεν είναι σταθερό. Σε μερικά σημεία κυμαίνεται από 1 έως 2 m ενώ σε άλλα φτάνει και τα 8 μέτρα. Η κίσσηρις του στρώματος αυτού είναι καθαρή και λεπτόκοκκη.

Στρώμα 9: αποτελείται από λεπτή στρώση ανομοιογενούς κίσσηρης. Το πάχος του είναι 0.5 m. Το στρώμα αυτό υπάρχει μόνο στην κορυφή.

Στρώμα 10: φυτική γη. Το πάχος του στρώματος αυτού είναι 0.5 m.



Εικόνα 4. 2. Στρωματογραφία Νοτιοδυτικού τμήματος. ΛΑΒΑ Α.Ε.

4.3 ΟΡΥΧΕΙΟ ΚΙΣΣΗΡΙΣ ΤΗΣ ΛΑΒΑ Α.Ε.

Την εκμετάλλευση του Νοτιοδυτικού τμήματος του νησιού, στο οποίο βρίσκεται το κοιτάσμα κίσσηρις, έχει αναλάβει από το 1952 η ΛΑΒΑ ΑΕ, η οποία ανήκει στον όμιλο εταιρειών ΗΡΑΚΛΗΣ. Το ορυχείο αυτό είναι το μοναδικό στο οποίο πραγματοποιείται εξόρυξη κίσσηρις στην Ελλάδα. Στην εικόνα 4.3 παρουσιάζεται το τμήμα του νησιού, στο οποίο πραγματοποιείται η εκμετάλλευση κίσσηρις.



Εικόνα 4. 3. Αεροφωτογραφία του ορυχείου κίσσηρις της ΛΑΒΑ ΑΕ. (portbook.gr)

4.3.1 Μέθοδος εκμετάλλευσης και δυναμικότητα παραγωγής

Όπως προαναφέρθηκε, οι υπαίθριες εκμεταλλεύσεις στην πλειονότητά τους, πραγματοποιούνται με τη μέθοδο των ορθών βαθμίδων. Ο συγκεκριμένος τρόπος εξόρυξης χρησιμοποιείται και στο ορυχείο κίσσηρις στη νήσο Γυαλί. Η παραγωγική διαδικασία στο συγκεκριμένο ορυχείο λαμβάνει χώρα σε τρία στάδια:

1. Εξόρυξη. Αρχικά γίνεται αποκάλυψη του κοιτάσματος με την απομάκρυνση των υπερκείμενων άγονων γεωλογικών σχηματισμών. Το πάχος αυτών των σχηματισμών κυμαίνεται από 8 έως 25 m. Τα χαρακτηριστικά του προς εξόρυξη πετρώματος είναι τέτοια που επιτρέπουν την εξόρυξη με προωθητές (bulldozers). Στη συνέχεια το

εξορυγμένο υλικό μεταφέρεται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας με μεταφορικές ταινίες.

2. Επεξεργασία του υλικού. Η μόνη επεξεργασία που πραγματοποιείται είναι η κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού. Αυτή επιτυγχάνεται με τη χρήση στατικών και δονητικών κοσκίνων, καθώς και με θραύση ενός μικρού μέρους του εξορυγμένου υλικού από θραυστήρες.
3. Απόθεση του υλικού. Το τελικό προϊόν αποτίθεται σε υπαίθριους σωρούς με μεταφορικές ταινίες. Με τη χρήση συστήματος «τούνελ» και μεταφορικών ταινιών το υλικό παραλαμβάνεται και φορτώνεται σε φορτηγά πλοία.

Η παραγωγικότητα του ορυχείου πλησιάζει τους 1.000.000 τόνους ετησίως. Η φόρτωση σε φορτηγά πλοία γίνεται με ρυθμό της τάξεως των 1.000 t/h. Στην εικόνα 4.4 φαίνεται η εγκατάσταση φόρτωσης πλοίων.



Εικόνα 4. 4. Εγκατάσταση φόρτωσης φορτηγών πλοίων. ΛΑΒΑ ΑΕ

4.3.2 Χαρακτηριστικά και χρήσεις κίσσηρις

Η κίσσηρις είναι χημικά αδρανές, πορώδες, ηφαιστειογενές ορυκτό που χαρακτηρίζεται από κελυφοειδή δομή. Το πορώδες του υλικού οφείλεται στα κενά που δημιουργούνται από τη διαφυγή ατμού κατά την ψύξη της λάβας. Σε αρκετές περιπτώσεις το πορώδες της κίσσηρις μπορεί να αποτελεί και το 50% του συνολικού της όγκου.

Η χημική ονομασία της κίσσηρις είναι άμορφο πυριτικό αργίλιο (amorphous aluminum silicate). Η χημική σύστασή της κυριαρχείται από την παρουσία διοξειδίου του πυριτίου με παρουσία μιας αρκετά μικρότερης ποσότητας τριοξειδίου του αργιλίου, καθώς και ιχνών άλλων οξειδίων.

Η ΛΑΒΑ Α.Ε. διαθέτει στην αγορά πέντε προϊόντα ελαφρόπετρας, τα οποία ταξινομούνται ανάλογα με την κοκκομετρική τους διαβάθμιση, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.1.

Κοκκομετρία	Εμπορική Ονομασία
0-3 mm	Special Besser
0-8 mm	Besser
2-10 mm	Rice
0-16 mm	German
16-40 mm	Stone Wash

Πίνακας 4. 1. Κοκκομετρική διαβάθμιση προϊόντων της ΛΑΒΑ ΑΕ.

Η τυπική χημική σύσταση της κίσσηρις που εξορύσσεται στο συγκεκριμένο ορυχείο παρουσιάζεται στον πίνακα 4.2.

Διοξείδιο του Πυριτίου - SiO₂	71.9%
Τριοξείδιο του Αργιλίου - Al₂O₃	12.66%
Τριοξείδιο του Σιδήρου - Fe₂O₃	1.13%
Οξείδιο του Ασβεστίου – CaO	1.46%
Οξείδιο του Μαγνησίου – MgO	0.32%
Τριοξείδιο του Θείου - SO₃	0.03%
Οξείδιο του Καλίου - K₂O	4.3%
Οξείδιο του Νατρίου - Na₂O	3.45%
Απώλεια Πυρώσεως	4.53%
Απροσδιόριστα	0.21%
ΣΥΝΟΛΟ	100%

Πίνακας 4. 2. Χημική σύσταση κίσσηρις της νήσου Γυαλί.

Χάρη στην ομοιογένεια του κοιτάσματος αλλά και στο συστηματικό ποιοτικό έλεγχο που πραγματοποιείται σε όλα τα στάδια της παραγωγής, εξασφαλίζεται σταθερή και υψηλή ποιότητα προϊόντος. Ως φυσική πρώτη ύλη, απόλυτα φιλική προς το περιβάλλον, η κίσσηρις συνδυάζει χωρίς καμία χημική επεξεργασία τα παρακάτω:

- Ομοιογενή ποιότητα
- Χαμηλό ειδικό βάρος
- Σταθερό ομοιόμορφο λευκό χρώμα
- Θερμομονωτικές και ήχο-απορροφητικές ιδιότητες

Λόγω των χαρακτηριστικών της βρίσκει εφαρμογή κυρίως:

- 1. Στις Κατασκευές.** Είναι κατάλληλη για την παραγωγή ελαφροβαρών δομικών στοιχείων (κισσηρολίθων), ελαφροσκυροδέματος (δομικού και πληρώσεως), ελαφροβαρών προκατασκευασμένων στοιχείων και ελαφροβαρών μονωτικών επιχρισμάτων.
- 2. Στις καλλιέργειες.** Είναι κατάλληλη για υπόστρωμα υδροπονικών καλλιεργειών, βελτιωτικό εδαφών, συστατικό υποστρώματος φυτεμένων δωματίων, καθώς και για την επικάλυψη εδαφών.
- 3. Σε γεωτεχνικά έργα.** Καθώς είναι ελαφροβαρές υλικό προσφέρεται για την εξυγίανση χαλαρών εδαφών και υπόγειων υδάτων σε έργα οδοποιίας, κατασκευή λιμένων, γηπέδων κ.α.

Εκτός από αυτές τις κύριες εφαρμογές η κίσσηρις έχει και άλλες χρήσεις όπως:

- Καθαρισμός με τη χρήση πίεσης. Χρησιμοποιείται στον καθαρισμό ιστορικών κτηρίων και άλλων κατασκευών
- Πετροπλύσιμο υφασμάτων. Χρησιμοποιούνται ελαφρόπετρες μικρού μεγέθους και στρογγυλού σχήματος.
- Ως λειαντικό
- Φιλτράρισμα νερού
- Υπόστρωμα κατοικίδιων

4.4 ΧΡΗΣΗ SURFACE MINER ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΟΡΥΞΗ ΣΤΟ ΟΡΥΧΕΙΟ ΓΥΑΛΙΟΥ

Σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης surface miner στην εξόρυξη κίσσηρις της νήσου Γυαλί. Η διερεύνηση περιορίζεται αποκλειστικά στα ζητήματα που αφορούν αφενός στην ικανότητα του μηχανήματος να εξορύξει το συγκεκριμένο πέτρωμα και αφετέρου στην αναμενόμενη φθορά των κοπτικών εργαλείων. Δεν λαμβάνονται υπόψη οικονομικές παράμετροι και δεν γίνεται συγκριτική τεχνοοικονομική αξιολόγηση με την υφιστάμενη εξόρυξη με προωθητές.

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.3.1, την εξόρυξη με μηχανικά μέσα επηρεάζουν κάποιες ιδιότητες του προς εξόρυξη πετρώματος. Γνωρίζοντας τα σχετικά χαρακτηριστικά του είναι δυνατή η εκτίμηση της ικανότητας ενός μηχανικού μέσου να το εξορύξει.

Για τη διερεύνηση της δυνατότητας εξόρυξης με surface miner, απαιτείται η γνώση κυρίως δύο χαρακτηριστικών του πετρώματος: (α) της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη και (β) της αποξεστικότητάς του.

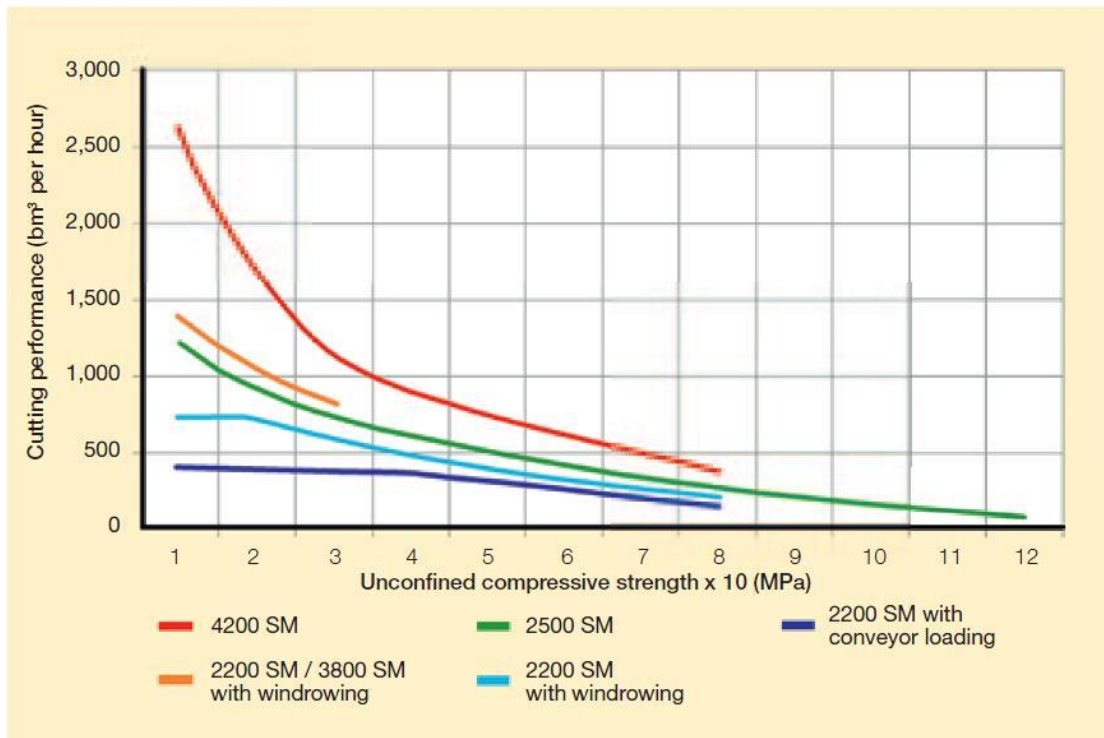
Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη καθορίζει τις απαιτούμενες δυνάμεις για την κοπή του πετρώματος. Το μηχάνημα που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι σε θέση να τις αναπτύξει.

Η αποξεστικότητα ενός πετρώματος είναι ένα μέτρο της φθοροποιού ικανότητάς του. Καθορίζει το ρυθμό με τον οποίο φθείρονται τα κοπτικά εργαλεία που προσβάλλουν άμεσα και εξορύσσουν το πέτρωμα. Κατά συνέπεια, καθορίζει τόσο το πλήθος των απαιτούμενων κοπτικών σε ένα έργο, όσο και το χρόνο που απαιτείται για την αντικατάσταση των φθαρμένων κοπτικών ως ποσοστό του συνολικά διαθέσιμου χρόνου.

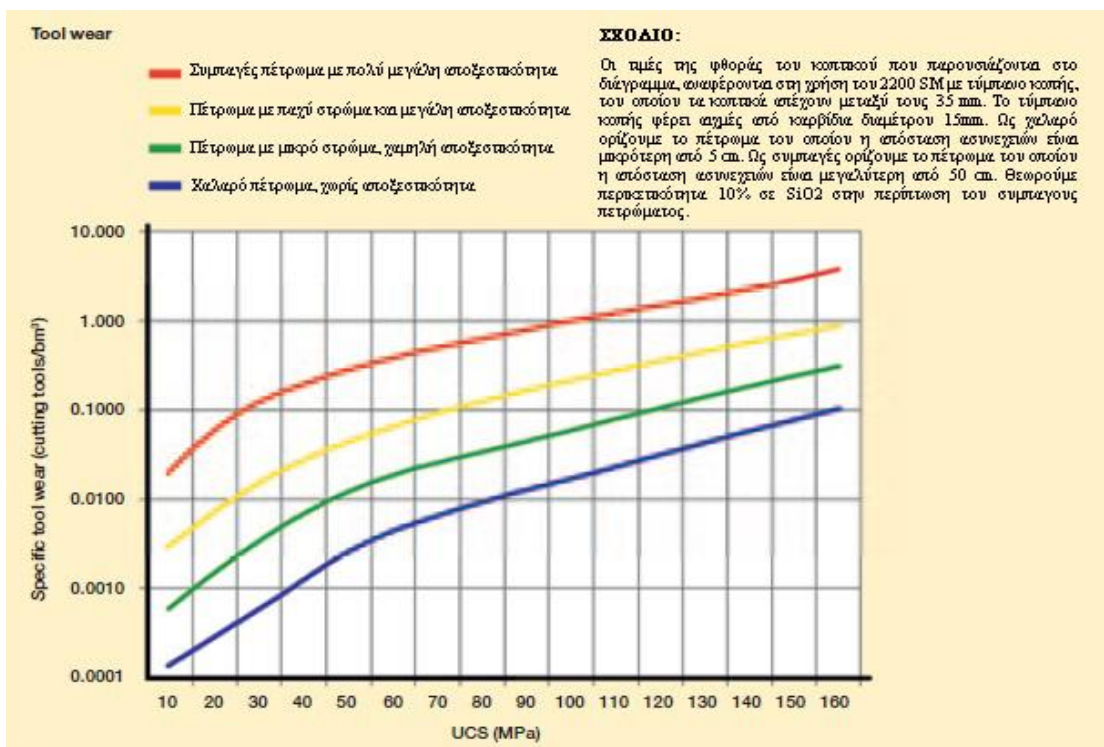
Στην παρούσα εργασία για τον προσδιορισμό της αντοχής του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη και της αποξεστικότητάς του εκτελέστηκε ένα πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών. Συγκεκριμένα, οι δοκιμές που εκτελέστηκαν είναι:

1. Εργαστηριακή δοκιμή αντοχής σε σημειακή φόρτιση (Point Load) για την εκτίμηση της αντοχής του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη.
2. Εργαστηριακή δοκιμή αποξεστικότητας κατά Cerchar για την εκτίμηση της φθοροποιού ικανότητας του πετρώματος.

