

**Σχεδιασμός εκμετάλλευσης κοιτάσματος χρυσού-
χαλκού με συνδυασμό υπαίθριας και υπόγειας
εκμετάλλευσης**

Διπλωματική Εργασία

Περουλάκης Ιωάννης



Επιτροπή:

Γ. Εξαδάκτυλος, Καθηγητής (επιβλέπων)

Μ. Γαλετάκης, Καθηγητής

Γ. Σαράτσης, ΕΔΙΠ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να απευθύνω θερμές ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Εξαδάκτυλο Γεώργιο, τον καθηγητή Γαλετάκη Μιχαήλ, καθώς και τον Δρ. Σαράτση Γεώργιο για την καθοδήγηση και την άμεση και ουσιαστική βοήθεια που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστώ τους Δρ. Λιόλιο Παντελή και Δρ. Ξηρουδάκη Γεώργιο για την βοήθεια τους κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	11
Κεφάλαιο 1 Γεωλογία της περιοχής.....	13
1.1 Πορφυριτικά κοιτάσματα χαλκού.....	13
1.2 Κοίτασμα Σκουριών: Γεωλογία, τοποθεσία και κοιτασματολογικό μοντέλο ...	15
Κεφάλαιο 2 Υπαίθρια εκμετάλλευση	19
2.1 Υπαίθριες εκμεταλλεύσεις	19
2.2 Γεωτεχνική μελέτη.....	21
2.2.1 Έλεγχος ευστάθειας της υπαίθριας εκμετάλλευσης θεωρώντας επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης	21
2.2.2 Έλεγχος ευστάθειας πρανούς με τον δείκτη MRMR.....	24
2.3 Διάρθρωση και Ανατίναξη.....	26
2.4 Σχεδιασμός υπαίθριας εκμετάλλευσης και αποθέματα.....	28
2.5 Εξοπλισμός.....	31
2.5.1 Διατρητικά.....	32
2.5.2 Φορτωτές.....	33
2.5.3 Φορτηγά (Dumpers).....	34
2.6 Οικονομικά στοιχεία	36
Κεφάλαιο 3 Υπόγεια εκμετάλλευση	39
3.1 Υπόγειες εκμεταλλεύσεις	39
3.2 Επιλογή μεθόδου εκμετάλλευσης.....	41
3.3 Μέθοδος κενών μετώπων.....	42
3.3.1 Γενική περιγραφή	42
3.3.2 Χαρακτηριστικά σχεδιασμού μετώπων	43
3.3.3 Διάνοιξη κεκλιμένων αποκομιδής προϊόντων εξόρυξης.....	44
3.3.5 Διάρθρωση παραγωγής.....	45
3.3.6 Διαδικασία ανατίναξης.....	45

3.3.7 Θεωρήσεις	46
3.3.8 Έργα προπαρασκευής – ανάπτυξης.....	47
3.3.9 Τεχνολογία παραγωγής	47
3.3.10 Υποστήριξη μετώπων	48
3.3.11 Αγκύρωση με συρματόσχοινα.....	50
3.3.12 Τύποι συρματοσχοίων	51
3.3.12 Εφαρμογή μεθόδων υποστήριξης μετώπου	52
3.3.13 Μεθόδος εκμετάλλευσης	54
3.4.14 Ευστάθεια των υπογείων μετώπων.....	56
3.4 Μέθοδος διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων.....	61
3.4.1 Γενική περιγραφή	61
3.4.2 Κατάλληλοι τύποι κοιτασμάτων	62
3.4.3 Σχεδιασμός.....	63
3.4.4 Ανάπτυξη	65
3.4.5 Διάτρηση	65
3.4.6 Αερισμός	66
3.4.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	67
3.4.8 Εφαρμογή μεθόδου.....	68
3.5 Έργα προσπέλασης και υπόγεια έργα.....	70
3.6 Ανέλκυση μεταλλεύματος με φρέατα.....	77
3.6.1 Είδη κάδων	80
3.6.2 Τύποι συστημάτων ανέλκυσης.....	80
3.6.3 Κόστος ανέλκυσης.....	84
3.7 Λιθογόμωση	85
3.7.1 Λιθογόμωση πάστας (Paste fill)	86
3.7.2 Απαιτήσεις μεγέθους σωματιδίων στην πάστα	87
3.7.3 Απαιτήσεις αντλίας.....	87

3.7.4 Φθορά σωληνώσεων	88
3.8.5 Απαιτήσεις εργοστασίου	88
3.8 Εξοπλισμός	89
3.8.1 Διατηρητικά	89
3.8.2 Αυτοφορτωτές	91
3.8.3 Φορτηγά	92
3.8.4 Λοιπός εξοπλισμός.....	93
3.9 Οικονομικά στοιχεία	93
Κεφάλαιο 4 Συμπεράσματα	96
Βιβλιογραφία	98

Κατάλογος σχημάτων και πινάκων

Σχήμα 1.1: Πορφυρικού συστήματα μεταξύ ηφαιστειακού και πλουτωνικού περιβάλλοντος. (Λούκος, 2012).....	14
Σχήμα 1.2: Κατακόρυφη κοιτασματολογική τομή του πορφυριτικού μεταλλευτικού σώματος των Σκουριών (Κορδιστός, 2015).....	16
Σχήμα 1.3: Τοποθεσία του μεταλλείου. (Κορδιστός, 2015).....	17
Σχήμα 1.4: 3D μοντέλο του κοιτάσματος μέχρι το βάθος των 460 m από την επιφάνεια.....	18
Σχήμα 2.1: Σχηματική παράσταση επιφανειακής εκμετάλλευσης. (Εξαδάκτυλος, 2015.).....	19
Πίνακας 2.1: Γεωμηχανικές ιδιότητες πετρωμάτων.....	21
Πίνακας 2.2: Θεωρούμενες σχεδιαστικές παράμετροι του υπαίθριου μεταλλείου.....	21
Σχήμα 2.2: Επιπέδο αστοχίας πρανούς. (Wylie & Mah, 2004).....	22
Σχήμα 2.3: Δυνάμεις νερού σε ένα πρανές. (Wylie & Mah, 2004).....	23
Σχήμα 2.4: Διάγραμμα σχεδίασης πρανών με βάση τον δείκτη MRMR. (Haines & Terbrurrg, 1991).....	25
Σχήμα 2.5: Πλάγια όψη διατρημάτων.....	27
Σχήμα 2.6: Κάτοψη κανάβου διάτρησης σε υπαίθριο μέτωπο μορφής βαθμίδας.....	27
Σχήμα 2.7: Κάτοψη τελικού σταδίου υπαίθριας φάσης.....	29
Σχήμα 2.5: Κάτοψη τελικού σταδίου υπαίθριας εκμετάλλευσης.....	30
Σχήματα 2.8 κ' 2.9: Πάνω: τομή BB' Κάτω τομή AA'.....	30
Σχήμα 2.10: FlexiROC D60.....	33
Σχήμα 2.11: CAT 986H.....	34
Σχήμα 2.12: CAT 785D.....	36
Πίνακας 2.3: Συγκεντρωτικός πίνακας επιμερισμού κόστους μηχανολογικού εξοπλισμού της υπαίθριας φάσης.....	38
Σχήμα 3.1: Βασική υποδομή και έργα ενός υπόγειου μεταλλείου.....	39
(Fernberg, 2000).....	39

Σχήμα 3.2: Μηχάνημα Race Boring. (Fernberg, 2007)	41
Σχήμα 3.3: Κατακόρυφη τομή που φαίνεται ο διαχωρισμός ενός κοιτάσματος σε κύρια μέτωπα (κίτρινο) και δευτερεύοντα (γκρι). (Atlas CopCo)	42
Σχήμα 3.4: Συρματόσχοινα διαφόρων τύπων (αριστερά) και διατομές κλώνων (δεξιά) (Villaescusa, 2014).	51
Σχήμα 3.5:Διάγραμμα κατηγοριών υποστήριξης υπόγειων ανοιγμάτων με βάση το σύστημα Q. (Hoek, 2000).....	52
Σχήμα 3.6: Αγκύρωση κύριου μετώπου με χαλύβδινα συρματόσχοινα.....	53
Σχήμα 3.7: Πρόσοψη μετώπων	54
Σχήμα 3.8: Διαμήκης τομή της 1η φάσης μεθόδου κενών μετώπων	54
Σχήμα 3.9: 2η φάση μεθόδου κενών μετώπων.....	55
Σχήμα 3.10: 3η φάση μεθόδου κενών μετώπων.....	55
Σχήμα 3.11: 4η φάση μεθόδου κενών μετώπων.....	55
Σχήμα 3.12: 5η φάση μεθόδου κενών μετώπων.....	56
Σχήμα 3.13: 6η φάση μεθόδου κενών μετώπων.....	56
Σχήμα 3.14: Συντελεστής αστοχίας (strength factor) του πετρώματος σε βάθη μεγαλύτερα των 200 μέτρων και στη φάση της εξόφλησης του 1ου πρωτεύοντος μετώπου παραγωγής στη φάση πριν την λιθογόμωση που είναι κενό.	57
Σχήμα 3.15: Μετατοπίσεις 1ου σταδίου.	58
Σχήμα 3.16: Μετατοπίσεις 2ου σταδίου.	58
Σχήμα 3.17: Μετατοπίσεις 3ου σταδίου.	59
Σχήμα 3.18: Μετατοπίσεις 4ου σταδίου.	59
Σχήμα 3.19: Μετατοπίσεις 5ου σταδίου.	60
Σχήμα 3.20: Μετατοπίσεις 6ου σταδίου.	60
Σχήμα 3.21: Μετατοπίσεις 7ου σταδίου.	61
Σχήμα 3.22:Διάτρηση μετώπου στη μέθοδο διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων. (Hamrin, 2001)	66
Σχήμα 3.23: Τυπική διάτρηση μετώπου.(Fernberg, 2007)	68

Σχήμα 3.24: Σχηματική αναπαράσταση μεθόδου διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων.....	70
Σχήμα 3.25: Υπόγεια έργα προσπέλασης και προπαρασκευής	71
Σχήμα 3.26: Κάτοψη 1ου ορόφου.....	73
Σχήμα 3.27: Κάτοψη υπο-ορόφου.	74
Σχήμα 3.28: Κάτοψη 2ου ορόφου.....	75
Σχήμα 3.16: Πλάγια όψη έργων προσπέλασης.....	76
Σχήμα 3.29: Πλάγια όψη υπογείων έργων.	76
Σχήμα 3.30: Διάγραμμα κάδου με εκκένωση από τον πυθμένα (Edwards,1992).	80
Σχήμα 3.31: Ανελκυστήρας με μονό τύμπανο. (Edwards, 1992)	81
Σχήμα 3.32: Ανελκυστήρας με διπλό τύμπανο. (Edwards, 1992)	82
Σχήμα 3.33: Ανελκυστήρας τύπου Blair. (Edwards, 1992).....	83
Σχήμα 3.34: Ανελκυστήρας τύπου Koepe. (Edwards, 1992)	83
Σχήμα 3.35: Epiroc BOOMER-E.....	90
Σχήμα 3.36: Epiroc SIMBA S7.....	91
Σχήμα 3.37: Sandvik LH410.....	92
Σχήμα 3.38: Sandvik TH663i.	93
Πίνακας 3.1: Συγκεντρωτικός πίνακας κοστών εξοπλισμού υπόγειας φάσης.....	94

Εισαγωγή

Σκοπός της εργασίας:

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι να προταθεί μέθοδος εκμετάλλευσης του κοιτάσματος πορφυριτικού χαλκού των Σκουριών Χαλκιδικής, με στόχο την μεγιστοποίηση της αποληψιμότητας και την ελαχιστοποίηση της αραιώσης του μεταλλεύματος.

Περίληψη:

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία μελετάται η εκμετάλλευση κοιτάσματος χρυσού - χαλκού στην περιοχή των Σκουριών στη Χαλκιδική.

Το κοίτασμα έχει περίπου μορφή κυλινδρική με κατακόρυφο άξονα και με διάμετρο περίπου 450 μέτρα με φλεβοειδείς απολήξεις. Το κοίτασμα εκτείνεται από την επιφάνεια και ξεπερνάει σε βάθος τα 800 μέτρα.

Προτείνεται μέθοδος εκμετάλλευσης με συνδυασμό υπαίθριας και υπόγειας εξόρυξης. Σύμφωνα μ'αυτή τη μέθοδο τα πρώτα 200 μέτρα του κοιτάσματος κατά την έννοια του βάθους θα εξορυχθούν με υπαίθρια μέθοδο ενώ στη συνέχεια θα εφαρμοσθεί μικτή μέθοδος υπόγειας εκμετάλλευσης. Συγκεκριμένα το κύριο κυλινδρικό σώμα του κοιτάσματος θα εξορυχθεί με τη μέθοδο κενών μετώπων με μακριά διατρήματα (open stoping), ενώ οι φλέβες με την μέθοδο διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων (cut and fill).

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ο σχεδιασμός της υπαίθριας και της υπόγειας εκμετάλλευσης και διαστασιολογείται ο απαιτούμενος μηχανολογικός εξοπλισμός. Ο σχεδιασμός της υπόγειας εκμετάλλευσης αφορά τα έργα προσπέλασης, προπαρασκευής και παραγωγής των τριών πρώτων ορόφων. Τέλος παρουσιάζονται αναλυτικά με σχέδια η λειτουργία των δύο υπογείων μεθόδων εκμετάλλευσης και προτείνεται ο αναγκαίος εξοπλισμός εξόρυξης-φόρτωσης-αποκόμισης και τα έργα υποστήλωσης.

Κεφάλαιο 1 Γεωλογία της περιοχής

1.1 Πορφυριτικά κοιτάσματα χαλκού

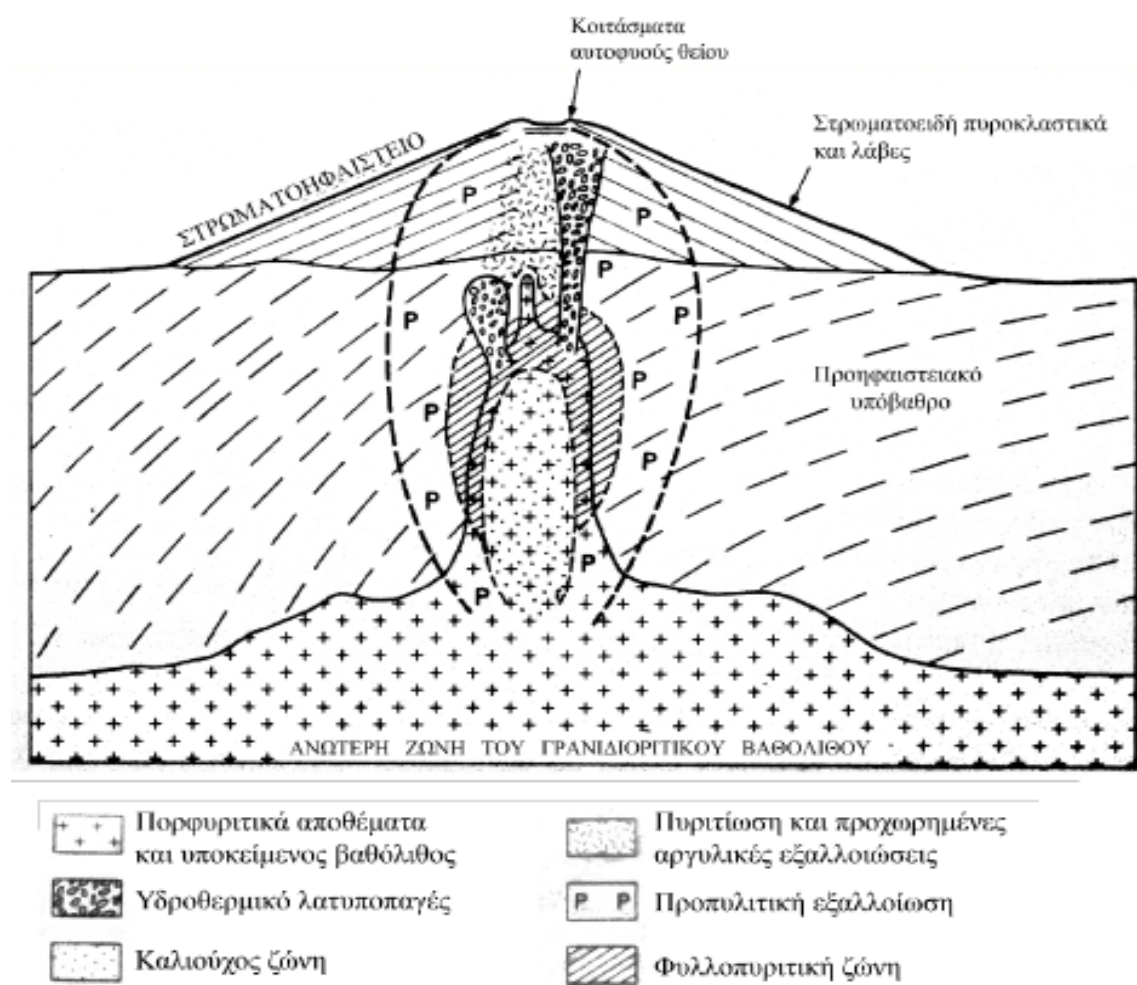
Τα κοιτάσματα χαλκού και χρυσού πορφυριτικής φύσης συνδέονται με διεισδύσεις γρανιτικών έως διοριτικών μαγμάτων και είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε χαλκό, αλλά υπάρχουν σε μεγάλα αποθέματα (Τσιραμπίδης, 2005). Επίσης συνδέονται με όξινα-ενδιάμεσα πλουτώνια πετρώματα με πορφυριτικό ιστό και χαρακτηρίζονται από έντονη εξαλλοίωση των πετρωμάτων που φιλοξενούν τη μεταλλοφορία. Κύριο χαρακτηριστικό των κοιτασμάτων αυτών είναι ότι περιέχουν χρυσό και μολυβδαίνιο ως παραπροϊόντα. Τα πορφυριτικά κοιτάσματα αποτελούν σημαντικές πηγές για την παγκόσμια παραγωγή χαλκού, μολυβδαινίου και χρυσού. Ο όρος “πορφυριτικά” εφαρμόστηκε σε αντικατάσταση του όρου “διάσπαρτη μεταλλοφορία”, η οποία προέκυπτε από τον τρόπο ανάπτυξης των μεταλλικών ορυκτών στα φιλοξενούντα πετρώματα.

Συνήθως τα κοιτάσματα πορφυριτικού χαλκού όπως του Σχ 1.1 έχουν τη μορφή κυλινδρικής διείσδυσης με επιμήκη ή ακανόνιστη ανάπτυξη στην επιφάνεια. Τα κοιτάσματα αυτού του τύπου διακρίνονται για το πολύ μεγάλο μέγεθός τους, τυπικά δε αναφέρετε ότι μπορούν να έχουν διάμετρο της τάξης 1,5 x 2 χιλιομέτρων. Συχνά εμφανίζεται ένα εξωτερικό περίβλημα πετρώματος με μεσοκοκκώδη ιστό που περιβάλλει έναν πιο λεπτόκοκκο πυρήνα. Ο πυρήνας αυτός χαρακτηρίζεται από πορφυριτικό ιστό γεγονός που υπονοεί γρήγορη ψύξη του μάγματος. Συνήθως τα κοιτάσματα αυτά φιλοξενούνται σε πετρώματα γρανιτικής σύστασης.

Στα κοιτάσματα πορφυριτικού χαλκού το κύριο ορυκτό που απαντάται είναι ο χαλκοπυρίτης (CuFeS_2), σπάνια απαντάται ο βορνίτης (Cu_5FeS_4) και ακόμα σπανιότερα ο χαλκοσίνης (Cu_2S). Ορισμένα κοιτάσματα πορφυριτικού χαλκού έχουν αυξημένη περιεκτικότητα σε αρσενικό και αντιμόνιο και περιέχουν τετραεδρίτη-τενναντίτη και εναργίτη. Τέλος πολλά κοιτάσματα πορφυριτικού χαλκού περιέχουν στις εξωτερικές τους ζώνες μεταλλοφορία μολύβδου, ψευδαργύρου, μαγγανίου, αργύρου και χρυσού. Σε αυτές τις περιπτώσεις σε φλέβες απαντάται, συχνά σε εκμεταλλεύσιμες ποσότητες, γαληνίτης και σφαλερίτης, καθώς επίσης και

ροδοχρωσίτης ($MnCO_3$). Ο χρυσός και ο άργυρος απαντώνται ως εγκλείσματα στα παραπάνω ορυκτά ή ακόμη και με τη μορφή σουλφιδίων.

Η μεταλλοφορία στα κοιτάσματα πορφυριτικού χαλκού αναπτύσσεται με τρεις μορφές: α) εξ' ολοκλήρου στο πορφυριτικό πέτρωμα, β) μερικώς στο πορφυριτικό πέτρωμα και μερικώς στα περιβάλλοντα πετρώματα και γ) εξ' ολοκλήρου στα περιβάλλοντα πετρώματα. Η μεταλλοφορία αναπτύσσεται σε ομόκεντρες ζώνες και συνήθως παρατηρείται μία κεντρική ζώνη με μικρό βαθμό διάσπαρτης μεταλλοφορίας με λίγο χαλκοπυρίτη και λιγότερο από 10% της μάζας του πετρώματος σε σιδηροπυρίτη, η οποία σταδιακά μεταβαίνει στις κύριες μεταλλοφόρες ζώνες με τα ίδια ορυκτά, σε μεγαλύτερη συγκέντρωση. Ο σιδηροπυρίτης συγκεντρώνεται σε μία άλω που περιβάλλει το μετάλλευμα αποτελώντας το 10-15% του συνολικού πετρώματος. Η μεταλλοφόρος ζώνη τείνει να συγκεντρώνεται στο όριο μεταξύ της καλιούχου και της φυλλοπυριτικής εξαλλοίωσης (Χρηστίδης, 2015).

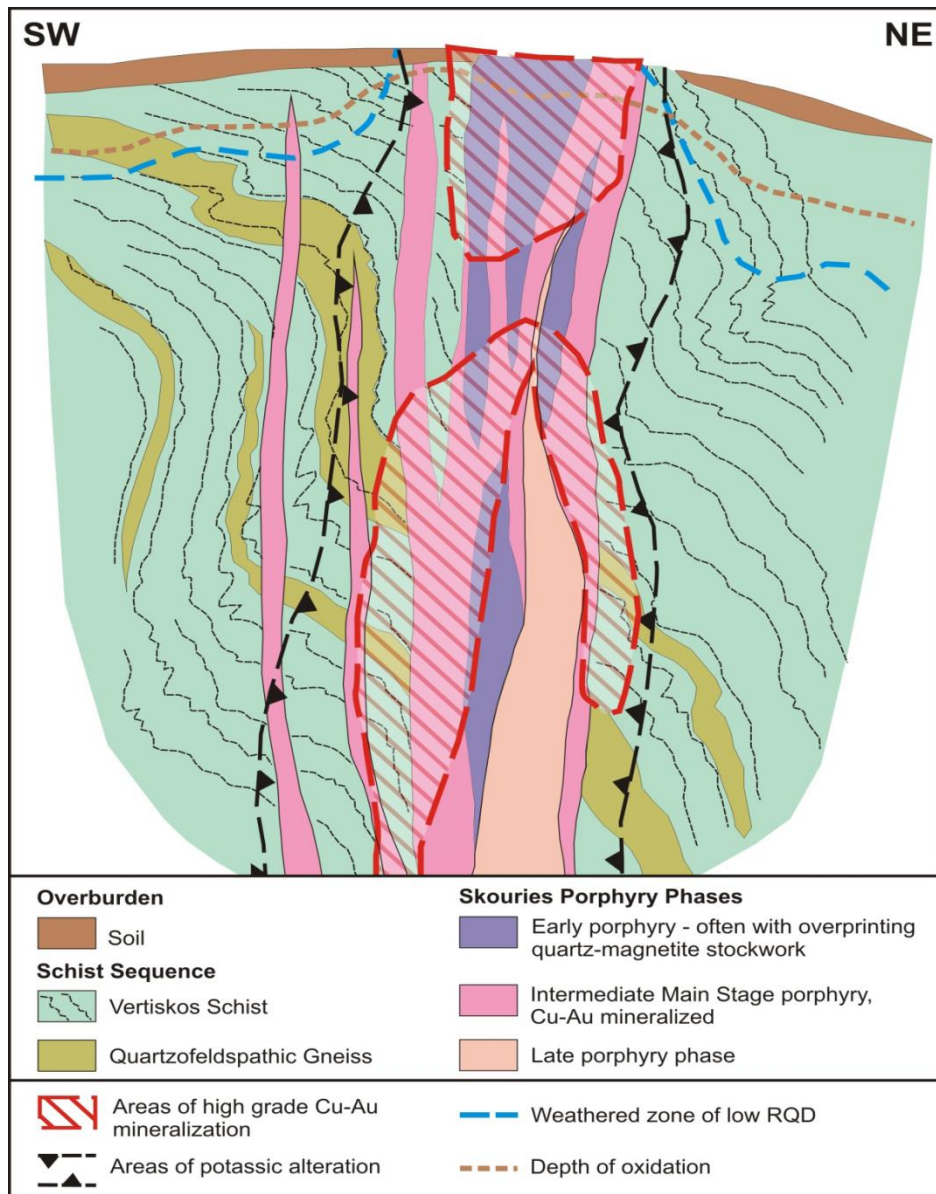


Σχήμα 1.1: Πορφυρικού συστήματα μεταξύ ηφαιστειακού και πλουτωνικού περιβάλλοντος. (Λούκος, 2012)

1.2 Κοίτασμα Σκουριών: Γεωλογία, τοποθεσία και κοιτασματολογικό μοντέλο

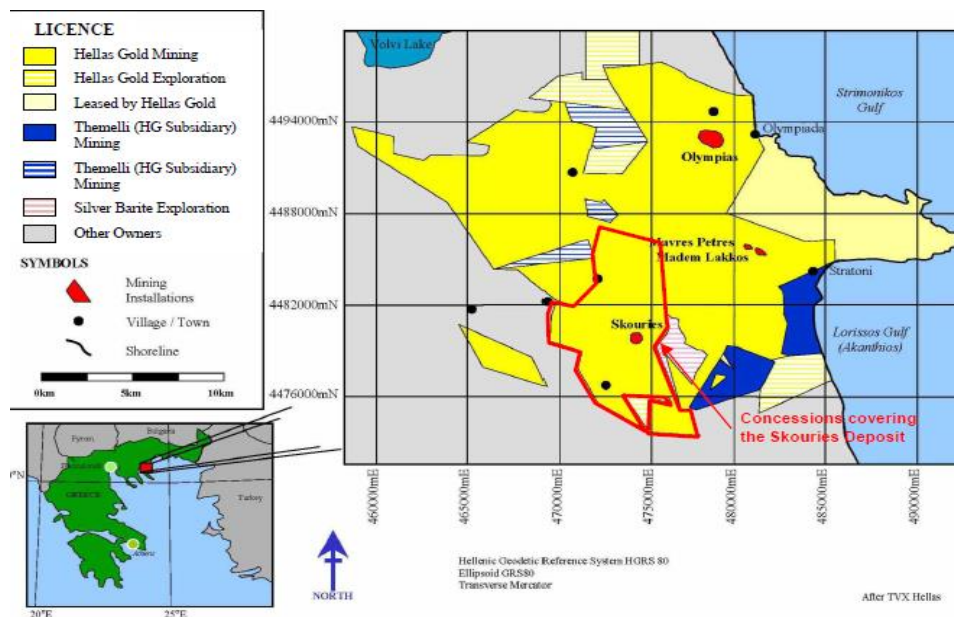
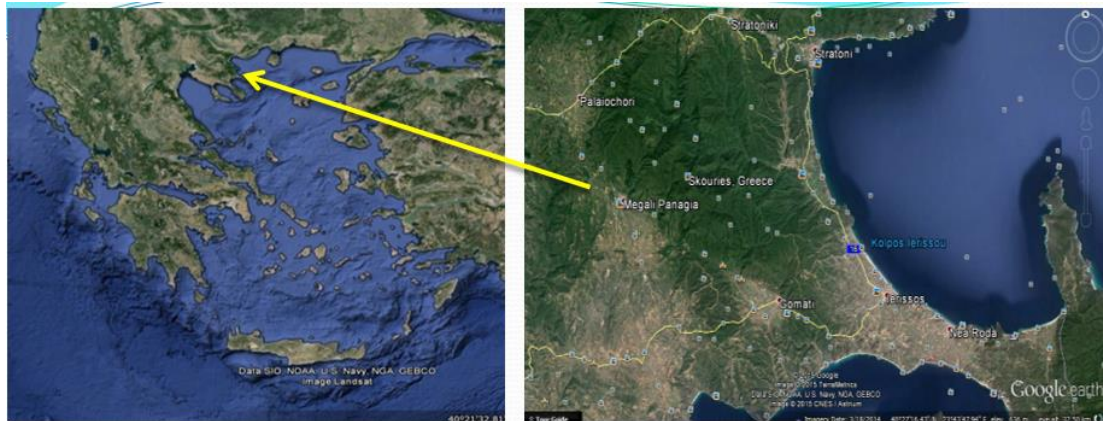
Το κοίτασμα των Σκουριών ανήκει στην Σέρβο-Μακεδονική μάζα και η ηλικία του κοιτάσματος είναι Ολιγοκαινική-Μειοκαινική. Το κοίτασμα είναι μέσα σε πορφυριτικό βαθύλιθο, κυλινδρικής μορφής σχεδόν κατακόρυφο, που έχει εισχωρήσει μέσα σε αμφιβολιτικούς και βιοτιτικούς σχιστόλιθους και εμφανίζεται με μια διάμετρο 200 m περίπου στην επιφάνεια και σε πιο μικρά φλεβικά τμήματα που ενώνονται με τον κύριο κύλινδρο σε μεγαλύτερα βάθη. Υπάρχουν δύο περιοχές στην κεντρική ζώνη με υψηλή περιεκτικότητα σε χαλκό και χρυσό. Η πρώτη είναι κοντά στην επιφάνεια και η δεύτερη περίπου σε βάθος 350 m από την επιφάνεια. Η κεντρική ζώνη αυτή μεταβάλλεται πλευρικά προς τα Δ και ΝΔ σε μικρότερης περιεκτικότητας μεταλλοφορία, που βρίσκεται στα σχιστολιθικά και όχι στα πλουτώνια πετρώματα. Η παρουσία ενός ομόκεντρου συστήματος εξαλλοιώσεων χαρακτηρίζει το κοίτασμα. Μια εσωτερική καλιούχος ζώνη αναπτύσσεται πλήρως γύρω και εντός από τον πορφυριτικό σωλήνα. Στο εσωτερικό του σχιστοειδούς στείρου πετρώματος απαντάται καλιούχος – πυριτική εξαλλοίωση με μορφή διαποτισμών, καλιούχων αστρίων εντός του πορφύρη, καθώς και βιοτίτη και καλιούχων αστρίων. Ένα οξειδωμένο κάλυμμα από μαλαχίτη, αζουρίτη, κυπρίτη, αυτοφυή χαλκό, οξείδια του σιδήρου και λίγο χαλκοκυρίτη, σιδηροκυρίτη και χαλκοσίνη παρατηρείται από την επιφάνεια μέχρι τα 30-50 m βάθος. Στη συνέχεια, η μεταλλοφορία συνήθως συνίσταται από πλέγματα φλεβιδίων χαλκοκυρίτη και από λεπτόκοκκο διάσπαρτο χαλκοκυρίτη με λίγο βορνίτη και ελάχιστο κοβελίνη, χαλκοσίνη, μολυβδενίτη και σιδηροκυρίτη. Σύνηθες ορυκτό αυτής της παραγένεσης είναι ο μαγνητίτης. Ο χρυσός βρίσκεται με την μορφή εγκλεισμάτων εντός του χαλκοκυρίτη, όπως αποδείχθηκε από την ορυκτολογική μελέτη. Οι περιεκτικότητες του χρυσού είναι άμεσα συνδεδεμένες με τη μεταλλοφορία του χαλκού με υψηλό συντελεστή συσχέτισης, που εξαρτάται από τη λιθολογία. (Λούκος, 2012)

Στο κοίτασμα των Σκουριών η μεταλλοφορία αναπτύσσεται εξ 'ολοκλήρου στο πορφυριτικό πέτρωμα, έχει κυλινδρικό σχήμα και εμφανίζεται στην επιφάνεια με μια διάμετρο περίπου 200 μέτρων περιβαλλόμενη από σχιστόλιθο όπως φαίνεται στην κοιτασματολογική τομή του Σχ. 1.2.



