



Πολυτεχνείο Κρήτης

Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων

Διπλωματική Εργασία

**Σχεδιασμός μεθόδου κατακρήμνισης πατώματος για την εκμετάλλευση
πορφυριτικού κοιτάσματος**



Βαρδαρού Μαρίνα

Επιτροπή:

Γ. Εξαδάκτυλος, Καθηγητής (επιβλέπων)

Μ. Γαλετάκης, Καθηγητής

Γ. Σαράτσης, ΕΔΙΠ

Χανιά, Σεπτέμβριος 2019

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Γεώργιο Εξαδάκτυλο, που μου έδωσε την ευκαιρία να ενασχοληθώ με τον τομέα της μεταλλευτικής και που μου ανέθεσε ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα υπογείων εκμεταλλεύσεων.

Έπειτα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Γεώργιο Σαράτση για την καθοδήγηση κατά την διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Μιχαήλ Γαλετάκη για τον χρόνο που διέθεσε για την αξιολόγηση της συγκεκριμένης εργασίας, αλλά και για την βοήθεια του, κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Οι απόψεις που διατυπώνονται στην παρούσα εργασία είναι του συγγραφέα αυτής

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ & ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	7
1.1 Γενικές πληροφορίες	8
1.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά.....	9
1.3 Γεωτεκτονικά χαρακτηριστικά.....	11
1.3.1 Τεκτονική – Ενεργά ρήγματα περιοχής.....	13
1.4 Γεωλογική δομή	15
1.5 Κοίτασμα πορφυριτικού Cu-Au, Σκουριές Χαλκιδικής.....	19
1.6 Γεωτρήσεις για το κοίτασμα των Σκουριών.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ ΠΑΤΩΜΑΤΟΣ	23
2.1 Περιγραφή μεθόδου	24
2.1.1 Αρχή λειτουργίας	24
2.1.2 Εφαρμογές μεθόδου στον κόσμο.....	25
2.2. Χαρακτηριστικά μεταλλεύματος για την εφαρμογή της μεθόδου	25
2.3 Γεωτεχνικές παράμετροι που προσδίδουν την κατακρημνισιμότητα του μεταλλεύματος.....	27
2.4 Στοιχεία για τον σχεδιασμό της μεθόδου εκμετάλλευσης «Κατακρήμνιση πατώματος»	30
2.4.1 Γενικά χαρακτηριστικά για τον σχεδιασμό εκμετάλλευσης.....	30
2.4.2 Μεθοδολογία της μεθόδου «Κατακρήμνισης πατώματος».....	32
2.4.3 Ανάπτυξη μεθόδου κατακρήμνισης πατώματος.....	33
2.4.3.1 Εργασίες προπαρασκευής	33
2.4.3.1.α Διάταξη χοανών – Επιπέδου παραγωγής	34
2.4.3.1.β Επίπεδο εσχάρας	38
2.4.3.2 Εργασίες ανάπτυξης	38
2.5 Προβλήματα μεθόδου εκμετάλλευσης «Κατακρήμνισης πατώματος».....	40
2.5.1 Προβλήματα διάδοσης κατακρημνισιμότητας εντός της στήλης.....	40
2.5.2 Προβλήματα επιφανειακής καθίζησης.....	42
2.6. Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα μεθόδου	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ ΠΑΤΩΜΑΤΟΣ.....	48
3.1 Γενικά στοιχεία	49
3.2 Γεωμετρία κοιτάσματος	49
3.3 Φάσεις εκμετάλλευσης.....	50
3.4 Εργασίες προετοιμασίας.....	51

3.4.1 Εργασίες προσπέλασης κοιτάσματος	51
3.4.2 Προπαρασκευαστικά έργα	53
3.4.3 Σχεδιασμός επιπέδου παραγωγής και μεταφοράς	58
3.5 Εργασίες ανάπτυξης	63
3.6 Παρουσίαση συνολικών έργων	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΧΡΟΝΟΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ	70
4.1 Στοιχεία για την χρονοδρομολόγηση της υπόγειας εκμετάλλευσης	71
4.2 Χρονοδρομολόγηση εργασιών προετοιμασίας.....	71
4.3 Χρονοδρομολόγηση έργων παραγωγής	77
4.4 Κοστολόγηση έργου	82
4.5 Εκτίμηση χρόνων ζωής μεταλλείου	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	88

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ερευνάται η υπόγεια εκμετάλλευση πορφυριτικού κοιτάσματος με την μέθοδο της κατακρήμνισης πατώματος (Block Caving). Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί για την εκμετάλλευση του πορφυριτικού κοιτάσματος των Σκουριών Χαλκιδικής.

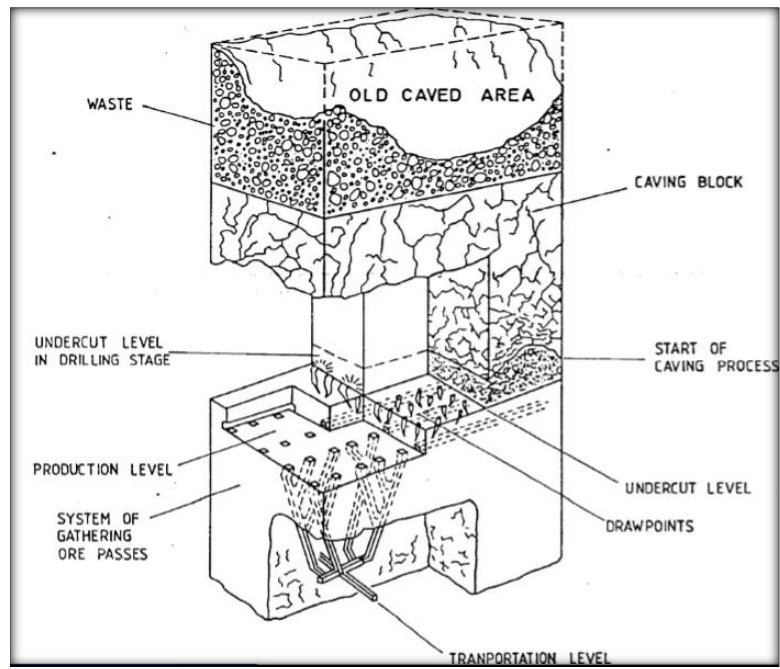
Το κοιτάσμα των Σκουριών αποτελεί ένα παγκοσμίου επιπέδου παράδειγμα για κοιτάσματα πορφυριτικού Cu-Au που οφείλει την γένεση του, στη διείσδυση ενός έντονα αλκαλικού πορφύρη. Η περιοχή μελέτης ανήκει στην Σερβομακεδονική μάζα και συγκεκριμένα στον σχηματισμό του Βερτίσκου. Το κοιτάσμα έχει μορφή σωλήνα, διαμέτρου περίπου 440μέτρων και έχει διεισδύσει εντός αμφιβολιτικών και βιοτιτικών σχιστολίθων, κατά το Ολιγόκαινο-Μειόκαινο. Το κοιτάσμα εκτείνεται από την επιφάνεια σε βάθος που ξεπερνάει τα 800m.

Η μέθοδος της κατακρήμνισης πατώματος παρέχει την δυνατότητα εκμετάλλευσης κοιτασμάτων με μεγάλη ανάπτυξη και στις 3 διαστάσεις του χώρου, με υψηλές δυνατότητες παραγωγής (βλ. Σχήμα 1). Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί το χαμηλό λειτουργικό κόστος της, έτσι ώστε να επιτρέπεται η οικονομική εκμετάλλευση μεταλλευμάτων χαμηλής ποιότητας. Για την επιτυχή λειτουργία της μεθόδου, οι ιδιότητες του κοιτάσματος πρέπει να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις της μεθόδου, όπως παρουσία πάνω από 3 οικογενειών ασυνεχειών με μικρή απόσταση μεταξύ των, μεγάλη οριζόντια εξάπλωση, μεγάλη κλίση του κοιτάσματος και ευνοϊκό εντατικό πεδίο.

Η εκμετάλλευση του πορφυριτικού κοιτάσματος προτείνεται να γίνει με ένα συνδυασμό επιφανειακής και υπόγειας εκμετάλλευσης. Αυτό προτάσσεται, διότι οι εργασίες προετοιμασίας για την ανάπτυξη της υπόγειας μεθόδου εκμετάλλευσης είναι χρονοβόρες και απαιτούν μεγάλο κεφαλαιουχικό κόστος.

Στην εργασία αυτή, παρουσιάζεται ο σχεδιασμός της υπόγειας εκμετάλλευσης με την μέθοδο της κατακρήμνισης πατώματος. Η υπόγεια εκμετάλλευση πραγματοποιείται σε δυο φάσεις στα βάθη με υψόμετρο +70m και -180m.

Τέλος, πραγματώνεται η χρονοδρομολόγηση της εκμετάλλευσης, επιλέγεται ο βασικός εξοπλισμός που απαιτείται για τα έργα προσπέλασης, προπαρασκευής και παραγωγής και γίνεται μια πρώτη εκτίμηση της κοστολόγησης των έργων αυτών.



Σχήμα 1: Ισομετρική άποψη της μεθόδου κατακρήμνισης πατώματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

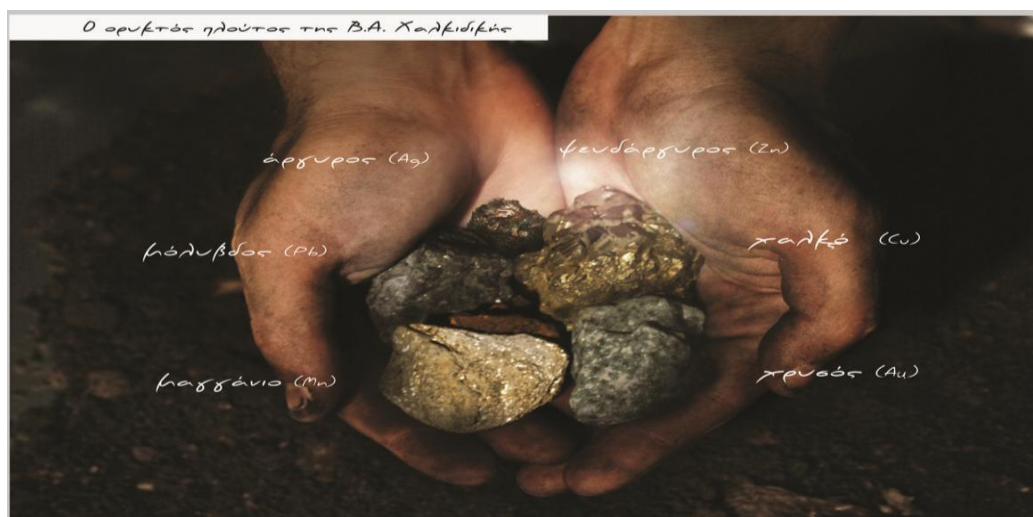
ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ & ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή έχει ως κέντρο τις συντεταγμένες 474000E και 4488000N του Ελληνικού Γεωγραφικού Συστήματος Αναφοράς HGRS '80, Ellipsoid GRS80, (περίπου γεωγραφικό πλάτος $40^{\circ} 36'$ και γεωγραφικό μήκος $23^{\circ} 50'$). Η έκταση είναι περίπου 317km^2 . Το έργο των Σκουριών βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος $40^{\circ} 29'$ και γεωγραφικό μήκος $23^{\circ} 42'$ (Hellas Gold, 2018).

Βασικό χαρακτηριστικό της ευρύτερης περιοχής είναι η πλούσια μεταλλοφορία (Σχήμα 1.3) του υπεδάφους της, με κοιτάσματα ψευδάργυρου, αργύρου, χρυσού, χαλκού και μόλυβδου. Το υπέδαφος της περιοχής περιλαμβάνει τα παρακάτω σπουδαία κοιτάσματα (ENVECO, 2013):

- μικτά θειούχα μεταλλεύματα στο Μαντέμι Λάκκο και στις Μαύρες Πέτρες
- χρυσοφόρα μικτά θειούχα μεταλλεύματα Ολυμπιάδας
- κοίτασμα πορφυριτικού χαλκού και χρυσού στις Σκουριές

Η περιοχή φιλοξενεί ένα από τα μεγαλύτερα κοιτάσματα χρυσού και άλλων μετάλλων της Ευρώπης, όπου εκτιμάται ότι υπάρχουν περίπου 160 τόνοι χρυσού, 2.000 τόνοι αργύρου, σχεδόν 1,5 εκατομμύριο τόνοι μόλυβδου και ψευδαργύρου και περισσότερο από 1 εκατομμύριο τόνοι χαλκού (TyrosThes, 2017).



Σχήμα 1.3: Ορυκτός πλούτος των μεταλλείων Κασσάνδρας (Hellas Gold, 2016)

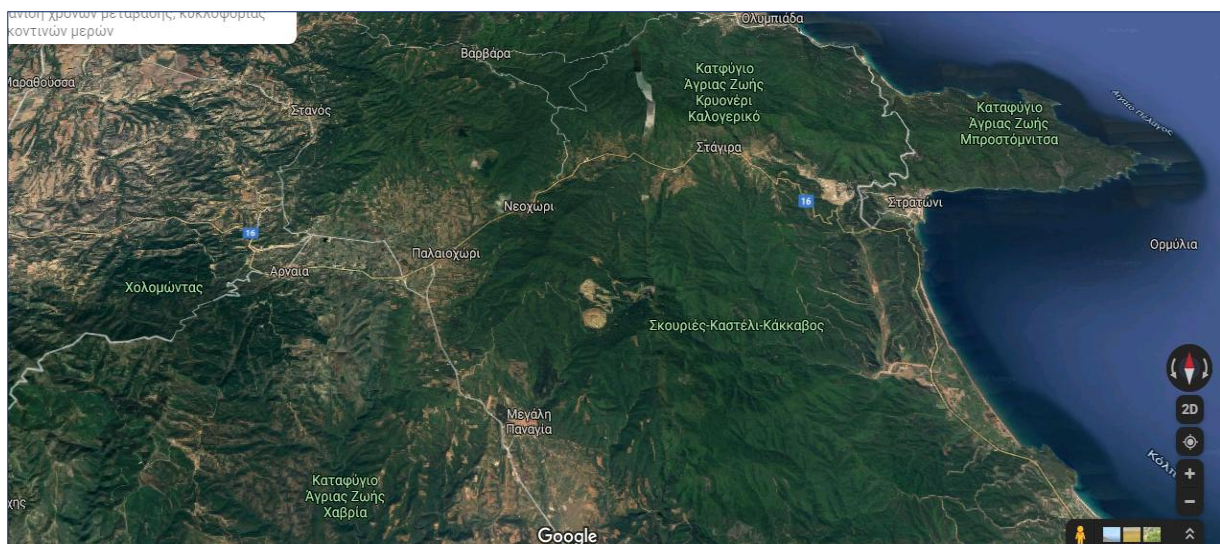
1.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά

Ο νομός Χαλκιδικής παρουσιάζει μία ιδιαίτερη μορφολογία (Σχήμα 1.4) που χαρακτηρίζεται μία σύνθεση πεδινών εκτάσεων, ορεινών όγκων, έντονων χαραδρώσεων και υδατορεμάτων μόνιμης ή περιστασιακής ροής (ENVECO, 2013).

Η περιοχή μελέτης διακρίνεται από τους ήπιους ορεινούς όγκους του όρους Στρατονικού με ανάπτυξη από Δ προς Α και του όρους Χολομώντα με ανάπτυξη από ΝΔ προς ΒΑ. Μεταξύ αυτών, υφίσταται ένα ημιορεινό τοπίο, που περικλείεται από οικισμούς της περιοχής (Μεγάλη Παναγιά, Παλαιοχώρι, Νεοχώρι, Στάγειρα, Στρατονίκη) με κέντρο την κορυφή Καστέλλι. Το ημιορεινό τοπίο παρουσιάζει γενικά ομαλές κλίσεις, εκτός από τις περιοχές που κυριαρχούν τα υδατορέματα, όπου οι κλίσεις είναι απότομες (ξεπερνούν το 60%) με χαρακτηριστικά χαράδρας. Στην ευρύτερη περιοχή εμφανίζονται πεδιάδες (πεδιάδα του Στρατωνίου, Κοκκινόλακκα, Χιλανδαρίου - Κάμπου) όπου κυριαρχούν επίπεδες μορφολογίες με μικρές έως μηδενικές κλίσεις (ENVECO, 2013).

Συγκεκριμένα, η περιοχή που οριοθετείται από τις Σκουριές και το Στρατόνι, εμφανίζει μια ημιορεινή ζώνη (80-920m), με κλίσεις άνω του 25%, με τις κλίσεις των πλαγιών να φτάνουν έως τις 70° και πεδινές περιοχές (0-80m) (ENVECO, 2013).

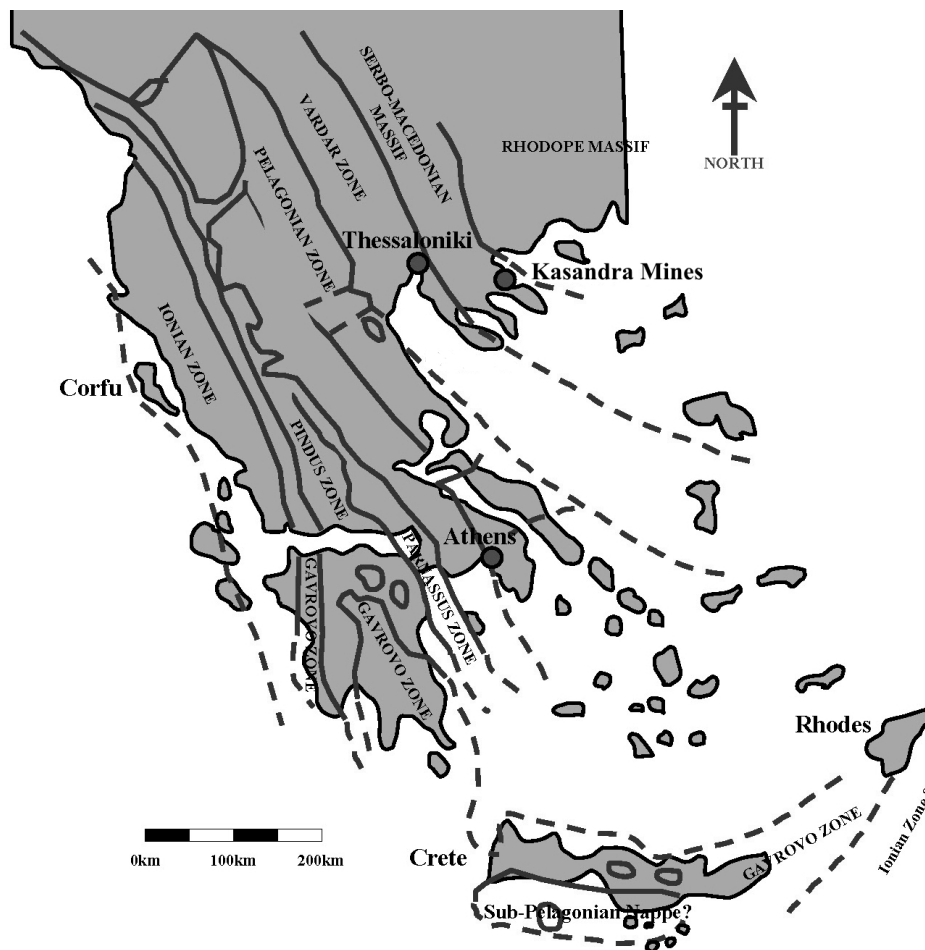
Η θέση του κοιτάσματος των Σκουριών απαντάται στα όρια ενός ομαλού οροπεδίου με μέσο υψόμετρο 620m. Τα όρια του οροπεδίου παρουσιάζουν απότομες και βαθιές χαράδρες με ανατολική και νότια απορροή. Η υψηλότερη γειτονική κορυφή βρίσκεται 3km ΒΔ των Σκουριών και είναι η θέση Καστέλι με απόλυτο υψόμετρο +918m. Το τοπογραφικό ανάγλυφο της γύρω περιοχής εμφανίζει κορυφογραμμές και κοιλάδες που συναντούν στα βόρεια το Στρατονικό όρος (ENVECO, 2013).



Σχήμα 1.4: Χάρτης 3D μορφολογίας περιοχής (Google Maps)

1.3 Γεωτεκτονικά χαρακτηριστικά

Οι κυριότερες οροσειρές της ηπειρωτικής Ελλάδας αποτελούν τμήμα του Δειναροταυρικού Τόξου, ενός κλάδου του ορεινού συστήματος των Άλπεων. Το τόξο μπορεί να υποδιαιρεθεί σε μια σειρά από γραμμικές ζώνες (Σχήμα 1.5) που συμπίπτουν σε γενικές γραμμές με τις κύριες οροσειρές. Οι ζώνες αντιπροσωπεύουν τα διαδοχικά επεισόδια υποπίεσης, που συνέβησαν από τη βορειοανατολική κίνηση της αφρικανικής πλάκας κατά την περίοδο του Ιουρασικού έως το Ηώκαινο και σχηματίζουν διακριτικές δομικές μονάδες, που χωρίζονται από ωθήσεις ή μεταβατικές ζώνες (Hellas Gold, 2011).



Σχήμα 1.5 : Τεκτονικές ζώνες Ελλάδος (Hellas Gold, 2011)

Στη Βόρεια Ελλάδα, οι οροσειρές της Ροδόπης και της Σερβομακεδονίας αντιπροσωπεύουν την ορεινή περιοχή κάτω από την οποία υποβλήθηκε η αφρικανική πλάκα. Ο ορεινός όγκος σχημάτισε μια αναδυόμενη περιοχή, κατά τη διάρκεια της Αλπικής ορογένεσης και περιλαμβάνει ένα σύνθετο μεταμορφωμένο έδαφος, που είχε επηρεαστεί προηγουμένως από τη Βαρίσκια ορογένεση, καθώς και από προηγούμενα γεγονότα (Hellas Gold, 2011).

Η Αφρικανική πλάκα καταβυθίστηκε κάτω από την Ευρασιατική στο Βόρειο Αιγαίο κατά το Τριτογενές. Αυτό δημιούργησε μαγματικά πετρώματα όξινης έως ενδιάμεσης σύστασης, τα οποία σχετίζονται με τα υδροθερμικά κοιτάσματα μεταλλευμάτων που εμφανίζονται σήμερα σε μεταλλοφόρες περιοχές της Ροδόπης και της Σερβομακεδονικής. Μείζονος σημασίας είναι τα κοιτάσματα πορφυριτικού χαλκού που εντοπίζονται εντός υποηφαιστειακών πετρωμάτων (Επιμέλεια Τζεφέρης, 2015).

Η περιοχή μελέτης ανήκει στην Σερβομακεδονική μάζα (Σχήμα 1.6), της οποίας τα όρια καθορίζονται ανατολικά, από τα ελληνογιουγκοσλαβικά σύνορα έως τη Χαλκιδική και δυτικά από τον ποταμό Στρυμόνα. Η Σερβομακεδονική μάζα αποτελείται από κρυσταλλοσχιστώδεις Παλαιοζωικούς σχηματισμούς και νεότερες πυριγενείς διεισδύσεις του Τριτογενούς. Η Σερβομακεδονική κρυσταλλοσχιστώδης μάζα διαχωρίζεται ανατολικά στον σχηματισμό των Κερδυλλίων και δυτικά στον υπερκείμενο σχηματισμό του Βερτίσκου. Η επαφή τους, δύσκολα εντοπίζεται, ενώ κατά θέσεις διαπιστώνεται ότι πρόκειται για μια κύρια ρηγματογενή ζώνη (ρήγμα Στρατωνίου-Βαρβάρας). Οι νεότερες αποθέσεις στην περιοχή μελέτης εντοπίζονται, κυρίως, στις πεδινές περιοχές Στρατωνίου, Ολυμπιάδας, Κοκκινόλακκα και είναι Πλειστοκαινικής - Ολοκαινικής ηλικίας (ENVECO AE, 2013).

Η σειρά των Κερδυλλίων είναι η κατώτερη σειρά της Σερβομακεδονικής και παρουσιάζει μία γενική διεύθυνση ΒΒΔ - ΝΝΑ. Η λιθοστρωματογραφία της σειράς αποτελείται από βιοτιτικούς γνεύσιους, που εντός τους παρεμβάλλονται ορίζοντες μαρμάρου (Παυλίδης et al, 2016).

Η σειρά του Βερτίσκου είναι η ανώτερη σειρά της Σερβομακεδονικής μάζας και έχει διεύθυνση επίσης ΒΒΔ - ΝΝΑ. Η σειρά φτάνει μέχρι τα σύνορα της Ελλάδας- Σκοπίων και Ελλάδας- Βουλγαρίας και εξαπλώνεται στα εδάφη των δύο αυτών χωρών. Η λιθοστρωματογραφία της σειράς απαρτίζεται από διμαρμαρυγιακούς γνεύσιους και σχιστόλιθους, μάρμαρα, βιοτιτικούς γνεύσιους, αμφιβολίτες και μεταβασικά πετρώματα (Παυλίδης et al, 2016).



Σχήμα 1.6: Τεκτονικό σκαρίφημα Σερβομακεδονικής μάζας. (Κατά ΜΟΥΝΤΡΑΚΗ, 1985).

Υπόμνημα: 1: Μεταλπικά ιζήματα της κοιλάδας του Στρυμώνα, 2: Ενότητα Βερτίσκου, 3: Ενότητα Κερδυλλίων, 4: Μάζα Ροδόπης, 5: Περιοδοπική ζώνη, 6: Ανατολικό όριο της Σερβομακεδονικής μάζας (Γραμμή Στρυμώνα), 7: Δυτικό όριο Σερβομακεδονικής μάζας.

1.3.1 Τεκτονική – Ενεργά ρήγματα περιοχής

Από πτυχοτεκτονικής πλευράς, η γεωτεκτονική ζώνη της Σερβομακεδονικής υπόκειται σε συνεχή τεκτονική δράση. Η εξέλιξη της μάζας στη ΒΑ Χαλκιδική δέχτηκε πέντε στάδια παραμορφώσεων και μεταμορφώσεων, λόγω πρόκλησης επανειλημμένων γεγονότων μέχρι την τελική της διαμόρφωση, σε συνδυασμό με την κυριαρχία διαφόρων τύπων πτυχώσεων (ENVECO AE, 2013).

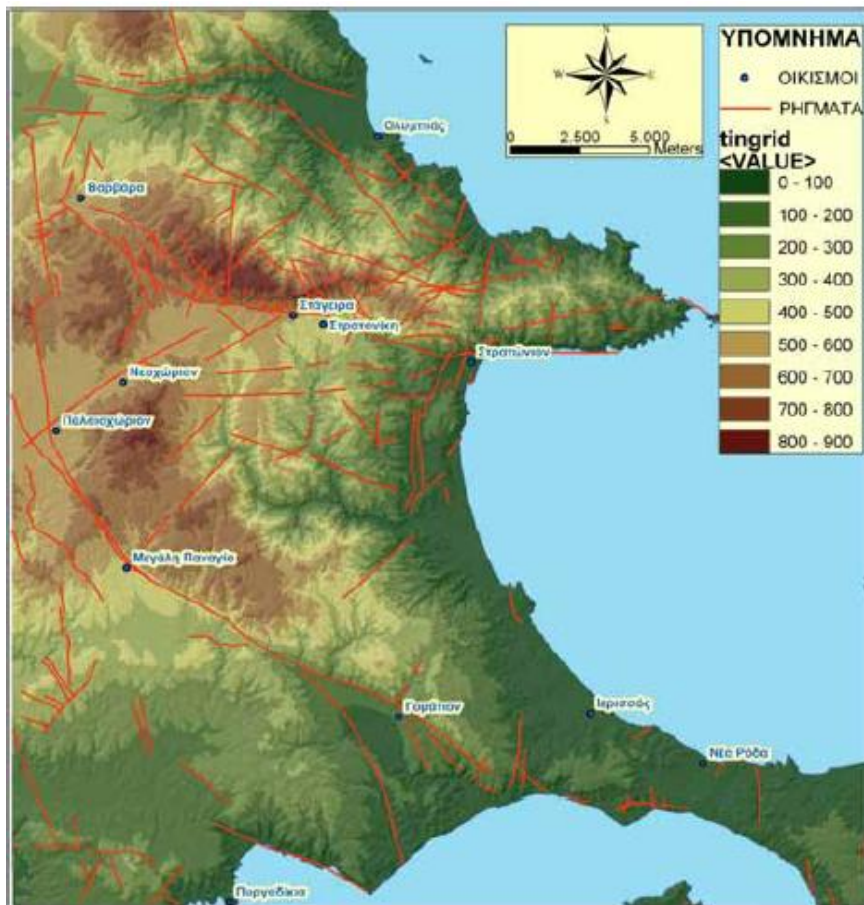
Η πρώτη τεκτονική δραστηριότητα της περιοχής είχε ως αποτέλεσμα, τον σχηματισμό τεκτονικών κεράτων, τάφρων και μεγάλης γωνίας κλίσης κανονικών ρηγμάτων κατά το μήκος του Σερβομακεδονικού όγκου. Έπειτα, κατά θέσεις της χερσονήσου της Χαλκιδικής

(π.χ. Γομάτι, Ιερισσός) εντοπίζονται ιζήματα (λιμναίοι και υφάλμυροι ασβεστόλιθοι, άμμος, αμμώδη μάργα, ιλύς - άμμος) Νεογενής – Τεταρτογενής ηλικίας, με τις αντίστοιχες νεοτεκτονικές φάσεις. Μια δεύτερη σημαντική τεκτονική δραστηριότητα σημειώθηκε κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς, η οποία αναγνωρίζεται από τη κατανομή των ιζημάτων Πλειο-τεταρτογενούς περιόδου, από ρήγματα (μέσο και μικρο-τεκτονικής δομής) που επηρεάζουν τα ιζήματα αυτά, καθώς και από την παρουσία χαρακτηριστικών ρηγμάτων, στα όρια μεταξύ προσφάτων ιζημάτων (Pavlides & Kiliyas, 1987).

Σε αρκετές περιπτώσεις τα ρήγματα αυτά σχετίζονται με σημαντικές οριζόντιες μετατοπίσεις. Τα μεγάλα ρήγματα που κυριαρχούν στην ευρύτερη περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής (Σχήμα 1.7) εμφανίζουν τρεις γενικές διευθύνσεις ανάπτυξης (Mountrakis, 2004, Pavlides & Kiliyas 1987): ένα μεγάλο μέρος τους έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ ως ΒΒΔ-ΝΝΑ, ένα δεύτερο προσανατολίζεται περίπου Α-Δ ως ΔΒΔ-ΑΝΑ, ένα τρίτο παρουσιάζει μια ΒΑ-ΝΔ κατεύθυνση, ενώ μερικά ρήγματα τείνουν σε μία Β-Ν κατεύθυνση.

Αξίζει να αναφερθεί ότι, τα ρήγματα της περιοχής μελέτης σχετίζονται με την μεταλλοφορία μαγγανίου και θειούχων βασικών μετάλλων της ευρύτερης περιοχής. Σχετικά με τα ρήγματα της ΒΑ Χαλκιδικής εντοπίζονται (ENVECO A.E, 2013):

- Ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ ή Δ.ΒΔ-Α.ΝΑ, σχετίζονται με μεταλλοφορία μαγγανίου και θειούχων μετάλλων
- Ρήγματα διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ έως Β.ΒΔ-Ν.ΝΑ αποτελούν την πλειοψηφία στη ΒΑ Χαλκιδική
- Ρήγματα με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ έχουν σχέση με μεταλλοφορία και μαγματικές διεισδύσεις (Σκουριές-Γσικάρα-Στρατώνι, Ζέπκο-Βίνα-Παπάδες)
- Ρήγματα διεύθυνσης Β-Ν απαντώνται σπανιότερα, είναι μεγάλου σχετικά μήκους και σχετίζονται με μεταλλοφορία θειούχων βασικών μετάλλων, αργυρού και χρυσού.



Σχήμα 1.7: Τοπογραφικό ψηφιακό μοντέλο (DEM) με τις εμφανίσεις ρηγμάτων στην περιοχή μελέτης. Τα ρήγματα καταγράφηκαν από ψηφιοποίηση των χαρτών: 1) "General Geological Map of Kassandra". (Cepeda, A. 1999 Scale, 1:20.000), 2) Νεοτεκτονικός χάρτης φύλλο Ροδολίβος (Μουντράκης et al., 1994, κλίμακα: 1:100.000) και 3) Γεωλογική χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλα: Αρναία, Ιερισός, Σταυρός και Στρατονίκη, (Ι.Γ.Μ.Ε., 1978, κλίμακα:1:50.000) (Μιχαηλίδου, 2005)

1.4 Γεωλογική δομή

Η Σερβομακεδονική κρυσταλλοσχιστώδης μάζα στην περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής, όπως αναφέρθηκε στη παράγραφο 1.3, διαχωρίζεται ανατολικά στον σχηματισμό Κερδυλλίων και δυτικά στον υπερκείμενο σχηματισμό Βερτίσκου (Δυτικά). Στη παράγραφο αυτή, παρουσιάζεται αναλυτικά η γεωλογική δομή της περιοχής, σύμφωνα με την μελέτη της ENVECO A.E (2013).

Ο σχηματισμός Κερδυλλίων αποτελείται από βιοτιτικούς γνεύσιους που διακόπτονται από κεροστιλβικούς γνεύσιους, αμφιβολιτές και μάρμαρα, ενώ ο υπερκείμενος σχηματισμός του Βερτίσκου συνίσταται, κυρίως, από διμαρμαρυγικούς γνεύσιους που παρεμβάλλονται από διμαρμαρυγικούς σχιστόλιθους και βιοτιτικούς γνεύσιους. Στο σχηματισμό του Βερτίσκου συχνά απαντώνται μεταβασικά (διαβάσες, γάββροι) και μεταϋπερβασικά (πυρόξενοι, δουνίτες, χαρτζβουργίτες) πετρώματα. Επίσης, συναντώνται Μεσοζωικής ηλικίας ανθρακικά πετρώματα, που σχηματίστηκαν κατά την αλπική ορογένεση και ανήκουν στην Περιοδοπική

ζώνη. Η τεκτονική επαφή μεταξύ των σχηματισμών Κερδυλλίων και Βερτίσκου, πρόκειται για μία τέτοια ζώνη, η οποία ελέγχει τη μεταλλοφορία των Μαύρων Πετρών και του Μαντέμ Λάκκου, καθώς και τα μικρής γωνίας ρήγματα, που ελέγχουν τους ορίζοντες μαρμάρων και τη μεταλλοφορία του κοιτάσματος της Ολυμπιάδας. Βασικό χαρακτηριστικό των γνευσιακών και σχιστοποιημένων πετρωμάτων είναι οι εμφανίσεις ακανόνιστων φακών και φλεβικών διεισδύσεων πηγματιτών και απλιτών, μεταγενέστερης ηλικίας, που φιλοξενούν τους μεταλλοφόρους ορίζοντες. Κατά το Ολιγόκαινο, η περιοχή επηρεάστηκε τεκτονικά από εφελκυσμό, που ευνόησε τη διείσδυση υπο-αλκαλικών πορφυριτικών βαθυλίθων, όπως στην περίπτωση των Σκουριών και της Φισώκας, που φιλοξενούν κοιτάσματα χρυσού και χαλκού πορφυριτικού τύπου.