Η Wirtgen (2010) παρέχει πίνακες και διαγράμματα για την προεκτίμηση (α) της δυνατότητας χρήσης ενός μηχανήματος για την εξόρυξη συγκεκριμένου πετρώματος, (β) του αναμενόμενου ρυθμού εξόρυξης και (γ) της αναμενόμενης κατανάλωσης κοπτικών. Τα στοιχεία αυτά φαίνονται στα διαγράμματα 4.1, 4.2 και 4.3.



Διάγραμμα 4. 2. Αναμενόμενος ρυθμός εξόρυξης σε συνάρτηση με την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη. Wirtgen (2010).



Διάγραμμα 4. 3. Αναμενόμενη κατανάλωση κοπτικών συναρτήσει της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη. Wirtgen (2010).

4.5 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

4.5.1 Δοκιμή αποξεστικότητας κατά Cerchar

Με τη δοκιμή αποξεστικότητας κατά Cerchar εκτιμάται η φθοροποιός ικανότητα ενός πετρώματος. Ως αποξεστικότητα ορίζεται η φθορά μέσω εκτριβής ή –αλλιώς– απόξεσης ενός κοπτικού εργαλείου κατά την προσβολή του πετρώματος. Για την εξόρυξη με μηχανικά μέσα η αποξεστικότητα ενός πετρώματος είναι μία από τις σημαντικότερες ιδιότητές του, διότι καθορίζει την ειδική κατανάλωση κοπτικών ανά μονάδα όγκου εξορυσσόμενου πετρώματος.

Η αποξεστικότητα δεν είναι ιδιότητα του καθατού πετρώματος, αλλά αφορά στην αλληλεπίδρασή του με το κοπτικό εργαλείο με όρους σχετικής σκληρότητας. Όπως είναι γνωστό από π.χ. την κλίμακα σκληρότητας ορυκτών κατά Mohs, ένα υλικό είναι σχετικά σκληρότερο από κάποιο άλλο όταν το χαράζει.

Με τη δοκιμή Cerchar υπολογίζεται η αποξεστικότητα ενός πετρώματος. Σαν αποξεστικότητα μπορεί να οριστεί το μέτρο φθοράς του κοπτικού εργαλείου από την επαφή του με το πέτρωμα.

Με τη δοκιμή αποξεστικότητας κατά Cerchar προσδιορίζεται ο δείκτης CAI (Cerchar Abrasivity Index) που είναι μέτρο της φθοροποιού ικανότητας του πετρώματος.

Σκοπός

Όπως προαναφέρθηκε, η δοκιμή χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της φθοροποιού ικανότητας των πετρωμάτων. Βασίζεται στη φθορά που προκαλεί το πέτρωμα σε συγκεκριμένης γεωμετρίας χαλύβδινη ακίδα σκληρότητας 55 HRC, η οποία χαράσσει κατάλληλα διαμορφωμένο δοκίμιο. Το δοκίμιο μπορεί να είναι δίσκος ή ακανόνιστο και συγκρατείται σταθερά στη συσκευή. Η ακίδα τίθεται σε επαφή με το δοκίμιο και επ' αυτής εφαρμόζεται στατικό φορτίο 70 N. Στη συνέχεια η ακίδα χαράσσει το δοκίμιο σε μήκος 10 mm και ακολούθως μετρείται η φθορά της με τη βοήθεια μικροσκοπίου. Από τη μέτρηση προκύπτει ο δείκτης CAI, ο οποίος είναι αδιάστατο μέγεθος.

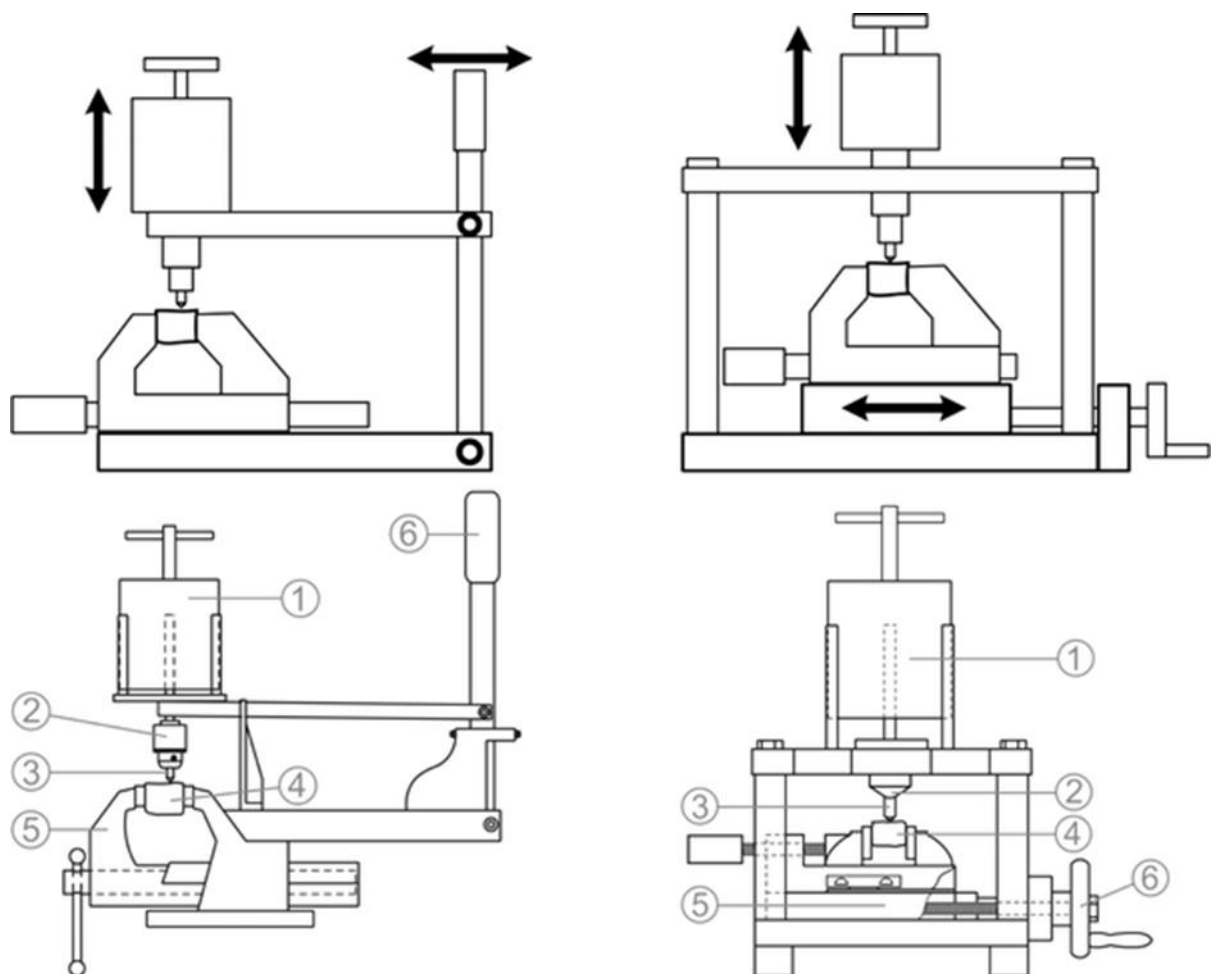
Συσκευή

Υπάρχουν δύο τύποι συσκευών για την εκτέλεση της δοκιμής: η πρωτότυπη συσκευή Cerchar και η τροποποιημένη συσκευή West.

Στη συσκευή Cerchar η μέγγενη, όπου συγκρατείται το δοκίμιο, παραμένει ακίνητη και κινείται μέσω μοχλού η ακίδα με τη μάζα βάρους 70 N επ' αυτής. Αντιθέτως, στη συσκευή West, κινείται η μέγγενη με το δοκίμιο μέσω χειροτροχού και ολισθητήρα και παραμένει σταθερή η ακίδα.

Ο διαφορετικός μηχανισμός χάραξης στις δύο συσκευές έχει ως αποτέλεσμα τη διαφορετική διάρκεια της δοκιμής, με τη διάρκεια στη συσκευή West να είναι δεκαπλάσια από αυτή της συσκευής Cerchar. Σύμφωνα με την προτεινόμενη μέθοδο της ISRM (2014) η διάρκεια της δοκιμής στη συσκευή Cerchar πρέπει να διαρκεί 1 ± 0.5 s και στη συσκευή West 10 ± 2 s.

Στην εικόνα 4.5 παρουσιάζονται σχηματικά οι δύο τύποι συσκευών.



Εικόνα 4. 5. Τύποι συσκευών για τη δοκιμή αποξεστικότητας κατά Cerchar. Στην αριστερή εικόνα παρουσιάζεται η πρωτότυπη συσκευή Cerchar και στη δεξιά εικόνα η τροποποιημένη συσκευή West. (1) φορτίο, (2) διάταξη συγκράτησης ακίδας, (3) ακίδα, (4) δοκίμιο πετρώματος, (5) μέγγενη συγκράτησης δοκιμίου, (6) μοχλός (για τη συσκευή Cerchar), χειροτροχός (για τη συσκευή West). ISRM (2014).

Χαλύβδινη ακίδα

Η ακίδα προδιαγράφεται με συγκεκριμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και σκληρότητα.

Είναι προφανές ότι όσο μεγαλύτερη είναι η σκληρότητα της ακίδας τόσο μικρότερη τιμή προκύπτει για το δείκτη CAI. Συνεπώς, απαιτείται η χρήση ακίδας συγκεκριμένης σκληρότητας για να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους τα αποτελέσματα διαφορετικών δοκιμών. Αξίζει να σημειωθεί, ότι πριν την υιοθέτηση της σκληρότητας 55 HRC (Rockwell Hardness C-scale) στην ISRM suggested method, είχαν χρησιμοποιηθεί και άλλες σκληρότητες με συχνότερη αυτή των 40 HRC που είχε προταθεί από τον West. Για τη μετατροπή των τιμών του δείκτη CAI στην πρότυπη σκληρότητα των 55 χρησιμοποιούνται οι εξής σχέσεις:

$$CAI_{55} = 0,110914 + 0,587356 CAI_{40}. \text{ (Michalakopoulos et al, 2006)}$$

$$CAI' = 0.415 CAI_x / (1 - 0.0107 x), \text{ (Jacobs and Hagan, 2009)}$$

όπου x είναι η σκληρότητα της ακίδας σε HRC.

Με βάση το πρότυπο η ακίδα πρέπει να είναι από ανοξείδωτο χάλυβα χρωμίου βαναδίου με σκληρότητα 55 ± 1 HRC. Η σκληρότητα επιτυγχάνεται με κατάλληλη βαφή της ακίδας.

Η διάμετρος της ακίδας πρέπει να είναι τουλάχιστον 6 mm και το μήκος της τέτοιο ώστε το ελάχιστο ορατό τμήμα της, μεταξύ της επιφάνειας του δοκιμίου και της υποδοχής της, να είναι 15 mm. Η ακίδα πρέπει να έχει κωνική κατάληξη γωνίας 90° . Η κορυφή της πρέπει να είναι αιχμηρή. Μία ακίδα που έχει φθαρεί δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πρέπει να τροχίζεται ώστε να γίνει ξανά αιχμηρή. Μετά το τρόχισμα και πριν τη χρήση της η γεωμετρία της κορυφής της πρέπει να ελέγχεται στο μικροσκόπιο. Κατά το τρόχισμα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι δε δημιουργούνται ανώμαλες επιφάνειες στην κωνική αιχμή και ότι δεν αυξάνεται η θερμοκρασία της ακίδας, ώστε να αποφεύγονται μεταβολές της σκληρότητάς της.

Χαρακτηριστικά δοκιμίου

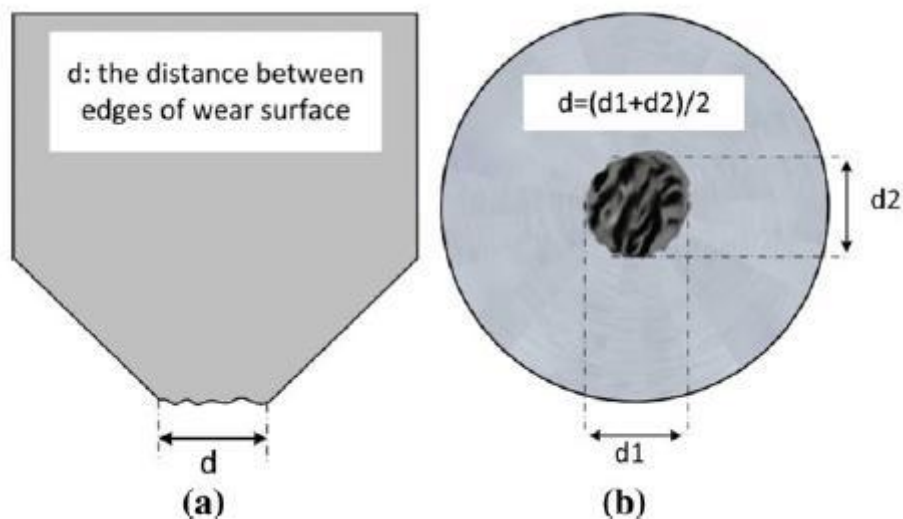
Το δοκίμιο πρέπει να έχει τη μορφή δίσκου ή ακανόνιστο σχήμα. Η δοκιμή εκτελείται σε φρεσκοθραυσμένες επιφάνειες. Τραχείες επιφάνειες μπορούν να δημιουργηθούν έπειτα από θραύση πετρώματος με τη χρήση γεωλογικού σφυριού ή με τη θραύση πετρώματος στη δοκιμή Brazilian. Σε διαφορετική περίπτωση, η δοκιμή εκτελείται σε λεία επιφάνεια. Το δοκίμιο διαμορφώνεται κατάλληλα έπειτα από αδαμαντοκοπή. Η δοκιμή εκτελείται σε

δοκίμια τα οποία είτε έχουν διατηρήσει τη φυσική τους υγρασία είτε έχουν ξηρανθεί. Η χάραξη του δοκιμίου πρέπει να γίνεται σε σημείο στο οποίο δεν υπάρχουν εμφανείς πόροι. Σε περιπτώσεις όπου οι κόκκοι του πετρώματος είναι μεγαλύτεροι από 2 mm, είναι απαραίτητη η εκτέλεση περισσότερων από πέντε χαράξεων στο δοκίμιο, ώστε το αποτέλεσμα που θα προκύψει να είναι αξιόπιστο. Η επιφάνεια του δοκιμίου θα πρέπει να επιτρέπει την πραγματοποίηση τουλάχιστον πέντε χαράξεων, καθεμία από τις οποίες είναι απαραίτητο να απέχει τουλάχιστον 5 mm από την άκρη του δοκιμίου. Επίσης κάθε γραμμή χάραξης πρέπει να απέχει από την επόμενη τουλάχιστον 5 mm.

Σε ανισοτροπικά πετρώματα, η δοκιμή πρέπει να εκτελείται με ιδιαίτερη προσοχή. Προτιμώνται δοκιμές κάθετα της ανισοτροπίας του πετρώματος ή στην επιφάνειά της. Το σημείο εκτέλεσης της δοκιμής, αλλά και η διεύθυνση χάραξης, πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε τα αποτελέσματα να αντιπροσωπεύουν το δείγμα μακροσκοπικά.