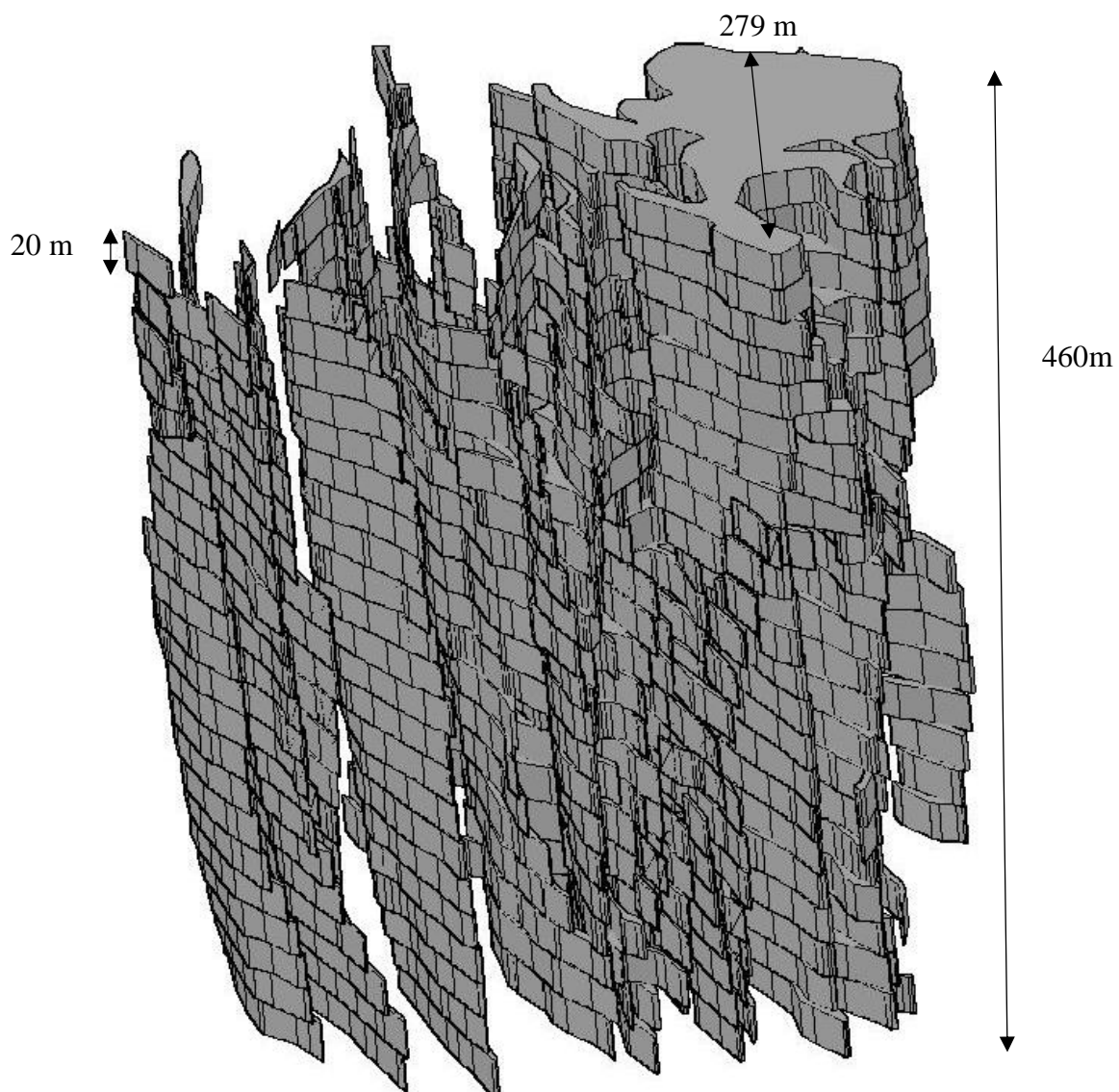
Σχήμα 1.2: Κατακόρυφη κοιτασματολογική τομή του πορφυριτικού μεταλλευτικού σώματος των Σκουριών (Κορδιστός, 2015).

Η περιοχή των Σκουριών αποτελεί ένα από τα ενεργά μεταλλεία Κασσάνδρας. Η περιοχή αυτή ονομάστηκε έτσι από τους ντόπιους διότι παρατηρώντας το χρώμα των πετρωμάτων είχε το χρώμα της σκουριάς. Βρίσκεται γύρω στα 100 km ανατολικά της Θεσσαλονίκης ενώ ισαπέχει (γύρω στα 3 km) από τα χωριά Μεγάλη Παναγία, Παλαιοχώρι και Νεοχώρι. Πρόκειται για ένα παγκοσμίου κλάσης πορφυριτικό κοιτάσμα σε αποθέματα. Η θέση του κοιτάσματος φαίνεται στο Σχ. 1.3.



Σχήμα 1.3: Τοποθεσία του μεταλλείου. (Κορδιστός, 2015)

Το τριδιάστατο μοντέλο του κοιτάσματος μέχρι τα 460 μέτρα από την επιφάνεια το οποίο παρουσιάζεται στο Σχ. 1.4 δημιουργήθηκε από ένα αρχείο κατόψεων, που προέκυψαν από κατασκευή τρισδιάστατου γεωλογικού μοντέλου από τα γεωλογικά δεδομένα του κοιτάσματος, χρησιμοποιώντας το AutoCAD Civil 3D.



Σχήμα 1.4: 3D μοντέλο του κοιτάσματος μέχρι το βάθος των 460 m από την επιφάνεια.

Κεφάλαιο 2 Υπαίθρια εκμετάλλευση

2.1 Υπαίθριες εκμεταλλεύσεις

Οι υπαίθριες εκμεταλλεύσεις χωρίζονται σε κλειστού και ανοιχτού τύπου. Ανοιχτού τύπου είναι οι εκμεταλλεύσεις που συνήθως βρίσκονται σε περιοχές μεγάλη κλίση π.χ. βουνοπλαγιές και βουνοκορφές, ενώ οι κλειστού τύπου (open pit) βρίσκονται σε σχετικά επίπεδες επιφάνειες.

Οι υπαίθριες εκμεταλλεύσεις κλειστού τύπου εφαρμόζονται όταν το κοίτασμα είναι κοντά στην επιφάνεια και το υπερκείμενο στείρο υλικό έχει λεπτό πάχος ή οι ιδιότητες του πετρώματος δεν είναι ιδανικές για να γίνουν υπόγεια έργα.

Η εξόρυξη του μεταλλεύματος γίνεται σε μέτωπα μορφής υπαίθριας βαθμίδας. Οι βαθμίδες έχουν συνήθως ύψος μεταξύ 5 και 15 μέτρων ανάλογα με τις γεωμηχανικές ιδιότητες του πετρώματος και του μηχανολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται. Η κλίση των βαθμίδων πρέπει να είναι μικρότερη των 90° για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου αστοχίας του πρανούς και ζημιών από πτώσεις βράχων ενώ η κλίση της εκμετάλλευσης σε όλες τις φάσεις της δεν πρέπει να υπερβαίνει ένα όριο ανάλογα με τις γεωτεχνικές ιδιότητες των πετρωμάτων. Εάν οι βαθμίδες δεν είναι ασφαλείς γίνονται έργα αποστράγγισης υδάτων, αγκύρωσης κ.α για να αυξηθεί η ευστάθεια και η ασφάλεια του πρανούς. Στην κατακόρυφη τομή του Σχ. 2.1 φαίνεται μια τυπική γεωμετρία υπαίθριας εκμετάλλευσης κλειστού τύπου.



Σχήμα 2.1: Σχηματική παράσταση επιφανειακής εκμετάλλευσης. (Εξαδάκτυλος, 2015.)

Ένας δρόμος μεταφοράς θα τοποθετηθεί στη μια πλευρά του μεταλλείου και κατέρχεται στον πυθμένα δημιουργώντας μια ελικοειδή ράμπα που ενώνεται με τις βαθμίδες και επιτρέπει την κίνηση των φορτηγών αυτοκινήτων για την μεταφορά του μεταλλεύματος και του στείρου και για την προσπέλαση των άλλων μηχανημάτων στα μέτωπα.

Η θραύση του πετρώματος γίνεται με εκρηκτικές ύλες εάν το πέτρωμα είναι σκληρό ή εάν δεν είναι σκληρό ή είναι ήδη θραυσμένο μπορεί να μεταφερθεί αμέσως με μηχανικά μέσα. Εάν απαιτείται η χρήση εκρηκτικών υλών (ΕΥ), τότε στις βαθμίδες ορύσσονται διατρήματα διαμέτρου 70-120 mm για τη γόμωση με ΕΥ.

Στα υπαίθρια μεταλλεία, τρεις (3) είναι οι κύριοι παράγοντες για τον οικονομικότερο σχεδιασμό τους:

Α. Η σχέση αποκάλυψης (Stripping Ratio, SR), που ορίζεται ως ο όγκος του στείρου υλικού που θα πρέπει να μετακινηθεί για την εξόρυξη ενός κυβικού μέτρου μεταλλεύματος.

$$SR = \frac{V_{\text{στείρου}}}{V_{\text{μεταλλεύματος}}} \quad (2.1)$$

Η σχέση αποκάλυψης σε οριζόντια κοιτάσματα είναι σταθερή, αντίθετα σε κεκλιμένα κοιτάσματα η σχέση αποκάλυψης αυξάνει με το βάθος.

Β. Η τελική γωνία της εκμετάλλευσης φ (Σχ. 2.1) που επηρεάζει τη σχέση αποκάλυψης και τα μεταλλευτικά αποθέματα (που είναι μέρος των συνολικών γεωλογικών αποθεμάτων).

Γ. Ο καθορισμός της τιμής της κατώτερης τιμής περιεκτικότητας του μεταλλεύματος (cut-off-value) που επηρεάζει και την μέση περιεκτικότητα του εξορυγμένου μεταλλεύματος και τα μεταλλευτικά αποθέματα.

Όταν η εκσκαφή φτάσει στα όρια της στην επιφάνεια, τότε το βάθος καθορίζεται από την τελική γωνία εκμετάλλευσης φ . Η μέγιστη γωνία αυτή καθορίζεται με βάση τον μεταλλευτικό κανονισμό (πχ άρθρα 83, 84 του ΚΜΛΕ) ή τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά του πετρώματος με βάση τον συντελεστή ασφάλειας των πρανών.

2.2 Γεωτεχνική μελέτη

Αρχικά παρατίθενται οι εξής γεωμηχανικές ιδιότητες (Μπουζάς, 2009) για τον άρρηκτο σχιστόλιθο και για τον πορφύρη που δίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίν. 2.1):

	Σχιστόλιθος	Πορφύρης
Γωνιά εσωτερικής τριβής, ϕ [°]	64	70
Συνοχή, c [MPa]	4	18
Πυκνότητα, ρ [$\frac{t}{m^3}$]	2,754	2,637

Πίνακας 2.1: Γεωμηχανικές ιδιότητες πετρωμάτων.

Οι τιμές των σχεδιαστικών παραμέτρων της υπαίθριας εκμετάλλευσης θεωρώντας απλουστευτικά ίδια γεωμετρία και για το τμήμα της υπαίθριας εκμετάλλευσης που βρίσκεται στον σχιστόλιθο και στον πορφύρη, φαίνονται στον Πίν. 2.2.

Κλίση μετώπου βαθμίδας [°]	80
Τελική γωνία εκμετάλλευσης [°]	36
Πλάτος βαθμίδας [m]	10
Ύψος βαθμίδας [m]	10
Πλάτος ράμπας [m]	20
Κλίση ράμπας	10%

Πίνακας 2.2: Θεωρούμενες σχεδιαστικές παράμετροι του υπαίθριου μεταλλείου.

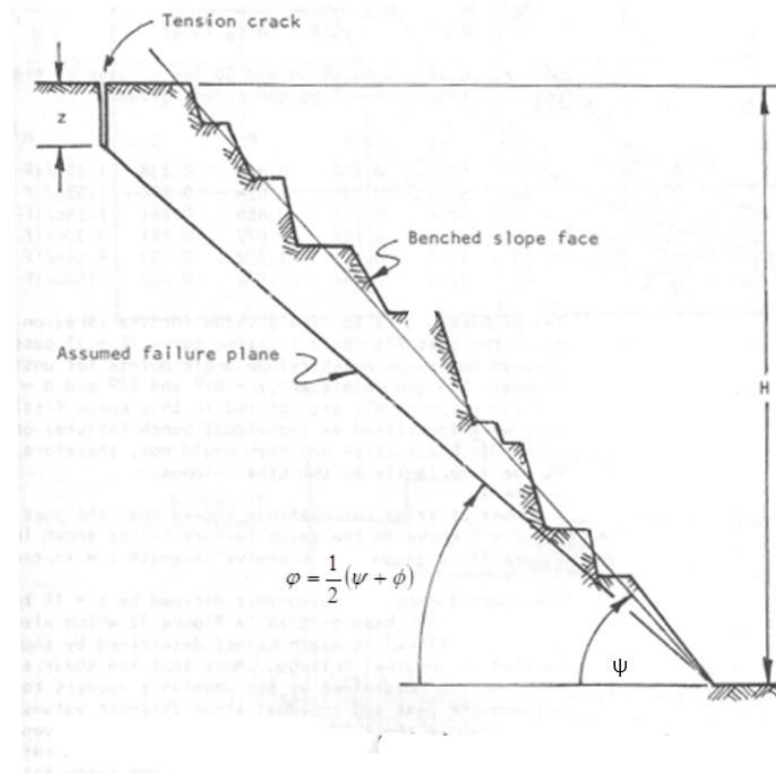
2.2.1 Έλεγχος ευστάθειας της υπαίθριας εκμετάλλευσης θεωρώντας επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης

Σύμφωνα με το κάτωθι Σχ. 2.2 θεωρούμε ότι η κλίση ϕ της πιθανής επίπεδης ασυνέχειας προκύπτει από ασυνέχεια που «ξετρυπά» στο πόδι της εκμετάλλευσης και τερματίζει πάνω σε εφελκυστική ρωγμή στο φρύδι της εκμετάλλευσης και δίνεται από τη σχέση

$$\phi = \frac{1}{2}(\psi + \phi) \quad (2.2)$$

όπου

ϕ =γωνία εσωτερικής τριβής του πετρώματος και ψ η κλίση της βαθμίδας



Σχήμα 2.2: Επιπέδο αστοχίας πρανούς. (Wylie & Mah, 2004)

Στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής ασφάλειας υπολογίζονται από τους εξής τύπους αντίστοιχα (Wylie & Mah, 2004):

- Από τον τύπο που δίνει το βάρος του πετρώματος που περικλείεται από τις ασυνέχειες (κεκλιμένη επίπεδη και εφελκυστική) και την ελεύθερη επιφάνεια, ήτοι

$$W = \frac{1}{2} \rho g h^2 \left[\left(1 - \left(\frac{z}{h} \right)^2 \right) \cot \phi - \cot \psi \right] \quad (2.3)$$

Όπου:

A=εμβαδόν επιφάνειας αστοχίας (πάνω σε επίπεδη ασυνέχεια)

h =ύψος πρανούς,

z =μήκος εφελκυστικής ρωγμής

ρ =πυκνότητα πετρώματος,

g =επιτάχυνση της βαρύτητας,

Από τον τύπο που δίνει τον συντελεστή ασφαλείας

$$FS = \frac{cA + (W \cos \varphi - U - V \sin \varphi) \tan \phi}{W \sin \varphi + V \cos \varphi} \quad (2.4)$$

Όπου:

FS =συντελεστής ασφάλειας

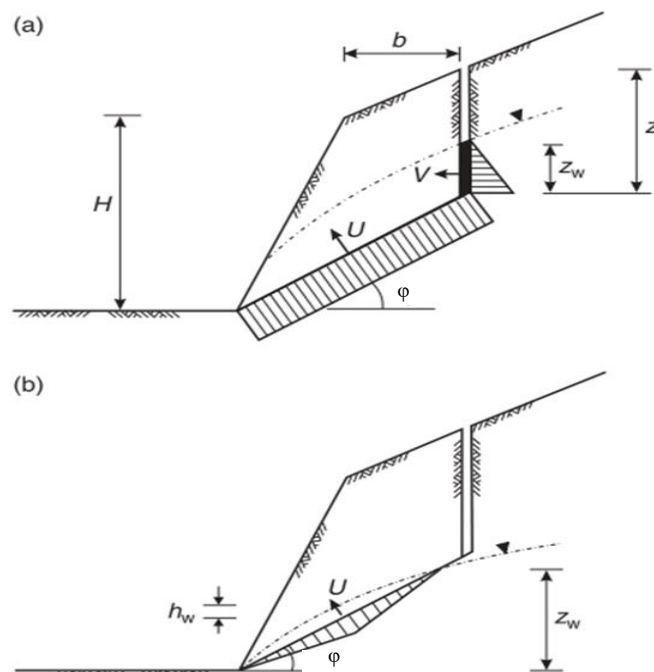
U, V =δυνάμεις νερού (Σχ 2.3)

$$U = A \gamma_w z_w \quad (2.5)$$

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w z_w^2 \quad (2.6)$$

γ_w = ειδικό βάρος

z_w = ύψος νερού



Σχήμα 2.3: Δυνάμεις νερού σε ένα πρανές. (Wylie & Mah, 2004)

Εφαρμόζοντας τις σχέσεις για τις βαθμίδες στα δύο πετρώματα θεωρώντας ότι η συνοχή στην ασυνέχεια είναι το 1/10 της συνοχής του άρρηκτου πετρώματος και ότι η εσωτερική γωνία τριβή είναι η μισή του άρρηκτου πετρώματος προκύπτουν οι εξής συντελεστές ασφαλείας:

- α. Στον σχιστόλιθο $FS=1,2$
- β. Στον πορφύρη $FS=1,6$

Και στα πρηνή:

- α. Στον σχιστόλιθο $FS=1,3$
- β. Στον πορφύρη $FS=2$

Οπότε σύμφωνα με τη σχέση (2.4), οι βαθμίδες και τα πρηνή και στα δύο πετρώματα είναι ασφαλείς.

2.2.2 Έλεγχος ευστάθειας πρηνούς με τον δείκτη MRMR

Το σύστημα ταξινόμησης βραχώμαζας MRMR βασίζεται στο σύστημα RMR που ανέπτυξε ο Bieniawski (1989). Το σύστημα RMR συνδυάζει τις σημαντικότερες γεωλογικές παραμέτρους μιας βραχώμαζας και τις παρουσιάζει σε έναν αριθμό που κυμαίνεται από 0-100 και χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο σε εφαρμογές πολιτικών μηχανικών. Το σύστημα MRMR είναι τροποποίηση του συστήματος RMR για εφαρμογή σε υπαίθριες και υπόγειες εκμεταλλεύσεις, στην ουσία ο δείκτης MRMR είναι ο δείκτης RMR πολλαπλασιασμένος με έναν παράγοντα που εκφράζει την επίδραση του τρόπου εξόρυξης του πετρώματος και την επιπλέον φθορά που επιβάλλει στη βραχώμαζα (Laubscher & Jakubec, 2001).

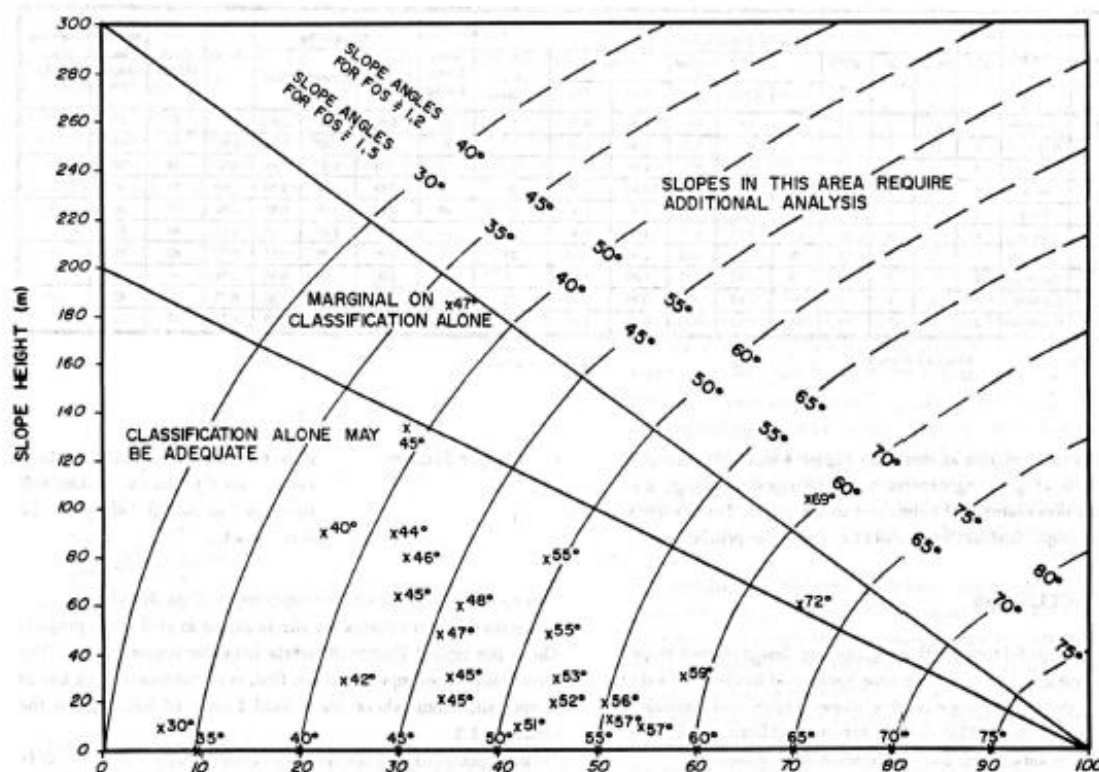
Οι κύριοι στόχοι του συστήματος MRMR είναι:

- α. Ταξινόμηση της βραχώμαζας σε περιοχές με βάση την συμπεριφορά της.
- β. Ορισμός παραμέτρων σχεδιασμού της εξόρυξης.

Γενικά ο πορφύρης έχει σχετικά υψηλό δείκτη MRMR (από 48 μέχρι 55) κατά μέσο όρο, ο σχιστόλιθος βρίσκεται μια κλάση χαμηλότερα (περίπου 40). Η απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών στον πορφύρη κυμαίνεται σε ένα εύρος τιμών μικρότερων

του 1 μέτρου έως και μεγαλύτερων από 2 μέτρα. Αντίστοιχα οι τιμές στο σχιστόλιθο κυμαίνονται μεταξύ 0,2 και 2 μέτρων.

Ο συντελεστής ασφαλείας του πρανούς μπορεί να υπολογιστεί από το παρακάτω εμπειρικό διάγραμμα (Σχ. 2.4) (Haines & Terburge, 1991):



Σχήμα 2.4: Διάγραμμα σχεδίασης πρανών με βάση τον δείκτη MRMR. (Haines & Terburge, 1991)

Από το παραπάνω διάγραμμα (Σχ. 2.4) φαίνεται για τον σχιστόλιθο (MRMR = 40), για πρανές με συνολικό ύψος 200 – 240 μέτρων, η τελική γωνία της εκμετάλλευσης πρέπει να είναι μικρότερη από 50° ώστε ο συντελεστής ασφαλείας να είναι μεγαλύτερος από 1,5.

Όποτε η τελική γωνία της εκμετάλλευσης που ορίστηκε στις 36° είναι ασφαλής σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι είναι και η βέλτιστη δυνατή γιατί πιο μεγάλη κλίση εκμετάλλευσης θα έδινε μεν μικρότερο ΣΑ αλλά και καλύτερη σχέση αποκάλυψης. Στην παρούσα φάση όμως αυτή η βελτιστοποίηση δεν εξετάζεται.

2.3 Διάτρηση και Ανατίναξη

Στην εργασία αυτή θεωρήθηκαν τα εξής:

- Η απαιτούμενη παραγωγή θραυσμένου πετρώματος είναι $18.000 \frac{t}{d}$ ή $8897 \frac{m^3}{d}$.
- Ως εκρηκτικά θα χρησιμοποιηθούν ANFO και ζελατοδυναμίτιδα με $P_{gel}=1,5$ kg/l και $s=0,85$.
- Απόσταση προς φορτίο $S/B=1.25$ (Εξαδάκτυλος, 2015).
- Τα διατρήματα θα έχουν διάμετρο $d=65$ mm.

Από τον εξής τύπο, (Langefors & Kihlström, 1978) :

$$B = \frac{33}{d} \sqrt{\frac{Ps}{0.45fS/B}} \quad (2.7)$$

Όπου:

d =διάμετρος διατρημάτων, mm,

P =βαθμός συμπίκνωσης εκρηκτικής ύλης,

s = ισχύς εκρηκτικής ύλης κατά βάρος

$f=3/(3+n)$ όπου n =κλίση βαθμίδας.

Λύνοντας την Εξ. (2.7) προκύπτει ότι $B=4$ m και $S=5$ m (Σχ. 2.6).

Η υποδιάτρηση $B \times 0,3=1,2$ m. Οπότε το συνολικό μήκος του διατρήματος είναι $L=11,4$ μ (Σχ. 2.5).

Το σφάλμα διάτρησης ορίζεται ως (Εξαδάκτυλος 2015):

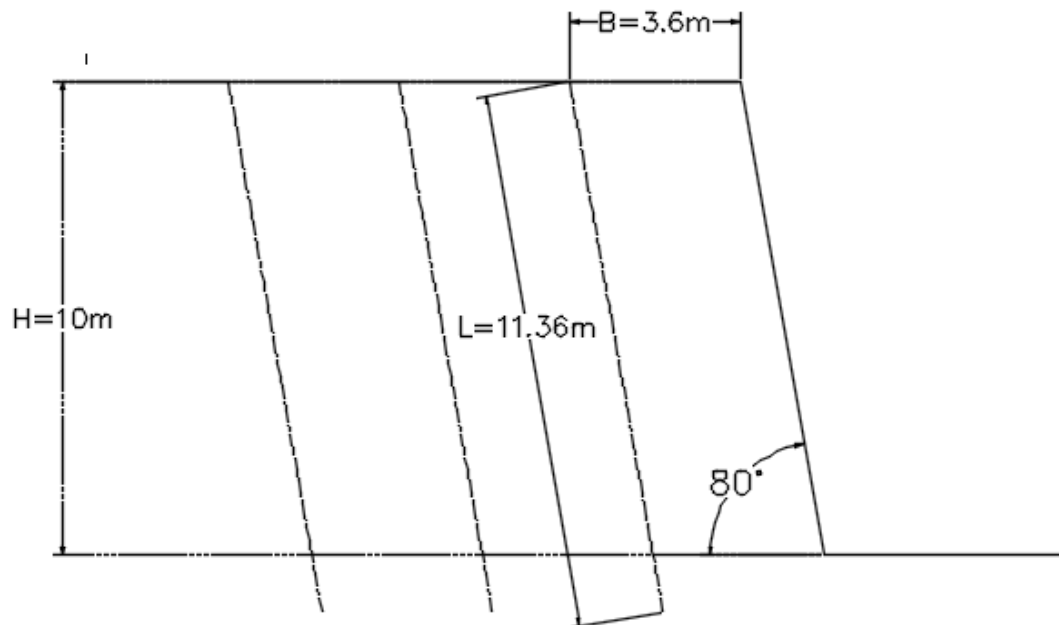
$$E = \frac{L}{1000} + 0.03d \quad (2.8)$$

Και ισούται με 0,4m. Οπότε το διορθωμένο φορτίο $B=3,6$ m και $S=4,5$ m.

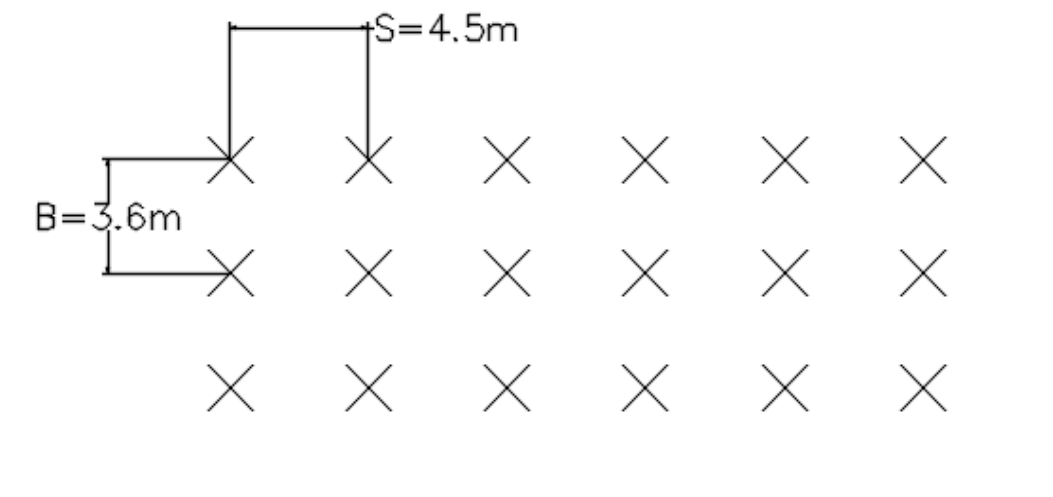
Τα πρώτα 4,7m($1,3 \times B$) γομώνονται με ζελατοδυναμίτιδα (γόμωση πυθμένα), τα επόμενα 3,9m με ANFO, και τα υπόλοιπα 2,8($0,7 \times B$) μέτρα καλύπτονται με χώμα

που δρα ως επιγύμωση για την φραγή εξόδου των αερίων πριν την θραύση του πετρώματος.