Ο σχηματισμός Κερδυλλίων συνίσταται κυρίως από βιοτιτικούς γνεύσιους και δευτερευόντως από κεροστιλβικούς γνεύσιους, πλαγιокλαστικούς-μικροκλινικούς γνεύσιους, αμφιβολίτες και μάρμαρα. Σε κάποιες θέσεις εμφανίζονται ανατηξίτες βιοτιτικών γνευσίων, όπως βιοτιτικοί γνεύσιοι με παραμβολές κεροστιλβικών γνευσίων, πλαγιокλαστικών-μικροκλινικών γνευσίων και αμφιβολιτών, σε διάφορες αναλογίες. Εντός των ανωτέρω, εισχωρούν πηγματίτες, με την μορφή φλεβών ή παρείσακτων κοιτών. Οι υδροθερμικά εξαλλοιωμένοι (σερικιτιωμένοι) λεπτόκοκκοι έως μεσόκοκκοι πηγματίτες είναι γνωστοί και ως απλίτες. Το κύριο πέτρωμα του σχηματισμού Κερδυλλίων, ο βιοτιτικός γνεύσιος, είναι λεπτόκοκκος και απαρτίζεται από πλαγιόκλαστα (με ανορθίτη 40-50%), βιοτίτη, χαλαζία, Κ-αστρίους (ορθόκλαστο και λίγο μικροκλινή), μοσχοβίτη, αμφίβολο, χλωρίτη, επίδοτο, τιτανίτη, απατίτη, ζirkόνιο. Από την άλλη, ο κεροστιλβικός γνεύσιος είναι μεσόκοκκος και αποτελείται από βιοτίτη, , πράσινη κεροστιλίβη, χαλαζία, πλαγιόκλαστα. Ο αμφιβολίτης είναι λεπτόκοκκος έως μεσόκοκκος, σε λεπτές ενστρώσεις και αποτελείται από κεροστιλίβη, χαλαζία, πλαγιόκλαστο, επίδοτο, χλωρίτη, ανθρακικά, ζωϊσίτη, τιτανίτη. Εντός του γνευσίου υπεισέρχονται δύο ορίζοντες μαρμάρου πάχους από 10 m έως 300 m, που φιλοξενούν την υδροθερμική μεταλλοφορία της περιοχής. Ο κατώτερος ορίζοντας (0-150 m) είναι χονδρόκοκκο μάρμαρο μεγάλου πάχους, τοπικά δολομιτιωμένο με ενστρώσεις βιοτιτικού και κεροστιλβικού γνευσίου, αμφιβολιτών και φιλοξενεί τα θειούχα κοιτάσματα βασικών μετάλλων μολύβδου, ψευδαργύρου, χρυσού και αργύρου στα μεταλλεία Μαντέμ Λάκκου, Μαύρων Πετρών και Ολυμπιάδας. Ο κατώτερος ορίζοντας μαρμάρου τέμνεται από τον γρανοδιορίτη Στρατωνίου στην περιοχή του Μαντέμ Λάκκου. Ο γρανοδιορίτης του Στρατωνίου είναι μια λεπτό-αδροκρυσταλλική διείσδυση στον σχηματισμό Κερδυλλίων και η έκταση του στην επιφάνεια είναι περιορισμένη, ενώ σε βάθος επεκτείνεται μεταξύ

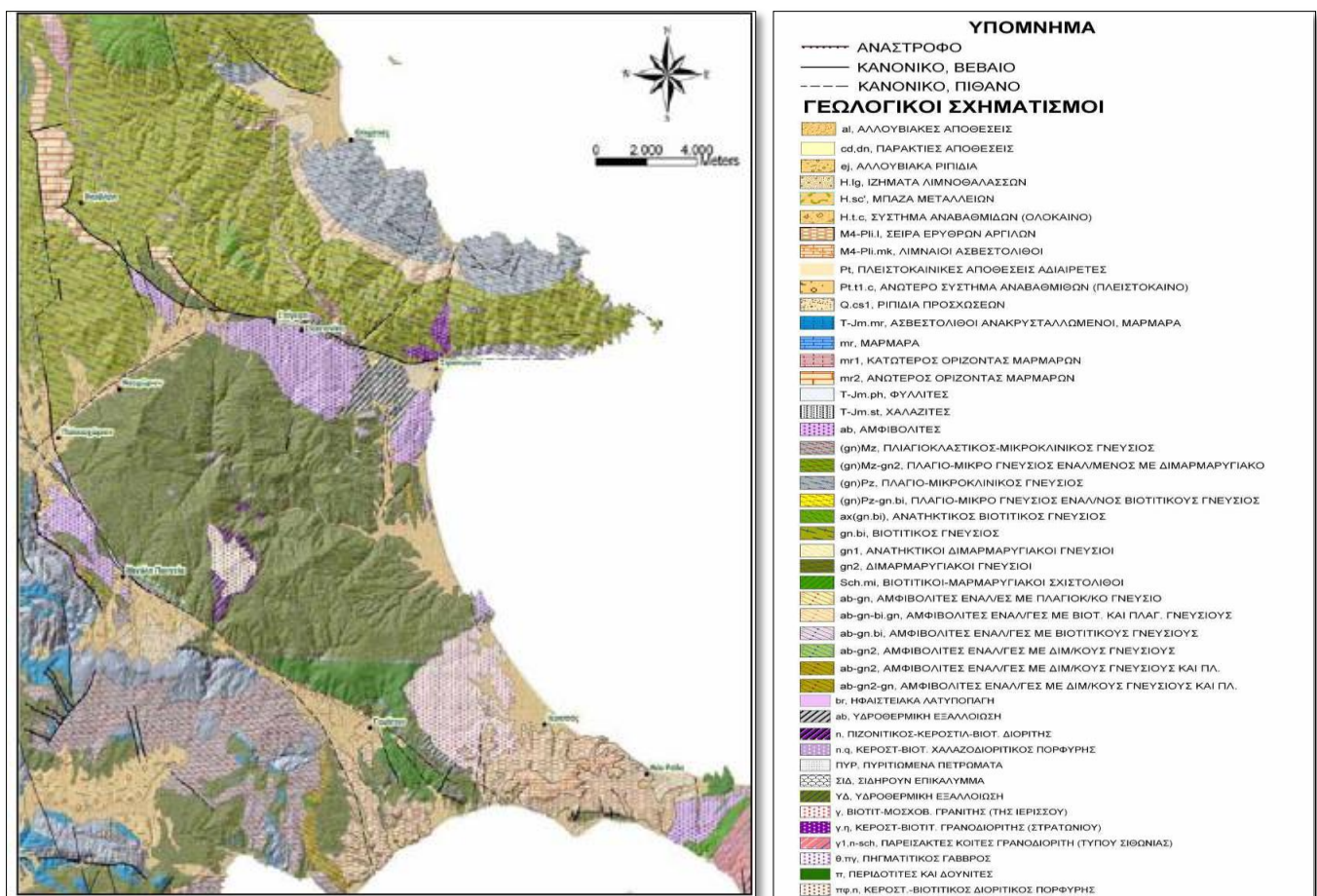
Στρατωνίου και Ολυμπιάδας. Η σύσταση του ποικίλλει από χαλαζιακή διοριτική, χαλαζιακή μονζοδιοριτική, γρανοδιοριτική μέχρι αδαμελιτική, με πιο συχνή τη γρανοδιοριτική. Ο ανώτερος ορίζοντας (30-300 m) είναι χονδρόκοκκο μάρμαρο μεγάλου πάχους, τοπικά δολομιτωμένο με ενστρώσεις βιοιτικού γνευσίου, κεροστιλβικού σχιστόλιθου και αμφιβολιτών. Ο ανώτερος ορίζοντας μαρμάρου εξαπλώνεται κατά μήκος της επαφής των δύο σχηματισμών (Κερδυλλίων, Βερτίσκου). Ο ανώτερος ορίζοντας παρουσιάζει σημαντικά κοιτάσματα οξειδίων του μαγγανίου στις περιοχές Πιάβιτσα και Γκαβάζι. Τα μάρμαρα και οι γνεύσιοι, του σχηματισμού των Κερδυλλίων, παρεμβάλλονται μετα-πηγματιτικές, μετα-απλιτικές φλέβες και από παρεμβολές παρείσακτων κοιτών τοναλιτικού-γρανιτικού τύπου. Έχουν ανατηκτική προέλευση και διείσδυσαν, αντιστοίχως, μετά την κύρια μεταμόρφωση-παραμόρφωση και πριν από την πρασινοσχιστολιθική μεταμόρφωση.

Ο σχηματισμός Βερτίσκου συγκροτείται από διμαρμαρυγικούς γνεύσιους, με παρεμβολές μοσχοβιτικών γνευσίων, οφθαλμογνευσίων και αμφιβολιτών. Οι διμαρμαρυγικοί γνεύσιοι είναι λεπτομεσόκοκοι και αποτελούνται από χαλαζία, πλαγιόκλαστα, αστρίους, μοσχοβίτη, βιοτίτη και δευτερεύοντος από χλωρίτη, γρανάτη, ζωϊσίτη, κλινοζωϊσίτη και αδιαφανή ορυκτά. Οι μοσχοβιτικοί γνεύσιοι αποτελούνται από χαλαζία, πλαγιόκλαστα, μοσχοβίτη, ίχνη βιοτίτη και K-αστρίους. Σε κάποιες θέσεις εντοπίζονται μοσχοβιτικοί-γγρανατούχοι και τουρμαλινικοί γνεύσιοι. Οι γρανάτες είναι προτεκτονικοί, με ρωγμές, που πληρούνται από χλωρίτη λόγω της ανάδρομης μεταμόρφωσης. Οι οφθαλμογνεύσιοι απαντούν σε ενστρώσεις εντός των διμαρμαρυγικών και μοσχοβιτικών γνευσίων και συνίστανται από οφθαλμούς χαλαζία, πλαγιόκλαστα, K-αστρίους, μοσχοβίτη, βιοτίτη, επίδοτο και χλωρίτη. Οι αμφιβολίτες σχηματίζουν λεπτές ενστρώσεις εντός του γνευσίου, σχηματίζοντας φακούς πάχους 10-100 m, σύμφωνα προς την σχιστότητα του γνευσίου ή σχηματίζουν μεγάλα σώματα (π.χ. περιοχή Βαρβάρας, Σταγείρων, Στρατονίκης και Παλαιοχωρίου - Παναγιάς - Γοματιού - Ν. Ρόδας). Είναι μεσόκοκοι-αδρόκοκοι με σαφή σχιστότητα και γραμμική διάταξη των ορυκτών και απαρτίζονται από κεροστίλβη (50-55%), πλαγιόκλαστα, αστρίους, βιοτίτη, επίδοτο, γρανάτες, ζωϊσίτη, ζirkόνιο, απατίτη.

Η Περιοδοπική ζώνη συναντάται στην περιοχή μεταξύ της Βαρβάρας και του Στανού και χαρακτηρίζεται από πετρώματα της ομάδας Σβούλας (μάρμαρα, φυλλίτες, βασικοί ή όξινοι μετατόφοι). Τα πετρώματα αυτά σχηματίστηκαν τεκτονικά, λόγω των Αλπικών πτυχώσεων, εντός των γνευσίων του Βερτίσκου, παράλληλα στην παράταξη και κλίση τους. Μέσα στους γνεύσιους σημειώνονται πυριγενείς διεισδύσεις (πορφύρες) Τριτογενούς ηλικίας σύστασης διοριτικής, συνηθισμένης, γρανοδιοριτικής και μονζοδιοριτικής. Οι πορφύρες ελέγχονται από

βαθιά ρήγματα που τέμνουν την κρυσταλλοσχιτώδη μάζα. Τα ρήγματα αυτά, έδρασαν σαν αγωγοί εξόδου τόσο των ίδιων των πορφυρικών διεισδύσεων, όσο και των υδροθερμικών διαλυμάτων που σχετίζονται με την μεταλλογένεση της περιοχής. Τα σημαντικότερα ορυκτά, αυτών, των πυριγενών πετρωμάτων είναι: ζωνώδη πλαγιόκλαστα (με ανορθίτη 27-37%), κεροστίλβη, βιοτίτης και χαλαζίας. Τα πετρώματα αυτά εμφανίζουν περιορισμένη εξάπλωση στην επιφάνεια και διακρίνονται από πυκνό δίκτυο διακλάσεων. Συνοδεύονται από έντονες υδροθερμικές εξαλλοιώσεις (πυριτίωση, χλωριτίωση, σερικιτίωση, καολινιτίωση) που επηρεάζουν και τα γειτονικά πετρώματα (γνεύσιοι). Οι κυριότερες πυριγενείς διεισδύσεις που έχουν σημειωθεί στη ΒΑ Χαλκιδική είναι των Σκουριών Στρατωνίου, Τσικάρας, Φισώκας, των Τριών Αδελφών και είναι διατεταγμένες σε ΒΑ-ΝΔ άξονα.

Στο σχήμα 1.8 παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης (Τροποποιημένα από τους γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε., κλίμακας 1:50.000, φύλλα Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη).

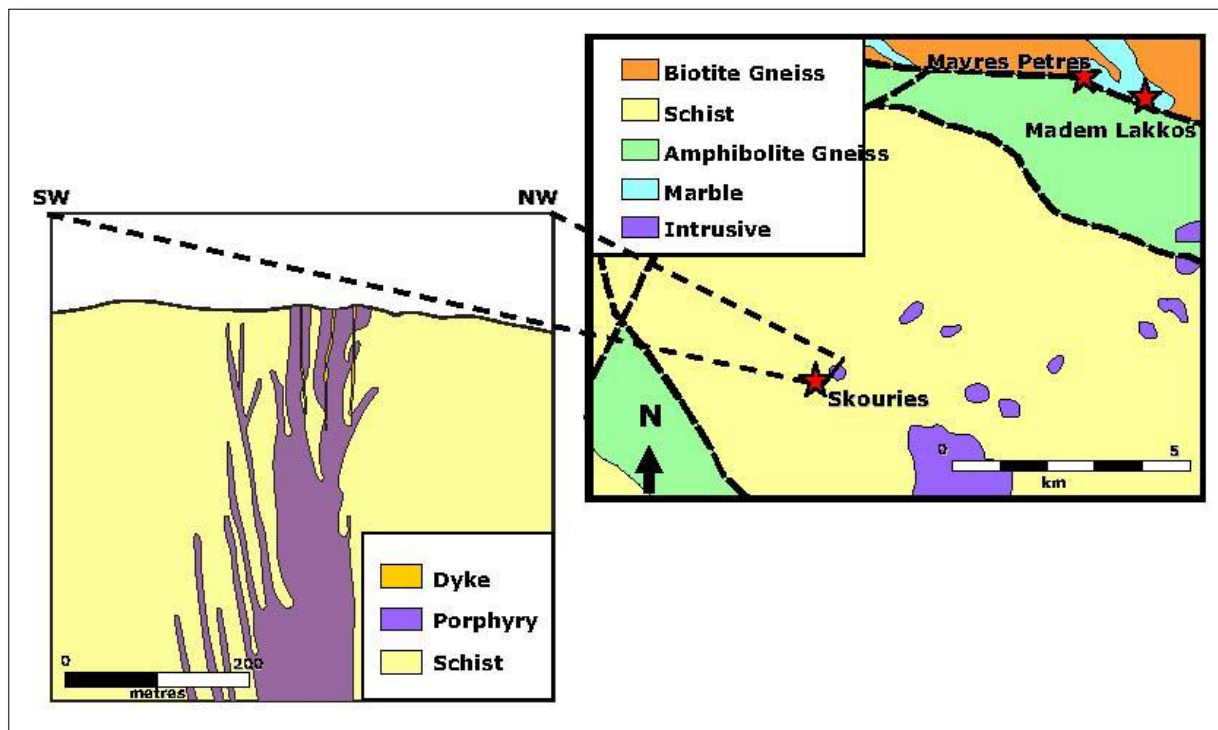


Σχήμα 1.8: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης και υπόμνημα των γεωλογικών σχηματισμών (Επιτροπή ερευνών, ΑΠΘ, 2016)

1.5 Κοίτασμα πορφυριτικού Cu-Au, Σκουριές Χαλκιδικής

Το κοίτασμα των Σκουριών είναι ένα τυπικό πορφυριτικό κοίτασμα χαλκού και χρυσού, που οφείλει τη γένεση του στη διείσδυση ενός έντονα αλκαλικού πορφύρη. Οι πορφύρες αποτελούν κατακόρυφες διεισδύσεις μάγματος ("σωληνοειδούς τύπου"), οι οποίες πιθανώς ελευθερώθηκαν από τον μαγματικό θάλαμο βαθύτερα στο φλοιό της γης, δεν βρήκαν δίοδο προς την επιφάνεια και κρυσταλλώθηκαν σε σχετικά μικρά βάθη. Χαρακτηριστικό αυτών των πετρωμάτων είναι η ανάπτυξη εμφανών κρυστάλλων ορυκτών (φαινοκρύσταλλοι) μέσα σε μια μάζα ορυκτών πολύ μικρότερου μεγέθους, καθώς και η ανάπτυξη τυπικών ζωνών εξαλλοίωσης από τη δράση υδροθερμικών ρευστών οι οποίες φιλοξενούν την μεταλλοφορία. Η διείσδυση του πορφύρη των Σκουριών, στους μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους, συνέβει πριν 20 εκατομμύρια χρόνια περίπου κατά το Ολιγόκαινο-Μειόκαινο (Επιμέλεια Τζεφέρης, 2015).

Το κοίτασμα των Σκουριών (Σχήμα 1.9) φιλοξενείται σε έναν, σχεδόν, κάθετο πορφυρικό βαθύλιθο που μοιάζει με σωλήνα και έχει διεισδύσει εντός των αμφιβολιτικών και βιοτιτικών σχιστολίθων του Βερτίσκου. Οι πετρολογικοί ιστοί και οι ορυκτολογικές συστάσεις που σημειώνονται, υποδεικνύουν ότι πραγματοποιήθηκαν πολλαπλές διεισδύσεις, μέχρι την τελική διαμόρφωση του (ENVECO, 2013).



Σχήμα 1.9: Γεωλογικό σχέδιο κάτοψης & τομής κοιτάσματος Σκουριών (Hellas Gold, 2011)

Ο μεταλλοφόρος πορφύρης εκτείνεται μέχρι το επίπεδο της επιφάνειας με ακτίνα περίπου 200 μέτρων. Η κεντρική ζώνη περιλαμβάνει δυο περιοχές υψηλής περιεκτικότητας, μία πλησίον της επιφάνειας και η δεύτερη 350m κάτω από την αυτήν. Η ίδια η κεντρική ζώνη μεταπίπτει πλευρικά προς τα Δ και ΝΔ σε μεταλλοφορία μικρότερης περιεκτικότητας εντός σχιστοειδών πετρωμάτων. Η μεταλλοφορία αυτή ενδεχομένως, να σχετίζεται με μια επιπλέον διείσδυση πορφύρη, που σύμφωνα με τα αποτελέσματα χαρτογράφησης και γεωφυσικής έρευνας, μπορεί να βρίσκεται 750m προς τα νότια του μεταλλοφόρου κοιτάσματος των Σκουριών (ENVECO, 2013). Σε βάθος 700 μέτρων από την επιφάνεια, ο πυρήνας του πορφύρη είναι χαμηλής ποιότητας, ωστόσο υπάρχουν ζώνες υψηλής περιεκτικότητας γύρω από την περίμετρο του. Σε βάθος 800m, το κοίτασμα αρχίζει να εξαπλώνεται γύρω από την κεντρική ζώνη και σχηματίζοντας πορφυρικά κλαδιά. Αυτό το τμήμα του κοιτάσματος παρουσιάζει χαμηλή περιεκτικότητα σε χρήσιμα μέταλλα (Hellas Gold, 2011). Οι ερευνητικές γεωτρήσεις μέχρι σήμερα δείχνουν ότι ο πορφύρης συνεχίζεται σε βάθος 920 μέτρων κάτω από την επιφάνεια (Hellas Gold, 2018).

Το κοίτασμα διακρίνεται από ένα ομόκεντρο σύστημα εξαλλοιώσεων. Εντός και γύρω από τον συνηθισμένο πορφυρικό σωλήνα, αναπτύσσεται μια καλιούχος πυριτική εξαλλοίωση με τη μορφή διαποτισμών, καλιούχων αστρίων εντός του πορφύρη, καθώς και βιοτίτη και καλιούχων αστρίων εντός των σχιστοειδών στείων πετρωμάτων. Η ζώνη αυτή περικλείεται από μία προπυλιτική ζώνη εξαλλοίωσης, χαρακτηριστικό της οποίας είναι η εμφάνιση επίδοτου, χλωρίτη, ασβεστίτη και αλβίτη, που αντικαθιστούν μερικώς τα πρωτογενή ορυκτά και συναντώνται μέσα σε ακανόνιστα και ασυνεχή φλεβίδια, ρωγμές καθώς και κατά μήκος της σχιστότητας. Ακολουθεί μια ασθενής φυλλιτική εξαλλοίωση και τέλος μια ασθενούς έως μέτριας έντασης ζώνη αργιλικής εξαλλοίωσης, που εμφανίζεται κυρίως μέσα σε ρηξιγενείς ζώνες. Σε βάθος 30 έως 50 μέτρων από το επίπεδο της επιφάνειας σημειώνεται ένα οξειδωμένο κάλυμμα, το οποίο αποτελείται από κυπρίτη, αζουρίτη, μαλαχίτη αυτοφυή χαλκό, οξείδια του σιδήρου και λίγο χαλκοπυρίτη, σιδηροπυρίτη και χαλκοσίνη (ENVECO, 2013).

Η μεταλλοφορία συνήθως συνίσταται από μορφή φλεβιδίων χαλκοπυρίτη και δευτερευόντως από διάσπαρτο λεπτόκοκκο χαλκοπυρίτη με λίγο βορνίτη και λιγότερο κοβελίνη, χαλκοσίνη, μολυβδενίτη και σιδηροπυρίτη. Ο μαγνητίτης αποτελεί σύνθετο ορυκτό αυτής της παραγένεσης. Όπως αποδείχθηκε από την ορυκτολογική μελέτη, ο χρυσός απαντάται με την μορφή εγκλεισμάτων εντός του χαλκοπυρίτη (ENVECO A.E., 2013). Πιο συγκεκριμένα, αναπτύσσεται ως αυτοφυής και εντοπίζεται εντός του χαλαζία και των άλλων στείων

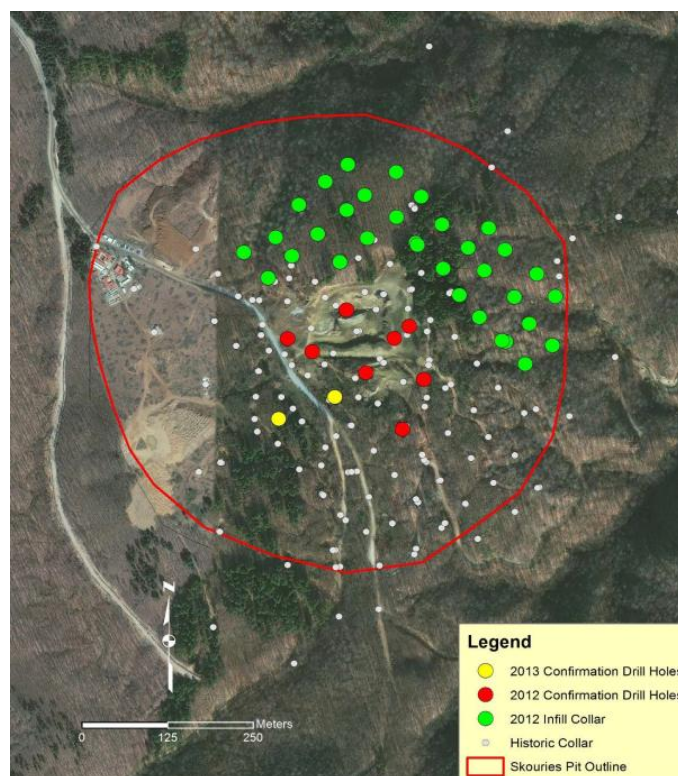
ορυκτών, καθώς και μέσα σε θειούχα ορυκτά, ειδικά στον βορνίτη και τον χαλκοσίνη. Αξίζει να προστεθεί ότι, εντός του μεταλλεύματος εντοπίστηκαν ασήμαντες ποσότητες παλλαδίου. (Επιμέλεια Τζεφέρης, 2015).

Οι περιεκτικότητες του χρυσού συνδέονται άμεσα με τη μεταλλοφορία του χαλκού, με υψηλό συντελεστή συσχέτισης, που εξαρτάται από τη λιθολογία. Μέσα στον πορφύρη η μέση σχέση Cu/Au είναι 1:1,87 και στους σχιστόλιθους 1:1,40 (ENVECO, 2013).

1.6 Γεωτρήσεις για το κοίτασμα των Σκουριών

Οι γεωτρήσεις αποτελούν την μοναδική πηγή των γεωλογικών δεδομένων για το κοίτασμα των Σκουριών. Η μεταλλευτική έρευνα πραγματοποιήθηκε σε δύο μεγάλες ερευνητικές δράσεις: το 1996-98 από την TVX HELLAS και το 2012-13 από την Eldorado Gold (Hellas Gold, 2018).

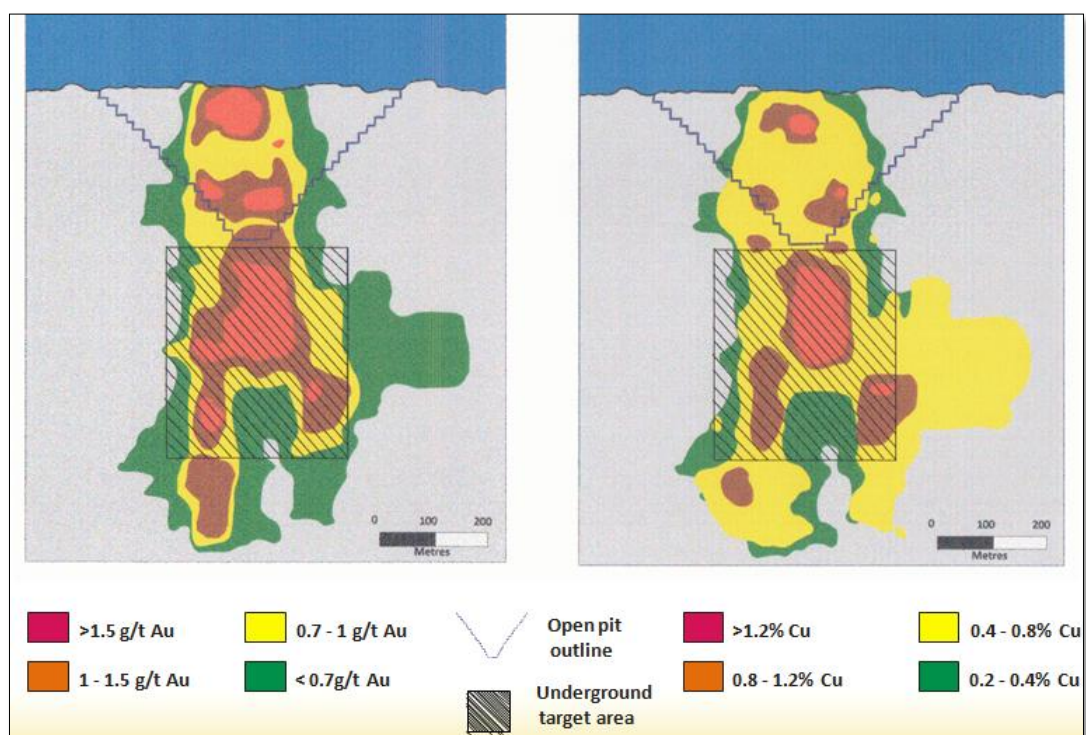
Η TVX πραγματοποίησε σε 121 θέσεις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις διαμέτρου 47 χιλιοστών με συνολικό μήκος πυρήνων 72.232 μέτρα. Οι γεωτρήσεις έφθασαν σε μέγιστο βάθος 1.013 μέτρων. Η Eldorado Gold διεξήγαγε δύο γεωτρητικές έρευνες για το πρόγραμμα των Σκουριών το 2012-2013 (Σχήμα 1.10). Το ένα πρόγραμμα αποτελείτο από 34 γεωτρήσεις διαμέτρου 47.6-63.5mm με συνολικό μήκος πυρήνων 6.922 μέτρα και ένα πρόγραμμα 10 επιβεβαιωτικών γεωτρήσεων με συνολικό μήκος πυρήνων 6.617 μέτρα (Hellas Gold, 2018).



Σχήμα 1.10: Χάρτης γεωτρήσεων Σκουριών 2012-2013 (Hellas Gold, 2018)

Γενικότερα, τα πορφυριτικά κοιτάσματα χαρακτηρίζονται για τη μεγάλη τάξη μεγέθους των αποθεμάτων. Η TVX HELLAS προσδιόρισε αποθέματα 130 εκατομμυρίων τόνων με περιεκτικότητα 0,88g/t σε χρυσό και 0,548% σε χαλκό (Επιμέλεια Τζεφέρης, 2015). Η Eldorado, αφού εξέτασε τις μελέτες της TVX HELLAS και τις διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου/διασφάλισης ποιότητας, συμφωνεί με τα δεδομένα και τα συμπεράσματα από τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων της πρώτης εκστρατείας και τα πιστοποιεί (Hellas Gold, 2018).

Στο σχήμα 1.11 παρουσιάζεται μία τομή του κοιτάσματος που εμπεριέχει περιεκτικότητες Au, Cu μετά από την επεξεργασία δεδομένων γεωτρήσεων σε κάρναβο 50x50m.



Σχήμα 1.11: Τομή κοιτάσματος Σκουριών που αποτυπώνει τις περιεκτικότητες Au, Cu μετά από την επεξεργασία των δεδομένων γεωτρήσεων σε κάρναβο 50x50m (Hellas Gold, 2016)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ ΠΑΤΩΜΑΤΟΣ

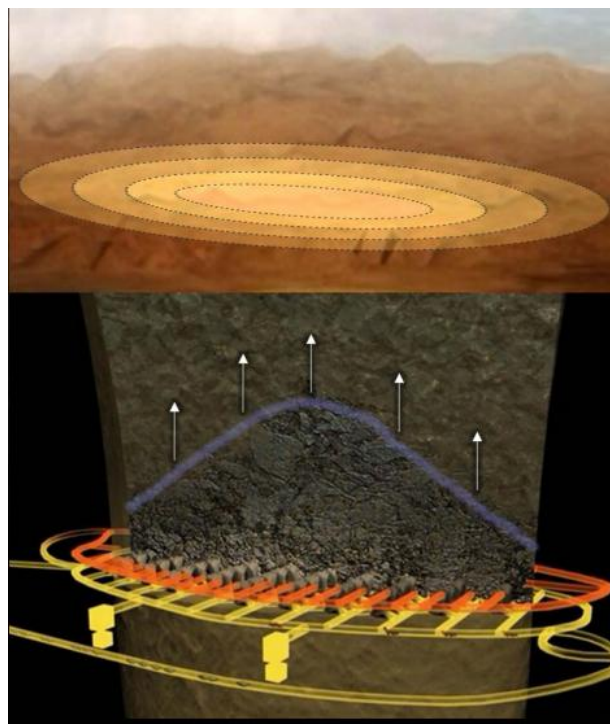
2.1 Περιγραφή μεθόδου

Η μέθοδος κατακρήμνισης πατώματος (Block Caving) αποτελεί μια μέθοδο υπόγειας εκμετάλλευσης, η οποία επιτρέπει την εκμετάλλευση μεγάλων όγκων μεταλλεύματος, με μεγάλη αποτελεσματικότητα, λόγω του χαμηλού λειτουργικού κόστους εκμετάλλευσης και των υψηλών δυνατοτήτων παραγωγικότητας. Η μέθοδος αυτή παρέχει μεγάλη δυνατότητα μηχανοποίησης και αυτοματισμού (Gertsch & Bullock, 1998).

2.1.1 Αρχή λειτουργίας

Η μέθοδος της κατακρήμνισης πατώματος προϋποθέτει, όπως προαναφέρθηκε στην εισαγωγή, ότι οι μηχανικές ιδιότητες της βραχομάζας, το επί τόπου εντατικό πεδίο κλπ να είναι κατάλληλα, ώστε με την βοήθεια της βαρύτητας, το πέτρωμα να θραυέται και να κατακρημνίζεται λόγω του βάρους του.

Πρακτικά, υποσκάπτεται η βάση του μεταλλεύματος με χρήση διατρητικών και εκρηκτικών, ως αποτέλεσμα, η στήλη του μεταλλεύματος χάνει την υποστήριξη της, καταρρέει και το θραυσμένο μέταλλευμα πέφτει στα σημεία συλλογής (χοάνες), από όπου και απομακρύνεται. Καθώς απομακρύνεται το μέταλλευμα, η κατακρημνισιμότητα (ικανότητα κατακρήμνισης) διαδίδεται σε ολόκληρη την στήλη του μεταλλεύματος, έως την εξόφληση της. Στο σχήμα 2.1 αναπαρίσταται η λειτουργία της μεθόδου της κατακρήμνισης πατώματος. Αναλυτικότερα, η μεθοδολογία της μεθόδου παρουσιάζεται στην παράγραφο 2.4.2.



Σχήμα 2.1 : Σκαρίφημα εφαρμογής μεθόδου Block Caving (Μπενάρδος, 2009)

2.1.2 Εφαρμογές μεθόδου στον κόσμο

Η μέθοδος εκμετάλλευσης της κατακρήμνισης πατώματος έχει εφαρμοστεί σε κοιτάσματα πορφυρικού χαλκού (π.χ. El Teniente Mine, Χιλή, Palabora Mine, Νότια Αφρική), χαλκού – χρυσού (π.χ. Northparkes, Αυστραλία), διάσπαρτης μεταλλοφορίας μολυβδαινίου (π.χ. Henderson Mine, Climax Mine, Urad Mine, Κολοράντο), διαμαντιών (π.χ. Premier Diamond Mine, Νότια Αφρική), σε αποθέσεις λειμωνίτη (στην Βόρεια Ισπανία), σε κοιτάσματα άσβεστου (π.χ. Thetford Mines, Καναδάς), μαγνητίτη (π.χ. Grace Mine, ΗΠΑ). Στο σχήμα 2.2 φαίνονται μεταλλεία όπου εφαρμόζεται η μέθοδος.



Σχήμα 2.2: Χάρτης που παρουσιάζει μεταλλεία στα οποία εφαρμόζεται η κατακρήμνιση πατώματος (Harraz, 2014).

2.2. Χαρακτηριστικά μεταλλεύματος για την εφαρμογή της μεθόδου

Η μέθοδος της κατακρήμνισης πατώματος συχνότερα εφαρμόζεται σε μεταλλεύματα τεράστιων όγκων και χαμηλής ποιότητας, λόγω του χαμηλού κόστους λειτουργίας της.

Το κοίτασμα πρέπει να παρουσιάζει μεγάλη οριζόντια έκταση για την δυνατότητα επέκτασης των επιπέδων παραγωγής και υποσκαφής, ενώ παράλληλα πρέπει να παρουσιάζει και απότομη κλίση, προκειμένου να συμμορφώνεται με τους περιορισμούς της μεθόδου (Gertsch, Bullock, 1998).

Η χρήση της μηχανικής πετρωμάτων είναι καθοριστική για να μπορεί να κριθεί αν ένα κοίτασμα μπορεί να είναι εκμεταλλεύσιμο με την μέθοδο κατακρήμνισης πατώματος. Για την επιτυχημένη λειτουργία της μεθόδου, το κοίτασμα πρέπει να παρουσιάζει επαρκείς ασυνέχειες και επίπεδα αδυναμίας. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει η σκληρότητα και η ανθεκτικότητα αυτού (Gertsch, Bullock, 1998).