Μέτρηση φθοράς ακίδας

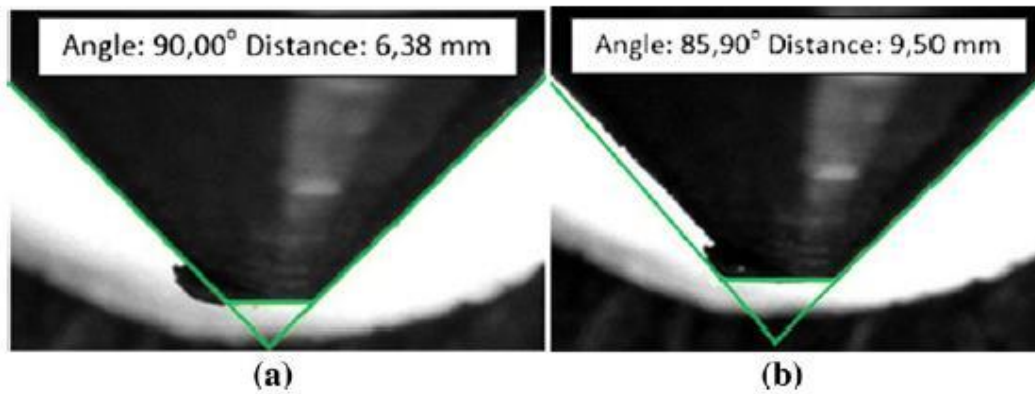
Η μέτρηση του μήκους ή της διαμέτρου της φθοράς της ακίδας, πραγματοποιείται με μικροσκόπιο ακρίβειας 0.01 mm. Η φθορά μπορεί να μετρηθεί εξετάζοντας την ακίδα είτε κατακόρυφα είτε πλευρικά, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 4.6.



Εικόνα 4. 6. Πλευρική και κατακόρυφη μέτρηση φθοράς ακίδας. ISRM (2014).

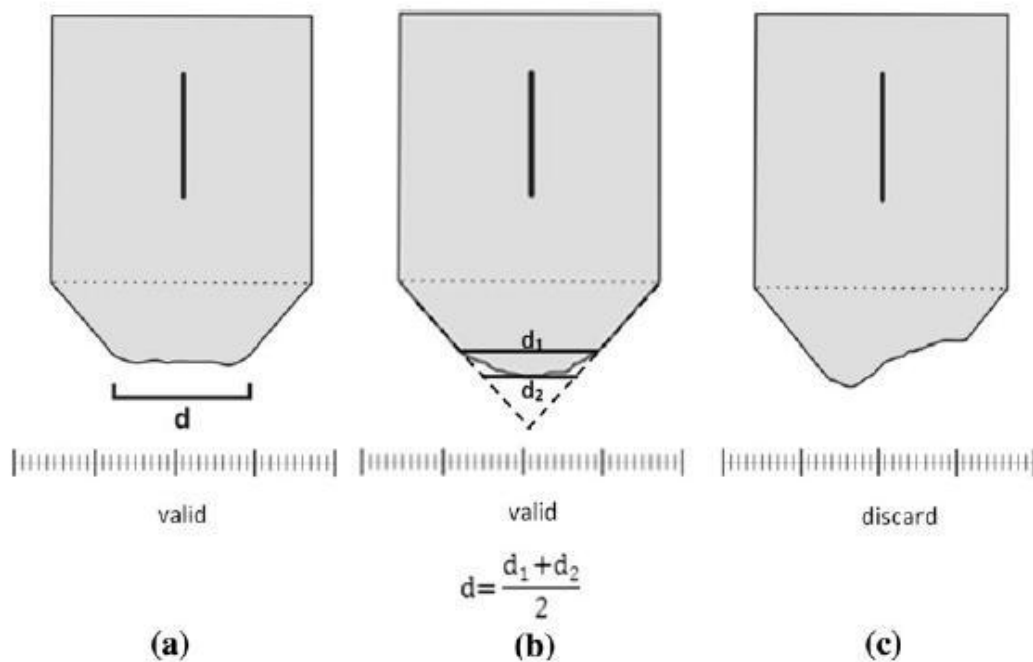
Συνήθως, προτιμάται η πλευρική μέτρηση της φθοράς της ακίδας. Στην κατακόρυφη μέτρηση της φθοράς είναι πιθανή η εσφαλμένη μέτρηση. Αυτό συμβαίνει διότι η

φθαρμένη ακίδα έχει μη συμμετρικό σχήμα. Στην εικόνα 4.7 παρουσιάζεται η διαφορά της πραγματικής φθοράς της ακίδας (η οποία προκύπτει έπειτα από πλευρική εξέταση της ακίδας), σε σχέση με τη μετρούμενη φθορά ακίδας με κατακόρυφη εξέταση.



Εικόνα 4. 7. (a) Πραγματική φθορά ακίδας σε πλάγια όψη. (b) Εσφαλμένη μέτρηση φθοράς. ISRM (2014).

Στην εικόνα 4.8 παρουσιάζονται οι αποδεκτοί και μη αποδεκτοί τρόποι φθοράς της ακίδας.



Εικόνα 4. 8. (a), (b) Αποδεκτή φθορά ακίδας. (c) όταν η ακίδα φθείρεται κατά αυτόν τον τρόπο, η μέτρηση της επιφάνειας φθοράς της δεν είναι εφικτή. ISRM (2014).

Όταν πραγματοποιείται πλευρική μέτρηση της φθοράς, η ακίδα πρέπει να τοποθετείται σε κατάλληλη υποδοχή. Γίνονται τέσσερις μετρήσεις σε κάθε ακίδα, από το μέσο όρο των

οποίων προκύπτει η φθορά της (d). Κάθε μέτρηση γίνεται έπειτα από περιστροφή της ακίδας κατά 90° .

Όταν πραγματοποιείται κατακόρυφος έλεγχος της φθοράς της ακίδας, αρκούν δύο μετρήσεις. Όταν χρησιμοποιείται ψηφιακό μικροσκόπιο αρκεί μία μόνο μέτρηση.

Υπολογισμός CAI

Ο δείκτης CAI υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση

$$CAI = d \cdot 10,$$

όπου d η μέση φθορά των ακίδων που χρησιμοποιήθηκαν σε συγκεκριμένο δοκίμιο.

Ο δείκτης CAI αναφέρεται σε ακίδες σκληρότητας 55 HRC. Σε περίπτωση που η σκληρότητα της ακίδας διαφέρει, ο δείκτης CAI πρέπει να συνοδεύεται από σαφή ένδειξη της σκληρότητάς της. Για παράδειγμα, αν η ακίδα είναι σκληρότητας 40 HRC ο δείκτης έχει τη μορφή CAI_{40} . Είναι προφανές ότι για τη σύγκριση της φθοροποιού ικανότητας δύο πετρωμάτων απαιτείται η χρήση ακίδας ίδιας σκληρότητας. Σε περίπτωση που κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό, είναι δυνατή η αναγωγή του δείκτη $CAI_{(x)}$ οποιασδήποτε σκληρότητας, σε διορθωμένο δείκτη CAI' .

Η αναγωγή πραγματοποιείται με χρήση της σχέσης:

$$CAI' = 0.415 CAI_{(x)} / (1 - 0.0107x).$$

Δοκιμή σε λείες επιφάνειες

Η φθορά που προκαλείται στην ακίδα κατά την εκτέλεση δοκιμής σε λεία επιφάνεια, d_s , διαφέρει από τη φθορά που προκαλείται σε τραχιά επιφάνεια. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το πρότυπο προβλέπει τη χάραξη σε τραχιά επιφάνεια. Εάν η χάραξη εκτελείται σε λεία επιφάνεια απαιτείται διόρθωση της μετρούμενης φθοράς d_s με χρήση της σχέσης:

$$d = 1.14 \cdot d_s$$

Κατάταξη πετρωμάτων βάση της φθοροποιού τους ικανότητας

Για την κατάταξη των πετρωμάτων με βάση την φθοροποιού τους ικανότητα χρησιμοποιείται ο πίνακας 4.3.

ΚΑΤΑΤΑΞΗ	Μέσος CAI
Εξαιρετικά χαμηλή αποξεστικότητα	0.1 – 0.4
Πολύ χαμηλή αποξεστικότητα	0.5 – 0.9
Χαμηλή αποξεστικότητα	1.0 – 1.9
Μέση αποξεστικότητα	2.0 – 2.9
Υψηλή αποξεστικότητα	3.0 – 3.9
Πολύ υψηλή αποξεστικότητα	4.0 – 4.9
Εξαιρετικά υψηλή αποξεστικότητα	≥5.0

Πίνακας 4. 3. Κατάταξη αποξεστικότητας βάση του δείκτη CAI. ISRM (2014).

4.5.2 Δοκιμή αντοχής σε σημειακή φόρτιση

Σκοπός

Η δοκιμή αντοχής σε σημειακή φόρτιση έχει ως σκοπό την κατάταξη του υλικού που εξετάζεται, με βάση την αντοχή του. Χρησιμοποιείται επίσης για τον έμμεσο υπολογισμό άλλων μηχανικών χαρακτηριστικών του πετρώματος όπως της αντοχής του σε μονοαξονική θλίψη και εφελκυσμό. Με τη δοκιμή αυτή υπολογίζεται ο δείκτης σημειακής φόρτισης $I_{s(50)}$, καθώς και ο δείκτης ανισοτροπίας της αντοχής του $I_{a(50)}$, ο οποίος αριθμητικά αντιστοιχεί στο λόγο της μέγιστης τιμής του δείκτη σημειακής φόρτισης του δοκιμίου, προς την ελάχιστη. Η δοκιμή εφαρμόζεται σε κυλινδρικά δοκίμια ή δίσκους, σε δοκίμια με ορθογωνική μορφή ή ακανόνιστα. Σε δοκίμια με μορφή κυλίνδρου ή δίσκου εκτελείται διαμετρική ή αξονική δοκιμή, σε δοκίμια με ορθογωνική μορφή εκτελείται η δοκιμή ορθογωνικού δοκιμίου, ενώ σε δοκίμια ακανόνιστου σχήματος εκτελείται δοκιμή ακανόνιστου δοκιμίου. Η εκτέλεση των παραπάνω δοκιμών περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια. Στα δοκίμια ασκείται συγκεντρωμένο φορτίο μέσω ενός ζεύγους κωνοειδών αιχμών, με καμπύλη κατάληξη. Μέσω του φορτίου που ασκείται, το δοκίμιο οδηγείται σε

αστοχία. Το φορτίο που επιφέρει την αστοχία αντιστοιχεί στη μέγιστη αντοχή του δοκιμίου. Η δοκιμή μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε στο εργαστήριο είτε εκτός εργαστηρίου με τη χρήση μεταφερόμενου εξοπλισμού.

Συσκευή

Ο σχεδιασμός της συσκευής που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση της δοκιμής εκτός εργαστηρίου είναι απλούστερος σε σχέση με αυτόν της εργαστηριακής συσκευής. Αποτελείται από ένα πλαίσιο εφαρμογής του φορτίου, μία αντλία, ένα έμβολο και τις αιχμές που θα ασκήσουν το φορτίο στο δοκίμιο. Ο σχεδιασμός της εργαστηριακής συσκευής είναι πιο πολύπλοκος. Αποτελείται από ένα σύστημα άσκησης του φορτίου, ένα σύστημα μέτρησης του μέγιστου φορτίου P , στο οποίο αστοχεί το εξεταζόμενο δοκίμιο, και ένα σύστημα μέτρησης της απόστασης D μεταξύ των δύο αιχμών που ασκούν το φορτίο.

Σύστημα άσκησης φορτίου

Ο χώρος μεταξύ των επιφανειών συγκράτησης του δοκιμίου πρέπει να επιτρέπει την εκτέλεση της δοκιμής σχετικά μεγάλων αλλά και μικρών δοκιμίων. Συνήθως, το κενό αυτό κυμαίνεται από 15 mm έως 100 mm. Είναι απαραίτητο να υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης της απόστασης του κενού χώρου, καθώς ανάλογα με τις απαιτήσεις της δοκιμής, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν και μικρά και μεγαλύτερα δοκίμια του πετρώματος που εξετάζεται.

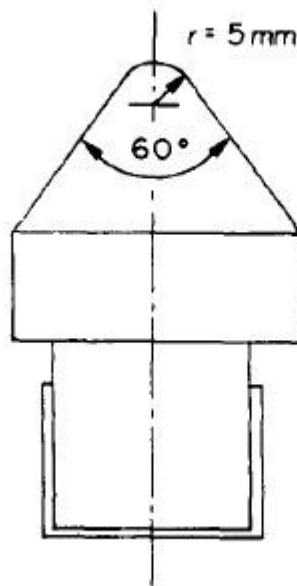
Επίσης, το μέγιστο φορτίο που δύναται να ασκηθεί, πρέπει να είναι ικανό να οδηγήσει σε αστοχία το μεγαλύτερο και ανθεκτικότερο δοκίμιο που θα εξεταστεί.

Η συσκευή πρέπει να είναι σχεδιασμένη και κατασκευασμένη έτσι ώστε να μην προκαλείται μόνιμη παραμόρφωσή της, ακόμα και σε περίπτωση άσκησης του μέγιστου δυνατού φορτίου για σημαντικό χρονικό διάστημα. Οι αιχμές εφαρμογής του φορτίου πρέπει να παραμένουν σταθερές και στον ίδιο άξονα μετά το πέρας των δοκιμών. Η μέγιστη απόκλιση που επιτρέπεται να έχουν είναι 0.2 mm.

Οι αιχμές που ασκούν το φορτίο πρέπει να είναι άκαμπτες και να μην είναι σφαιρικές, ώστε να αποφεύγεται η ολίσθηση και η μετακίνηση δοκιμίων με ακανόνιστο σχήμα.

Οι επιφάνειες άσκησης φορτίου πρέπει να έχουν κωνική αιχμή με συγκεκριμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τα οποία φαίνονται στην εικόνα 4.9. Οι αιχμές πρέπει να είναι

φτιαγμένες από ανθεκτικό υλικό, όπως καρβίδιο του βολφραμίου, ώστε να αποφεύγονται παραμορφώσεις κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της δοκιμής.



Εικόνα 4. 9. Κωνική αιχμή άσκησης φορτίου. ISRM (1985).

Σύστημα μέτρησης φορτίου

Το σύστημα μέτρησης του φορτίου μπορεί να είναι ένα υδραυλικό μανόμετρο ή ένας μετατροπέας που συνδέεται με το έμβολο ή μια δυναμοκυψέλη. Μέσω αυτού του συστήματος πρέπει να είναι εφικτός ο προσδιορισμός του μέγιστου φορτίου P που οδήγησε το δοκίμιο σε αστοχία. Για αυτό το λόγο θα πρέπει να πληροί τις εξής τρεις προϋποθέσεις:

- Οι μετρήσεις του φορτίου πρέπει να είναι ακριβείς. Η μέγιστη απόκλιση που επιτρέπεται είναι της τάξης του 5%, ανεξαρτήτως μεγέθους και σχήματος του δοκιμίου.
- Το σύστημα μέτρησης πρέπει να παραμένει σταθερό και να μην επηρεάζεται από δονήσεις ή αναπηδήσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της δοκιμής.
- Η αστοχία επέρχεται ξαφνικά και στιγμιαία. Επομένως, θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα καταγραφής της τιμής του φορτίου που επέφερε την αστοχία.

Σύστημα μέτρησης απόστασης αιχμών

Το σύστημα αυτό ελέγχει την απόσταση μεταξύ των επιφανειών που ασκούν το φορτίο. Πρέπει να ικανοποιούνται συγκεκριμένες προϋποθέσεις ώστε το σύστημα μέτρησης να θεωρείται αξιόπιστο:

- Οι μετρήσεις της απόστασης πρέπει να είναι ακριβείς. Η επιτρεπόμενη απόκλιση ανέρχεται στο 2%, ανεξαρτήτως μεγέθους ή σχήματος του δοκιμίου.
- Το σύστημα μέτρησης της απόστασης πρέπει να παραμένει σταθερό και να μην επηρεάζεται από δονήσεις είτε αναπηδήσεις.
- Πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης των αιχμών σε μηδενική απόσταση μεταξύ τους.

Προετοιμασία δοκιμίου

Τα δοκίμια που εξετάζονται πρέπει να έχουν συγκεκριμένο εύρος μεγεθών και το σχήμα τους εξαρτάται από το είδος της δοκιμής που θα πραγματοποιηθεί (αξονική, διαμετρική, ορθογωνικών ή ακανόνιστων δοκιμίων). Οι δοκιμές γίνονται σε δείγματα τα οποία είτε είναι πλήρως κορεσμένα είτε έχουν διατηρήσει τη φυσική τους υγρασία.