Ο όγκος που θα εξορυχθεί από ένα διάτρημα είναι $V=10\text{m}\times 3,6\text{m}\times 4,5\text{m}=162\text{m}^3/\text{διάτρημα}$. Επομένως θα ορύσσονται συνολικά $8897/162=55$ διατρήματα ανά μέρα ή 18 διατρήματα ανά βάρδια με τρεις 8-ωρες βάρδιες.



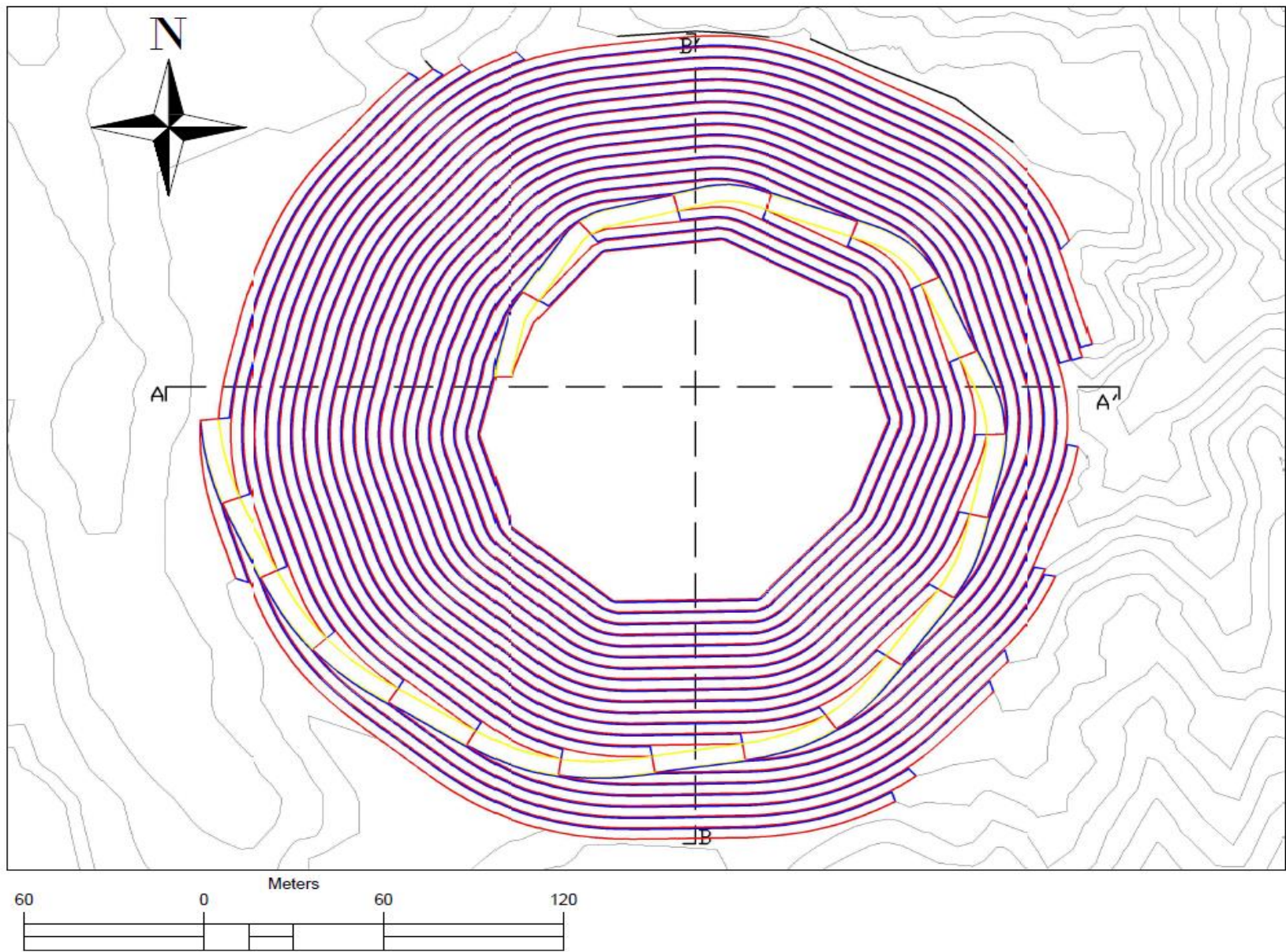
Σχήμα 2.5: Πλάγια όψη διατρημάτων.



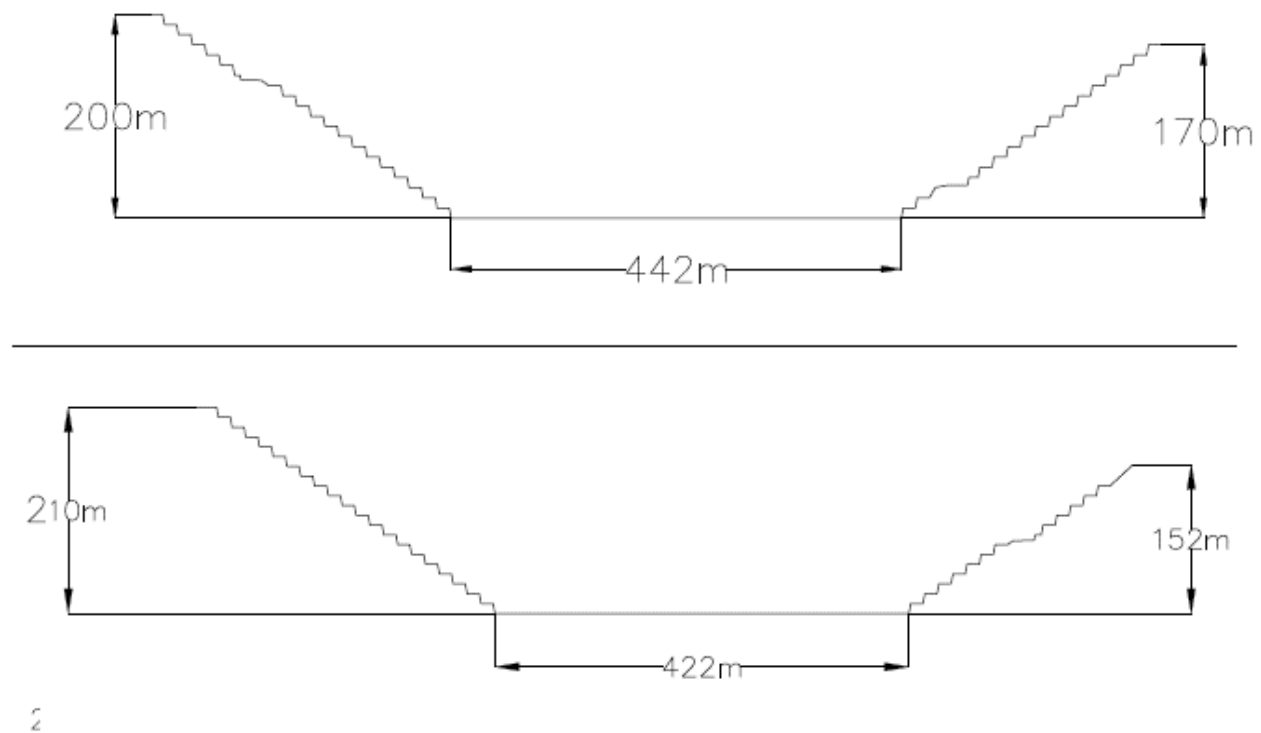
Σχήμα 2.6: Κάτοψη κανάβου διάτρησης σε υπαίθριο μέτωπο μορφής βαθμίδας.

2.4 Σχεδιασμός υπαίθριας εκμετάλλευσης και αποθέματα

Η κλειστή υπαίθρια εκμετάλλευση χοανοειδούς μορφής σχεδιάστηκε με το λογισμικό Carlson Civil Suite 2016 ([CarlsonSW, 2016](#)) ορίζοντας τις διαστάσεις των βαθμίδων και της ράμπας και της κατεύθυνσης της ράμπας. Η υπαίθρια εκμετάλλευση θα έχει τελικά 23 βαθμίδες με ύψος 10 μέτρα η κάθε μία, οπότε θα έχει βάθος 230 μέτρα από το υψηλότερο σημείο της επιφάνειας. Η διάμετρος στον πυθμένα είναι 450 μέτρα και στην επιφάνεια 1 χλμ (Σχ. [2.7](#), [2.8](#), [2.9](#)).



Σχήμα 2.7: Κάτοψη τελικού σταδίου υπαίθριας φάσης



Σχήματα 2.8 κ' 2.9: Πάνω: τομή BB' Κάτω τομή AA'

Με βάση αυτόν τον σχεδιασμό της υπαίθριας εκμετάλλευσης ο όγκος των αποθεμάτων κοιτάσματος από την υπαίθρια εκμετάλλευση μετά από στρογγύλευση του αριθμού είναι $5.690.000m^3$.

Επίσης ο συνολικός όγκος εξόρυξης της υπαίθριας εκμετάλλευσης μετά από στρογγύλευση του αριθμού υπολογίστηκε ότι είναι $84.890.000 m^3$. Επομένως η διαφορά τους δίνει τον συνολικό όγκο των στειρών ίσο με $79.200.000m^3$.

Άρα ο λόγος αποκάλυψης είναι:

$$SR \left(\frac{m^3}{m^3} \right) = \frac{79.202.479m^3}{5.689.518m^3} = 13,92.$$

Για ημερήσια παραγωγή $18.000 \frac{t}{d}$ ή $8.897 \frac{m^3}{d}$ ($\rho=2,637 t/m^3$ και ο συντελεστής επιπλήσματος $\varepsilon=1,3$) ή $371 \frac{m^3}{hr}$ και θεωρώντας 250 εργάσιμες μέρες τον χρόνο, υπολογίζεται ότι ο χρόνος ζωής της υπαίθριας εκμετάλλευσης είναι $\frac{5.689.518m^3}{2.224.250 \frac{m^3}{y}} = 2,5$

χρόνια, για 3 βάρδιες ανά μέρα. Για μία βάρδια ανά μέρα η ζωή του υπαίθριου μεταλλείου φτάνει τα 7,5 χρόνια.

Η φάση της υπαίθριας εκμετάλλευσης θα διαρκέσει μέχρι να ολοκληρωθούν τα υπόγεια έργα προσπέλασης και προπαρασκευής.

2.5 Εξοπλισμός

Αρχικά γίνονται οι εξής παραδοχές:

- Ο συντελεστής επιπλήσματος του θραυσμένου πετρώματος από τις ανατινάξεις είναι $\varepsilon=1,3$,
- Ο συντελεστής εργοταξίου είναι $n_{\varepsilon\rho\gamma} = 0,9$ και ο συντελεστής διαθεσιμότητας των μηχανημάτων είναι $n_{\mu\eta\chi} = 0,8$.
- Η απαιτούμενη ωριαία παραγωγή είναι $371 \frac{m^3}{hr}$.

- Επιπλέον εφόσον ο χρόνος ζωής της υπαίθριας φάσης είναι μόνο 2,5 χρόνια ο εξοπλισμός θα είναι μεταχειρισμένος (μικρότερο κόστος κτήσης μηχανημάτων αλλά μεγαλύτερο ετήσιο κόστος συντήρησης).

2.5.1 Διατρητικά

Από το την Παρ. 2.3 έχει υπολογισθεί ότι το μήκος του κάθε διατρήματος είναι 11,4 m και όγκος που εξορύσσεται ένα διάτρημα είναι 162 m^3 .

Άρα η ειδική διάτρηση: $Sp.drill = \frac{162 \text{ m}^3}{11,4 \text{ m}} = 14,26 \frac{\text{m}^3}{\text{m}}$.

Για διατρητικό προτείνεται χρησιμοποιηθεί το FlexiROC D60 (Σχ. 2.10) που έχει ρυθμό διάτρησης $r = 1 \frac{\text{m}}{\text{min}}$ ή $60 \frac{\text{m}}{\text{hr}}$ και ιπποδύναμη 150 HP.

Άρα η παραγωγή του ενός είναι $Q = Sp.drill \times r \times n_{εργ} \times n_{μηχ} = 616 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$ που καλύπτει την απαιτούμενη παραγωγή άρα θα χρειαστεί $\frac{371}{616} = 0,6 = 1$ διατρητικό με κόστος αγοράς 200.000 €.



Σχήμα 2.10: FlexiROC D60

2.5.2 Φορτωτές

Προτείνεται να χρησιμοποιηθεί ο φορτωτής CAT 986H (Σχ 2.11) με ιπποδύναμη 441 HP. Ο όγκος του κάδου που φέρει είναι 10 m^3 , και ο χρόνος φόρτωσης 1 λεπτό. Η ωριαία παραγωγή του είναι:

$$Q = \frac{10 \text{ m}^3}{1 \text{ min}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}} \times 0,9 \times 0,8 = 432 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

Η οποία καλύπτει την απαιτούμενη παραγωγή ($371 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$), άρα θα χρειαστεί $\frac{371}{432} = 0.85 = 1$ φορτωτής με κόστος αγοράς 360.000 €.



Σχήμα 2.11: CAT 986H

2.5.3 Φορτηγά (Dumpers)

Προτείνεται να χρησιμοποιηθεί το CAT 785D (Σχ 2.12). Ο όγκος της καρότσας είναι 85 m^3 , το βάρος του είναι 117 τόνοι, το συνολικό φορτίο που μπορεί να μεταφέρει είναι 250 t (μαζί με το απόβαρο). Επομένως ο πραγματικός όγκος που μπορεί να μεταφέρει είναι:

$$V = \frac{(250 - 117)t}{2,67 \frac{t}{\text{m}^3} \times 1,3} = 63,3 \text{ m}^3$$

Η ταχύτητα δίνεται από την εξής σχέση (Εξαδάκτυλος, 2015):

$$u = \frac{n_{\kappa\iota\nu} n_{\epsilon\rho\gamma} 270 \text{ HP}}{B_{o\lambda} (Wr + Ws)} \quad (2.9)$$

Όπου:

$n_{κιν}$ και $n_{εργ}$: συντελεστές κινητήρα και εργοταξίου,

HP= ιπποδύναμη (1348 HP),

B το φορτίο και W_r, W_s συντελεστές κύλισης (100 kP/MP και 50 kP/MP αντίστοιχα).

Εφαρμόζοντας την σχέση όταν το φορτηγό είναι άδειο και γεμάτο, δίνονται οι εξής ταχύτητες:

$$U_{\acute{\alpha}\delta\epsilon\iota\omicron} = 16,6 \frac{km}{hr}$$

$$U_{\gamma\epsilon\mu\acute{\alpha}\tau\omicron} = 7,9 \frac{km}{hr}$$

Για μια μέση απόσταση απόθεσης 3000 μέτρων δίνονται οι εξής χρόνοι:

$$t_{\acute{\alpha}\delta\epsilon\iota\omicron} = 10,8 \text{ min}$$

$$t_{\gamma\epsilon\mu\acute{\alpha}\tau\omicron} = 22,7 \text{ min}$$

Θεωρείται χρόνος σταθερών ελιγμών:

$$t_{\sigma\tau\alpha\theta} = 5 \text{ min.}$$

Και ο χρόνος φόρτωσης:

$$\frac{V_{καρ\acute{o}\tau\sigma\alpha\varsigma}}{V_{κου\beta\acute{\alpha}}} = \frac{63,3}{10} = 7 \text{ φορτώσεις \acute{\alpha}\rho\alpha } t_{\phi\acute{o}\rho\tau\omega\sigma\eta\varsigma} = 7 \text{ min}$$

Αθροίζοντας όλους τους χρόνους; $t=0,76hr$.

Άρα ο ρυθμός παραγωγής:

$$Q = \frac{63,3m^3}{0,76hr} = 75 \frac{m^3}{hr}$$

Οπότε θα χρειαστούν $\frac{371 \frac{m^3}{hr}}{75 \frac{m^3}{hr}} = 4,95 = 5$ φορτηγά.

Κόστος αγοράς $5 \times 590.000 \text{ €} = 2.950.000 \text{ €}$.



Σχήμα 2.12: CAT 785D

2.6 Οικονομικά στοιχεία

Το κέρδος ανά τόνο μεταλλεύματος μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση (Εξαδάκτυλος, 2005):

$$P = SP V F - SR A - B - C \quad (2.10)$$

Όπου:

P=κέρδος, €/t

SP= τιμή πώλησης, €/t

V=περιεκτικότητα του μεταλλεύματος σε χρήσιμο μέταλλο (%)

F=ανάκτηση μετάλλου (πχ στο συμπύκνωμα) (%)

SR= Λόγος ή σχέση αποκάλυψης

A=κόστος εξόρυξης, φόρτωσης και μεταφοράς στείρων, €/t

B= κόστος εξόρυξης, φόρτωσης και μεταφοράς μεταλλεύματος, €/t

C=κόστος εμπλουτισμού (θραύση, λειοτριβήση, εμπλουτισμός για παραγωγή συμπακνώματος, €/t).

Εφόσον υπάρχουν 2 μέταλλα ένα βασικό και ένα πολύτιμο ήτοι χαλκός και χρυσός, αντίστοιχα, η Εξ. (2.10) μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$P = F(V_{gold}SP_{gold} + V_{copper}SP_{copper}) - SR A - B - 2 C \quad (2.11)$$

Το κόστος μεταφοράς και εξόρυξης είναι το άθροισμα του κάθε κόστους ξεχωριστά:

- α. λειτουργίας OC,
- β. λιπαντικών LC
- γ. συντήρησης M,

όπου (Εξαδάκτυλος, 2015):

$$OC = N U HP n_{\mu\eta\chi} 6000 \quad (2.12)$$

$$LC = 0,25 OC \quad (2.13)$$

$$M = N C MC \quad (2.14)$$

όπου:

6000: συντελεστής μετατροπής μονάδων για τις ώρες εργασίας (250 εργάσιμες μέρες και 3 βάρδιες την ημέρα)

U= κατανάλωση lt/hp/hr (θεωρείται 0,2 για όλα τα μηχανήματα)

N= αριθμός μηχανημάτων

HP= ιπποδύναμη

$n_{\mu\eta\chi}$ = συντελεστής χρήσης μηχανήματος (0,8)

C= αρχικό κόστος αγοράς

MC= συντελεστής συντήρησης μηχανήματος (0,16 για μεταχειρισμένο, 0,08 για καινούργιο)

Από τα παραπάνω προκύπτει ο εξής συγκεντρωτικός πίνακας κόστους κτήσης και λειτουργίας του μηχανολογικού εξοπλισμού (Πίν. 2.3):

Εξοπλισμός	Ποσότητα	Κόστος κτήσης €	Κόστος Λειτουργίας €/yr	Κόστος Λιπαντικών €/yr	Κόστος Συντήρησης €/yr
CAT 986H	1	360.000	423.360	105.840	57.600
CAT 785D	5	2.950.000	6.470.400	1.617.600	2.360.000
FlexiROC D65	1	200.000	14.4000	3.6000	94.400
Σύνολο		3.610.000	7.037.760	1.759.440	2.512.000

Πίνακας 2.3: Συγκεντρωτικός πίνακας επιμερισμού κόστους μηχανολογικού εξοπλισμού της υπαίθριας φάσης.

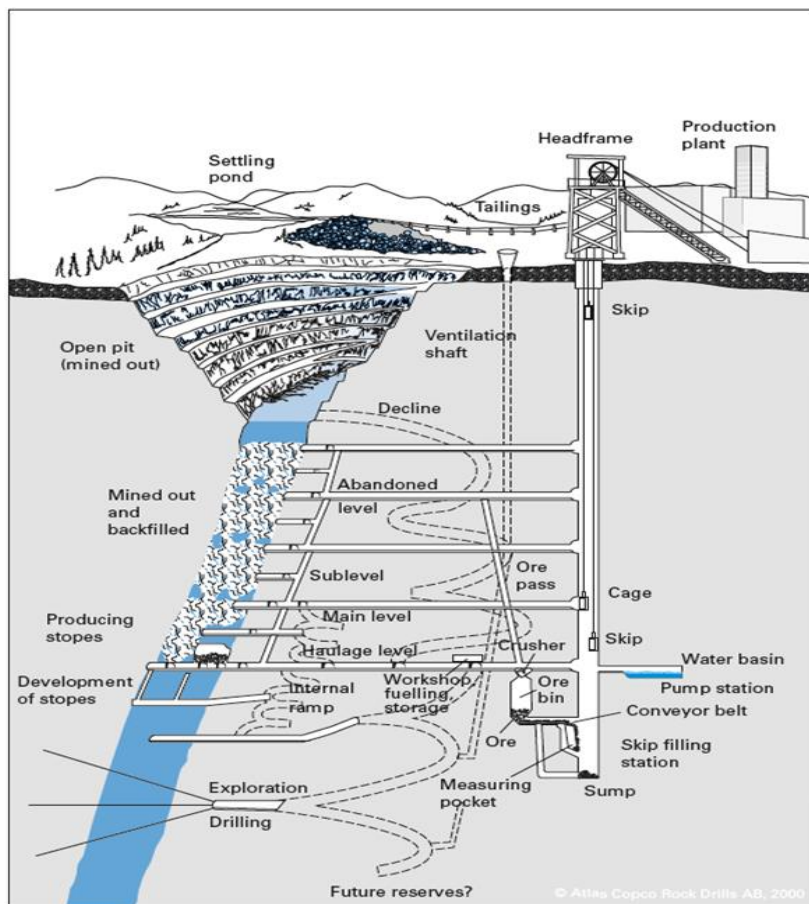
Από τον παραπάνω πίνακα και τους συνολικούς τόνους που θα εξορυχθούν υπολογίζεται ότι το κόστος εξόρυξης της υπαίθριας φάσης είναι 2,15 €/t.

Στο συνολικό «στεγνό» κόστος (dry cost) θα πρέπει να συνυπολογισθεί και το κόστος των ΕΥ, αναλωσίμων για την διάτρηση (στελέχη και κοπτικά άκρα), και το εργατικό κόστος που μπορεί να είναι και πάνω από 50% του συνολικού μοναδιαίου κόστους. Επίσης το κόστος απαλλοτρίωσης οικοπέδων, κόστος κτιριακών εγκαταστάσεων, εξοπλισμού εργοστασίων θραύσης-λειτουργίβησης και εμπλουτισμού, κόστος περιβαλλοντικής αποκατάστασης κλπ.

Κεφάλαιο 3 Υπόγεια εκμετάλλευση

3.1 Υπόγειες εκμεταλλεύσεις

Οι υπόγειες μέθοδοι εξόρυξης προσαρμόζονται στις επί τόπου συνθήκες του πετρώματος (λιθολογία, τεκτονική, υπόγεια νερά), το σχήμα, τις διαστάσεις και μηχανικές ιδιότητες του κοιτάσματος και των περιβαλλόντων πετρωμάτων. Για την υπόγεια εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος απαιτούνται σημαντικές υποδομές στην επιφάνεια και στο υπέδαφος (σχήμα 3.1). Αρχικά πρέπει να είναι δυνατή η πρόσβαση στα μέτωπα εργασίας και να υπάρχει παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, πεπιεσμένου αέρα, ύδατος κλπ. Πολύ σημαντικές είναι και οι υποδομές που αφορούν τη μεταφορά-ανέλκυση του μεταλλεύματος, ο αερισμός, η αποστράγγιση του υπόγειου νερού καθώς και η συντήρηση του εξοπλισμού και η πιθανή τοποθέτηση μονάδος θραύσης στα υπόγεια και αποθήκευσης θρυμματισμένου μεταλλεύματος.



Σχήμα 3.1: Βασική υποδομή και έργα ενός υπόγειου μεταλλείου.
(Fernberg, 2000)

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος μεταφοράς προσωπικού, μεταλλεύματος και στείρου πετρώματος είναι με κατακόρυφα φρέατα. Το φρέαρ έχει πρόσβαση στους κυρίους υπόγειους ορόφους και είναι η κύρια «αρτηρία» του μεταλλείου για ότι κινείται κατακόρυφα. Το φρέαρ, οι ράμπες, οι διευθυντικές στοές ενώνονται με τα μέτωπα εργασίας και τα λούκια μεταλλεύματος για την καλύτερη μεταφορά προσωπικού και εξοπλισμού.

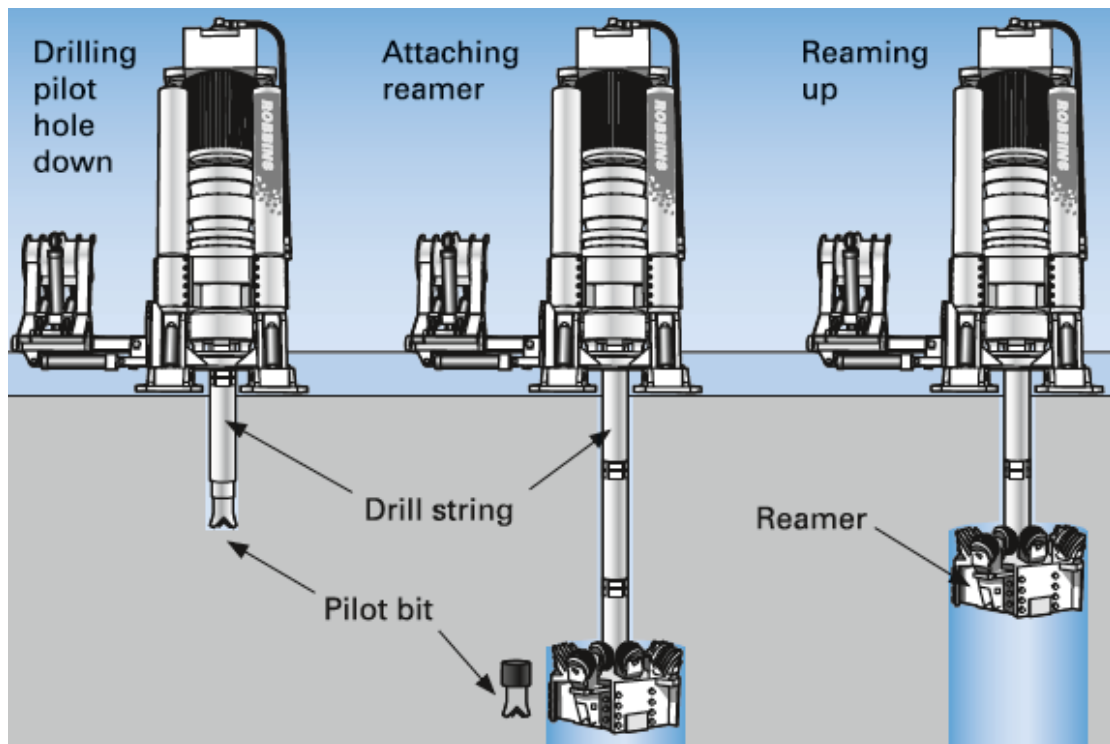
Σημαντικό είναι ο τρόπος διαχείρισης του μεταλλεύματος να είναι αποτελεσματικός. Το θραυσμένο μετάλλευμα μεταφέρεται από τα μέτωπα εργασίας σε λούκια μεταλλεύματος (ore passes) με χρήση φορτωτών ή φορτωτών και φορτηγών. Το λούκι μεταλλεύματος καταλήγει σε έναν όροφο μεταφοράς. Από εκεί το μετάλλευμα είτε πάει σε έναν υπόγειο θραυστήρα και στη συνέχεια στο φρέαρ (που είναι εξοπλισμένο με skip) ή πάει κατευθείαν στο φρέαρ και από εκεί στον θραυστήρα στην επιφάνεια (Σχ. 3.1). Η μεταφορά του θραυσμένου υλικού στον όροφο μεταφοράς γίνεται είτε με μεταφορικές ταινίες είτε με φορτωτή.

Η κάθε μέθοδος απαιτεί διαφορετικές υποδομές και έργα προσπέλασης όπως διευθυντικές στοές που ενώνουν υπο-ορόφους, σημεία φόρτωσης (loading drawpoints) κ.α. Όλα μαζί δημιουργούν ένα δίκτυο ραμπών, φρεάτων, στοών με το καθένα από αυτά να έχει μια συγκεκριμένη λειτουργία.

Η ανάπτυξη του μεταλλείου περιλαμβάνει την εκσκαφή πετρώματος για κατακόρυφα φρέατα, οριζόντιες στοές, ράμπες, σταθμούς θραύσης, χώρους αποθήκευσης εκρηκτικών υλών και καυσίμων, σταθμούς άντλησης και χώρους για άλλες εργασίες. Η μέθοδος της διάτρησης ανατίναξης αποτελεί την τυπική μέθοδο διάνοιξης των στοών και των κεκλιμένων.

Η κλίση της ράμπας κυμαίνεται μεταξύ 1:10 και 1:7. Η ελάχιστη ακτίνα των καμπυλών είναι 15 m. (Fernberg, 2007)

Τα κατακόρυφα ανοίγματα αερισμού, λουκιών μεταλλεύματος και μεταφοράς λιθογώμωσης διανοίγονται είτε με μηχανήμα διάνοιξης ανιόντων κεκλιμένων (Raise Boring) (Σχ. 3.2) που μπορεί να διανοίξει υπόγεια κεκλιμένα με διάμετρο έως 6 m, είτε με διάτρηση ανατίναξη από το πάτωμα προς την κορυφή.



Σχήμα 3.2: Μηχάνημα Race Boring. (Fernberg, 2007)

3.2 Επιλογή μεθόδου εκμετάλλευσης

Το κοίτασμα αποτελείται από ένα ογκώδες κυλινδρικό τμήμα και από μικρότερα φλεβικά τμήματα, για αυτόν τον λόγο η υπόγεια μέθοδος εκμετάλλευσης θα είναι μικτή και θα αποτελείται από της εξής μεθόδους:

- α. Το κυλινδρικό τμήμα θα εξορυχθεί με την μέθοδο Διαδοχικών Ορόφων με Κενά Μέτωπα (Sublevel open stopping) και λιθογόμωση τους σε δεύτερη φάση.
- β. Λόγω της χαμηλής αραίωσης και της ευελιξίας της μεθόδου τα φλεβικά τμήματα θα εξορυχθούν με τη μέθοδο διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων (Cut & fill).