Η κατακρήμνιση του μεταλλεύματος συμβαίνει, σχεδόν πάντα, λόγω της επίδρασης της βαρύτητας, η οποία επενεργεί στα επίπεδα αδυναμίας (Gertsch, Bullock, 1998). Κατά την αξιολόγηση του κοιτάσματος, το ζητούμενο είναι ο προσδιορισμός του προσανατολισμού των ασυνεχειών και τα διαστήματα μεταξύ αυτών. Οι ασυνέχειες που διασχίζουν το κοίτασμα πρέπει να είναι προσανατολισμένες με τέτοιο τρόπο και να είναι μεγάλης πυκνότητας και επιμονής, ώστε το μέταλλευμα να θραύεται σε μεγέθη διαχειρίσιμα στα σημεία συλλογής. Όσο πιο κοντά εμφανίζονται τα επίπεδα θραύσης, τόσο πιο εύκολα μπορεί το μέταλλευμα να θραυστεί. Επιπρόσθετα, η τριβή του μεταλλεύματος σε συνδυασμό με τις διάφορες εφελκυστικές και διατμητικές τάσεις που λαμβάνουν χώρα εντός της στήλης του κοιτάσματος συμβάλλουν στην μείωση του μεγέθους των θραυσμάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η αραίωση (ανάμιξη μεταλλεύματος με στείρα υλικά, με απότοκο την μείωση της περιεκτικότητας υλικού σε χρήσιμα μέταλλα) του μεταλλεύματος είναι αναπόφευκτη, αφού δεν υφίσταται η δυνατότητα της εκλεκτικής συλλογής υλικού. Σκοπός είναι, να υπεισέρχεται ένα μεγάλο ποσοστό (τουλάχιστον 50%) θραυσμάτων με διαστάσεις μέχρι 1.5m εντός των χοανών και τα κόστη των ανατινάξεων για την δευτερογενή θραύση να μην είναι υπερβολικά (Gertsch, Bullock, 1998).

Η εφαρμογή της μεθόδου ενδείκνυται όταν ισχύουν οι εξής προϋποθέσεις (Harraz, 2014), (Εξαδάκτυλος, 2005):

- Αντοχή μεταλλεύματος: Αδύναμο ως μέτριο, κατά προτίμηση μαλακό ή εύθραυστο μέταλλευμα με έντονα επίπεδα θραύσης
- Διακριτή διεπιφάνεια μεταξύ άγονου – μεταλλεύματος
- Υψηλές μηχανικές ιδιότητες περιβαλλόντων πετρωμάτων
- Καλή γεωμετρική ανάπτυξη περιβαλλόντων πετρωμάτων
- Εκτεταμένη οριζόντια ανάπτυξη κοιτάσματος
- Μεγάλο πάχος κοιτάσματος (>30 m)
- Απότομη κλίση κοιτάσματος, προτιμάται η κάθετη
- Βάθος: Μέτριο (>500m και <1200m)
- Ικανότητα κατακρήμνισης πετρώματος μετά την αρχική υποσκαφή
- Απουσία προβλημάτων στην επιφάνεια που να σχετίζονται με φαινόμενα καθίζησης
- Ενιαία και ομοιογενή κατανομή των επιπέδων θραύσης
- Ομοιόμορφη κατανομή περιεκτικότητας μεταλλεύματος

2.3 Γεωτεχνικές παράμετροι που προσδίδουν την κατακρημνισιμότητα του μεταλλεύματος

Για την εκτίμηση της ικανότητας της κατακρήμνισης του μεταλλεύματος και συνεπώς της εφαρμογής και της επιτυχίας της μεθόδου της κατακρήμνισης πατώματος λαμβάνονται υπόψη η ποιότητα της βραχομάζας, οι δείκτες RQD, Q, RMR, MRMR, η υδραυλική ακτίνα RH, καθώς και η κατανομή των πιέσεων της περιοχής μελέτης (Brown, 2003).

Ο δείκτης ποιότητας του πετρώματος RQD (Rock Quality Designation) αναπτύχθηκε από τον Deere (1964) και εκτιμάται ως εξής: Σε πυρήνες δειγματοληψίας διαμέτρου μεγαλύτερη από 50mm και για ορισμένο μήκος πυρήνα, που αντιστοιχεί σε μια ενότητα ταξινόμησης, καταγράφονται τα τμήματα με μήκος μεγαλύτερο από 100mm. Έπειτα, το συνολικό μήκος ανάγεται σε ποσοστό επί του αρχικού μήκους, με βάση την παρακάτω σχέση:

$$RQD = \frac{\text{συνολικό μήκος τμημάτων πυρήνα} > 100mm}{\text{συνολικό μήκος πυρήνα}} * 100$$

Ο δείκτης αυτός, δεν συμπεριλαμβάνει τη φύση και τον προσανατολισμό των ασυνεχειών, αλλά την ύπαρξη αυτών (Αγιουτάντης, 2010).

Ο δείκτης ποιότητας Q προτάθηκε από τους Barton, Lien και Lunde (1974) και χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό παραμέτρων για την εκτίμηση της ποιότητας Q του πετρώματος:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \frac{J_r}{J_a} \frac{J_w}{SRF}$$

όπου,

RQD= δείκτης ποιότητας του πετρώματος

J_n= δείκτης του αριθμού συστήματος ασυνεχειών

J_r= δείκτης τραχύτητας του ασθενέστερου συστήματος ασυνεχειών

J_a= δείκτης εξαλλοίωσης του ασθενέστερου επίπεδου αδυναμίας

J_w= δείκτης επίδρασης του νερού στις ασυνέχειες

SRF= συντελεστής επίδρασης της εντατικής κατάστασης του πετρώματος

Στην παραπάνω σχέση, το πρώτο κλάσμα εκφράζει το μέσο μέγεθος των τεμάχων που απαρτίζουν τη βραχομάζα, το δεύτερο τις ιδιότητες της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών της και το τρίτο τις τάσεις που κυριαρχούν.

Το σύστημα ταξινόμησης RMR (Rock Mass Rating) αναπτύχθηκε αρχικά από τον Bieniawski (1973). Το σύστημα χρησιμοποιεί παραμέτρους που είναι δυνατόν να μετρηθούν επί τόπου ή να εκτιμηθούν από πυρήνες γεωτρήσεων. Οι παράμετροι αυτοί είναι:

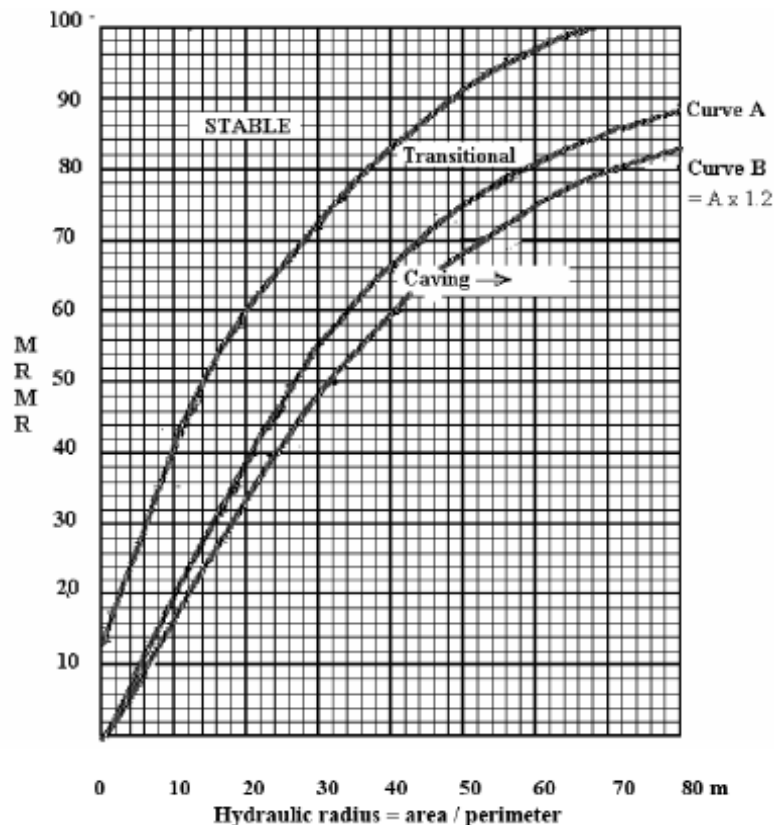
- Δείκτης ποιότητας του πετρώματος RQD
- Απόσταση μεταξύ ασυνεχειών
- Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη αέριου πετρώματος
- Αντοχή ασυνεχειών
- Παρουσία υπόγειου νερού στο μετάλλευμα
- Προσανατολισμός ασυνεχειών

Ο τελικός δείκτης RMR υπολογίζεται από το άθροισμα των επιμέρους επιδράσεων.

Ο δείκτης MRMR (Mining Rock Mass Rating) παρουσιάστηκε πρώτη φορά από τον Laubscher το 1974. Είναι παρόμοιος με το RMR, αλλά επιπλέον λαμβάνει υπόψη τις πιέσεις που προκαλούνται κατά την εκμετάλλευση και την ανατίναξη. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για τον RMR πολλαπλασιασμένο με ένα συντελεστή που δηλώνει τις επιδράσεις του τρόπου εξορύξεως των πετρωμάτων και τις επιπρόσθετες φθορές που υπεισέρχονται στη βραχύμαζα κατά την διάρκεια της εκμετάλλευσης (Laubscher & Jakubec, 2001).

Ο MRMR είναι προσαρμοσμένος ανάλογα με το περιβάλλον εξόρυξης και αποτελεί το πιο διαδεδομένο σύστημα ταξινόμησης για τον σχεδιασμό μεθόδων υπόγειας εκμετάλλευσης με κατακρημνιζόμενα μέτωπα (Brown, 2003).

Ο Laubscher έχει διαμορφώσει ένα εμπειρικό διάγραμμα (Σχήμα 2.3) που δείχνει για τις διάφορες τιμές του MRMR συναρτήσεως της υδραυλικής ακτίνας, αν μπορεί να καταστεί εφικτή η κατακρήμνιση ενός μεταλλεύματος. Η υδραυλική ακτίνα ενός ανοίγματος οροφής ή τοιχώματος βρίσκεται από το λόγο του εμβαδού επιφανείας προς την περίμετρο του. Για κυκλικό άνοιγμα είναι το $\frac{1}{4}$ της ακτίνας και για τετράγωνο άνοιγμα το $\frac{1}{4}$ του μήκους της πλευράς του τετραγώνου.



Σχήμα 2.3: Διάγραμμα του Laubscher που περιγράφει την ικανότητα κατακρήμνισης με βάση τον δείκτη MRMR και την υδραυλική ακτίνα HR (Laubscher, 1994)

Κατωτέρω παρατίθενται μερικές ενδεικτικές τιμές της ποιότητας βραχομάζας με τον δείκτη RMR ή MRMR που έχουν παρατηρηθεί σε μερικά μεταλλεία (Harraz, 2014):

- Palabora Mine (χαλκός) στην Νότια Αφρική με MRMR μεταξύ 57-70, το οποίο αποτελεί υψηλή τιμή που έχει παρατηρηθεί σε εφαρμογές της μεθόδου κατακρήμνισης πατώματος. (Η μέθοδος αυτή δεν συνιστάται για τιμές $MRMR > 50$)
- Henderson Mine (μολυβδαίνιο) στη Denver-USA με RMR 27-60
- Northparkes (χαλκός - χρυσός) στην Αυστραλία με χαρακτηριστικά RMR 33-54
- El Teniente, Chile MRMR μεταξύ 55-74, για ποικίλες λιθολογίες στην περιοχή εκμετάλλευσης (Ανδεσίτες, Διορίτες κ.α)

Το κοίτασμα των Σκουριών που μελετάται, πρόκειται για ένα πορφύρη Cu - Au που έχει αναπτυχθεί μέσα σε μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους. Γενικότερα, ο πορφύρης παρουσιάζει σχετικά υψηλό δείκτη MRMR (από 48 - 55), ενώ ο σχιστόλιθος μιας τάξης χαμηλότερες τιμές (περίπου 40). Η απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών του πορφύρη μπορεί να λάβει τιμές μικρότερες του ενός μέτρου, αλλά και μεγαλύτερες των δυο μέτρων, ενώ ο σχιστόλιθος από 0,2 έως 2 μέτρα (Περουλάκης, 2019).

2.4 Στοιχεία για τον σχεδιασμό της μεθόδου εκμετάλλευσης «Κατακρήμνιση πατώματος»

2.4.1 Γενικά χαρακτηριστικά για τον σχεδιασμό εκμετάλλευσης

Η υπόγεια εξόρυξη των μεταλλευμάτων περιλαμβάνει τρία στάδια (Brown, 2003):

- Την προσπέλαση στην ζώνη μεταλλοφορίας,
- την παραγωγή μεταλλεύματος και
- τη μεταφορά του μεταλλεύματος στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας στην επιφάνεια του ορυχείου.

Αυτή η γενική διαδικασία απαιτεί την ανάπτυξη τριών βασικών τύπων υπόγειων εκσκαφών (Brown, 2003):

- Μόνιμα ανοίγματα πρόσβασης και εξυπηρέτησης των εργαζομένων και του εξοπλισμού των ορυχείων,
- πρόσβαση μετώπου και ανοίγματα για την ανάπτυξη έργων και
- ανοίγματα συγκέντρωσης του υλικού απ' όπου θα παραλαμβάνεται και θα μεταφέρεται.

Τα έργα προπαρασκευής αποτελούν τον πρώτο τύπο των μεταλλευτικών εκσκαφών. Τέτοια μπορεί να είναι: κεκλιμένα, ράμπες, φρέατα, διευθυντικές στοές, κεκλιμένα αερισμού, λούκια μεταλλεύματος, στοές μεταφοράς μεταλλεύματος ή προσωπικού, χοάνες, στοές υποσκαφής κ.ά. Αυτές οι εκσκαφές ορύσσονται εντός του κοιτάσματος ή του περιβάλλοντος στείρου σχηματισμού. Η κατασκευή των έργων ανάπτυξης εντός της ζώνης επιρροής ενός παραγωγικού μετώπου ή γύρω από αυτό, μπορεί να προκαλέσει αντίξοες εντατικοπαραμορφωσιακές τοπικές συνθήκες στη βραχομάζα, που θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια των εργαζομένων και του μηχανολογικού εξοπλισμού ενός μεταλλείου. Για να αποφεύγονται τέτοια φαινόμενα πρέπει να κατανοούνται οι αιτίες της αστάθειας του πετρώματος και να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα για την εξάλειψη αυτών των προβλημάτων (Εξαδάκτυλος, 2005).

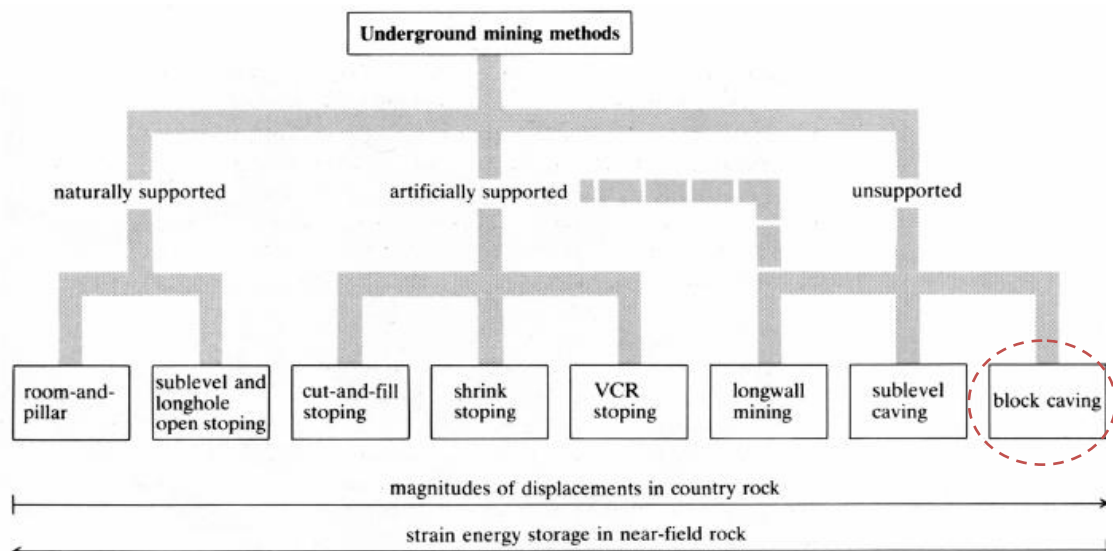
Το μέτωπο αποτελεί το τμήμα της εκμετάλλευσης που πραγματοποιείται η εξόρυξη και παραγωγή μεταλλεύματος από ένα κοίτασμα. Η διαμόρφωση του κατά την εξέλιξη μιας μεθόδου εκμετάλλευσης, συνήθως απαιτεί το μεγαλύτερο όγκο των εκσκαφών. Η μεταλλευτική διαδικασία εστιάζει στη διάνοιξη των μετώπων, στην απόσπαση του μεταλλεύματος από τη μητρική του θέση και στην απομάκρυνση του. Είναι αναγκαίο να διεξάγεται γεωμηχανικός έλεγχος συμπεριφοράς τόσο του κοιτάσματος, όσο και του περιβάλλοντος σχηματισμού για την αποδοτική γεωμηχανική και οικονομική συμπεριφορά

κάθε μετώπου, αλλά και της εκμετάλλευσης συνολικά. Η ζώνη επιρροής των μετώπων είναι καθοριστική, συγκριτικά με τους υπόλοιπους τύπους εκσκαφών. Επομένως, ο σχεδιασμός των μετώπων διαμορφώνει τον σχεδιασμό και τη λειτουργικότητα των υπόλοιπων τύπων εκσκαφών που απαρτίζουν την μεταλλευτική δραστηριότητα (Εξαδάκτυλος, 2005).

Ο σχεδιασμός των έργων προαπαιτεί αναλυτική γεωτεχνική μελέτη της διαταραχής του εντατικού πεδίου τόσο στο κοίτασμα όσο και στο περιβάλλον πέτρωμα. Χρειάζεται, λοιπόν, να λαμβάνεται υπόψη (Εξαδάκτυλος, 2005):

- η θέση των μετώπων
- η γεωμετρία μετώπων
- η πιθανή υποστήριξη των έργων ανάπτυξης γύρω από τα μέτωπα
- τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά των περιβαλλόντων πετρωμάτων
- η παρουσία νερού, κ.λπ.

Οι υπόγειες μέθοδοι εκμετάλλευσης ταξινομούνται με διάφορους τρόπους. Όμως, ο επικρατέστερος είναι αυτός (Σχήμα 2.4) των Brady και Brown (1993), που βασίζεται στα χαρακτηριστικά υποστήριξης του μετώπου παραγωγής.



Σχήμα 2.4: Ταξινόμηση υπογείων εκμεταλλεύσεων (Brady και Brown 1993)

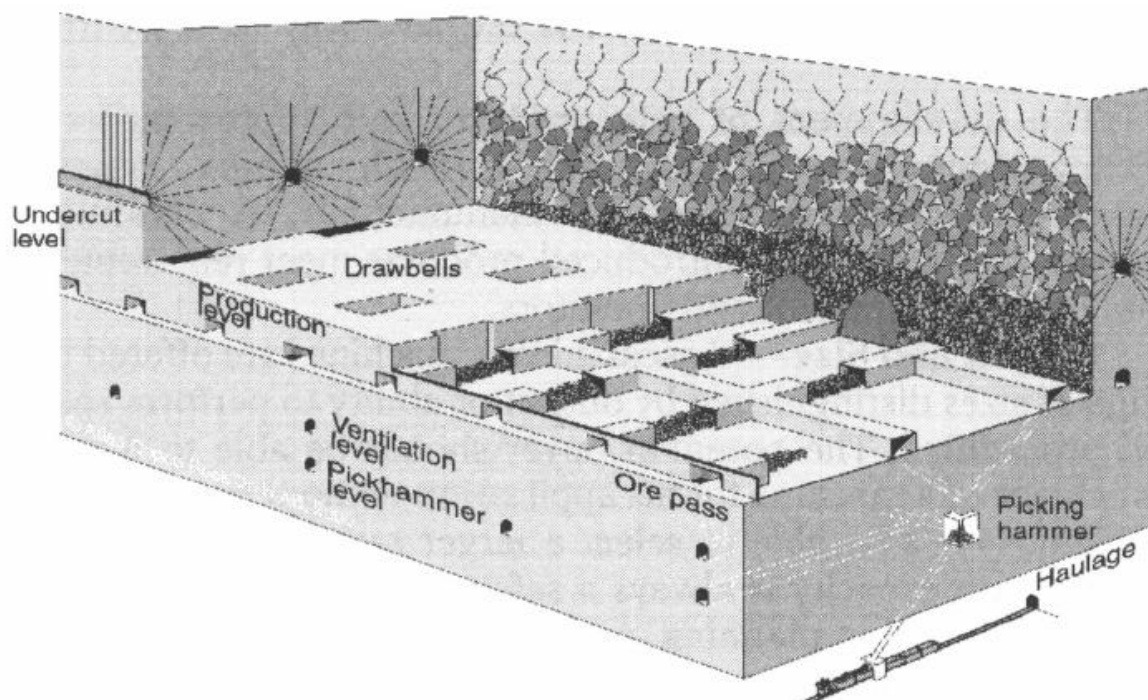
Η μέθοδος της κατακρήμνισης πατώματος (Block Caving) συγκαταλέγεται στις μεθόδους εκμετάλλευσης με κατακρημνιζόμενα μέτωπα και σύμφωνα με τους Brady και Brown (1993), υπάγεται στις ανυποστήριχτες μεθόδους υπογείων εκμεταλλεύσεων.

2.4.2 Μεθοδολογία της μεθόδου «Κατακρήμνισης πατώματος»

Πριν ξεκινήσει ο σχεδιασμός μιας μεθόδου υπόγειας εκμετάλλευσης είναι σημαντικό να είναι σαφής ο τρόπος που η έκαστη μέθοδος λειτουργεί και αναπτύσσεται.

Η μεθοδολογία της μεθόδου «Κατακρήμνισης πατώματος» που ακολουθείται (σχήμα 2.5) είναι η εξής (Harraz, 2014):

- κάτω από το τμήμα του κοιτάσματος που σχεδιάζεται να εξορυχθεί, αναπτύσσεται ένας **όροφος εξαγωγής** του μεταλλεύματος που περιλαμβάνει χοάνες συλλογής, στοές φόρτωσης και μεταφοράς,
- πάνω από τον όροφο εξαγωγής, δημιουργείται ένας **όροφος υποσκαφής** με διάταξη θαλάμων και στύλων
- οι **προσωρινοί στύλοι** στον όροφο υποσκαφής **αφαιρούνται**, έτσι ώστε να **ξεκινήσει κατάρρευση του μεταλλεύματος** (αν χρειασθεί σε αυτή τη φάση και επιπρόσθετη διάτρηση - ανατίναξη, αυξάνεται το κόστος εκμετάλλευσης),
- το **κενό** του ορόφου υποσκαφής **πληρούται σταδιακά με μέταλλευμα**,
- καθώς **αφαιρείται το θραυσμένο υλικό** από τον όροφο εξαγωγής, **συνεχίζεται η ροή του μεταλλεύματος**. Το μέταλλευμα χάνει την υποστήριξη του και συνεχίζει να κατακρημνίζεται, με την βοήθεια της βαρύτητας,
- η **κατακόρυφη εξέλιξη** της κατακρήμνισης του μεταλλεύματος **σχετίζεται με την αλληλουχία υποσκαφής και τον ρυθμό εξαγωγής** του θραυσμένου μεταλλεύματος,
- σε πρώτη φάση κατά την κατακρήμνιση και σε δεύτερη φάση κατά την ροή του κατακερματισμένου μεταλλεύματος εντός της στήλης ροής **μειώνεται το μέγεθος των τεμαχίων λόγω κρούσεων και τριβής μεταξύ των** (όπως στην αυτογενή λειοτρίβηση του εμπλουτισμού των μεταλλευμάτων)
- ο **κατακερματισμός συμβαίνει λόγω φυσικών μηχανικών ιδιοτήτων** των πετρωμάτων (πίεσεις, τάσεις) και αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα όσον αφορά το κόστος. Μερικές φορές, χρησιμοποιούνται εκρηκτικά κατά την παραγωγή για την δημιουργία διατεταγμένων οπών οι οποίες επηρεάζουν την θραύση του υλικού
- το **θραυσμένο μέταλλευμα** παραλαμβάνεται από το επίπεδο παραγωγής μέσω λουκιών και **μεταφέρεται στην επιφάνεια** μέσω του φρέατος, στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας.



Σχήμα 2.5: Παράδειγμα μεθόδου κατακρήμνισης πατώματος (Hamrin, 2001)

2.4.3 Ανάπτυξη μεθόδου κατακρήμνισης πατώματος

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για υπόγεια μεταλλευτικά έργα μεγάλης κλίμακας. Χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι ότι απαιτείται υψηλό κεφάλαιο για τα έργα ανάπτυξης και συνιστάται για υψηλές ταχύτητες παραγωγής. Κατά την εφαρμογή της, δίνει το μικρότερο κόστος εκμετάλλευσης ανά τόνο μεταλλεύματος, συγκριτικά με οποιαδήποτε άλλη μέθοδο υπόγειας εκμετάλλευσης (Gertsch & Bullock, 1998).

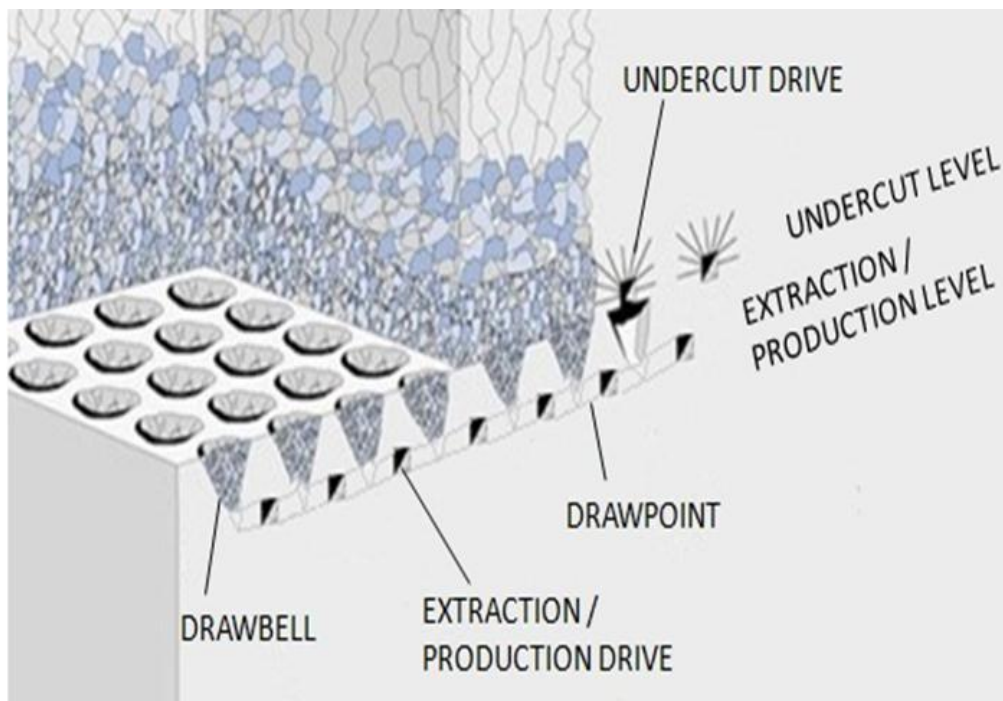
Τα έργα προσπέλασης και ανάπτυξης που απαιτούνται για τον σχεδιασμό της εκμετάλλευσης πρέπει να είναι προσαρμοσμένα στα χαρακτηριστικά του κοιτάσματος (Gertsch & Bullock, 1998).

2.4.3.1 Εργασίες προπαρασκευής

Η προετοιμασία της μεθόδου απαιτεί αρκετό χρόνο, σε σχέση με άλλες μεθόδους υπογείων εκμεταλλεύσεων (Gertsch & Bullock, 1998). Τα έργα προπαρασκευής περιλαμβάνουν τα έργα προσπέλασης του κοιτάσματος (φρέαρ, ράμπες, κεκλιμένα), την δημιουργία επιπέδου παραγωγής (διευθυντικές και εγκάρσιες στοές φόρτωσης και μεταφοράς, όρυξη των χοανών συγκέντρωσης του μεταλλεύματος, κατασκευή λουκιών μέσω των οποίων πραγματοποιείται η κίνηση του θραυσμένου υλικού στο επίπεδο μεταφοράς), την δημιουργία κυκλώματος αερισμού και την διαμόρφωση επιπέδου εσχάρας αν κρίνεται απαραίτητο (δευτερογενή θραύση).

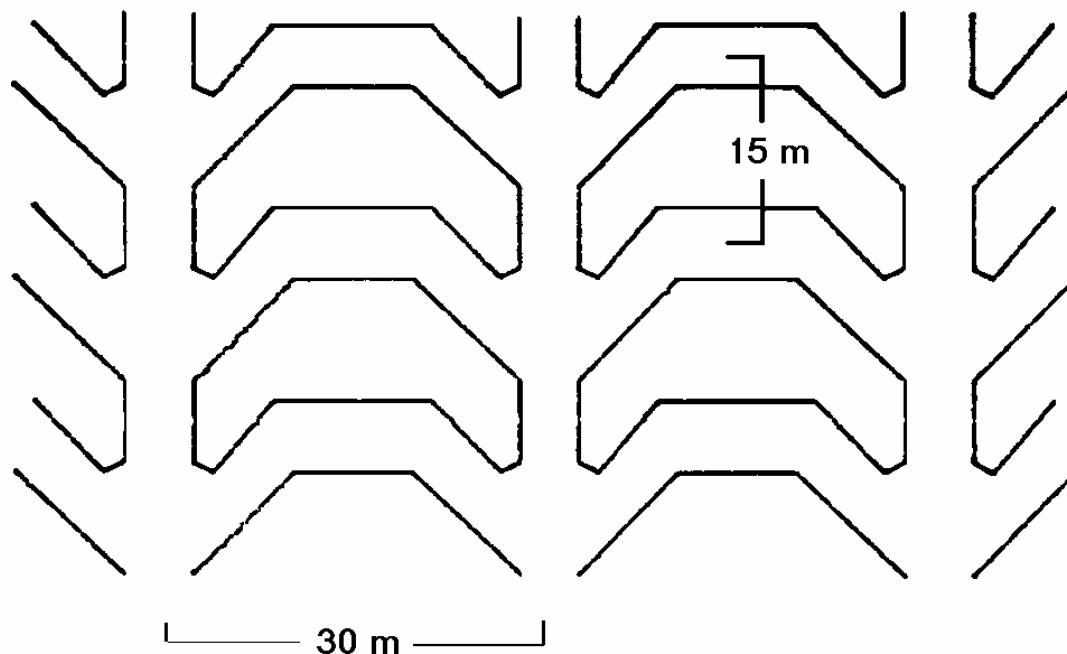
2.4.3.1.α Διάταξη χοανών – Επιπέδου παραγωγής

Οι χοάνες διαμορφώνονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να καλύπτουν ολόκληρη την βάση του πατώματος του μεταλλεύματος που πρόκειται να εξορυχτεί (Σχήμα 2.6). Οι απόσταση μεταξύ αυτών, συνήθως κυμαίνεται μεταξύ των 15 με 20 μέτρων, ενώ το μέγεθος τους εξαρτάται από τη φύση και την γωνία θραύσης του μεταλλεύματος (Brown, 2003). Ένας γενικός κανόνας είναι ότι, όσο λεπτότερο είναι το υλικό (θρασμένο), τόσο πιο κοντά πρέπει να τοποθετούνται οι χοάνες και αντίστοιχα, όσο χονδρότερο είναι το υλικό, τόσο μεγαλύτερο διάκενο μπορεί να υφίσταται μεταξύ αυτών (Gertsch και Bullock, 1998). Επιπρόσθετα, το πλάτος των στοών ανάπτυξης θα πρέπει να είναι από 4 έως 5 μέτρα για την διευκόλυνση του εξοπλισμού του ορυχείου (φορτωτές, φορτηγά, διατρητικά) (Brady & Brown, 2005).



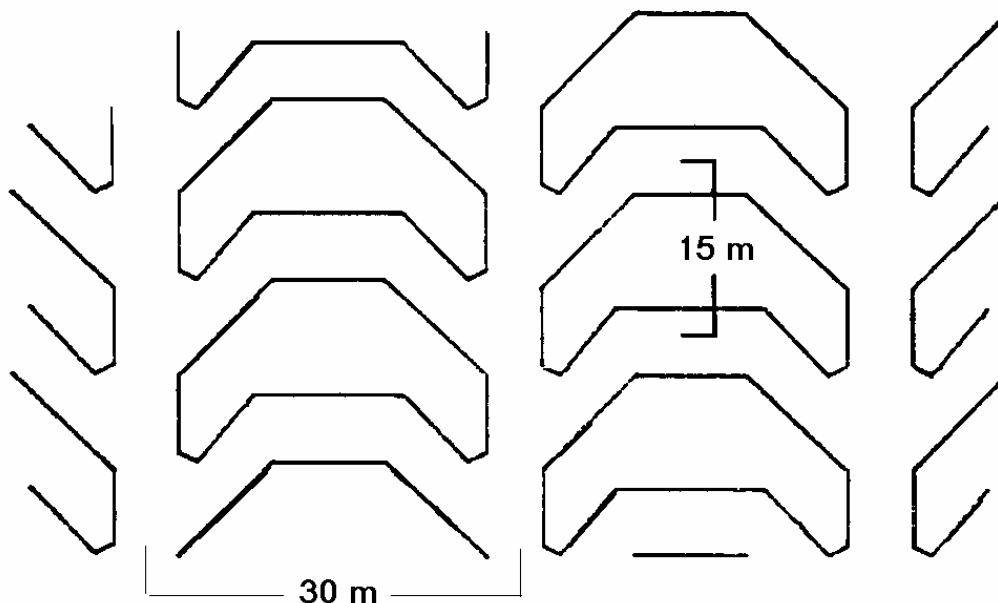
Σχήμα 2.6: Στο σκαρίφημα παρουσιάζεται η διαμόρφωση των χοανών (drawbells), οι οποίες καλύπτουν ολόκληρη την βάση του πατώματος (Atlas Copco, 2000)

Ο Brown (2003) περιγράφει μερικές από τις πιο διαδεδομένες διατάξεις του επιπέδου παραγωγής που χρησιμοποιούνται στην μέθοδο της κατακρήμνισης πατώματος. Η πιο κοινή διάταξη είναι αυτή του λεγόμενου «Ψαροκόκαλου» (Σχήμα 2.7), η οποία έχει χρησιμοποιηθεί στα ορυχεία King και Shabanie, στη Ζιμπάμπουε (Laubscher 2000, Wilson 2000).



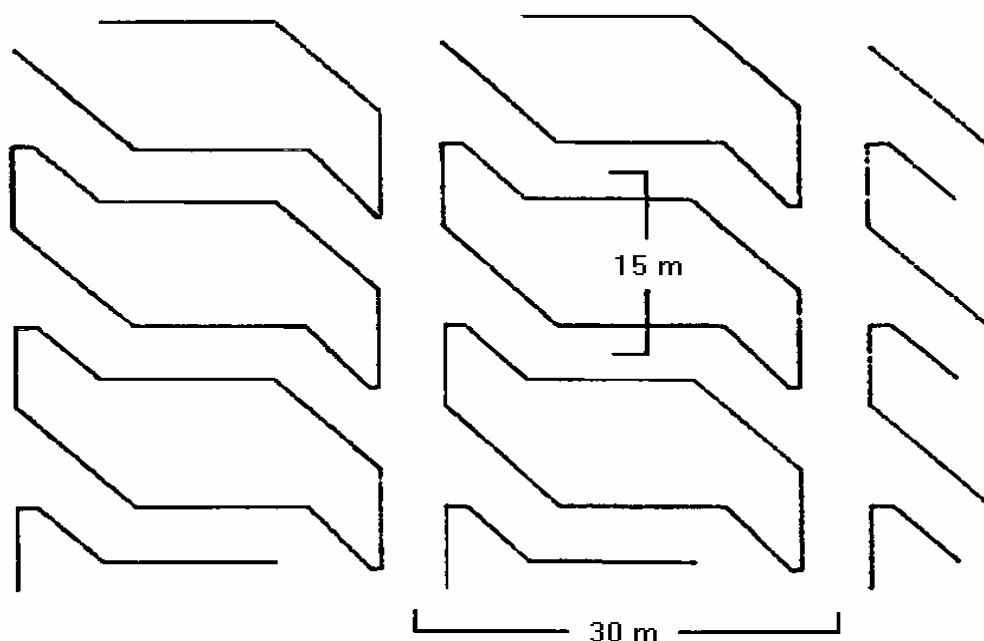
Σχήμα 2.7: Τυπική διάταξη επιπέδου παραγωγής «Ψαροκόκαλο» (Esterhuizen και Laubscher ,1992)

Αυτή η διάταξη δημιουργεί δυσμενείς συνθήκες σταθερότητας, λόγω της παρουσίας οξειών γωνιών (στρογγυλεμένες στην πράξη), που είναι απέναντι μεταξύ τους, έτσι που, από λειτουργική άποψη δυσχεραίνει τις μετακινήσεις των φορτηγών, φορτωτών κλπ. Αυτό μπορεί να επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα στην ασφάλεια των ορυχείων, που παρουσιάζουν μεγάλα ποσοστά λάσπης, λόγω της παρουσίας νερού, γεγονός που είναι πολύ συχνό στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις. Έτσι, για αυτούς τους λόγους, η διάταξη ψαροκόκαλου τροποποιήθηκε με μια μετατόπιση της συμμετρίας της, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.8, για την βελτίωση των συνθηκών σταθερότητας, της λειτουργικής αποτελεσματικότητας και γενικότερα των συνθηκών εργασίας. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιήθηκε αρχικά στο Ορυχείο Henderson των Η.Π.Α. και στο Mine Bell στον Καναδά, ενώ πλέον, έχει υιοθετηθεί και από τις Northparkes (Duffield 2000), Palabora (Calder, 2000), Premier BB1E και C-cut (Bartlett and Croll 2000) και Freeport Indonesia's Deep Ore Zone (Barber, 2000).



