



Πολυτεχνείο Κρήτης  
Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων

**Διπλωματική Εργασία**

Σχεδιασμός Υπόγειας Εκμετάλλευσης Πορφυριτικού Κοιτάσματος στις Σκουριές  
Χαλκιδικής με τη Μέθοδο των Κενών Μετώπων με Λιθογόμωση

Δήμος Β. Βασιλειάδης

**Εξεταστική Επιτροπή**

Επιβλέπων: Γ. Ξηρουδάκης, (Επικ. Καθηγητής)

Μέλος: Μ. Γαλετάκης, Καθηγητής

Μέλος: Γ. Σαράτσης, ΕΔΙΠ

Χανιά, Ιούλιος 2022

Βεβαιώνω/ουμε ότι είμαι/είμαστε συγγραφέας/είς αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια που προσφέρθηκε στην εκπόνησή της αναγνωρίζεται και αναφέρεται στο κείμενο. Επιπλέον, αναφέρονται όλες οι βιβλιογραφικές πηγές που αξιοποιήθηκαν, πρωτογενείς και δευτερογενείς, είτε η συμβολή τους παρατίθεται επακριβώς ως απόσπασμα είτε ως παράφραση.

## Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία αποτελεί τη διπλωματική εργασία στα πλαίσια περάτωσης των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνηση της.

Ιδιαίτερα επιθυμώ να ευχαριστήσω τον καθηγητή και επιβλέποντα μου στην παρούσα διπλωματική εργασία, κ. Γεώργιο Ξηρουδάκη και το μέλος της εξεταστικής επιτροπής Δρ. Γεώργιο Σαράτση, για την συμβουλευτική και επιστημονική καθοδήγηση που μου πρόσφεραν σε όλα τα στάδια κατά την εκπόνηση της εργασίας με τις εποικοδομητικές και χρήσιμες παρατηρήσεις τους.

Οφείλω επίσης να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Μιχαήλ Γαλετάκη, για την επιστημονική του καθοδήγηση, τις γνώσεις που μου μετέφερε αλλά και την πολύτιμη συμβολή του στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, ως μέλος της τριμελούς επιτροπής.

Τέλος, θα ήθελα από τα βάθη της καρδιάς μου να ευχαριστήσω, τους γονείς μου Βασίλη και Αθηνά αλλά και τον αδερφό μου Αλέξανδρο, για την ανεκτίμητη αγάπη, στήριξη και κατανόηση που μου έδειξαν, τόσο στη παρούσα εργασία, όσο και κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

## Περίληψη

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η εκμετάλλευση κοιτάσματος χρυσού – χαλκού στις Σκουριές Χαλκιδικής. Το κοίτασμα εμφανίζεται με μια σχεδόν κυλινδρική μορφή κατά τον κατακόρυφο άξονα, ενώ παράλληλα έχει διάμετρο περίπου 300m. Η έκταση του κοιτάσματος ξεκινά από τα +650m απόλυτο υψόμετρο και καταλήγει στα -100m.

Αρχικά γίνεται αναφορά για το γεωλογικό και κοιτασματολογικό υπόβαθρο της περιοχής όπως και η διαδικασία της απεικόνισης του κοιτάσματος με τη χρήση του προγράμματος Civil 3D, ενώ στη συνέχεια επιλέγεται μέθοδος υπόγειας εκμετάλλευσης. Συγκεκριμένα επιλέγεται η μέθοδος κενών μετώπων με λιθογόμωση, για το τμήμα του κοιτάσματος μεταξύ +150m και +350m (απόλυτο υψόμετρο). Στην εργασία αυτή γίνεται αναλυτική παρουσίαση του σχεδιασμού της υπόγειας εκμετάλλευσης, αναλύεται η διαδικασία διάτρησης, περιγράφεται η αλληλουχία των απαραίτητων εκρήξεων, γίνεται μελέτη για την κατάλληλη υποστήριξη της εκσκαφής και επιπρόσθετα προτείνεται κατάλληλος τρόπος λιθογόμωσης. Επιπλέον γίνεται σχεδιασμός έργων προσπέλασης περιμετρικά του κοιτάσματος για τη δημιουργία κυκλώματος αερισμού.

Τέλος, επιλέγεται ο απαιτούμενος εξοπλισμός για την διεκπεραίωση των έργων εξόρυξης, φόρτωσης, διάτρησης, υποστήριξης μαζί και υπολογίζονται οι απαιτούμενες δαπάνες.

### Λέξεις – Κλειδιά

Υπόγεια εκμετάλλευση, μέθοδος κενών μετώπων, λιθογόμωση, διάτρηση, έκρηξη, πορφυρικό κοίτασμα, εξόρυξη.

## **Abstract**

In the present diploma thesis, a study is made on the exploitation of the gold - copper deposit in Skouries, Halkidiki. The deposit appears almost cylindrical shape along the vertical axis, with a diameter of about 300m. The area of the deposit starts from +650m absolute altitude and ends at -100m.

Initially, the geological and mineralogical background of the area is described. Then the method of underground exploitation is selected. Specifically, the mining method chosen is Sublevel Open Stopping with backfill, for the part of the deposit between +150m and +350m (absolute altitude). In this study a detailed presentation of the design of the underground mining is made, the drilling process is analyzed, the sequence of the necessary explosions is described, a study is made for the appropriate soil support and in addition a suitable way of backfilling is proposed. In addition, access works are planned around the perimeter of the deposit to create a ventilation circuit.

Finally, all the necessary equipment for the projects (mining, loading, drilling and ground support) is given along with the expenses that will be needed.

## **Keywords**

Underground Mining, Sublevel open stopping, backfill, drilling, explosion, porphyry deposit, mining.

## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή .....	- 1 -
2. Γεωλογία της περιοχής .....	- 3 -
2.1. Πορφυριτικά κοιτάσματα.....	- 3 -
2.2. Γεωλογία και κοιτασματολογικό υπόβαθρο Σκουριών .....	- 4 -
2.3. Υπόγειες Εκμεταλλεύσεις.....	- 11 -
2.3.1 Κριτήρια επιλογής μεθόδου εκμετάλλευσης .....	- 12 -
2.3.2 Επιλογή υπόγειας μεθόδου εκμετάλλευσης.....	- 12 -
3. Ερευνητική μεθοδολογία .....	- 13 -
3.1 Μέθοδος Διαδοχικών Ορόφων με Κενά Μέτωπα (Sublevel open stoping) .....	- 13 -
3.2 Απαιτούμενα χαρακτηριστικά κοιτάσματος.....	- 14 -
3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου.....	- 14 -
3.4 Διαστασιολόγηση των μετώπων .....	- 15 -
3.5 Προϋποθέσεις για την κατάλληλη λειτουργία του υπογείου .....	- 15 -
3.6 Διάτρηση.....	- 16 -
3.7 Εκρηκτικά .....	- 17 -
3.8 Ακολουθία έκρηξης .....	- 18 -
3.9 Υποστήριξη εδάφους .....	- 18 -
3.10 Λιθογόμωση.....	- 20 -
3.10.1 Paste fill (Λιθογόμωση Πάστας).....	- 21 -
3.10.2 Χαρακτηριστικά Λιθογόμωσης Πάστας.....	- 22 -
3.10.3 Εργοστάσιο Λιθογόμωσης Πάστας.....	- 22 -
3.10.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα λιθογόμωσης με πάστα.....	- 23 -
4. Σχεδιασμός μεθόδου εκμετάλλευσης.....	- 25 -
4.1 Υπόγεια έργα και έργα προσπέλασης.....	- 28 -
4.2 Αποτελέσματα όγκων με τη μέθοδο εκμετάλλευσης.....	- 31 -

5. Υπολογισμός εξοπλισμού .....	- 33 -
5.1 Διατηρητικός εξοπλισμός.....	- 33 -
5.2 Εξοπλισμός φόρτωσης και μεταφοράς για τα έργα προσπέλασης ανατολικά του κοιτάσματος .....	- 37 -
5.3 Εξοπλισμός φόρτωσης και μεταφοράς για τα έργα προσπέλασης δυτικά του κοιτάσματος .....	- 42 -
5.4 Εξοπλισμός φόρτωσης και μεταφοράς για την παραγωγή.....	- 44 -
5.5 Κοστολόγηση εξοπλισμού και λοιπών έργων.....	- 47 -
5.6 Εκτίμηση του χρόνου ζωής της φάσης που μελετήθηκε.....	- 48 -
6. Συμπεράσματα-Προτάσεις .....	- 50 -
Βιβλιογραφία .....	- 52 -
Ελληνικές: .....	- 52 -
Ξενόγλωσσες: .....	- 52 -

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Σύστημα πορφύρη μεταξύ πλουτωνικού και ηφαιστειακού πετρώματος (Λούκος 2012) .....	- 4 -
Εικόνα 2 Οριζόντια τομή κοιτάσματος σε 0m απόλυτο υψόμετρο (Eldorado-Gold 2018) .....	- 5 -
Εικόνα 3 Οριζόντια τομή κοιτάσματος σε 200m απόλυτο υψόμετρο (Eldorado-Gold 2018) .....	- 5 -
Εικόνα 4 Οριζόντια τομή κοιτάσματος σε 400m απόλυτο υψόμετρο (Eldorado-Gold 2018) .....	- 6 -
Εικόνα 5 Οριζόντια τομή κοιτάσματος σε 600m απόλυτο υψόμετρο (Eldorado-Gold 2018) .....	- 6 -
Εικόνα 6 Πρόσοψη του κοιτάσματος .....	- 7 -
Εικόνα 7 Τρισδιάστατη απεικόνιση του κοιτάσματος .....	- 7 -
Εικόνα 8 Κατακόρυφη τομή κοιτάσματος με περιεκτικότητες σε χρυσό (Eldorado-Gold 2018) .....	- 8 -
Εικόνα 9 Γεωλογική τομή πορφύρη Σκουριών (Eldorado-Gold 2018) .....	- 9 -
Εικόνα 10 Τοποθεσία Μεταλλείου Σκουριών (Eldorado-Gold 2018) .....	- 10 -
Εικόνα 11 Απεικόνιση μεθόδου διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα (AtlasCorpor 2007) .....	- 13 -
Εικόνα 12 Διατρήματα υπό μορφή βεντάλιας (AtlasCorpor 2007) .....	- 16 -
Εικόνα 13 Κόκκοι ANFO (Wikipedia 2022) .....	- 18 -
Εικόνα 14 Είδη υποστήριξης (Σαράτσης 2022) .....	- 19 -
Εικόνα 15 Τύπος ενεματωμένου καλωδίου στήριξης (grouted cable bolt) (Hoek and Wood 1987) .....	- 19 -
Εικόνα 16 Πλέγμα στήριξης (Hoek and Wood 1987) .....	- 20 -
Εικόνα 18 Απεικόνιση διάταξης εργοστασίου λιθογόμωσης πάστας (Eldorado-Gold 2018) .....	- 23 -
Εικόνα 19 Απεικόνιση της ακολουθίας εξόρυξης κατά την πρώτη φάση της εκμετάλλευσης .....	- 25 -
Εικόνα 20 Λιθογόμωση κενών και ακολουθία εξόρυξης μετώπων κατά τη δεύτερη φάση της εκμετάλλευσης .....	- 25 -
Εικόνα 21 Λιθογόμωση όλων των μετώπων μετά την εξόφληση του κοιτάσματος .....	- 26 -



Εικόνα 22 Διάταξη διατρημάτων στο μέτωπο (Eldorado-Gold 2018) .....	- 26 -
Εικόνα 23 Διατρήματα υπό μορφή βεντάλιας (Eldorado-Gold 2018).....	- 27 -
Εικόνα 24 Φάσεις μεθόδου κενών μετώπων και λιθογόμωσης (Περουλάκης 2019) -	28
-	
Εικόνα 25 Συνολικά έργα προσπέλασης και εκμετάλλευσης υπογείων.....	- 29 -
Εικόνα 26 Τρισδιάστατη απεικόνιση έργων προσπέλασης και εκμετάλλευσης υπογείων μαζί με το τοπογραφικό ανάγλυφο .....	- 30 -
Εικόνα 27 Κάτοψη υπόγειων έργων .....	- 30 -
Εικόνα 28 Πλάγια όψη υπόγειων έργων.....	- 31 -
Εικόνα 29 Εξορυγμένος όγκος μετά από την εκμετάλλευση του πρώτου ορόφου κατά την πρώτη φάση.....	- 32 -
Εικόνα 30 Διατρητικό τύπου Epiroc BOOMER E (Epiroc 2022).....	- 34 -
Εικόνα 31 Ακολουθία διάτρησης μετώπου που προσαρμόστηκε σε τετραγωνικό προφίλ (Cardu, et al. 2021) .....	- 35 -
Εικόνα 33 Διατρητικό τύπου Sandvik DL431 (Sandvik 2022) .....	- 37 -
Εικόνα 34 Φορτωτής τύπου SANDVIK LH514 (Sandvik 2022) .....	- 38 -
Εικόνα 35 Φορτηγό τύπου TORO TH663i (Sandvik 2022) .....	- 40 -

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1. Μετρήσεις όγκων ανά όροφο εκμετάλλευσης. ....	- 31 -
Πίνακας 5.1. Γενικές θεωρήσεις εργοταξίου. ....	- 33 -
Πίνακας 5.2. Στοιχεία μηχανήματος Epiroc BOOMER E.....	- 34 -
Πίνακας 5.3. Στοιχεία μηχανήματος Boltec S. ....	- 36 -
Πίνακας 5.4. Στοιχεία μηχανήματος Sandvik DL431. ....	- 37 -
Πίνακας 5.5. Στοιχεία φορτωτή τύπου SANDVIK LH514. ....	- 38 -
Πίνακας 5.6. Στοιχεία φορτηγού τύπου TORO™ TH663i.....	- 39 -
Πίνακας 5.7. Θεωρήσεις για τα δρομολόγια των εργασιών προπαρασκευής.....	- 41 -
Πίνακας 5.8. Αποτελέσματα χρόνων για τις διάφορες θέσεις εργασίας κατά τα έργα προπαρασκευής.....	- 41 -
Πίνακας 5.9 Θεωρήσεις για τα δρομολόγια των εργασιών προπαρασκευής.....	- 43 -
Πίνακας 5.10. Αποτελέσματα χρόνων για τις διάφορες θέσεις εργασίας κατά τα έργα προπαρασκευής.....	- 44 -
Πίνακας 5.11. Γενικές θεωρήσεις κατά τη παραγωγή. ....	- 45 -
Πίνακας 5.12. Θεωρήσεις για τα δρομολόγια των εργασιών παραγωγής. ....	- 46 -
Πίνακας 5.13. Αποτελέσματα χρόνων για τις διάφορες θέσεις εργασίας κατά τα έργα παραγωγής. ....	- 46 -
Πίνακας 5.13. Δαπάνες εξοπλισμού και εργοστασίου λιθογόμωσης. ....	- 48 -

## 1. Εισαγωγή

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η υπόγεια εκμετάλλευση κοιτάσματος χρυσού – χαλκού στις Σκουριές Χαλκιδικής. Η μέθοδος η οποία εξετάζεται είναι των διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα και λιθογόμωση.