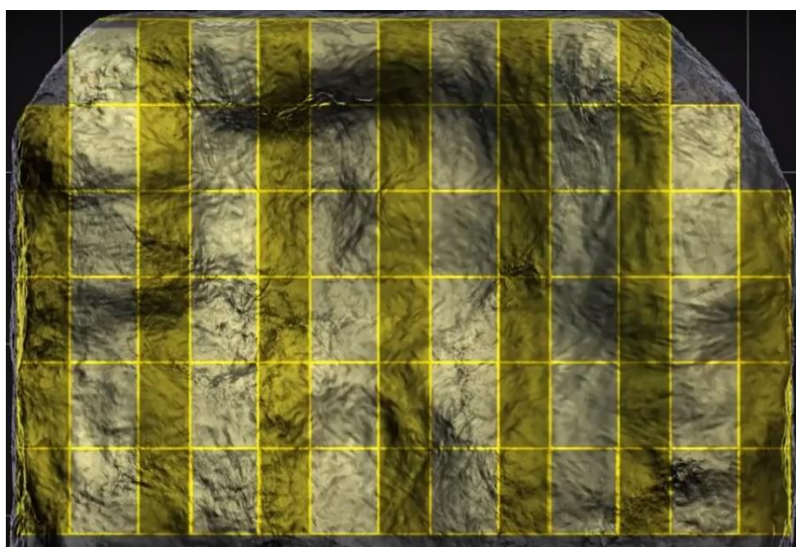
3.3 Μέθοδος κενών μετώπων

3.3.1 Γενική περιγραφή

Η μέθοδος κενών μετώπων είναι συνήθης μέθοδος υπόγειας εκμετάλλευσης σε εξορύξεις μεγάλης κλίμακας και συνήθως εφαρμόζεται σε κοιτάσματα με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Μεγάλη κλίση κοιτάσματος
- Σταθερή βραχώμαζα στην οροφή και το πάτωμα
- Μεγάλο σώμα μεταλλεύματος (orebody)
- Ανθεκτικό μέταλλευμα και μητρικό πέτρωμα
- Ομαλά όρια μεταλλεύματος (regular ore boundaries)

Το μέταλλευμα εξορύσσεται σε ανοιχτά μέτωπα (Σχ. 3.3) τα οποία λιθογομώνονται μετά την εξόρυξη τους. Τα μέτωπα είναι μεγάλα συνήθως στην κατακόρυφη διεύθυνση. Ενδιάμεσα των μετώπων εγκαταλείπονται τμήματα μεταλλεύματος (δευτερεύοντα μέτωπα που θα εξορυχθούν αργότερα) για να υποστηρίξουν την οροφή. Επίσης όπως φαίνεται στο (Σχ. 3.1) εγκαταλείπεται οριζόντια λωρίδα μεταλλεύματος ικανού πάχους (crown pillar) που διαχωρίζει την υπαίθρια από την υπόγεια εκμετάλλευση και παράλληλα τις προστατεύει από την αλληλεπίδραση των.



Σχήμα 3.3: Κατακόρυφη τομή που φαίνεται ο διαχωρισμός ενός κοιτάσματος σε κύρια μέτωπα (κίτρινο) και δευτερεύοντα (γκρι). (Atlas CopCo)

Το μετάλλευμα εξορύσσεται με διάτρηση διατρημάτων μεγάλου μήκους (long-hole drilling), τα οποία έχουν διάμετρο από 50 μέχρι 120 χιλιοστά και μήκος μέχρι 100 μέτρα. Τα διατρήματα αυτά μπορούν να έχουν οποιαδήποτε κλίση, συνήθως όμως εφαρμόζεται διάταξη μορφής “βεντάλιας”. Λόγω του σύγχρονου εξοπλισμού διάτρησης, φόρτωσης, των εκρηκτικών υλικών, των τεχνικών έκρηξης και των διαφόρων τεχνικών λιθογόμωσης, η μέθοδος κενών μετώπων είναι μια πολύ αποδοτική και παραγωγική καθώς και αρκετά ευέλικτη μέθοδος εξόρυξης. Μόλις ολοκληρωθούν τα έργα προσπέλασης η παραγωγή μπορεί να διατηρείται υψηλή διότι μπορούν να εξορύσσονται διάφορα μέτωπα ταυτόχρονα.

Κατά τον σχεδιασμό ενός συστήματος παραγωγής της μεθόδου κενών μετώπων, θα πρέπει να υπάρχει κατά νου ότι οι ρυθμοί παραγωγής στα διάφορα μέτωπα θα έχουν μεγάλη διακύμανση. Επειδή πρέπει να γίνουν αρκετά έργα προσπέλασης και περιχάραξης-προπαρασκευής στην αρχή έως ότου ξεκινήσει η φάση παραγωγής, ο ρυθμός παραγωγής θα είναι χαμηλός μέχρι να ολοκληρωθούν τα έργα αυτά. Απαιτείται καλός προγραμματισμός των εργασιών εξόρυξης για να επιτευχθεί ομαλός ρυθμός παραγωγής. Όπως και σε οποιαδήποτε άλλη καλή μέθοδο εξόρυξης, η μέγιστη οικονομική ανάκτηση του μεταλλεύματος είναι ο κύριος οικονομικός παράγοντας.

3.3.2 Χαρακτηριστικά σχεδιασμού μετώπων

Μήκος και πλάτος

Οι παρακάτω είναι κάποιοι από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν τις διαστάσεις των μετώπων:

- Γεωμετρία του κοιτάσματος.
- Γεωλογία (τεκτονική και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιβάλλουσας βραχώμαζας και του κοιτάσματος).
- Επί τόπου τάσεις.
- Αντοχή της βραχώμαζας.
- Σχεδιασμός διάτρησης – ανατίναξης.

Αρκετές φορές ο αρχικός σχεδιασμός των μετώπων γίνεται πριν καν τα έργα προσπέλασης συναντήσουν το κοίτασμα. Η διαστασιολόγηση των μετώπων είναι κρίσιμη απόφαση και χρειάζεται βοήθεια από πολλούς έμπειρους ανθρώπους σε αυτό το στάδιο. Χειριστές μηχανημάτων με προηγούμενη εμπειρία σε κοιτάσματα τέτοιου τύπου, ειδικού βραχομηχανικής και άλλοι με εμπειρία στον σχεδιασμό μεταλλείων θα πρέπει να συμμετέχουν σε αυτό το στάδιο του σχεδιασμού των μετώπων (Mann, 1998).

Ύψος

Οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη όταν αποφασίζεται το ύψος των μετώπων είναι οι εξής (Mann, 1998):

- Ευστάθεια οροφής και των τοιχωμάτων.
- Κλίση του κοιτάσματος (dip)
- Ειδικό βάρος του κοιτάσματος.
- Το μέγιστο μήκος που μπορεί να διατρήσει το διατρητικό μηχανήμα.
- Αντοχή του μεταλλεύματος
- Την απόσταση των ορόφων στο μεταλλείο.

Σε ανθεκτικό πέτρωμα, το μήκος το διατρημάτων και η ακρίβεια είναι τα πιο σημαντικά κριτήρια που καθορίζουν το ύψος των μετώπων.

3.3.3 Διάνοιξη κεκλιμένων αποκομιδής προϊόντων εξόρυξης

Ένα κεκλιμένο αποκομιδής προϊόντων εξόρυξης (καμινέτο) ή κάποιο άλλο κενό στο πέτρωμα στην αρχή της εκμετάλλευσης του ορόφου είναι αναγκαίο στις συνήθεις μεθόδους κενών μετώπων όπου το μετάλλευμα ανατινάζεται με διατρήματα με τη μορφή βεντάλιας ή από σειρές διατρημάτων. Το καμινέτο αυτό μπορεί να ανοιχθεί με μηχανήμα όρυξης ανιόντων κεκλιμένων (raise boring) (Σχ. 3.2) και άλλες τυπικές μεθόδους διάνοιξης καμινέτων. Το καμινέτο αυτό επεκτείνεται από το πάτωμα έως την κορυφή του μετώπου.

3.3.5 Διάτρηση παραγωγής

Παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν κατά τον σχεδιασμό των διατρημάτων, του εξοπλισμού και τις περιοχές διάτρησης είναι οι εξής (Mann, 1998):

- Διατρησιμότητα του μεταλλεύματος.
- Σκληρότητα και συχνότητα ρωγμών.
- Χαρακτηριστικά του θρυμματισμού.
- Τύπος και ακρίβεια του εξοπλισμού διάτρησης.
- Προσανατολισμός και απόσταση των διατρημάτων.
- Διάμετρος διατρήματος.
- Μήκος διατρήματος.

Καινοτομίες στον εξοπλισμό διάτρησης (διατρητικά τύπου simba, down-the-hole τύπου longhole κ.α.) έχουν αυξήσει την αποδοτικότητα και τις εφαρμογές της μεθόδου κενών μετώπων περισσότερο από οποιονδήποτε άλλο παράγοντα. Τυπικά κρουστικά διατρητικά τύπου long-hole χρησιμοποιούνται ακόμα, αλλά οι αποτελεσματικές μέθοδοι χρησιμοποιούν βαρείες ενδοδιατρηματικές αερόσφυρες (τύπου down-the-hole) και ηλεκτρο-υδραυλικά περιστροφικά διατρητικά φορεία και κρουστικο-περιστροφικές υδραυλικές σφύρες, ικανά να διανοίξουν διατρήματα διαμέτρου έως και 200 χιλιοστών. Τα διατρήματα μπορούν να φτάσουν σε βάθη 100 μέτρων με λιγότερο από 2% απόκλιση με διατρητικά τύπου down-the-hole. Διάτρηση τύπου “βεντάλιας” μπορεί να πραγματοποιηθεί με ειδικά διατρητικά φορεία τύπου simba.

3.3.6 Διαδικασία ανατίναξης

Ο τύπος των εκρηκτικών που επιλέγεται με βάση τους εξής παράγοντες:

- Ισχύς εκρηκτικής ύλης
- Ειδική κατανάλωση ΕΥ (gr EY/m^3 πετρώματος).
- Πυκνότητα εκρηκτικής ύλης
- Ταχύτητα έκρηξης

- Προσανατολισμός και απόσταση των διατρημάτων
- Προσιτότητα στο κολάρο του διατρήματος για να γομωθεί με εκρηκτική ύλη

Η ανατίναξη μπορεί να γίνει με την χρήση ηλεκτρικών ή μη ηλεκτρικών καψυλίων (Nonel). Μη ηλεκτρικά καψύλια χρησιμοποιούνται σε περιοχές με κίνδυνο πρόωρης έκρηξης από παρασιτικά ηλεκτρικά ρεύματα. Οι τύποι καθυστέρησης έχουν σημαντικό αποτέλεσμα στις δονήσεις λόγω της έκρηξης και στην θραύση του μεταλλεύματος. Ο μέγιστος αριθμός διατρημάτων και η ποσότητα εκρηκτικής ύλης που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε κύκλο ανατίναξης ορίζεται από τους εξής παράγοντες:

- Πιθανή ζημία στα τοιχώματα, στα έργα προσπέλασης και σε άλλες εγκαταστάσεις
- Το μέγιστο βάρος εκρηκτικής ύλης ανά καθυστέρηση
- Το ποσό του κενού χώρου στο μέτωπο

Οι τύποι εκρηκτικής ύλης μπορεί να είναι τυπικός δυναμίτης, slurry, γαλάκτωμα, μίγματα ANFO, ή συνδυασμός αυτών. Μια πληθώρα επιλογών έναυσης των εκρηκτικών υλών μπορεί να επιλεγθεί. Τεχνικές συζητήσεις με ειδικούς εκρηκτικών θα πρέπει να γίνουν πριν το τελικό σχεδιασμό του μετώπου.

3.3.7 Θεωρήσεις

Γενικά η μέθοδος των κενών μετώπων είναι μια μεγάλης κλίμακας μέθοδος εκμετάλλευσης. Συνήθως εφαρμόζεται σε εκμεταλλεύσεις όπου το κοίτασμα απαιτεί ελάχιστη υποστήριξη, το περιβάλλον πέτρωμα είναι ανθεκτικό και τα μέτωπα μπορούν να παραμείνουν ανοικτά για μεγάλο χρονικό διάστημα. Το κοίτασμα θα πρέπει να έχει σχετικά απλή γεωμετρία με σαφή όρια. Η κλίση του κοιτάσματος θα πρέπει να είναι μεγάλη ώστε να κινείται το θραυσμένο μέταλλευμα αν και η μέθοδος έχει εφαρμοστεί αποτελεσματικά και σε πιο επίπεδα κοιτάσματα. Η μέθοδος δεν εξαρτάται από το πάχος του κοιτάσματος, αλλά σε κοιτάσματα με πάχος μικρότερο των 6 μέτρων η εφαρμογή τεχνικών διάτρησης διατρημάτων μεγάλου μήκους είναι δύσκολη.

Η μέθοδος απαιτεί αρκετά έργα προσπέλασης και σχετικά υψηλό αρχικό κεφάλαιο (Lawrence, 1998). Όμως αρκετά από τα έργα αυτά βρίσκονται στο μετάλλευμα και το κόστος παραγωγής είναι σχετικά μικρό. Οι εργασίες διάτρησης, ανατίναξης και φόρτωσης γίνονται ανεξάρτητα μεταξύ τους και η χρήση εξοπλισμού είναι υψηλή. Μεγάλες ποσότητες μεταλλεύματος μπορούν να εξορυχθούν με λίγα σχετικά μηχανήματα και περιορισμένο προσωπικό. Αραίωση με στείρο πέτρωμα μπορεί να γίνει εάν τα όρια δεν είναι σαφή ή υπάρχει κατακρήμνιση του στείρου, αλλά εξορύσσετε το 100% του μεταλλεύματος μεταξύ των μετώπων.

3.3.8 Έργα προπαρασκευής – ανάπτυξης

Είσοδος στους υπό ορόφους γίνεται είτε από το κύριο μέτωπο ή με κάποιο φρέαρ ή με ράμπα που ενώνεται με τον κύριο όροφο, μακριά από πιθανές επιδράσεις των εκρήξεων και άλλων διεργασιών παραγωγής που γίνονται στο μέτωπο. Η απόσταση μεταξύ των κύριων ορόφων είναι μεταξύ 40 και 120 μέτρων, ανάλογα την κατακόρυφη έκταση του κοιτάσματος και τον αριθμό των χοανών. Για μεγαλύτερους ορόφους οι χοάνες είναι υποχρεωτικές για να διατηρείται σταθερή η παραγωγή και να συλλέγεται το μετάλλευμα πιο εύκολα.

Οι κύριες διεθυντικές στοές είναι τοποθετημένες στο πάτωμα των μετώπων, είτε κατευθείαν στο μετάλλευμα ή στο στείρο πέτρωμα και είναι ενωμένες με εγκάρσιες στοές σε κάθε όροφο και υπό όροφο. Μπορούν να διανοιχτούν μικρά κεκλιμένα (καμινέτα) για ευκολότερη πρόσβαση στους ορόφους, για το σύστημα αερισμού, λιθογόμωσης και «περάσματος» ηλεκτρικών καλωδίων.

3.3.9 Τεχνολογία παραγωγής

Η εξόρυξη παραγωγής στο σύστημα με τους υπό ορόφους γίνεται σχεδόν αποκλειστικά με μακριά διατρήματα σε σχήμα δακτυλίου ή βεντάλιας. Το μήκος των διατρημάτων εξαρτάται από το σχήμα του κοιτάσματος και από τις αποστάσεις των υπο-ορόφων. Τα μακριά διατρήματα συνήθως δεν ξεπερνούν τα 25 m διότι σε μεγαλύτερα μήκη υπάρχουν σοβαρά προβλήματα λόγω αποκλίσεων. Η απόσταση και

το φορτίο των διατηρημάτων εξαρτάται από το βαθμό θρυμματισμού που απαιτείται και είναι 2 με 3 μέτρα για κανονική διάτρηση. Ο βαθμός θρυμματισμού εξαρτάται από τον θραυστήρα και το μέγεθος του εξοπλισμού που μεταφέρει το μετάλλευμα. Το μετάλλευμα απομακρύνεται από το μέτωπο και μέσα από ένα λούκι μεταλλεύματος καταλήγει στον όροφο μεταφοράς και από εκεί στην επιφάνεια. Για μεγαλύτερα μέτωπα μπορούν να κατασκευαστούν χοάνες στο πάτωμα και από εκεί να συλλέγεται το μετάλλευμα για την εν συνεχεία προώθηση του στην επιφάνεια.

3.3.10 Υποστήριξη μετώπων

Ένα πιθανόν σημαντικό πρόβλημα της μεθόδου κενών μετώπων είναι ότι τα μέτωπα είναι μεγάλα και πρέπει να παραμείνουν ανοιχτά έως ότου ολοκληρωθούν οι εργασίες παραγωγής και στη συνέχεια να λιθογομωθούν. Για τον λόγο αυτό η υποστήριξη του πετρώματος στα μέτωπα είναι απαραίτητη.

Ο τύπος υποστήριξης του πετρώματος σε ένα συγκεκριμένο μέτωπο εξαρτάται από παράγοντες όπως, η αντοχή της βραχομάζας, η γεωμετρία της εκσκαφής, οι προϋπάρχουσες τάσεις του πετρώματος, η μέθοδος διάτρησης-ανατίναξης και η ύπαρξη υπογείων υδάτων.

Δύο τεχνικές σταθεροποίησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βελτιώσουν και διατηρήσουν το φορτίο που μπορεί να αντέξει η βραχομάζα στα όρια μιας υπόγειας εκσκαφής:

1. *Ενίσχυση βραχομάζας (rock reinforcement)*: η ενίσχυση γίνεται με αγκύρωση, όπου άκαμπτα (χαλύβδινοι ραβδοί που χρησιμοποιούνται στο οπλισμένο σκυρόδεμα, rebars) ή/και εύκαμπτα αγκύρια τοποθετούνται σε διατρήματα που έχουν διανοιχθεί στο πέτρωμα και στη συνέχεια πακτώνονται.
2. *Υποστήριξη βραχομάζας (rock support)*: η υποστήριξη τοποθετείται πάνω στο άνοιγμα, π.χ. μεταλλικά πλαίσια, δομικά πλέγματα και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Τα μέτρα ενίσχυσης της βραχομάζας παρέχουν ικανοποιητική σταθεροποίηση της βραχομάζας σε κάποιο βάθος εντός αυτής με το να αυξάνουν τις ιδιότητες αντοχής της σ' αυτό το βάθος. Η ενίσχυση γύρω από την εκσκαφή αποτρέπει την αποκόλληση

χαλαρών βράχων και αυξάνει την διατμητική αντοχή των ασυνεχειών που διασχίζουν το πέτρωμα και δημιουργεί «αψίδες προστασίας» πάνω από κενά μέτωπα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας ενισχυμένης ζώνης που βοηθάει στην ανακατανομή των τάσεων γύρω από την εκσκαφή και ελαχιστοποιεί την διαστολή των ασυνεχειών. Η προσεκτική ανατίναξη (ελάχιστη απόκλιση διατρημάτων, σωστή γόμωση και πυροδότηση) και η απομάκρυνση χαλαρών ογκοτεμαχίων πετρώματος γύρω από τις εκσκαφές μειώνουν το ποσό των χαλαρών βράχων που πρέπει να υποστηριχθούν, ενισχύοντας έτσι την αυτό σταθεροποίηση της βραχώμαζας.

Στις εξορύξεις της μεθόδου κενών μετώπων, η κύρια μορφή σταθεροποίησης της εκσκαφής παρέχεται από την προ-ενίσχυση της βραχώμαζας, από διάφορες στοές ανάπτυξης. Υποστήριξη της βραχώμαζας, από πλέγματα και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, απαιτείται για να συγκρατεί την επιφάνεια της ήδη ενισχυμένης εκσκαφής. Η υποστήριξη ελέγχει την συνολική ευστάθεια της οροφής και των τοιχωμάτων των εκσκαφών, ενώ τα πλέγματα και το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα υποστηρίζουν μικρότερους χαλαρούς βράχους ή τμήματα βράχων που θα μπορούσαν να αποκολληθούν εάν η εκσκαφή ήταν μόνο αγκυρωμένη.

Η ενίσχυση με χαλύβδινα συρματόσχοινα χρησιμοποιείται για να σταθεροποιήσει μεγάλα μπλοκ ή σφήνες που δημιουργούνται στα τοιχώματα των μετώπων κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης. Επιπλέον η χρήση των χαλύβδινων καλωδίων ενισχύσει αποτελεσματικά τα τοιχώματα του μετώπου, όπου η χρήση άκαμπτων αγκυρίων δεν θα ήταν αποτελεσματική λόγω των μικρών μηκών τους. Για την ενίσχυση των τοιχωμάτων του μετώπου, τα χαλύβδινα καλώδια εγκαθίστανται μέσω διατρημάτων στο κενό του μετώπου. Ο κύριος σκοπός είναι η σταθεροποίηση της βραχώμαζας στο μέτωπο και τα τοιχώματα πριν το μετάλλευμα εξορυχθεί.

Η ενίσχυση με αγκύρωση χαλύβδινων συρματόσχοινων (cable bolting) γίνεται σε συγκεκριμένες θέσεις, που συνήθως εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ ορόφων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αντιμετωπισθούν οι παραμορφώσεις που εμφανίζονται στα όρια του μετώπου. Τα μέτωπα και τα τοιχώματα τους ενισχύονται πριν από την ανατίναξη των διατρημάτων και στις περισσότερες περιπτώσεις τοποθετούνται χαλύβδινα καλώδια από διατρήματα τύπου δακτυλίου από κατάλληλες στοές.

Η υποστήριξη από την λιθογόμωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειωθούν οι παραμορφώσεις στα τοιχώματα του μετώπου ενώ συγκρατούν γειτονική βραχώμαζα.

Γενικά, λιθογόμωση με κάποιου είδους τσιμέντου είναι απαραίτητη για την ανάκτηση του μεταλλεύματος στα δευτερεύοντα μέτωπα. Αυτό το είδος λιθογόμωσης είναι απαραίτητο σε μεγάλα κοιτάσματα (massive orebodies) όπου η εξόρυξη λαμβάνει χώρα με μορφής “σκακιέρας” (chequeboard).

3.3.11 Αγκύρωση με συρματόσχοινα

Η αγκύρωση με συρματόσχοινα χρησιμοποιείται για να σταθεροποιηθούν μεγάλα ογκοτεμάχια ή σφήνες που έχουν δημιουργηθεί στα μέτωπα και τα τοιχώματα σε συνδυασμό με προϋπάρχουσες ασυνέχειες. Επιπλέον τα συρματόσχοινα παρέχουν μια επιπλέον ενίσχυση στα τοιχώματα του μετώπου όπου τα κανονικά αγκύρια είναι γεωμετρικά ανεπαρκείς λόγω του μικρού μήκους τους. Για την ενίσχυση των τοιχωμάτων, τα συρματόσχοινα συνήθως εγκαθίστανται μέσω διατρημάτων που καταλήγουν στο μέτωπο. Ο κύριος σκοπός είναι η σταθεροποίηση της βραχόμαζας πριν το την διάνοιξη του κενού μετώπου. Η εγκατάσταση των συρματόσχοινων γίνεται από στοές που μπορούν να διανοιχτούν γύρω από το μέτωπο. Αυτές οι στοές μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά για την εγκατάσταση των συρματοσχοίων. Για να μειωθεί το κόστος και να αυξηθεί η αποδοτικότητα της αγκύρωσης, οι στοές αυτές ανοίγονται στο ίδιο υψόμετρο με τους ύπο-ορόφους και σε απόσταση 10 – 15 μέτρων από το μέτωπο ([Villaescusa, 2014](#)).

Τα συρματόσχοινα τοποθετούνται ανά 2-3 μέτρα. Το μήκος ενίσχυσης τυπικά είναι όσο το μήκος της ασταθούς βραχόμαζας στο μέτωπο συν ένα συγκεκριμένο μήκος για την κοχλίωση και την αγκύρωση. Το αδύναμο πέτρωμα ενώνεται με δυνατότερο πέτρωμα στην βραχόμαζα από τα μακρύτερα συρματόσχοινα. Στην πράξη το μήκος ενός τυπικού συρματοσχοίνου αγκύρωσης έχει μήκος από 6 έως 10 μέτρα ([Villaescusa, 2014](#)). Η απόσταση μεταξύ συρματοσχοίων είναι σχεδιασμένη ώστε να παρέχει μια στατική επάρκεια ίση με το βάρος του υλικού που μπορεί δυνητικά να αστοχήσει. Η τυπική κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των συρματοσχοίων είναι μεταξύ 1,5-2 μέτρα ([Villaescusa, 2014](#)).









3.3.12 Τύποι συρματοσχοίνων

Τα συρματόσχοινα αγκύρωσης αποτελούνται από επτά χαλύβδινους κλώνους (steel wires) υψηλής αντοχής εφελκυσμού. Οι κλώνοι αποτελούνται από ένα αριθμό συρματιδίων πλεγμένων γύρω από την «ψυχή» ή τον πυρήνα του κλώνου. Έξι κλώνοι είναι τοποθετημένοι γύρω από ένα ελαφρώς μεγαλύτερης διαμέτρου κλώνο που καλείται «ψυχή» του συρματόσχοινου. Απλά μονά συρματόσχοινα αγκύρωσης έχουν ελάχιστη αντοχή εφελκυσμού 213 KN και μέγιστη 250 KN (Villaescusa, 2014).

Υπάρχουν δύο κύρια είδη συρματοσχοίνων αγκύρωσης (Σχ. 3.4):

- i. Απλού πλέγματος
- ii. Τροποποιημένου πλέγματος

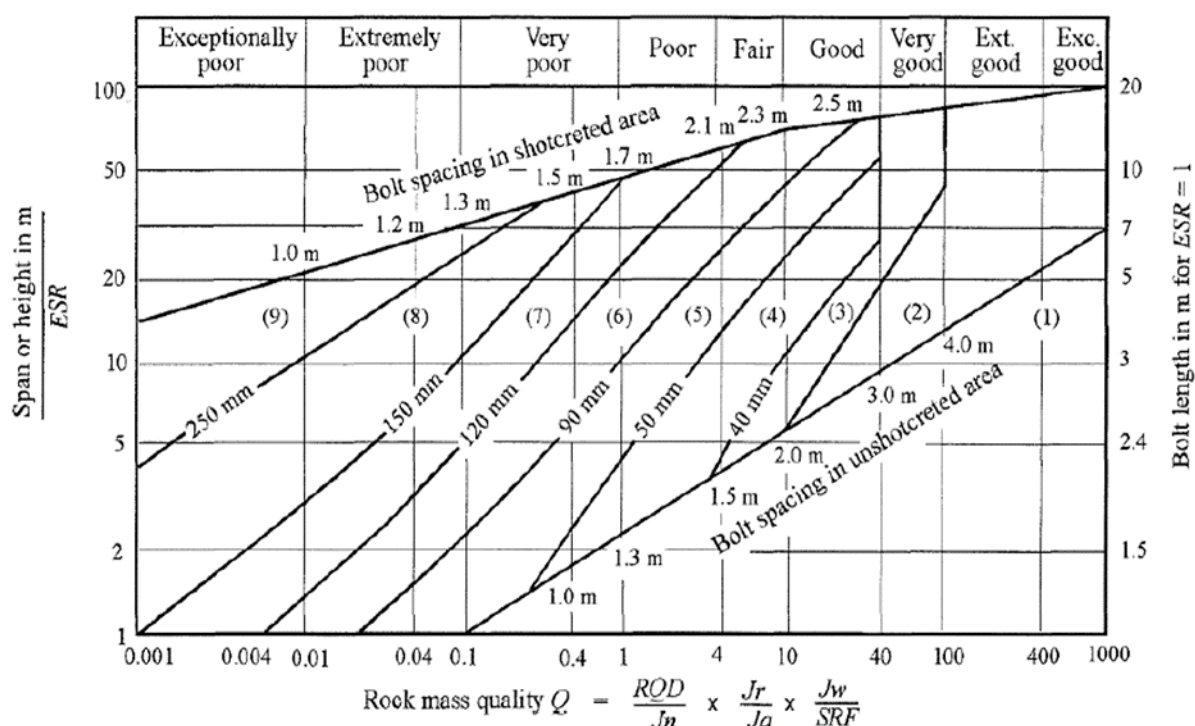
Το μειονέκτημα των συρματοσχοίνων απλού πλέγματος είναι ότι δεν υπάρχει καλή μεταφορά των τάσεων μεταξύ του συρματόσχοινου και του τσιμεντενέματος, όμως είναι πολύ αποτελεσματικά για την υποστήριξη μετώπων. Τα συρματόσχοινα με τροποποιημένα πλέγματα λύνουν το πρόβλημα αυτό.

Longitudinal section	Cross section
 Single plain strand	
 Twin plain strand and spacers	
 Birdcaged—7 wire	
 Bulbed	

Σχήμα 3.4: Συρματόσχοινα διαφόρων τύπων (αριστερά) και διατομές κλώνων (δεξιά) (Villaescusa, 2014).

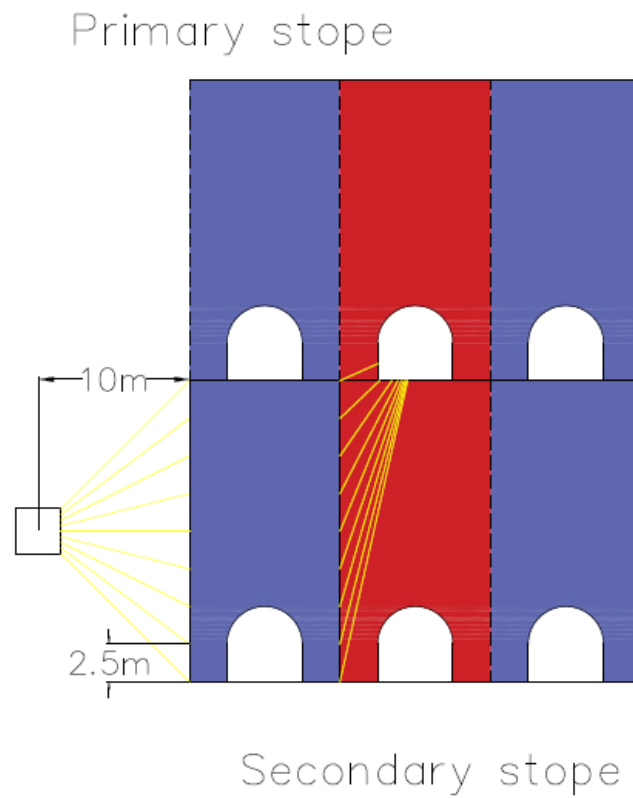
3.3.12 Εφαρμογή μεθόδων υποστήριξης μετώπου

Τα κύρια μέτωπα θα πρέπει να υποστηριχθούν με χαλύβδινα συρματόσχοινα, ενώ τα δευτερεύοντα ανοίγματα θα υποστηρίζονται από την λιθογόμωση. Η απόσταση μεταξύ δύο σειρών διατηρημάτων αγκύρωσης τυπικά θα είναι 3 μέτρα (Villaescusa, 2014). Η απόσταση αγκύρωσης στο τοίχωμα μπορεί να βρεθεί από το νομόγραμμα του Σχ. 3.5. Ο οριζόντιος άξονας παριστά την ποιότητα της βραχομάζας σύμφωνα με το Νορβηγικό σύστημα ταξινόμησης Q και ο κατακόρυφος το μήκος του ανοίγματος με συντελεστή ESR = 1.