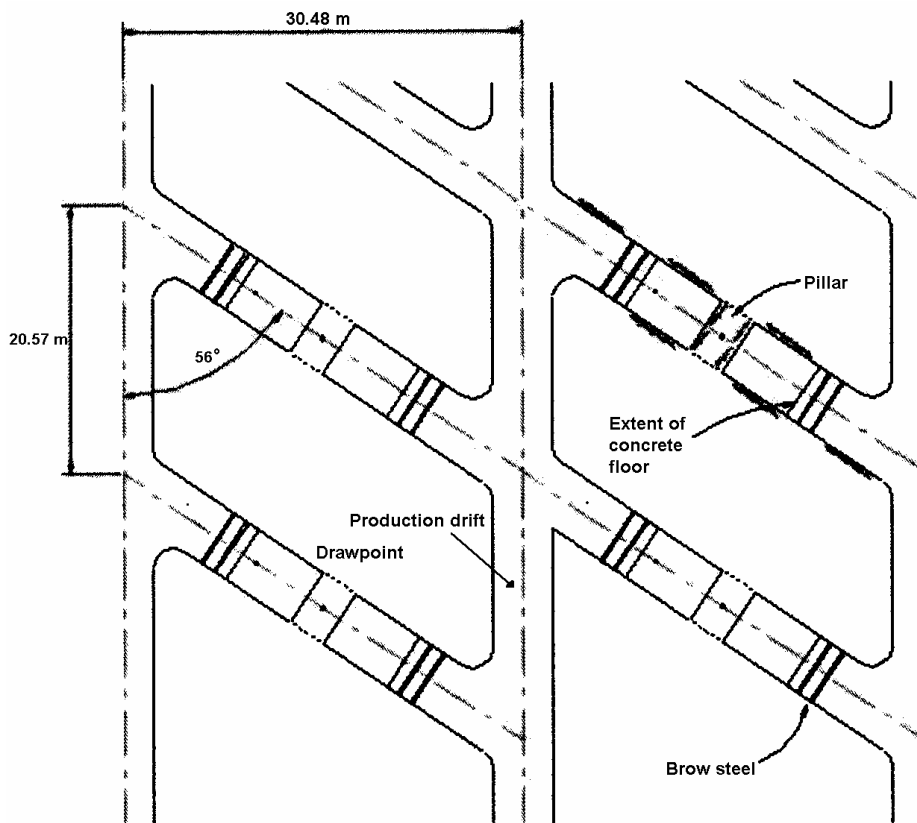
Σχήμα 2.8 : Τροποποιημένη διάταξη παραγωγής «Ψαροκόκαλο» (Esterhuizen και Laubscher ,1992)

Σειρά έχει η διάταξη Henderson ή Z, η οποία παριστάνεται στο σχήμα 2.9. Όπως φαίνεται, στην διάταξη αυτή, οι παραγωγικές στοές, από και προς τις χοάνες, βρίσκονται σε μια σειρά, δηλαδή, ένα όχημα υπογείων δεν χρειάζεται να κάνει αρκετούς ελιγμούς από μία χοάνη σε άλλη, γεγονός που διευκολύνει τις μετακινήσεις και την λειτουργικότητα της παραγωγής. Αξίζει να αναφερθεί ότι η διάταξη χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στο ορυχείο Henderson των ΗΠΑ, και έτσι αναφέρεται μερικές φορές ως διάταξη Henderson.



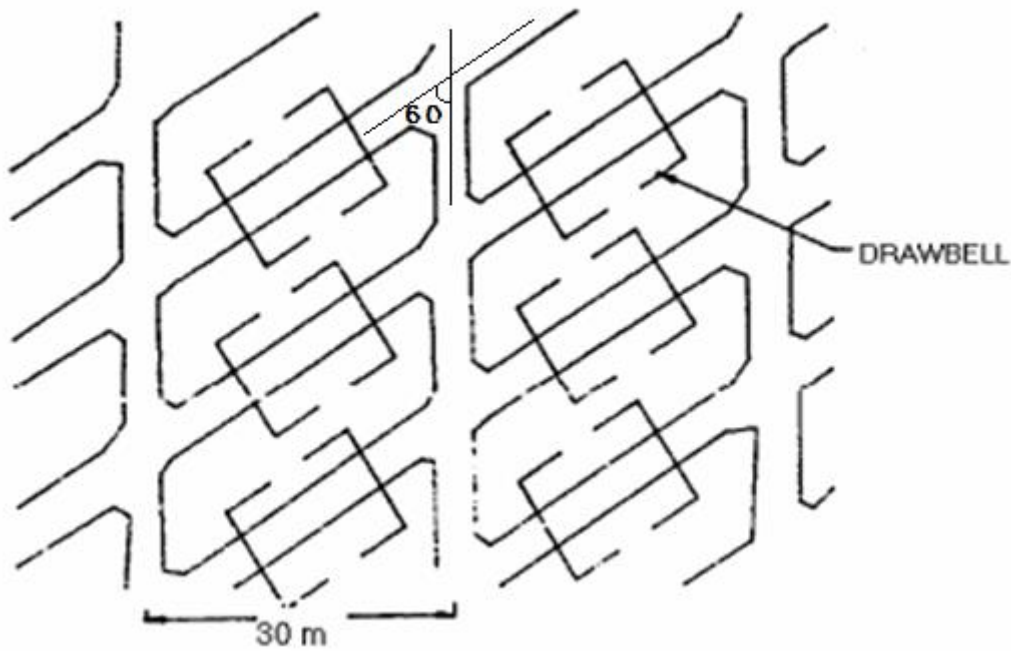
Σχήμα 2.9: Διάταξη επιπέδου παραγωγής «Henderson» ή «Z» (Esterhuizen και Laubscher ,1992)

Παρ' όλα αυτά, τα νεότερα τμήματα του ορυχείου Henderson χρησιμοποιούν μια απλούστερη διάταξη που φαίνεται στο σχήμα 2.10. Είναι ενδιαφέρον ότι, η χρήση της διάταξης Henderson ή Z είναι δεν είναι γνωστή σε άλλες εφαρμογές της μεθόδου.



Σχήμα 2.10 : Επίπεδο παραγωγής, Henderson Mine (Rech, 2000)

Αξίζει να αναφερθεί ότι, στην παραπάνω διάταξη (Σχήμα 2.10) υφίστανται μικροί στύλοι μεταξύ των χοανών. Η διάταξη αυτή είναι παρόμοια με την διάταξη El Teniente (Σχήμα 2.11). Πρόκειται για μια διάταξη που αναπτύχθηκε στο ορυχείο El Teniente της Χιλής. Οι παραγωγικές στοές των χοανών αναπτύσσονται σε ευθείες γραμμές, ενώ η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ των στοών φόρτωσης και των στοών μεταφοράς είναι 60°. Η διάταξη της El Teniente αναπτύχθηκε για να μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις των διάφορων συνθηκών μιας εκμετάλλευσης, καθώς και για την βελτίωση του σχεδιασμού και της λειτουργικότητας αυτής.



Σχήμα 2.11: Διάταξη επιπέδου παραγωγής «El Teniente» (Esterhuizen & Laubscher ,1992)

Σύμφωνα με τις αναλύσεις των Esterhuizen και Laubscher (1992) αποδείχτηκε ότι η διάταξη του El Teniente είναι η πιο ενδεικνυόμενη και εξυπηρετική διάταξη των επιπέδων παραγωγής, συγκριτικά με τις προαναφερθείσες διατάξεις. Μια τέτοια δομή του επιπέδου, όπου ο προσανατολισμός της διάταξης παρουσιάζει κλίση ως προς την οριζόντια κύρια διεύθυνση, συνιστάται ακόμη και για περιοχές που δέχονται υψηλές τάσεις. Σημαντικό πλεονέκτημα της διάταξης αυτής είναι ότι, ευνοούνται οι μετακινήσεις των υπογείων οχημάτων και σαφώς, αυξάνεται η ασφάλεια των εργαζομένων και του εξοπλισμού ενός ορυχείου.

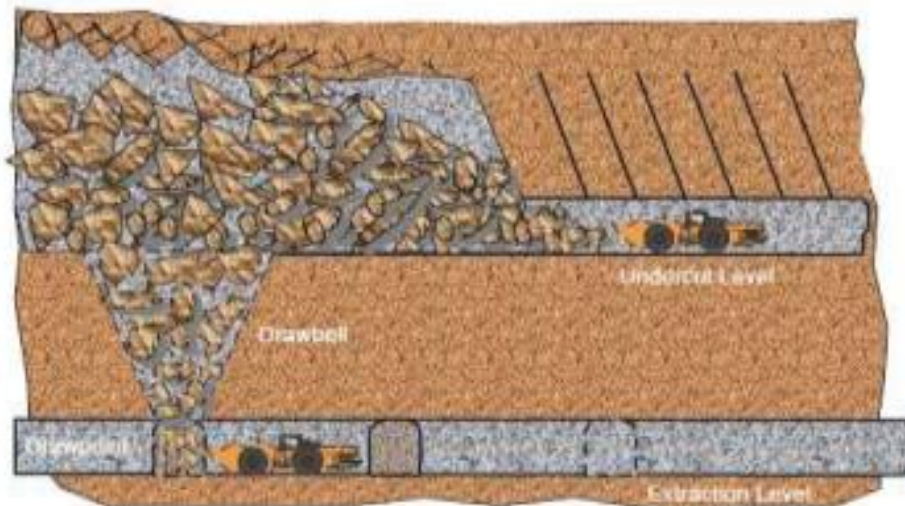
2.4.3.1.β Επίπεδο εσχάρας

Οι εσχάρες χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό των μεγάλων τεμαχών που αναστέλλουν την κίνηση του μεταλλεύματος στις χοάνες απόληψης ή στα λούκια μεταφοράς. Βέβαια, η χρήση τους να μπορεί να αποφευχθεί, όταν το επιτρέπουν οι ιδιότητες του μεταλλεύματος (Εξαδάκτυλος, 2005).

2.4.3.2 Εργασίες ανάπτυξης

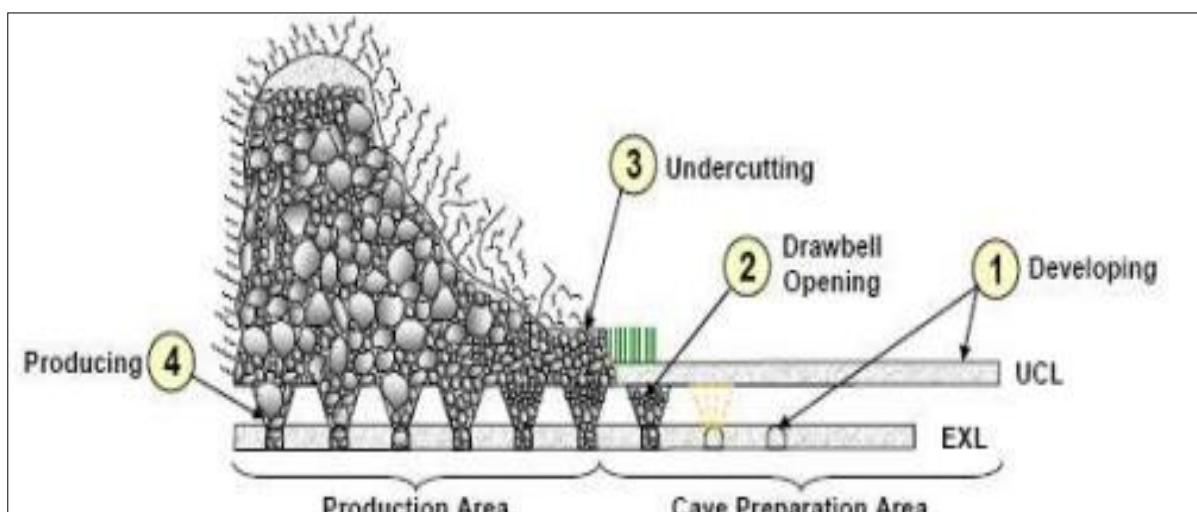
Τα έργα ανάπτυξης είναι συνδεδεμένα με τα έργα προπαρασκευής. Τα έργα περιλαμβάνουν την διάνοιξη στοών υποσκαφής εντός του μεταλλεύματος, πάνω από το επίπεδο παραγωγής. Με την διάνοιξη των στοών υποσκαφής, με χρήση περιμετρικών διατηρημάτων, αφαιρείται

μια λεπτή φέτα μεταλλεύματος, έτσι που πρακτικά, αφαιρείται η στήριξη της στήλης. Η στήλη αρχίζει να καταρρέει με την βοήθεια της βαρύτητας και με την συνεχή συλλογή του υλικού ξεκινά η κύρια διαδικασία εξόρυξης. Στο σχήμα 2.12 παρουσιάζονται σε σκαρίφημα οι εργασίες ανάπτυξης.



Σχήμα 2.12: Σκαρίφημα έργων ανάπτυξης (Credit Suisse, 2012)

Στην μέθοδο αυτή, το ύψος του ορόφου καλύπτει το ύψος του πατώματος και μπορεί να ξεπεράσει τα 300 m (Harraz, 2014). Η κατεύθυνση της εκμετάλλευσης είναι από το κατώτερο τμήμα της στήλης του μεταλλεύματος προς το ανώτερο, καθώς υποσκάπτονται μεγάλα τμήματα από τη βάση. Η οροφή του μεταλλεύματος κατακρημνίζεται προς τις χοάνες απόληψης, λόγω των δυνάμεων βαρύτητας που επενεργούν στα επίπεδα αδυναμίας (Εξαδάκτυλος, 2005). Η παραγωγή μετατοπίζεται, σταδιακά, παράλληλα της κύριας στοάς μεταφοράς. Στο σχήμα 2.13 παρουσιάζονται οι εργασίες ανάπτυξης με σειρά προτεραιότητας.



Σχήμα 2.13: Εργασίες ανάπτυξης σε σειρά προτεραιότητας (Credit Suisse, 2012). Επεξήγηση: 1) Ανάπτυξη επιπέδου υποσκαφής και παραγωγής. 2) Διάνοιξη χοανών 3) Υποσκαφή. 4) Παραγωγή

2.5 Προβλήματα μεθόδου εκμετάλλευσης «Κατακρήμνισης πατώματος»

2.5.1 Προβλήματα διάδοσης κατακρημνισιμότητας εντός της στήλης

Κατά την εξέλιξη της μεθόδου εκμετάλλευσης της κατακρήμνισης πατώματος, είναι δυνατόν, μέρος της υπερκείμενης βραχομάζας, πάνω από το επίπεδο υποσκαφής, να μην κατακρημνισθεί. Αυτό συμβαίνει είτε γιατί οι μηχανικές ιδιότητες (παρουσία ασυνήθιστων πιέσεων), στην θέση αυτή, δεν ευνοούν την διαδικασία της κατακρήμνισης, είτε λόγω σχηματισμού κενών μέσα στην μάζα του μεταλλεύματος, με αποτέλεσμα η κατακρημνισιμότητα να μην μπορεί να διαδοθεί εντός του κοιτάσματος. Αυτό το φαινόμενο, δυσχεραίνει την διαδικασία της παραγωγής και αυξάνει την ανάγκη κατασκευής όλο και περισσότερων περιμετρικών έργων ανάπτυξης. Επομένως, αναστέλλεται η συνεχής εξέλιξη της κατακρήμνισης και ουσιαστικά η συνολική ανάπτυξη της μεθόδου (Rio Tinto, 2016).

Με βάση τα παραπάνω, κατέστη αναγκαία η δυνατότητα παρακολούθησης της ροής του μεταλλεύματος κατά την εξέλιξη της μεθόδου. Για τον σκοπό αυτό, αναπτύχθηκε και κατασκευάστηκε από την Elexon Mining σε συνεργασία με τις Newcrest, Mining3 (πρώην CRC Mining) και τη Rio Tinto ένα πρωτοποριακό σύστημα παρακολούθησης κατακρήμνισης (Cave Tracker System). Το σύστημα αυτό παρέχει πληροφορίες, σε πραγματικό χρόνο, σχετικά με την ροή και τη διάδοση της κατακρήμνισης εντός της μάζας του κοιτάσματος, προκειμένου να αναγνωρίζονται οι απειλές και να διαχειρίζονται οι όποιοι κίνδυνοι μπορούν να οδηγήσουν στην αστοχία της μεθόδου (Elexon Mining, 2016).

Το σύστημα αυτό λειτουργεί μέσω μιας σειράς δεικτών (Beacons) που είναι ενσωματωμένοι εντός της μάζας του μεταλλεύματος και μιας σειράς ανιχνευτών (Detectors) που είναι τοποθετημένοι εκτός του κοιτάσματος. Αφότου, ξεκινήσει η διαδικασία της κατακρήμνισης, οι δείκτες μετακινούνται μαζί με το κατακερματισμένο υλικό προς τα σημεία συλλογής του (χοάνες). Κατά την διάρκεια της πορείας αυτής, οι ανιχνευτές εντοπίζουν την θέση των δεικτών, μέσω μαγνητικού πεδίου και παρακολουθείται η πρόοδος και η διάδοση της κατακρήμνισης εντός της μάζας του μεταλλεύματος. Έτσι, το σύστημα επιτρέπει στους μηχανικούς να καθορίσουν ποια τμήματα μετατοπίζονται και ποια μένουν στάσιμα. Για παράδειγμα, αν ανιχνευτούν κενά αέρος, μπορούν να διαχειρίζονται πριν αυτά προκαλέσουν βλάβη στην ανάπτυξη της μεθόδου (Rio Tinto, 2016).

Οι δείκτες (Σχήμα 2.14) είναι κύλινδροι με ανθεκτικό περίβλημα που περιέχουν ηλεκτρονικά κυκλώματα, μπαταρίες και ισχυρούς μαγνήτες. Εντός του δείκτη υπάρχει ένας μικροελεγκτής που είναι προγραμματισμένος να ελέγχει έναν ηλεκτρικό κινητήρα, ο οποίος περιστρέφει τον

μαγνήτη με τελικό σκοπό την δημιουργία ενός ισχυρού μαγνητικού πεδίου. Οι δείκτες είναι σε θέση να παραμείνουν υπόγεια για χρόνια και σχεδιασμένοι με τέτοιο τρόπο, ώστε να αντέχουν στις αντίξοες συνθήκες ενός τέτοιου περιβάλλοντος (Elexon Mining, 2016).



Σχήμα 2.14: Δείκτης συστήματος παρακολούθησης κατακρήμνισης (Rio Tinto, 2016)

Οι ανιχνευτές (detectors) είναι, κύλινδροι με ανθεκτικό περίβλημα που περιέχουν ένα ευαίσθητο μαγνητόμετρο 3 αξόνων, ηλεκτρονικά κυκλώματα και ένα μικρό υπολογιστή. Οι ανιχνευτές τοποθετούνται στρατηγικά στο ορυχείο, έτσι που το σύστημα να μπορεί να εντοπίσει τις θέσεις των δεικτών. Η απόσταση μεταξύ αυτών και των δεικτών μπορεί να φτάσει μέχρι και 200 μέτρα. Πρακτικά, οι ανιχνευτές ανιχνεύουν το μαγνητικό πεδίο που παράγεται από τους δείκτες και υπολογίζουν την μεταξύ τους απόσταση. Τέλος, στέλνουν τις πληροφορίες σε ένα διακομιστή (Cave Tracker Management System) για αποθήκευση και ανάλυση δεδομένων. Με αυτόν τον τρόπο καταγράφονται οι θέσεις των δεικτών κατά την διεξαγωγή της κατακρήμνισης σε πραγματικούς χρόνους και παρακολουθείται η κίνηση του μεταλλεύματος. Στο σχήμα 2.15 αναπαρίσταται το σύστημα παρακολούθησης της κατακρήμνισης εντός του μεταλλεύματος (Elexon Mining, 2016).

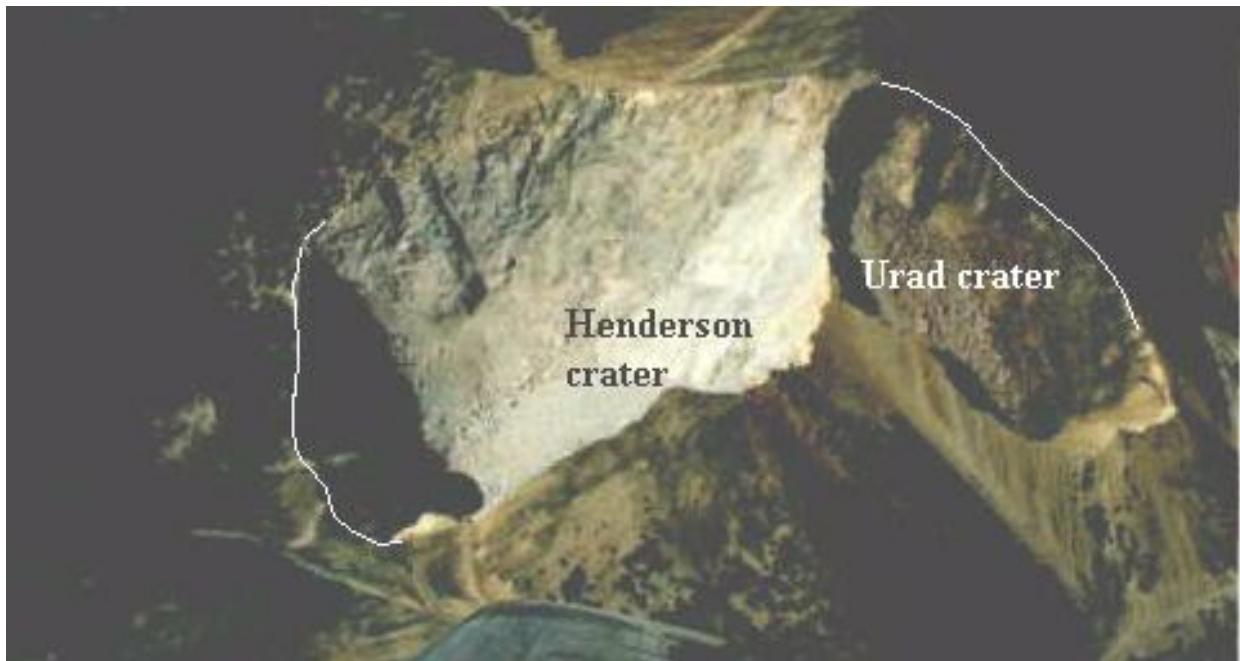


Σχήμα 2.15 : Αναπαράσταση συστήματος παρακολούθησης κατακρήμνισης (Rio Tinto, 2016)

2.5.2 Προβλήματα επιφανειακής καθίζησης

Η μέθοδος της κατακρήμνισης πατώματος χαρακτηρίζεται από την κατάρρευση και την εξαγωγή τεράστιων όγκων μεταλλεύματος από την βάση και η οροφή αφήνεται να κατακρημνισθεί, ακολουθώντας την διαδικασία της μεθόδου. Αυτό σημαίνει ότι προκαλείται μεγάλη υποχώρηση της επιφάνειας του εδάφους πάνω από την περιοχή των εξορυκτικών εργασιών. Η προκαλούμενη καθίζηση μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τις υποδομές των ορυχείων και αποτελεί βασική μέριμνα για την επιχειρησιακή ασφάλεια. Επιπρόσθετα, οι μεταβολές στην επιφάνεια της γης αποτελούν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επομένως, η ικανότητα πρόβλεψης της επιφανειακής καθίζησης που σχετίζεται με την μέθοδο της κατακρήμνισης πατώματος είναι κρίσιμη τόσο για την λειτουργικότητα της παραγωγής, όσο και για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Eberhardt, Stead and Morrison, 2005).

Η μορφή της επιφανειακής καθίζησης, που προκαλείται λόγω της μεθόδου, εντάσσεται στους τύπους των ασυνεχών καθιζήσεων σύμφωνα με τους Brady και Brown (1993) και διακρίνεται από τον σχηματισμό διαφόρων ασυνεχειών στο προφίλ μιας περιορισμένης επιφάνειας (Brown, 2003). Ουσιαστικά, πρόκειται για μεγάλες κατακόρυφες υποχωρήσεις της επιφάνειας, όπου το σχήμα τους διαμορφώνεται ως κρατήρες (π.χ. Σχήμα 2.16 στα ορυχεία Henderson και Urad, στις Η.Π.Α.).

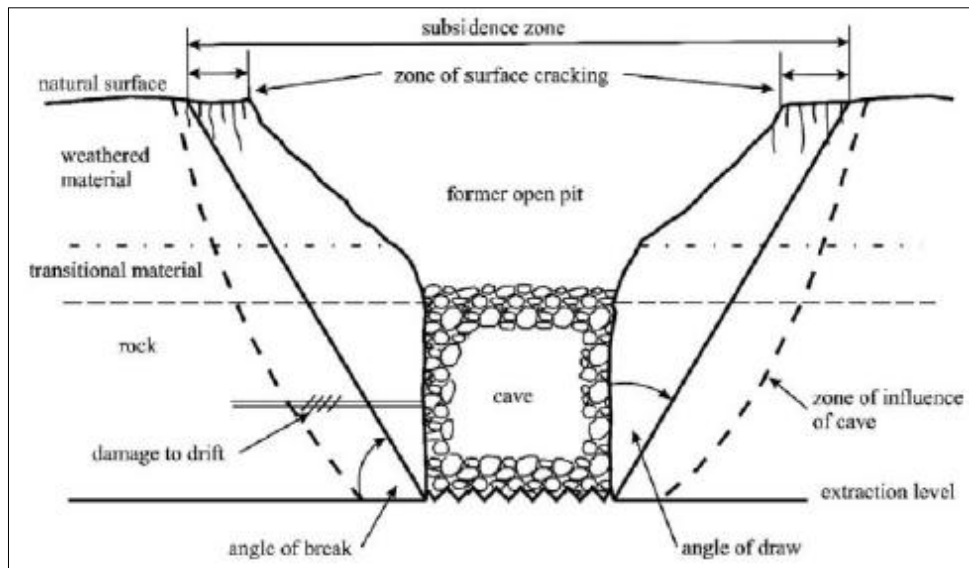


Σχήμα 2.16: Επιφανειακές καθιζήσεις σχήματος κρατήρα που προκλήθηκαν λόγω της μεθόδου κατακρήμνισης πατώματος στα ορυχεία Henderson and Urad, Colorado, USA (Brown, 2003)

Η επιφανειακή εξάπλωση της καθίζησης οφείλεται σε μια σειρά από παράγοντες που βασίζονται στα χαρακτηριστικά του κοιτάσματος, στη τοπογραφία και στη τοπική γεωλογία. Τέτοιοι παράγοντες είναι (Brown 2003):

- το βάθος του κοιτάσματος
- το σχήμα του κοιτάσματος
- το βάθος της εξόρυξης και το εντατικό πεδίο στην περιοχή αυτή
- οι δυνάμεις που αναπτύσσονται τόσο εντός του κατακερματισμένου μεταλλεύματος όσο και των σχηματισμών κοντά στην επιφάνεια
- η κλίση της επιφάνειας του εδάφους
- η παρουσία βασικών γεωλογικών χαρακτηριστικών όπως ασυνέχειες, φλέβες που συναντώνται εντός του κοιτάσματος ή στο περιβάλλον πέτρωμα
- προηγούμενη εξορυκτική δραστηριότητα με επιφανειακή εκμετάλλευση
- η εναπόθεση υλικού σε προϋπάρχοντα ή νεοσύστατο κρατήρα
- η ύπαρξη γειτονικών υπόγειων ανασκαφών

Η έκταση της επιφανειακής καθίζησης (subsidence zone) ορίζεται από την γωνία θραύσης ή καθίζησης (angle of break or subsidence). Πρόκειται για την γωνία που σχηματίζεται από το οριζόντιο επίπεδο υποσκαφής έως τα άκρα των ρωγμών ή διαταραχών που φανερώνονται στο επίπεδο της επιφάνειας γύρω από το κοίτασμα που μελετάται. Καθοριστική παράμετρο αποτελεί και η γωνία σχεδιασμού (angle of draw), η οποία είναι η συμπληρωματική της γωνίας θραύσης, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.17 και καθορίζει την ζώνη επιρροής της καθίζησης, όπου συμβαίνουν μεγάλης κλίμακας παραμορφώσεις. Η αναγνώριση της βοηθά στην αποφυγή σχεδιασμού έργων στην περιοχή αυτή. Σημαντικό ρόλο παίζει η συνολική ζώνη επίδρασης (zone of influence of cave) (Σχήμα 2.17) της διαδικασίας της κατακρήμνισης. Ουσιαστικά, πρόκειται για μια επέκταση της ζώνης επιρροής (subsidence zone), όπου παρ' όλο που συμβαίνουν μικρής κλίμακας παραμορφώσεις, μπορεί να αποβούν μοιραίες, ώστε να καταστρέψουν τα διάφορα έργα των ορυχείων που βρίσκονται εντός της (Brady and Brown, 2005). Στο σχήμα 2.17, αναπαρίσταται η επιφανειακή καθίζηση συμπεριλαμβανομένων των σχετικών ορισμών που αναφέρθηκαν για την κατανόηση τους.



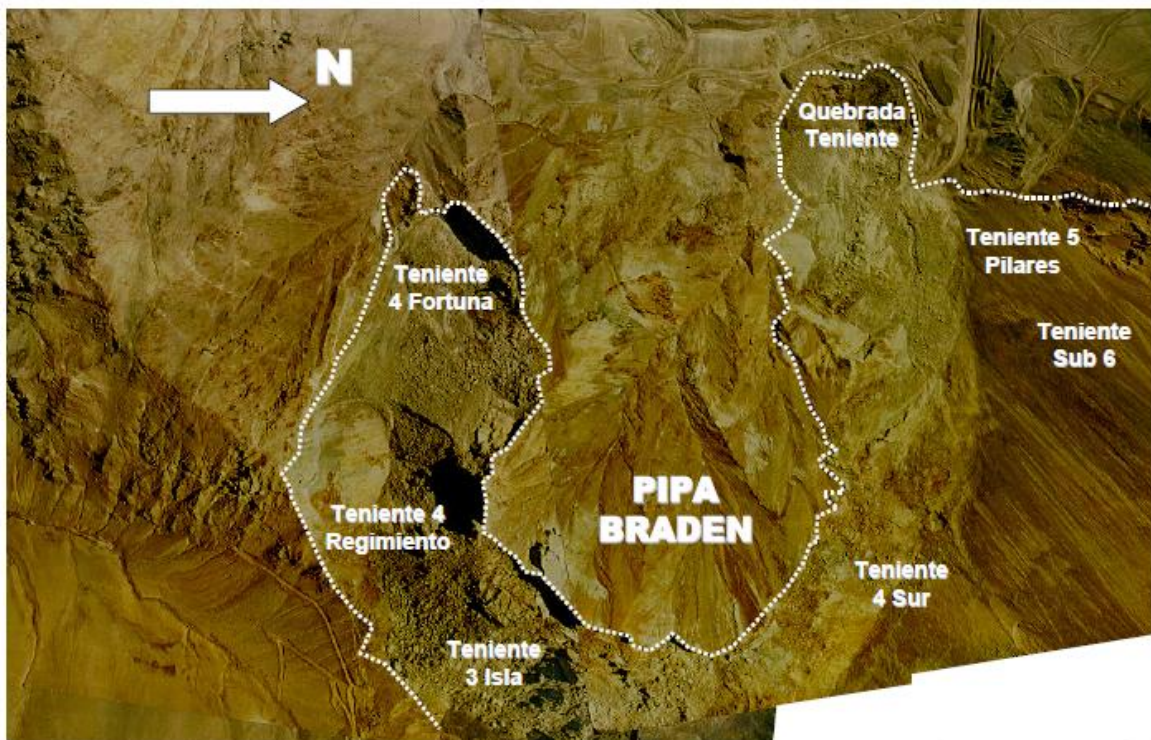
Σχήμα 2.17: Σχηματική αναπαράσταση της επιφανειακής καθίζησης ως αποτέλεσμα της εκμετάλλευσης με την μέθοδο της κατακρήμνισης πατώματος, που συμπεριλαμβάνονται οι σχετικοί ορισμοί (Brady, Brown, 2005)

Η εκτίμηση των ορίων της ζώνης επίδρασης, πραγματώνεται με την αποτίμηση της γωνίας θραύσης, την εμπειρία και με την μοντελοποίηση της διαδικασίας εξορύξεως.