Τα κοιτάσματα χρυσού και χαλκού πορφυρικής φύσης συνδυάζονται με εισχωρήσεις διοριστικών έως γρανιτικών μαγμάτων μικρής περιεκτικότητας σε χαλκό, αλλά η εμφάνισή τους είναι σε μεγάλα αποθέματα (*Τσιραμπίδης 2005*). Επίσης συχνή είναι η σύνδεσή τους με όξινα-ενδιάμεσα πλουτώνια πετρώματα με πορφυριτικό ιστό με βασικό χαρακτηριστικό την έντονη εξαλλοίωση των γειτονικών πετρωμάτων όπου φιλοξενείται η μεταλλοφορία. Σημαντική ιδιότητα των κοιτασμάτων αυτών είναι ότι περιέχουν μολυβδαίνιο και χρυσό ως παραπροϊόντα, τα οποία αποτελούν σημαντικές πηγές για την παγκόσμια παραγωγή χρυσού και μολυβδαινίου. Ο όρος “πορφυριτικά” εφαρμόστηκε με σκοπό την αντικατάσταση του όρου “διάσπαρτη μεταλλοφορία”, η οποία προκύπτει από τον τρόπο με τον οποίο αναπτύσσονταν τα μεταλλικά ορυκτά στα γειτονικά πετρώματα.

Στις Σκουριές γίνεται αναφορά για ένα πορφυριτικό κοιτάσμα χαλκού και χρυσού, όπου η γένεσή του οφείλεται στη εισχώρηση ενός έντονα αλκαλικού πορφύρη. Οι πορφύρες εμφανίζονται σαν κατακόρυφες εισχωρήσεις μάγματος (“σωληνοειδούς τύπου”), οι οποίες πιθανώς απεγκλωβίστηκαν βαθύτερα στο φλοιό της γης από τον μαγματικό θάλαμο, δεν κατάφεραν να ανέλθουν στην επιφάνεια και η κρυστάλλωσή τους έγινε σε μικρά σχετικά βάθη. Δύο ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτών των πετρωμάτων είναι η ανάπτυξη κρυστάλλων ορυκτών οι οποίοι είναι εμφανείς (φαινοκρύσταλλοι) μέσα σε άλλα μικρότερου μεγέθους ορυκτά, καθώς και η δημιουργία συγκεκριμένων ζωνών εξαλλοίωσης, εξαιτίας των ρευστών υδροθερμικής προέλευσης, οι οποίες εμπεριέχουν την μεταλλοφορία. Η εισχώρηση του πορφύρη των Σκουριών, στους μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, πραγματοποιήθηκε πριν από περίπου 18 με 22 εκατομμύρια χρόνια (κατά το Ολιγόκαινο – Μειόκαινο) (*Τζεφέρης 2015*).

Τα μεταλλευτικά δικαιώματα του κοιτάσματος παραχωρήθηκαν στην εταιρεία Ελληνικός Χρυσός το 2004, η οποία λειτουργεί ως θυγατρική της Eldorado-Gold από το 2012. Οι συγκεκριμένες παραχωρήσεις αφορούν τα κοιτάσματα του Μαντέμ Λάκκου, των Μαύρων Πετρών, της Ολυμπιάδας και των Σκουριών (*ENVECO 2013*).

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται παρουσίαση του βασικού θεωρητικού υποβάθρου των υπόγειων εκμεταλλεύσεων, του γεωλογικού και κοιτασματολογικού υποβάθρου της περιοχής, τους τρόπους υποστήριξης της υπόγειας εκμετάλλευσης. Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η μεθοδολογία συλλογής και ανάλυσης των βιβλιογραφικών δεδομένων που αφορούν τη μέθοδο, τα εκρηκτικά, τη διάτρηση και τη λιθογόμωση. Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται το σχεδιαστικό μοντέλο της μεθόδου διαδοχικών ορόφων με λιθογόμωση, όπου προτάθηκε η εναλλακτική χρήση ελικοειδών ραμπών αντί των κεκλιμένων στοών για να εξεταστεί η επίδραση στα έργα ανάπτυξης της μεθόδου. Στο κεφάλαιο 5 γίνονται οι υπολογισμοί του εξοπλισμού με βάση τα ογκομετρικά στοιχεία που προέκυψαν από το σχεδιασμό της μεθόδου με τη χρήση του λογισμικού Civil 3D. Τέλος στο κεφάλαιο 6 παρουσιάστηκαν τα συμπεράσματα και οι προτάσεις που προέκυψαν από τη παρούσα εργασία.

## 2. Γεωλογία της περιοχής

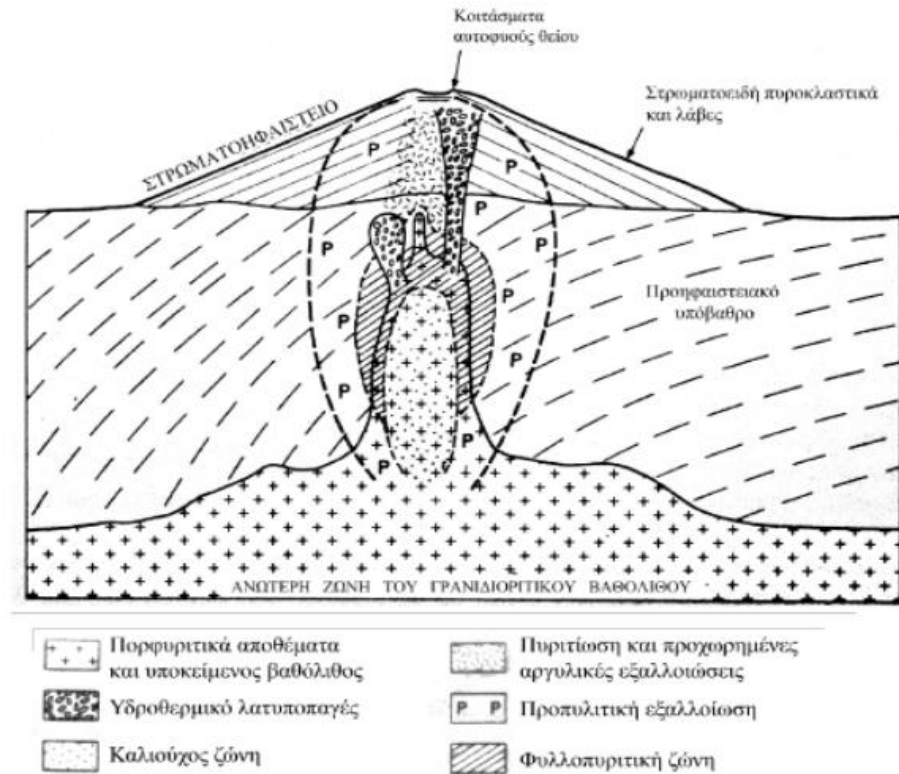
### 2.1. Πορφυριτικά κοιτάσματα

Τα κοιτάσματα πορφυρικού χαλκού συνήθως εμφανίζονται με τη μορφή κυλινδρικού σωλήνα με τυχαία – ακανόνιστη εμφάνιση κοντά στην επιφάνεια. Τα συγκεκριμένα κοιτάσματα διακρίνονται για το ιδιαίτερα μεγάλο μέγεθός τους, στη βιβλιογραφία γίνεται αναφορά ότι τα συγκεκριμένα μπορεί να φτάσουν και διάμετρο 2 x 1.5 χιλιομέτρων. Τα κοιτάσματα αυτού του τύπου συχνά απαντώνται με ένα εξωτερικό περίβλημα πετρώματος με μεσοκοκκώδη ιστό που βρίσκεται γύρω από έναν πιο λεπτόκοκκο πυρήνα. Χαρακτηριστικό αυτού του πυρήνα είναι ο πορφυρικός ιστός που-είναι σημάδι ταχείας ψύξης του μάγματος. Τα κοιτάσματα αυτά πολλές φορές συναντώνται σε πετρώματα γρανιτικής σύστασης ([Χρηστίδης 2022](#)).

Στα πορφυρικά κοιτάσματα χαλκού σαν κύριο ορυκτό απαντάται ο χαλκοπυρίτης ( $\text{CuFeS}_2$ ), σπανιότερα βορνίτης ( $\text{Cu}_2\text{FeS}_4$ ) και ακόμα πιο σπάνια χαλκοσίνης ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ). Σε ορισμένες περιπτώσεις κοιτασμάτων πορφυρικού χαλκού υπάρχει αυξημένη περιεκτικότητα σε αντιμόνιο και αρσενικό, τα οποία (αντιμόνιο και αρσενικό) εμφανίζονται με τη μορφή τετραεδρίτη, τενναντίτη και εναργίτη στα κοιτάσματα αυτά. Επιπρόσθετα, πολλές έρευνες έχουν δείξει πως σε μεγάλο αριθμό κοιτασμάτων πορφυρικού χαλκού υπάρχει εμφάνιση μεταλλοφορίας ψευδαργύρου, μολύβδου, αργύρου, μαγγανίου και χρυσού στις εξωτερικές τους ζώνες. Στις συγκεκριμένες περιπτώσεις εμφανίζονται σε εκμεταλλεύσιμες ποσότητες σε φλέβες, γαληνίτης και σφαλερίτης. Ο άργυρος και ο χρυσός απαντώνται συνήθως ως εγκλείσματα στα προαναφερθέντα ορυκτά ή σπανιότερα υπό μορφή σουλφιδίων ([Χρηστίδης 2022](#)).

Στα κοιτάσματα πορφυρικού χαλκού η μεταλλοφορία αναπτύσσεται σε 3 μορφές: α) εξ' ολοκλήρου στα περιβάλλοντα πετρώματα, β) μερικώς στα περιβάλλοντα πετρώματα και μερικώς στα μητρικά πετρώματα και γ) εξ' ολοκλήρου στα μητρικά πετρώματα. Η ανάπτυξη της μεταλλοφορίας γίνεται σε ομόκεντρες ζώνες. Πιο συχνά παρατηρείται μία ζώνη κεντρικά με διάσπαρτη μεταλλοφορία σε μικρό βαθμό, με περιεχόμενα, λίγο χαλκοπυρίτη και λιγότερο από 12% της μάζας του πετρώματος σε σιδηροπυρίτη. Η συγκεκριμένη ζώνη μετατοπίζεται σε διαφορετικά στάδια, στις βασικές μεταλλοφόρες ζώνες με παρόμοια ορυκτά. Η συγκέντρωση του σιδηροπυρίτη γίνεται σε

μια ζώνη γύρω από το μετάλλευμα απαρτίζοντας το 8-13% του συνολικού πετρώματος. Η συγκέντρωση της μεταλλοφορίας γίνεται μεταξύ της φυλλοπυριτικής και της καλιούχου εξαλλοίωσης (*Εικόνα 1*) (*Χρηστίδης 2022*).



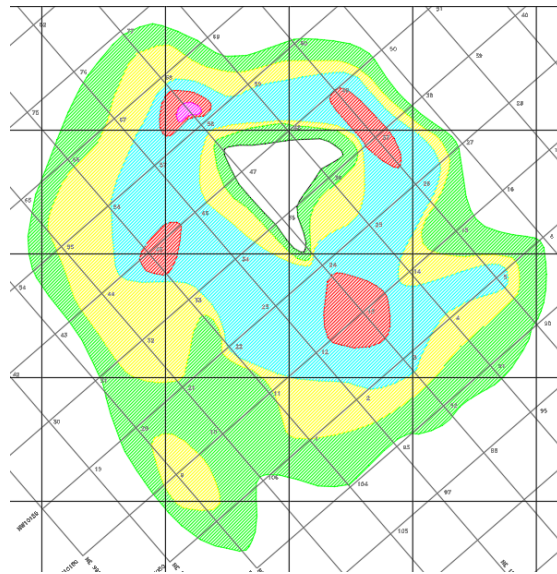
*Εικόνα 1* Σύστημα πορφύρη μεταξύ πλουτωνικού και ηφαιστειακού πετρώματος  
(*Λούκος 2012*)

## 2.2. Γεωλογία και κοιτασματολογικό υπόβαθρο Σκουριών

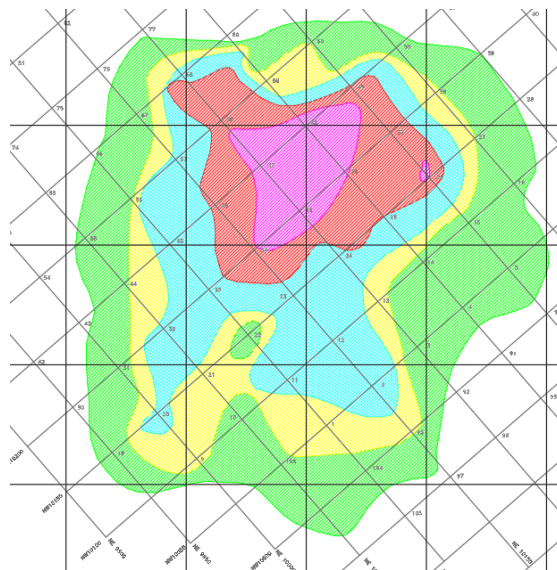
Το κοίτασμα των Σκουριών, όπως μοντελοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας, εντοπίζεται σε μία σχεδόν κάθετη μορφή πορφυρικού σωλήνα (*Εικόνα 7* Τρισδιάστατη απεικόνιση του κοιτάσματος) και έχει εισχωρήσει εντός των αμφιβολιτικών και βιοτιτικών σχιστολίθων του Βερτίσκου. Οι ορυκτολογικές συστάσεις και οι πετρολογικοί ιστοί που μελετώνται, δείχνουν ότι πραγματοποιήθηκαν πολλαπλές εισχωρήσεις, μέχρι να αποκτήσει την τελική του μορφή (*ENVECO 2013*).

Η 3D μοντελοποίηση του κοιτάσματος έγινε χρησιμοποιώντας οριζόντιες τομές του κοιτάσματος μαζί με τις περιεκτικότητες του σε χρυσό. Οι τομές που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται σε συγκεκριμένα απόλυτα υψόμετρα (*Εικόνα 2* Οριζόντια τομή

κοιτάσματος σε 0m απόλυτο υψόμετρο – 5Εικόνα 5 Οριζόντια τομή κοιτάσματος σε 600m απόλυτο *υψόμετρο*.