Σχήμα 3.5: Διάγραμμα κατηγοριών υποστήριξης υπόγειων ανοιγμάτων με βάση το σύστημα Q. (Hoek, 2000)

Από το Σχ. 3.4 εάν θεωρηθεί ότι πέτρωμα κατατάσσεται στην καλή κατηγορία $Q=10-40$ η απόσταση αγκύρωσης θα είναι 2,5 μέτρα, εφόσον το κάθε μέτωπο θα έχει ύψος 20 μέτρα (βλ. υπο-παρ. 3.3.11) και θα γίνουν 8+1 διατηρήματα από κάθε πλευρά, όπως φαίνεται στο Σχ. 3.6.



Σχήμα 3.6: Αγκύρωση κύριου μετώπου με χαλύβδινα συρματόσχοινα.

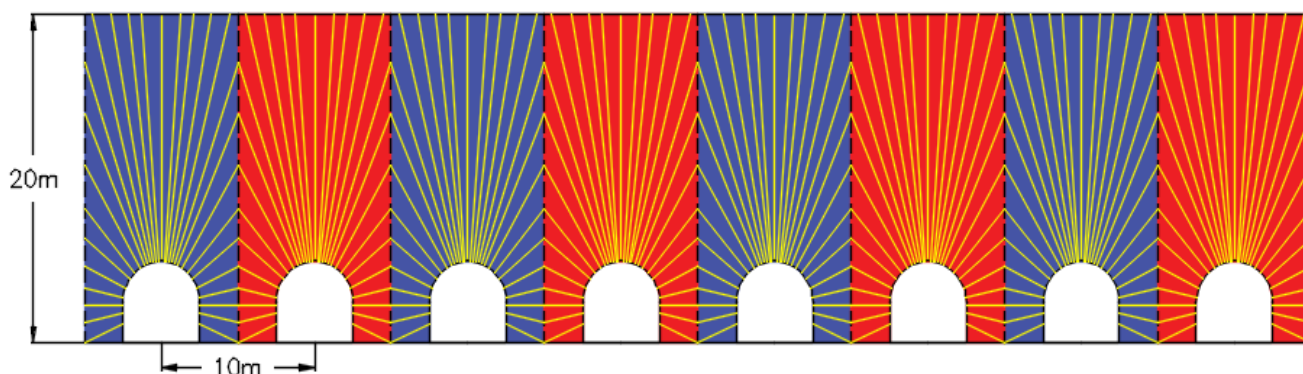
Τα ακριανά μέτωπα θα αγκυρωθούν μέσω μιας μικρότερης στοάς αγκύρωσης σε απόσταση 10 μέτρα από τον τοίχο του μετώπου και από τις δευτερεύοντες στοές ανάπτυξης (Σχ. 3.6). Τα ενδιάμεσα κύρια μέτωπα θα αγκυρωθούν εξ ολοκλήρου από τις δευτερεύοντες στοές ανάπτυξης.

3.3.13 Μεθόδος εκμετάλλευσης

Όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα το κοίτασμα χωρίζεται σε μέτωπα των 20 μέτρων σε ύψος και 10 μέτρα σε πλάτος. Τα μέτωπα αυτά χωρίζονται σε πρωτεύοντα και δευτερεύοντα με μπλε και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα (Σχήμα 3.7).

Primary stope

Secondary stope



Σχήμα 3.7: Πρόσοψη μετώπων

Η εξόρυξη γίνεται ως εξής: αρχικά διανοίγεται μια οριζόντια στοά μέχρι το επιθυμητό μήκος και στη συνέχεια οπισθοχωρώντας, δεδομένου ότι το επιτρέπουν οι συνθήκες του πετρώματος, διανοίγονται τα κατακόρυφα διατρήματα τύπου βεντάλιας προς τα πάνω με αποστάσεις μεταξύ των 2 μέτρων που φτάνουν μέχρι τον πάνω όροφο με σκοπό να πληρωθούν με εκρηκτική ύλη.(Σχ.3.8). Επιπλέον στο τέλος της στοάς διανοίγεται ένα διάτρημα μεγάλης διαμέτρου που δεν πληρώνεται με εκρηκτική ύλη ώστε να δημιουργηθεί μια αρχική ελεύθερη επιφάνεια.

Phase 1



Σχήμα 3.8: Διαμήκης τομή της 1η φάσης μεθόδου κενών μετώπων

Στη συνέχεια ανατινάζεται η πρώτη σειρά διατρημάτων ώστε να δημιουργηθεί ελεύθερος χώρος για να χωράει το θραυσμένο μέταλλευμα (Σχ. 3.9). Το μέταλλευμα που πέφτει μεταφέρεται στο λούκι μεταλλεύματος.

Phase 2



Σχήμα 3.9: 2η φάση μεθόδου κενών μετώπων.

Μετά ανατινάζονται όσα διατρήματα είναι δυνατόν ώστε να πέσει το μέταλλευμα (Σχ. 3.10). Το μέταλλευμα που έπεσε μεταφέρεται στο λούκι μεταλλεύματος. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έως την εξόφληση του περιχαραγμένου τμήματος της εκμετάλλευσης πάνω από το πρωτεύον μέτωπο στοάς (Σχ. 3.11 και 3.12). Στα σχήματα (διαμήκεις τομές) φαίνεται η διαδικασία θράυσης και ανατίναξης του μεταλλεύματος δεν φαίνεται σε κάθε φάση η φόρτωση και η μεταφορά του εξορυγμένου μεταλλεύματος.

Phase 3



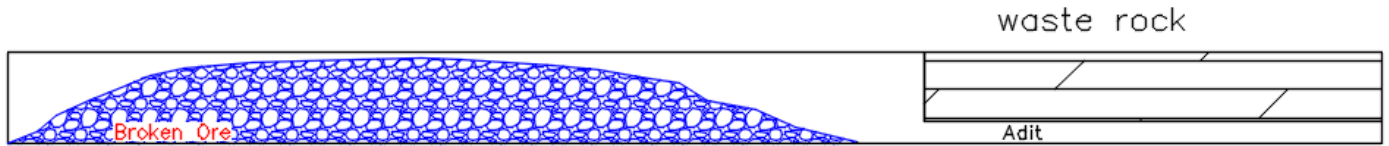
Σχήμα 3.10: 3η φάση μεθόδου κενών μετώπων.

Phase 4



Σχήμα 3.11: 4η φάση μεθόδου κενών μετώπων.

Phase 5



Σχήμα 3.12: 5η φάση μεθόδου κενών μετώπων.

Στο τέλος το κενό λιθογομώνεται με λεπτομερές υλικό λιθογόμωσης, την πάστα, (paste fill) που μεταφέρεται μέσω σωλήνων από το πάνω όροφο (Σχ. 3.13).

Phase 6



Σχήμα 3.13: 6η φάση μεθόδου κενών μετώπων.

3.4.14 Ευστάθεια των υπογείων μετώπων

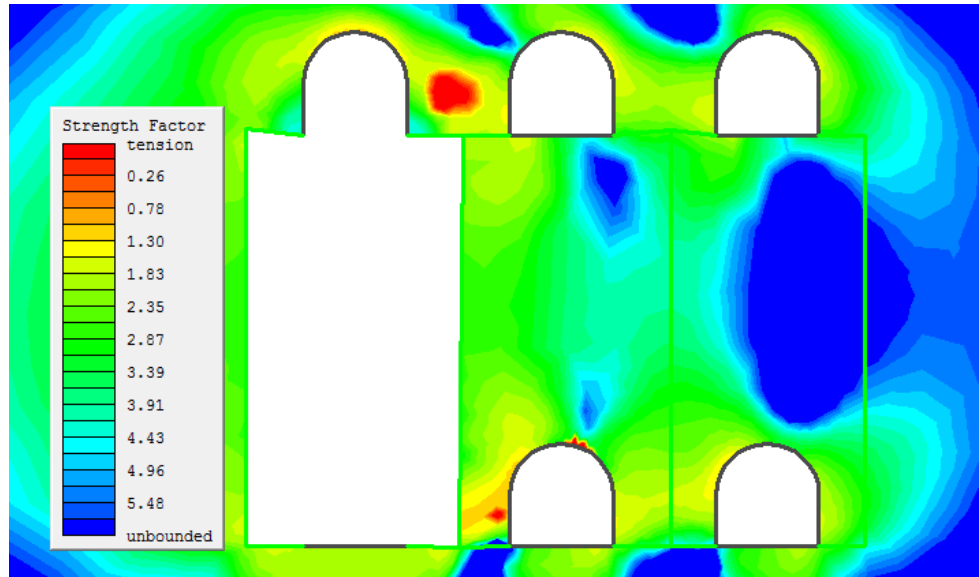
Ένας αρχικός έλεγχος για την ευστάθεια των μετώπων μπορεί να γίνει με ένα υπολογιστικό πρόγραμμα στατικής επάρκειας των υπογείων. Τα προγράμματα αυτά βασίζονται στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, συνοριακών στοιχείων κλπ. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό [Phase 2](#).

Στην υπο-παράγραφο [2.2](#) αναφέρθηκε η συνοχή του πορφύρη ότι είναι 19 MPa και η εσωτερική γωνία τριβής 70°. Οι τιμές αυτές όμως αναφέρονται σε άρρηκτο πέτρωμα. Οι τιμές αυτές υποβαθμίζονται κατάλληλα θεωρώντας και τον τεκτονισμό του πετρώματος και τα υπόγεια νερά οπότε για τον έλεγχο στατικής επάρκειας των υπογείων θα χρησιμοποιηθούν οι εξής τιμές: 9 MPa συνοχή και 35° εσωτερική γωνία τριβής.

Οι τάσεις υπολογίστηκαν με το πρόγραμμα έως ενός βάθους 200 μέτρων. Δεν θεωρήθηκαν οι επαγόμενες τάσεις από την υπερκείμενη υπαίθρια εκμετάλλευση.

Από τους πρώτους προσεγγιστικούς υπολογισμούς του προγράμματος που αφορούν την ευστάθεια των υπόγειων ανοικτών μετώπων παραγωγής (Σχ. 3.14) προέκυψε ότι

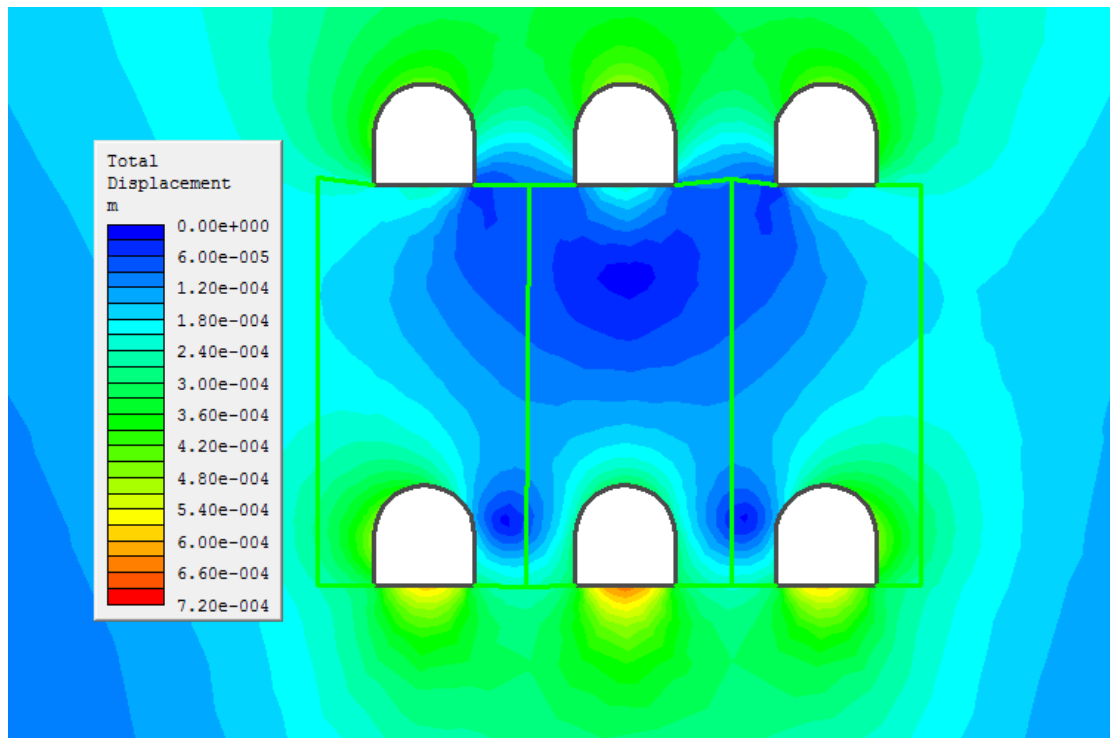
τα μέτωπα είναι ασφαλή έως ένα βάθος περίπου 200 μέτρων από το δάπεδο του υπαίθριου μεταλλείου. Μετά τα 200 μέτρα θα πρέπει να αλλάξει η γεωμετρία των μετώπων



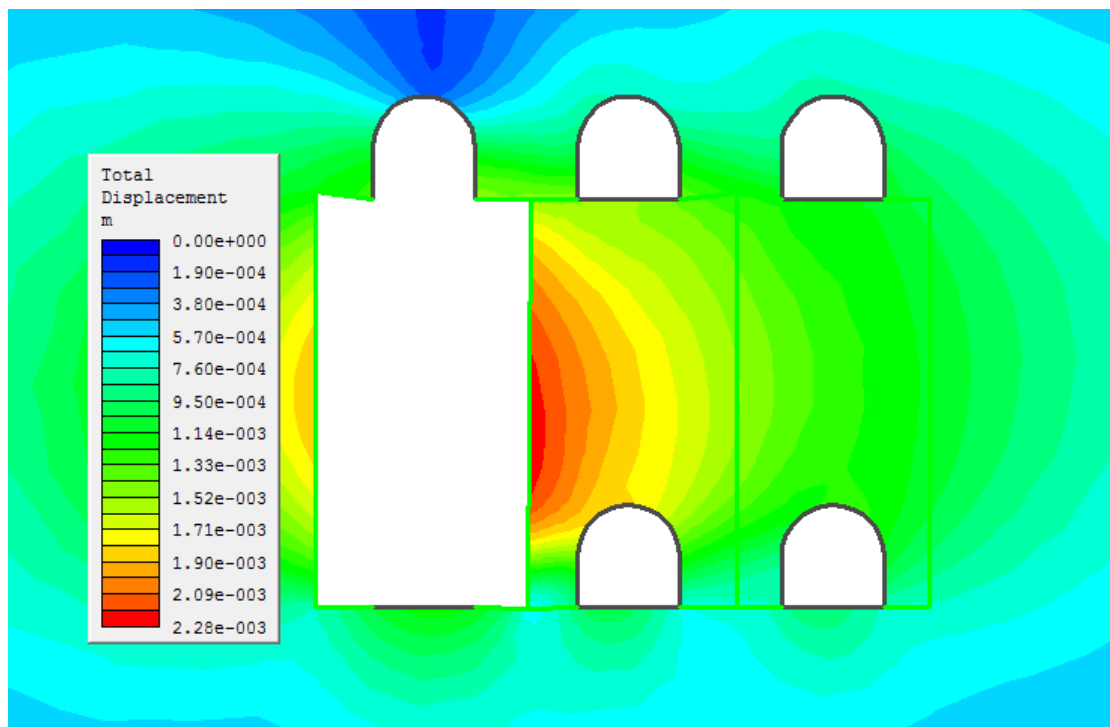
Σχήμα 3.14: Συντελεστής αστοχίας (strength factor) του πετρώματος σε βάθη μεγαλύτερα των 200 μέτρων και στη φάση της εξόφλησης του 1^{ου} πρωτεύοντος μετώπου παραγωγής στη φάση πριν την λιθογόμωση που είναι κενό.

Παρακάτω φαίνονται οι μικρομετακινήσεις των τοιχωμάτων σε ανυποστήρικτα μέτωπα για τα εξής 7 διαφορετικά στάδια:

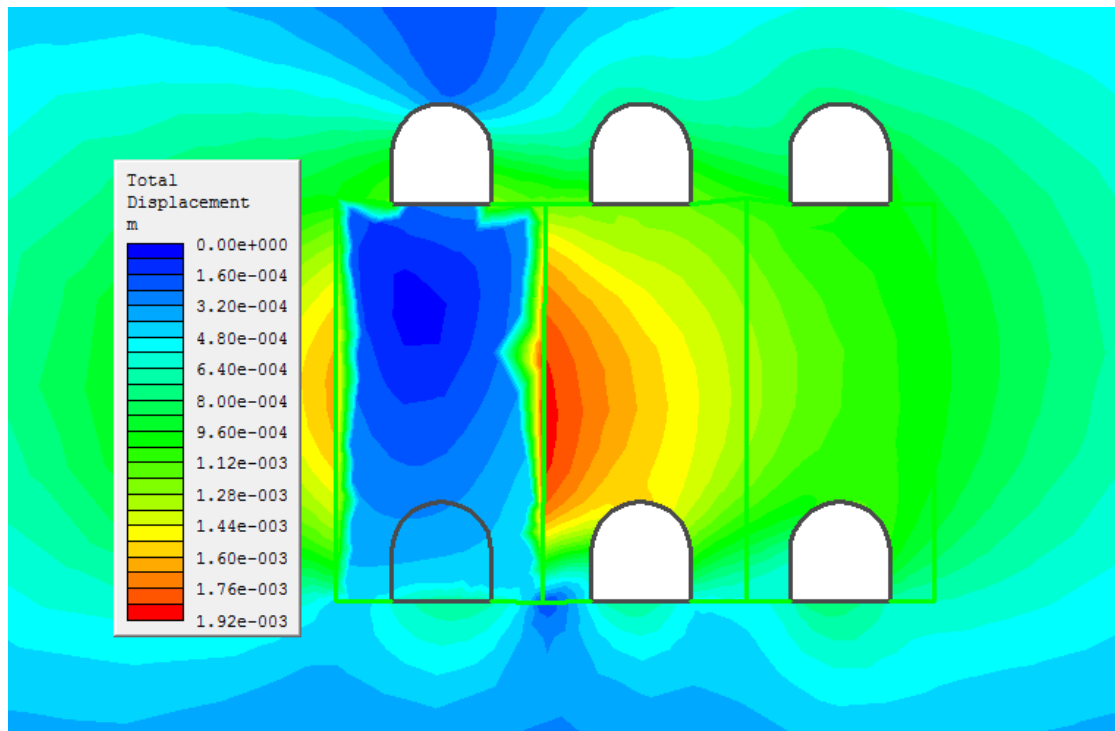
1. Αρχική διάνοιξη στοών, Σχ. 3.15.
2. Άνοιγμα 1^{ου} κύριου μετώπου (αριστερού), Σχ. 3.16.
3. Λιθογόμωση του 1^{ου} κύριου μετώπου, Σχ. 3.17.
4. Άνοιγμα 2^{ου} κύριου μετώπου (δεξιού), Σχ. 3.18.
5. Λιθογόμωση 2^{ου} κύριου μετώπου, Σχ. 3.19.
6. Άνοιγμα δευτερεύοντος μετώπου (μεσαίο), Σχ. 3.20.
7. Λιθογόμωση του δευτερεύοντος μετώπου, Σχ. 3.21.



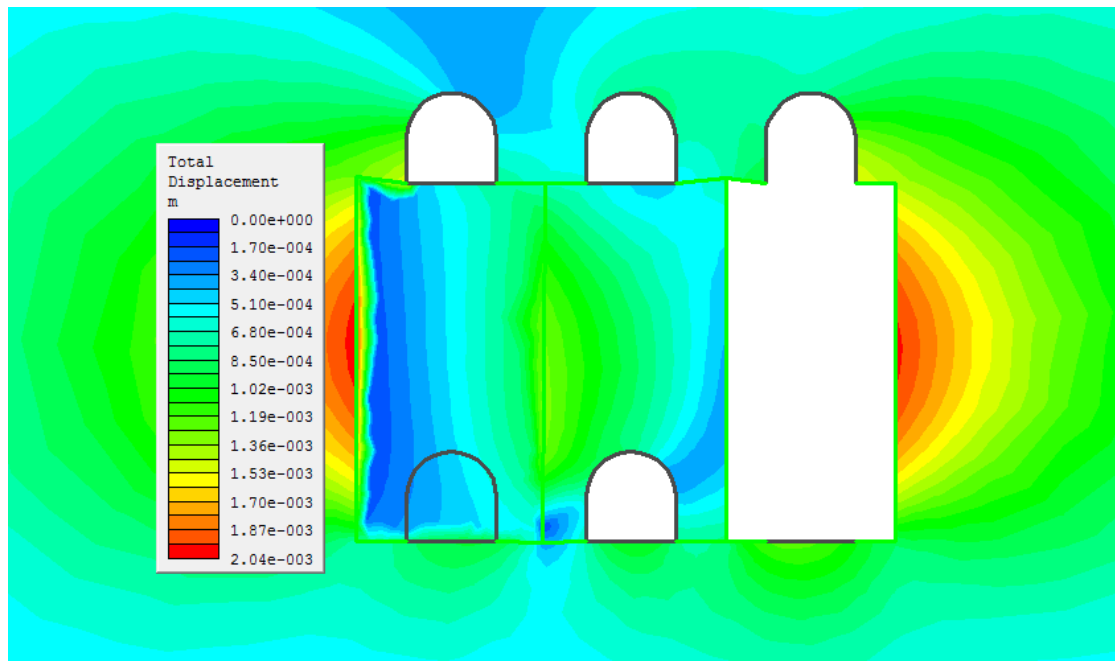
Σχήμα 3.15: Μετατοπίσεις 1ου σταδίου.



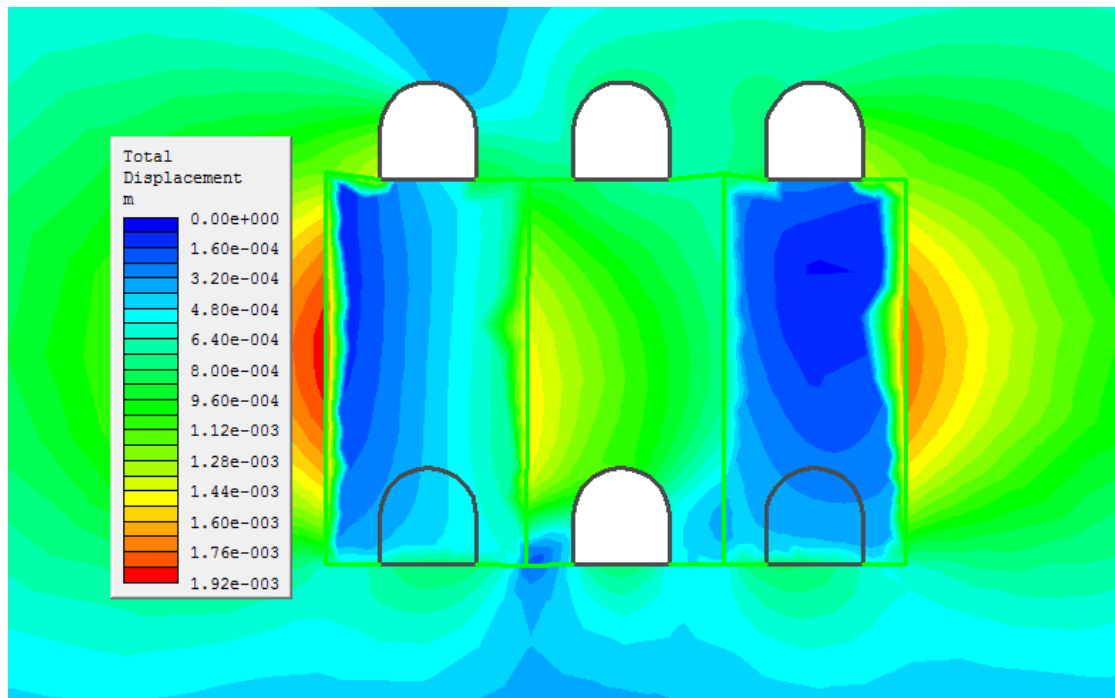
Σχήμα 3.16: Μετατοπίσεις 2ου σταδίου.



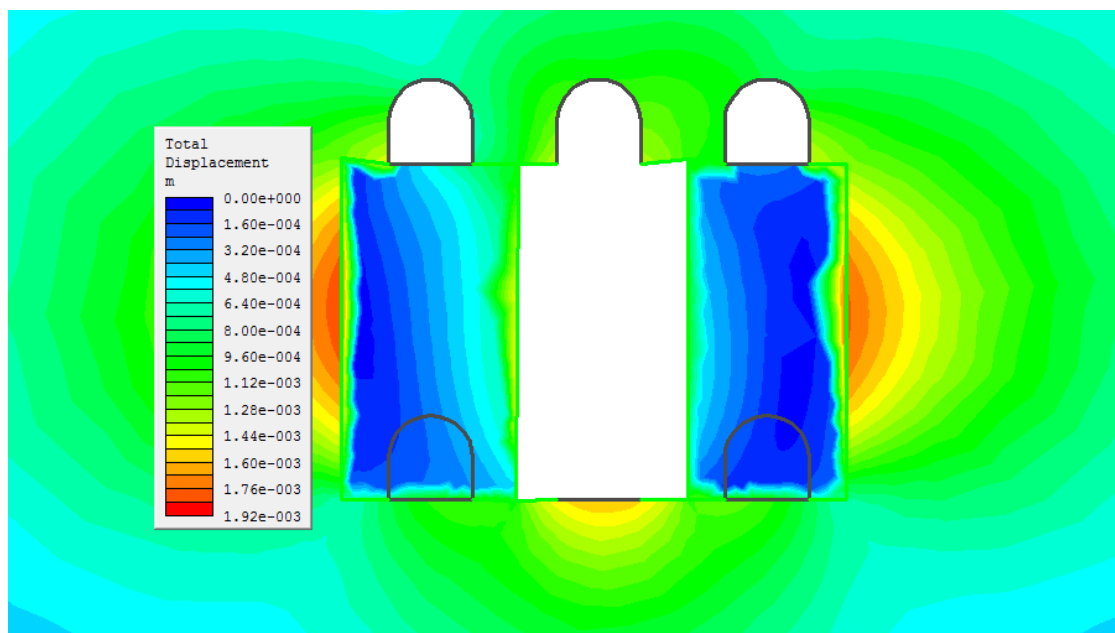
Σχήμα 3.17: Μετατοπίσεις 3ου σταδίου.



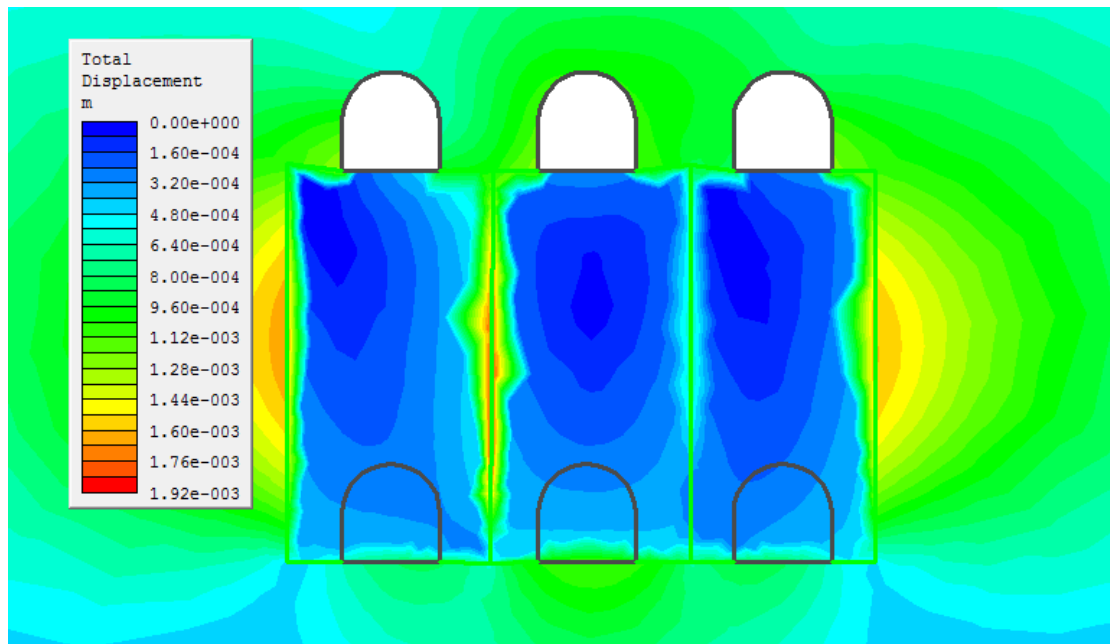
Σχήμα 3.18: Μετατοπίσεις 4ου σταδίου.



Σχήμα 3.19: Μετατοπίσεις 5ου σταδίου.



Σχήμα 3.20: Μετατοπίσεις 6ου σταδίου.



Σχήμα 3.21: Μετατοπίσεις 7ου σταδίου.

Από τα παραπάνω σχήματα είναι φανερό ότι τα τοιχώματα των μετώπων θα παραμορφωθούν και θα πρέπει να υποστηριχθούν με αγκύρωση συρματόσχοινων όπως αναφέρθηκε στην υπο-παράγραφο 3.3.12.