Ο Butcher (2002) προτείνει τα εξής βήματα για την εκτίμηση της γωνίας θραύσης ή καθίζησης (Brown, 2003):

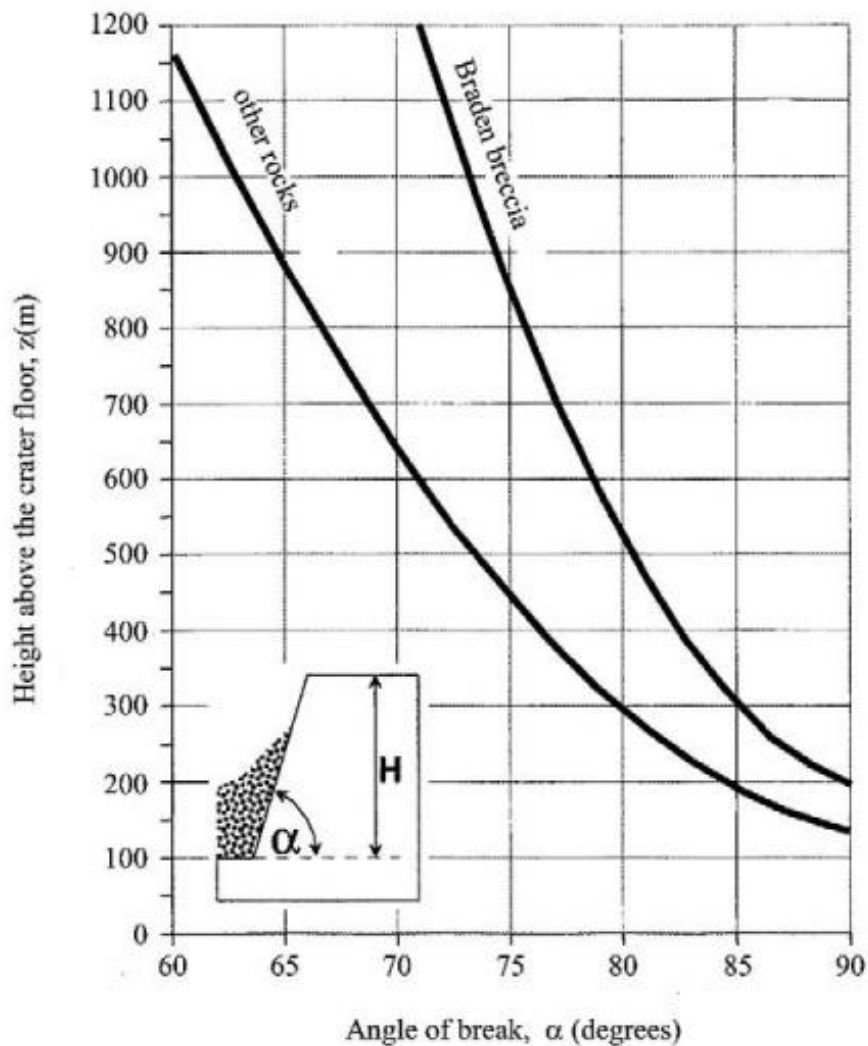
- Σχεδιασμός των ορίων που θα προκληθεί ο κατακερματισμός του μεταλλεύματος και καθορισμός περιοχής που θα καταστραφεί πλήρως
- Εκτίμηση κατακρημνισιμότητας χρησιμοποιώντας την εμπειρική μέθοδο του Laubscher (1994) που βασίζεται στον δείκτη MRMR και την RH (Σχήμα 2.3)
- Αξιολόγηση της εκτίμησης με βάση τις γωνίες θραύσης που παρατηρήθηκαν σε άλλα παρόμοια ορυχεία
- Έλεγχος της εκτιμώμενης γωνίας θραύσης χρησιμοποιώντας μεθόδους ανάλυσης σε πιθανούς μηχανισμούς αστοχίας, όπως αυτή που ανέπτυξε ο Hoek (1974) και εξελίχτηκε από τους Brown και Ferguson (1979)
- Τροποποίηση τρέχουσας εκτίμησης προκειμένου να ληφθούν υπόψη τα τοπικά γεωλογικά χαρακτηριστικά όπως ασυνέχειες, αστοχίες
- Χρήση αριθμητικών μοντέλων προσομοίωσης υποχωρήσεων που αναπτύσσονται στους σχηματισμούς, για τον έλεγχο της γωνίας θραύσης και την εκτίμηση των τάσεων της περιοχής.

Για τον καθορισμό της ζώνης επιρροής με την χρήση αριθμητικών μοντέλων προσομοίωσης συνέβαλαν τα δεδομένα των οριζόντιων μετατοπίσεων, που παρατηρήθηκαν στο ορυχείο El Teniente (Σχήμα 2.18). Επί της ουσίας, οι οριζόντιες μετατοπίσεις που προέβλεπε το μοντέλο, βαθμονομήθηκαν με βάση τις διαθέσιμες παρατηρήσεις που έγιναν σε στοές ανάπτυξης, οι οποίες είχαν παρουσιάσει αστοχίες λόγω της καθίζησης. Με αυτόν τον τρόπο, ήταν δυνατό να καθοριστούν τιμές κατωφλίου των οριζόντιων μετατοπίσεων σε σχέση με τις αστοχίες (Brown, 2003).



Σχήμα 2.18: Όψη των κρατήρων του ορυχείου El Teniente στη Χιλή και τοποθεσίες των τμημάτων παραγωγής του (Karzulovic, 1999)

Αφότου διεξήχθη μελέτη του τομέα Teniente 4 Regimiento του ορυχείου El Teniente Χιλής, πραγματοποιήθηκε μια συσχέτιση μεταξύ της γωνίας θραύσης/καθίζησης α και του ύψους πάνω από το δάπεδο του κρατήρα H , ώστε να μπορεί να γίνεται μια εκτίμηση των γωνιών θραύσης σε αντίστοιχες συνθήκες εκμετάλλευσης (Brown, 2003). Η συσχέτιση αυτή παρουσιάζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί (Σχήμα 2.19):



Σχήμα 2.19: Διάγραμμα εκτίμησης γωνίας θραύσης συναρτήσει του ύψους πάνω από το πάτωμα του κρατήρα (Τμήμα Ten 4 Regimiento, Ορυχείο El Teniente, Χιλή) (Karzulovic, 1999)

Αξίζει να σημειωθεί ότι από το διάγραμμα (Σχήμα 2.19) παρατηρείται ότι η γωνία θραύσης μειώνεται σημαντικά σε σχέση με το αυξανόμενο ύψος πάνω από το πάτωμα του κρατήρα. Ανάλογα με τους σχηματισμούς μιας περιοχής αναμένονται διαφορετικά εύρη τιμών της γωνίας θραύσης (Brown, 2003). Η κλίση της καμπύλης αλλάζει απότομα, όταν το ύψος ξεπεράσει τα 300m σύμφωνα με το διάγραμμα (Σχήμα 2.19).

Το Σχήμα 2.19 πρόκειται για ένα εμπειρικό διάγραμμα που προέκυψε μετά από την μελέτη ενός τομέα του ορυχείου El Teniente, με σκοπό να μπορεί να διεξάγεται μια πρώτη εκτίμηση των γωνιών θραύσης και μια πρόβλεψη της ζώνης επιρροής της εκμετάλλευσης στο επίπεδο της επιφάνειας.

2.6. Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα μεθόδου

Τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι (Gertsch, Bullock, 1998):

- Πολύ φθηνή μέθοδος εκμετάλλευσης. Χαμηλό λειτουργικό κόστος, που εστιάζει στα έργα προπαρασκευής. Μικρός βαθμός διατρήσεων και ανατινάξεων.
- Επιτρέπει την εκμετάλλευση κοιτασμάτων χαμηλής περιεκτικότητας.
- Υψηλός ρυθμός παραγωγής.
- Μεγάλη δυνατότητα μηχανοποίησης και αυτοματισμού.
- Υψηλό ποσοστό ανάκτησης του μεταλλεύματος.
- Επειδή η παραγωγή είναι συγκεντρωτική, επιτρέπει την σχετικά εύκολη και αποτελεσματική εποπτεία των εργασιών. Υψηλό εργατικό δυναμικό.
- Καλές συνθήκες ασφαλείας.
- Το σύστημα του αερισμού είναι λιγότερο πολύπλοκο σε σχέση με άλλα συστήματα εξόρυξης.

Τα κύρια μειονεκτήματα της μεθόδου είναι (Gertsch, Bullock, 1998):

- Δημιουργία προβλημάτων επιφανειακής καθίζησης.
- Υψηλό ποσοστό ανάμιξης μεταλλεύματος με στείρο. Δεν είναι εκλεκτική μέθοδος.
- Η κατασκευή των προπαρασκευαστικών έργων είναι χρονοβόρα και απαιτεί μεγάλο κεφάλαιο.
- Υψηλές και δαπανηρές ανάγκες συντήρησης των κεκλιμένων μεταφοράς υλικών.
- Η διακοπή λειτουργίας μιας χοάνης, για αξιοσημείωτο χρονικό διάστημα, μπορεί να οδηγήσει σε πλήρη απώλεια τόσο αυτής, λόγω των συγκεντρώσεων βάρους, όσο και των έργων ανάπτυξης γύρω από αυτήν.
- Ένας διαφορετικός ρυθμός παραγωγής, σε μία περίοδο αυξημένης ζήτησης του προϊόντος, απαιτεί μεγάλο χρονικό διάστημα για την προετοιμασία επιπρόσθετων μονάδων παραγωγής.
- Υπάρχει συνεχής κίνδυνος απώλειας μεγάλων ποσοτήτων μετάλλων, αν δεν επιτευχθεί καλός σχεδιασμός της μεθόδου.
- Δεν πρόκειται για μία ευέλικτη μέθοδο, που σημαίνει ότι άπαξ και αρχίσει η παραγωγική διαδικασία, δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί αλλαγή σε άλλη μέθοδο εκμετάλλευσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

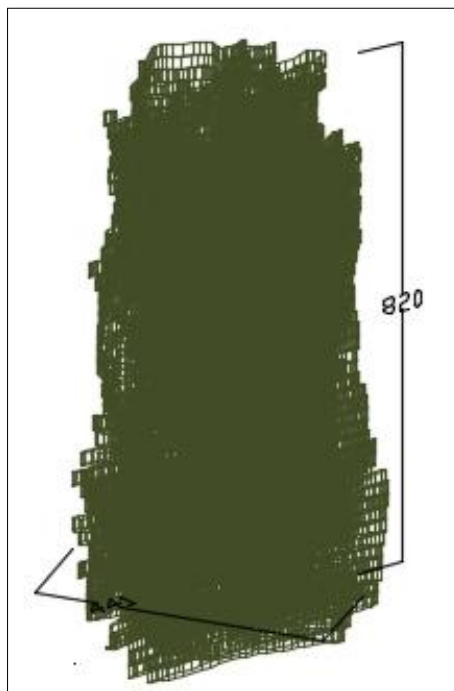
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ ΠΑΤΩΜΑΤΟΣ

3.1 Γενικά στοιχεία

Για τον σχεδιασμό της υπόγειας εκμετάλλευσης με την μέθοδο της κατακρήμνισης πατώματος είναι αναγκαία η προσεκτική μελέτη των προαπαιτούμενων στοιχείων της, για την επίτευξη του βέλτιστου και αποτελεσματικότερου δυνατού σχεδιασμού. Τα διάφορα έργα που απαιτούνται για την εφαρμογή της μεθόδου, προσαρμόζονται στην γεωμετρία του κοιτάσματος με τρόπο που να προφυλάσσεται η ασφάλεια των εργαζομένων και η λειτουργικότητα του μεταλλείου συνολικά. Ο σχεδιασμός της μεθόδου στα πλαίσια της παρούσας εργασίας έγινε με την χρήση του προγράμματος Autocad Civil 3D. Όλα τα μεγέθη που εμφανίζονται είναι σε μέτρα.

3.2 Γεωμετρία κοιτάσματος

Η υπόγεια μέθοδος εκμετάλλευσης της κατακρήμνισης πατώματος εφαρμόζεται στο κοιτάσμα πορφυριτικού χαλκού που απαντάται στις Σκουριές Χαλκιδικής. Το κοιτάσμα (Σχήμα 3.1) παρουσιάζει μια σωληνοειδή μορφή ακτίνας περίπου 220 μέτρων και παρεμβάλλεται εντός σχιστολιθικών πετρωμάτων. Όπως αναφέρθηκε στη παράγραφο 1.5, ο μεταλλοφόρος πορφύρης εντοπίζεται από το επίπεδο της επιφάνειας (+640m), ενώ ερευνητικές γεωτρήσεις δείχνουν ότι εκτείνεται σε βάθος 920 μέτρων κάτω από αυτήν. Η εκμετάλλευση του κοιτάσματος μελετάται από την επιφάνεια έως το βάθος των -180μέτρων, με βάση τα δεδομένα που διατίθενται.



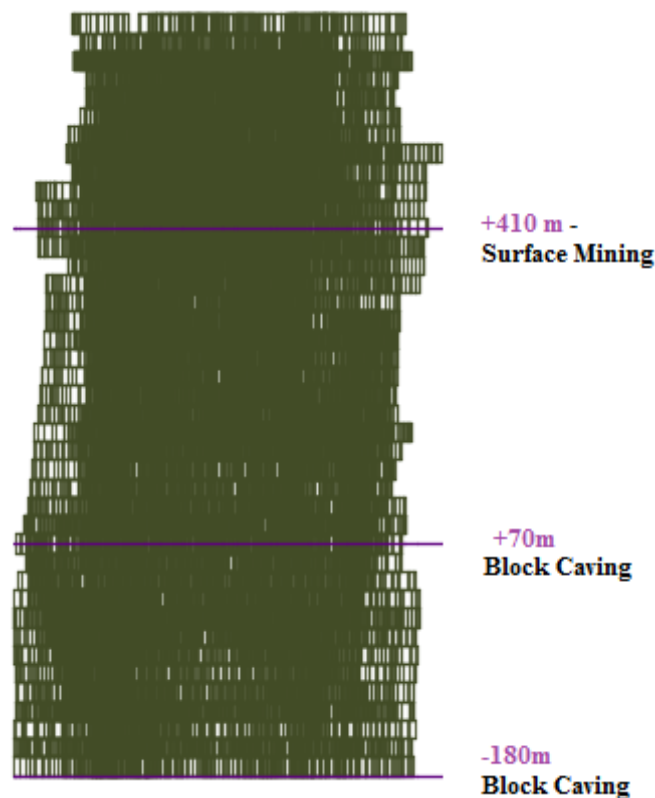
Σχήμα 3.1: Μοντέλο πορφυριτικού κοιτάσματος Σκουριών από το υψόμετρο των +640m έως -180m (Autocad Civil 3D)

3.3 Φάσεις εκμετάλλευσης

Η διαμόρφωση των έργων για την ανάπτυξη της μεθόδου της κατακρήμνισης πατώματος είναι αρκετά χρονοβόρα, καθώς πρόκειται για μεγάλης κλίμακας έργα και απαιτεί υψηλά κεφάλαια. Με δεδομένο ότι το κοιτάσμα επεκτείνεται μέχρι την επιφάνεια, προτείνεται η εκμετάλλευση του κοιτάσματος να είναι ένας συνδυασμός επιφανειακής και υπόγειας εκμετάλλευσης. Στην εργασία αυτή μελετάται το κομμάτι της υπόγειας εκμετάλλευσης, αλλά λαμβάνονται υπόψη μελέτες που έχουν ήδη πραγματοποιηθεί για την επιφανειακή εκμετάλλευση του κοιτάσματος των Σκουριών.

Η επιφανειακή εκμετάλλευση θα είναι μια κλειστού τύπου υπαίθρια εκμετάλλευση χοανοειδούς μορφής, η οποία θα έχει βάθος 230 μέτρων από την επιφάνεια, δηλαδή θα φτάνει μέχρι το υψόμετρο των +410m (Περουλάκης, 2019).

Η υπόγεια εκμετάλλευση με την μέθοδο της κατακρήμνισης πατώματος θα πραγματοποιηθεί σε δυο φάσεις. Τα έργα της πρώτης φάσης περιλαμβάνουν μέχρι και το υψόμετρο +70m, ενώ της δεύτερης το -180m.



Σχήμα 3.2: Στάδια εκμετάλλευσης πορφυριτικού κοιτάσματος Σκουριών

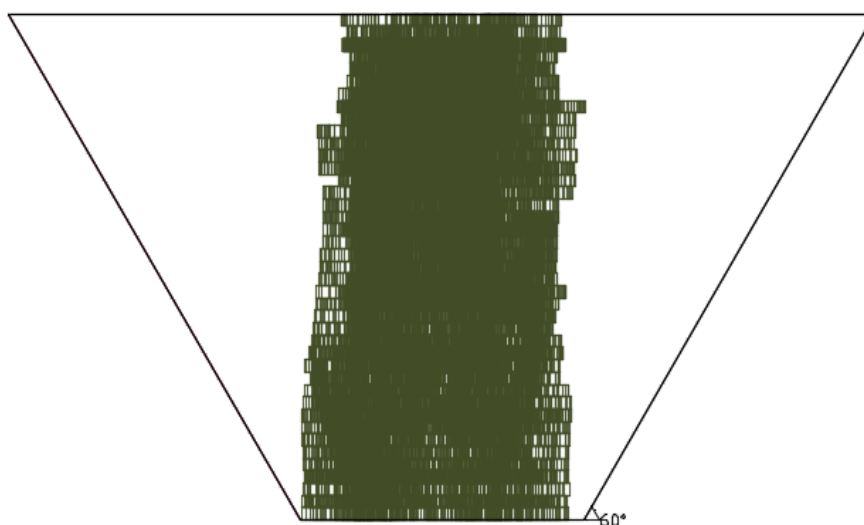
3.4 Εργασίες προετοιμασίας

3.4.1 Εργασίες προσπέλασης κοιτάσματος

Οι εργασίες προσπέλασης του κοιτάσματος πρέπει να τοποθετούνται εκτός της ζώνης επιρροής, όπως αναφέρθηκε στη παράγραφο 2.5.2, ώστε να μην τίθεται σε κίνδυνο η ασφάλεια του ορυχείου. Για την εκτίμηση της ζώνης επίδρασης χρησιμοποιείται η γωνία καθίζησης β , από την θεωρία των Coulomb-Navier, η οποία θα μετρηθεί από το κατώτερο οριζόντιο επίπεδο της εκμετάλλευσης (-180m, επίπεδο των μέγιστων κύριων τάσεων) ως το επίπεδο της επιφάνειας +640m. Η β εκτιμάται ως εξής (Coulomb, Navier):

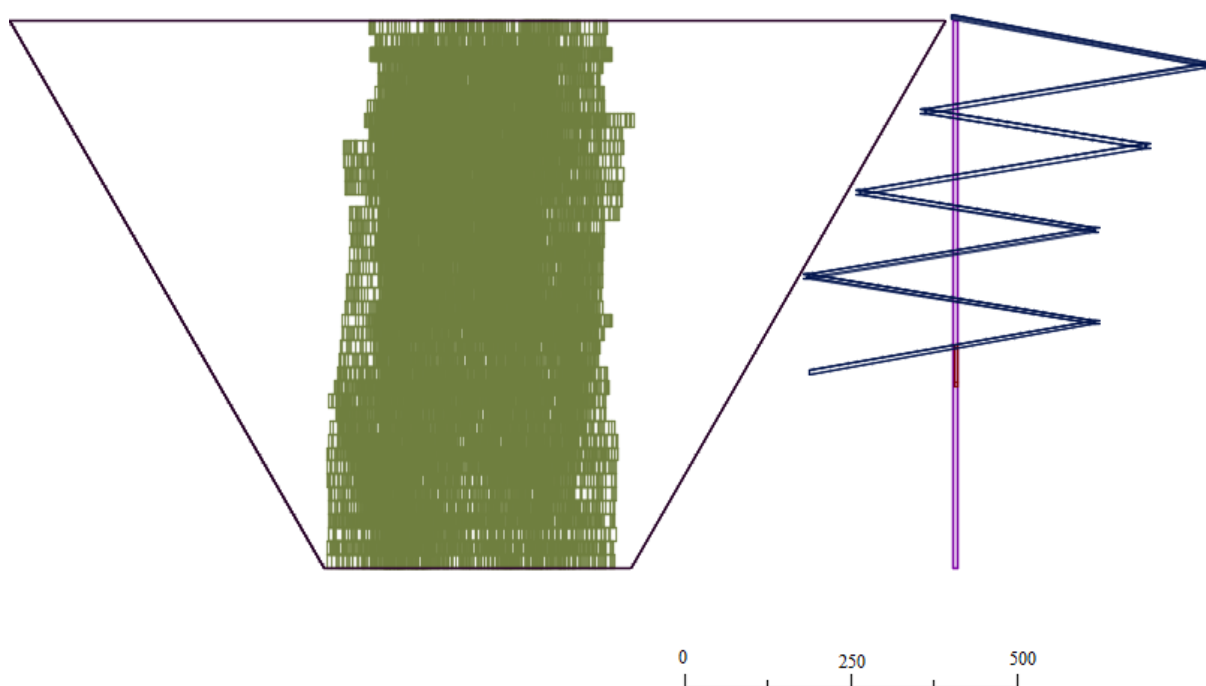
$$\beta = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}$$

όπου, φ η γωνία τριβής του υλικού. Στην περίπτωση του πορφυριτικού κοιτάσματος θεωρείται ότι η $\varphi=30^\circ$. Συνεπώς, η γωνία καθίζησης ισούται με 60° και προκύπτει η ζώνη διαταραχής του πορφύρη στο σχήμα 3.3.

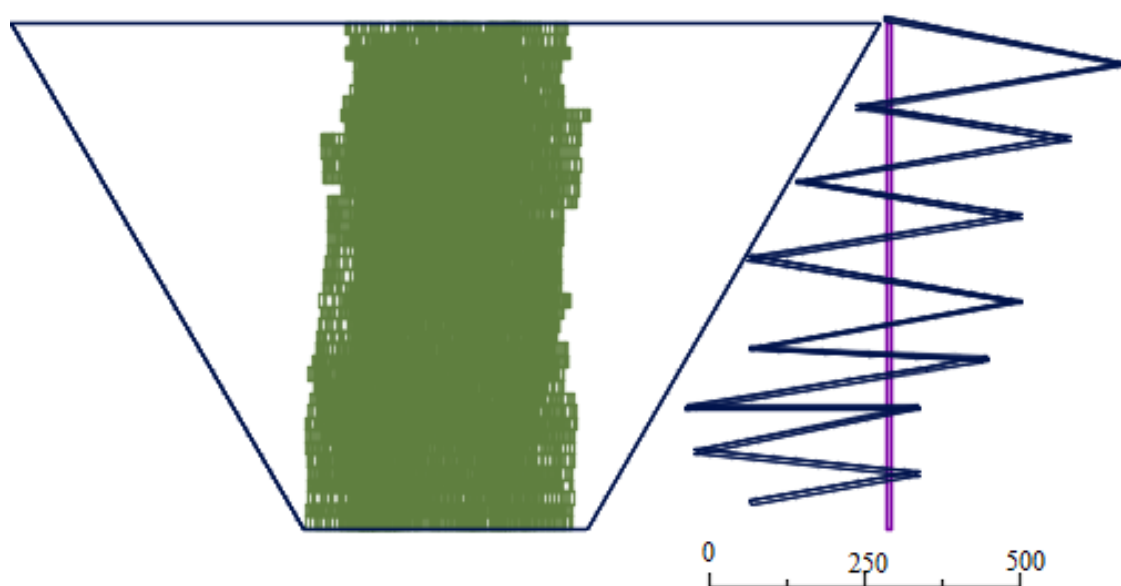


Σχήμα 3.3: Ζώνη διαταραχής του πορφυριτικού κοιτάσματος των Σκουριών (-180m)

Η πρόσβαση στο κοίτασμα από την επιφάνεια μέχρι το βάθος των δυο φάσεων υπόγειας εκμετάλλευσης πραγματοποιείται μέσω κεκλιμένου και φρέατος (Σχήματα 3.4, 3.5). Η όρυξη τους λαμβάνει χώρα εκτός της ζώνης διαταραχής και συμμορφώνεται με τον Κανονισμό των Μεταλλευτικών και Λατομικών Έργων. Το κεκλιμένο ξεκινά από το σημείο με συντεταγμένες 475404.1078, 4479918.4123, 645.8867 και το φρέαρ από το 445410.0475, 4479652.8170, 640.



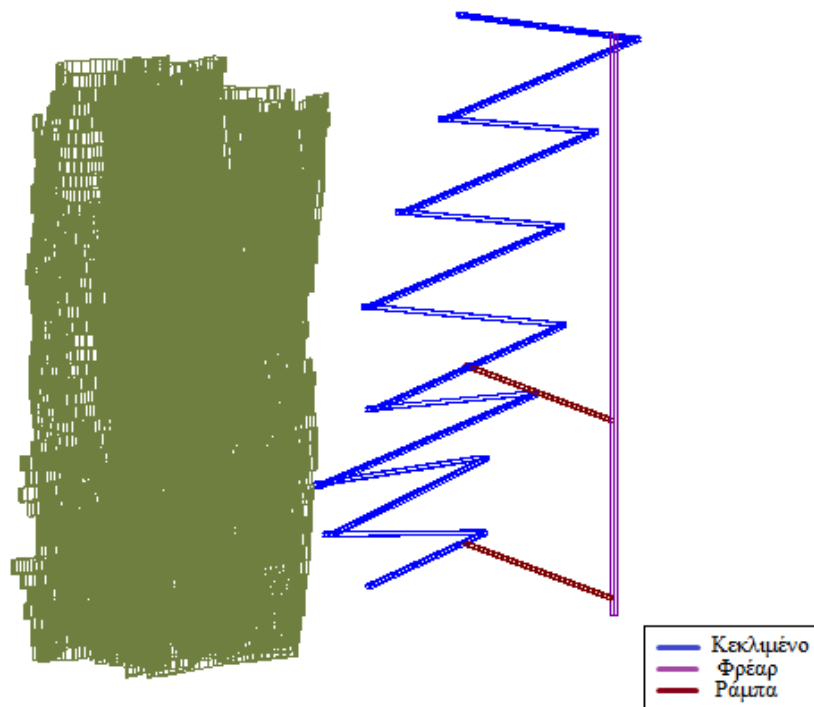
Σχήμα 3.4: Πλάγια όψη έργων προσπέλασης 1^{ης} φάσης: Φρέαρ, Κεκλιμένο.



Σχήμα 3.5: Πλάγια όψη έργων προσπέλασης 2^{ης} φάσης: Φρέαρ, Κεκλιμένο.

Η κλίση του κεκλιμένου κυμαίνεται από 10% - 15% από το επίπεδο της επιφάνειας έως το τελικό βάθος της εκμετάλλευσης. Το κεκλιμένο ορύσσεται από το υψόμετρο των +645m και στην πρώτη φάση της εκμετάλλευσης φτάνει μέχρι το υψόμετρο των +109m, ενώ για την δεύτερη φάση μέχρι το -140m. Το φρέαρ ξεκινάει από το +640m και φτάνει μέχρι το -180m.

Το κεκλιμένο ενώνεται με το φρέαρ μέσω ραμπών, μήκους 267 μέτρων κλίσεως 12%, σε δύο θέσεις, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 3.6. Η μία είναι στο +492m και η δεύτερη στο -96m.



Σχήμα 3.6: Εργασίες προσπέλασης των 2 φάσεων εκμετάλλευσης σε τρισδιάστατη άποψη: Φρέαρ, κεκλιμένο και ένωση αυτών με ράμπες σε δυο θέσεις.

3.4.2 Προπαρασκευαστικά έργα

Για την εφαρμογή της υπόγειας εκμετάλλευσης με την μέθοδο της κατακρήμνισης πατώματος διαμορφώνονται τρία επίπεδα για κάθε φάση της εκμετάλλευσης. Τα επίπεδα αυτά είναι με σειρά από πάνω προς τα κάτω είναι: το επίπεδο υποσκαφής, το επίπεδο παραγωγής και το επίπεδο μεταφοράς. Το επίπεδο υποσκαφής βρίσκεται 18 μέτρα πάνω από αυτό της παραγωγής, ενώ αυτό βρίσκεται 45 μέτρα πάνω από το επίπεδο μεταφοράς. Οι υψομετρικές διαφορές αυτών, σχεδιάζονται με βάση συνήθεις πρακτικές και μελέτες των εφαρμογών της μεθόδου. Πρωτίστως, ορύσσονται τα έργα προσπέλασης για τα επίπεδα αυτά, καθώς και οι στοές περιχάραξης κάθε επιπέδου.

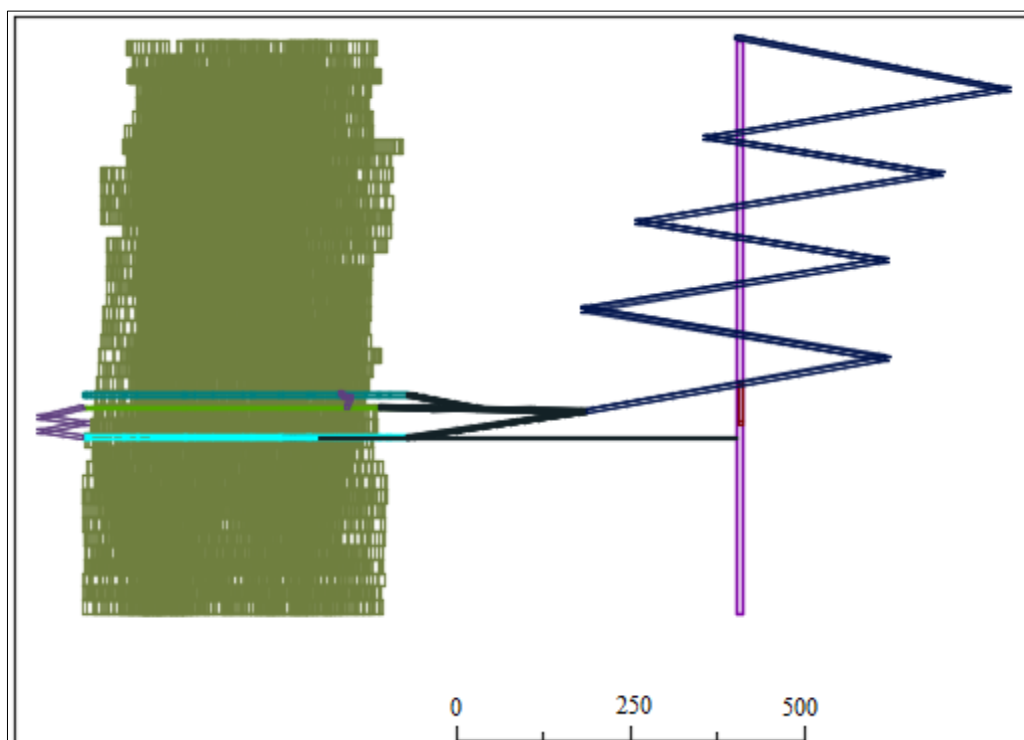
Έτσι, λοιπόν, από το κεκλιμένο (Σχήμα 3.4) διέρχεται ένα σύστημα ραμπών για την σύνδεση των πατωμάτων (επιπέδων), όπως φαίνεται στο σχήμα 3.7. Η ράμπα που καταλήγει στο επίπεδο μεταφοράς, ακολουθεί την κλίση του κεκλιμένου, ενώ η ράμπα που οδηγεί στο

επίπεδο παραγωγής έχει μηδενική κλίση. Η ράμπα που οδηγεί στο επίπεδο υποσκαφής διέρχεται από αυτήν του επιπέδου παραγωγής με κλίση 15%.

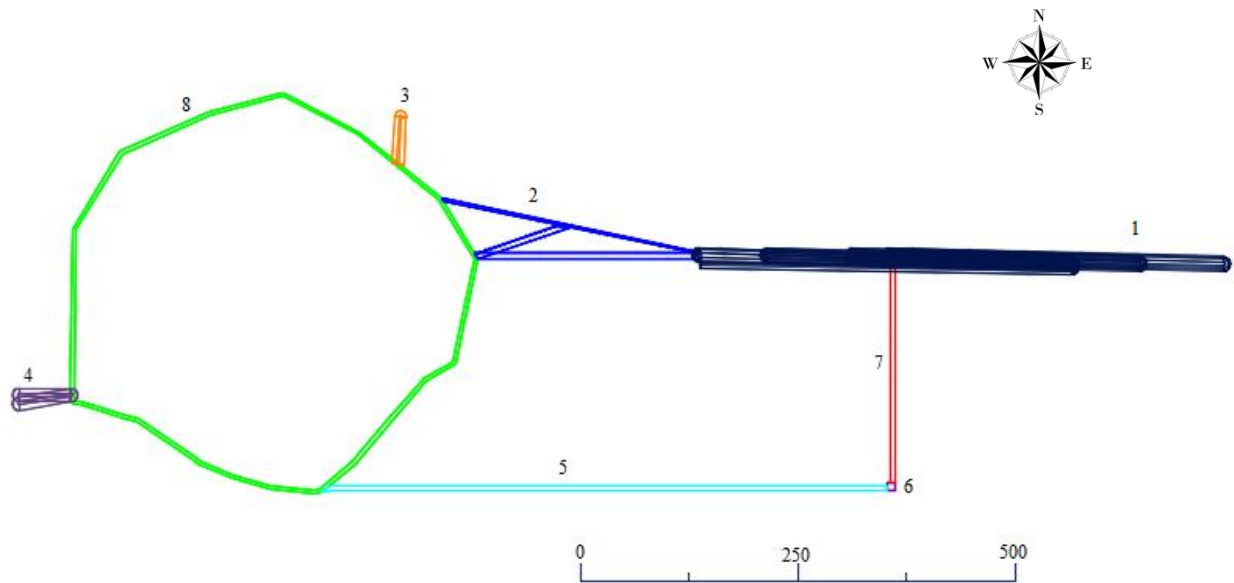
Το επίπεδο παραγωγής συνδέεται με το επίπεδο υποσκαφής και σε δεύτερη θέση, για ασφάλεια, μέσω κεκλιμένου κλίσης 15%, 57.5 μέτρα ΒΔ από το τέρμα της ράμπας στο επίπεδο παραγωγής (Σχήμα 3.8 (3)).

Το επίπεδο παραγωγής συνδέεται σε μία δεύτερη θέση με το επίπεδο μεταφοράς μέσω κεκλιμένου κλίσεως 10%, στο σημείο με συντεταγμένες 474466.429, 4479450.789. Η σύνδεση αυτή, αποσκοπεί στην διευκόλυνση των μετακινήσεων του εξοπλισμού και του εργατικού δυναμικού και στην ασφάλεια του μεταλλείου (Σχήμα 3.8 (4)).

Τέλος, το φρέαρ ενώνεται με το επίπεδο μεταφοράς μέσω ράμπας, για να εξυπηρετούνται οι ανάγκες μεταφοράς του μεταλλεύματος στην επιφάνεια, μέσω του φρέατος (Σχήματα 3.7, 3.8).

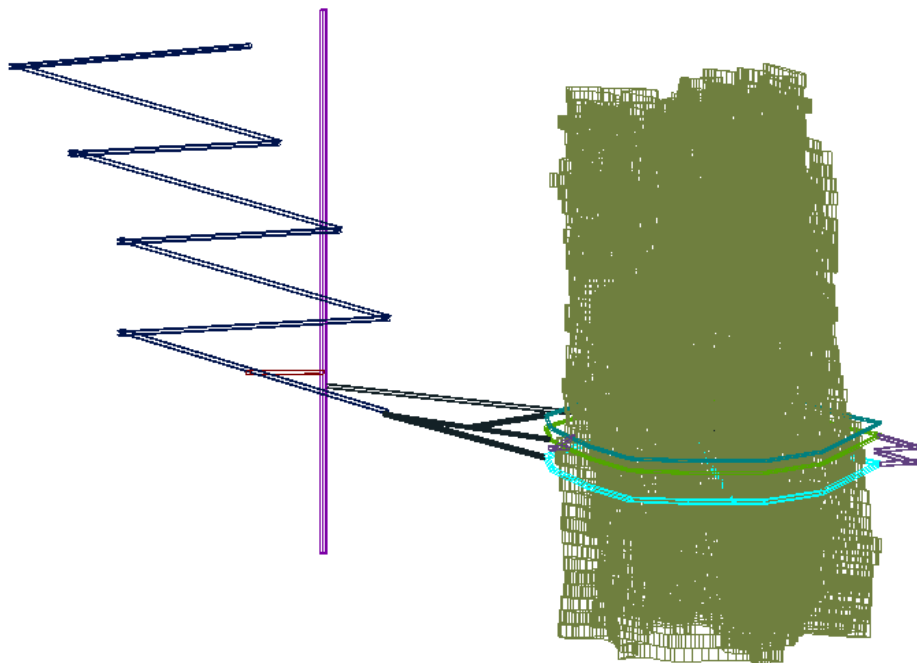


Σχήμα 3.7: Πλάγια όψη προπαρασκευαστικών έργων και έργων προσπέλασης κοιτάσματος 1^{ης} φάσης εκμετάλλευσης



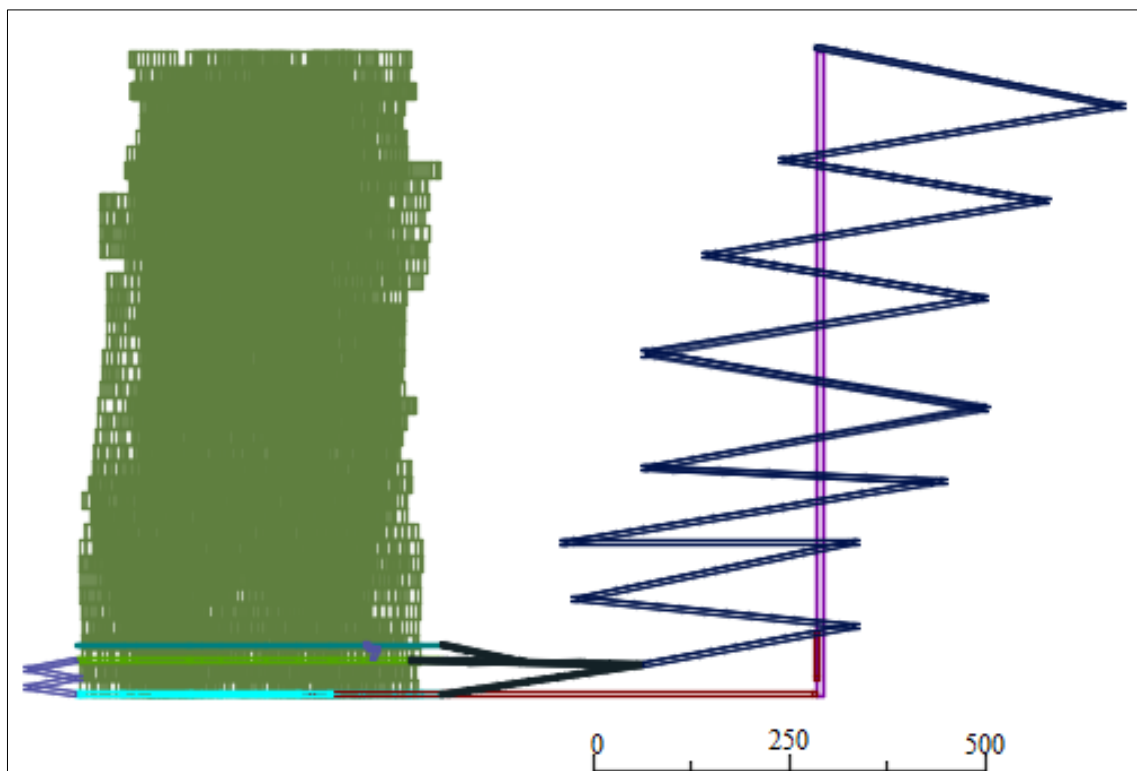
Σχήμα 3.8: Κάτοψη προπαρασκευαστικών έργων, έργων προσπέλασης. Υπόμνημα: 1. Κεκλιμένο προσπέλασης κοιτάσματος 2. Σύστημα ραμπών σύνδεσης επιπέδων 3. Δευτερεύον κεκλιμένο σύνδεσης επιπέδων υποσκαφής και παραγωγής 4. Δευτερεύον κεκλιμένο σύνδεσης επιπέδων παραγωγής και μεταφοράς 5. Ράμπα σύνδεσης επιπέδου μεταφοράς με φρέαρ 6. Φρέαρ 7. Ράμπα σύνδεσης φρέατος με κύριο κεκλιμένο (προσπέλασης). 8 Στοά περιχάραξης

Στο σχήμα 3.9 παρουσιάζεται η τρισδιάστατη άποψη των έργων προσπέλασης και των έργων προπαρασκευής της 1^{ης} φάσης εκμετάλλευσης.