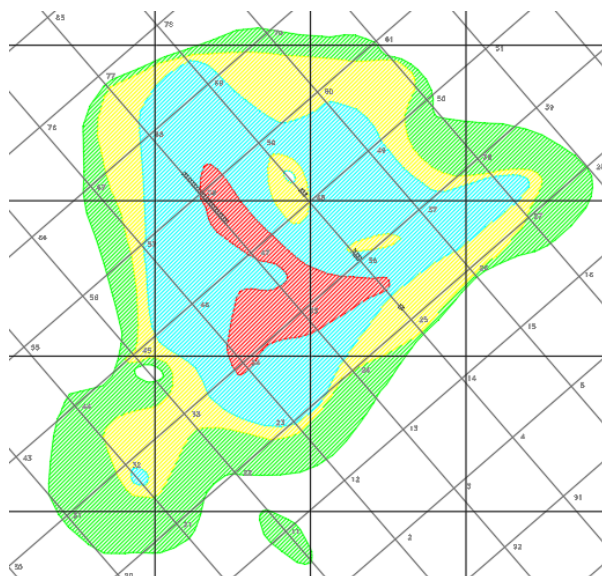


Εικόνα 2 Οριζόντια τομή κοιτάσματος σε 0m απόλυτο υψόμετρο (*Eldorado-Gold 2018*)

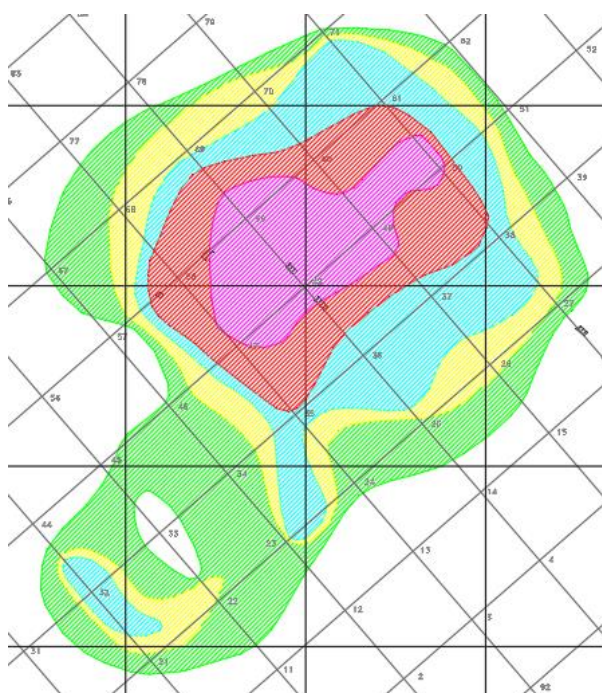


Εικόνα 3 Οριζόντια τομή κοιτάσματος σε 200m απόλυτο υψόμετρο (*Eldorado-Gold 2018*)





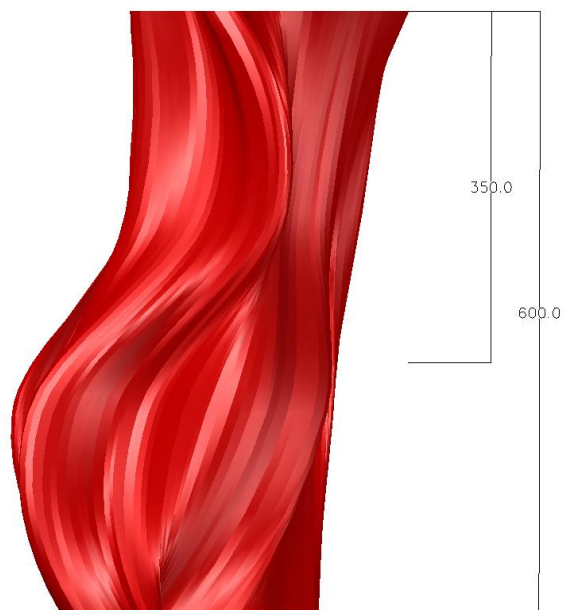
Εικόνα 4 Οριζόντια τομή κοιτάσματος σε 400m απόλυτο υψόμετρο (*Eldorado-Gold 2018*)



Εικόνα 5 Οριζόντια τομή κοιτάσματος σε 600m απόλυτο υψόμετρο (*Eldorado-Gold 2018*)

Επιπλέον για την απεικόνιση του κοιτάσματος επιλέχθηκε σαν ελάχιστη περιεκτικότητα σε χρυσό τα 0.6g/t (μπλε χρώμα στις οριζόντιες τομές). Στη συνέχεια με τη χρήση του προγράμματος Civil 3D έγινε η κατάλληλη συσχέτιση των τομών με βάση τα υψόμετρα τους και έγινε τρισδιάστατη απεικόνιση του κοιτάσματος (*Εικόνα 6 Πρόσωση του κοιτάσματος*).

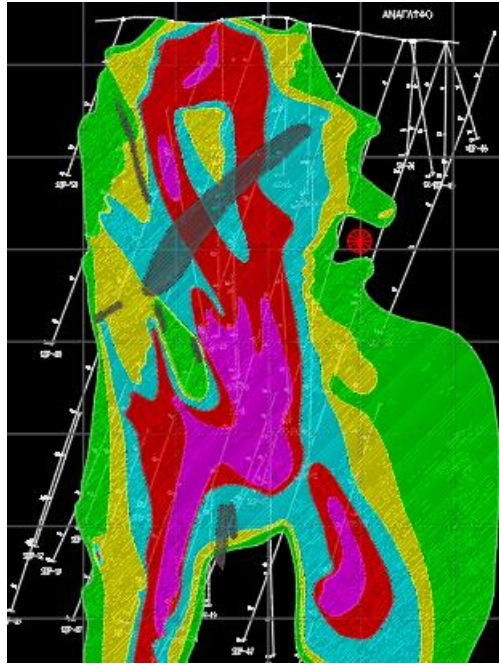




*Εικόνα 6 Πρόσοψη του κοιτάσματος*



*Εικόνα 7 Τρισδιάστατη απεικόνιση του κοιτάσματος*

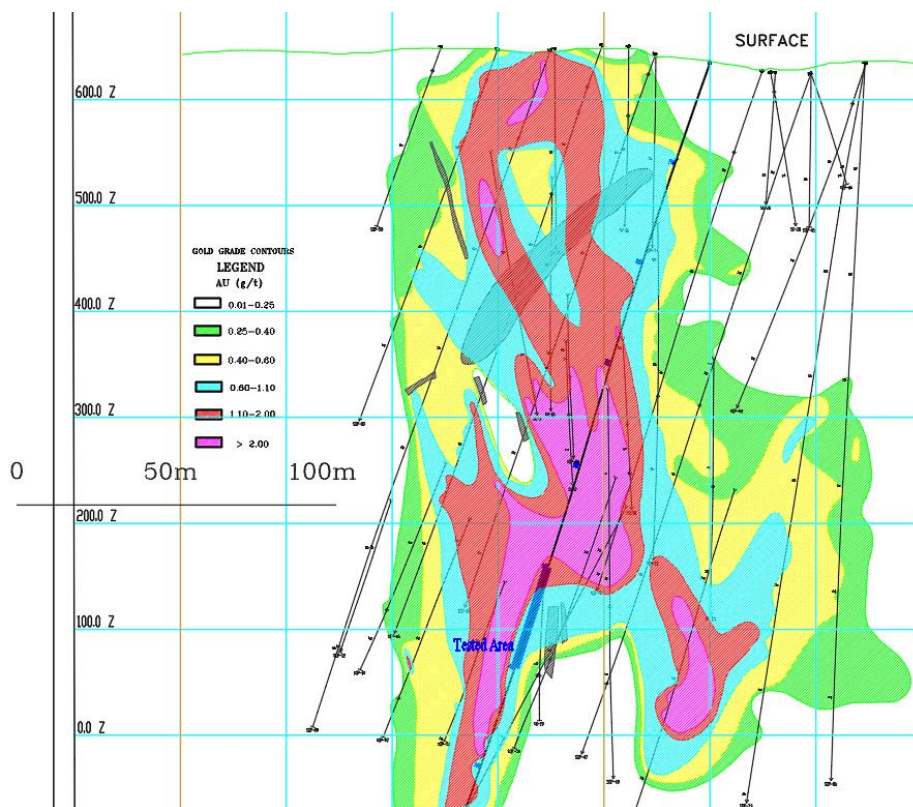


*Εικόνα 8 Κατακόρυφη τομή κοιτάσματος με περιεκτικότητες σε χρυσό (Eldorado-Gold 2018)*

Το κοιτάσμα φτάνει ως το επίπεδο της επιφάνειας με διάμετρο περίπου 300 μέτρων. Η κεντρική ζώνη του κοιτάσματος περιέχει δυο περιοχές υψηλής περιεκτικότητας, μία κοντά στην επιφάνεια και μία 350m περίπου κάτω από την αυτήν (*Εικόνα 6* Πρόσοψη του κοιτάσματος, *Εικόνα 7* Τρισδιάστατη απεικόνιση του κοιτάσματος). Η συγκεκριμένη ζώνη βρίσκεται μετατοπισμένη νοτιοδυτικά σε μικρότερης περιεκτικότητας μεταλλοφορία μέσα σε σχιστοειδή πετρώματα. Η μεταλλοφορία αυτή πιθανώς, να επηρεάζεται με μια ακόμα διείσδυση πορφύρη, που με βάση τα αποτελέσματα χαρτογράφησης και γεωφυσικής έρευνας, πιθανών να βρίσκεται 750 μέτρα περίπου προς τα νότια του κοιτάσματος των Σκουριών (*ENVECO 2013*). Στα 700 μέτρα βάθος από την επιφάνεια, ο πυρήνας του κοιτάσματος είναι χαμηλής ποιότητας, ωστόσο έχουν βρεθεί ζώνες υψηλής περιεκτικότητας γύρω από αυτόν. Κοντά στο βάθος των 800m, το κοιτάσμα επεκτείνεται γύρω από την κεντρική ζώνη και σχηματίζει διακλαδώσεις. Το συγκεκριμένο τμήμα του κοιτάσματος εμφανίζεται με χαμηλή περιεκτικότητα σε χρήσιμα μέταλλα (*Eldorado-Gold 2018*). Οι έρευνες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα δείχνουν ότι το κοιτάσμα συνεχίζεται σε βάθος 920 μέτρων κάτω από την επιφάνεια (*Eldorado-Gold 2018*).

Το κοιτάσμα χαρακτηρίζεται από ένα ομόκεντρο σύστημα εξαλλοιώσεων. Εντός και γύρω του πορφυρικού σωλήνα γίνεται ανάπτυξη μιας καλιούχου πυριτικής

εξαλλοίωσης, με κύριο ορυκτό τους καλιούχους αστρίους εντός του πορφυρικού σωλήνα, όπως επίσης και βιοτίτη εντός των σχιστοειδών στείρων πετρωμάτων. Η συγκεκριμένη ζώνη περιβάλλεται από μία προπυλτική ζώνη εξαλλοίωσης, χαρακτηριστικό της οποίας είναι η εμφάνιση χλωρίτη, επίδοτου, αλβίτη και ασβεστίτη που αντικαθιστούν κατά ένα βαθμό τα πρωτογενή ορυκτά, και εμφανίζονται μέσα σε ασυνεχείς και ακανόνιστες ρωγμές και φλεβίδια καθώς και κατά μήκος της σχιστότητας. Σε συνέχεια υπάρχει μια ασθενής φυλλιτική εξαλλοίωση και τέλος μια ασθενής έντασης αργιλική ζώνη εξαλλοίωσης, που η εμφάνιση της είναι κατά κύριο λόγο μέσα σε ρηξιγενείς ζώνες. Σε βάθος περίπου από 25 έως 55 μέτρα από το επίπεδο της επιφάνειας εμφανίζεται ένα οξειδωμένο τμήμα, το οποίο απαρτίζεται από αζουρίτη, μαλαχίτη, κυπρίτη, αυτοφυή χαλκό, σιδηροκυπρίτη και χαλκοσίνη (ENVECO 2013).

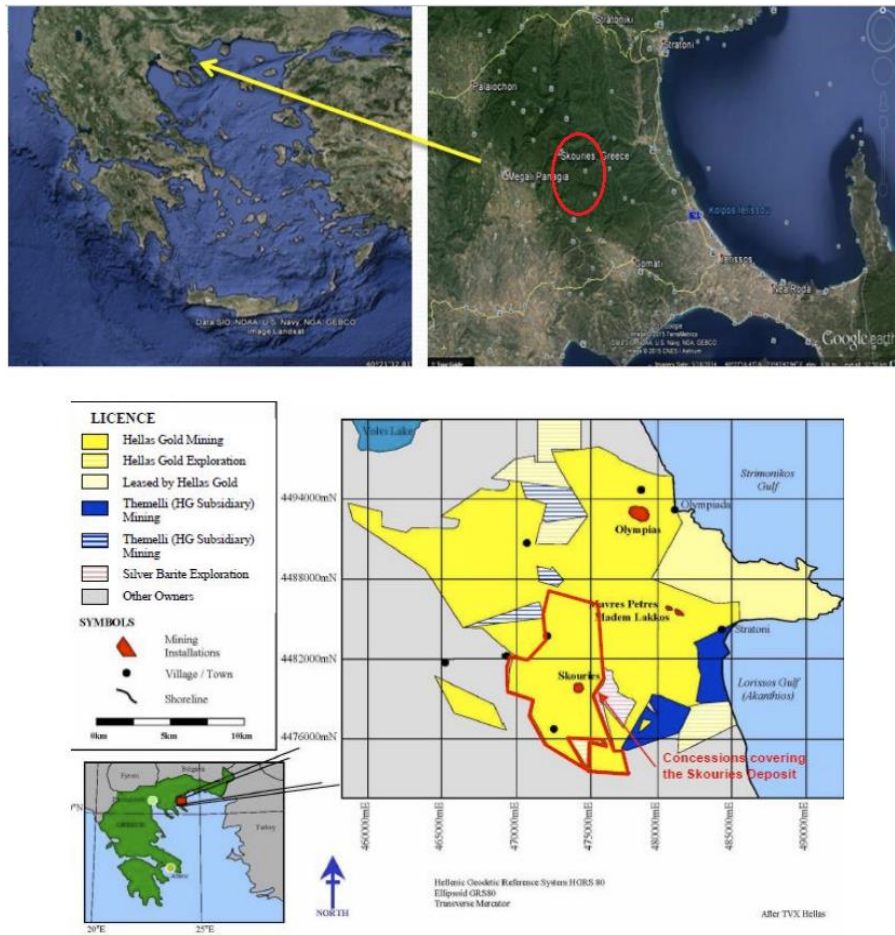


Εικόνα 9 Γεωλογική τομή πορφύρη Σκουριών (Eldorado-Gold 2018)

Η μεταλλοφορία κυρίως αποτελείται από διάφορες μορφές φλεβιδίων χαλκοκυρίτη και από διάσπαρτο λεπτόκοκκο χαλκοκυρίτη με λίγο βορνίτη και λιγότερο χαλκοσίνη, μολυβδενίτη, κοβελίνη και σιδηροκυπρίτη. Από την ορυκτολογική μελέτη αποδείχθηκε ότι, η εμφάνιση του χρυσού γίνεται με τη μορφή εγκλεισμάτων εντός του χαλκοκυρίτη

(*ENVECO 2013*). Ειδικότερα, η εμφάνιση του εντοπίζεται εντός του χαλαζία, καθώς επίσης και εντός των θειούχων ορυκτών, συγκεκριμένα στον χαλκοσίνη και τον βορνίτη. Αξίζει να αναφερθεί ότι, μέσα στο μετάλλευμα εντοπίστηκαν ασήμαντες ποσότητες παλλαδίου (*Τζεφέρης 2015*). Η μεταλλοφορία του χαλκού έχει άμεση σχέση με τις περιεκτικότητες του χρυσού, με συντελεστή συσχέτισης υψηλό (*ENVECO 2013*).