3.4 Μέθοδος διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων

3.4.1 Γενική περιγραφή

Η μέθοδος διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων είναι μια πολύ ευέλικτη μέθοδος και εύκολα προσαρμόζεται σε σχεδόν οποιοδήποτε τύπο κοιτάσματος. Η πρότυπη διαδικασία απαιτεί αρχικά να αφαιρεθεί μια φέτα μεταλλεύματος μέγιστου ύψους 7 μέτρων. Αυτό συνήθως γίνεται με διάτρηση ανατίναξη, προχωρώντας το μέγιστο 5 μέτρα ανά ανατίναξη. Μετά την ανατίναξη το θραυσμένο μέταλλευμα μεταφέρεται με μηχανικά μέσα στο λούκι μεταλλεύματος και από εκεί είτε στον υπόγειο θραυστήρα και στην συνέχεια στην επιφάνεια ή κατευθείαν στην επιφάνεια. Στη συνέχεια ξεσκαρώνεται η οροφή για να πέσουν ασταθή ογκοτεμάχια πετρώματος που επικρέμονται και μπορούν να προκαλέσουν ατυχήματα και τέλος υποστηρίζεται η οροφή και τα τοιχώματα με πλέγμα, αγκύρια, και ενισχύεται με κάποιο μείγμα

σκυροδέματος (π.χ. gunit). Όταν η στοά φτάσει στο τέλος της, η στοά λιθογομώνεται και αρχίζει ένας νέος κύκλος εργασιών (διάτρηση – ανατίναξη – μεταφορά – ξεσκάρωση - αγκύρωση). Η λιθογόμωση παίζει τους εξής δύο ρόλους: α) υποστηρίζει τα πλαϊνά τοιχώματα και β) είναι η βάση που θα κινείται ο εξοπλισμός για την αφαίρεση της επόμενης λωρίδας. Μπορεί να αφαιρεθεί ένα κενό ύψους περίπου ενός μέτρου μεταξύ τις λιθογόμωσης και του μεταλλεύματος ώστε να υπάρχει μια ελεύθερη επιφάνεια και να μην χρειάζεται να γίνει το κεντρικό κούφιο διάτρημα.

Η μέθοδος εφαρμόζεται καλύτερα σε βυθιζόμενα κοιτάσματα (plunging orebody) με μεγάλη κατακόρυφη έκταση, περιοχές μεταλλεύματος που απαιτούν επιλεκτική εξόρυξη, περιοχές με αδύναμες συνθήκες πετρώματος στα τοιχώματα, και κοιτάσματα που το μετάλλευμα έχει σημαντική οικονομική αξία και μπορεί να υποστηρίξει αυτήν τη σχετικά ακριβή μέθοδο εξόρυξης. Άλλες μέθοδοι δεν είναι αποτελεσματικές για την εξόρυξη βυθιζόμενων κοιτασμάτων, διότι το μετάλλευμα στην οροφή κάνει την εξόρυξη του υπόλοιπου μεταλλεύματος δύσκολη. Επειδή η εξόρυξη γίνεται αφαιρώντας λωρίδες μεταλλεύματος από το πάτωμα, μόνο μικρές περιοχές του τοιχώματος είναι εκτεθειμένες κάθε φορά και για μικρό χρονικό διάστημα. Ο όγκος του μεταλλεύματος που εξορύσσεται κατά τη διάρκεια μιας φάσης είναι σχετικά μικρός και το ποσό της μη-παραγωγικής δουλειάς είναι μεγάλο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα περιορισμένη παραγωγικότητα και επειδή η μη παραγωγική δουλειά πρέπει να γίνεται σε συχνή βάση η παραγωγή από το μέτωπο μπορεί να είναι κυκλική.

3.4.2 Κατάλληλοι τύποι κοιτασμάτων

Η μέθοδος διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων μπορεί να προσαρμοστεί σχεδόν σε κάθε τύπο κοιτάσματος με μεγάλη κατακόρυφη έκταση. Πρέπει να υπάρχει πρόσβαση στο κοίτασμα από την κορυφή έως το πάτωμα, καθώς και σε διάφορα επίπεδα σε όλη την κατακόρυφη έκταση.

Αν και εφαρμόζεται στα περισσότερα κοιτάσματα, η μέθοδος βρίσκει καλύτερη εφαρμογή σε κοιτάσματα όπου το μετάλλευμα είναι ρωγματωμένο και σε κοιτάσματα που οι μαζικές μέθοδοι εξόρυξης δίνουν μεγάλη αραίωση. Η μέθοδος αυτή είναι πολύ επιθυμητή διότι στις περιοχές με ρωγματωμένο μετάλλευμα μπορεί να γίνεται

συνεχές και εκτεταμένη δειγματοληψία κατά τη διάρκεια του κάθε κύκλου εξόρυξης. Αυτή η ικανότητα ελαχιστοποιεί το ποσό τις δειγματοληψίας που πρέπει να γίνει πριν αρχίσει η εκμετάλλευση. Ίσως το μόνο χαρακτηριστικό που απαιτείται είναι το μεταλλεύμα να έχει αρκετή αντοχή ώστε να υποστηρίξει το βάρος των αγκυρίων κατά τη διάρκεια των κύκλων εξόρυξης και λιθογόμωσης. Με καλό σχεδιασμό, συστηματική δειγματοληψία, συνεχής και προσεχής επίβλεψη με αυτή τη μέθοδο το προϊόν θα έχει λιγότερη αραίωση από χρήση οποιασδήποτε άλλης μεθόδου.

3.4.3 Σχεδιασμός

Εφόσον έχει αποφασιστεί ότι η μέθοδος διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων θα είναι η πιο αποδοτική για την εξόρυξη ενός συγκεκριμένου κοιτάσματος ή τμήματος αυτού, οι επόμενες μελέτες πιθανόν να είναι για τη χρήση ενός οικονομικού υλικού λιθογόμωσης και για την επιλογή ενός αποδοτικού συστήματος μεταφοράς για το υλικό αυτό. Αν και η υδραυλική μεταφορά των υλικών των τελμάτων του εργοστασίου εμπλουτισμού είναι το πιο διαδεδομένο προϊόν λιθογόμωσης, αυτό δεν είναι πάντα πρακτικό λόγω της τοποθεσίας του εργοστασίου εμπλουτισμού ή λόγω της ποιότητας των τελμάτων. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται στείρο υλικό που μεταφέρεται πίσω στο μέτωπο με φορτηγά.

Η αρχική επιλογή μηχανημάτων και εξοπλισμού είναι σημαντική διότι ο εξοπλισμός αυτός συνήθως καθορίζει το μέγεθος και την έκταση των έργων προσπέλασης που χρειάζεται ώστε το μέτωπο να βρεθεί σε φάση παραγωγής και το μέγεθος των ανοιγμάτων που χρειάζεται. Το μέγεθος και η συνοχή του κοιτάσματος συνήθως καθορίζει τον τύπο και το μέγεθος του εξοπλισμού. Η χρήση αυτοφορτωτών (LHD's) και φορτηγών που χρησιμοποιούνται για τη φόρτωση-αποκόμιση των προϊόντων της εξόρυξης ελαχιστοποιούν την έκταση και το μέγεθος των έργων προσπέλασης που χρειάζεται να γίνουν. Εάν η συνοχή του μεταλλεύματος είναι τέτοια ώστε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα ράμπας για την αποκόμιση του μεταλλεύματος, το κόστος ανάπτυξης και έργων προσπέλασης θα αυξηθεί αλλά η ελαστικότητα της συνεχούς εξόρυξης και θα ελαχιστοποιήσει την κυκλική φύση της παραγωγής.

Το ύψος της στοάς παραγωγής συνήθως καθορίζεται από την αντοχή του πετρώματος στα τοιχώματα και από το ποσό της αγκύρωσης που χρειάζεται. Όταν αυτό έχει

αποφασιστεί, τότε ο κατάλληλος εξοπλισμός διάτρησης μπορεί να επιλεγθεί. Ο αριθμός και το μέγεθος των στοών που θα χρησιμοποιηθούν καθορίζεται από τον τύπο και το μέγεθος των μηχανημάτων και τον τύπο λιθογόμωσης που θα χρησιμοποιηθεί. Πρόσβαση από τον όροφο πάνω από το μέτωπο πρέπει να διατηρείται πάντα. Επειδή οι εργαζόμενοι κάνουν όλες τις εργασίες στο μέτωπο και επαρκής αερισμός πρέπει να παρέχεται κατά την διάρκεια της βάρδιας.

Σχεδιασμός Μετώπου

Λόγω της ευελιξίας της μεθόδου και τη μεταβλητότητα των ζωνών μεταλλεύματος, ο σχεδιασμός γίνεται βάση του μετώπου. Σε περιοχές όπου η συνέχεια του μεταλλεύματος είναι πρόβλημα, το μέγεθος της στοάς συνήθως καθορίζεται από τα όρια του μεταλλεύματος (με όλο το μετάλλευμα που βρίσκεται εντός των ορίων αυτών να αφαιρείται). Σε περιοχές με καλή συνέχεια μεταλλεύματος όπου χρησιμοποιούνται ράμπες, το μήκος του μετώπου μπορεί να καθοριστεί από τον χρόνο που χρειάζεται ένας πλήρης κύκλος εργασιών. Η ράμπα σχεδιάζεται έτσι ώστε να υπάρχει πρόσβαση στα διάφορα τμήματα του μετώπου ώστε να γίνουν οι διάφορες εργασίες από τον εξοπλισμό.

Ο εξοπλισμός διάτρησης επιλέγεται αρχικά από το ύψος του μετώπου. Αν το ύψος είναι μεταξύ 2,4 και 4,5 μέτρα, χρησιμοποιούνται αερόσφυρες στηριζόμενες σε υδραυλικούς υποστάτες (jacklegs) και διατρητικά jumbos μιας μπούμας. Σε περιοχές που χρησιμοποιούνται ράμπες και μέτωπα ύψους μεγαλύτερων των 4,5 μέτρων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεγαλύτερα και πιο περίπλοκα διατρητικά jumbos. Αν χρειάζονται διατρήματα μεγαλύτερου μήκους, χρησιμοποιείται τυπικός εξοπλισμός longhole.

Η τοποθεσία του συστήματος των στοών παραγωγής εξαρτάται από την πρόσβαση στον όροφο και από την εκτίμηση των αποτελεσμάτων της δειγματοληψίας. Τα περισσότερα συστήματα είναι σχεδιασμένα ώστε να περιλαμβάνουν αλλαγές στην διεύθυνση σε περίπτωση που το μέγεθος του μετώπου αλλάζει. Οι στοές αυτές μπορούν να στηριχθούν με ξύλινες δοκούς, ατσάλινα πλέγματα ή με κάποιο μείγμα τσιμέντου. Ανεξαρτήτως του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί, ο παράγοντας φθοράς του κάθε τύπου πρέπει να εκτιμηθεί σύμφωνα με τις τάσεις που θα ασκούνται σε αυτό το άνοιγμα.

3.4.4 Ανάπτυξη

Όροφος παραγωγής

Τα έργα ανάπτυξης και προσπέλασης που απαιτούνται για να φέρουν ένα μέτωπο σε φάση παραγωγής είναι ελάχιστα εάν χρησιμοποιούνται φορτηγά και αυτοφορτωτές. Αυτά είναι συνήθως οι στοές που χρειάζονται για να υπάρχει πρόσβαση στο μέταλλευμα και κάποιο λούκι μεταλλεύματος που ενώνεται με τον όροφο μεταφοράς και το σύστημα ανέλκυσης. Πρέπει να υπάρχει κάποιος τρόπος για να μεταφερθεί το θραυσμένο μέταλλευμα από το λούκι μεταλλεύματος στο σύστημα, συνήθως γίνεται με μεταφορικές ταινίες ή με έξτρα αυτοφορτωτές.

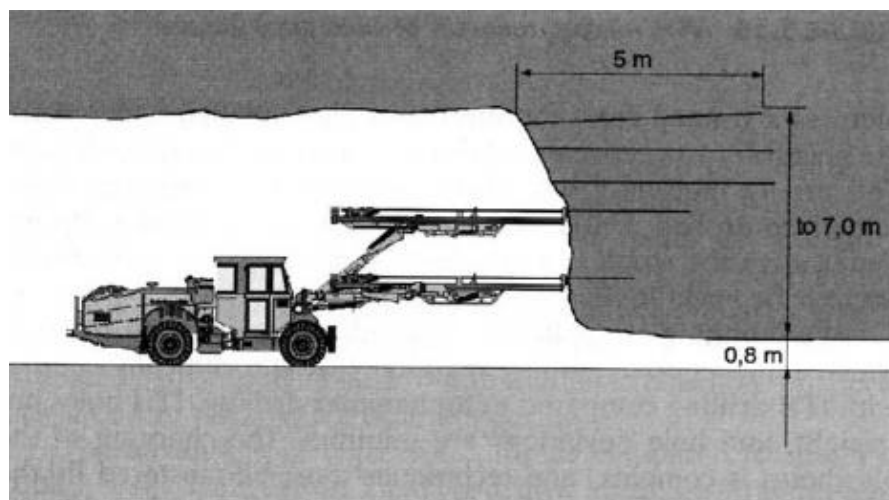
Κεκλιμένο προσπέλασης (Access Raise)

Λόγω του ότι προσωπικό εισέρχεται στα μέτωπα και υπάρχει ανάγκη για προμήθειες, κάποιος τρόπος πρόσβασης στο μέτωπο είναι απαραίτητος. Αυτό γίνεται με έναν όροφο εισόδου που βρίσκεται πάνω από το μέτωπο και ενώνεται με κεκλιμένα με τους ορόφους παραγωγής. Αν είναι δυνατόν το κεκλιμένο μεταξύ των ορόφων παραγωγής και εισόδου θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο ώστε να μπορεί να μεταφέρεται εξοπλισμός εντός και εκτός του μετώπου. Αυτό χρησιμοποιείται στο κύκλωμα αερισμού και μέσω αυτού περνούν ηλεκτρικά καλώδια ή και νερό. Εάν χρησιμοποιείται σύστημα ράμπας τα κεκλιμένα αυτά δεν είναι υποχρεωτικά, αλλά θα πρέπει τα συστήματα αερισμού και μεταφοράς λιθογόμωσης να λειτουργούν σωστά και η παροχή τους να μπορεί να διατηρηθεί σταθερή χωρίς αυτά.

3.4.5 Διάτρηση

Η διάτρηση μετώπου και η διάτρηση άνωθεν διατρημάτων είναι οι πιο κοινές πρακτικές διάτρησης στην μέθοδο διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων. Το μέτωπο λιθογομώνεται αφήνοντας ένα κενό περίπου 1 μέτρου από την οροφή και η εξόρυξη συνεχίζεται κάνοντας οριζόντια διατρήματα και θραύοντας το μέταλλευμα στο κενό αυτό (Σχ 3.22). Το θραυσμένο μέταλλευμα αποκομίζεται από την περιοχή και η

οροφή αγκυρώνεται. Το τμήμα του μεταλλεύματος που εξορύσσεται έχει μέγιστο ύψος 7 μέτρα. Μια πιο συνεχή παροχή μεταλλεύματος επιτυγχάνεται κάνοντας διάτρηση μετώπου αντί των ανιόντων διατρημάτων.



Σχήμα 3.22: Διάτρηση μετώπου στη μέθοδο διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων. (Hamrin, 2001)

Τα ανιόντα διατρήματα γίνονται με ένα απλό διατρητικό jumbo ή jackleg, εφόσον το μέτωπο έχει λιθογομωθεί με ένα κενό περίπου 2,5 μέτρων από την οροφή. Η διάτρηση γίνεται με τη μορφή V και το πέτρωμα ανατινάζεται σε όλη την έκταση του μετώπου, συνήθως με την μια.

Ένα σύστημα διάτρησης μακρυνών (μέχρι 15 μέτρα) ανιόντων διατρημάτων έχει αποδειχθεί επιτυχές σε μακριά και στενά κοιτάσματα με ανθεκτικό περιβάλλον πέτρωμα. Η διάτρηση γίνεται με τυπικό διατρητικό εξοπλισμό τύπου longhole (Hamrin, 2001).

3.4.6 Αερισμός

Όπως σε όλες τις υπόγειες μεθόδους εξόρυξης, πρέπει να παρέχεται συνεχώς καθαρός αέρας σε επαρκείς ποσότητες στα μέτωπα εργασίας. Ο αέρας διοχετεύεται από μικρούς βοηθητικούς ανεμιστήρες 5 έως 15 ίππων μέσω γραμμών εξαερισμού και καμινέτων που καταλήγουν στο μέτωπο. Όπου χρησιμοποιούνται ηλεκτρικός ή πνευματικός εξοπλισμός, η απαιτούμενη παροχή αέρα είναι μικρή. Εάν χρησιμοποιείται δηζελοκίνητος εξοπλισμός, το ποσό του αέρα που παρέχεται καθορίζεται από

κανονισμούς και υπολογίζεται από την ιπποδύναμη του εξοπλισμού και τον βαθμό χρησιμοποίησης των.

3.4.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων είναι:

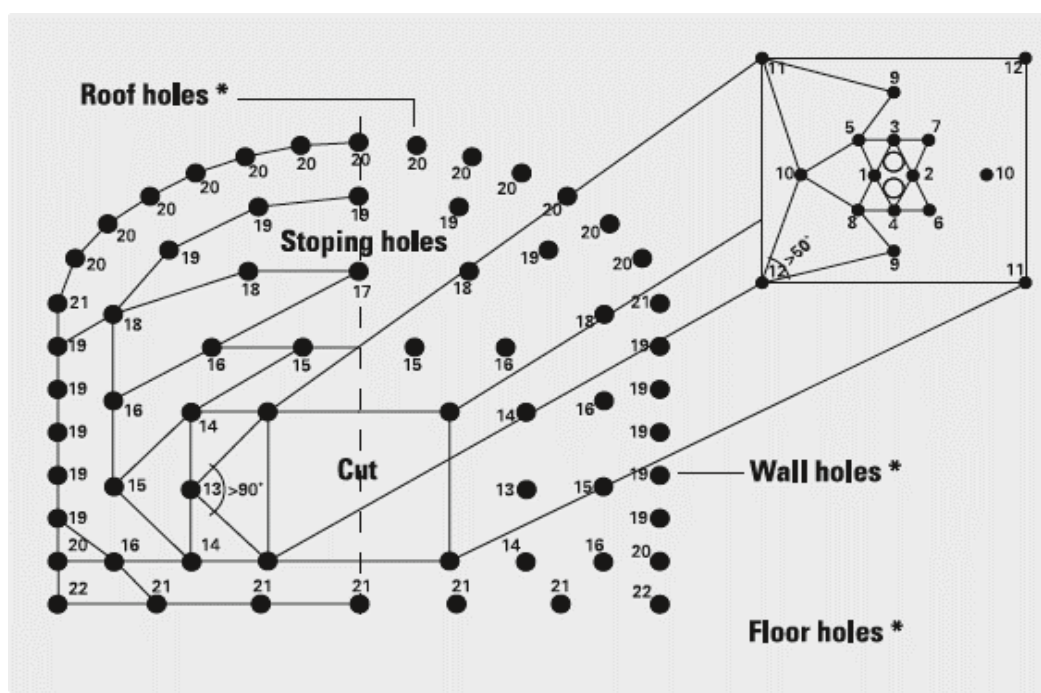
1. Το μέταλλευμα δειγματοληπτείται συνεχώς και εκτεταμένα καθώς εξορύσσεται
2. Τα έργα ανάπτυξης και προσπέλασης που απαιτούνται για να αρχίσει η εκμετάλλευση είναι ελάχιστα
3. Επιλεκτική εξόρυξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειωθεί η αραίωση.
4. Λόγω της ευελιξίας της μεθόδου είναι δυνατό να εξορυχθούν αποτελεσματικά βυθιζόμενα (plunging) κοιτάσματα.
5. Τα ανοίγματα είναι μικρά, έτσι μειώνεται η αραίωση στα τοιχώματα.
6. Αλλαγή σε άλλη μέθοδο μπορεί να γίνει εύκολα και γρήγορα.
7. Η επένδυση σε εξοπλισμό είναι σχετικά μικρή,
8. Η καθίζηση του εδάφους είναι σχεδόν μηδαμινή.

Τα μειονεκτήματα είναι τα εξής:

1. Η παραγωγή είναι κυκλική, και μεγάλο μέρος του κύκλου εργασιών δεν είναι παραγωγικό.
2. Χρειάζονται έμπειροι μεταλλωρύχοι.
3. Δεν είναι κατάλληλη για μηχανοποίηση και έτσι η παραγωγή είναι μικρότερη.
4. Το προσωπικό δουλεύει σε περιοχές μετά από έκρηξη, πράγμα που προκαλεί προβλήματα ασφαλείας.
5. Ο βαθμός ελέγχου εδάφους που απαιτείται είναι υψηλός
6. Κατάλληλο σύστημα αερισμού είναι ακριβό και στήνεται δύσκολα.
7. Απαιτείται μέταλλευμα υψηλής ποιότητας.

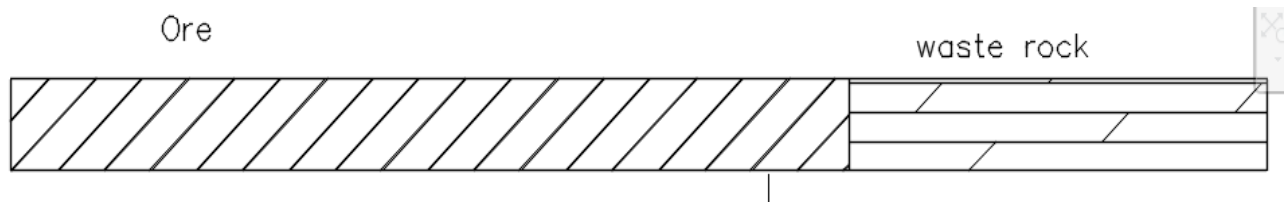
3.4.8 Εφαρμογή μεθόδου

Ο κάθε όροφος (20 μέτρα) διαιρείται σε 4 τμήματα ύψους 5 μέτρων το κάθε ένα. Αρχικά γίνεται διάτρηση μετώπου, τα διατρήματα γομώνονται με εκρηκτική ύλη, εκτός των κεντρικών διατρημάτων που είναι κενά με μεγαλύτερη διάμετρο και ο σκοπός τους είναι να δημιουργήσουν μια ελεύθερη επιφάνεια. Τα διατρήματα ανατινάζονται από τα μέσα προς τα έξω, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.23.

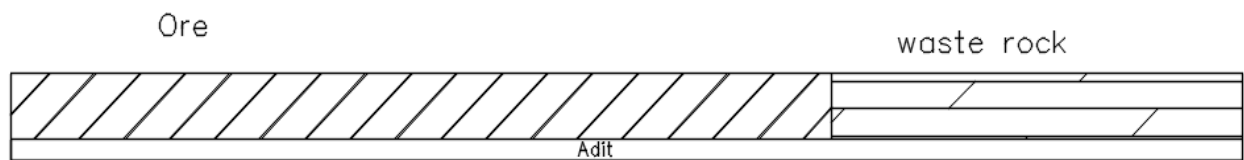


Σχήμα 3.23: Τυπική διάτρηση μετώπου.(Fernberg, 2007)

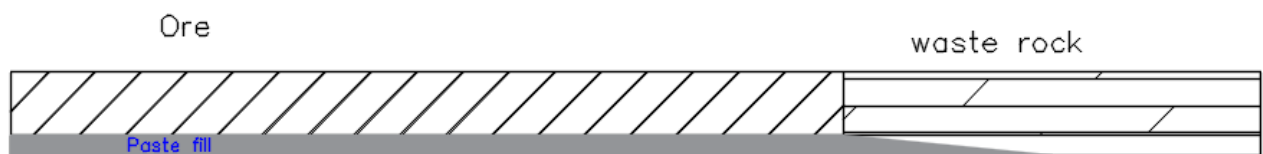
Σε κάθε ανατίναξη γίνεται προχώρηση 3 μέτρα. Μετά την ανατίναξη το μέταλλευμα μεταφέρεται στο λούκι μεταλλεύματος, ξεσκαρώνεται η οροφή για να πέσουν τεμάχια βράχου που κρέμονται και μπορούν να προκαλέσουν ατυχήματα και τέλος υποστηρίζεται η οροφή με συρματοπλέγματα, αγκύρια, και ενισχύεται με σκυρόδεμα. Όταν η στοά φτάσει στο τέλος της, λιθογομώνεται αφήνοντας ένα κενό 1 μέτρου μεταξύ οροφής και πατώματος, και δημιουργείται μια ράμπα με κλίση 10%. Η λιθογόμωση είναι η βάση που θα γίνουν οι εργασίες ώστε να εξορυχθεί το 2^ο τμήμα. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έως ότου εξορυχθούν και τα τέσσερα τμήματα σε κάθε όροφο. Παρακάτω ακολουθεί σχηματική αναπαράσταση των διαδοχικών φάσεων της μεθόδου με τη βοήθεια του AutoCAD (Σχ. 3.24).



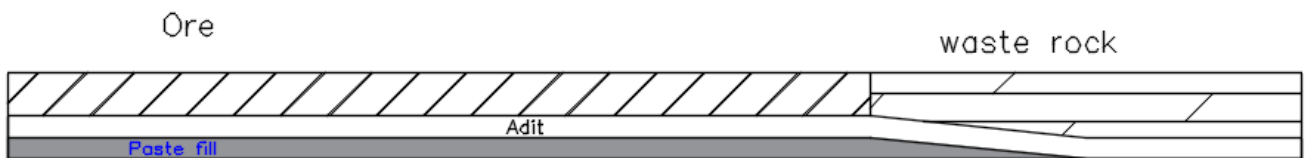
Phase 1



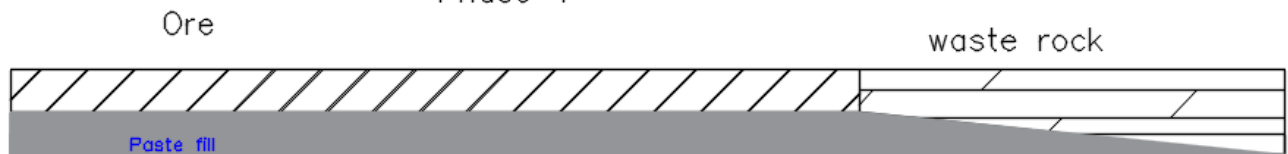
Phase 2



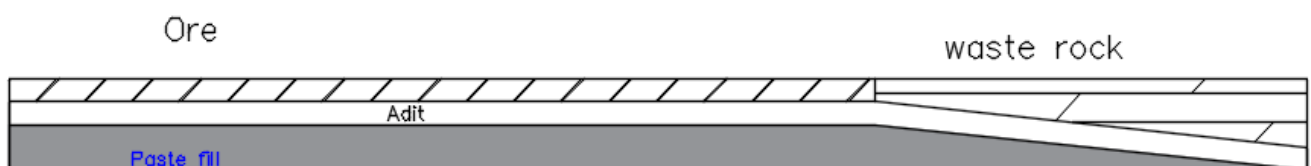
Phase 3

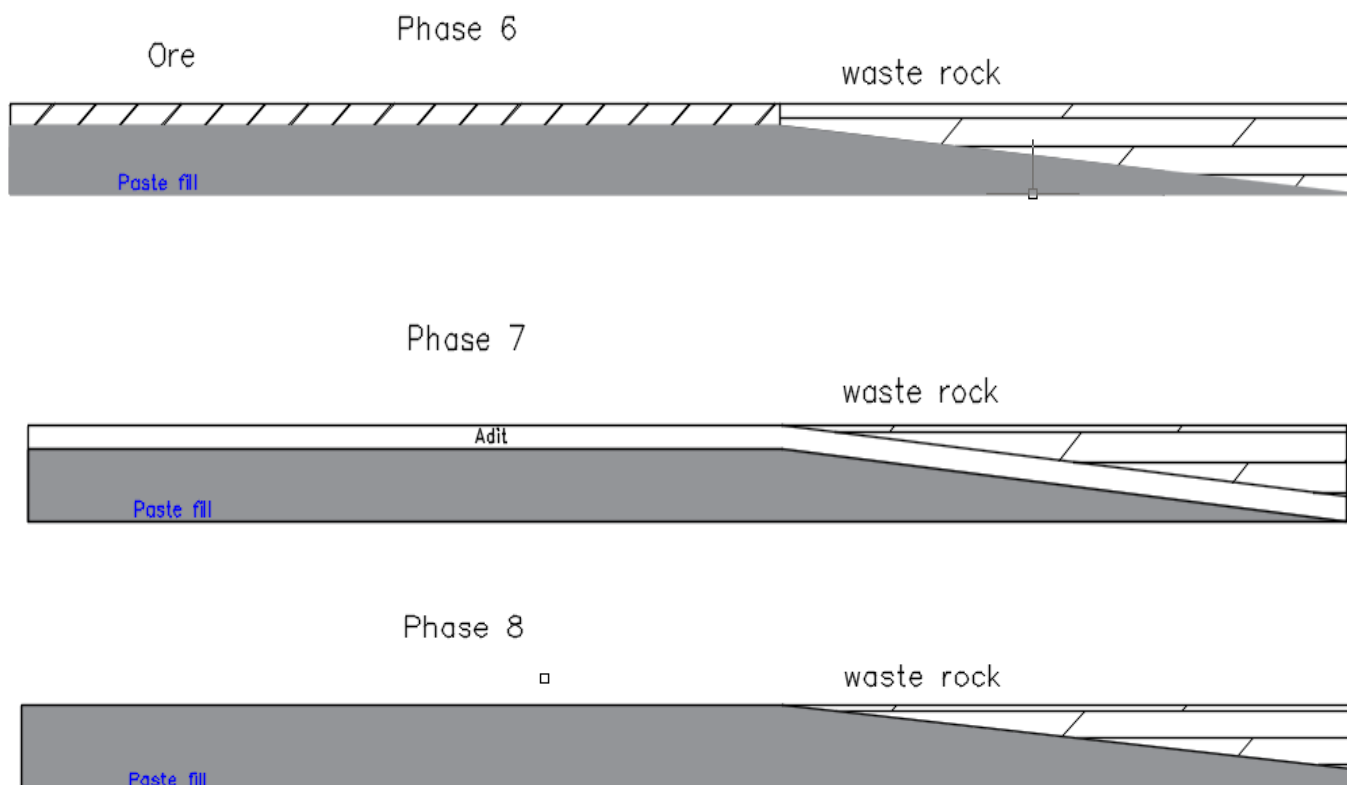


Phase 4



Phase 5





Σχήμα 3.24: Σχηματική αναπαράσταση μεθόδου διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων.