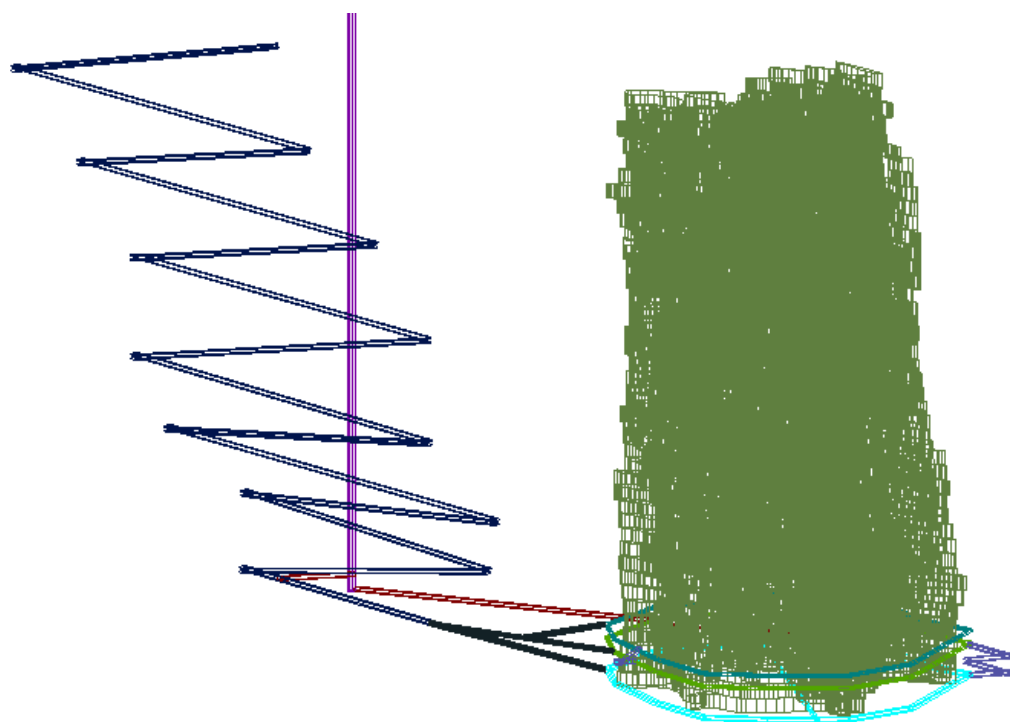


Σχήμα 3.9: Προπαρασκευαστικά έργα και έργα προσπέλασης κοιτάσματος σε τρισδιάστατη άποψη 1^{ης} φάσης εκμετάλλευσης

Τα έργα προπαρασκευής της 2^{ης} φάσης εκμετάλλευσης σχεδιάζονται με τον ίδιο τρόπο και αναπαριστώνται στα σχήματα 3.10, 3.11.

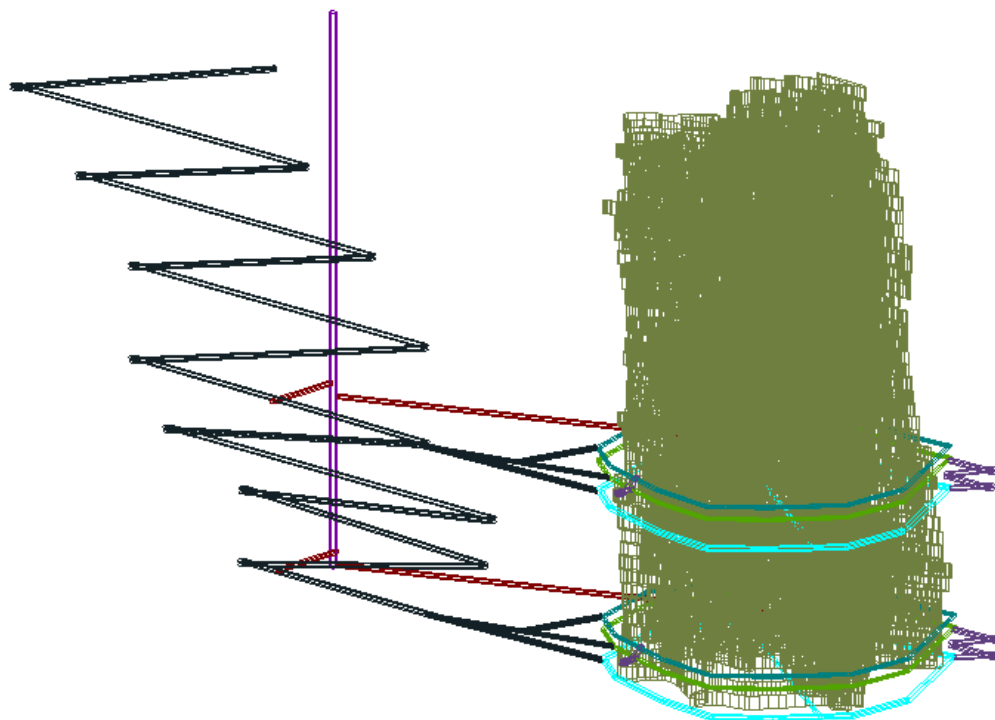


Σχήμα 3.10: Πλάγια όψη προπαρασκευαστικών έργων και έργων προσπέλασης κοιτάσματος 2^{ης} φάσης εκμετάλλευσης



Σχήμα 3.11: Προπαρασκευαστικά έργα και έργα προσπέλασης κοιτάσματος σε τρισδιάστατη άποψη 2^{ης} φάσης εκμετάλλευσης

Τέλος παρουσιάζονται τα συνολικά έργα προσπέλασης και προπαρασκευής του κοιτάσματος (Σχήμα 3.12), που απαιτούνται για την εφαρμογή της μεθόδου της κατακρήμνισης πατώματος στις 2 φάσεις υπόγειας εκμετάλλευσης.



Σχήμα 3.12: Συνολικά έργα προσπέλασης και προπαρασκευής των 2 φάσεων υπόγειας εκμετάλλευσης σε 3D για την εφαρμογή της μεθόδου κατακρήμνισης πατώματος

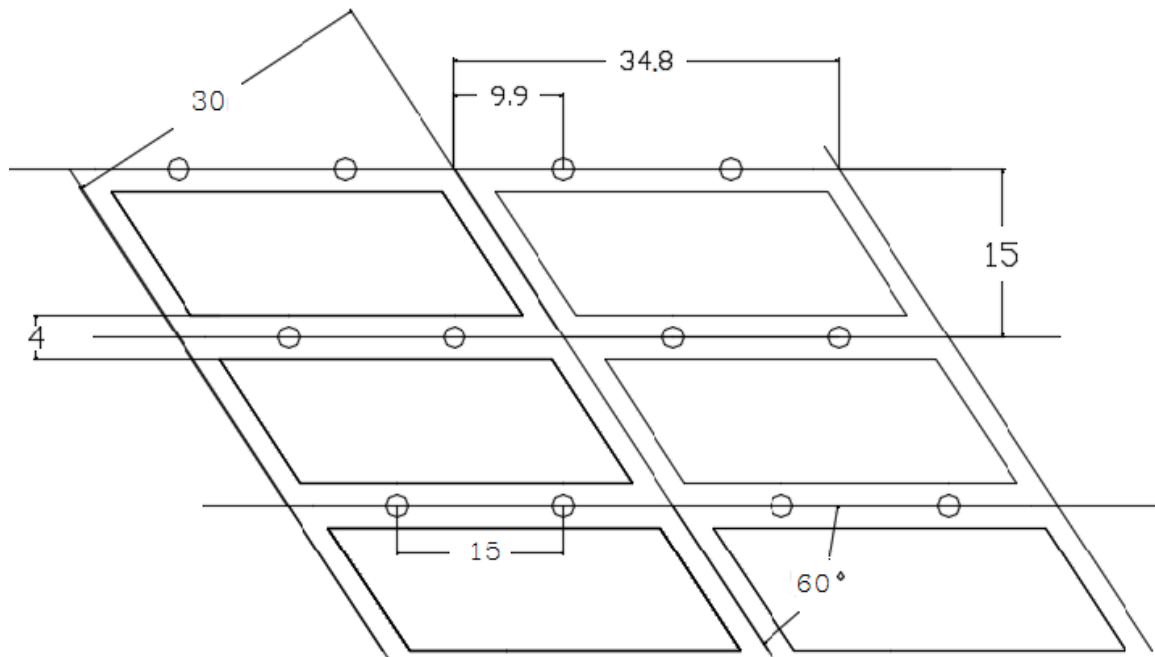
Τα διάφορα έργα προσπέλασης σχεδιάστηκαν με βάση την διαστασιολόγηση που προτείνει η Hellas Gold στην τεχνική έκθεση του 2018. Οι τυπικές διαστάσεις δίνονται στον πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Διαστασιολόγηση έργων προσπέλασης (Hellas Gold, 2018)

Περιγραφή	Μέγεθος	
	Πλάτος (m)	Ύψος (m)
Ράμπες (Κύρια και δευτερεύοντα κεκλιμένα)	6.0	6.0
Ράμπες ένωσης επιπέδων	6.0	5.7
Στοές μεταφοράς	6.0	6.0
Στοές που διέρχονται από το φρέαρ	5.5	5.5
Φρέαρ	Διάμετρος (m)	
	8.2	

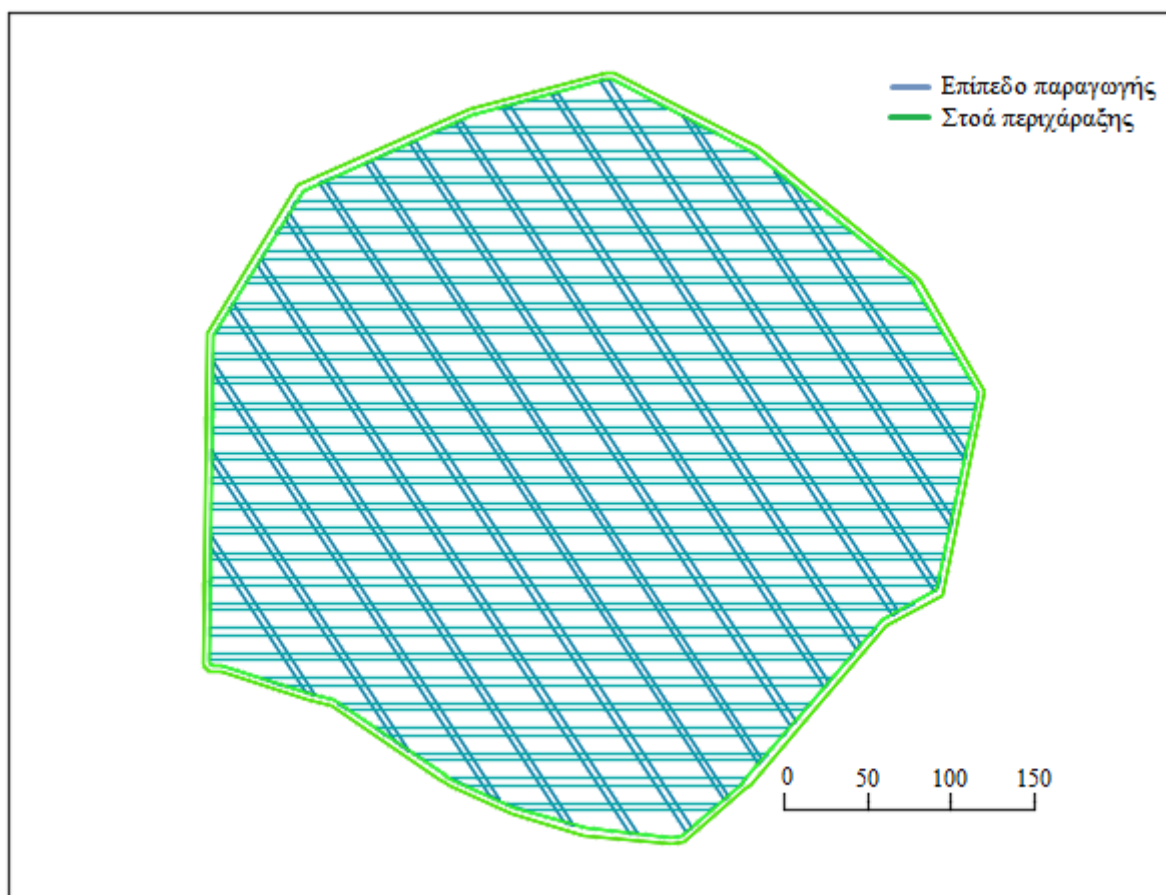
3.4.3 Σχεδιασμός επιπέδου παραγωγής και μεταφοράς

Η διάταξη που προτείνεται για το επίπεδο παραγωγής είναι αυτή του El Teniente (Σχήμα 3.13). Όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 2.4.3.1.α πρόκειται για μία εξυπηρετική διάταξη που μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορες συνθήκες εκμετάλλευσης, όπου ευνοούνται οι μετακινήσεις του εξοπλισμού των υπογείων, ο σχεδιασμός της είναι απλός και παρέχει υψηλά ποσοστά ασφάλειας. Το επίπεδο παραγωγής της πρώτης φάσης είναι στο υψόμετρο των +115m και της δεύτερης στο -135m.



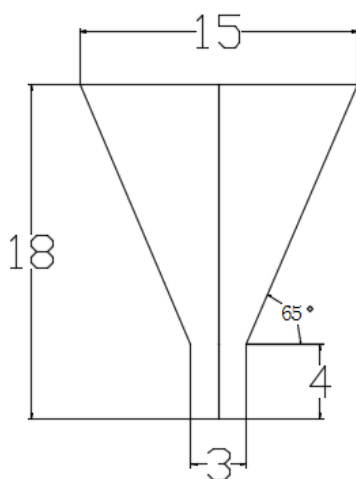
Σχήμα 3.13: Διάταξη El Teniente που εφαρμόζεται στο επίπεδο παραγωγής. Υποσημείωση: Η αναλογία της απόστασης μεταξύ των χοανών προς αυτής μεταξύ των κυρίων στοών μεταφοράς είναι $\frac{1}{2}$. Το πλάτος των στοών παραγωγής είναι 4m και το ύψος 3.6m (Brown, 2003)

Ακολουθεί η κάτοψη του επιπέδου παραγωγής με την διάταξη του El Teniente, προσαρμοσμένο στα όρια του πορφυριτικού κοιτάσματος.

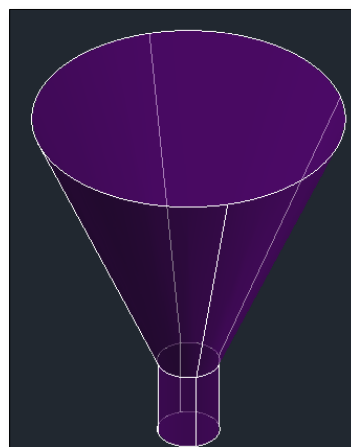


Σχήμα 3.14: Κάτοψη επιπέδου παραγωγής

Οι χοάνες απόληξης (Σχήματα 3.15, 3.16) του μεταλλεύματος τοποθετούνται ανά 15m εντός του επιπέδου παραγωγής και καλύπτουν ολόκληρη την βάση (Σχήματα 3.17, 3.18) του πατώματος του μεταλλεύματος. Προτείνεται η πλευρική κλίση αυτών να είναι 65° , ώστε να διευκολύνεται η δυνατότητα κίνησης του θραυσμένου μεταλλεύματος. Σύμφωνα με τον Laubscher (1994), η ελεύθερη κίνηση του μεταλλεύματος επιτρέπεται σε κλίσεις από 45° και άνω.

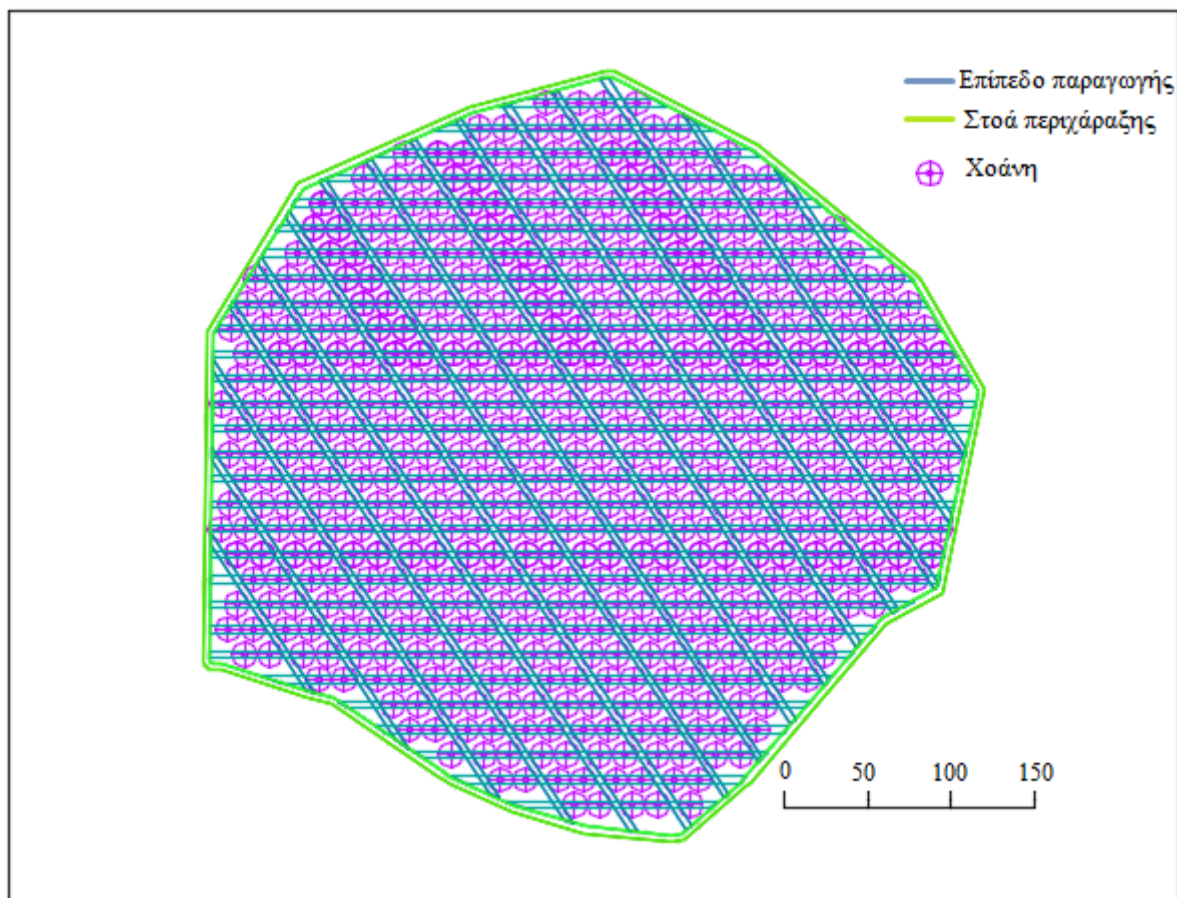


Σχήμα 3.15: Διαστάσεις χοάνης απόληξης

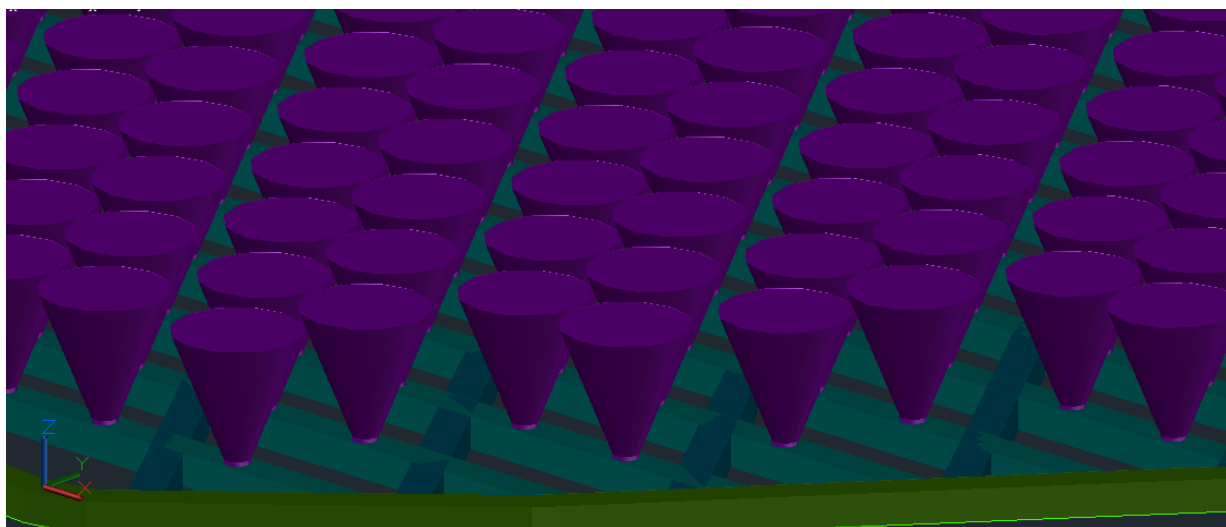


Σχήμα 3.16: 3D άποψη χοάνης

Ακολουθεί η κάτοψη του επιπέδου παραγωγής συμπεριλαμβανομένου των χοανών απόληψης του μεταλλεύματος (Σχήμα 3.17).



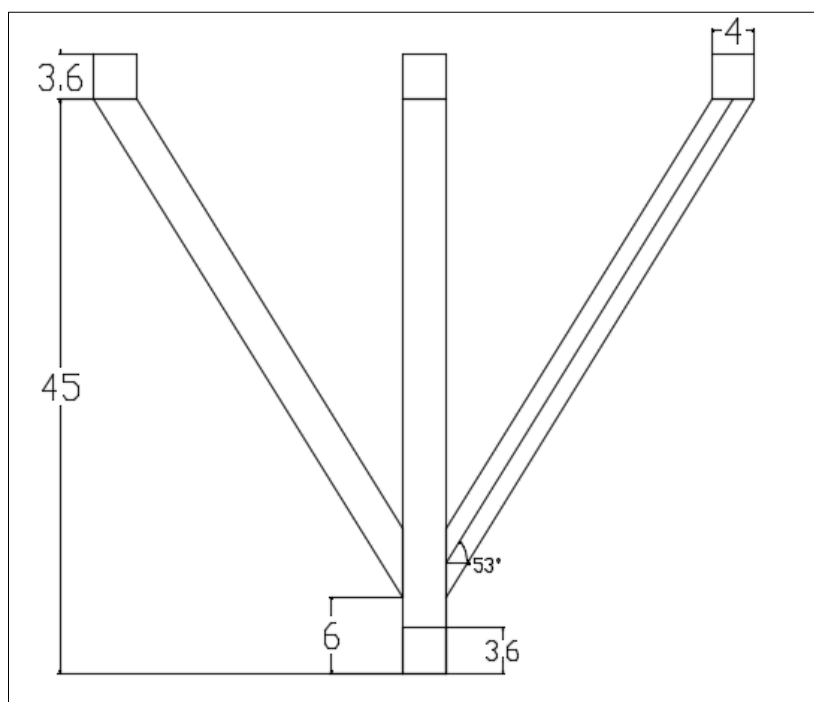
Σχήμα 3.17: Κάτοψη επιπέδου παραγωγής με χοάνες απόληψης (ανά 15m) του μεταλλεύματος.



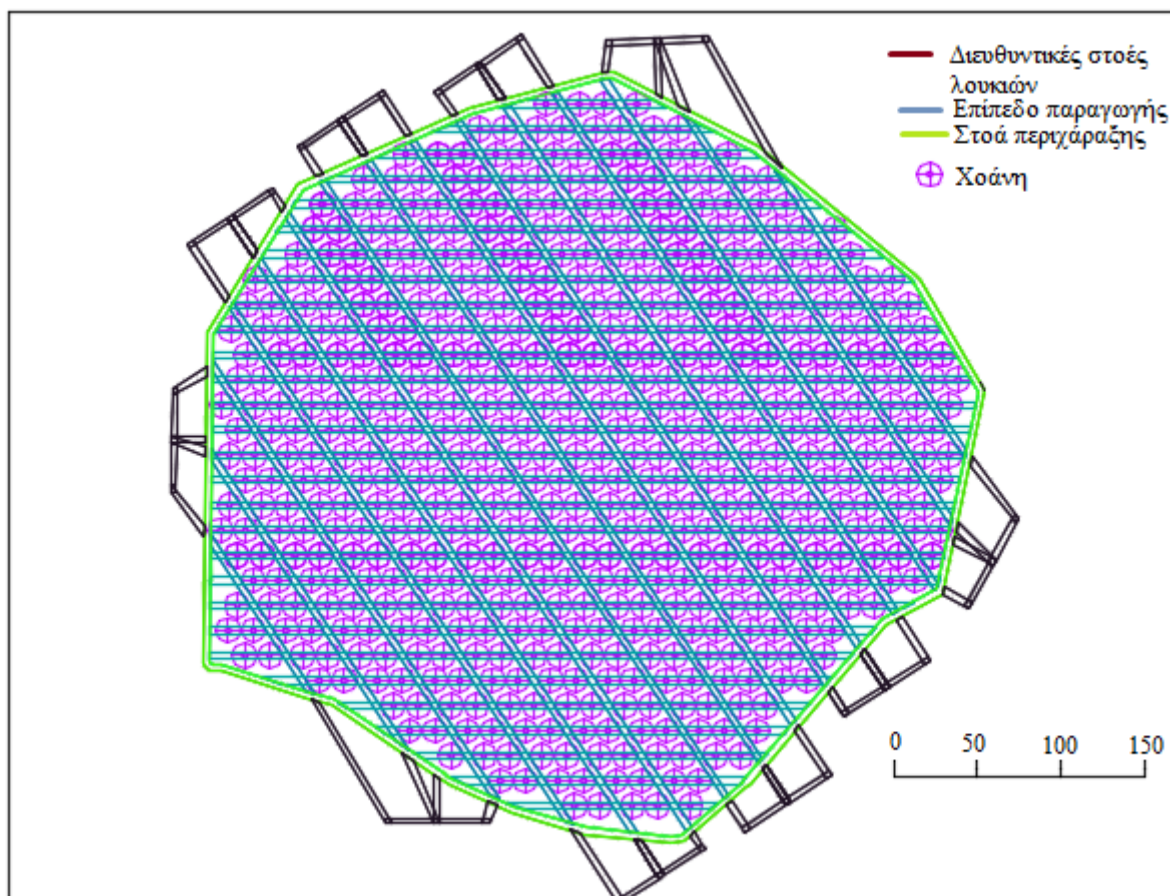
Σχήμα 3.18 : Τρισδιάστατη άποψη ενός τμήματος του επιπέδου παραγωγής

Το κατακρημνισμένο μετάλλευμα παραλαμβάνεται από τις χοάνες και μέσω λουκιών μεταφοράς, του θραυσμένου υλικού, οδηγείται στο επίπεδο μεταφοράς, απ' όπου και παραλαμβάνεται και μέσω του φρέατος καταλήγει στο επίπεδο της επιφάνειας.

Τα λούκια του μεταλλεύματος τοποθετούνται περιμετρικά του επιπέδου παραγωγής (Σχήμα 3.20), μέσω διευθυντικών στοών και όσο είναι δυνατόν, με τρόπο που να μην δυσχεραίνουν τις μετακινήσεις των οχημάτων. Επίσης, καθοριστικό παράγοντα παίζει η κλίση των λουκιών, η οποία πρέπει να είναι μεγάλη (μεγαλύτερη των 45° (Laubscher,1994), για την ικανότητα κίνησης του υλικού λόγω βαρύτητας. Στο σχήμα 3.19 δίνεται η διαστασιολόγηση των λουκιών που προτείνεται.

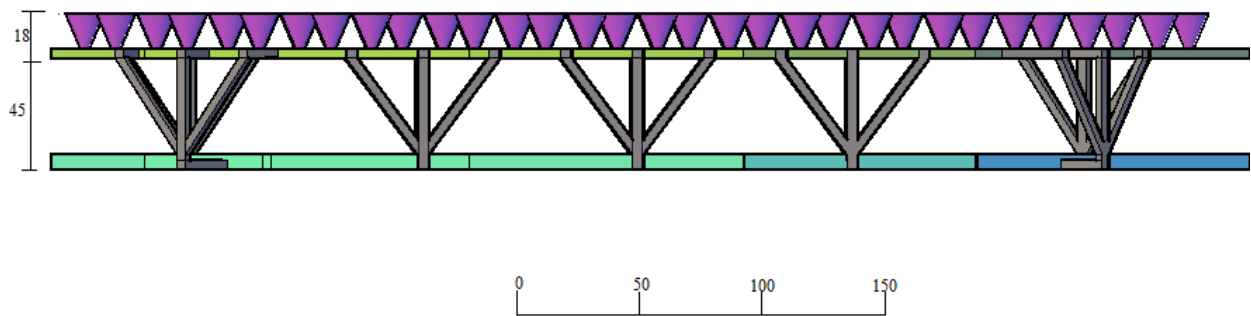


Σχήμα 3.19: Διαστάσεις λουκιών μεταφοράς κατακρημνισμένου μεταλλεύματος από το επίπεδο παραγωγής στο επίπεδο μεταφοράς.

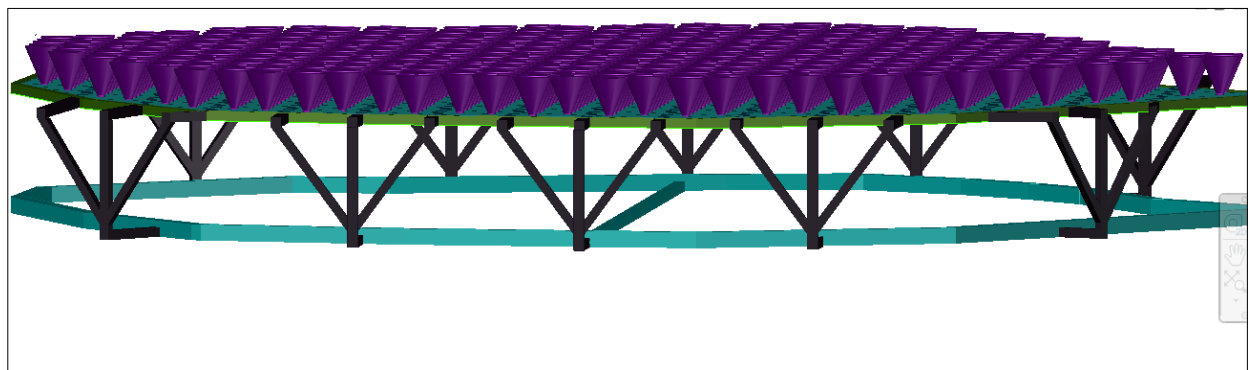


Σχήμα 3.20: Κάτοψη επιπέδου παραγωγής και λουκιών μεταλλεύματος

Το επίπεδο μεταφοράς περιλαμβάνει την στοά περιχάραξης του μεταλλεύματος, μία κεντρική διευθυντική στοά, για λόγους ασφάλειας και διευκόλυνσης των μετακινήσεων των υπογείων οχημάτων και στοές που διέρχονται από τα λούκια, με διαστάσεις όπως προτείνονται στον πίνακα 3.1. Βρίσκεται 45m κάτω από το επίπεδο παραγωγής, όσο είναι το ύψος των λουκιών. Στην πρώτη φάση της εκμετάλλευσης το επίπεδο μεταφοράς είναι στο υψόμετρο των +70m, ενώ στην δεύτερη φάση στο -180m. Στο σχήμα 3.21 παρουσιάζεται πλάγια όψη που συμπεριλαμβάνει τις χοάνες απόληξης, το επίπεδο παραγωγής, τα λούκια και το επίπεδο μεταφοράς. Στο σχήμα 3.22 παρουσιάζεται η τρισδιάστατη όψη του σχήματος 3.21.