Η τοποθεσία των μεταλλευτικών εγκαταστάσεων βρίσκεται στα Ανατολικά παράλια της χερσονήσου της Χαλκιδικής, 100km περίπου ανατολικά της Θεσσαλονίκης και ανήκει στον δήμο Αριστοτέλη (*Εικόνα 10* Τοποθεσία Μεταλλείου Σκουριών ). Πρόκειται για μία εκτεταμένη επένδυση, που στόχος της είναι η ανάπτυξη των προ υφάρχοντων μεταλλευτικών εγκαταστάσεων ή η δημιουργία νέων, ενώ παράλληλα να γίνεται μέριμνα ως προς την αποκατάσταση του περιβάλλοντος (*ENVECO 2013*). Η τοποθεσία του κοιτάσματος των Σκουριών είναι στα όρια ενός οροπεδίου με υψόμετρο περίπου τα 620m. Το οροπέδιο παρουσιάζει απότομες και μεγάλης κλίσης χαράδρες με νότια και ανατολική απορροή. Η υψηλότερη κορυφή κοντά στο κοιτάσμα βρίσκεται στα 3Km βορειοδυτικά των Σκουριών και είναι η κορυφή Καστέλι με απόλυτο υψόμετρο +918m (*ENVECO 2013*).



Εικόνα 10 Τοποθεσία Μεταλλείου Σκουριών (*Eldorado-Gold 2018*)

Το υπέδαφος της περιοχής παρουσιάζει ένα σημαντικό χαρακτηριστικό το οποίο είναι η πλούσια μεταλλοφορία, αυτό φαίνεται από τα διάφορα κοιτάσματα όπως: χρυσού, ψευδαργύρου, μολύβδου κ.α. Τα σπουδαιότερα κοιτάσματα της περιοχής είναι (*ENVECO 2013*):

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

### 2.3. Υπόγειες Εκμεταλλεύσεις

Η ανάπτυξη κοιτασμάτων σε μεγάλα βάθη για τα οποία η εκμετάλλευσή τους με επιφανειακή εκμετάλλευση δεν μπορεί να γίνει με θετικό οικονομικό αποτέλεσμα οδηγεί στην διερεύνηση της εκμεταλλευσιμότητάς τους με υπόγειες μεθόδους. Οι υπόγειες



μέθοδοι εκμετάλλευσης ουσιαστικά επιτυγχάνουν την πρόσβαση στο χώρο ανάπτυξης του κοιτάσματος μέσω έργων προσπελάσεως και την προσβολή και απόσπαση του μεταλλεύματος χωρίς να απαιτείται η μαζική μετακίνηση των υπερκείμενων στείρων πετρωμάτων. Τα έργα προσπέλασης πραγματοποιούνται μέσα στα άγονα πετρώματα που περιβάλλουν το κοιτάσμα, ενώ τα έργα προπαρασκευής κατά κανόνα μέσα στο μετάλλευμα (*Orykta 2022*).

Η υπόγεια προσπέλαση γίνεται γενικά με τρία είδη έργων (*Orykta 2022*):

- Στοές.
- Φρέατα (πηγάδια).
- Κεκλιμένα ή/και ελικοειδή κεκλιμένα.

Πολλές φορές για την προσπέλαση χρησιμοποιούνται και συνδυασμοί των έργων αυτών. Για κάθε υπόγεια εκμετάλλευση επιβάλλεται να υπάρχουν τουλάχιστον 2 προσπελάσεις στην επιφάνεια (*Orykta 2022*).

### **2.3.1 Κριτήρια επιλογής μεθόδου εκμετάλλευσης**

Οι πιο βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή μιας μεθόδου εκμετάλλευσης για ένα κοιτάσμα είναι (*Orykta 2022*):

- Οι φυσικό-μηχανικές ιδιότητες του κοιτάσματος και των πετρωμάτων που το περιβάλλουν.
- Η θέση του κοιτάσματος και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του (σχήμα, μέγεθος, κλίση).
- Η ποιότητα και η αξία του μεταλλεύματος.
- Ο επιδιωκόμενος ρυθμός παραγωγής.
- Το κόστος του παραγόμενου προϊόντος.
- Η προστασία του περιβάλλοντος.

### **2.3.2 Επιλογή υπόγειας μεθόδου εκμετάλλευσης**

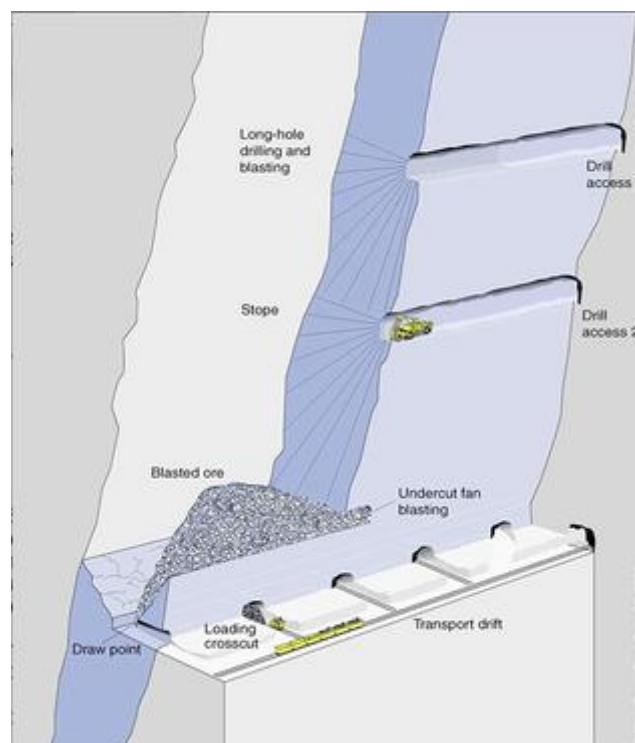
Το κοιτάσμα αποτελείται από ένα ογκώδες κυλινδρικό τμήμα, του οποίου η μεγαλύτερη διάσταση είναι κατά την κατακόρυφο (περίπου στα 920m). Επιπλέον το κοιτάσμα

εμφανίζεται με σχεδόν κατακόρυφη κλίση με ομαλά γεωμετρικά χαρακτηριστικά και καλά καθορισμένα όρια. Το περιβάλλον πέτρωμα και το μετάλλευμα εμφανίζονται με μέτρια προς υψηλή μηχανική αντοχή. Με βάση τα παραπάνω η υπόγεια μέθοδος εκμετάλλευσης που επιλέγεται είναι, η μέθοδος διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα (Sublevel open stoping) και λιθογόμωση τους σε δεύτερη φάση.

### 3. Ερευνητική μεθοδολογία

#### 3.1 Μέθοδος Διαδοχικών Ορόφων με Κενά Μέτωπα (Sublevel open stoping)

Η μέθοδος κενών μετώπων (*Εικόνα 11* Απεικόνιση μεθόδου διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα ) ξεκίνησε στις αρχές του 1900 σε ορυχεία σιδηρομεταλλεύματος στο Μίσιγκαν των ΗΠΑ. Αυτή η μέθοδος θεωρείται συνήθως ως εναλλακτική της μεθόδου διαδοχικών ορόφων με κατακρήμνιση οροφής, όταν απαιτείται μέθοδος χαμηλότερης αραιώσης και όπου το πέτρωμα είναι αρκετά σταθερό. Η παραγωγή για ένα ορυχείο που χρησιμοποιεί τη μέθοδο των κενών μετώπων μπορεί να κυμαίνεται από 15 - 110 τόνους/βάρδια εργαζομένων. Γενικά, αυτή η μέθοδος είναι αρκετά ασφαλής καθώς η εξόρυξη τείνει να υποχωρεί μακριά από περιοχές που είχαν εξορυχθεί προηγουμένως ή δεν υποστηρίζονταν. Επίσης, η τοπική υποστήριξη εδάφους μπορεί να εφαρμοστεί σε περιοχές όπου αναμένεται να βρεθούν οι εργαζόμενοι ως μέτρο ασφαλείας, αν και ο εξοπλισμός όπως (π.χ. τα LHD) μπορεί να ταξιδύψει σε μη υποστηριζόμενες περιοχές (*Hartman 1992*).



*Εικόνα 11 Απεικόνιση μεθόδου διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα (AtlasCopco 2007)*



### 3.2 Απαιτούμενα χαρακτηριστικά κοιτάσματος

Τα κοιτάσματα που είναι ιδανικά για τη χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου έχουν ύψος πολύ μεγαλύτερο από ότι πλάτος, ενώ μπορούν να έχουν και μεγάλο μήκος. Το ιδανικό πλάτος του κοιτάσματος πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 6 μέτρα αλλά μικρότερο από 30 μέτρα ([Scalise 2011](#)).

Για να είναι βιώσιμη η ανάπτυξη της μεθόδου, απαιτείται τουλάχιστον ένας μεσαίος βαθμός μεταλλοφορίας. Η συγκεκριμένη μέθοδος εξόρυξης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κοιτάσματα από μικρού έως μεγάλου βάθους. Το κοιτάσμα πρέπει να αποτελείται από σχετικά υψηλής αντοχής πέτρωμα και να περιβάλλεται από σχετικά ισχυρό περιβάλλον πέτρωμα. Λόγω της φύσης της διάτρησης και της ανατίναξης του πετρώματος, είναι καλύτερο το κοιτάσμα να έχει κανονικό περίγραμμα με καλά καθορισμένα όρια, καθώς αυτό μειώνει τον συντελεστή αραίωσης. Δεδομένου ότι αυτή η μέθοδος εξόρυξης απαιτεί το κοιτάσμα να ανατινάσσεται πολλές φορές, συνιστάται το κοιτάσμα να έχει υψηλή θλιπτική αντοχή και λίγα επίπεδα αστοχίας (όπως ασυνέχειες ή ρήγματα) ([Hartman 1992](#)).

### 3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι:

1. Τα δευτερεύοντα μέτωπα που μένουν συνήθως ως κολώνες υποστήριξης μπορούν να αφαιρεθούν μόλις γίνει λιθογόμωση των κενών μετώπων ([Hartman 2002](#)).
2. Μπορεί να γίνει διάτρηση πολλών μετώπων ταυτόχρονα για πιο αποδοτική εκμετάλλευση. ([Hartman 1992](#)).
3. Δυνατότητα χρήσης μεγάλου εξοπλισμού ([Hartman 2002](#)).
4. Υψηλή παραγωγικότητα και απόδοση, έως 110 τόνοι/βάρδια εργαζομένων, ανάλογα με το κοιτάσμα ([McIsaac 2006](#)).
5. Μικρή έκθεση σε επικίνδυνες συνθήκες (π.χ.: εύκολος αερισμός) ([Hartman 1992](#)).
6. Χαμηλή αραίωση (20%) ([Hartman 1992](#)).

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι:

1. Δεν είναι ιδιαίτερα επιλεκτική μέθοδος (*McIsaac 2006*).
2. Απαιτεί εκτεταμένη ανάπτυξη στην αρχική φάση εκμετάλλευσης του κοιτάσματος με υψηλές δαπάνες (*Hartman 1992*).
3. Η διάτρηση απαιτεί μεγάλη ακρίβεια και πρέπει να αποκλίνει λιγότερο από 2% σε οποιαδήποτε διάτρημα (*McIsaac 2006*).

### **3.4 Διαστασιολόγηση των μετώπων**

Υπάρχουν πολυάριθμοι παράγοντες που επηρεάζουν τη διάσταση του μήκους, του ύψους και του πλάτους των μετώπων, μερικοί από αυτούς είναι οι κύριες τάσεις, η ικανότητα της οροφής να παραμένει ανυποστήρικτη, το βέλτιστο σχέδιο διάτρησης, η γεωμετρία του κοιτάσματος. Ο σωστός σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση κάθε υποορόφου σε αυτήν τη μέθοδο είναι κρίσιμης σημασίας για την ασφάλεια των εργαζομένων και την κατάλληλη επιλογή του εξοπλισμού (*Hustrulid 1982*). Σε αυτό το στάδιο του σχεδιασμού, απαραίτητη είναι η βοήθεια από άτομα με εμπειρία σε παρόμοια κοιτάσματα, ειδικούς μηχανικούς πετρωμάτων και έμπειρο προσωπικό σχεδιασμού ορυχείων. Κατά τη διαστασιολόγηση του μεσοδιαστήματος μεταξύ των επόμενων υποορόφων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τόσο το ύψος του κοιτάσματος όσο και το πλάτος του μετώπου, με τα μήκη των διαστημάτων να κυμαίνονται μεταξύ 45-125m (*Hartman 1992*).

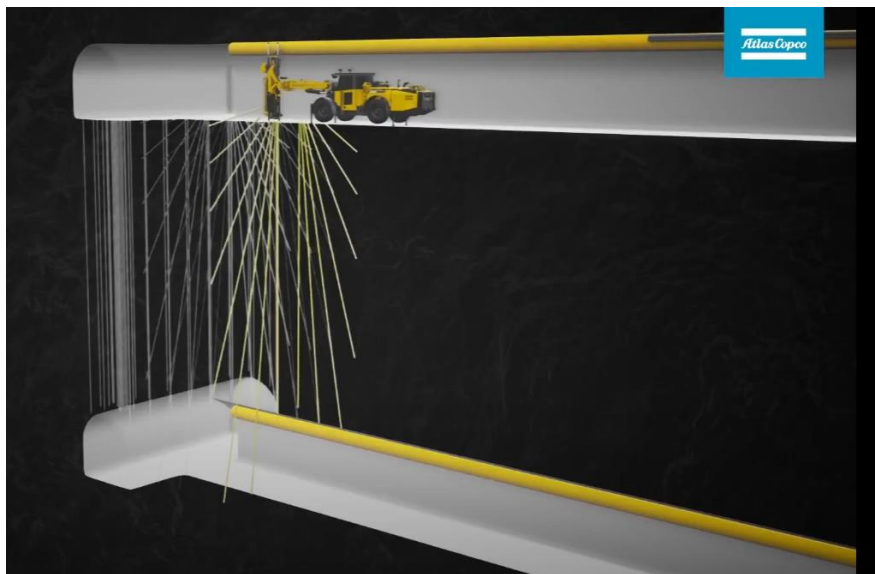
### **3.5 Προϋποθέσεις για την κατάλληλη λειτουργία του υπογείου**

Προκειμένου να διασφαλιστεί η κατάλληλη λειτουργία του υπόγειου μεταλλείου θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένες σημαντικές εκτιμήσεις. Αρχικά, με βάση τον περιορισμό των διαστάσεων του μετώπου, τα σημεία φόρτωσης πρέπει να σχεδιάζονται σε κατάλληλη απόσταση ώστε να διασφαλίζεται η επιλεγμένη κατά περίπτωση παραγωγή. Δεύτερον, ο κατάλληλος σχεδιασμός δαπέδου και οδοστρώματος (συμπεριλαμβανομένου του τύπου επιφάνειας, του βαθμού απορροής νερού και του προσανατολισμού σε σχέση με τον κύριο δρόμο μεταφοράς) πρέπει να τηρείται ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη ευελιξία του φορτωτή και η σταθερότητα του εδάφους. (*Scalise 2011*).