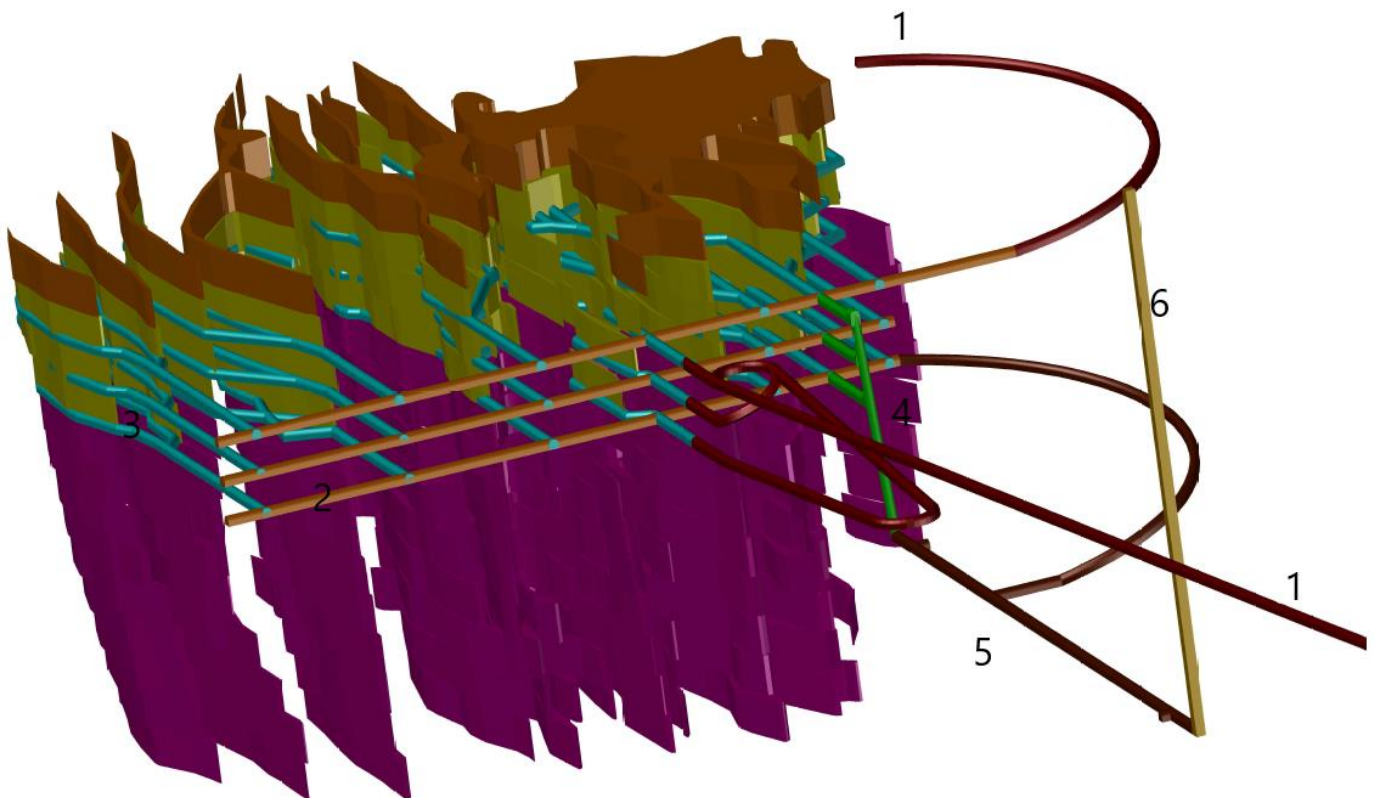
3.5 Έργα προσπέλασης και υπόγεια έργα.

Τα υπόγεια έργα προσπέλασης είναι τα εξής:

- Η κύρια είσοδος είναι μια στοά στα δυτικά του κοιτάσματος με κλίση 10% που ενώνει την επιφάνεια με το 1^ο όροφο της εκμετάλλευσης.
- Η δευτερεύουσα είσοδος είναι μια ράμπα που ενώνει το 1^ο όροφο της εκμετάλλευσης με το πάτωμα της υπαίθριας εκμετάλλευσης.
- Ένα κατακόρυφο φρέαρ για την μεταφορά του μεταλλεύματος απευθείας στον θραυστήρα και στη συνέχεια εργοστάσιο εμπλουτισμού.
- Ένα λούκι μεταλλεύματος που ενώνεται σε μια στοά μεταφοράς, όπου το μέταλλευμα μεταφέρεται με αυτοφορτωτή και φορτηγό στο φρέαρ για ανέλκυση.

- Ένας όροφος μεταφοράς που συνδέει το λούκι μεταλλεύματος με το φρέαρ.
- Τρεις διευθυντικές στοές, 2 κύριοι όροφοι και ένας υπό-όροφος.
- Μια ράμπα που ενώνει τον πρώτο όροφο με τον υπο-όροφο και άλλη μια που ενώνει τον 1^ο όροφο με τον 2^ο όροφο.
- Εφτά κύρια μέτωπα εργασίας που καταλήγουν σε περισσότερα μέτωπα.
- Σε κάθε όροφο ή υπο-όροφο ένα εγκάρσιο που συνδέει τα μέτωπα.

Τα έργα σχεδιάστηκαν στο Civil3D χρησιμοποιώντας την εντολή extrude σε μια τομή της στοάς 5x5 μέτρων σε 3D polylines που χρησιμοποιήθηκαν ως path.



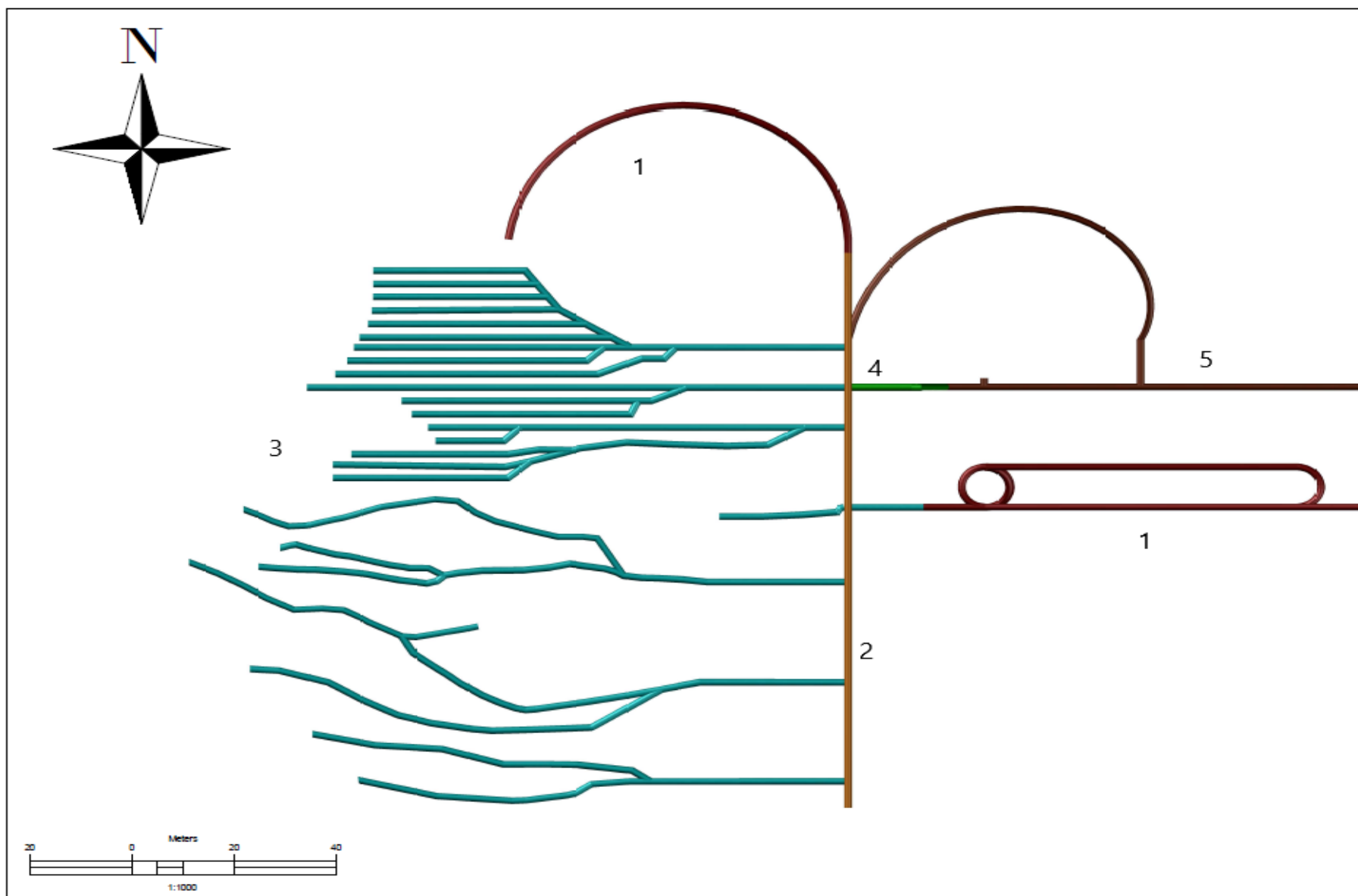
Σχήμα 3.25: Υπόγεια έργα προσπέλασης και προπαρασκευής .

Στο Σχ. 3.25, με κίτρινο εμφανίζονται τα 3 πρώτα τμήματα που θα εξορυχθούν στην αρχή της υπόγειας φάσης, με πορτοκαλί εμφανίζεται το οριζόντιο τμήμα του

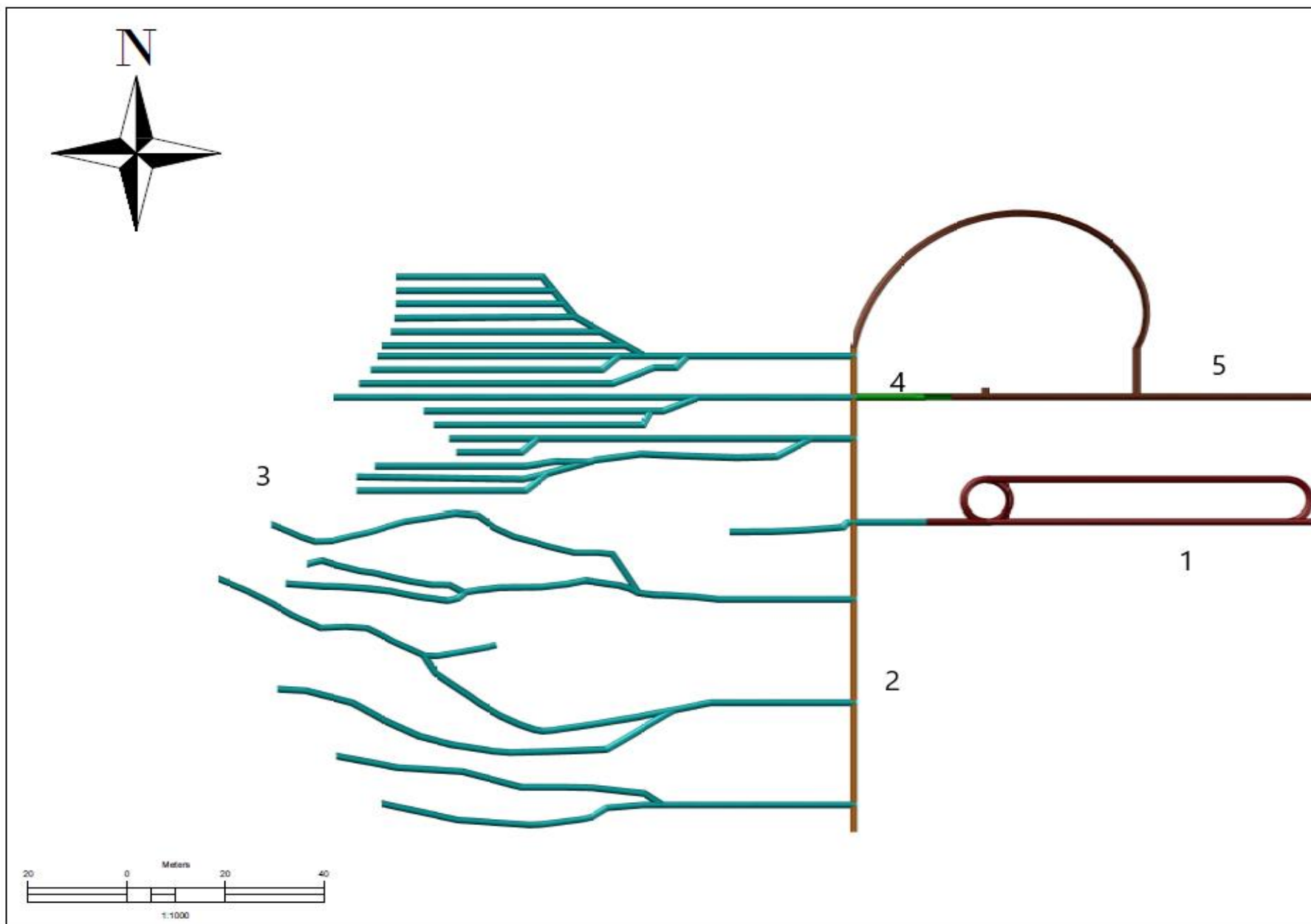
κοιτάσματος που δεν θα εξορυχθεί για λόγους ασφαλείας (crown/shield pillar) και τέλος με μωβ εμφανίζονται τα τμήματα που θα εξορυχθούν στο μέλλον.

Στο Σχ. 3.25 και στις παρακάτω τομές (Σχ. 3.26, 3.27, 3.28 και 3.29) :

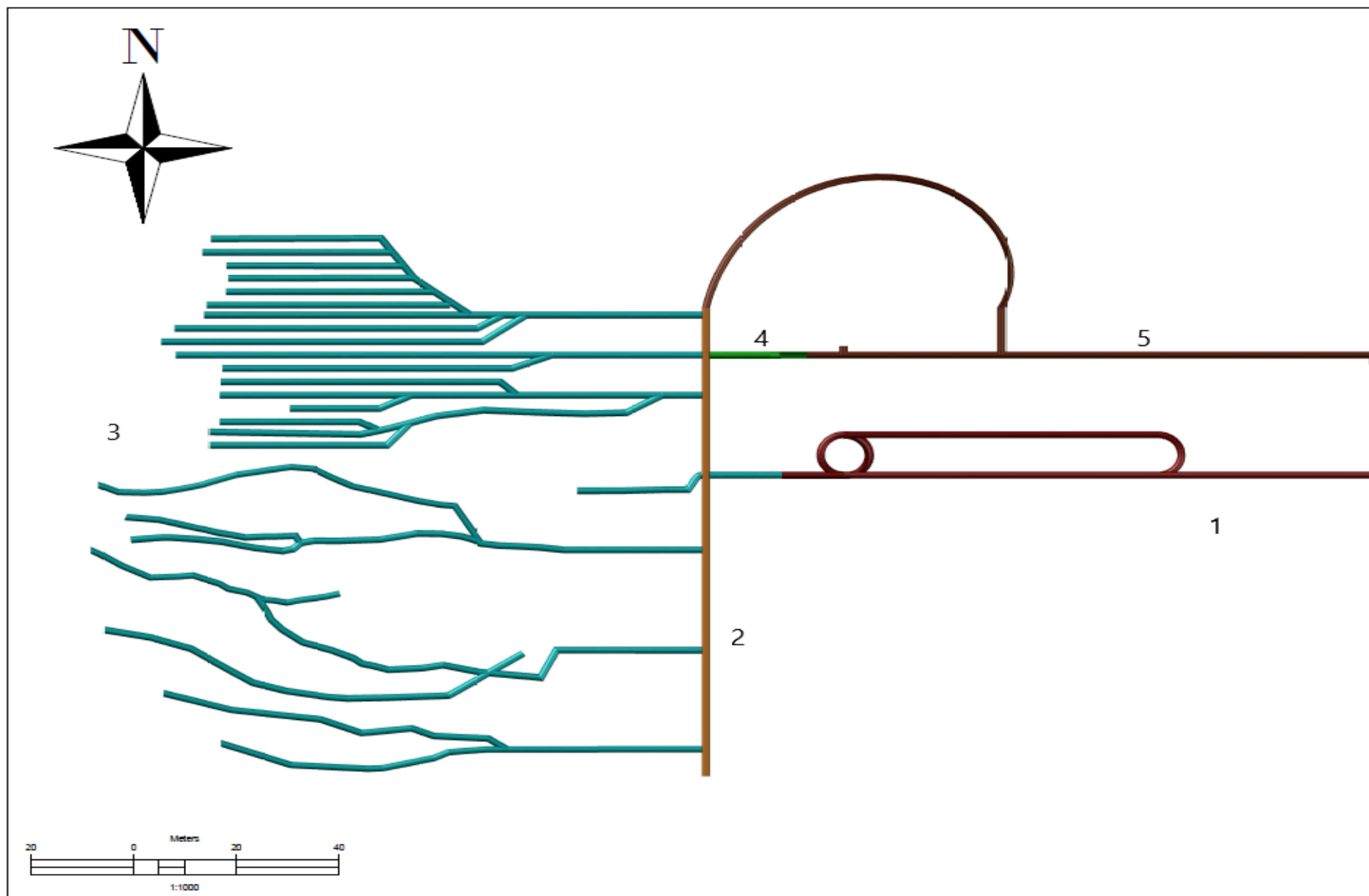
- Με κόκκινο εμφανίζονται οι κύριες στοές που ενώνουν τους ορόφους με την επιφάνεια (νούμερο 1).
- Με πορτοκαλί εμφανίζονται οι εγκάρσιες στοές, που συνδέουν τις στοές παραγωγής (νούμερο 2).
- Με γαλάζιο εμφανίζονται οι στοές παραγωγής, στο δεξιά τμήμα με την μορφή σχάρας λαμβάνει χώρα η μέθοδος κενών μετώπων, ενώ στα αριστερά φλεβικά τμήματα η μέθοδος διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων (νούμερο 3).
- Με πράσινο εμφανίζεται το λούκι μεταλλεύματος (νούμερο 4).
- Με καφέ ο όροφος μεταφοράς και η είσοδο στον όροφο (νούμερο 5).
- Με ανοιχτό πορτοκαλί εμφανίζεται το κατακόρυφο φρέαρ (νούμερο 6).



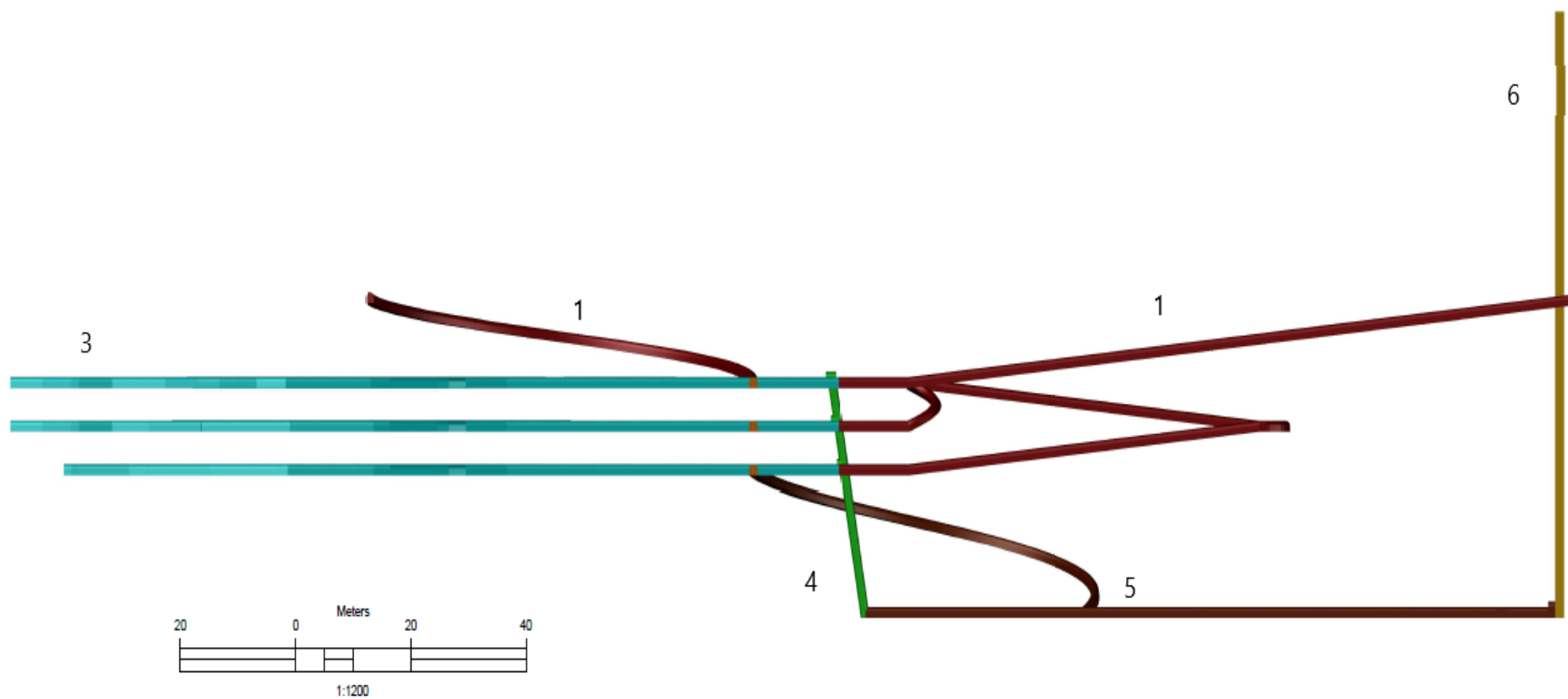
Σχήμα 3.26: Κάτοψη 1ου ορόφου.



Σχήμα 3.27: Κάτοψη υπο-ορόφου.



Σχήμα 3.28: Κάτοψη 2ου ορόφου.



Σχήμα 3.29: Πλάγια όψη υπογείων έργων.

3.6 Ανέλκυση μεταλλεύματος με φρέατα

Η ανέλκυση στην επιφάνεια των προϊόντων της υπόγειας εξόρυξης αποτελεί σημαντικό τεχνικο-οικονομικό πρόβλημα της εκμετάλλευσης μεταλλείων. Σε υπόγεια μεταλλεία μεγάλης ημερήσιας παραγωγής η ανέλκυση μέσω φρέατος προϋποθέτει ανύψωση βαρών που συχνά υπερβαίνουν τους 100-200 t με ταχύτητες που μπορεί να υπερβαίνουν τα 20 m/s. Καθίσταται λοιπόν φανερό ότι απαιτείται μεγάλη προσοχή στο σχεδιασμό του εξοπλισμού ενός φρέατος ανέλκυσης ώστε αυτό να είναι παραγωγικό και ασφαλές σε όλη τη διάρκεια της υπόγειας εκμετάλλευσης. Μέσω του φρέατος εκτός από την ανέλκυση των προϊόντων της εξόρυξης διενεργείται και η καθημερινή διακίνηση του προσωπικού και των μηχανημάτων και αναλωσίμων που απαιτούνται στα υπόγεια μέτωπα. Ένα φρέαρ περιλαμβάνει τις ακόλουθες εγκαταστάσεις και μηχανήματα:

- Τον οπλισμό του φρέατος ο οποίος περιλαμβάνει τους οδηγούς των κλωβών ανέλκυσης ή των ειδικών φορείων ανέλκυσης (skips).
- Τους κλωβούς και τα ειδικά φορεία ανέλκυσης.
- Τα συρματόσχοινα.
- Τον πύργο ανέλκυσης.
- Τις μηχανές ανέλκυσης.
- Το δίκτυο των στοών και τις διατάξεις εκείνες στις θέσεις φόρτωσης και εκφόρτωσης των κλωβών ή των skips.

Υπάρχουν δύο κύριοι τρόποι ανέλκυσης από φρέαρ σε υπόγειες εκμεταλλεύσεις, α) ανέλκυση με κλωβό (cage hoisting) και β) ανέλκυση με κάδο (skip hoisting). Στην ανέλκυση με κλωβό το μετάλλευμα εισέρχεται σ' αυτόν με βαγόνια, προσωπικό και προμήθειες μπορούν να μεταφερθούν με τον κλωβό. Στην ανέλκυση με κάδο το μετάλλευμα φορτώνεται στο κλουβί χωρίς την χρήση βαγονιών αλλά δεν μπορούν να μεταφερθούν προμήθειες και προσωπικό εκτός αν χρησιμοποιηθούν δάπεδα μεταφοράς προσωπικού (man riding decks) στην κορυφή ή στον πάτο του κάδου.

Η παραγωγή ενός ανελκυστήρα δίνεται από τον εξής τύπο (Ramlu,1996):

$$Q = \frac{360W}{\frac{H}{V_{max}} + \frac{V_{max}}{2} \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3} \right) + T} \quad (3.1)$$

Όπου:

W=φορτίο, t

H=απόσταση ανέλκυσης, m

V_{max}=μέγιστη ταχύτητα σχοινιού, m/s

a₁=επιτάχυνση, m/s²

a₃=επιβράδυνση, m/s²

T=χρόνος φόρτωσης, sec

Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι η παραγωγή μπορεί να αυξηθεί με τους εξής τρόπους:

- α. Αύξηση φορτίου
- β. Αύξηση μέγιστης ταχύτητας
- γ. Αύξηση επιτάχυνσης και επιβράδυνσης
- δ. Μείωση χρόνου φόρτωσης

Μέχρι τα 500 μέτρα το φορτίο μπορεί να αυξηθεί χωρίς δυσκολία, όμως όσο το βάθος αυξάνει, τα μεγάλα φορτία ασκούν μεγάλες τάσεις στα σχοινιά, και έτσι αυξάνουν τα αρχικά κόστη, και τα κόστη λειτουργίας (Ramlu, 1996).

Υψηλότερες ταχύτητες ανύψωσης σημαίνει υψηλότερο αρχικό κόστος για τον ανελκυστήρα και υψηλότερα κόστη λειτουργίας. Η τυπική μέγιστη ταχύτητα είναι 20 m/s, έχει βρεθεί ότι σε βαθιά φρέατα η ταχύτητα συνήθως δεν υπερβαίνει τα 15,2 m/s (Ramlu, 1996). Αυτό συμβέει γιατί υπάρχουν κίνδυνοι με τα σχοινιά ανύψωσης και ότι στα φρέατα υπάρχουν αυξημένες τάσεις στο περιβάλλον πέτρωμα σε υψηλότερες ταχύτητες.

Λόγω των μετακινήσεων τεράστιων μαζών οι επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις είναι αδύνατο να υπερβούν τα $1,2 \text{ m/s}^2$, χωρίς τα σχοινιά ανέλκυσης να υποβάλλονται σε επιπλέον τάσεις (Ramlu, 1996).

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της ανέλκυσης με κάδο σε σχέση με κλωβό είναι τα εξής:

1. Για το ίδιο φορτίο ανέλκυσης ο κάδος έχει σχεδόν το μισό βάρος από το κλωβό, οπότε θα χρειαστεί μικρότερο σε διάμετρο σχοινί ανέλκυσης.
2. Οι ταχύτητες, επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις είναι 20% με 35% υψηλότερες σε σχέση με την ανέλκυση με κλωβό. Σήμερα παραγωγές τάξεως 1.000 t/h και περισσότερο επιτυγχάνονται με την ανέλκυση με κάδο, οι οποίες είναι δύσκολο να επιτευχθούν με ανέλκυση με κλωβό (Ramlu, 1996).
3. Χρειάζεται λιγότερο προσωπικό . Για χειροκίνητη λειτουργία, χρειάζονται μόνο δύο άτομα, ένας στην επιφάνεια και ένας υπόγεια και είναι πιο εύκολα αυτοματοποιήσιμη.
4. Η αυτόματη ανέλκυση με κουβά δημιουργεί μικρότερες τάσεις στα σχοινιά.
5. Η ειδική κατανάλωση ενέργειας είναι (kWh/t) είναι λιγότερη.
6. Τα κόστη συντήρησης και επισκευής είναι μικρότερα.

Τα κύρια αρνητικά είναι τα εξής:

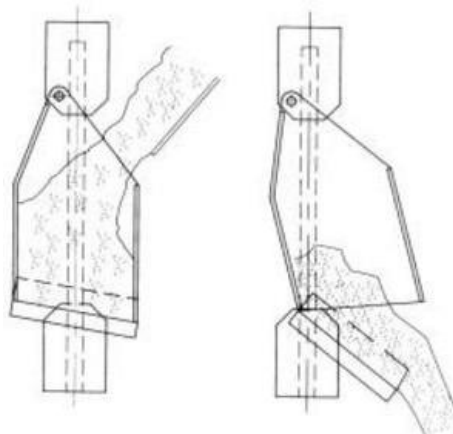
1. Όπου ανελκύνονται δύο ή περισσότερες κλάσεις πετρώματος και στείρο πέτρωμα, είναι απαραίτητο ο κάδος να χωρίζεται σε διάφορα τμήματα.
2. Χρειάζεται μεγαλύτερο κεντρικό πλαίσιο (headframe).
3. Δεν μεταφέρεται προσωπικό και προμήθειες χωρίς έξτρα πάτωμα μεταφοράς προσωπικού και προμηθειών (manriding decks) ή από διαφορετικό φρέαρ.
4. Επιπλέον κόστος εκσκαφής πετρώματος.
5. Δημιουργούνται σημαντικά ποσά σκόνης και πρέπει να παρθούν ειδικά μέτρα.
6. Πέφτει λεπτόκοκκο υλικό που πρέπει να απομακρύνεται τακτικά γιατί προκαλεί ζημιές στο σχοινί.

3.6.1 Είδη κάδων

Υπάρχουν δύο είδη κάδων, ο ανατρεπόμενος και με εκκένωση από τον πυθμένα του (bottom discharge). Ο ανατρεπόμενος κάδος γεμίζει και αδειάζει από την κορυφή του. Ο άλλος έχει μια πόρτα από όπου αδειάζει από κάτω και η φόρτωση γίνεται από την κορυφή (Σχ 3.30).

Τα πλεονεκτήματα του τύπου εκκένωσης πυθμένα σε σχέση με τον ανατρεπόμενο είναι οι εξής:

1. Μικρότερη απόσταση αποφόρτισης και μικρότερος χρόνος αποφόρτισης.
2. Μικρότερο πλαίσιο στην κορυφή.
3. Μικρότερες τάσεις στο πλαίσιο.
4. Πιθανότητα ανέλκυσης και στις δύο κατευθύνσεις.
5. Αυτοκαθαριζόμενος.
6. Μεγαλύτερη χωρητικότητα, και μικρότερος χρόνος φόρτισης.



Σχήμα 3.30: Διάγραμμα κάδου με εκκένωση από τον πυθμένα (Edwards, 1992).

3.6.2 Τύποι συστημάτων ανέλκυσης

Υπάρχουν δύο τύποι μηχανών ανέλκυσης στα υπόγεια μεταλλεία:

1. Με τύμπανο σταθερής ή μεταβαλλόμενης ακτίνας γύρω από το οποίο τυλίγεται το συρματόσχοινο.
2. Τροχαλία τριβής Koepe.