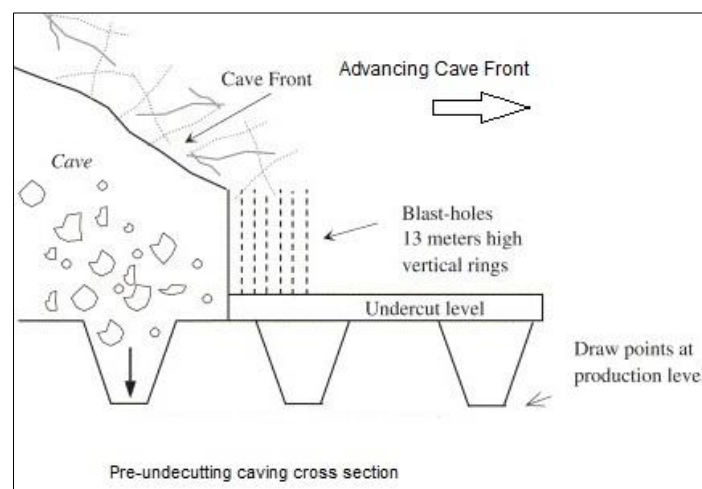
Σχήμα 3.21: Πλάγια όψη επιπέδων παραγωγής, μεταφοράς, χοανών και λουκιών



Σχήμα 3.22: Τρισδιάστατο σχήμα που περιλαμβάνει: Επίπεδο παραγωγής, χοάνες, λούκια, επίπεδο μεταφοράς

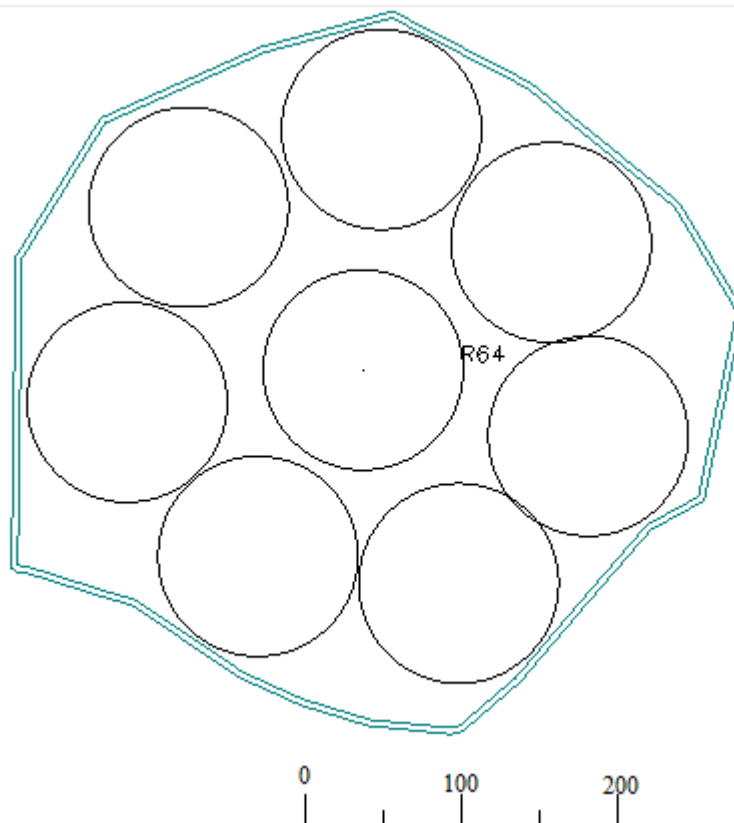
3.5 Εργασίες ανάπτυξης

Τα έργα ανάπτυξης περιλαμβάνουν την διάνοιξη διεθυντικών στοών υποσκαφής (undercutting) εντός της στήλης του μεταλλεύματος, πάνω από το επίπεδο παραγωγής, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 3.23. Η διάταξη αυτών, ακολουθεί την διάταξη των χοανών του επιπέδου παραγωγής και με τη χρήση περιμετρικών διατρημάτων αφαιρείται η στήριξη της στήλης, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.4.3.2.



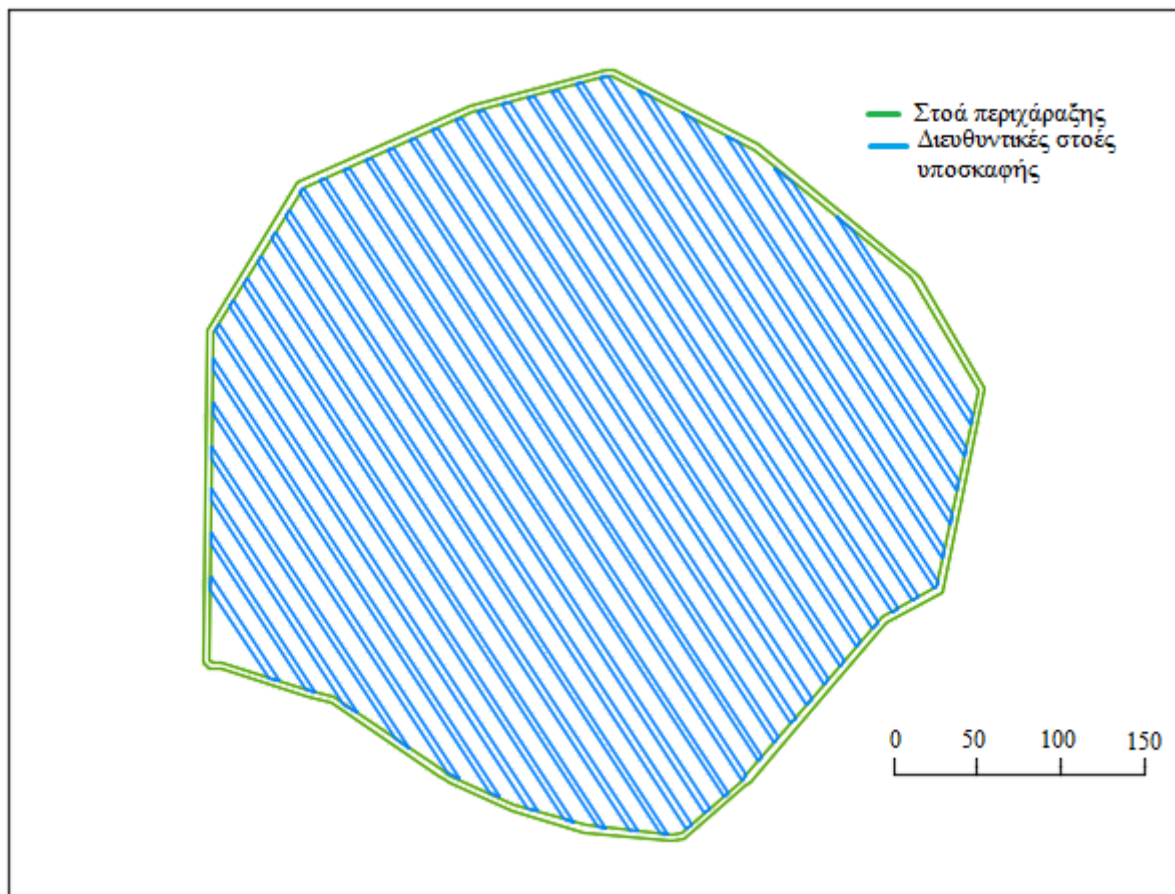
Σχήμα 3.23: Τομή εργασιών επιπέδου υποσκαφής (Jian Zhao, Robert Zimmerman, 2007)

Η εξόρυξη μετατοπίζεται σταδιακά παράλληλα με το επίπεδο παραγωγής, σε στήλες μεταλλεύματος ακτίνας 64m, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 3.24. Η τιμή αυτή προκύπτει από το διάγραμμα του Laubscher (σχήμα 2.3). Θεωρώντας ότι το MRMR του πορφύρη ισούται με 50, η υδραυλική ακτίνα HR πρέπει να ισούται με 32, ώστε να ευνοείται η κατακρημνισιμότητα του μεταλλεύματος. Έτσι, ισχύει $HR = \frac{\pi r^2}{2\pi r} = \frac{r}{2}$. Για υδραυλική ακτίνα HR= 32, τότε η ακτίνα εκείνη που ευνοεί την κατακρημνισιμότητα είναι 64m.



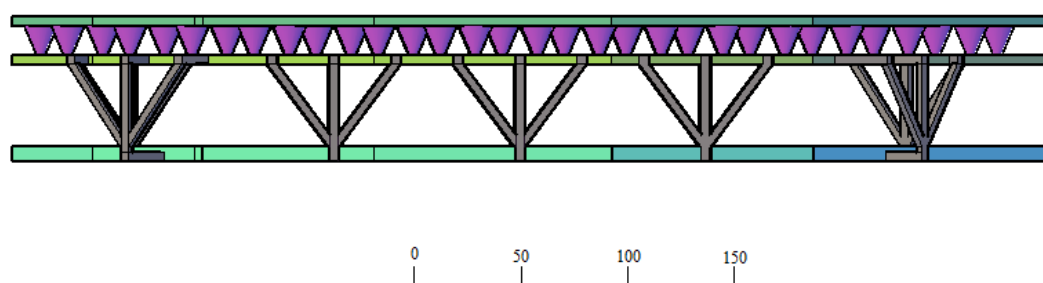
Σχήμα 3.24: Εξόρυξη σε στήλες μεταλλεύματος ακτίνας 64 μέτρων προκειμένου να ευνοείται η κατακρήμνιση του μεταλλεύματος, για τιμή MRMR=50.

Το επίπεδο υποσκαφής βρίσκεται 18m πάνω από το επίπεδο παραγωγής, όσο είναι δηλαδή το ύψος των χοανών, και το υψόμετρο του επιπέδου αυτού στη πρώτη φάση εκμετάλλευσης είναι στα +133m, ενώ στη δεύτερη στα -117m. Οι διαστάσεις των διευθυντικών στοών υποσκαφής είναι όμοιες με τις στοές του επιπέδου παραγωγής (πλάτος 4m και ύψος 3.6m) και ορύσσονται ανά 15m (Σχήμα 3.25), όσο απέχουν, δηλαδή, οι χοάνες μεταξύ τους.

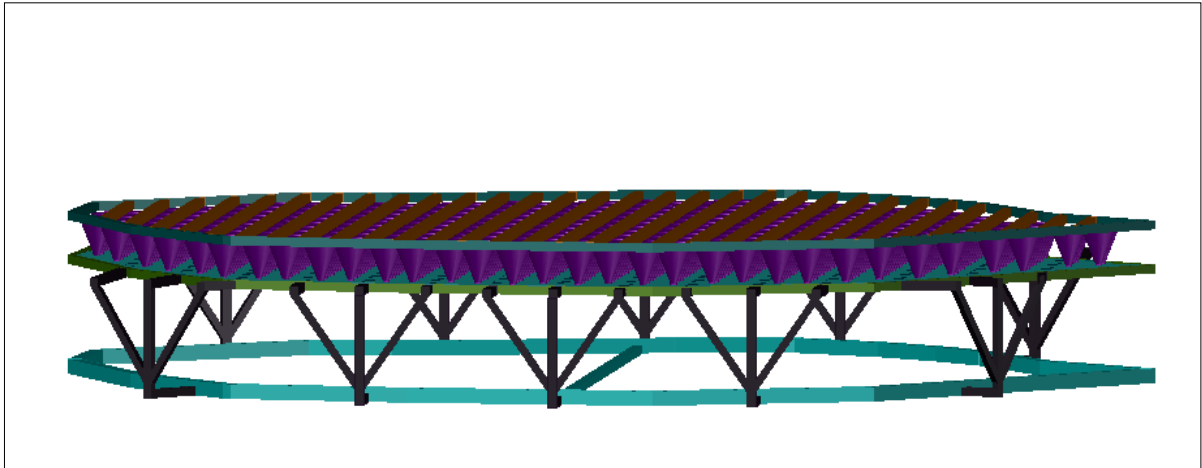


Σχήμα 3.25: Κάτοψη επιπέδου υποσκαφής (Διευθυντικές στοές υποσκαφής ανά 15m)

Ακολουθεί η πλάγια όψη (Σχήμα 3.26) που περιλαμβάνει το επίπεδο υποσκαφής, παραγωγής, μεταφοράς, χοάνες και λούκια και η τρισδιάστατη προβολή αυτών (σχήμα 3.27).



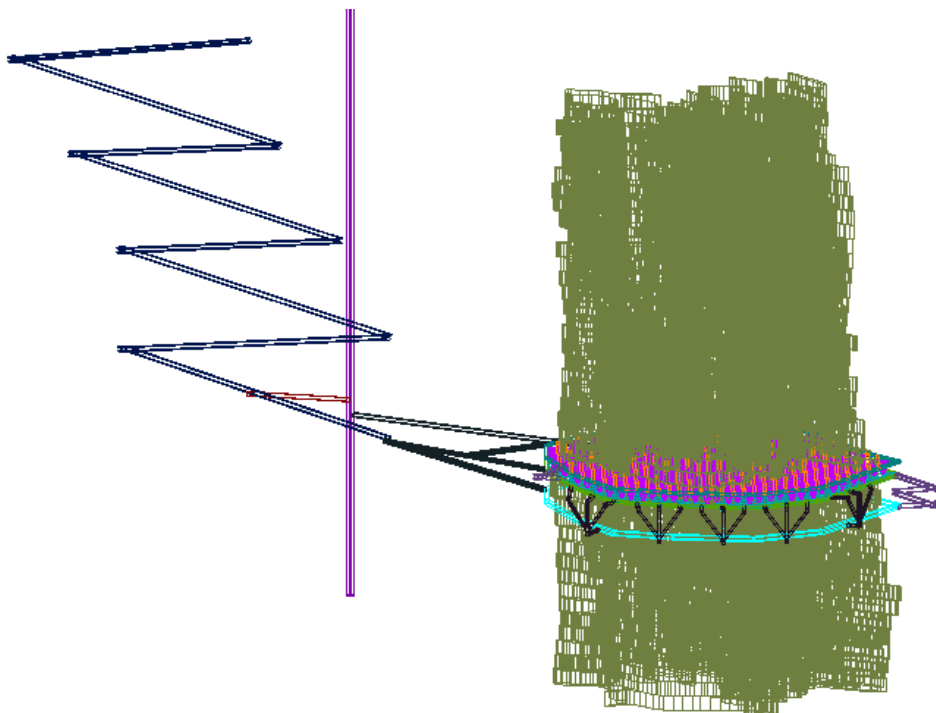
Σχήμα 3.26: Πλάγια όψη επιπέδων υποσκαφής, παραγωγής, μεταφοράς, χοανών, λουκιών



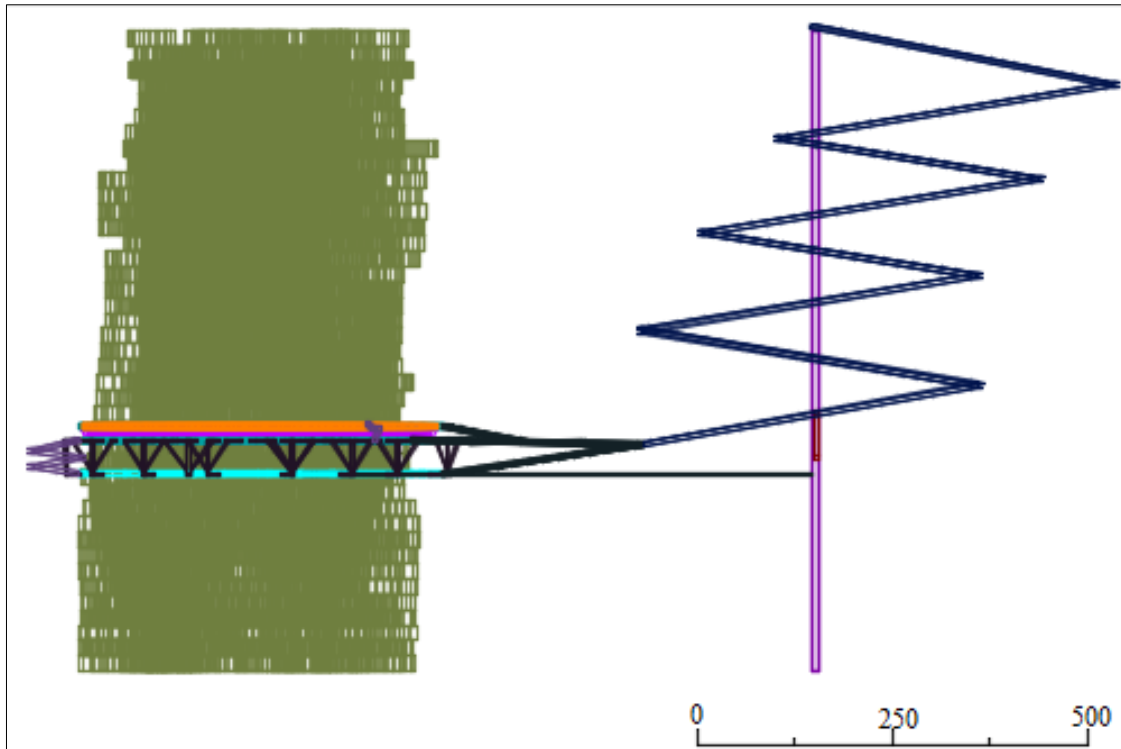
Σχήμα 3.27: Τρισδιάστατη άποψη των επιπέδων της μεθόδου για την εκμετάλλευση του πορφυριτικού κοιτάσματος των Σκουριών. Περιλαμβάνει επίπεδο υποσκαφής, παραγωγής, μεταφοράς, χοάνες απόληψης, λούκια μεταφοράς

3.6 Παρουσίαση συνολικών έργων

Στα σχήματα 3.28, 3.29 παρατίθενται τα συνολικά έργα που απαιτούνται για την πρώτη φάση της υπόγειας εκμετάλλευσης με την μέθοδο της κατακρήμνισης πατώματος.

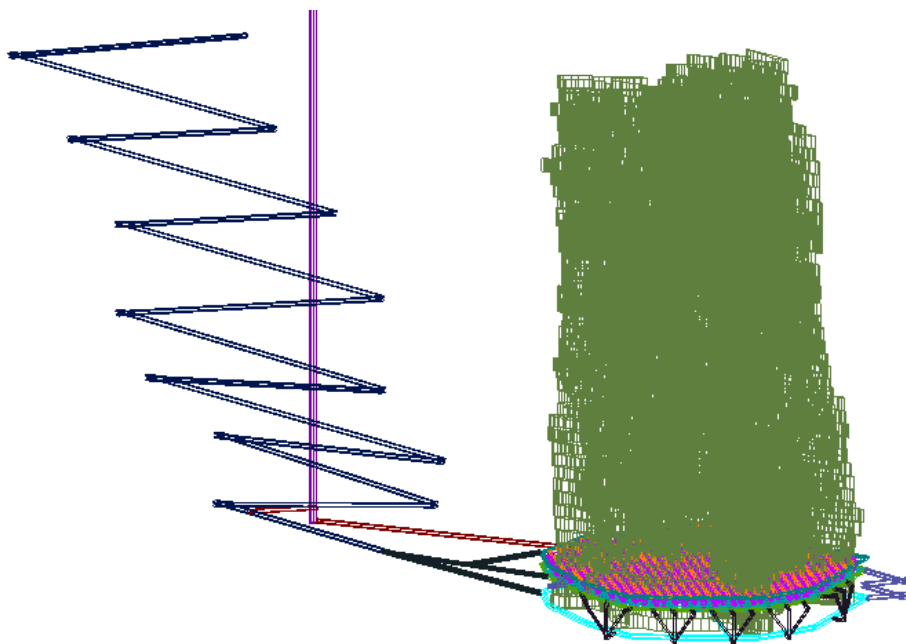


Σχήμα 3.28: Τρισδιάστατη προβολή έργων 1^{ης} φάσης υπόγειας εκμετάλλευσης στο κοίτασμα του πορφυριτικού χαλκού των Σκουριών

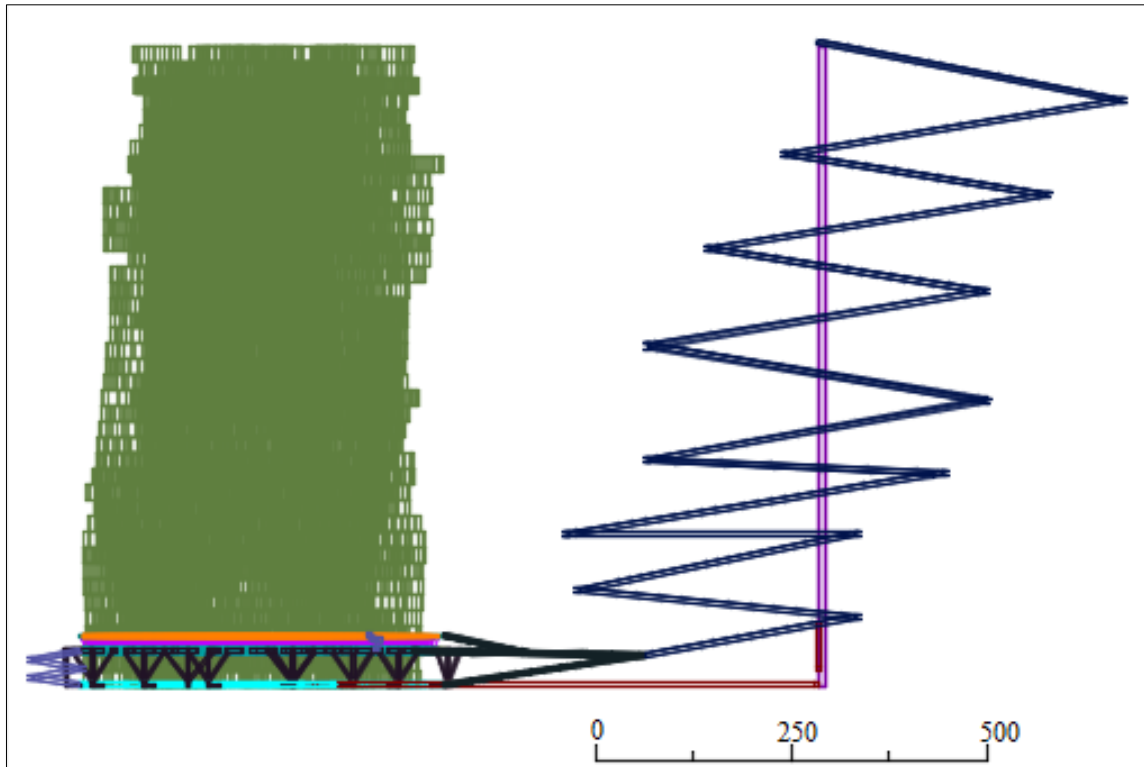


Σχήμα 3.29: Πλάγια όψη έργων πρώτης φάσης υπόγειας εκμετάλλευσης μέχρι το βάθος των +70m

Η δεύτερη φάση της υπόγειας εκμετάλλευσης με την μέθοδο της κατακρήμνισης πατώματος ξεκινάει μόλις ολοκληρωθεί η πρώτη. Τα έργα της σχεδιάζονται με τον ίδιο τρόπο, όπως στην πρώτη φάση και αναπαριστώνται στα σχήματα 3.30 και 3.31 που ακολουθούν.

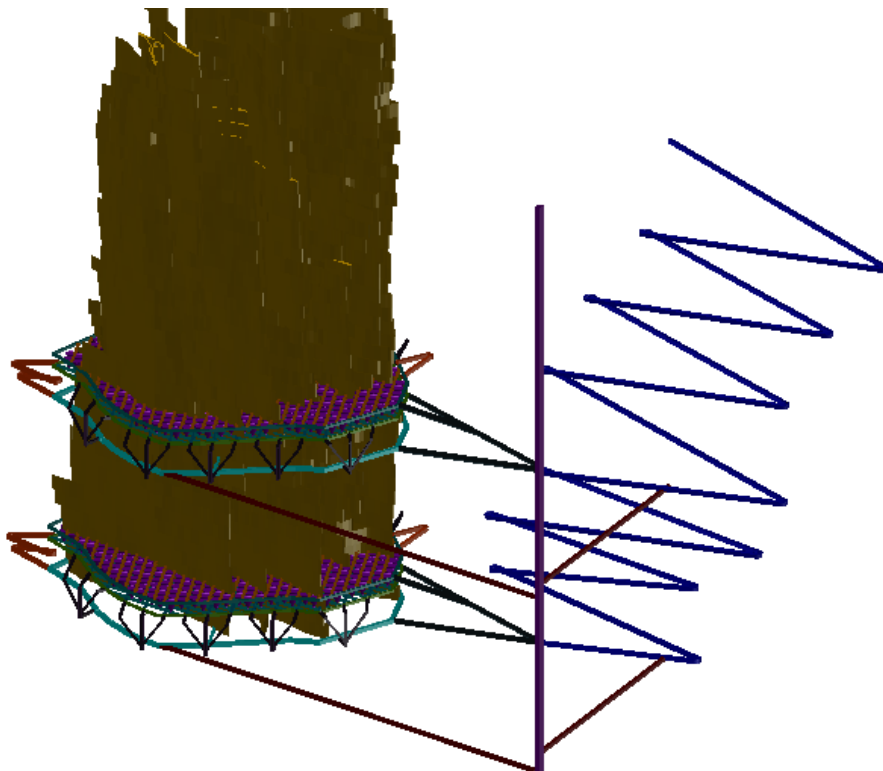


Σχήμα 3.30: Τρισδιάστατη προβολή έργων 2^{ης} φάσης υπόγειας εκμετάλλευσης στο κοίτασμα του πορφυριτικού χαλκού των Σκουριών



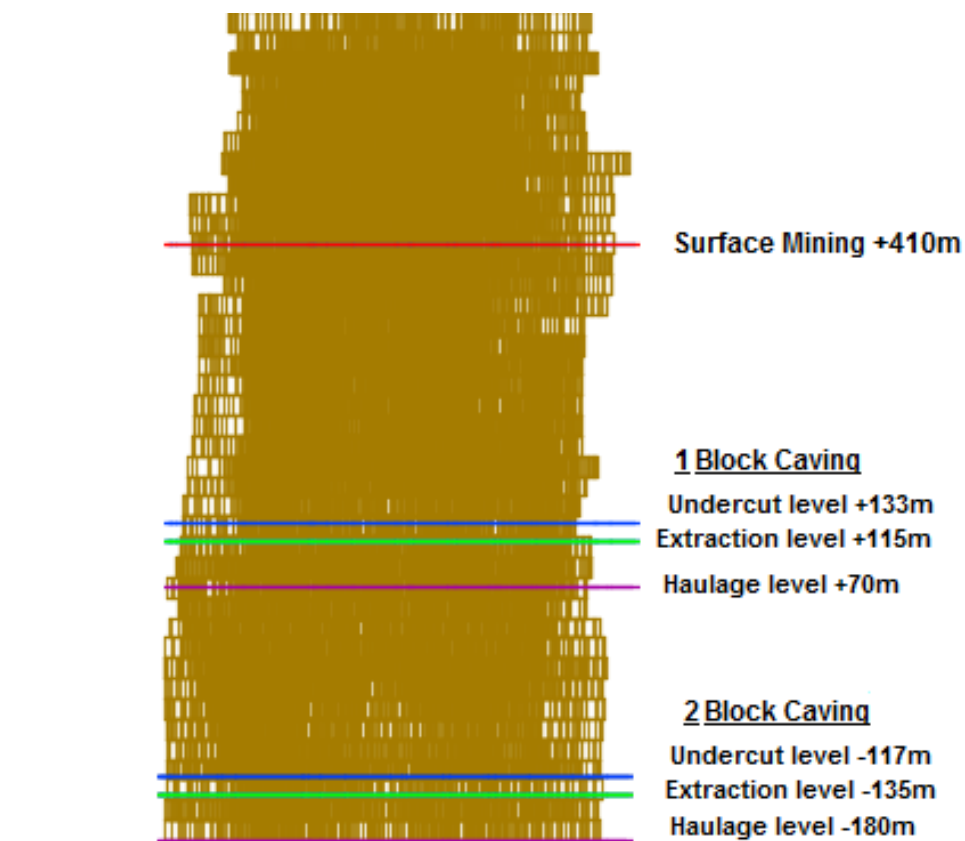
Σχήμα 3.31: Πλάγια όψη έργων δεύτερης φάσης υπόγειας εκμετάλλευσης μέχρι το βάθος των -180m

Τέλος παρουσιάζονται (σχήμα 3.32) τα συνολικά έργα που απαιτούνται για την εφαρμογή της μεθόδου κατακρήμνισης πατώματος και στις δύο φάσεις υπόγειας εκμετάλλευσης.



Σχήμα 3.32: Τρισδιάστατη προβολή συνολικών έργων των δυο φάσεων υπόγειας εκμετάλλευσης στο κοίτασμα του πορφυριτικού χαλκού των Σκουριών Χαλκιδικής

Στο σχήμα 3.33 παρουσιάζονται αναλυτικά τα υψόμετρα των επιπέδων κάθε φάσης εκμετάλλευσης. Το ύψος του μπλοκ της πρώτης φάσης εκμετάλλευσης είναι 277m, ενώ της δεύτερης 250m.



Σχήμα 3.33: Αποτύπωση υψομέτρων των επιπέδων για κάθε φάση υπόγειας εκμετάλλευσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΧΡΟΝΟΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

4.1 Στοιχεία για την χρονοδρομολόγηση της υπόγειας εκμετάλλευσης

Η χρονοδρομολόγηση του υπόγειου έργου αναλύεται, ξεχωριστά, για τις εργασίες προετοιμασίας και για τα έργα παραγωγής της εκμετάλλευσης με την μέθοδο της κατακρήμνισης πατώματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, πρόκειται για μεγάλης κλίμακας έργο και οι εργασίες προετοιμασίας που απαιτούνται για την εφαρμογή της μεθόδου είναι αρκετά χρονοβόρες και απαιτούν σημαντικά χρηματικά κεφάλαια. Για τον λόγο αυτό, τα έργα πρέπει να κατασκευάζονται σε συνδυασμό με τις διαδικασίες παραγωγής του μεταλλεύματος, ώστε να υπάρχει και διαθέσιμη χρηματική ροή.

4.2 Χρονοδρομολόγηση εργασιών προετοιμασίας

Οι εργασίες προετοιμασίας περιλαμβάνουν όλες τις εργασίες που αφορούν την προσπέλαση του κοιτάσματος και των προπαρασκευαστικών έργων των επιπέδων για την εφαρμογή της μεθόδου εκμετάλλευσης.

Η διαμόρφωση των έργων για την πρώτη φάση της εκμετάλλευσης, με την μέθοδο της κατακρήμνισης πατώματος, προτείνεται να πραγματοποιηθεί κατά την λειτουργία της επιφανειακής εκμετάλλευσης. Σύμφωνα με την τεχνική έκθεση της Hellas Gold, AE (2018), η επιφανειακή εκμετάλλευση σχεδιάζεται να υλοποιηθεί εντός δέκα περίπου χρόνων. Σκοπός είναι, όταν η επιφανειακή εκμετάλλευση διεκπεραιωθεί, η πρώτη φάση της υπόγειας εκμετάλλευσης να είναι σε θέση να ξεκινήσει την λειτουργία της.

Αρχικώς, προσδιορίζεται ο εξοπλισμός που χρειάζεται, για την διάτρηση, φόρτωση και αποκόμιση του όγκου του υλικού που απαιτείται, για τα διάφορα έργα της πρώτης φάσης εκμετάλλευσης. Για τα έργα αυτά χρειάζονται διατρητικά φορεία, φορτωτές και αρθρωτά φορητά υπογείων (σαύρες).

Πίνακας 4.1: Πίνακας γενικών θεωρήσεων για τις εργασίες προετοιμασίας

Διάρκεια εργασιών προετοιμασίας (years)	-	10
Εργάσιμες μέρες/χρόνο (days/year)	-	250
Εργάσιμες ώρες/μέρα (hr/day)	-	16
Βάρδιες/μέρα (shifts/day)	-	2
Απόδοση εργοταξίου	$n_{\text{εργ}}$	0,9
Απόδοση μηχανήματος (διαθεσιμότητα)	$n_{\text{μηχ}}$	0,85
Απόδοση κινητήρα	$n_{\text{κιν}}$	0,8
Συντελεστής επιπλήσματος	ϵ	1,3
Ειδικό βάρος (tn/m ³)	γ	2,64

Για τις ανάγκες διάτρησης, ο απαραίτητος εξοπλισμός είναι διατρητικά μετώπου και διατρητικά για την υποστήριξη της οροφής.

Ο όγκος που εκτιμάται, με τη χρήση του Autocad Civil 3D™, ότι απαιτείται να εξορυχθεί είναι 1311000 m³. Στην τιμή αυτή συμπεριλαμβάνονται η όρυξη του κυρίου κεκλιμένου, οι ράμπες, τα δευτερεύοντα κεκλιμένα, οι κύριες στοές μεταφοράς, οι διευθυντικές στοές υποσκαφής, οι χοάνες, οι στοές που οδηγούν στα λούκια και οι στοές περιχάραξης. Ο

$$\text{ωριαίος ρυθμός διάτρησης } Q_1 = \frac{\frac{1311109 \text{ m}^3}{10 \text{ years}} * \frac{1 \text{ year}}{250 \text{ days}} * \frac{1 \text{ day}}{16 \text{ hr}}}{0,9} = 36,42 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}.$$

Ο όγκος του υλικού, όπου η οροφή του χρήζει υποστήριξης εκτιμάται, μέσω του Autocad Civil 3D, ότι είναι 624896 m³ (κύριο κεκλιμένο, ράμπες, δευτερεύοντα κεκλιμένα, κύριες στοές μεταφοράς, διευθυντικές στοές υποσκαφής, στοές που οδηγούν στα λούκια, στοές περιχάραξης). Ο ωριαίος ρυθμός διάτρησης για την υποστήριξη οροφής Q₂ είναι:

$$Q_2 = \frac{\frac{624896 \text{ m}^3}{10 \text{ years}} * \frac{1 \text{ year}}{250 \text{ days}} * \frac{1 \text{ day}}{16 \text{ hr}}}{0,9} = 17,4 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}.$$

Για την διάτρηση του μετώπου χρησιμοποιείται διατρητικό Jumbo Epiroc Boomer E. Για την εύρεση του αριθμού αυτών που απαιτούνται, πρέπει να βρεθεί η ωριαία απόδοση του, ώστε να συγκριθεί με τον επιθυμητό ρυθμό διάτρησης Q₁.

Πίνακας 4.2: Χαρακτηριστικά Jumbo (epiroc.com)

Διατρητικό Jumbo (Epiroc Boomer E)	
Βραχίονες - Σφύρες	2
Ρυθμός διάτρησης (m/min/σφύρα)	3
Μέσο μήκος διατρήματος (m)	3
Σταθερός χρόνος μεταξύ δύο διατρημάτων (min)	2
Ισχύς (HP) (θεώρηση)	160
Κόστος κτήσης (€/μηχάνημα) (θεώρηση)	400000
Κατανάλωση (lt/HP/hr)	0,2

Ένας τυπικός κάναβος διάτρησης μετώπου περιλαμβάνει 60 διατρήματα, 3 μέτρων προχώρησης (Fernberg, 2007).

Το Jumbo διαθέτει δύο σφύρες, δηλαδή, σε ένα μέτωπο κάθε μία θα κάνει 30 διατρήματα. Ο χρόνος διάτρησης των 60 διατρημάτων είναι: t=30διατρ/σφύρα *2min+30min t=90min.

Ο τυπικός όγκος εξορυσσόμενου υλικού από τα διατρήματα είναι $5 \times 5 \times 3 (\text{m}^3) = 75 \text{m}^3$.

Η απόδοση του Jumbo είναι $Q_j = 0,85 \frac{75 \text{ m}^3}{90 \text{ min}} = 42,5 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$

Άρα, ο αριθμός Jumbo $= \frac{Q_1}{Q_j} = \frac{36,42}{42,5} = 0,86$. Άρα, χρειάζεται 1 διατρητικό Jumbo (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1: Διατρητικό Jumbo Epiroc Boomer E

Για το διατρητικό υποστήριξης οροφής, πρέπει να εκτιμηθεί η επιφάνεια που πρέπει να υποστηρίζεται κάθε ώρα και να συγκριθεί με την απόδοση του μηχανήματος για ανιόντα διατρήματα.

Πίνακας 4.3: Χαρακτηριστικά μηχανήματος για ανιόντα διατρήματα (Epiroc.com)

Μηχάνημα ανιόντων διατρημάτων (Boltec S)	
Ρυθμός διάτρησης (m/min)	2,4
Μέσο μήκος διατρήματος (m)	2,4
Σταθερός χρόνος μεταξύ δύο διατρημάτων (min)	5
Ισχύς (HP)	77,8
Κόστος κτήσης (€/μηχάνημα) (θεώρηση)	250000
Κατανάλωση (lt/HP/hr) (θεώρηση)	0,2

Η επιφάνεια Α που πρέπει να υποστηρίζεται σε ωριαία βάση είναι: $A = \frac{Q_2}{\text{μέσο ύψος στοάς}} = \frac{17,4 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}}{4 \text{m}} = 4,35 \text{m}^2/\text{hr}$. Για μια τυπική επιφάνεια με πλάτος στοάς $4 \times 2,4 (= \text{μέσο μήκος διατρήματος}) = 9,6 \text{m}^2$ χρειάζονται περίπου 10 διατρήματα (1 διάτρημα/ m^2). Έτσι, προκύπτει ότι ο χρόνος διάτρησης της επιφάνειας είναι $10 \times 5 \text{min} + 10 \text{min} (\text{λόγω ρυθμού διάτρησης}) = 60 \text{min}$.