### 3.6 Διάτρηση

Τα σχέδια διάτρησης στη μέθοδο διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα περιλαμβάνουν την όρυξη των διατρημάτων σε κατακόρυφο ή σχεδόν κατακόρυφο επίπεδο σε κάθε υποόροφο (*Hustrulid 1982*). Το μήκος του διατρήματος που πρόκειται να διανοιχθεί εξαρτάται από την έκταση του κοιτάσματος και την απόσταση του κάθε υποορόφου. Γενικά το μήκος των διατρημάτων δεν είναι μεγαλύτερο από 50 μέτρα, καθώς οτιδήποτε μεγαλύτερο θα έχει πιθανώς προβλήματα απόκλισης (*Hartman 1992*).

Υπάρχουν διάφορα μοτίβα διάτρησης που χρησιμοποιούνται όπως (V-cut, pyramid cut, breast cut, fan cut κ.α.). Το πιο συνηθισμένο μοτίβο είναι αυτό της διάτρησης υπό μορφή βεντάλιας (fan cut), όπου γίνονται διατρήματα ακτινικά από το πάτωμα ενός υποορόφου στην οροφή του άλλου από κάτω είτε το αντίστροφο (*Εικόνα 12* Διατρήματα υπό μορφή βεντάλιας ) (*Hartman 1992*).



*Εικόνα 12 Διατρήματα υπό μορφή βεντάλιας (AtlasCopco 2007)*

Το τρυπάνι που θα επιλεγεί εξαρτάται από το σχέδιο της εκμετάλλευσης. Για τη διάτρηση με τη μορφή βεντάλιας υπάρχει ένα συγκεκριμένο διατρητικό, το οποίο ονομάζεται μηχανοποιημένο διατρητικό βεντάλιας (*Hustrulid 1982*). Πριν την έναρξη των διατρήσεων παραγωγής, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη διάφορες παράμετροι που αφορούν το μέταλλευμα. Σημαντικές παράμετροι περιλαμβάνουν το μέγεθος των παραγόμενων θραυσμάτων, τη δυνατότητα διάτρησης και το μήκος της οπής, την ακρίβεια, τον προσανατολισμό και την απόσταση. Τα τελευταία χρόνια τα πιο ευρέως

διαδεδομένα διατρητικά για αυτού του τύπου τις διατρήσεις είναι τα γεωτρύπανα τύπου Long hole ([Hartman 1992](#)).

Η πρωτογενής διάτρηση είναι σημαντική γιατί εάν γίνει σωστά θα μειώσει τις πιθανότητες να χρειαστεί να γίνει δευτερεύουσα διάτρηση ([Hustrulid 1982](#)). Η δευτερεύουσα διάτρηση γίνεται όταν τα κομμάτια του πετρώματος είναι πολύ μεγάλα για να τα χειριστεί ο εξοπλισμός. Οι μεγάλοι ογκόλιθοι πρέπει να τρυπηθούν, να γομωθούν και να ανατιναχθούν δεύτερη φορά για να μπορέσουν να αφαιρεθούν. Αυτή η διαδικασία δεν συμφέρει διότι είναι χρονοβόρα και δαπανηρή ([Hartman 1992](#)).

### 3.7 Εκρηκτικά

Η επιλογή του κατάλληλου εκρηκτικού επηρεάζεται από την ειδική κατανάλωση του εκρηκτικού που θα χρησιμοποιηθεί. Η ειδική κατανάλωση ορίζεται ως η ποσότητα της εκρηκτικής ύλης που χρησιμοποιείται ανά μονάδα πετρώματος που ανατινάχθηκε. Αυτό επηρεάζει το μέγεθος της τρύπας, το φορτίο και το μήκος του διατρήματος που θα γομωθεί με την εκρηκτική ύλη (ΕΥ). Αυτές οι παράμετροι μπορούν να προεπιλεγούν με βάση τη γνώση του επιθυμητού ρυθμού παραγωγής του μετώπου ([Scalise 2011](#)).

Ο τύπος της εκρηκτικής ύλης που επιλέγεται για ένα έργο εξαρτάται περισσότερο από το οικονομικό κεφάλαιο που διατίθεται στο έργο και λιγότερο από τη μέθοδο εξόρυξης. Το ANFO (πετραμμωνίτης: νιτρικό αμμώνιο και πετρέλαιο) ([Εικόνα 13](#) Κόκκοι ANFO ) είναι αυτό που χρησιμοποιείται πιο συχνά για τη μέθοδο διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα. Το ANFO μπορεί να χυθεί ελεύθερα σε μια τρύπα ή να αντληθεί πνευματικά. Ανάλογα με τη ροή και την περιεκτικότητα σε νερό στο βράχο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα gel ή γαλάκτωμα νερού αντί του ANFO ([Scalise 2011](#)). Στη συγκεκριμένη εκμετάλλευση θα χρησιμοποιηθεί ένα μίγμα γαλακτώματος και ANFO.



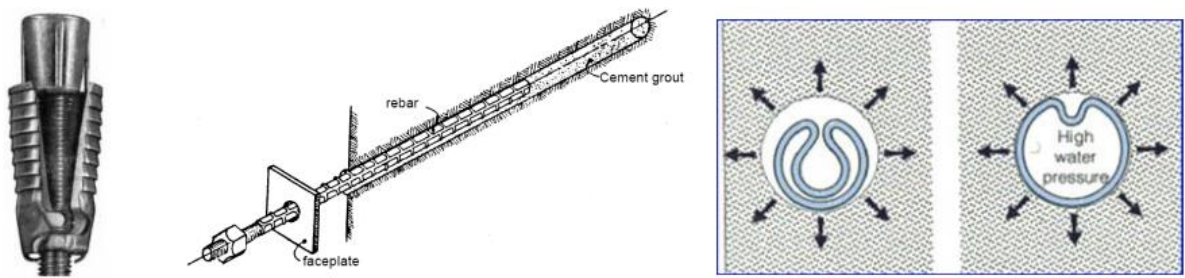
*Εικόνα 13 Κόκκοι ANFO (Wikipedia 2022)*

### **3.8 Ακολουθία έκρηξης**

Η ακολουθία έκρηξης συνήθως διαφέρει από ορυχείο σε ορυχείο, ωστόσο υπάρχουν μερικοί γενικοί κανόνες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν. Κάθε βεντάλια διατρημάτων θα πρέπει να τοποθετείται ως μονάδα. Αυτό αφαιρεί ένα κομμάτι μεταλλεύματος από το άκρο του μετώπου επιτρέποντας την υποχώρηση του μακριά από το σπασμένο μέταλλευμα. Η δεύτερη έκρηξη θα χρησιμοποιήσει τον ανοιχτό χώρο από την πρώτη έκρηξη για να επεκταθεί. Τα διατρήματα που θα ανατιναχτούν μαζί θα βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο ανεξάρτητα από την κλίση των οπών. Ορισμένα ορυχεία ξεκινούν τις ανατινάξεις από ψηλά προχωρώντας προς τα κάτω για να διασφαλίσουν ότι οι εργαζόμενοι δεν εκτίθενται σε μη ασφαλείς συνθήκες όπως το μη υποστηριζόμενο έδαφος από πάνω (*Hartman 1992*).

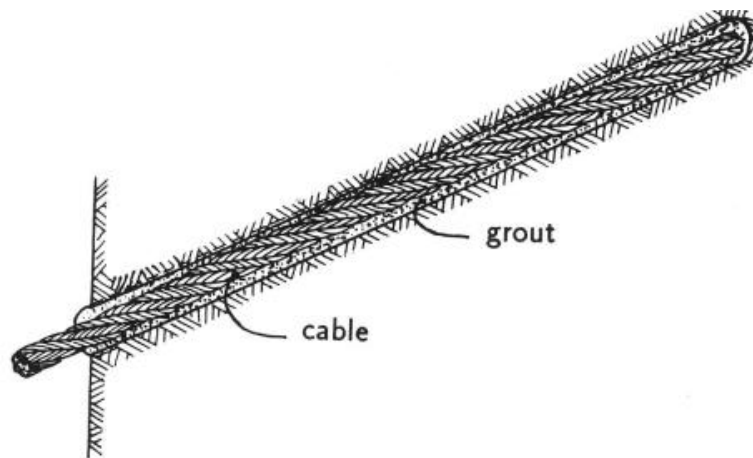
### **3.9 Υποστήριξη εδάφους**

Στη μέθοδο διαδοχικών ορόφων με λιθογόμωση η υποστήριξη του εδάφους είναι συνήθως ελάχιστη. Ωστόσο, η προετοιμασία του εδάφους εξακολουθεί να απαιτείται σε ορισμένες περιοχές και γίνεται με τη χρήση διαφορετικών τύπων αγκυρίων είτε καλωδίων, συμπεριλαμβανομένων των τανυσμένων αγκυρίων είτε των παθητικών αγκυρίων (*Εικόνα 14* Είδη υποστήριξης ) (*Scalise 2011*).



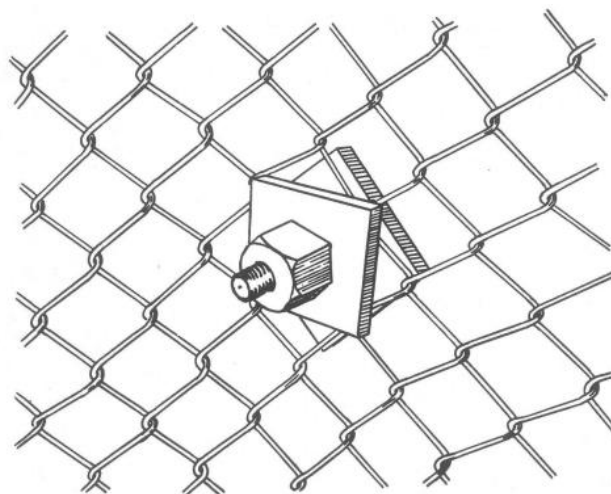
Εικόνα 14 Είδη υποστήριξης (Σαράτσης 2022)

Τα αγκύρια καλωδίων (ή τένοντες) μήκους έως και 150 μέτρων έχουν αποδειχθεί εξαιρετικά αποτελεσματικά για την πλήρη στήριξη των στοών. Η εγκατάσταση πραγματοποιείται συνήθως κατά την ανάπτυξη των διατρημάτων μέσα από τους υποορόφους παραγωγής. Ο πιο διαδεδομένος τύπος καλωδίων στήριξης είναι τα καλώδια στήριξης με τσιμεντένεμα (Εικόνα 15 Τύπος ενεματωμένου καλωδίου στήριξης (grouted cable bolt)). Η χρήση πλεγμάτων (Εικόνα 16 Πλέγμα στήριξης έχει επίσης αποδειχθεί επιτυχημένη για τη στήριξη των μετώπων χρησιμοποιώντας κυρίως ρητίνη ή τσιμεντοκονία (Hartman 1992).



Εικόνα 15 Τύπος ενεματωμένου καλωδίου στήριξης (grouted cable bolt) (Hoek and Wood 1987)



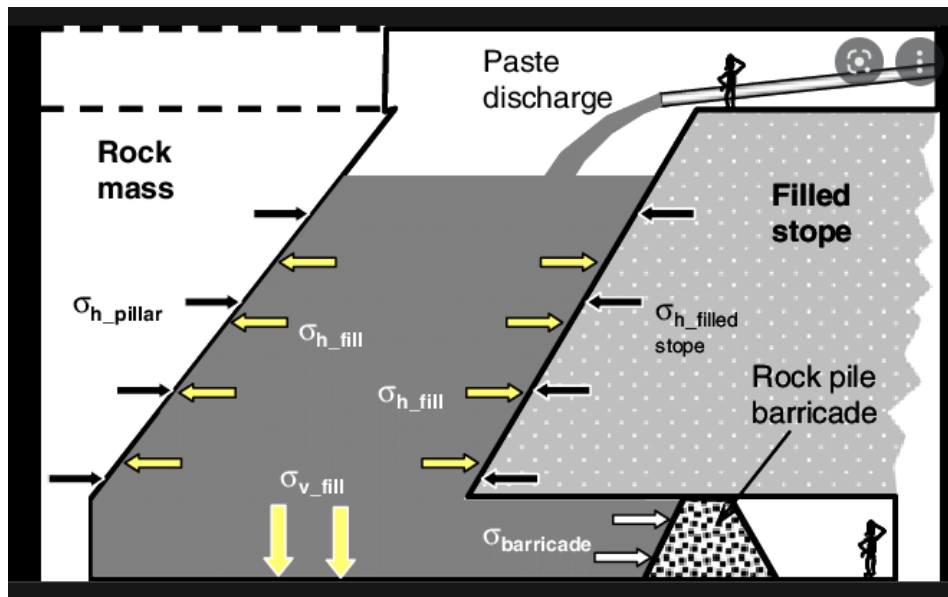


Εικόνα 16 Πλέγμα στήριξης (Hoek and Wood 1987)

Λόγω των μεγάλων διαστάσεων των μετώπων, έχει βρεθεί ότι αναπτύσσονται υψηλές οριζόντιες τάσεις που προκαλούν αλλοίωση των ανοιγμάτων ανάπτυξης. Για τον λόγο αυτό, εκτός από τα αγκύρια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε αυτές τις περιοχές με μεγάλες συγκεντρώσεις τάσεων. Στη συγκεκριμένη εκμετάλλευση θα γίνει χρήση κοχλίων οροφής με ταυτόχρονη χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος και πλεγμάτων (Hustrulid 1982).

### 3.10 Λιθογόμωση

Στη συγκεκριμένη μελέτη γίνεται χρήση λιθογόμωσης η οποία εναποτίθεται στα μεγάλα ανοίγματα που δημιουργούνται στα μέτωπα κατά την παραγωγή (Εικόνα 17 Διαγραμματική απεικόνιση λιθογόμωσης). Η λιθογόμωση επιτρέπει την ανάκτηση πυλώνων στήριξης, επιτρέποντας έως και 90% ανάκτηση μεταλλεύματος. Εκτός από αυτό, η λιθογόμωση παρέχει πρόσθετη στήριξη του εδάφους, μειώνει την αραίωση και βοηθά στην ανακατανομή των τάσεων γύρω από τα ανοίγματα, γεγονός που μειώνει τα φαινόμενα αποσάθρωσης της βραχομάζας (Scalise 2011).



Εικόνα 17 Διαγραμματική απεικόνιση λιθογόμωσης (Belem 2008)

Είδη λιθογόμωσης που χρησιμοποιούνται:

1. Υδραυλική λιθογόμωση με προσθήκη τσιμέντου.
2. Υδραυλική λιθογόμωση χωρίς προσθήκη τσιμέντου.
3. Λιθογόμωση με χρήση λίθων και άμμου (Rock fill & Dry sand).
4. Λιθογόμωση πάστας.

### 3.10.1 Paste fill (Λιθογόμωση Πάστας)

Πιο συγκεκριμένα στη συγκεκριμένη μελέτη επιλέχθηκε να γίνει χρήση λιθογόμωσης πάστας. Πρόκειται για ένα τεχνητό μείγμα λεπτών στερεών σωματιδίων (με συνδετικό υλικό) και νερό που περιέχει μεταξύ 72% και 85% στερεά κατά βάρος. Μπορεί να τοποθετηθεί σε μέτωπα με ή χωρίς προσθήκη συνδετικού υλικού ανάλογα με τις απαιτήσεις σε αντοχή. Η βελτιωμένη τεχνολογία άντλησης, οι περιβαλλοντικές ανησυχίες και η ανάγκη για πλήρωση ορυχείων μετά την εξόφληση τους, δίνουν την δυνατότητα στα ορυχεία να εξετάσουν την λιθογόμωση πάστας ως εναλλακτική λύση διαχείρισης των απορριμμάτων (MiningInfo 2022).