Ανέλκυση με παράλληλα κυλινδρικά τύμπανα:

Οι ανελκυστήρες με παράλληλα κυλινδρικά τύμπανα μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

A. Με ένα τύμπανο

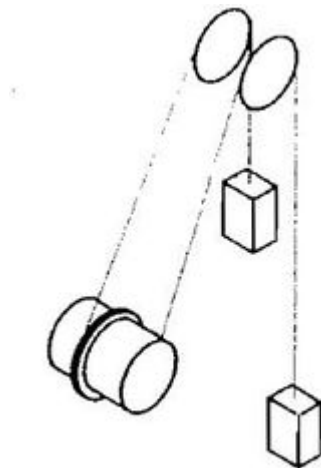
B. Με δύο τύμπανα

i) Με ταχύτητες (geared drum hoist)

ii) Κινούμενο απευθείας (direct driven drum hoist)

Ανελκυστήρες με μονό τύμπανο:

Χρησιμοποιούνται σε μικρότερα φρέατα ως ανελκυστήρες παραγωγής ή υπηρεσίας με ανέλκυση μιας ή δύο φάσεων με ή χωρίς τη χρήση σχοινιού ισορροπίας. Στην ανέλκυση μιας φάσης χρησιμοποιείται ένας κάδο ή κλουβί με αντίβαρο για εξισορρόπηση, ενώ στην ανέλκυση δύο φάσεων χρησιμοποιούνται δύο κάδοι/κλωβοί και χρησιμοποιούνται σαν αντίβαρο (σχήμα 3.31).



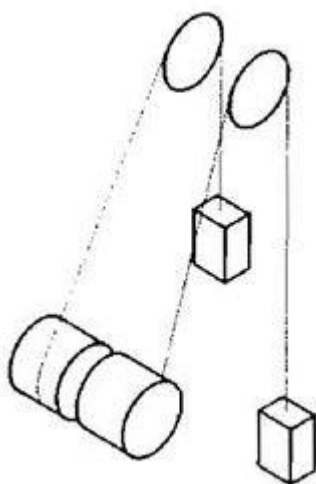
Σχήμα 3.31: Ανελκυστήρας με μονό τύμπανο. (Edwards, 1992)

Ανελκυστήρες με διπλό τύμπανο:

Είναι τυπικά σχεδιασμένοι με ένα ή δύο τύμπανα ενωμένα με συμπλέκτη (clutched) (σχήμα 3.32).

Ο ανελκυστήρας διπλού τυμπάνου, όπου το ένα τύμπανο είναι ενωμένο με συμπλέκτη, με ένα κλουβί και ένα αντίβαρο για εξισορρόπηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ανελκυστήρας υπηρεσίας και να εξυπηρετεί πολλούς ορόφους ταυτόχρονα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν ανελκυστήρας παραγωγής με δύο κάδους/κλουβιά σε ισορροπία για λειτουργία σε έναν ή σε πολλαπλούς ορόφους.

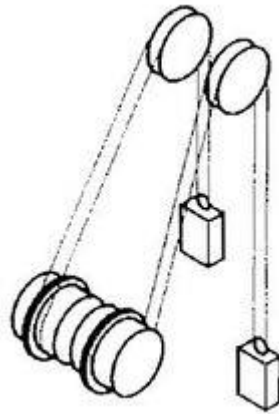
Το κύριο πλεονέκτημα σε σύστημα ανέλκυσης με δύο τύμπανα, που και τα δύο τύμπανα είναι ενωμένα με συμπλέκτη είναι ότι εάν γίνει κάτι σε ένα από τα δύο τμήματα το άλλο τμήμα μπορεί να λειτουργεί. Σε μεταλλεία συνήθως χρησιμοποιείται αυτός ο τύπος (Ramlu, 1996).



Σχήμα 3.32: Ανελκυστήρας με διπλό τύμπανο. (Edwards, 1992)

Ανελκυστήρας τύπου Blair με πολλαπλά σχοινιά και δύο τύμπανα:

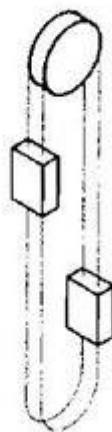
Είναι ένας ειδικός τύπος ανελκυστήρα δύο τυμπάνων που αναπτύχθηκε στην Νότια Αφρική τον καιρό που το σύστημα πολλαπλών σχοινιών Koere (τριβής) άρχισε να παρουσιάζεται εκεί. Ο ανελκυστήρας είναι σχεδιασμένος ώστε να σηκώνει το φορτίο με δύο μικρότερα σχοινιά αντί ενός μεγάλου. Η ικανότητα ανέλκυσης είναι παρόμοια με αυτή ενός ανελκυστήρα τύπου Koere με διπλό σχοινί. Όμως λόγω της απαιτητικής κατασκευής τους, δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως και δεν είναι κατάλληλοι για μικρές έως μέτριες αποστάσεις ανέλκυσης (Σχ. 3.33).



Σχήμα 3.33: Ανελκυστήρας τύπου Blair. (Edwards, 1992)

Το σύστημα ανέλκυσης Κoερε (τριβής):

Στο σύστημα ανέλκυσης Κoερε, ένας ανελκυστήρας τριβής χρησιμοποιείται ο οποίος εφαρμόζει τις αρχές της τριβής για να κινήσει το σχοινί ανέλκυσης. Η κύρια δύναμη του μοτέρ μεταδίδεται στο σχοινί με στατική τριβή μεταξύ του σχοινιού και της τροχαλίας. Όσο η διαθέσιμη δύναμη τριβής είναι μεγαλύτερη από την διαφορά των τάσεων του σχοινιού, μεταξύ του βαρέως και του ελαφρού φορτωμένου σχοινιού στην κύρια τροχαλία, το σχοινί δεν θα γλιστρήσει (Σχ. 3.34).



Σχήμα 3.34: Ανελκυστήρας τύπου Κoερε. (Edwards, 1992)

Τα δύο τελευταία συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε μεταλλεία με βάθος μεγαλύτερο των 2 χλμ.

Προτείνεται να χρησιμοποιηθεί ανελκυστήρας με δύο τύμπανα, που και τα δύο τύμπανα είναι ενωμένα με συμπλέκτη, με δύο κάδους κάτω αποφόρτισης που έχουν πατώματα μεταφοράς προσωπικού για την μεταφορά προσωπικού. Λόγω της ικανότητας λειτουργίας του κάθε τμήματος μεμονωμένα και τις σχετικά μικρής απόστασης ανέλκυσης.

3.6.3 Κόστος ανέλκυσης

Η απόσταση ανέλκυσης είναι 278 μέτρα, η υπόγεια παραγωγή είναι 7.000 t/d ή 292 t/hr. Λύνοντας την εξίσωση 3.1 ως προς βάρος ανέλκυσης:

$$W = \frac{\left(\frac{H}{V_{max}} + \frac{V_{max}}{2} \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3}\right) + T\right) Q}{360} \quad (3.2)$$

Από το κεφάλαιο 3.7:

Η ταχύτητα $V_{max}=15,2$ m/s

$a_1=a_3 = 1,2$ m/s²

$T=2$ min=120 s

Από την σχέση 3,2 προκύπτει ότι το βάρος ανέλκυσης είναι: $W= 122$ t

Το αρχικό κόστος και το κόστος λειτουργίας μπορούν να υπολογιστούν από τους εξής εμπειρικούς τύπους ([Sayadi et al, 2010](#)):

$$CC=0,458PR+155.323DD+135.279V+25,58SL+212,62HP-668.973 \quad (6.3)$$

$$OP=0,000042 PR+14,3DD+12,49V+0,0024SL+0,019HP-78.8 \quad (6.4)$$

Όπου:

CC =αρχικό κόστος, \$

OP=κόστος λειτουργίας, \$

PR=παραγωγή, kg/hr

DD=διάμετρος τυμπάνου, m

V=ταχύτητα, m/s

SL=φορτίο, kg

HP=ιπποδύναμη, hp

Τυπικές τιμές για την διάμετρο τυμπάνου είναι 6 μέτρα και ιπποδύναμης 2000hp. (Ramlu, 1996). Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω τιμές:

CC=6.411.455 \$ = 5.450.00 (5.449.737) €

OP=539 \$/m = 460 €/m = 5.520 €/y.

3.7 Λιθογόμωση

Η λιθογόμωση των μετώπων που έχουν εξορυχθεί γίνεται για διάφορους λόγους. Ο κύριος λόγος είναι για να υποστηρίξει το άνοιγμα σε σχετικά αδύνατο πέτρωμα, ώστε να μπορέσει να εξορυχθεί το μέταλλευμα που βρίσκεται πάνω, κάτω και στα πλάγια του ανοίγματος. Άλλος λόγος είναι για την ελαχιστοποίηση της επιφανειακής καθίζησης και στην ελαχιστοποίηση της μετακίνησης του θραυσμένου πετρώματος που θα μπορούσε να προκαλέσει αστοχία που θα έφτανε στην επιφάνεια.

Τρόποι λιθογόμωσης που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι οι εξής:

- Ξηρής άμμου και λίθων (Dry sand & Rock fill)
- Υδραυλική λιθογόμωση χωρίς τσιμέντο
- Υδραυλική λιθογόμωση με τσιμέντο
- Λιθογόμωση με τσιμέντο (Cemented rock fill)
- Λιθογόμωση πάστας

- Πνευματική λιθογόμωση

Η λιθογόμωση πάστας είναι γρηγορότερη από της άλλες μεθόδους διότι το υλικό κινείται σε σωλήνες, σε αντίθεση με άλλες μεθόδους που το υλικό πρέπει να μεταφερθεί με φορτηγά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μειωμένο κόστος και σε αντίθεση με τις υδραυλικές μεθόδους δεν υπάρχει προβλήματα με το νερό. Το αρνητικό είναι ότι το εργοστάσιο παραγωγής πάστας είναι ακριβό και θα πρέπει να είναι έτοιμο ήδη πριν την έναρξη της παραγωγής.

3.7.1 Λιθογόμωση πάστας (Paste fill)

Με την λιθογόμωση πάστας, τα τέλματα του εργοστασίου εμπλουτισμού γίνονται μια τσιμεντολάσπη υψηλής πυκνότητας με 75 – 80 % περιεκτικότητας σε στερεά κατά βάρος. Η τσιμεντολάσπη δρα σαν ένα ιξωδο-πλαστικό ρευστό τύπου Bingham, όπου μια κρίσιμη διατμητική αντοχή πρέπει να ξεπεραστεί πριν το ρευστό αρχίσει να ρέει. Τυπικές τιμές διατμητικής αντοχής για τέτοιες πάστες είναι μεταξύ 200 – 800 Pa (Boyer, 2006).

Λόγω της ιξώδους φύσεως και των τεραστίων ποσών ενέργειας που χρειάζονται για την μεταφορά της πάστας σε τυρβώδης ροή, είναι συνηθισμένο να μεταφέρεται σε ελασματοειδής ροή (laminar flow). Το μειονέκτημα της ελαστικής ροής είναι η πιθανότητα καθίζησης και μπλοκαρίσματος του αγωγού, όμως η πάστα λόγω της ελεγχόμενης παραγωγής και της υψηλής πυκνότητας του πολφού είναι λιγότερο ευάλωτη σε καθίζηση από άλλες συνήθεις μεθόδους λιθογόμωσης. Δύο άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά της λιθογόμωσης πάστας είναι ότι το νερό αναμιγνύεται στον πολφό άρα χρειάζεται λίγη αποστράγγιση και ότι τα λεπτομερή υλικά δεν είναι απαραίτητο να αφαιρεθούν από τα τέλματα.

3.7.2 Απαιτήσεις μεγέθους σωματιδίων στην πάστα

Τουλάχιστον το 15% των σωματιδίων πρέπει να είναι μικρότερα από 20μm. Επιπλέον, είναι συνήθεις η προσθήκη 3–6% τσιμέντου Portland ή ένα μείγμα τσιμέντου Portland και ιπτάμενης τέφρας. Εάν τα τέλματα δεν έχουν αρκετά λεπτομερή σωματίδια, τότε μπορεί να είναι απαραίτητη η χρήση επιπλέον ιπτάμενης τέφρας ή τσιμέντου.

3.7.3 Απαιτήσεις αντλίας

Το κρίσιμο πρόβλημα για την άντληση της πάστας από το εργοστάσιο παραγωγής στα μέτωπα είναι ότι η αρχική κρίσιμη διατμητική αντοχή πρέπει να ξεπεραστεί πριν αρχίσει να κυλάει η πάστα ([Abulnaga, 2002](#)):

$$P_{st} = TL/Di \quad (3.3)$$

Όπου:

P_{st} =αρχική πίεση

T =αρχική διατμητική αντοχή πάστας

L =μήκος σωλήνα

Di =εσωτερική διάμετρος σωλήνα

Η αρχική διατμητική αντοχή μπορεί να μετρηθεί με συσκευή άμεσης διάτμησης στο εργαστήριο μετά από 28 μέρες. Αλλιώς προσεγγίζεται από το τεστ κατάπτωσης ([Boger et al, 2006](#)):

$$\frac{T}{\rho gh} = 0,5 + 0,5 \left(\frac{S}{h} \right)^{0.5} \quad (3.4)$$

Όπου:

S =μετρούμενη κατάπτωση

h =ύψος κυλίνδρου κατάπτωσης

Αντλίες θετικής μετατόπισης (positive displacement pumps) είναι αναγκαίες λόγω του ιξώδους και της πυκνότητας της πάστας. Ένα χαρακτηριστικό που έχουν αυτές οι αντλίες είναι ότι μπορούν να αντλήσουν ενάντιας κάθε μέτωπο μέχρι το σχεδιασμένο μέτωπο του μηχανήματος με σταθερή. Οι αντλίες αυτές πρέπει να είναι συνδεδεμένες με βαλβίδες μείωσης πίεσης γιατί θα συνεχίσουν να αντλούν ενάντια σε μπλοκαρισμένες ή κλειστές σωλήνες πράγμα που μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή του σωλήνα.

3.7.4 Φθορά σωληνώσεων

Λίγα δεδομένα υπάρχουν όσον αφορά τη φθορά των σωληνώσεων μεταφοράς πάστας. Όμως, επειδή η πάστα κινείται σαν ένα ιξώδες μέσο, είναι αναμενόμενο ότι η φθορά των σωληνώσεων θα είναι λιγότερη από την αντίστοιχη φθορά από συνήθεις υδραυλικές λιθογομώσεις. Η φθορά μπορεί να ελεγχθεί σε κατακόρυφα τμήματα των σωληνώσεων χρησιμοποιώντας έναν ανιχνευτή διαμέτρου τριών ποδιών (caliper probe). Είναι συνιστάμενο οι μετρήσεις να παρθούν αφού έχουν μεταφερθεί 15.000t πάστας και μετά ανά διαστήματα 50.000t ([Hambley, 2011](#)).

3.8.5 Απαιτήσεις εργοστασίου

Τα τμήματα ενός εργοστασίου λιθογόμωσης πάστας είναι τα εξής: δεξαμενές αποθήκευσης τελμάτων, παχυντή (thickener) πάστας για να μειώνει την περιεκτικότητα σε νερό από 65% κατά βάρος σε περίπου 20%, σιλό για τσιμέντο και ιπτάμενη τέφρα, χοάνη βαρυμέτρου για τα τέλματα, αναδευτήρα για τη δημιουργία του μείγματος και αντλίες θετικής μετατόπισης.

Το κόστος κατασκευής του εργοστασίου είναι περίπου 10.000.000 € ([Hambley, 2011](#)) και το κόστος λιθογόμωσης είναι περίπου 3,8 € ανά τόνο μεταλλεύματος ([Harvey et al, 2001](#)).

3.8 Εξοπλισμός

Η παραγωγή για την υπόγεια φάση είναι 7000 t/d ή $144 \text{ m}^3/\text{hr}$ για συντελεστή επιπλήσματος $\varepsilon=1,3$.

Από τους τρεις πρώτους ορόφους θα εξορυχθούν με την μέθοδο διαδοχικών κοπών και λιθογωμόσεων μετά από στρογγύλευση των αριθμών, συνολικά 859.000 m^3 και με την μέθοδο κενών μετώπων θα εξορυχθούν συνολικά $3.722.000 \text{ m}^3$ σε ένα διάστημα 2,5 ετών.

Η υπόγεια εκμετάλλευση θα διαρκέσει αρκετά χρόνια, οπότε ο εξοπλισμός θα αγοραστεί καινούργιος.

3.8.1 Διατρητικά

Θα χρειαστούν δύο ειδών διατρητικά 1) για διάτρηση μετώπου και 2) για άνωθεν ακτινική διάτρηση.

Για τη διάτρηση μετώπου προτείνεται να χρησιμοποιηθεί το Epiroc BOOMER E (σχήμα 3.35).

Ένας τυπικός κάναβος διάτρησης μετώπου έχει 60 διατρήματα και 3 μέτρα προχώρηση (Fernberg, 2007). Ο όγκος μετά από κάθε έκρηξη είναι $97,5 \text{ m}^3$. Αυτό δίνει μια ειδική διάτρηση $0,55 \text{ m}^3/\text{m}$. Το διατρητικό τρυπάει το 50% του χρόνου, έχει ρυθμό διάτρησης $1 \text{ m}/\text{min}$, έχει 2 κεφαλές και ιπποδύναμη 160 HP. Άρα η παραγωγή είναι :

$$Q = 0,55 \frac{\text{m}^3}{\text{m}} \times 60 \frac{\text{m}}{\text{hr}} \times 0,5 \times 0,9 \times 2 = 29,7 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

Επομένως θα χρειαστεί $\frac{144}{29,7} = 4,84 \approx 5$ διατρητικά για την παραγωγή και 1 ακόμα για τα έργα προσπέλασης.

Κόστος αγοράς 500.000€ το ένα, άρα 3.000.000€ και για τα έξι.



Σχήμα 3.35: Epiroc BOOMER-E.

Για τα άνωθεν ακτινικά διατρήματα προτείνεται να χρησιμοποιηθεί το Epiroc SIMBA S7 (σχήμα 3.36). Το κάθε μέτωπο έχει μήκος περίπου 200 m. Σε κάθε μέτωπο γίνονται 27 ακτινικά διατρήματα ανά 2 m. Συνολικά 2700 ακτινικά διατρήματα. Το κάθε μέτωπο έχει τις εξής διαστάσεις, μήκος 200 m ύψος 20 m και πλάτος 10 m, οπότε ο όγκος του θραυσμένου υλικού θα είναι $200 \times 20 \times 10 \times 1,3 = 52.000 \text{ m}^3$. Το κάθε διάτρημα έχει μήκος 10m κατά μέσο όρο. Άρα η ειδική διάτρηση είναι $52.000 \text{ m}^3 / (27000 \text{ m}) = 1,93 \text{ m}^3/\text{m}$. Εάν το μηχάνημα διατρήει το 80% του χρόνου λειτουργίας έχει χρόνο διάτρησης 1 m/min και έχει ιπποδύναμη 160 HP τότε η παραγωγή είναι:

$$Q = 1,93 \frac{\text{m}^3}{\text{m}} \times 60 \frac{\text{m}}{\text{hr}} \times 0,8 \times 0,9 = 83,38 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Οπότε θα χρειαστούν 2 διατρητικά.

Κόστος αγοράς $2 \times 500.000 \text{ €} = 1.000.000 \text{ €}$.



Σχήμα 3.36: Epiroc SIMBA S7.

3.8.2 Αυτοφορτωτές

Προτείνεται να χρησιμοποιηθεί το Sandvik LH410 (σχήμα 3.37). Ο όγκος του κάδου είναι $4m^3$ το χρόνος φόρτωσης 1min και ιπποδύναμη 320 HP. Οπότε η παραγωγή είναι:

$$Q = 4 m^3 \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}} \times 0,9 = 216 \frac{m^3}{hr}$$

Οπότε θα χρειαστεί ένας αυτοφορτωτής στα μέτωπα παραγωγής και άλλος ένας στον όροφο μεταφοράς.

Κόστος αγοράς $2 \times 600.000 \text{ €} = 1.200.000 \text{ €}$.



Σχήμα 3.37: Sandvik LH410.

3.8.3 Φορτηγά

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί το Sandvik TH663i (σχήμα 3.38). Ο όγκος της καρότσας είναι 24 m^3 , το βάρος του είναι 43 τόνοι το συνολικό φορτίο που μπορεί να μετακινήσει είναι 106 τόνοι (μαζί με το δικό του) και η ισχύς του κινητήρα είναι 770 HP.

Εφαρμόζοντας την σχέση όταν το φορτηγό είναι άδειο και γεμάτο, υπολογίζονται οι εξής ταχύτητες:

$$U_{\text{άδειο}} = 25,8 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$U_{\text{γεμάτο}} = 10,4 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

Για μια μέση απόσταση απόθεσης 300 μέτρων υπολογίζονται οι εξής χρόνοι:

$$t_{\text{άδειο}} = 0,70 \text{ min}$$

$$t_{\text{γεμάτο}} = 1,72 \text{ min}$$

Θεωρώ χρόνο σταθερών ελιγμών:

$$t_{\text{σταθ}} = 5 \text{ min.}$$

Και ο χρόνος φόρτωσης:

$$\frac{V_{\text{καρότσας}}}{V_{\text{κουβά}}} = \frac{24}{4} = 6 \text{ φορτώσεις άρα } t_{\text{φόρτωσης}} = 6 \text{ min}$$

Αθροίζοντας όλους τους χρόνους, $t=0,22$ hr.

Άρα ο ρυθμός παραγωγής:

$$Q = \frac{24m^3}{0,22hr} = 93 \frac{m^3}{hr}$$

Οπότε θα χρειαστούν $\frac{144 \frac{m^3}{hr}}{93 \frac{m^3}{hr}} = 2$ φορτηγά στα μέτωπα και 1 στον όροφο μεταφοράς.

Κόστος αγοράς $3 \times 500.000 \text{ €} = 1.500.000 \text{ €}$.



Σχήμα 3.38: Sandvik TH663i.

3.8.4 Λοιπός εξοπλισμός

Ο υπόλοιπος εξοπλισμός είναι ισοπεδωτές (grader) για τον δρόμο, διατρητικά υποστυλώσεως (κοχλίωση οροφής) (Epiroc Bolter M), υδροφόρες και ξεσκαρωτές. Κόστος εξοπλισμού 2.000.000 €.

3.9 Οικονομικά στοιχεία

Το κόστος λειτουργίας, λιπαντικών και συντήρησης προκύπτει από τις Εξ. 2.12, 2.13, 2.14 αντίστοιχα. Από τα παραπάνω προκύπτει ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας κοστών.

Εξοπλισμός	Ποσότητα	Κόστος κτήσης €	Κόστος Λειτουργίας €/yr	Κόστος Λιπαντικών €/yr	Κόστος Συντήρησης €/yr
Sandvik LH410	2	1.200.000	768.000	192.000	192.000
Sandvik TH663i	3	1.500.000	2.772.000	693.000	360.000
Epiroc BOOMER E	6	3.000.000	1.152.000	288.000	1.440.000
Epiroc SIMBA S7	2	1.000.000	384.000	96.000	160.000
Φρέαρ		5.450.000	5.520		
Λοιπά		2.000.000			
Εργοστάσιο λιθογόμωσης	1	10.000.000			
Σύνολο		24.650.000	5.273.520	1.317.000	2.352.000

Πίνακας 3.1: Συγκεντρωτικός πίνακας κοστών εξοπλισμού υπόγειας φάσης.

Από τον παραπάνω πίνακα και τους συνολικούς τόνους που θα εξορυχθούν υπολογίζεται ότι το κόστος εξόρυξης της υπόγειας φάσης είναι 3,07 €/t.

Το κόστος για την μεταφορά και την διάτρηση του μεταλλεύματος προκύπτει από τα συνολικά κόστη λειτουργίας, λιπαντικών και συντήρησης των:

- α. Διατρητικών
- β. Φορηγών
- γ. Φορτωτών
- δ. Φρέατος

Όπως και για την υπαίθρια φάση για να υπολογιστεί ένα συνολικό «στεγνό» κόστος (dry cost) θα πρέπει να συνυπολογισθεί και το κόστος των ΕΥ, αναλωσίμων για την διάτρηση (στελέχη και κοπτικά άκρα), και το εργατικό κόστος που μπορεί να είναι και πάνω από 50% του συνολικού μοναδιαίου κόστους. Επίσης για την υπόγεια εκμετάλλευση πρέπει να ληφθούν υπόψη το κόστος για υποστήριξη οροφής και των

τοιχωμάτων, κατασκευής ραμπών, λιθογόμωσης, αποστράγγισης υπογείων υδάτων, παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, του συστήματος αερισμού και άλλων.

Κεφάλαιο 4 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η υπαίθρια και η υπόγεια εκμετάλλευση πορφυρτικού κοιτάσματος Cu-Au στην περιοχή Σκουριών Χαλκιδικής. Ο σχεδιασμός της υπαίθριας εκμετάλλευσης κλειστού τύπου (open pit) έδωσε μεταλλευτικά αποθέματα $5.690.000 \text{ m}^3$ τη σχέση αποκάλυψης 13,92 και κόστος εξόρυξης 2,15 €/t. Για τον υπολογισμό της τελικής κλίσης της εκμετάλλευσης έγιναν διάφορες παραδοχές που πρέπει να επαληθευθούν στην πράξη.

Κατόπιν μελετήθηκε η συνέχιση σε βάθος της εκμετάλλευσης του κοιτάσματος κάτω από την υπαίθρια εκμετάλλευση. Η υπόγεια μέθοδος εκμετάλλευσης θα είναι συνδυασμός της μεθόδου διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων για τα μικρά φλεβικά τμήματα του κοιτάσματος και της μεθόδου κενών μετώπων για το κύριο κυλινδρικό περίπου σώμα του κοιτάσματος.

Ο σχεδιασμός της υπόγειας εκμετάλλευσης έδωσε μεταλλευτικά αποθέματα $4.581.000 \text{ m}^3$ και κόστος εξόρυξης 3,07 €/t. Λόγω του όγκου του κοιτάσματος και της σχετικά μικρής περιεκτικότητας σε Cu-Au σε κοιτάσματα τέτοιου τύπου, μια μέθοδος κατακρήμνισης οροφής ίσως ήταν πιο αποδοτική, εάν θα μπορούσε να εφαρμοστεί στην περιοχή.

Τα μεγάλα κενά που δημιουργούνται κατά με τη μέθοδο κενών μετώπων μέχρι την λιθογόμωση τους θα αγκυρωθούν με συρματόσχοινα. Ενδιάμεσοι στύλοι θα υποστηρίζουν τα κενά αυτά που είναι ασφαλή μέχρι τα 200 μέτρα σύμφωνα με παραδοχές για την αντοχή του μεταλλεύματος. Μετά τα 200 m βάθος θα πρέπει να αλλάξει η γεωμετρία των κενών.

Το μέταλλευμα θα ανελκύεται στην επιφάνεια με φρέαρ. Για μεταφορά μεταλλεύματος από το φρέαρ η χρήση κάδου (skip hoisting) είναι πιο αποδοτική σε σχέση με τη χρήση κλωβού (cage hoisting). Επίσης ο ανελκυστήρας με δύο τύμπανα είναι ο πιο κατάλληλος για ανέλκυση σε υπόγεια μεταλλεία διότι το κάθε τμήμα δουλεύει και επισκευάζεται χωριστά.

Η λιθογόμωση των κενών θα γίνει με πάστα (pastefill), διότι είναι η πιο οικονομική σε σχέση με τους άλλους τύπους αν και το εργοστάσιο κατασκευής της πάστας είναι ακριβό.

Με βάση έναν ημερήσιο ρυθμό παραγωγής τέτοιο που να επιτρέπει την περάτωση της υπαίθριας εκμετάλλευσης στα 2.5 έτη και στα 2.5 έτη για την υπόγεια εκμετάλλευση, με τρεις βάρδιες ανά μέρα εκτιμήθηκε ο αναγκαίος μηχανολογικός εξοπλισμός διάτρησης-φόρτωσης-μεταφοράς και το συνολικό κόστος κτήσης και λειτουργίας.

Βιβλιογραφία

- Brokenshire, P. και S. Andersen. «Hoist & Haul 2010.» *Proceeding of the International Conference on Hoisting and Haulage*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 2010.
- Carlson Software Inc. *Carlson Software 2016 Manual*. 2016. <<http://www.carlsonsw.com>>.
- Catterpillar. *Catterpillar*. 2019. <<http://www.caterpillar.com>>.
- Darling, P. *SME Mining Engineering Handbook 2nd Edition*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 1992.
- . *SME Mining Engineering Handbook 3rd Edition*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 2011.
- Epiroc. 2019. <<http://www.epiroc.com>>.
- Fernberg, H. *Mining Methods in Underground Mining 2nd Edition*. www.atlascopco.com, 2007.
- Gertsch, E. και R. Bullock. *Techniques in Underground Mining*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 1998.
- Hoek, E., P. K. Kaiser και W.F. Brawden. *Support of Underground Excavations in Hard Rock*. Taylor & Francis, 2000.
- Hustrulid, W. και R. Bullock. *Underground Mining Methods*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 2001.
- Hustrulid, W., M. Kuchta και Martin R. *Open Pit Mine Planning and Design 3rd Edition*. CRC Press, 2013.
- Kennedy, B. A. *Surface Mining*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 1990.
- Langefors, U και B Kihlström. *The modern technique of rock blasting 3rd Edition*. Stockholm: AWE/GEBERS, 1978.
- Lowrie, R. *SME Mining Reference Handbook*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 2002.

- Ramlu, M. A. *Mine Hoisting*. White Falcon Publishing, 1996.
- Sandvik Group. 2019. <<http://www.home.sandvik>>.
- Terbrugge , P.J. και A. Haines. *Preliminary estimation of rock slope stability using rock mass classification systems*. Johannesburg, 1991.
- Villaescusa, E. *Geotechnical Design for Sublevel Open Stopping*. CRC Press, 2014.
- Wylie D., Mah C. *Rock Slope Engineering Civil and Mining 4th Edition*. Spon Press, 2004.
- Εξαδάκτυλος, Γ. *Πανεπιστημιακές σημειώσεις μαθήματος "Σχεδιασμός Υπαίθριων Εκμεταλλεύσεων"*. Χανιά, 2015.
- . *Πανεπιστημιακές σημειώσεις μαθήματος "Σχεδιασμός Υπογείων Εκμεταλλεύσεων"*. Χανιά, 2015.
- Κορδιστός, Δ. *Μελέτη συνθηκών ευστάθειας υπαίθριου μεταλλείου πορφυριτικού χαλκού - χρυσού*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης, διπλωματική εργασία, 2015.
- Λούκος, Ι. *Διερεύνηση της δυνατότητας εμπλουτισμού χαλκούχου κοιτάσματος της περιοχής "Σκουριές" Χαλκιδικής*. Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, 2012.
- Μπουζάς, Δημήτριος. *Μέθοδος υπόγειας εκμετάλλευσης υψηλής παραγωγικότητας κοιτάσματος χρυσού*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης, διπλωματική εργασία, 2009.
- Τσιραμπίδης, Α. *Ο ορυκτός πλούτος της Ελλάδος*. εκδόσεις Γιαχούδη, 2005.
- Χρηστίδης, Γ. *Πανεπιστημιακές σημειώσεις μαθήματος «Κοιτασματολογία»*. Χανιά, 2015.