Η απόδοση είναι $0,85 * \frac{9,6\text{m}^2}{60\text{min} * \frac{1\text{hr}}{60\text{min}}} = 8,16\text{m}^2/\text{hr}$.

Ο αριθμός διατρητικών για ανιόντα διατρήματα $= \frac{4,35}{8,16} = 0,7$. Επομένως, χρειάζεται 1 διατρητικό Boltec S για την υποστήριξη οροφής.

Για τις ανάγκες της φόρτωσης και μεταφοράς του υλικού, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι φορτωτές και φορτηγά υπογείων. Ο όγκος του υλικού που εκτιμήθηκε ότι απομακρύνεται συνολικά κατά τη διάρκεια των εργασιών προετοιμασίας της πρώτης φάσης, με την χρήση του Autocad Civil 3D, ισούται με 1325180 m^3 . Στην τιμή αυτή συμπεριλαμβάνονται: κύριο κεκλιμένο, ράμπες, δευτερεύοντα κεκλιμένα, κύριες στοές μεταφοράς, διευθυντικές στοές υποσκαφής, λούκια, στοές που οδηγούν στα λούκια, στοές περιχάραξης).

Συνεπώς, για τις ανάγκες φόρτωσης και μεταφοράς, η επιθυμητή παραγωγή Q είναι:

$$Q = \frac{M}{\text{νεργ}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right) = \frac{\frac{1325180 \text{ m}^3}{10 \text{ years}} * \frac{1 \text{ year}}{250 \text{ days}} * \frac{1 \text{ day}}{16 \text{ hr}}}{0,9} * 1,3 = 48 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \quad \text{ή} \quad Q \left(\frac{\text{tn}}{\text{m}^3} \right) = 48 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} * 2,64 \frac{\text{tn}}{\text{m}^3} = 127 \frac{\text{tn}}{\text{h}}$$

Για τις ανάγκες της φόρτωσης του υλικού χρειάζεται πρώτα να υπολογιστούν μεγέθη όπως, ο όγκος και το φορτίο του υλικού σε πλήρη φόρτωση, ώστε να βρεθεί η ωριαία απόδοση του φορτωτή και εκτιμηθεί τελικώς ο αριθμός των φορτωτών που είναι απαραίτητοι.

Πίνακας 4.5: Χαρακτηριστικά φορτωτή (epiroc.com)

Φορτωτής	Sandvik LH410	
Ωφέλιμο φορτίο κουβά (tn)	M_{ϕ}	10
Όγκος κάδου m^3	V_{ϕ}	4
Συντελεστής πλήρωσης (θεώρηση)	Φ_{ϕ}	1,02
Χρόνος κύκλου φόρτωσης (min)	t_{ϕ}	1
Ισχύς (HP)		320
Κόστος κτήσης (€/μηχάνημα) (θεώρηση)		300000
Κατανάλωση (lt/HP/hr) (θεώρηση)		0,2

Αρχικά, πραγματοποιείται ο έλεγχος του φορτίου του μέγιστου όγκου του υλικού που μπορεί να καταλαμβάνει ο κουβάς, μήπως υπερβαίνει το ωφέλιμο φορτίο του.

$$\text{Όγκος υλικού σε πλήρη φόρτωση } V_{\text{ολ}} (\text{m}^3) = V_{\phi} * \Phi_{\phi} = 4,1 \text{ m}^3$$

Φορτίο σε πλήρη φόρτωση (tn) = $V_{υλ} * \frac{\gamma}{\varepsilon} = 8,33 \text{ tn} < M_{\phi}$. Αυτό σημαίνει ότι, ο κουβάς του φορτωτή μπορεί να σηκώνει τον απαιτούμενο όγκο, με ποσοστό πλήρωσης κουβά: $\Pi \% = \frac{V_{υλ}}{V_{κουβά}} = 102\%$

Η πραγματική ωριαία παραγωγή του φορτωτή είναι: $Q_{\phi} (m^3/hr) = n_{μηχ} * \frac{V_{υλ}}{t_{\phi}/60} = 210 m^3/hr$.

Τέλος, ο αριθμός φορτωτών είναι $z = \frac{Q}{Q_{\phi}} = \frac{48}{210} = 0,23$. Άρα 1 φορτωτής Sandvik LH410.

Για τις ανάγκες της μεταφοράς λαμβάνονται υπόψη μια σειρά από παράγοντες, όπως ο όγκος και το ωφέλιμο φορτίο του κουβά, οι ταχύτητες κίνησης των φορτηγού, ο συνολικός χρόνος κίνησης και τα δρομολόγια αυτού.

Πίνακας 4.6: Χαρακτηριστικά αυτοκινήτου-φορτηγού (epiroc.com)

Αυτοκίνητο φορτηγό	SANDVIK TH430	
Μέγιστο ωφέλιμο φορτίο (tn)	B _o	30
Απόβαρο (tn)	B _a	28,27
Όγκος καρότσας (m ³)	V _a	18
Συντελεστής πλήρωσης (θεώρηση)	Φ _a	1
Σταθεροί χρόνοι ελιγμών (χωρίς φόρτωση) (min)	t _{σταθ}	1,5
Όριο ταχύτητας (km/hr)	U _R	36
Ονομαστική ισχύς (HP)	N _a	416
Κόστος κτήσης (€/μηχάνημα) (θεώρηση)		400000
Κατανάλωση (lt/HP/hr) (θεώρηση)		0,2

Αρχικά εκτιμάται ο αριθμός φορτώσεων ξ με βάση τον όγκο καρότσας:

$$\xi = \frac{\text{Όγκος καρότσας (V}_a\text{)}}{\text{Όγκος υλικού σε πλήρη φόρτωση (V}_{υλ}\text{)}} = 4,4 \text{ Άρα } 4.$$

Έπειτα, υπολογίζεται το φορτίο του υλικού στο φορτηγό: $B_{υλ} = \xi * \text{φορτίο σε πλήρη φόρτωση} = 33,32 < B_o$. Άρα, $\xi = \frac{B_o}{M_{\phi}} = \frac{30}{10} = 3 \text{ φορτώσεις}$.

Ο όγκος του υλικού στο φορτηγό των υπογείων είναι: $\xi * V_{υλ} = 12,3 m^3$. Το βάρος του υλικού στο φορτηγό $B_{υλ} = \xi * M_{\phi} = 30 \text{ tn}$.

Πίνακας 4.7: Πίνακας θεωρήσεων δρομολογίου των εργασιών προετοιμασίας

Μήκος δρομολογίου L (m)	L	≈ 2500
Αντίσταση κύλισης (Kp/Mp) (Θεώρηση)	W_r	50
Μέση κλίση δρόμου (%)	S	15
Αντίσταση κλίσης $w_s=1000S$ (Kp/Mp)	W_s	150
Συντελεστής ταχύτητας φορτωμένο	n_{al}	0,75
Συντελεστής ταχύτητας άδειο	n_{ae}	1

Αρχικά, υπολογίζεται η μέγιστη ταχύτητα κίνησης φορτηγού (U_{max}) και η ταχύτητα κίνησης φορτωμένου φορτηγού ($U_{φορτ}$) ως εξής:

$$U_{max} = \frac{270 \cdot n_{κιν} \cdot Na}{Bo \cdot (Wr + Ws)} \quad U_{φορτ} = n_{al} \frac{270 \cdot n_{κιν} \cdot Na}{(Bo + Buλ) \cdot (Wr + Ws)}$$

Η ταχύτητα κίνησης άδειου φορτηγού είναι ίση με την μέγιστη ταχύτητα κίνησης του φορτηγού. Η U_{max} ισούται με 15 km/hr, ενώ η $U_{φορτ}$ με 5,6 km/hr.

Στην συνέχεια, προσδιορίζεται ο συνολικός χρόνος δρομολογίου που προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους χρόνων για τις διάφορες θέσεις εργασίας. Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 4.8.

Πίνακας 4.8: Χρόνοι στις διάφορες θέσεις εργασίας των προπαρασκευαστικών έργων

Θέσεις εργασίας	Σχέση	Αποτελέσματα (hr)
Χρόνος μετακίνησης φορτωμένου φορτηγού	$\frac{L}{U_{φορτ}}$	0,45
Χρόνος μετακίνησης άδειου φορτηγού	$\frac{L}{U_{max}}$	0,167
Χρόνος φόρτωσης	$t_{φ} \cdot \xi$	0,05
Χρόνος σταθερών ελιγμών	$t_{σταθ}$	0,025
Σύνολο	$t_{ολ}$	0,692

Η ωριαία παραγωγή φορτηγού υπογείων είναι: $Q_a = \frac{V_{υλ}}{t_{ολ}} = 17,8 \text{ m}^3/\text{hr}$.

Ο απαιτούμενος αριθμός φορτηγών υπογείων είναι: $Z_a = \frac{Q}{Q_a} = \frac{48}{17,8} = 2,7$. Επομένως, χρειάζονται 3 φορτηγά υπογείων SANDVIK TH430 για τα προπαρασκευαστικά έργα.

Ο λοιπός εξοπλισμός των εργασιών προετοιμασίας που απαιτείται είναι ξεσκαρωτές, ισοπεδωτές δρόμων, κοχλιώσεις οροφής, μεταλλικά πλέγματα ενίσχυσης της υποστήριξης, γεννήτριες, φωτισμός, αντλίες νερού, ανεμιστήρες, τα έξοδα των οποίων ανέρχονται περίπου σε 2.500.000 €.

Οι εργασίες προετοιμασίας της δεύτερης φάσης, διαμορφώνονται, όπως αυτά της πρώτης. Όμως, η έναρξη τους, θα ξεκινήσει 10 χρόνια πριν από την λήξη της λειτουργίας της πρώτης φάσης εκμετάλλευσης. Αυτό προτείνεται για τον λόγο ότι, όταν τελειώσει η πρώτη φάση, να ξεκινήσει κατευθείαν η δεύτερη.

4.3 Χρονοδρομολόγηση έργων παραγωγής

Οι εργασίες παραγωγής περιλαμβάνουν την διάνοιξη των διευθυντικών στοών του επιπέδου υποσκαφής με περιμετρική διάτρηση, την συλλογή και την μεταφορά του κατακερματισμένου υλικού.

Η μέθοδος της κατακρήμνισης πατώματος συνιστάται για μεγάλες παραγωγές. Ο όγκος μπλοκ του κοιτάσματος της πρώτης φάσης της εκμετάλλευσης ισούται με 43500000m³ (Autocad Civil 3D) και η επιθυμητή ημερήσια παραγωγή είναι 20000t/day. Συνεπώς, τα χρόνια ζωής της πρώτης φάσης εκμετάλλευσης είναι:
$$\frac{43500000\text{m}^3 \cdot 2,64\text{tn/m}^3}{20000\frac{\text{tn}}{\text{day}} \cdot \frac{360\text{days}}{\text{year}}} = 16 \text{ χρόνια.}$$

Πίνακας 4.9: Πίνακας γενικών θεωρήσεων για τα έργα παραγωγής

Χρόνος ζωής 1 ^{ης} φάσης εκμετάλλευσης (years)	-	16
Εργάσιμες μέρες/χρόνο (days/year)	-	360
Εργάσιμες ώρες/μέρα (hr/day)	-	16
Βάρδιες/μέρα (shifts/day)	-	2
Επιθυμητή παραγωγή (t/day)	M	20000
Απόδοση εργοταξίου	n _{εργ}	0,9
Απόδοση μηχανήματος	n _{μηχ}	0,85
Απόδοση κινητήρα	n _{κιν}	0,8
Συντελεστής επιπλήσματος	ε	1,3
Ειδικό βάρος (tn/m ³)	γ	2,64

Η περιμετρική διάτρηση των στοών υποσκαφής λαμβάνει χώρα μόνο στο κατώτερο τμήμα του μπλοκ, προκειμένου να αφαιρεθεί η στήριξη της στήλης, να αρχίσει η κατάρρευση της και να ξεκινήσει η παραγωγική διαδικασία. Η παραγωγή όπως προαναφέρθηκε μετατοπίζεται

σταδιακά. Δηλαδή, για να προχωρήσει το διατρητικό στην επόμενη θέση πρέπει το μπλοκ της προηγούμενης να είναι στα όρια της εξάλειψής του. Για τον λόγο αυτό, η απαιτήσεις του διατρητικού για τα άνωθεν ακτινικά διατρήματα στην μέθοδο της κατακρήμνισης πατώματος είναι περιορισμένες. Ένα διατρητικό για τα άνωθεν ακτινικά διατρήματα είναι αρκετό για να καλύψει τις ανάγκες της περιμετρικής διάτρησης. Προτείνεται, λοιπόν το Epiroc SIMBA S7 (Σχήμα 4.2) του οποίου τα χαρακτηριστικά δίνονται στον πίνακα 4.10:

Πίνακας 4.10: Χαρακτηριστικά μηχανήματος για τα άνωθεν ακτινικά διατρήματα (epiroc.com)

Μηχάνημα ανιόντων διατρημάτων Epiroc SIMBA S7	
Βραχίονες	1
Ρυθμός διάτρησης (m/min)	1
Μέσο μήκος διατρήματος (m)	10
Ισχύς (HP) (θεώρηση)	160
Κατανάλωση (lt/HP/hr) (θεώρηση)	0,2
Κόστος κτήσης (€/μηχάνημα) (θεώρηση)	500000



Σχήμα 4.2: Διατρητικό Epiroc SIMBA S7 για άνωθεν ακτινικά διατρήματα

Για τις ανάγκες φόρτωσης και μεταφοράς, χρησιμοποιούνται φορτωτές Sandvik LH410 και φορηγά υπογείων Sandvik TH545i.

Η επιθυμητή ωριαία παραγωγή $Q(\text{m}^3/\text{hr})$ είναι: $\frac{20000 \frac{\text{tn}}{\text{day}} \frac{\text{day}}{16 \text{ hr}}}{0,9 * 2,64 \frac{\text{tn}}{\text{m}^3}} * 1,3 = 684 \text{ m}^3/\text{hr}$

Σύμφωνα με την προηγούμενη παράγραφο 4.2, η απόδοση του φορτωτή είναι $210 \text{ m}^3/\text{hr}$. Άρα, ο αριθμός που απαιτείται για την επίτευξη της ημερήσιας απόδοσης είναι $\frac{684}{210} = 3,26$. Άρα 3 φορτωτές Sandvik LH410 και 1 στο επίπεδο μεταφοράς.

Η μεταφορά του κατακερματισμένου υλικού πραγματοποιείται από φορηγά υπογείων μεγαλύτερης χωρητικότητας Sandvik TH545i, από αυτών των εργασιών προετοιμασίας, λόγω του αυξημένου ρυθμού παραγωγής που απαιτείται.

Πίνακας 4.11: Χαρακτηριστικά αυτοκινήτου-φορηγού έργων παραγωγής (epiroc.com)

Αυτοκίνητο φορηγό (Sandvik TH545i)	Φορηγό υπογείων	
Μέγιστο ωφέλιμο φορτίο (tn)	B_o	45
Απόβαρο (tn)	B_a	36
Όγκος καρότσας (m^3)	V_a	26
Συντελεστής πλήρωσης (θεώρηση)	Φ_a	1
Σταθεροί χρόνοι ελιγμών (χωρίς φόρτωση) (min)	$t_{\text{σταθ}}$	5min
Όριο ταχύτητας (km/hr)	U_R	31
Ονομαστική ισχύς (HP)	N_a	603
Κόστος κτήσης (€/μηχάνημα) (θεώρηση)		500000
Κατανάλωση (lt/HP/hr) (θεώρηση)		0,2

Ο αριθμός φορτώσεων ξ με βάση το φορτίο κάροτσας: $\xi = \frac{\text{Όγκος καρότσας } (V_a)}{\text{Όγκος υλικού σε πλήρη φόρτωση } (V_{\text{υλ}})} = \frac{B_o}{M_{\phi}} = 4,5$ φορτώσεις. Οπότε ο όγκος του υλικού στην καρότσα είναι $4,5 * 4,1 = 18,45 \text{ m}^3$. $B_{\text{υλ}} = \xi * M_{\phi} = 40 \text{ tn}$.

Πίνακας 4.12: Πίνακας θεωρήσεων δρομολογίου έργων παραγωγής

Μήκος δρομολογίου L (m)	L	500
Αντίσταση κύλισης (Kp/Mp) (θεώρηση)	W _r	50
Μέση κλίση δρόμου (%)	S	0
Αντίσταση κλίσης w _s =1000S (Kp/Mp)	W _s	0
Συντελεστής ταχύτητας φορτωμένο	n _{al}	0,75
Συντελεστής ταχύτητας άδειο	n _{ae}	1

Το φορτίο του υλικού είναι 40tn στην καρότσα. Αρχικά, υπολογίζεται η μέγιστη ταχύτητα κίνησης φορτηγού (U_{max}) και η ταχύτητα κίνησης φορτωμένου φορτηγού (U_{φορτ}) ως εξής:

$$U_{\max} = \frac{270 \cdot n_{\text{κιν}} \cdot N_a}{B_o \cdot (W_r + W_s)} \quad U_{\text{φορτ}} = n_{al} \frac{270 \cdot n_{\text{κιν}} \cdot N_a}{(B_o + B_{υλ}) \cdot (W_r + W_s)}$$

Η U_{max} ισούται με 40km/hr > UR, οπότε U_{max}=31km/hr, ενώ η U_{φορτ} με 21 km/hr.

Στην συνέχεια, προσδιορίζεται ο συνολικός χρόνος δρομολογίου των εργασιών παραγωγής.

Πίνακας 4.13: Χρόνοι στις διάφορες θέσεις εργασίας των εργασιών παραγωγής

Θέσεις εργασίας	Σχέση	Αποτελέσματα (hr)
Χρόνος μετακίνησης φορτωμένου φορτηγού	$\frac{L}{U_{\text{φορτ}}}$	0,024
Χρόνος μετακίνησης άδειου φορτηγού	$\frac{L}{U_{\max}}$	0,016
Χρόνος φόρτωσης	t _φ * ξ	0,075
Χρόνος σταθερών ελιγμών	t _{σταθ}	0,08
Σύνολο	t _{ολ}	0,195

Η ωριαία παραγωγή φορτηγού υπογείων είναι: $Q_a = \frac{V_{υλ}}{t_{ολ}} = 94,6 \text{ m}^3/\text{hr}$.

Ο απαιτούμενος αριθμός φορτηγών υπογείων είναι: $Z_a = \frac{Q}{Q_a} = \frac{684}{75} = 7,2$. Επομένως, χρειάζονται 8 φορτηγά υπογείων Sandvik TH545i (Σχήμα 4.3).

Όταν ολοκληρωθεί η πρώτη φάση της εκμετάλλευσης ο εξοπλισμός των έργων παραγωγής θα χρησιμοποιηθεί για την δεύτερη φάση της εκμετάλλευσης.



Σχήμα 4.3: Φορηγό υπογείων Sandvik TH545i

Η μεταφορά του μεταλλεύματος από το επίπεδο μεταφοράς στο επίπεδο της επιφάνειας πραγματοποιείται μέσω του φρέατος. Επειδή η μέθοδος έχει σχεδιαστεί για υψηλή παραγωγή (20000tn/day) προτείνεται η ανέλκυση να γίνεται με δυο κάδους που να διαθέτουν επιπλέον δάπεδα μεταφοράς του προσωπικού. Συνιστάται το σύστημα ανέλκυσης να διαθέτει δύο τύμπανα, που να ενώνονται με έναν συμπλέκτη, έτσι ώστε σε περίπτωση βλάβης του ενός τμήματος, το δεύτερο να μπορεί να συνεχίσει την λειτουργία του. Αυτός ο τύπος ανέλκυσης είναι ευρέως διαδεδομένος σε μεταλλεία (Ramlu, 1996).

$$\text{Η επιθυμητή παραγωγή ανέλκυσης είναι } Q \text{ (tn/hr)} = 684 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} * 2,64 \frac{\text{tn}}{\text{m}^3} = 1806 \frac{\text{tn}}{\text{hr}}$$

$$\text{Η παραγωγή του ανελκυστήρα δίνεται από την σχέση (Ramlu, 1996): } Q = \frac{360W}{\frac{H}{V_{\max}} + \frac{V_{\max}}{2} \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3} \right) + T}$$

όπου,

W= Βάρος ανέλκυσης (t)

H= απόσταση ανέλκυσης (m)

V_{\max} = μέγιστη ταχύτητα σχοινιού (m/sec)

a_1 =επιτάχυνση (m/sec²)

a_3 =επιβράδυνση (m/sec²)

T= χρόνος φόρτωσης (sec)

Λύνοντας την παραπάνω σχέση του Ramlu ως προς W, εκτιμάται το βάρος ανέλκυσης για την πρώτη φάση της εκμετάλλευσης, σύμφωνα με τον τύπο:

$$W = \frac{(\frac{H}{V_{\max}} + \frac{V_{\max}}{2} (\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_3}) + T) Q}{360}$$

Το ύψος H της πρώτης φάσης είναι 570m και ο χρόνος φόρτωσης θεωρείται 2minutes=120s

Για τα φρέατα μεγάλου βάθους, έχει παρατηρηθεί ότι η μέγιστη ταχύτητα είναι 15,2 m/sec, ενώ η επιτάχυνση και επιβράδυνση δεν υπερβαίνουν τα 1,2m/sec², λόγω της μετακίνησης τεράστιων μαζών (Ramlu, 1996).

Με βάση τα παραπάνω το φορτίο ανέλκυσης της 1^{ης} φάσης εκτιμάται W= 854tn.

4.4 Κοστολόγηση έργου

Η κοστολόγηση του έργου χωρίζεται σε δύο στάδια για την πρώτη φάση της υπόγειας εκμετάλλευσης. Αρχικά, εκτιμάται το κόστος των έργων προετοιμασίας και έπειτα των έργων παραγωγής.

Γενικά, το κόστος για κάθε στάδιο είναι το άθροισμα των επιμέρους τιμών κόστους των μηχανημάτων που έχουν επιλεγεί για τις διάφορες εργασίες. Έτσι, συνυπολογίζονται:

- Λειτουργία, $OC = N * U * HP * CU$,
- Λιπαντικά $LC = 0,25 OC$
- Συντήρηση $M = N * C * MC$
- Απόσβεση $D = \frac{C(1+i)^{years} * i}{(1+i)^{years} - 1}$

όπου ισχύουν τα εξής:

HP= Ιπποδύναμη

N= Αριθμός μηχανημάτων

U= Κατανάλωση lt/hp/hr (Θεωρείται U=0,2 για όλα τα μηχανήματα)

CU=συντελεστής χρήσης (hr/year)

MC=συντελεστής συντήρησης μηχανήματος (Θεωρείται 0,08 διότι πρόκειται για καινούργιος ο εξοπλισμός)

C=αρχικό κόστος αγοράς

i=επιτόκιο (Θεωρείται i=0,03)

Το κόστος κτήσης (CC (\$)) του φρέατος και το κόστος λειτουργίας (OP (\$/m)) εκτιμώνται με βάση τους παρακάτω εμπειρικούς τύπους που ανέπτυξε ο Sayadi (2010):

$$CC = 0,458 PR + 155,323 DD + 135,279V + 25,58SL + 212,62HP - 668,973$$

$$OP = 0,000042 PR + 14,3 DD + 12,49V + 0,0024SL + 0,019HP - 78,8$$

όπου, PR= παραγωγή σε kg/hr, DD= διάμετρος τυμπάνου (m), V= ταχύτητα (m/s), SL= φορτίο σε kg, HP= ιπποδύναμη σε hp.

Μία τυπική τιμή για την διάμετρο του τυμπάνου είναι 6m, ενώ για ιπποδύναμη 2000hp (Ramlu, 1996).

Με βάση τα παραπάνω το κόστος κτήσης εκτιμάται $CC = 23.100.027 \$ \approx 21.000.000\text{€}$, ενώ το κόστος λειτουργίας $OP = 2360 \$/m = 25714 \text{ €/year}$.

Από τα παραπάνω προκύπτουν οι συγκεντρωτικοί πίνακες κόστους των εργασιών προετοιμασίας (Πίνακας 4.14) και των έργων παραγωγής (Πίνακας 4.15).

Πίνακας 4.14: Κόστος βασικού εξοπλισμού εργασιών προετοιμασίας

Εξοπλισμός	Κόστος κτήσης (€/μηχάνημα)	Πλήθος μηχανημάτων N	Ισχύς (HP)	Κατανάλωση (€/HP/h)	Συντελεστής χρήσης CU(h/year)	Απόσβεση μηχανήματος D (€/έτος)	Κόστος καυσίμων μηχανήματος OC (€/έτος)	Κόστος λιπαντικών μηχανήματος LC (€/έτος)	Κόστος συντήρησης μηχανήματος M (€/έτος)	Σύνολο (€/έτος)
Διατρητικό Jumbo Epiroc Boomer E	400.000	1	160	0,2	2000	46892,2	64000	16000	32000	158892
Μηχάνημα ανόντων διατρημάτων (Boltac S)	250.000	1	77,8	0,2	1875	29307,6	29175	7293,75	20000	85776
φορτωτής Sandvik LH410	300.000	1	320	0,2	3200	35169,2	204800	51200	24000	315169
Φορτηγό Sandvik TH430	400.000	3	416	0,2	9600	140676,6	2396160	599040	96000	3231877
Συνολικά έξοδα εργασιών προετοιμασίας (€/έτος)										3791714

Στα κόστη των εργασιών συμπεριλαμβάνεται το αρχικό κόστος CC του φρέατος (21000000€). Στα συνολικά έξοδα των εργασιών προετοιμασίας θα πρέπει να συνυπολογιστεί ο λοιπός εξοπλισμός (ξεσκαρωτής, ισοπεδωτής δρόμων, κοχλιώσεις οροφής, μεταλλικά πλέγματα ενίσχυσης της υποστήριξης, γεννήτριες, φωτισμός, αντλίες νερού, ανεμιστήρες), η κατασκευή των λουκιών, το κόστος των ΕΥ και οι μισθοί του εργατικού δυναμικού.

Πίνακας 4.15: Κόστος έργων παραγωγής

Εξοπλισμός	Κόστος κτήσης (€/μηχάνημα)	Πλήθος μηχανημάτων N	Ισχύς (HP)	Κατανάλωση (€/HP/h)	Συντελεστής χρήσης CU(h/year)	Απόσβεση μηχανήματος D (€/έτος)	Κόστος καυσίμων μηχανήματος OC (€/έτος)	Κόστος λιπαντικών μηχανήματος LC (€/έτος)	Κόστος συντήρησης μηχανήματος M (€/έτος)	Σύνολο (€/έτος)
Μηχάνημα ανιόντων ακτινικών διατηρημάτων Epiroc (Simba S7)	500.000	1	160	0,2	2304	39805,4	73728	18432	40000	171965
φορτωτής Sandvik LH410	300.000	4	320	0,2	18432	95533,0	4718592	1179648	96000	6089773
Φορτηγό Sandvik TH545i	500.000	8	603	0,2	36864	318443,4	35566387,2	8891596,8	320000	45096427
					Συνολικά έξοδα παραγωγής (€/έτος)					51358166

Στα έξοδα παραγωγής συμπεριλαμβάνεται επιπλέον το κόστος λειτουργίας του φρέατος OP, το οποίο ανέρχεται σε 25714 €/year.

Το κόστος παραγωγής προκύπτει 7,14 €/tn μεταλλεύματος με βάση τους υπολογισμούς της πρώτης φάσης της εκμετάλλευσης.

Για την εύρεση του στεγνού κόστους (dry cost), χρειάζεται να συνυπολογιστούν οι ΕΥ στη βάση του επιπέδου υποσκαφής, καθώς και οι μισθοί του εργατικού δυναμικού.

4.5 Εκτίμηση χρόνων ζωής μεταλλείου

Ο συνολικός όγκος της στήλης που πρόκειται να εκμεταλλευτεί συμπεριλαμβανομένων των 2 φάσεων εκμετάλλευσης με την μέθοδο της κατακρήμνισης πατώματος είναι 82756516m^3 ή 2184777202 tn μεταλλεύματος. Η ετήσια επιθυμητή παραγωγή είναι 7200000tn/year ($=20000\frac{\text{tn}}{\text{day}} * 360\frac{\text{Εργάσιμες μέρες}}{\text{year}}$). Συνεπώς, τα χρόνια ζωής του μεταλλείου ανέρχονται σε 30 έτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η υπόγεια εκμετάλλευση πορφυριτικού κοιτάσματος με την μέθοδο της κατακρήμνισης πατώματος. Η μέθοδος εφαρμόζεται για την εκμετάλλευση του πορφυριτικού κοιτάσματος των Σκουριών Χαλκιδικής.

Σύμφωνα με τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει το κοίτασμα των Σκουριών, κρίνεται ικανό για την εφαρμογή της υπόγειας μεθόδου εκμετάλλευσης της κατακρήμνισης πατώματος.

Η μέθοδος αυτή, απαιτεί μεγάλο χρονικό διάστημα και κεφαλαιουχικό κόστος για την προετοιμασία των έργων προσπέλασης και προπαρασκευής. Αφότου, το κοίτασμα εξαπλώνεται μέχρι το επίπεδο της επιφάνειας, προτείνεται η εκμετάλλευση του κοιτάσματος να είναι ένας συνδυασμός επιφανειακής και υπόγειας εκμετάλλευσης, ώστε να υπάρχουν διαθέσιμες χρηματικές ροές. Λαμβάνοντας υπόψη μελέτες για την επιφανειακή εκμετάλλευση του πορφύρη των Σκουριών και την επιθυμητή παραγωγή αυτής, από την τεχνική έκθεση της εταιρίας που κατέχει την δικαιοδοσία του κοιτάσματος, η επιφανειακή εκμετάλλευση θα έχει βάθος 230μέτρων (μέχρι το υψόμετρο των +410m) και τα χρόνια ζωής της ανέρχονται στα 10. Η υπόγεια εκμετάλλευση πραγματοποιείται σε δυο φάσεις. Τα έργα της πρώτης φάσης φτάνουν μέχρι το υψόμετρο των +70m, με ύψος μπλοκ 277m και της δεύτερης μέχρι το -180m, με ύψος μπλοκ 250m.

Συνιστάται κατά την διάρκεια της επιφανειακής εκμετάλλευσης να ξεκινήσουν οι εργασίες προετοιμασίας της πρώτης φάσης υπόγειας εκμετάλλευσης, προκειμένου, μόλις διεκπεραιωθεί η επιφανειακή εκμετάλλευση, να ξεκινήσει η υπόγεια. Επιπρόσθετα, για τον ίδιο λόγο, προτείνεται τα έργα προπαρασκευής της δεύτερης φάσης της υπόγειας εκμετάλλευσης, να ξεκινήσουν 10 χρόνια πριν την λήξη της πρώτης. Ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί στις δυο φάσεις της εκμετάλλευσης είναι κοινός.

Κάθε φάση της εκμετάλλευσης σχεδιάζεται στα όρια του κοιτάσματος με τρόπο που να διασφαλίζεται η ασφάλεια των εργαζομένων και η συνολική λειτουργικότητα της μεθόδου.

Η μέθοδος της κατακρήμνισης πατώματος προτείνεται για αυξημένους ρυθμούς παραγωγής. Για την εφαρμογή της μεθόδου επιλέγεται η ημερήσια επιθυμητή παραγωγή να είναι 20000t/day. Με βάση τα μεταλλευτικά αποθέματα και την επιθυμητή παραγωγή, τα χρόνια ζωής του μεταλλείου (υπόγεια εκμετάλλευση) ανέρχονται στα 30. Σύμφωνα με την ημερήσια απαιτούμενη παραγωγή επιλέγεται ο βασικός εξοπλισμός των εργασιών προετοιμασίας (έργα προσπέλασης και προπαρασκευής) και των εργασιών παραγωγής.

Κλείνοντας, η επιτυχία της μεθόδου εκμετάλλευσης της κατακρήμνισης πατώματος διέπεται από αυστηρές απαιτήσεις και περιορισμούς. Ο καλός σχεδιασμός, οι συστηματικές διαδικασίες εργασίας, η προσεκτική εποπτεία και η καλή κρίση συμβάλλουν στην επιτυχία αυτής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alexander R., Juras S., Skayman P., Keogh C., Nilsson J., *Skouries Project Greece*, Technical Report, 2018.

Brown E. T. & Brady B. H. G. *Rock Mechanics for underground mining*, 3rd edition, Springer Science & Business Media, Inc., 2005.

Brown E.T. *Block Caving Geomechanics*. JKMRC Monograph Series in Mining and Mineral Processing 3. Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre, The University of Queensland, 2002.

Credit Suisse, *Block caving with Rio and NCM*, Equity Research: Metals & Mining OVERWEIGHT, Asia Pacific/Australia, 2012.

Eberhardt Erik, Stead Doug, Morrison Tom. *Rock Mechanics*. Meeting Society's Challenges and Demands, Taylor & Francis Group, London, UK, 2007.

Elexon Mining, *Cave Tracker System*, Elexon Electronics, 2016.

Epiroc.2019. <www.epiroc.com>

Fernberg, H. *Mining Methods in Underground Mining*, 2nd edition, Atlas Copco, 2007.

Forward Patrick, Smith David J.F., Francis Antony. *Skouries Cu/Au Project, Greece*. Technical Report, 2011.

Gertsch Richard E. and Bullock Richard L. *Techniques in Underground Mining*. Selections from Underground Mining Methods Handbook, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 1998.

Harraz Hassan Z. *Underground Mining Methods*. Presentation Caving Methods, Alexandria, Egypt, 2014.

Laubscher D.H. *Cave mining-the state of the art*. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, 1994.

Ramlu M. A. *Mine Hoisting*. White Falcon Publishing, 1996.

ENVECO A.E. *Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταλλευτικών-μεταλλουργικών εγκαταστάσεων της εταιρίας Ελληνικός Χρυσός στη Χαλκιδική*. Κύρια μελέτη, Αθήνα, 2013.

Hellas Gold *Πρακτική Άσκηση & Θερινή απασχόληση φοιτητών στην ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ το έτος 2016*. Corporate Presentation, 2016.

Αγιουτάντης Ζαχαρίας Γ. *Στοιχεία Γεωμηχανικής: Μηχανική Πετρωμάτων*, Εκδόσεις «ΙΩΝ», 2010.

Εξαδάκτυλος Γ. Πανεπιστημιακές σημειώσεις μαθήματος «Σχεδιασμός Υπογείων Εκμεταλλεύσεων», Χανιά, 2015.

Μουντράκης Δημοσθένης Μ. *Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας*, University Studio Press A.E., Θεσσαλονίκη, 2010.

Μπενάρδος Α. *Μέθοδοι υπόγειας εκμετάλλευσης. Κατακρημνιζόμενα Μέτωπα*. Πανεπιστημιακή Παρουσίαση Ε.Μ.Π., 2009

Μπουζιάς Δ. *Μέθοδος υπόγειας εκμετάλλευσης υψηλής παραγωγικότητας κοιτάσματος χρυσού*. Διπλωματική εργασία. Χανιά, 2009.

Παυλίδης Σ., Τσάπανος Θ., Κόραβος Γ., Μιχαηλίδου Α., Χατζηπέτρος Α. *Ειδική σεισμοτεκτονική μελέτη των ρηγμάτων της ευρύτερης περιοχής των μεταλλείων Κασσάνδρας*. Πρόδρομη έκθεση, Θεσσαλονίκη 2010.

Περουλάκης Ι. *Σχεδιασμός εκμετάλλευσης κοιτάσματος χρυσού-χαλκού με συνδυασμό υπαίθριας και υπόγειας εκμετάλλευσης*. Διπλωματική εργασία, Χανιά, 2019.

Τζεφέρης Π. (Επιμέλεια) *Τα πορφυρικά κοιτάσματα χαλκού και το κοίτασμα των Σκουριών*, orykta.gr, 2015.