Βαθμονόμηση

Ο εξοπλισμός της δοκιμής θα πρέπει ανά τακτά χρονικά διαστήματα να ελέγχεται και αν χρειάζεται να βαθμονομείται.

Διαμετρική δοκιμή

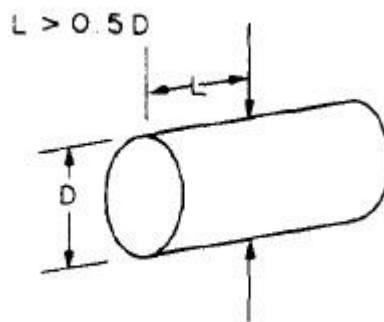
Οι απαιτήσεις και η διαδικασία για τη συγκεκριμένη δοκιμή είναι οι παρακάτω:

1. Τα δοκίμια που χρησιμοποιούνται πρέπει να έχουν λόγο μήκους/πλάτους μεγαλύτερο από τη μονάδα.
2. Πρέπει να εκτελούνται το λιγότερο δέκα δοκιμές δοκιμίων του πετρώματος που εξετάζεται. Περισσότερες δοκιμές απαιτούνται όταν το δείγμα είναι ετερογενές ή ανισοτροπικό.
3. Το δοκίμιο τοποθετείται στη συσκευή. Η φόρτιση του δοκιμίου γίνεται αντιδιαμετρικά. Η απόσταση L , η απόσταση δηλαδή από το σημείο επαφής μέχρι την

άκρη του δοκιμίου, πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ακτίνα του δοκιμίου ($L > 0.5D$).

4. Καταγράφεται η απόσταση μεταξύ των αιχμών φόρτισης D , η οποία στη συγκεκριμένη περίπτωση ισούται με τη διάμετρο των δοκιμίων, με μία απόκλιση της τάξης του 2%.
5. Το φορτίο αυξάνεται σταδιακά με σκοπό η αστοχία να επέλθει σε διάστημα 10-60 s.
6. Καταγράφεται η τιμή του φορτίου που οδήγησε το δοκίμιο σε αστοχία.

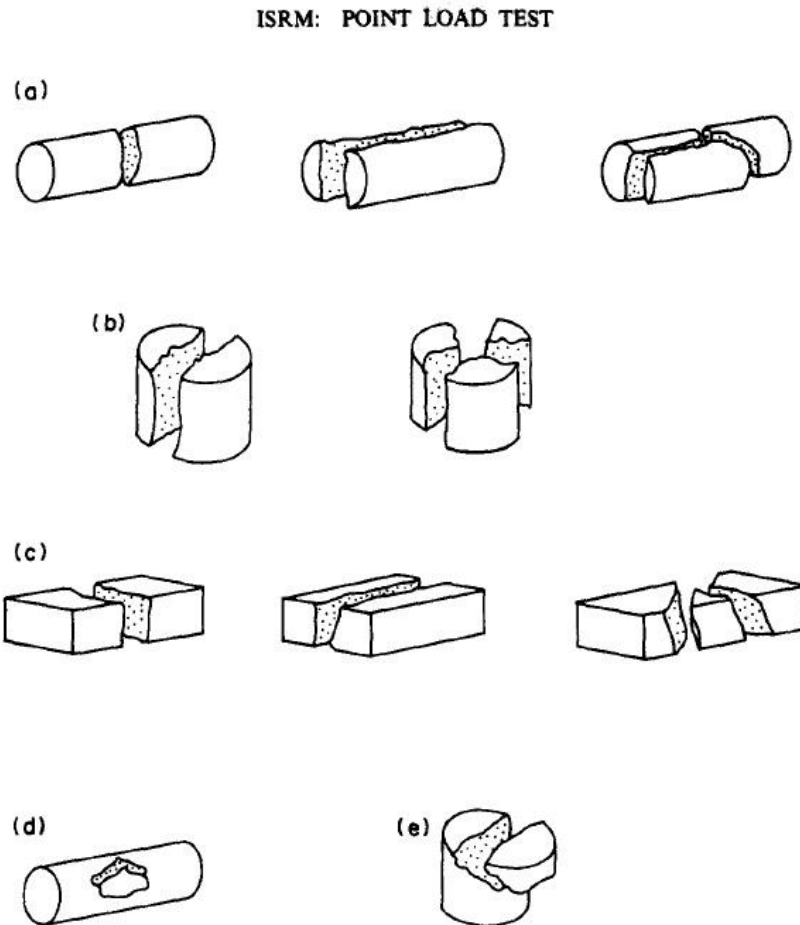
Οι απαιτούμενες διαστάσεις του δοκιμίου παρουσιάζονται στην εικόνα 4.10



Εικόνα 4. 10 Διαστάσεις δοκιμίου για την εκτέλεση διαμετρική δοκιμής. ISRM (1985).

Για τα υπόλοιπα δοκίμια, η δοκιμή εκτελείται όπως στα παραπάνω βήματα 3 έως 6.

Οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να οδηγηθεί σε αστοχία το δοκίμιο που εξετάζεται παρουσιάζονται στην εικόνα 4.11. Η δοκιμή θεωρείται επιτυχής, όταν η αστοχία του δοκιμίου επέλθει όπως στις περιπτώσεις a,b,c της εικόνας 4.11. Σε περίπτωση που η αστοχία του δοκιμίου επέλθει μόνο στη μία πλευρά φόρτισης, όπως στις περιπτώσεις d, e της εικόνας 4.11, η δοκιμή δεν είναι αποδεκτή.



Εικόνα 4. 11. Τρόποι αστοχίας δοκιμίου. ISRM (1985).

Αξονική δοκιμή

Για την εκτέλεση της συγκεκριμένης δοκιμής χρησιμοποιούνται δοκίμια με λόγο ύψους/διαμέτρου από 0.3 έως 1.0. Τέτοιων διαστάσεων δοκίμια είναι πιθανό να προκύψουν έπειτα από αστοχία δοκιμίων σε διαμετρική δοκιμή. Εναλλακτικά, διαμορφώνονται κατάλληλα δοκίμια με αδαμαντοκοπή.

Οι απαιτήσεις και η διαδικασία για τη συγκεκριμένη δοκιμή είναι οι παρακάτω:

1. Εκτελούνται το λιγότερο δέκα δοκιμές. Περισσότερες δοκιμές απαιτούνται όταν το δείγμα είναι ετερογενές ή ανισοτροπικό.
2. Το δοκίμιο τοποθετείται στη συσκευή. Η φόρτιση γίνεται σε διεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα του δοκιμίου.
3. Καταγράφεται η απόσταση D μεταξύ των αιχμών φόρτισης, η οποία στη συγκεκριμένη περίπτωση ισούται με το μήκος του δοκιμίου. Επιτρέπεται απόκλιση 2%. Επίσης,

καταγράφεται το πλάτος W που είναι κάθετο στη διεύθυνση εφαρμογής του φορτίου.

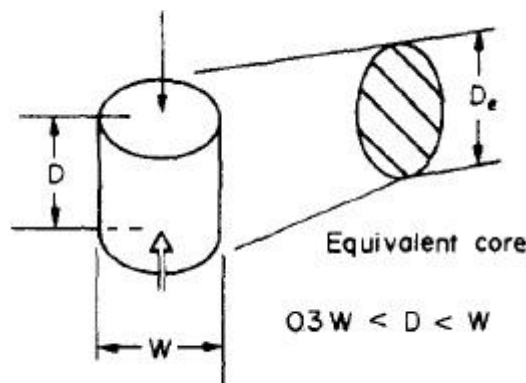
Επιτρέπεται απόκλιση της τάξεως του 5%.

4. Το φορτίο αυξάνεται σταδιακά ώστε να επέλθει αστοχία σε διάστημα 10-60 s.

Οι διαδικασίες 2 έως 4 επαναλαμβάνονται για το υπόλοιπα δοκίμια.

Η δοκιμή δεν είναι αποδεκτή εάν η αστοχία επέλθει μόνο σε ένα σημείο φόρτισης.

Οι διαστάσεις του δοκιμίου, που απαιτούνται για την εκτέλεση αξονικής δοκιμής, παρουσιάζονται στην εικόνα 4.12.



Εικόνα 4. 12. Διαστάσεις δοκιμίου για την εκτέλεση αξονικής δοκιμής. ISRM (1985).

Δοκιμή ορθογωνικού ή ακανόνιστου δοκιμίου

Σε αυτή τη δοκιμή τα δοκίμια είναι ορθογωνικής ή ακανόνιστης μορφής. Το μέγεθος τους κυμαίνεται από τα 15mm έως τα 85mm. Ο λόγος διαμέτρου/πλάτους πρέπει να είναι από 0.3 έως 1.0, με προτιμότερες τις τιμές που τείνουν στο 1.0. Η απόσταση L πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το μισό του πλάτους W . Η διαδικασία εκτέλεσης της δοκιμής είναι η εξής:

1. Εκτελούνται το λιγότερο δέκα δοκιμές. Περισσότερες δοκιμές απαιτούνται όταν το δείγμα είναι ετερογενές ή ανισοτροπικό.
2. Το δοκίμιο τοποθετείται στη συσκευή. Η φόρτιση ασκείται σε σημείο του δοκιμίου που δεν βρίσκεται κοντά στις άκρες και είναι, όσο το δυνατόν, περισσότερο λείο.
3. Καταγράφεται η απόσταση D μεταξύ των αιχμών φόρτισης με επιτρεπόμενη απόκλιση της τάξης του 2%. Έπειτα μετريέται, με διεύθυνση κάθετη στη διεύθυνση εφαρμογής του φορτίου, το ελάχιστο πλάτος W του δοκιμίου με επιτρεπόμενη απόκλιση της τάξης

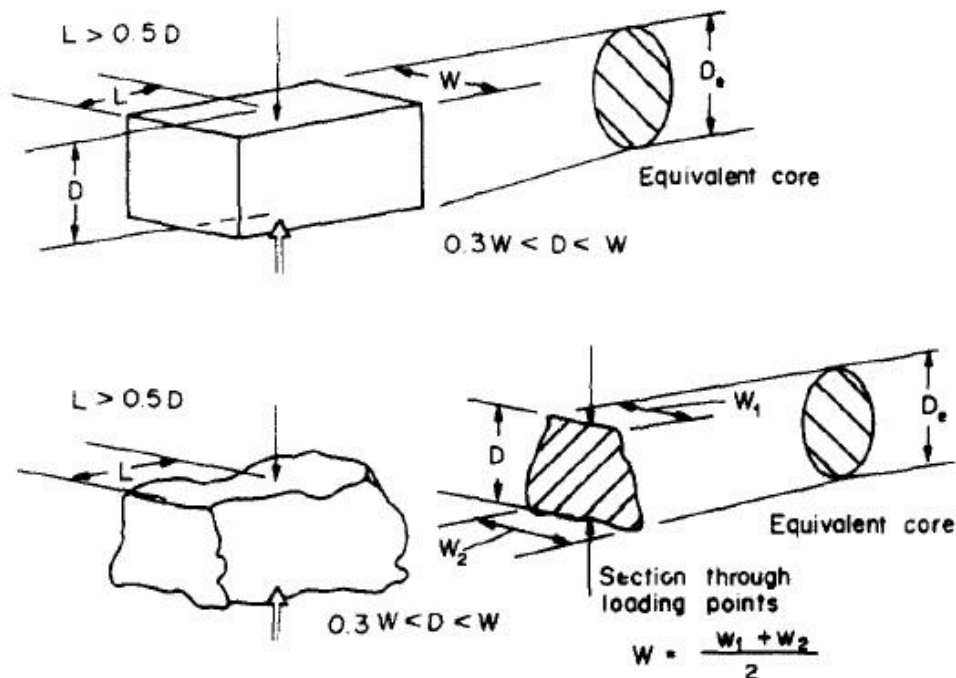
του 5%. Εάν οι πλευρές του δοκιμίου δεν είναι παράλληλες, το ελάχιστο πλάτος W υπολογίζεται με τη σχέση $W = (W_1 + W_2)/2$, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.13.

4. Το φορτίο αυξάνεται σταδιακά ώστε να επέλθει αστοχία σε διάστημα 10-60 s.

Η διαδικασία από το 2 έως το 4 επαναλαμβάνεται για το υπόλοιπα δοκίμια του δείγματος.

Η δοκιμή θεωρείται δεν είναι αποδεκτή εάν η αστοχία επέλθει μόνο σε ένα σημείο φόρτισης.

Οι διαστάσεις και η μορφή που πρέπει να έχουν τα δοκίμια παρουσιάζονται στην εικόνα 4.13



Εικόνα 4. 13. Διαστάσεις ορθογωνικού ή ακανόνιστου δοκιμίου. ISRM (1985).

Μη διορθωμένη αντοχή σε σημειακή φόρτιση

Η μη διορθωμένη αντοχή σε σημειακή φόρτιση υπολογίζεται με τη σχέση P/D_e^2 , όπου P το φορτίο αστοχίας του δοκιμίου και D_e η ισοδύναμη διάμετρος του πυρήνα του. Η τιμή D_e^2 ισοδυναμεί με:

- D^2 (ακτίνα πυρήνα δοκιμίου) στη διαμετρική δοκιμή
- $4A/\pi$ στην αξονική, ορθογωνικής ή ακανόνιστης μορφής δοκιμίου δοκιμή. Η τιμή A ισούται με το γινόμενο του πλάτους και της διαμέτρου του δοκιμίου $A = W \cdot D$.

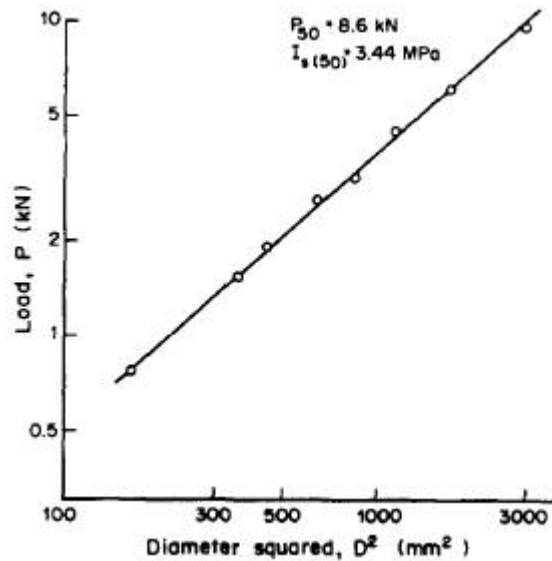
Διορθωμένη αντοχή σε σημειακή φόρτιση

Ο δείκτης I_s , ο οποίος είναι ο δείκτης που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της αντοχής των δοκιμίων σε σημειακή φόρτιση, εξαρτάται από τη διάμετρο του δοκιμίου που εξετάζεται (D στην περίπτωση που εκτελείται διαμετρική δοκιμή, D_e στις υπόλοιπες περιπτώσεις). Γίνεται αντιληπτό ότι εφόσον ο δείκτης I_s διαφέρει ανάλογα με το μέγεθος του δοκιμίου, δεν μπορεί να υπάρξει ουσιαστική σύγκριση δοκιμίων διαφορετικών μεγεθών. Πρέπει λοιπόν να ορισθεί δείκτης τέτοιος, ώστε η σύγκριση να είναι εφικτή.