### 3.10.2 Χαρακτηριστικά Λιθογόμωσης Πάστας

Τα βασικά χαρακτηριστικά των απορριμμάτων ή άλλων υλικών που αξιολογούνται ως προς την καταλληλότητά τους ως λιθογόμωση πάστας είναι ([MiningInfo 2022](#)):

1. Τα χαρακτηριστικά στράγγισης του υλικού (στην περίπτωση των απορριμμάτων).
2. Την αντλησιμότητα του μίγματος λιθογόμωσης πάστας.
3. Η αντοχή του μίγματος λιθογόμωσης.
4. Τη φαινομενική πυκνότητα της πάστας.

Εάν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν μη ταξινομημένα απορρίμματα μύλου ως το κύριο συστατικό της λιθογόμωσης πάστας, πρέπει να αφυδατωθούν σε αποδεκτή πυκνότητα πολφού. Η αφυδάτωση μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους, όπως, η πάχυνση ή το φιλτράρισμα. Ο ρυθμός αφυδάτωσης είναι συνάρτηση των προδιαγραφών της μονάδας αφυδάτωσης, καθώς και των χαρακτηριστικών του υλικού (συμπεριλαμβανομένης της κατανομής του μεγέθους των κόκκων και του ειδικού βάρους) ([MiningInfo 2022](#)).

Η αντλησιμότητα της πάστας εξαρτάται από το ιξώδες των απορριμμάτων καθώς και από τον τύπο της αντλίας που χρησιμοποιείται και τη γεωμετρία του συστήματος διανομής. Με τη σειρά του, το ιξώδες της ίδιας της πάστας επηρεάζεται από την πυκνότητα του πολφού, την κατανομή του μεγέθους των κόκκων (κυρίως την περιεκτικότητα σε λεπτά κλάσματα) και την περιεκτικότητα σε συνδετικό υλικό ([MiningInfo 2022](#)).

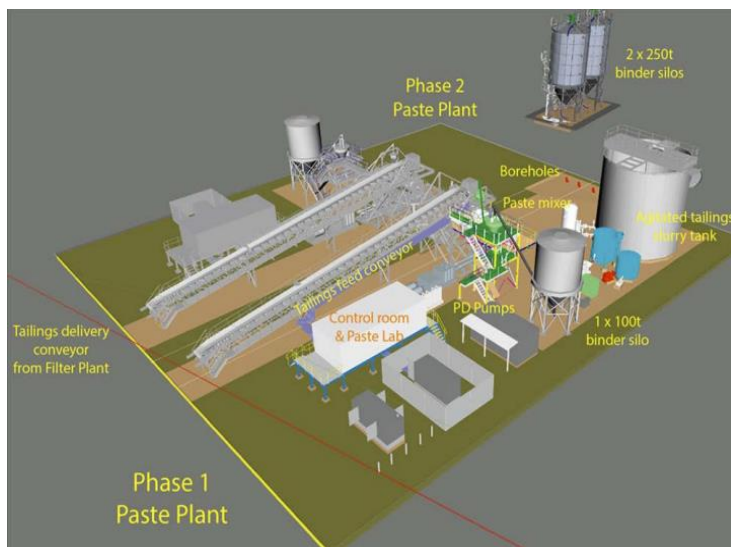
### 3.10.3 Εργοστάσιο Λιθογόμωσης Πάστας

Ένα εργοστάσιο λιθογόμωσης πάστας ([Εικόνα 18 Απεικόνιση διάταξης εργοστασίου λιθογόμωσης πάστας](#)), αποτελείται από τον παρακάτω εξοπλισμό:

- ειδικές δεξαμενές για την αποθήκευση των τελμάτων,
- παχυντές (thickeners) πάστας για την μείωση της περιεκτικότητας της πάστας σε νερό από 70% κατά βάρος σε περίπου 20%,
- κατάλληλα σιλό αποθήκευσης τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας,
- χοάνη βαρυμέτρου για τα τέλματα,
- ειδικό αναδευτήρα για τη δημιουργία του μείγματος και

- αντλίες θετικής μετατόπισης.

Το συνολικό κόστος για τη κατασκευή ενός εργοστασίου λιθογόμωσης πάστας ανέρχεται στα 10,000,000€ με στοιχεία του 2011 ([Hambley 2011](#)).



Εικόνα 18 Απεικόνιση διάταξης εργοστασίου λιθογόμωσης πάστας ([Eldorado-Gold 2018](#)).

#### 3.10.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα λιθογόμωσης με πάστα

Ορισμένα πλεονεκτήματα της λιθογόμωσης με πάστα είναι ([MiningInfo 2022](#)):

1. Υψηλότερες αντοχές μπορούν να επιτευχθούν με ισοδύναμη περιεκτικότητα σε τσιμέντο.
2. Ελαχιστοποιείται η αποστράγγιση νερού από τη πάστα, μειώνοντας την ανάγκη για κατασκευή διαφραγμάτων και εκτεταμένες εργασίες αποστράγγισης. Αυτό το χαρακτηριστικό μειώνει επίσης τη συντήρηση των αντλιών αποστράγγισης ορυχείων.
3. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα μη ταξινομημένα απορρίμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή πάστας και όχι μόνο του χονδρόκοκκου κλάσματος, όπως συμβαίνει στην περίπτωση της υδραυλικής λιθογόμωσης.
4. Μπορούν να επιτευχθούν μικρότεροι χρόνοι κύκλου αναστολής, επειδή μπορεί να επιτευχθεί ισοδύναμη αντοχή σε συντομότερο χρόνο με λιθογόμωση πάστας.

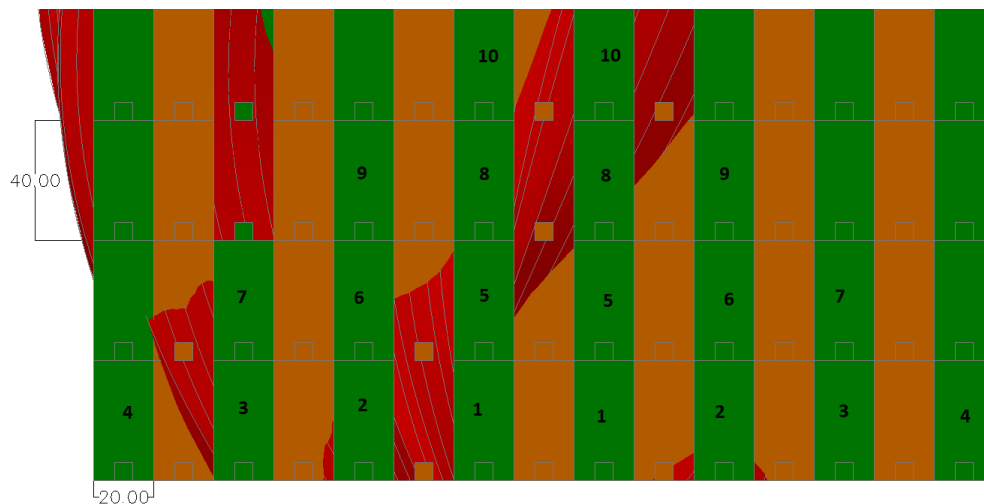
5. Τα συστήματα λιθογόμωσης πάστας επιτυγχάνουν χαμηλότερο πορώδες από τα συμβατικά συστήματα λιθογόμωσης, αυξάνοντας έτσι την ποσότητα του υλικού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λιθογόμωση.
6. Εφόσον η λιθογόμωση πάστας εναποτίθεται ως μια μη διαχωρισμένη μάζα λιθογόμωσης (επειδή τα σωματίδια τσιμέντου δεν μετατοπίζονται από τις εσωτερικές κινήσεις του νερού αποστράγγισης), μπορούν να επιτευχθούν πιο προβλέψιμες ιδιότητες αντοχής για τη πάστα.

Τα μειονεκτήματα της λιθογόμωσης με πάστα είναι ([MiningInfo 2022](#)):

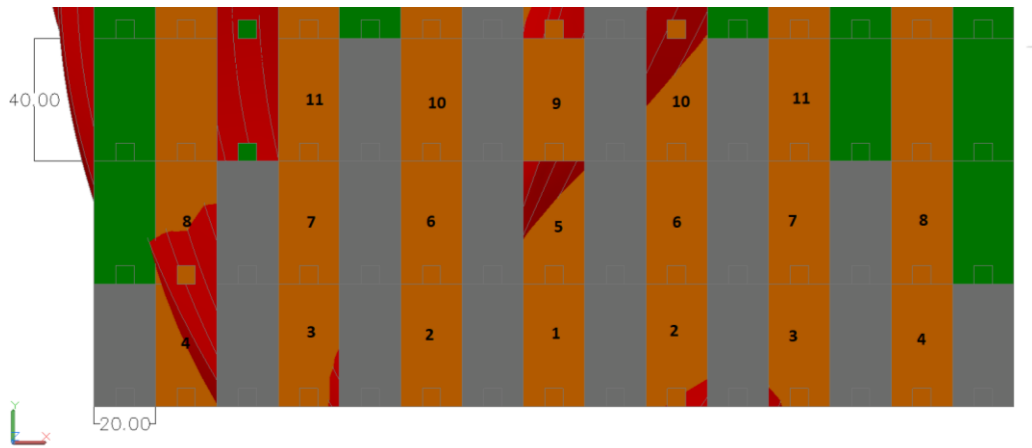
1. Τα συστήματα λιθογόμωσης πάστας έχουν συνήθως υψηλότερο κόστος κεφαλαίου σε σύγκριση με τις συμβατικές εγκαταστάσεις υδραυλικής λιθογόμωσης.
2. Η αντλησιμότητα μιας πάστας είναι πολύ ευαίσθητη σε μικρές αλλαγές στην περιεκτικότητα σε νερό και στην κατανομή του μεγέθους των κόκκων.
3. Το δίκτυο διανομής της λιθογόμωσης στο ορυχείο απαιτεί μεγαλύτερο επίπεδο μηχανικού σχεδιασμού για τον έλεγχο των πιέσεων των αγωγών.

#### 4. Σχεδιασμός μεθόδου εκμετάλλευσης

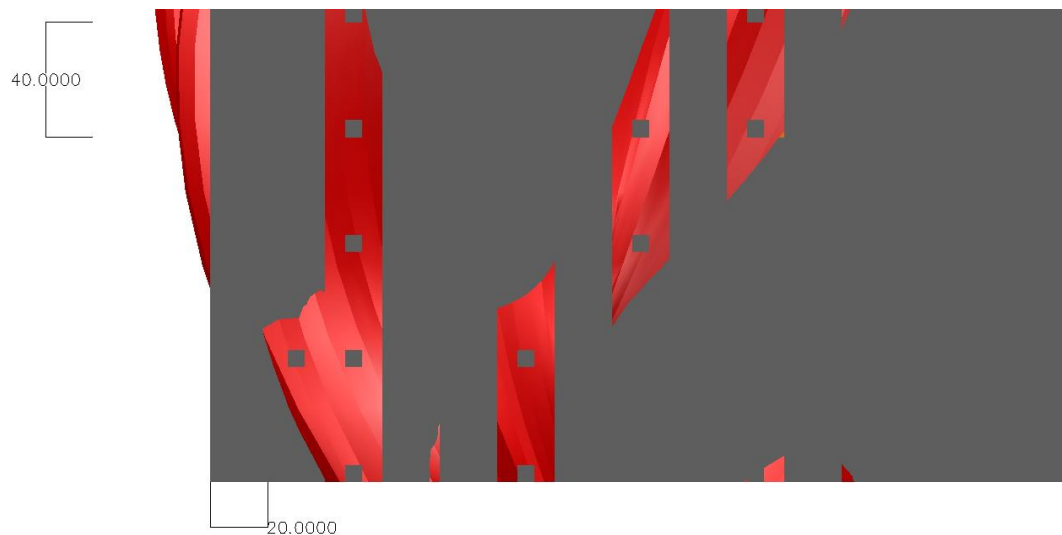
Όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες, οι οποίες σχεδιάστηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού Civil 3D, το κοίτασμα χωρίζεται σε μέτωπα των 40 μέτρων σε ύψος και 20 μέτρα σε πλάτος. Η εκμετάλλευση χωρίζεται σε δύο φάσεις, την πρώτη φάση (*Εικόνα 19* Απεικόνιση της ακολουθίας εξόρυξης κατά την πρώτη φάση της εκμετάλλευσης) η οποία ξεκινά με την εξόρυξη των πράσινων μετώπων και στη συνέχεια την λιθογόμωση τους (γκρι μέτωπα) (*Εικόνα 20* Λιθογόμωση κενών και ακολουθία εξόρυξης μετώπων κατά τη δεύτερη φάση της εκμετάλλευσης), και την δεύτερη φάση στην οποία γίνεται εξόρυξη των πορτοκαλί μετώπων και στην συνέχεια λιθογόμωση τους (γκρι μέτωπα). Καταλήγοντας στην (*Εικόνα 21* Λιθογόμωση όλων των μετώπων μετά την εξόφληση του κοιτάσματος) φαίνονται τα μέτωπα μετά την λιθογόμωσή τους.



*Εικόνα 19 Απεικόνιση της ακολουθίας εξόρυξης κατά την πρώτη φάση της εκμετάλλευσης*



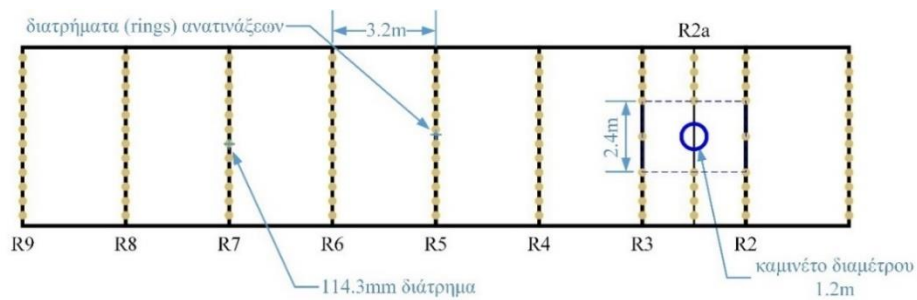
*Εικόνα 20 Λιθογόμωση κενών και ακολουθία εξόρυξης μετώπων κατά τη δεύτερη φάση της εκμετάλλευσης*



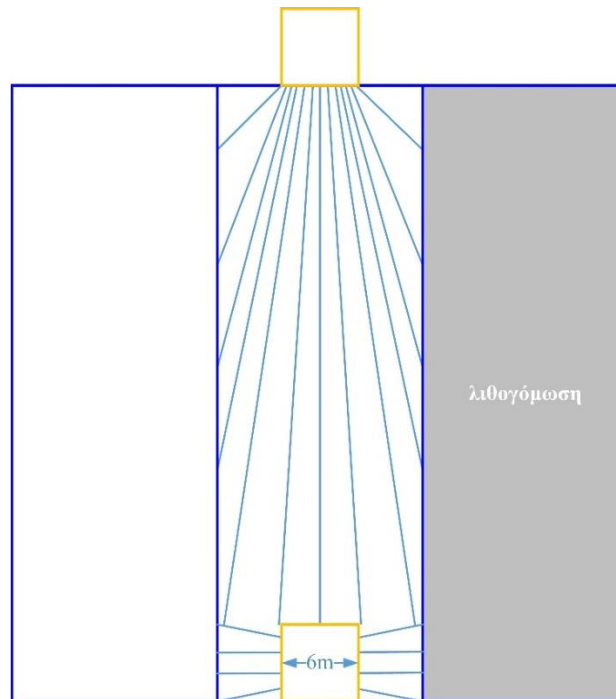
*Εικόνα 21 Λιθογόμωση όλων των μετώπων μετά την εξόφληση του κοιτάσματος*

Η εξόρυξη γίνεται ως εξής:

Αρχικά διανοίγονται δύο οριζόντιες στοές μία ανατολικά και μία δυτικά του κοιτάσματος μέχρι το επιθυμητό μήκος (325m) στο οποίο και συναντώνται. Στη συνέχεια οπισθοχωρώντας, δεδομένου ότι το επιτρέπουν οι συνθήκες του πετρώματος, διανοίγονται τα κατακόρυφα διατρήματα τύπου βεντάλιας από πάνω προς τα κάτω με αποστάσεις μεταξύ των 3.2 μέτρων που φτάνουν μέχρι τον κάτω όροφο με σκοπό να πληρωθούν με εκρηκτική ύλη (*Εικόνα 22* Διάταξη διατρημάτων στο μέτωπο , *Εικόνα 23* Διατρήματα υπό μορφή βεντάλιας ). Επιπλέον στο τέλος της στοάς διανοίγεται ένα διάτρημα μεγάλης διαμέτρου 1.2 μέτρα που δεν πληρώνεται με εκρηκτική ύλη ώστε να δημιουργηθεί μια αρχική ελεύθερη επιφάνεια.