Για αυτό το λόγο για την ταξινόμηση, με βάση την αντοχή των δοκιμίων, χρησιμοποιείται ο δείκτης $I_{s(50)}$, ο οποίος αντιστοιχεί στο δείκτη I_s που θα είχε μετρηθεί εάν το εξεταζόμενο δοκίμιο είχε διάμετρο 50 mm. Η πιο αξιόπιστη μέθοδος προσδιορισμού του δείκτη $I_{s(50)}$ είναι η εκτέλεση διαμετρικών δοκιμών σε δοκίμια διαμέτρου περίπου ίσης με 50 mm. Με τον τρόπο αυτό τα σφάλματα είναι μηδενικά ή αμελητέα και αποφεύγεται η χρήση συντελεστή διόρθωσης. Για παράδειγμα κατά τη διαμετρική δοκιμή δοκιμίων NX (διάμετρος ίση με 54 mm) δεν απαιτούνται διορθωτικοί συντελεστές για τον υπολογισμό του $I_{s(50)}$. Στην πραγματικότητα όμως η δοκιμή εκτελείται, τις περισσότερες φορές, σε δοκίμια των οποίων η διάμετρος διαφέρει σημαντικά από τα 50 mm. Επομένως δεν είναι δυνατός ο άμεσος υπολογισμός του $I_{s(50)}$ και η άμεση σύγκριση και κατάταξη των δοκιμίων αυτών.

Ο προσδιορισμός του δείκτη $I_{s(50)}$ μπορεί να γίνει με τους εξής δύο τρόπους.

Η πιο αποτελεσματική μέθοδος είναι η εκτέλεση δοκιμών σε δοκίμια με μεγάλο εύρος διαμέτρων D ή D_e . Στη συνέχεια, από τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών κατασκευάζεται διάγραμμα συσχέτισης της διαμέτρου του δοκιμίου με το φορτίο που το οδήγησε σε αστοχία, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.4



Διάγραμμα 4. 4. Διάγραμμα συσχέτισης φορτίου και D_e^2 . ISRM (1985).

Όποιο αποτέλεσμα αποκλίνει σημαντικά από την ευθεία συσχέτισης απορρίπτεται. Με τη βοήθεια της γραφικής παράστασης και με τη μέθοδο της παρεμβολής υπολογίζεται το φορτίο P_{50} που αντιστοιχεί σε $D_e^2 = 2500 \text{ mm}^2$. Έτσι υπολογίζεται η τιμή του δείκτη $I_{s(50)}$ με τη σχέση $I_{s(50)} = P_{50}/D_e^2$.

Υπάρχουν βέβαια περιπτώσεις όπου η παραπάνω διαδικασία ή η μορφοποίηση δοκιμίων συγκεκριμένων γεωμετρικών χαρακτηριστικών δεν είναι εφικτές. Για παράδειγμα κάτι τέτοιο μπορεί να συμβαίνει όταν εξετάζονται δοκίμια ενός συγκεκριμένου μεγέθους με διάμετρο, όμως, διαφορετική από 50 mm. Ακόμα, όταν είναι διαθέσιμος μικρός αριθμός δεν είναι εφικτή η συσχέτιση φορτίου-διαμέτρου. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται η σχέση

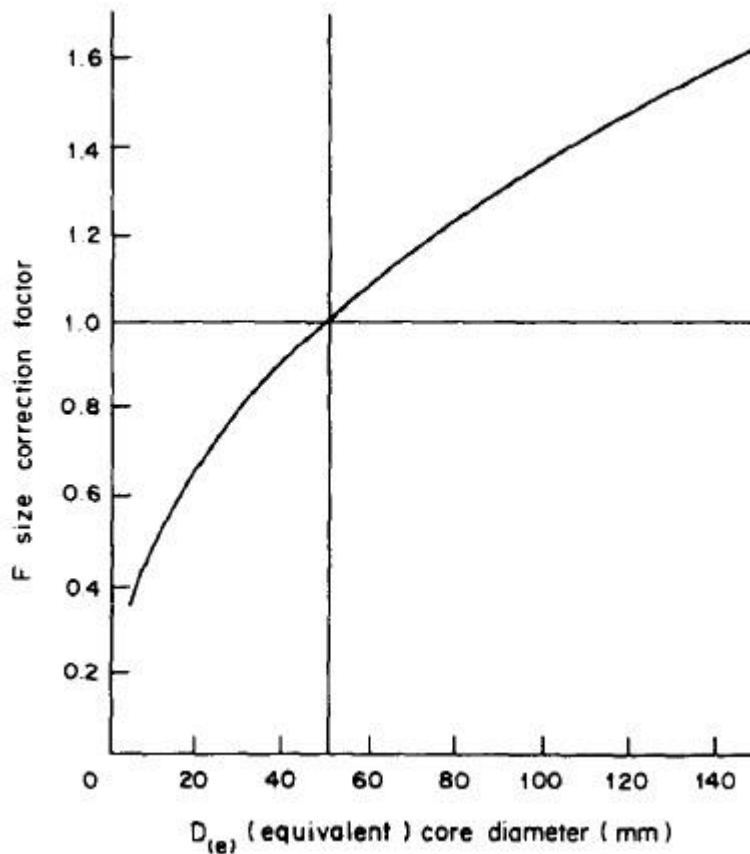
$$I_{s(50)} = F \cdot I_s$$

όπου F είναι συντελεστής διόρθωσης μεγέθους που λαμβάνεται είτε από το διάγραμμα 4.5 είτε από τη σχέση

$$F = (D_e/50)^{0.45}$$

Για δοκίμια με διάμετρο κοντά στα 50mm χρησιμοποιείται η σχέση

$$F = (D_e/50)$$



Διάγραμμα 4. 5. Διάγραμμα συντελεστή διόρθωσης μεγέθους F. ISRM (1985).

Οι παραπάνω διορθωτικοί συντελεστές έχει αποδειχθεί ότι ισχύουν ανεξαρτήτως του βαθμού ανισοτροπίας του υλικού αλλά και της διεύθυνσης άσκησης του φορτίου.

Μέση τιμή I_s

Η μέση τιμή του δείκτη $I_{s(50)}$ υπολογίζεται απαλείφοντας τις δύο υψηλότερες και τις δύο χαμηλότερες τιμές των δέκα ή παραπάνω δοκιμών. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο μέσος όρος από τις υπόλοιπες. Αν έχουν δοκιμασθεί λιγότερα από δέκα δοκίμια τότε απορρίπτονται μόνο η υψηλότερη και η χαμηλότερη τιμή.

Δείκτης ανισοτροπίας σε σημειακή φόρτιση

Ορίζεται ως ο λόγος της μέσης τιμής του δείκτη $I_{s(50)}$ κάθετα στο επίπεδο αστοχίας προς το δείκτη $I_{s(50)}$ παράλληλα στο επίπεδο αστοχίας. Ο δείκτης $I_{a(50)}$ έχει τιμές κοντά στη μονάδα για πετρώματα τα οποία είναι οιονεί-ισότροπα και μεγαλύτερες τιμές για ανισοτροπικά πετρώματα.

4.5.3 Έμμεσος προσδιορισμός αντοχής πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη

Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (UCS) είναι μία από τις πιο σημαντικές γεωμηχανικές ιδιότητες ενός πετρώματος και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο χαρακτηρισμό της εξορυξιμότητάς του. Λαμβάνεται σημαντικά υπόψη σαν παράγοντας τόσο σε μεταλλευτικά έργα, όσο και σε γεωτεχνικά άλλα τεχνικά έργα. Χρησιμοποιείται για τη γεωμηχανική κατάταξη ενός πετρώματος.

Υπάρχουν συγκεκριμένες μέθοδοι για τον υπολογισμό της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη οι οποίες όμως είναι αρκετά ακριβές, σύνθετες και χρονοβόρες. Ακόμα απαιτούν δοκίμια συγκεκριμένων γεωμετρικών χαρακτηριστικών τα οποία πολλές φορές μπορεί να μην είναι διαθέσιμα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται άλλες δοκιμές με τις οποίες προσδιορίζεται έμμεσα η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη. Η δοκιμή αντοχής σε σημειακή φόρτιση προσφέρεται καθώς η διαδικασία εκτέλεσής της είναι εύκολη και έχει πεδίο εφαρμογής σε δοκίμια με μεγάλο εύρος γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Το γεγονός ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί και εκτός εργαστηρίου είναι ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημά της.

Για τον έμμεσο προσδιορισμό της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη από τη δοκιμή σημειακής φόρτισης είναι λογικό να απαιτείται κατάλληλος συντελεστής μετατροπής. Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες με σκοπό την εύρεση ενός συγκεκριμένου συντελεστή. Το εύρος των τιμών του κυμαίνεται από 12.6 έως 30 όπως φαίνεται στους πίνακες 4.4 και 4.5.

Author(s)	Country	Rock type(s)	Correlating equations
Broch and Franklin (1972)	UK	Various	UCS = 23.7 PLI
Bieniawski (1975)	South Africa	Sandstones	UCS = 23.9 PLI
Hassani et al. (1980)	UK	Sedimentary rocks	UCS = 29 PLI
Read et al. (1980)	Australia	Sedimentary rocks	UCS = 20 PLI
ISRM (1985)	–	–	UCS = 20–25 PLI
Hawkins and Olver (1986)	UK	Limestone	UCS = 26.5 PLI
		Sandstone	UCS = 24.8 PLI
O'Rourke (1988)	USA	Sedimentary	UCS = 30 PLI
Vallejo et al. (1989)	USA	Sandstone	UCS = 17.4 PLI
		Shale	UCS = 12.6 PLI
Singh and Singh (1993)	India	Quartzite	UCS = 23.4 PLI
Das (1985)	Canada	Siltstone	UCS = 14.7 PLI
		Sandstone	UCS = 18 PLI
		Shale	UCS = 12.6 PLI
Smith (1997)	Various	Sandstone/limestone	UCS = 24 PLI
		Shale	UCS = 12.6 PLI
Rusnak and Mark (1999)	USA	Shale	UCS = 21.8 PLI
		Siltstone	UCS = 20.2 PLI
		Sandstone	UCS = 20.6 PLI
		Limestone	UCS = 21.9 PLI

Πίνακας 4. 4. Συντελεστές έμμεσου προσδιορισμού αντοχής σε μονοαξονική θλίψη. Singh et al (2012).

Rock type	Geological age of the rocks	Conversion factor	Correlation coefficient (r^2)
Quartzite A	Proterozoic	22.8	0.99
Khondalite	Proterozoic	15.8	0.91
Quartzite B	Proterozoic	22.2	0.78
Sandstone	Proterozoic	21.9	0.89
Rock salt	Tertiary	16.1	0.71
Shale	Mesozoic	14.4	0.82
Gabbro	Proterozoic	23.3	0.97
Amphibolite	Proterozoic	23.5	0.98
Epidiorite	Proterozoic	21.0	0.96
Limestone	Proterozoic	22.3	0.68
Dolomite	Proterozoic	22.7	0.82

Πίνακας 4. 5. Συντελεστής μετατροπής για διάφορα πετρώματα. Singh et al (2012).

4.6. ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΙΣΕΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

Δειγματοληψία

Οι εργαστηριακές δοκιμές που εκτελέστηκαν για τη διερεύνηση της δυνατότητας εξόρυξης κίσσηρις με surface miner είναι η δοκιμή αντοχής σε σημειακή φόρτιση και η δοκιμή αποξυστικότητας κατά Cerchar.

Χρησιμοποιήθηκαν δείγματα κίσσηρις από το ορυχείο της νήσου Γυαλί, τα οποία διέθεσε η ΛΑΒΑ ΑΕ. Συνολικά ελήφθησαν 131 δείγματα. Τα δείγματα ήταν ακανόνιστης μορφής, και το μέγεθός τους δεν επέτρεπε τη μορφοποίηση δοκιμίων συγκεκριμένων γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Στην εικόνα 4.14 παρουσιάζεται χαρακτηριστική μορφή των δειγμάτων που ελήφθησαν.



Εικόνα 4. 14. Χαρακτηριστική μορφή δειγμάτων κίσσηρις.

Επομένως, κρίθηκε απαραίτητη η διαλογή δειγμάτων κατάλληλου μεγέθους για την εκτέλεση των δοκιμών. Οι διαστάσεις του συνόλου των δειγμάτων μετρήθηκαν και

επιλέχθηκαν 51 κατάλληλα δοκίμια. Στο παράρτημα παρουσιάζονται αναλυτικά οι διαστάσεις των δοκιμίων που επιλέχθηκαν.

Δοκιμή αντοχής σε σημειακή φόρτιση

Πρώτα εκτελέστηκε η δοκιμή αντοχής σε σημειακή φόρτιση για τον προσδιορισμό του δείκτη $I_{s(50)}$. Από την εκτέλεση της συγκεκριμένης δοκιμής, προέκυψαν φρεσκοθραυσμένες επιφάνειες υλικού, κατάλληλες για εκτέλεση της δοκιμής αποξυστικότητας κατά Cerchar.

Εκτέλεση δοκιμής

Η δοκιμή εκτελέστηκε με βάση τις οδηγίες της ISRM που παρουσιάζονται αναλυτικά σε προηγούμενη παράγραφο. Για την εκτέλεση των δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν τα 51 επιλεγμένα δοκίμια. Τα δοκίμια χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες και η δοκιμή πραγματοποιήθηκε σε τρεις φάσεις. Αναλυτικά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά κάθε δοκιμίου παρουσιάζονται στο παράρτημα.

Για το δοκιμή χρησιμοποιήθηκε η συσκευή που διαθέτει το Εργαστήριο Εξόρυξης Πετρωμάτων του Ε. Μ. Πολυτεχνείου. Πριν την εκτέλεση της δοκιμής διακριβώθηκε το μανόμετρο της συσκευής. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιγράφεται παρακάτω.

Διακρίβωση μανομέτρου

Η διακρίβωση του μανομέτρου της συσκευής πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Εξόρυξης Πετρωμάτων χρησιμοποιώντας πρότυπη διάταξη μέτρησης πίεσης ως εξής:

1. Προφόρτιση του μανομέτρου έως τη μέγιστη τιμή της κλίμακάς του, έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν λειτουργεί σωστά και αν υπάρχουν τυχόν αποκλίσεις, οι οποίες βάσει των τεχνικών προδιαγραφών θα μπορούσαν να έχουν επίδραση στη ρύθμιση του οργάνου.
2. Έλεγχος γραμμικότητας, επαναληψιμότητας και υστέρησης της κλίμακας σε σημεία καθορισμένα από την κλίμακα του προς διακρίβωση μανομέτρου. Το όργανο τοποθετήθηκε στη συσκευή διακρίβωσης παράλληλα με πρότυπο μανόμετρο

αναφοράς και πραγματοποιήθηκαν επαναλαμβανόμενοι κύκλοι φόρτισης – αποφόρτισης.

Συγκεκριμένα, η συσκευή διακρίβωσης που χρησιμοποιήθηκε είναι η HYDRAULIC COMPARISON CALIBRATOR PUMP BT800 του οίκου Giussani, Ιταλίας. Η υδραυλική αυτή συσκευή έχει τη δυνατότητα μέσω ενός υδραυλικού εμβόλου να ασκεί ταυτόχρονα πίεση σε δύο παράλληλες θέσεις στις οποίες τοποθετείται το προς διακρίβωση μανόμετρο και το πρότυπο ψηφιακό μανόμετρο PC6 pressure calibrator της Si pressure instruments Ltd. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η άμεση σύγκριση της καταγραφής του πρότυπου μανομέτρου με το προς διακρίβωση, έτσι ώστε να προκύψουν οι συντελεστές διόρθωσης με βάση τις ανοχές της συσκευής όπως φαίνονται στο φύλλο διακρίβωσης που παρουσιάζεται στο παράρτημα.

Από τη διακρίβωση προέκυψε για τη διορθωμένη πίεση P' η σχέση

$$P' = 0.99 P + 0.72$$

όπου P η πίεση που καταγράφεται στο μανόμετρο της συσκευής σημειακής φόρτισης.

Αποτελέσματα δοκιμής

Η δοκιμή εκτελέστηκε σε κάθε ένα από τα 51 δοκίμια. Στις εικόνες 4.15 και 4.16 παρουσιάζεται ο χαρακτηριστικός τρόπος αστοχίας των δοκιμίων.



Εικόνα 4. 15. Αστοχία δοκιμίου No. 2 σε σημειακή φόρτιση.



Εικόνα 4. 16. Αστοχία δοκιμίου No. 10 σε σημειακή φόρτιση.

Στους πίνακες 4.6, 4.7 και 4.8 παρατίθενται αναλυτικά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δοκιμίων, το φορτίο αστοχίας και ο δείκτης σημειακής φόρτισης I_s . Παρουσιάζεται επίσης ο διορθωτικός συντελεστής F για κάθε δοκίμιο, που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του δείκτη $I_{s(50)}$.

Δοκίμιο	W (mm)	D (mm)	P (kN)	D_e^2 (mm)	D_e (mm)	I_s (MPa)	F	$I_{s(50)}$ (MPa)
1	90.51	67.89	1.71	7828.06	88.47	0.21	1.29	0.28
2	82.13	63.79	4.98	6673.71	81.69	0.74	1.24	0.93
3	87.68	66.65	3.40	7444.14	86.27	0.45	1.27	0.58
4	75.56	64.45	10.81	6203.57	78.76	1.7	1.22	2.14
5	85.94	73.37	5.67	8032.38	89.62	0.70	1.30	0.92
6	101.28	65.55	2.89	8586.50	92.66	0.33	1.31	0.45
7	89.09	72.33	4.28	8209.45	90.60	0.52	1.30	0.68
8	91.92	77.10	2.70	9028.46	95.01	0.29	1.33	0.40
9	85.73	66.88	6.36	7304.26	85.46	0.87	1.27	1.11
10	85.12	73.78	3.39	7999.83	89.44	0.42	1.29	0.55
11	82.38	66.96	3.69	7026.68	83.82	0.52	1.26	0.66
12	90.03	61.57	6.36	7061.45	84.03	0.90	1.26	1.14
13	80.60	63.46	4.18	6515.84	80.72	0.64	1.24	0.80
14	76.30	80.86	2.20	7859.04	86.65	0.28	1.29	0.36
15	74.70	65.32	2.99	6216.12	78.84	0.48	1.22	0.59
16	71.49	55.97	4.38	5097.73	71.39	0.85	1.17	1.01
17	72.08	53.04	6.06	4870.30	69.78	1.24	1.16	1.45

Πίνακας 4. 6. Αποτελέσματα δοκιμών αντοχής σε σημειακή φόρτιση για τα δοκίμια 1 – 17.

Δοκίμιο	W (mm)	D (mm)	P (kN)	D_e^2 (mm)	D_e (mm)	I_s (MPa)	F	$I_{s(50)}$ (MPa)
18	74.50	60.05	3.39	5698.70	75.48	0.59	1.20	0.72
19	80.60	52.33	1.85	5373.56	73.30	0.34	1.18	0.41
20	79.12	53.79	4.28	5420.92	73.62	0.79	1.19	0.94
21	80.91	70.38	3.78	7254.41	85.17	0.52	1.27	0.66
22	62.49	67.56	2.60	5377.57	73.33	0.48	1.18	0.57
23	84.77	54.25	2.50	5857.95	76.53	0.42	1.21	0.52
24	82.72	51.95	2.10	5474.40	73.98	0.38	1.19	0.46
25	78.55	51.69	5.37	5171.14	71.91	1.03	1.17	1.22
26	80.21	68.05	3.98	6952.61	83.38	0.57	1.25	0.72
27	62.60	55.49	2.50	4425.06	66.52	0.56	1.13	0.64
28	72.93	52.14	1.80	4844.57	69.60	0.37	1.16	0.43
29	77.77	63.93	5.76	6333.49	79.58	0.91	1.23	1.12
30	74.60	51.57	5.57	4901.01	70.00	1.13	1.16	1.32
31	81.50	61.54	5.17	6389.79	79.93	0.80	1.23	1.00
32	83.61	47.22	4.18	5028.83	70.91	0.83	1.17	0.97
33	82.24	60.13	2.40	6289.18	79.36	0.38	1.23	0.47
34	79.59	72.85	4.03	7386.16	85.94	0.54	1.27	0.70

Πίνακας 4. 7. Αποτελέσματα δοκιμών αντοχής σε σημειακή φόρτιση για τα δοκίμια 18 – 34.

Δοκίμιο	W (mm)	D (mm)	P (kN)	D_e^2 (mm)	D_e (mm)	I_s (MPa)	F	$I_{s(50)}$ (MPa)
35	90.51	67.89	1.71	7828.06	88.47	0.21	1.29	0.28
36	82.13	63.79	4.97	6673.71	81.69	0.74	1.24	0.93
37	87.68	66.65	3.39	7444.14	86.27	0.45	1.27	0.58
38	75.56	64.45	10.81	6203.57	78.76	1.74	1.22	2.14
39	85.94	73.37	5.67	8032.38	89.62	0.70	1.30	0.92
40	101.28	66.55	2.89	8586.50	92.66	0.33	1.31	0.45
41	89.09	72.33	4.28	8209.45	90.60	0.52	1.30	0.68
42	91.92	77.10	2.70	9028.46	95.01	0.29	1.33	0.40
43	85.73	66.88	6.36	7304.26	85.46	0.87	1.27	1.11
44	85.12	73.78	3.39	7999.83	89.44	0.42	1.29	0.55
45	82.38	66.96	3.69	7026.68	83.82	0.52	1.26	0.66
46	90.03	61.57	6.36	7061.45	84.03	0.90	1.26	1.14
47	80.60	63.46	4.18	6515.84	80.72	0.64	1.24	0.80
48	76.30	80.86	2.20	7859.04	88.65	0.28	1.29	0.36
49	74.70	65.32	2.99	6216.12	78.84	0.48	1.22	0.59
50	71.49	55.97	4.38	5097.73	71.39	0.85	1.17	1.01
51	72.08	53.04	6.06	5870.30	69.78	1.24	1.16	1.45

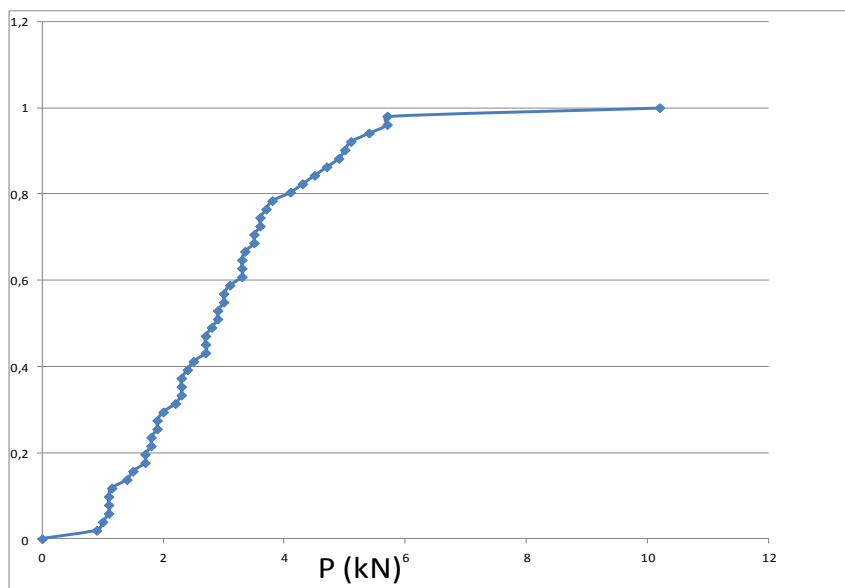
Πίνακας 4. 8. Αποτελέσματα δοκιμών αντοχής σε σημειακή φόρτιση για τα δοκίμια 35 – 51.

Οι μέσες τιμές των αποτελεσμάτων των δοκιμών αντοχής σε σημειακή φόρτιση ανά ομάδα δοκιμών φαίνονται στον πίνακα 4.9.

ΟΜΑΔΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	W (mm)	D (mm)	P (kN)	D_e^2 (mm)	D_e (mm)	I_s (MPa)	F	$I_{s(50)}$ (MPa)
Ομάδα 1 (1-17)	Δοκιμή ακανόνιστου δοκιμίου	83.68	67.06	4	7126.7	84.42	0.66	1.26	2.4
Ομάδα 2 (18-34)	Δοκιμή ακανόνιστου δοκιμίου	77.57	58.52	3.04	5745.6	75.80	0.63	1.20	2.33
Ομάδα 3 (35-51)	Δοκιμή ακανόνιστου δοκιμίου	77.18	59.69	2.49	5750.2	75.83	0.55	1.21	1.93

Πίνακας 4. 9. Μέσες τιμές αποτελεσμάτων δοκιμών αντοχής σε σημειακή φόρτιση ανά ομάδα δοκιμών.

Στο διάγραμμα 4.6 φαίνεται η κατανομή των φορτίων αστοχίας που καταγράφηκαν.



Διάγραμμα 4. 6. Κατανομή φορτίων αστοχίας.

Οι τιμές του δείκτη $I_{s(50)}$ που προέκυψαν κυμαίνονται από 0.28 έως 2.14 MPa. Η μέση τιμή $I_{s(50)}$ για το σύνολο των δοκιμίων που εξετάστηκαν υπολογίζεται έπειτα από απαλοιφή των δύο υψηλότερων και δύο χαμηλότερων τιμών. Η μέση τιμή είναι 0.77 MPa και η τυπική απόκλιση 0.30 MPa.

Ο Bieniawski (1975) ταξινομεί τα πετρώματα με βάση το δείκτη $I_{s(50)}$ όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 4.10.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΔΕΙΚΤΗΣ $I_{s(50)}$
Πολύ υψηλής αντοχής	> 8
Υψηλής αντοχής	4 - 8
Μέσης αντοχής	2 - 4
Χαμηλής αντοχής	1 - 2
Πολύ χαμηλής αντοχής	< 1

Πίνακας 4. 10. Ταξινόμηση αντοχής πετρωμάτων βάση δείκτη $I_{s(50)}$. Bieniawski (1975).

Συνεπώς, η υπό εξέταση κίσσηρις χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλής έως μέσης αντοχής. Η μέση τιμή αντιστοιχεί σε πολύ χαμηλή αντοχή.

Έμμεσος προσδιορισμός αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (UCS)

Γνωρίζοντας το δείκτη $I_{s(50)}$, προσδιορίστηκε η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη κάθε δοκιμίου ξεχωριστά. Η μετατροπή πραγματοποιήθηκε με τον πολλαπλασιασμό κάθε τιμής $I_{s(50)}$ με 25.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται αναλυτικά για κάθε δοκίμιο στον πίνακα 4.11 και ομαδοποιημένα για κάθε ομάδα δοκιμής στον πίνακα 4.12.

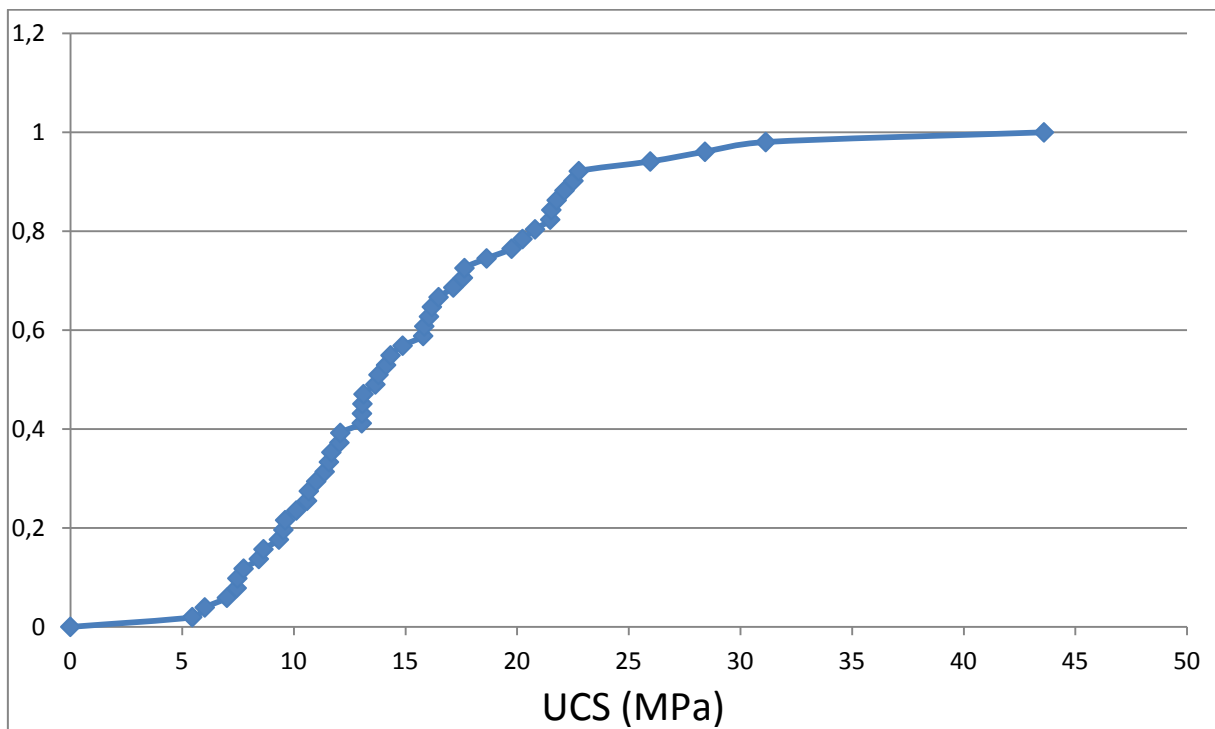
Δοκίμιο	UCS (MPa)	Δοκίμιο	UCS (MPa)	Δοκίμιο	UCS (MPa)
1	5.46	18	14.88	35	13.08
2	18.64	19	8.65	36	11.01
3	11.39	20	19.76	37	15.85
4	43.60	21	13.06	38	17.58
5	17.65	22	12.09	39	22.13
6	8.44	23	10.68	40	16.49
7	13.05	24	9.62	41	7.45
8	7.48	25	25.97	42	13.80
9	21.78	26	14.34	43	21.54
10	10.60	27	14.14	44	6.02
11	13.13	28	9.34	45	7.76
12	22.53	29	22.77	46	17.15
13	16.06	30	28.42	47	15.80
14	7.01	31	20.25	48	11.58
15	12.05	32	20.81	49	10.12
16	21.49	33	9.54	50	16.19
17	31.14	34	13.66	51	11.69

Πίνακας 4. 11. Έμμεσος προσδιορισμός αντοχής σε μονοαξονική θλίψη.

ΟΜΑΔΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	UCS (MPa)
Ομάδα 1 (1-17)	16.56
Ομάδα 2 (18-34)	15.76
Ομάδα 3 (35-51)	13.84

Πίνακας 4. 12. Μέση τιμή αντοχής σε μονοαξονική θλίψη ανά ομάδα δοκιμίων.

Στο διάγραμμα 4.7 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη των δοκιμίων που εξετάστηκαν.