Εικόνα 22 Διάταξη διατρημάτων στο μέτωπο (*Eldorado-Gold 2018*)

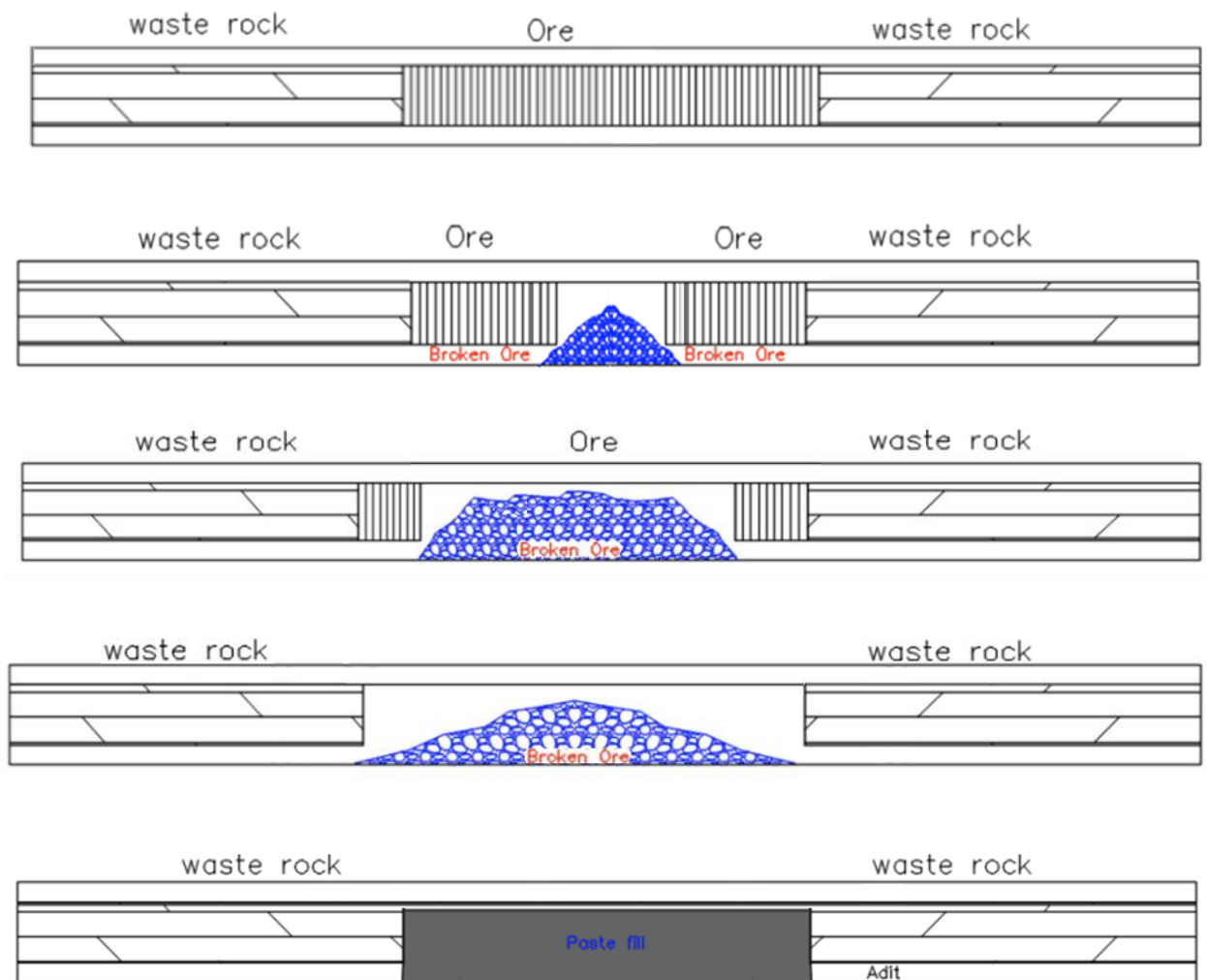


Εικόνα 23 Διατρήματα υπό μορφή βεντάλιας (*Eldorado-Gold 2018*)

Στη συνέχεια ανατινάζεται η πρώτη σειρά διατρημάτων ώστε να δημιουργηθεί ελεύθερος χώρος για να χωρέσει το θραυσμένο μέταλλευμα. Το μέταλλευμα που πέφτει μεταφέρεται με χρήση LHD σε φορτηγά και από εκεί στην επιφάνεια.

Έπειτα ανατινάσσονται όσα διατρήματα απαιτούνται για να επιτευχθεί η παραγωγή που απαιτείται. Το μέταλλευμα που έπεσε μεταφέρεται με τη χρήση φορτωτών στα φορτηγά και στην συνέχεια στην επιφάνεια. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έως την εξόφληση του περιχαραγμένου τμήματος της εκμετάλλευσης πάνω από το πρωτεύον μέτωπο στοάς. Στην (*Εικόνα 24* Φάσεις μεθόδου κενών μετώπων και λιθογόμωσης ) φαίνεται ολόκληρη η διαδικασία, από τη διάτρηση μέχρι και τη λιθογόμωση., ενώ δεν φαίνεται σε κάθε φάση η φόρτωση και η μεταφορά του εξορυγμένου μεταλλεύματος.

Στο τέλος το κενό λιθογομώνεται με υλικό λιθογόμωσης πάστας, (paste fill) που μεταφέρεται μέσω σωλήνων.



Εικόνα 24 Φάσεις μεθόδου κενών μετώπων και λιθογόμωσης (Περουλάκης 2019)

#### 4.1 Υπόγεια έργα και έργα προσπέλασης

Τα έργα προσπέλασης των υπογείων είναι τα εξής:

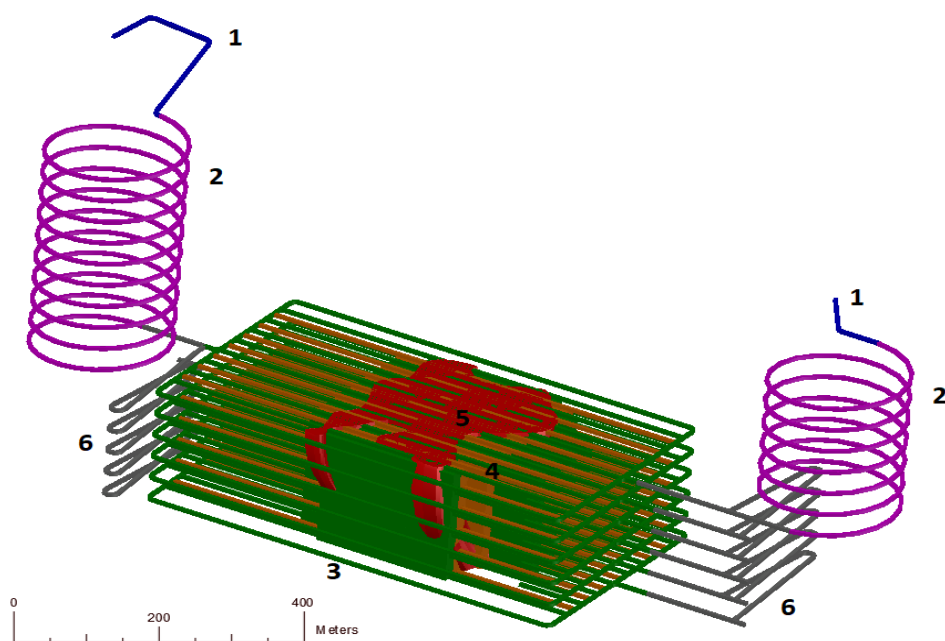
- Οι είσοδοι των υπογείων είναι 2 κεκλιμένα με 10% κλίση ανατολικά και δυτικά του κοιτάσματος με διατομή διαστάσεων 6m x 6m και τα δύο, ενώ τα μήκη είναι 145m για το ανατολικό και 420m για το δυτικό.

- 2 ελικοειδή κεκλιμένα (ένα ανατολικά και ένα δυτικά του κοιτάσματος) με κλίση 10%, διαστάσεις 6m x 6m και μήκη 6292m το δυτικό και 4090m το ανατολικό, όπου ενώνονται με το πρώτο υποόροφο παραγωγής.
- Συνολικά 6 υποορόφους παραγωγής με 6 διευθυντικές στοές με διαστάσεις 6m x 6m και μήκος 2016m η κάθε μία, που περικλείουν το κοιτάσμα.
- 8 μέτωπα παραγωγής με διαστάσεις 40m x 20m το κάθε ένα, για τη πρώτη φάση εκμετάλλευσης σε κάθε υποόροφο.
- 7 μέτωπα παραγωγής με διαστάσεις 40m x 20m το κάθε ένα, για τη δεύτερη φάση εκμετάλλευσης σε κάθε υποόροφο.
- 8 εγκάρσιες στοές για κάθε υποόροφο με διαστάσεις 6m x 6m και μήκη 650m η κάθε μία, προς τα μέτωπα της πρώτης φάσης.
- 7 εγκάρσιες στοές για κάθε υποόροφο με διαστάσεις 6m x 6m και μήκη 650m η κάθε μία προς τα μέτωπα της δεύτερης φάσης.
- Κεκλιμένες ράμπες που ενώνουν τον κάθε υποόροφο μήκους 400m και κλίσης 10%.

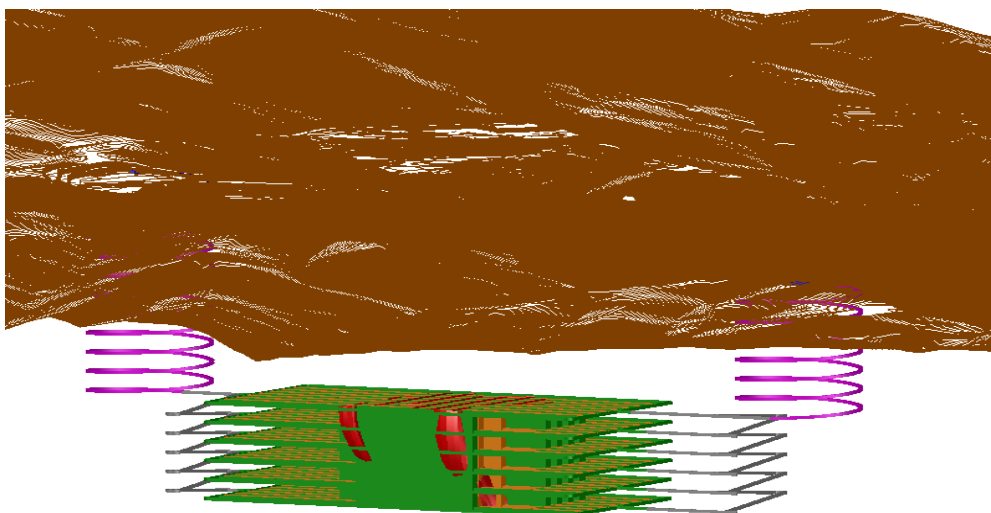
Ο σχεδιασμός των έργων έγινε με τη χρήση του προγράμματος Civil3D.

Στις εικόνες ([Εικόνα 25](#) Συνολικά έργα προσπέλασης και εκμετάλλευσης υπογείων-28) απεικονίζονται με μπλε χρώμα (αριθμός 1) οι κύριες κεκλιμένες είσοδοι από την επιφάνεια, με μωβ χρώμα (αριθμός 2) τα ελικοειδή κεκλιμένα προσπέλασης μέχρι το πρώτο όροφο εκμετάλλευσης, με πράσινο χρώμα (αριθμός 3) η πρώτη φάση εκμετάλλευσης μαζί με τις κύριες διευθυντικές στοές, με πορτοκαλί χρώμα (αριθμός 4) η δεύτερη φάση εκμετάλλευσης, με κόκκινο χρώμα (αριθμός 5) το κομμάτι του κοιτάσματος που θα εκμεταλλευθεί και με γκρι χρώμα (αριθμός 6) οι κεκλιμένες ράμπες που ενώνουν το κάθε όροφο.