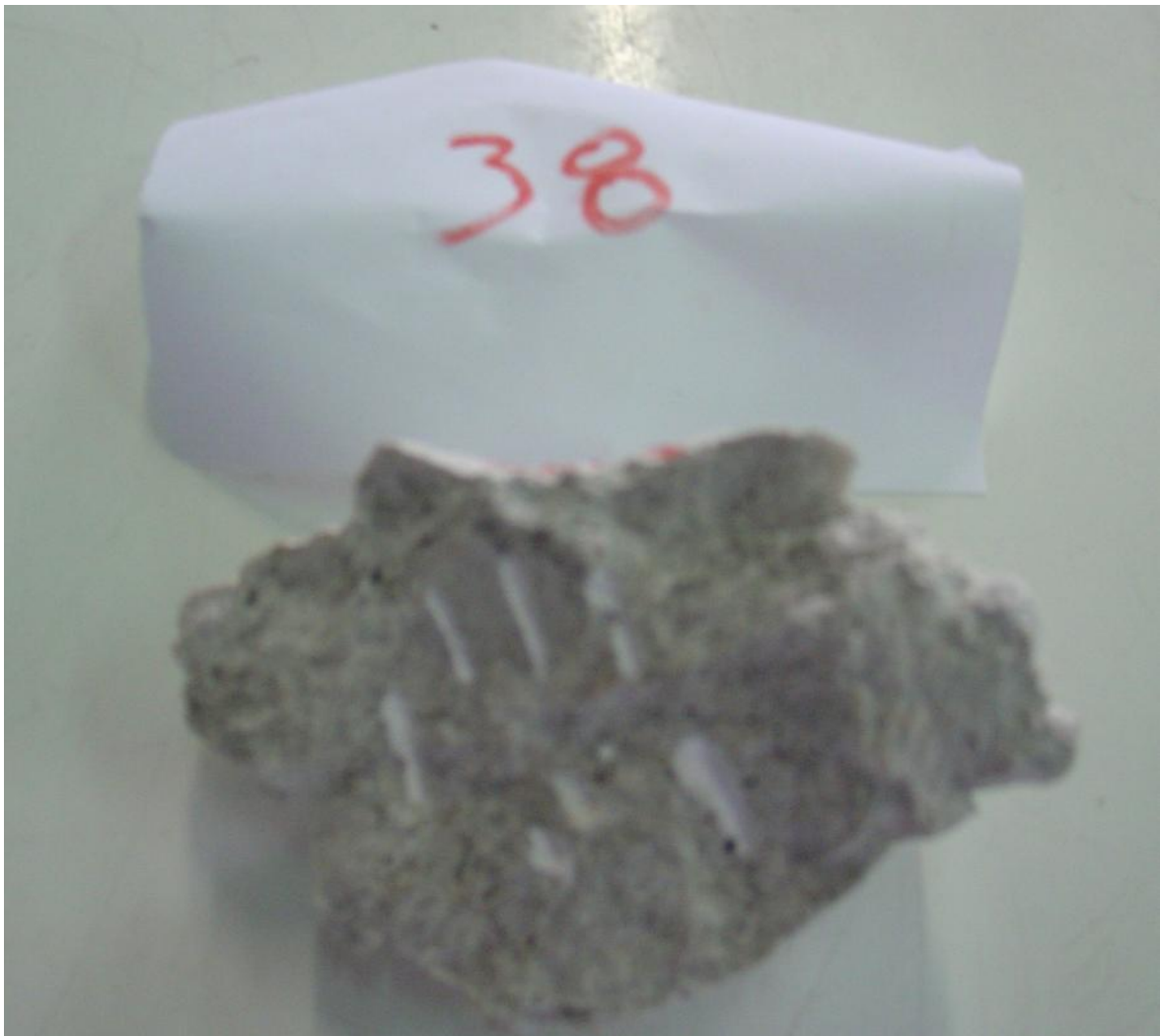


Διάγραμμα 4. 7. Κατανομή τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη.

Οι τιμές της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη που προέκυψαν κυμαίνονται από 5.46 έως 43.60 MPa. Η μέση τιμή είναι 15.39 MPa και η τυπική απόκλιση 7.10 MPa.

Δοκιμή αποξεστικότητας κατά Cerchar

Η δοκιμή αποξεστικότητας κατά Cerchar εκτελέστηκε για τον προσδιορισμό της φθοροποιού ικανότητας της κίσσηρις της νήσου Γυαλί. Οι χαράξεις έγιναν στις επιφάνειες θραύσης που προέκυψαν από το δοκιμή αντοχής σε σημειακή φόρτιση, η εκτέλεση της οποίας προηγήθηκε. Χρησιμοποιήθηκε η τροποποιημένη συσκευή κατά West που διαθέτει το Εργαστήριο Εξόρυξης Πετρωμάτων του Ε.Μ.Π. Η δοκιμή εκτελέστηκε με ακίδες σκληρότητας 55 και 40 HRC. Στην εικόνα 4.17 παρουσιάζεται δοκίμιο μετά την εκτέλεση της δοκιμής.



Εικόνα 4. 17. Όψη δοκίμιου μετά την εκτέλεση της δοκιμής αποξεστικότητας κατά Cerchar.

Αρχικά πραγματοποιήθηκαν δοκιμές με τη χρήση ακίδας σκληρότητας 55 HRC. Με το πέρας των δοκιμών εξετάστηκε με χρήση κατάλληλου μικροσκοπίου η φθορά που είχε προκληθεί στις ακίδες. Η εκτέλεση της δοκιμής και η μέτρηση της φθοράς της ακίδας πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τον πρότυπο της ISRM (2014), το οποίο παρουσιάστηκε σε προηγούμενη παράγραφο. Παρατηρήθηκε ότι η φθορά που είχε προκληθεί ήταν εξαιρετικά μικρή και δυσδιάκριτη, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η μέτρησή της. Για αυτό το λόγο επαναλήφθηκαν οι δοκιμές με τις μαλακότερες ακίδες σκληρότητας 40 HRC. Και με τις μαλακότερες ακίδες η φθορά ήταν εξαιρετικά μικρή και η μέτρηση αδύνατη.

Συνεπώς, η κίσσηρις της νήσου Γυαλί χαρακτηρίζεται με βάση την αποξεστικότητα της ως πέτρωμα εξαιρετικά χαμηλής φθοροποιού ικανότητας.

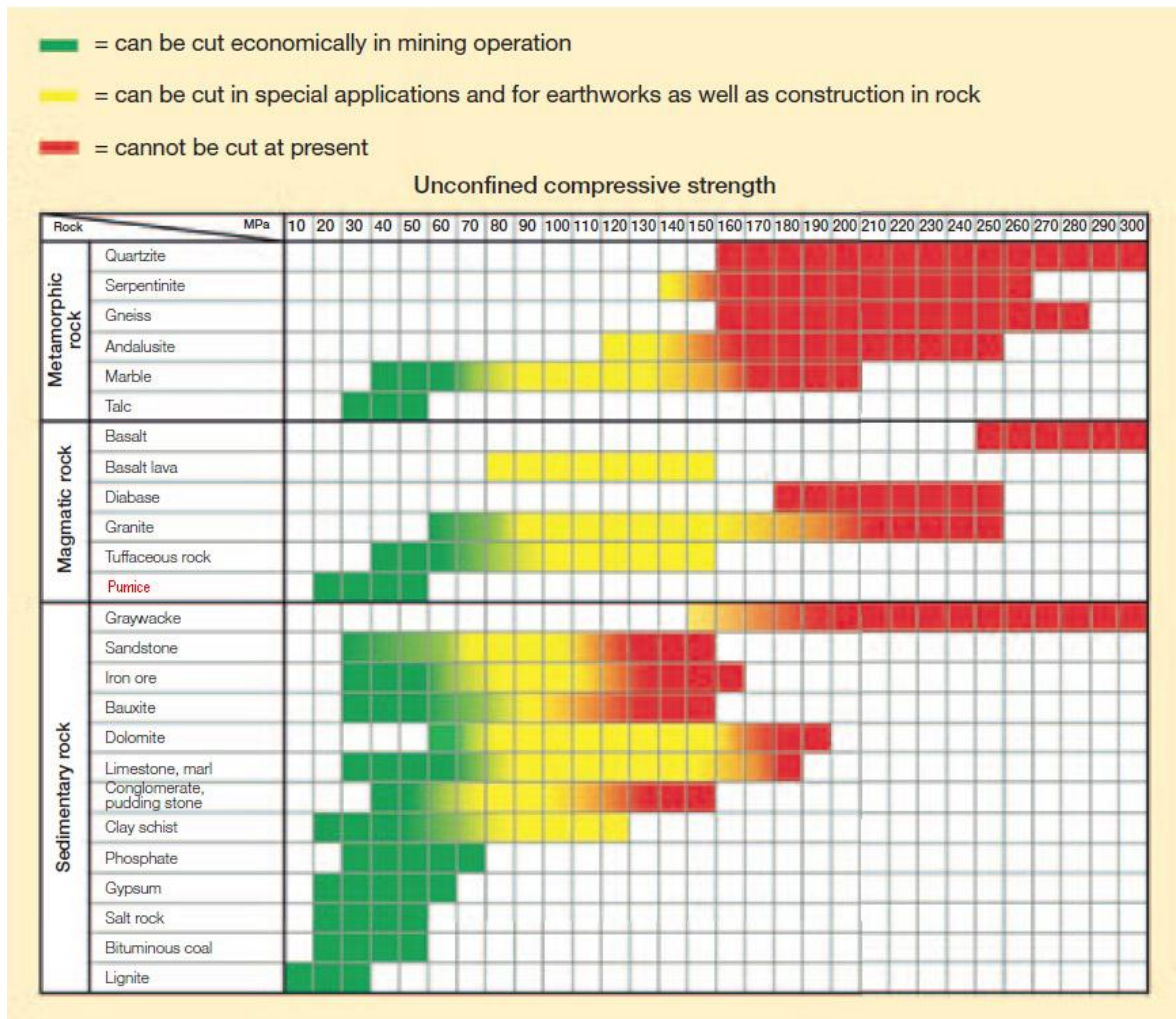
4.7. ΕΞΟΡΥΞΙΜΟΤΗΤΑ ΚΙΣΣΗΡΙΣ ΜΕ SURFACE MINER

Ανακεφαλαιώνοντας, η κίσσηρις της νήσου Γυαλί παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Η **αντοχή σε μονοαξονική θλίψη** κυμαίνεται από 5.46 έως 43.60 MPa. Η μέση τιμή είναι 15.39 MPa και η τυπική απόκλιση 7.10 MPa. Το 93% των τιμών που καταγράφηκαν είναι χαμηλότερα από 23 MPa. Συνεπώς, το πέτρωμα χαρακτηρίζεται ως **χαμηλής αντοχής**.
- Η φθορά που προκλήθηκε στις ακίδες ήταν τόσο μικρή και δυσδιάκριτη που ήταν αδύνατη η μέτρησή της ακόμα και με τις μαλακότερες ακίδες σκληρότητας 40 HRC. Συνεπώς, το πέτρωμα χαρακτηρίζεται ως **εξαιρετικά χαμηλής φθοροποιού ικανότητας**. Έχει ενδιαφέρον ότι δεν προκαλείται διακριτή φθορά παρά την ορυκτολογική σύσταση του πετρώματος, όπου κυριαρχεί με 72% το διοξείδιο του πυριτίου. Κατά κανόνα θεωρείται ότι η παρουσία πυριτίου χαρακτηρίζει πολύ φθοροποιά πετρώματα.
- Η μάζα του πετρώματος χαρακτηρίζεται ως συμπαγής. Ωστόσο, στην εξόρυξη που πραγματοποιείται με προωθητές στο ορυχείο της ΛΑΒΑ ΑΕ, το εξορυσσόμενο πέτρωμα έχει κατά κανόνα μικρές διαστάσεις και στο μεγαλύτερο ποσοστό του δεν απαιτείται θραύση για την παραγωγή εμπορεύσιμου προϊόντος, δηλαδή έχει διαστάσεις μικρότερες από 40 mm. Συνεπώς, συνάγεται το συμπέρασμα ότι το πέτρωμα **εξορύσσεται εύκολα με μηχανικά μέσα**.

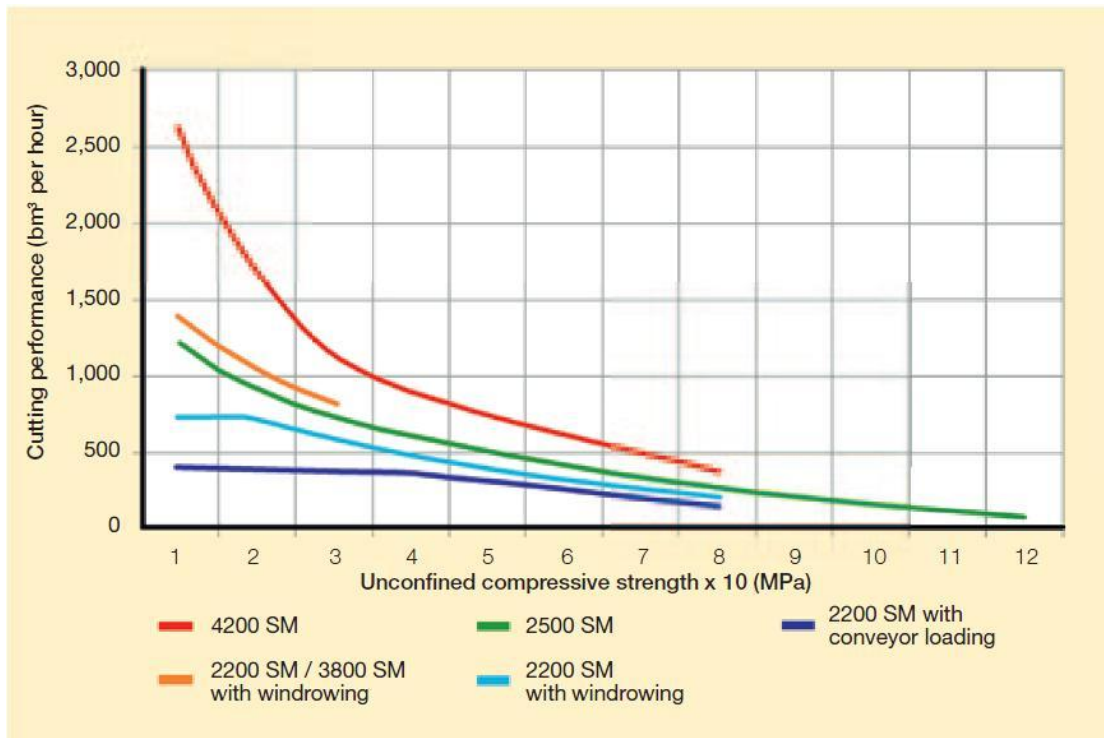
Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και χρησιμοποιώντας τα στοιχεία που παρέχει για τα μηχανήματά της η Wirtgen προκύπτουν για την εξορυξιμότητα της κίσσηρις της νήσου Γυαλί τα εξής συμπεράσματα:

Είναι τεχνικά και οικονομικά δυνατή η εξόρυξη με surface miner, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.8 στη γραμμή για την ελαφρόπετρα (pumice).



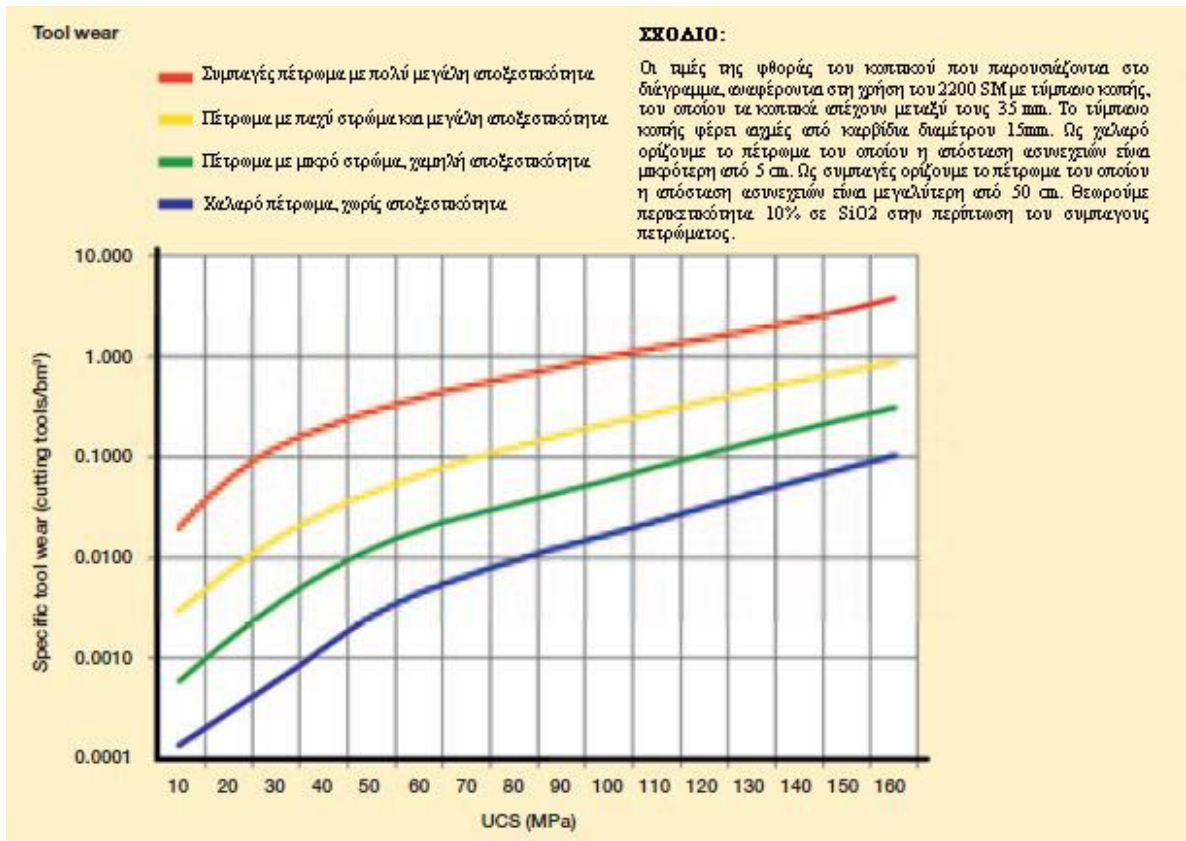
Διάγραμμα 4.8. Εξορυξιμότητα πετρωμάτων με surface miner. Wirtgen (2010).

Ο *ρυθμός εξόρυξης* που είναι δυνατό να επιτευχθεί κυμαίνεται από 1000 έως 2000 bm^3/h , ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο μηχάνημα, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.9. Με συντελεστή διαθεσιμότητας 0.75 και εργασία σε μία οκτάωρη βάρδια για 22 ημέρες ανά μήνα προκύπτουν 1584 ώρες λειτουργίας ανά έτος. Συνεπώς, η αναμενόμενη δυναμικότητα είναι από $1584 \cdot 10^3$ έως $3168 \cdot 10^3 \text{bm}^3/\text{έτος}$.



Διάγραμμα 4. 9. Αναμενόμενος ρυθμός εξόρυξης. Wirtgen (2010).

Η αναμενόμενη *ειδική κατανάλωση κοπτικών* κυμαίνεται από 0.003 έως 0.013 κοπτικά ανά m^3 συμπαγούς πετρώματος, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.10. Η κατανάλωση αυτή χαρακτηρίζεται ως χαμηλή.



Διάγραμμα 4. 10. Αναμενόμενη ειδική κατανάλωση κοπτικών. Wirtgen (2010).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
Συμπεράσματα

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση της δυνατότητας εξόρυξης της κίσηρις (ελαφρόπετρα) στη νήσο Γυαλί με surface miner του οίκου Wirtgen. Η χρήση ενός μηχανήματος τέτοιου τύπου, παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα. Πρώτον, η εξόρυξη πραγματοποιείται χωρίς εκρηκτικές ύλες, εκμηδενίζοντας την έκθεση των εργαζομένων στους κινδύνους που ελλοχεύουν από τη χρήση τους. Δεύτερον, η διαδικασία εξόρυξης απλοποιείται σε σημαντικό βαθμό, καθώς τα συγκεκριμένα μηχανήματα παρέχουν τη δυνατότητα ταυτόχρονης εκτέλεσης τριών εργασιών: της εξόρυξης του πετρώματος, της πρωτογενούς θραύσης του και της φόρτωσής του σε άλλα μηχανήματα. Τρίτον, χάρη στην εκλεκτική εξόρυξη που πραγματοποιούν βελτιώνεται η ποιότητα του υλικού που εξορύσσεται. Τέταρτον, τα πρηνή που διαμορφώνονται είναι εξαιρετικά ομαλά και υψηλής σταθερότητας. Τέλος, είναι δυνατή η εξόρυξη με τρόπο που να ελαχιστοποιεί την οπτική ρύπανση, που συνήθως χαρακτηρίζει τις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις με ορθές βαθμίδες.

Προς το σκοπό αυτό εκτελέστηκε στο Εργαστήριο Εξόρυξης Πετρωμάτων του Ε.Μ.Π. ένα πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών σε δείγματα που ελήφθησαν από το ορυχείο ελαφρόπετρας της ΛΑΒΑ Α.Ε. στη νήσο Γυαλί. Έγιναν δοκιμές αντοχής σε σημειακή φόρτιση και αποξεστικότητα κατά Cerchar σε 51 δοκίμια. Επίσης, προσδιορίστηκε έμμεσα η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη. Από τις δοκιμές προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

- Η **αντοχή σε μονοαξονική θλίψη** κυμαίνεται από 5.46 έως 43.60 MPa. Η μέση τιμή είναι 15.39 MPa και η τυπική απόκλιση 7.10 MPa. Το 93% των τιμών που καταγράφηκαν είναι χαμηλότερα από 23 MPa. Συνεπώς, το πέτρωμα χαρακτηρίζεται ως **χαμηλής αντοχής**.
- Η φθορά που προκλήθηκε στις ακίδες κατά τη δοκιμή αποξεστικότητας ήταν τόσο μικρή και δυσδιάκριτη που ήταν αδύνατη η μέτρησή της ακόμα και με τις μαλακότερες ακίδες σκληρότητας 40 HRC. Συνεπώς, το πέτρωμα χαρακτηρίζεται ως **εξαιρετικά χαμηλής φθοροποιού ικανότητας**. Έχει ενδιαφέρον ότι δεν προκαλείται διακριτή φθορά παρά την ορυκτολογική σύσταση του πετρώματος, όπου κυριαρχεί με

72% το διοξείδιο του πυριτίου. Κατά κανόνα θεωρείται ότι η παρουσία πυριτίου χαρακτηρίζει πολύ φθοροποιά πετρώματα.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και χρησιμοποιώντας τα στοιχεία που παρέχει για τα μηχανήματά της η Wirtgen προκύπτουν για την εξόρυξη της κίσηρης της νήσου Γυαλί τα εξής συμπεράσματα:

- Είναι τεχνικά και οικονομικά δυνατή η εξόρυξή της με surface miner.
- Ο *ρυθμός εξόρυξης* που είναι δυνατό να επιτευχθεί κυμαίνεται από 1000 έως 2000 bm^3/h , ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο μηχάνημα. Με 1584 ώρες λειτουργίας ανά έτος η αναμενόμενη δυναμικότητα είναι από $1584 \cdot 10^3$ έως $3168 \cdot 10^3 \text{bm}^3/\text{έτος}$.
- Η αναμενόμενη *ειδική κατανάλωση κοπτικών* κυμαίνεται από 0.003 έως 0.013 κοπτικά ανά m^3 συμπαγούς πετρώματος. Η κατανάλωση αυτή χαρακτηρίζεται ως χαμηλή.

Εν κατακλείδι, το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η εξόρυξη της ελαφρόπετρας στη νήσο Γυαλί με surface miner παρουσιάζει καταρχάς τεχνικό και οικονομικό ενδιαφέρον. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω τεχνικοοικονομική διερεύνηση για την πλήρη αξιολόγηση της μεθόδου και την εκτίμηση την αναμενόμενης δυναμικότητας και απόδοσης, καθώς και για την επιλογή του καταλληλότερου μηχανήματος και του τρόπου λειτουργίας του.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ιστότοπος www.wirtgen.com
2. Ιστότοπος www.java.gr
3. Ιστότοπος www.orykta.gr
4. Alber M, Yarali O, Dahl F, Bruland A, Käsling H, Michalakopoulos TN, Cardu M, Hagan P, Aydın H, Ozarslan A (2014). *ISRM Suggested method for determining the abrasivity of rock by the CERCHAR abrasivity test*. Rock Mech Rock Engng, Vol. 47, No. 1, pp. 261-266
5. Broch E, Franklin JA (1972). *The point-load strength test*. Int J Rock Mech Min Sci & Geomech Abstr, Vol. 9, No. 6, pp 669-697
6. Brook N (1980). *Size correction for point load testing*. Int J Rock Mech Min Sci & Geomech Abstr, Vol. 17, No. 4, pp 231-235
7. Brook N (1985). *The equivalent core diameter method of size and shape correction in point load testing*. Int J Rock Mech Min Sci & Geomech Abstr, Vol. 22, No. 2, pp 61-70
8. Franklin JA (1985). *Suggested method for determining point load strength*. Int J Rock Mech Min Sci & Geomech Abstr, Vol. 22, No. 2, pp 51-60
9. Greminger M (1982). *Experimental studies of the influence of rock anisotropy on size and shape effects in point-load testing*. Int J Rock Mech Min Sci & Geomech Abstr, vol. 19, No. 5, pp 241-246
10. Michalakopoulos TN, Anagnostou VG, Bassanou ME, Panagiotou GN (2006). *The influence of steel styli hardness on the Cerchar abrasiveness index value*. Int J Rock Mech Min Sci, Vol. 43, No. 2, pp 321-327
11. Plinninger R, Käsling H, Thuro K, Spaun G (2003). *Testing conditions and geomechanical properties influencing the CERCHAR abrasiveness index (CAI) value*. Int J Rock Mech Min Sci, Vol. 40, No. 2, pp 259-263
12. Singh TN, Ashutosh Kainthola, Venkatesh A (2012). *Correlation between point load index and uniaxial compressive strength for different rock types*. Rock Mech Rock Engng, Vol. 45, No. 2, pp. 259-264
13. Wirtgen (2010). *Wirtgen surface mining manual – Applications and planning guide*. Windhagen, 207 p.

14. Ζουζιάς Δ (2011). *Αειφόρος ανάπτυξη του ηφαιστείου της Νισύρου και νέα ηφαιστειολογικά χαρακτηριστικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής και με την συμβολή της τηλεπισκόπησης*. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, 496 σ.
15. Μενεγάκη Μ (2010). *Σημειώσεις του μαθήματος Σχεδιασμός Υπαίθριων Εκμεταλλεύσεων*. ΕΜΠ.
16. Παναγιώτου ΓΝ (2006), *Μηχανική εξόρυξη των πετρωμάτων*. Σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος Εξόρυξη Πετρωμάτων ΙΙ. ΕΜΠ.
17. Σημειώσεις του μαθήματος *Εξόρυξη Πετρωμάτων Ι (Εξόρυξη με εκρηκτικές ύλες)*, 7^ο εξάμηνο, ΣΜΜΜ, ΕΜΠ.
18. Σημειώσεις του μαθήματος *Εξόρυξη Πετρωμάτων ΙΙ (Εξόρυξη με μηχανικά μέσα)*, 8^ο εξάμηνο, ΣΜΜΜ, ΕΜΠ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Αριθμός Δοκιμίου	W1 (mm)	W2 (mm)	W3 (mm)	W μέσο (mm)
1	74,7	95,17	101,66	90,51
2	89,73	81,28	75,37	82,13
3	91,2	87,23	84,6	87,68
4	96,1	60,01	70,58	75,56
5	88,12	70,38	99,32	85,94
6	126,92	99,89	77,04	101,28
7	91,92	73,87	101,49	89,09
8	108,71	81,27	85,78	91,92
9	80,28	101,1	75,82	85,73
10	76,56	93,32	85,48	85,12
11	92,71	78,45	75,97	82,38
12	90,67	86,22	93,19	90,03
13	65,35	71,33	105,11	80,60
14	64	81,08	83,81	76,30
15	76,37	38,5	109,23	74,70
16	49,62	55,23	109,63	71,49
17	52,61	63,03	100,59	72,08

Πίνακας Π. 1. Διαστάσεις W των δοκιμίων 1-17.

Αριθμός Δοκιμίου	W1 (mm)	W2 (mm)	W3 (mm)	W μέσο (mm)
18	65,63	63,63	94,24	74,50
19	76,31	64,17	101,33	80,60
20	63,92	61,72	111,71	79,12
21	64,73	81,55	96,45	80,91
22	67,33	48,51	71,62	62,49
23	74,42	74,7	105,19	84,77
24	75,58	71,31	101,26	82,72
25	53,04	68,29	114,31	78,55
26	62,54	67,19	110,89	80,21
27	52,07	53,77	81,96	62,60
28	52,01	81,73	85,06	72,93
29	65,47	69,38	98,47	77,77
30	56,54	60	107,27	74,60
31	74,51	68,42	101,58	81,50
32	70,14	78,35	102,33	83,61
33	81,65	75,32	89,74	82,24
34	74,47	73,03	91,26	79,59

Πίνακας Π. 2. Διαστάσεις W των δοκιμίων 18-34.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΠΙΝΑΚΕΣ

Αριθμός Δοκιμίου	W1 (mm)	W2 (mm)	W3 (mm)	W μέσο (mm)
35	78,61	85,82	89,93	84,79
36	66,86	71,74	97,58	78,73
37	65,19	65,93	91,57	74,23
38	53,42	70,05	97,01	73,49
39	88,22	68,52	92,41	83,05
40	57,91	62,89	96,08	72,29
41	72,59	72,56	92,07	79,07
42	65,3	64,91	85,87	72,03
43	72,38	65,09	71,83	69,77
44	84,05	61,74	89,6	78,46
45	66,85	72,5	94,37	77,91
46	52,63	75,12	94,45	74,07
47	69,84	81,89	90,24	80,66
48	83,59	87,17	76,01	82,26
49	69,86	80,7	88,88	79,81
50	55,54	67,51	90,78	71,28
51	80,53	62,54	97,7	80,26

Πίνακας Π. 3. Διαστάσεις W των δοκιμίων 35-51.

Αριθμός Δοκιμίου	D1 (mm ²)	D2 (mm ²)	D3 (mm ²)	D (mm ²)
1	66,3	69,67	67,71	67,89
2	59,51	67,66	64,2	63,79
3	64,35	67,18	68,42	66,65
4	58,2	68,93	66,21	64,45
5	72,48	71,74	75,89	73,37
6	68,68	63,6	67,37	66,55
7	72,09	69,62	75,29	72,33
8	86,69	71,74	72,88	77,10
9	69,31	64,43	66,9	66,88
10	72,4	72,24	76,69	73,78
11	68,2	66,97	65,71	66,96
12	49,04	62,67	73,01	61,57
13	54,57	68,32	67,5	63,46
14	82,41	81	79,17	80,86
15	66,84	59,45	69,68	65,32
16	59,21	50,44	58,27	55,97
17	63,53	33,62	61,98	53,04

Πίνακας Π. 4. Διαστάσεις D των δοκιμίων 1-17.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΠΙΝΑΚΕΣ

Αριθμός Δοκιμίου	D1 (mm ²)	D2 (mm ²)	D3 (mm ²)	D (mm ²)
18	60,61	54,26	65,27	60,05
19	46,14	53,98	56,88	52,33
20	58,18	49,11	54,07	53,79
21	68,18	64,18	78,79	70,38
22	66,47	70,1	66,1	67,56
23	74,32	36,39	52,03	54,25
24	43,59	56,31	55,96	51,95
25	47,45	51,18	56,43	51,69
26	66,83	70,96	66,35	68,05
27	53,02	48,44	65,01	55,49
28	53,28	44,98	58,17	52,14
29	65,25	64,69	61,84	63,93
30	40,47	52,42	61,82	51,57
31	65,19	49,26	70,18	61,54
32	46,03	50,33	45,29	47,22
33	71,76	54,85	53,77	60,13
34	66,31	75,07	77,18	72,85

Πίνακας Π. 5. Διαστάσεις D των δοκιμίων 18-34.

Αριθμός Δοκιμίου	D1 (mm ²)	D2 (mm ²)	D3 (mm ²)	D (mm ²)
35	62,49	79,85	69,29	70,54
36	61,9	45,21	69,5	58,87
37	63,49	59,97	56,2	59,89
38	50,95	55,62	57,08	54,55
39	52,84	55,5	44,73	51,02
40	65,52	52,82	63,86	60,73
41	70,97	47,86	62,05	60,29
42	53,03	61,62	62,84	59,16
43	65,85	51,13	58,58	58,52
44	69,89	66,2	64,66	66,92
45	56,47	59,11	60,7	58,76
46	47,54	51,75	44,22	47,84
47	69,62	46,53	68,02	61,39
48	49,57	64,67	71	61,75
49	60,13	48,89	66,11	58,38
50	60,53	58,16	59,47	59,39
51	64,06	65,07	71,29	66,81

Πίνακας Π. 6. Διαστάσεις D των δοκιμίων 35-51.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

ΕΙΚΟΝΕΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ



Εικόνα Π. 1. Δοκίμια 1-12.



Εικόνα Π. 2. Δοκίμια 13-32.



Εικόνα Π. 3. Δοκίμια 33-51.