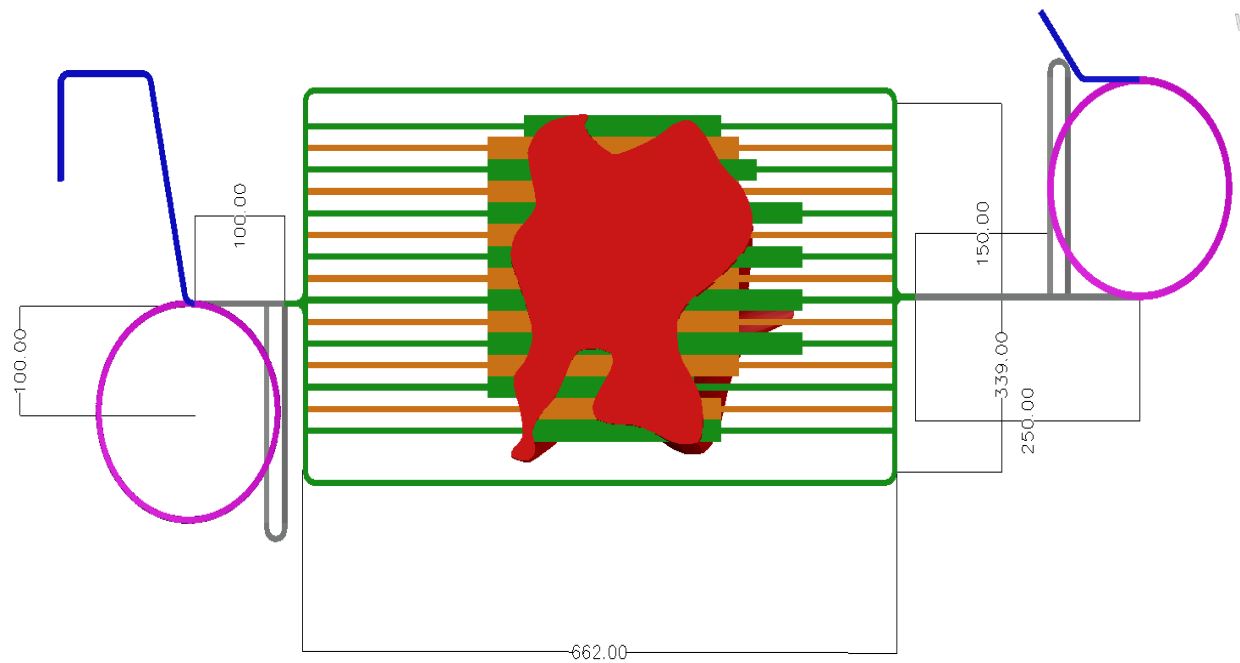




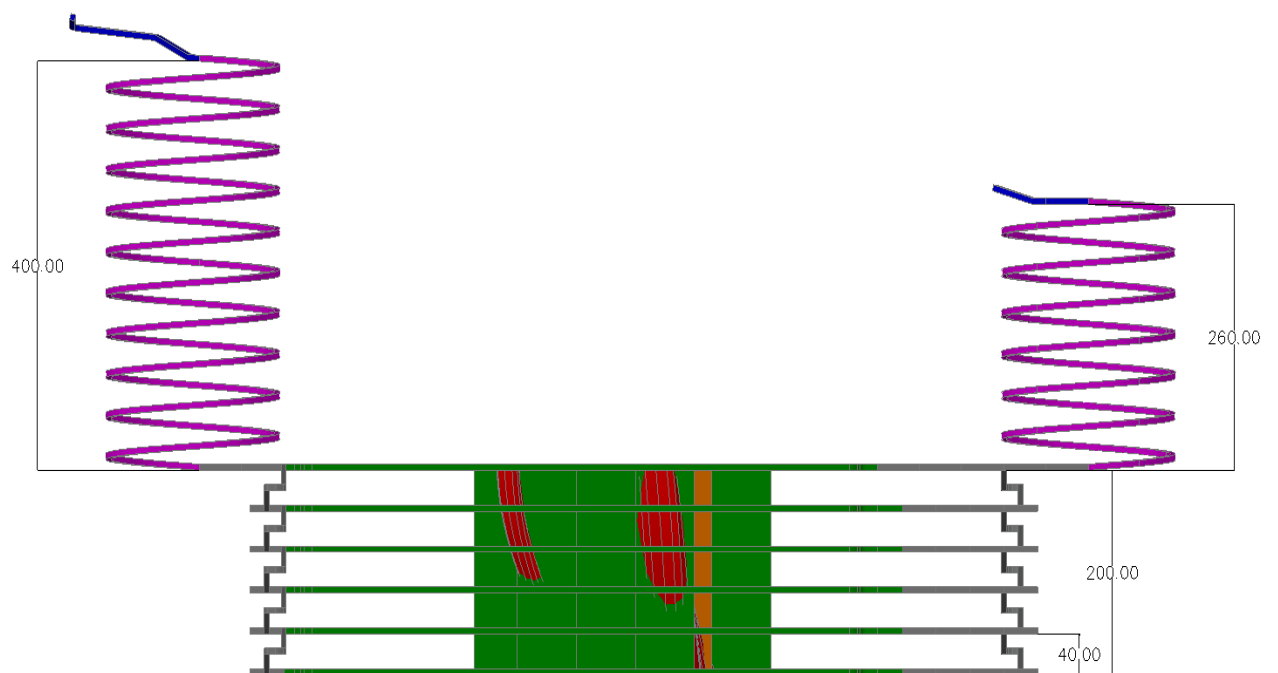
Εικόνα 25 Συνολικά έργα προσπέλασης και εκμετάλλευσης υπογείων



Εικόνα 26 Τρισδιάστατη απεικόνιση έργων προσπέλασης και εκμετάλλευσης υπογείων μαζί με το τοπογραφικό ανάγλυφο



Εικόνα 27 Κάτοψη υπόγειων έργων



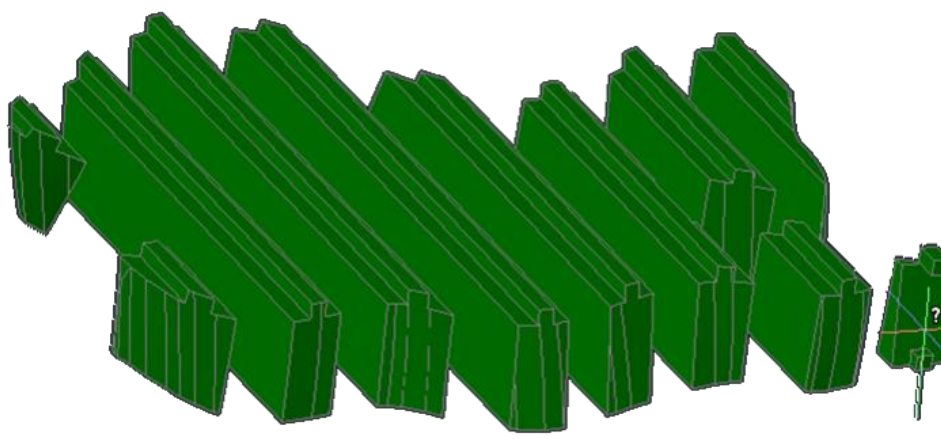
Εικόνα 28 Πλάγια όψη υπόγειων έργων

#### 4.2 Αποτελέσματα όγκων με τη μέθοδο εκμετάλλευσης

Πίνακας 3.1. Μετρήσεις όγκων ανά όροφο εκμετάλλευσης.

Όροφος	1 <sup>η</sup> φάση	2 <sup>η</sup> φάση
1 <sup>ος</sup>	1,496,514m <sup>3</sup>	1,432,632m <sup>3</sup>
2 <sup>ος</sup>	1,459,900m <sup>3</sup>	1,390,719m <sup>3</sup>
3 <sup>ος</sup>	1,456,236m <sup>3</sup>	1,423,650m <sup>3</sup>
4 <sup>ος</sup>	1,405,365m <sup>3</sup>	1,450,698m <sup>3</sup>
5 <sup>ος</sup>	1,353,289m <sup>3</sup>	1,375,684m <sup>3</sup>
Σύνολο	7,171,305m <sup>3</sup>	5,441,066m <sup>3</sup>

Οι μετρήσεις των όγκων του κάθε ορόφου έγιναν με τη χρήση του προγράμματος Civil3D (*Εικόνα 29* Εξορυγμένος όγκος μετά από την εκμετάλλευση του πρώτου ορόφου κατά την πρώτη φάση).



*Εικόνα 29 Εξορυγμένος όγκος μετά από την εκμετάλλευση του πρώτου ορόφου κατά την πρώτη φάση*

## 5. Υπολογισμός εξοπλισμού

Η επιθυμητή παραγωγή για την υπόγεια φάση θεωρείται ότι είναι  $M = 10,000\text{t/day}$  ή  $3,787.9\text{m}^3/\text{day}$ , άρα η ωριαία επιθυμητή παραγωγή είναι

$$Q_{\text{επ.παρ.}} = \frac{10000 \frac{\text{t}}{\text{day}} * \frac{1 \text{ day}}{14\text{hr}}}{0.9 * 2.64 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}} * 1.3 = 390.8\text{m}^3/\text{hr}$$

Πίνακας 5.1. Γενικές θεωρήσεις εργοταξίου.

Ανάκτηση	-	0.9
Απόδοση εργοταξίου	$\eta_{\text{εργ}}$	0.9
Απόδοση μηχανημάτων	$\eta_{\text{μηχ}}$	0.85
Απόδοση κινητήρων	$\eta_{\text{κιν}}$	0.8
Συντελεστής επιπλήσματος	$\epsilon$	1.3
Ειδικό βάρος ( $\text{t}/\text{m}^3$ )	$\gamma$	2.64
Διάρκεια έργων προετοιμασίας (years)	-	10
Εργάσιμες μέρες/χρόνο (days/year)	-	275
Εργάσιμες ώρες/ημέρα (hr/day)	-	14
Βάρδιες/ημέρα (shifts/day)	-	2
Χρόνος κύκλου φόρτωσης εξοπλισμού (min)	$t_{\phi}$	1

### 5.1 Διατρητικός εξοπλισμός

Για τη διάτρηση τόσο των μετώπων όσο και των έργων προσπέλασης αλλά και της υποστήριξής τους προτείνονται τριών ειδών διατρητικά:

- Ειδικό διατρητικό μετώπου τύπου Epiroc BOOMER E για τα έργα προσπέλασης (*Εικόνα 30 Διατρητικό τύπου Epiroc BOOMER E*).
- Διατρητικό κατακόρυφης διάτρησης τύπου Boltec S για την υποστήριξη της οροφής (*Εικόνα 32 Διατρητικό τύπου Boltec S*).
- Διατρητικό κατακόρυφης ακτινικής διάτρησης τύπου Sandvik DL431 για τα ακτινικά διατρήματα της εκμετάλλευσης. (*Εικόνα 33 Διατρητικό τύπου Sandvik DL431*).

Πίνακας 5.2. Στοιχεία μηχανήματος Epiroc BOOMER E

Βραχίονες-σφύρες	2
Σταθερός χρόνος μεταξύ διατρημάτων (min)	2
Ρυθμός διάτρησης (m/min/σφύρα)	3
Μέσο μήκος διατρήματος (m)	3
Ισχύς (HP)	160
Κατανάλωση (lt/HP/h)	0.2
Κόστος κτήσης (€)	400,000



Εικόνα 30 Διατρητικό τύπου Epiroc BOOMER E (Epiroc 2022)

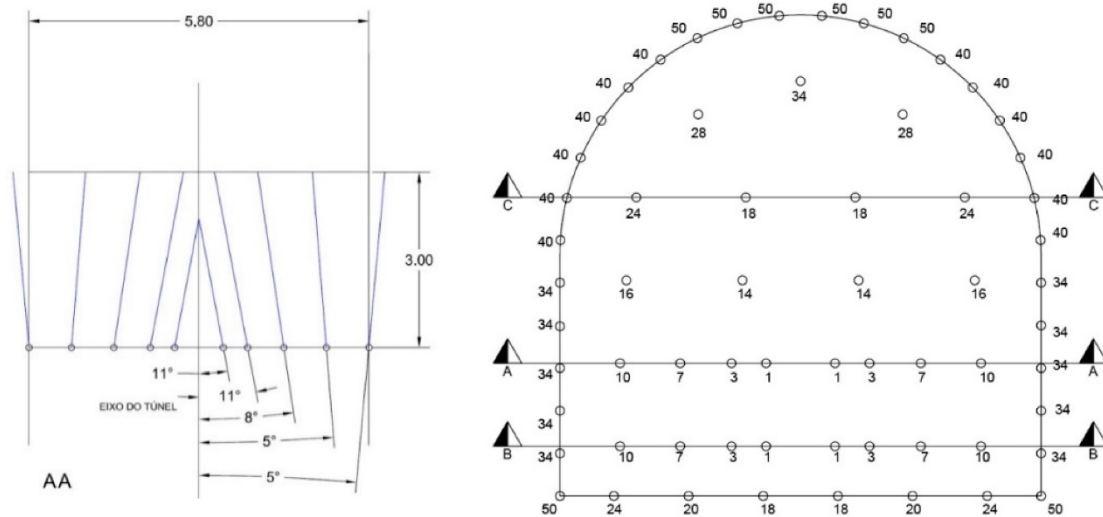
Με τη χρήση του προγράμματος Civil 3D, έγινε εκτίμηση του όγκου που θα πρέπει να εξορυχθεί για τα έργα προσπέλασης στα 3,474,332m<sup>3</sup>. Στον όγκο αυτό περιέχονται η εξόρυξη των ελικοειδών κεκλιμένων, των κεκλιμένων ραμπών, των διευθυντικών στοών και των εγκάρσιων στοών.

Ο ωριαίος ρυθμός διάτρησης

$$Q_{\omega\rho.\pi\rho\sigma\pi.} = \frac{\frac{3474332 \text{ m}^3}{10 \text{ years}} * \frac{1 \text{ year}}{275 \text{ days}} * \frac{1 \text{ day}}{14 \text{ hr}}}{0.9} = 100.27 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

Θεωρείται τετραγωνικό μέτωπο 50 διατρημάτων, μήκους 3m το καθένα, που προκύπτει από τη διάταξη της (Εικόνα 31 Ακολουθία διάτρησης μετώπου που προσαρμόστηκε σε τετραγωνικό προφίλ), με τις κατάλληλες τροποποιήσεις ώστε η τοξωτή διατομή να γίνει τετραγωνική. Το συνολικό μήκος διάτρησης είναι L = 150m κατά προσέγγιση.

Ο όγκος που προκύπτει μετά από κάθε έκρηξη (με βάση τις διαστάσεις των στοών και το μήκος των διατρημάτων 6m x 6m x 3m) είναι 108m<sup>3</sup>.



Εικόνα 31 Ακολουθία διάτρησης μετώπου που προσαρμόστηκε σε τετραγωνικό προφίλ (Cardu, et al. 2021)

Το διατρητικό διαθέτει δύο σφύρες, επομένως σε κάθε μέτωπο κάθε σφύρα κάνει 25 διατρήματα. Ο χρόνος που χρειάζεται για να γίνει η διάνοιξη των 50 διατρημάτων είναι:

$$t = (25\text{διατρ.} * 2\text{min}) + (3\text{m}/3\text{m}/\text{min}) * 50\text{διατρ} = 100\text{min}.$$

Η απόδοση του διατρητικού είναι

$$Q_{\text{αποδ.διατρ.}} = 0.85 * \frac{108\text{m}^3}{100\text{min} * \frac{1\text{hr}}{60\text{min}}} = 55.3\text{m}^3/\text{hr},$$

$$(Q_{\omega\rho.\text{προσπ.}})/(Q_{\text{αποδ.διατρ.}}) = 100.27/55.3 = 1.81$$

άρα θα χρειαστούν 2 διατρητικά τύπου Epiroc BOOMER E

Για την υποστήριξη της οροφής θα χρειαστεί να εκτιμηθεί η επιφάνεια που θα πρέπει να υποστηρίζεται ανά ώρα και στη συνέχεια να συσχετισθεί με την απόδοση του διατρητικού ανιόντων διατρημάτων.



Εικόνα 32 Διατρητικό τύπου Boltec S (Epiroc 2022)

Πίνακας 5.3. Στοιχεία μηχανήματος Boltec S.

Βραχίονες-σφύρες	1
Σταθερός χρόνος μεταξύ διατρημάτων (min)	5
Ρυθμός διάτρησης (m/min/σφύρα)	2.4
Μέσο μήκος διατρήματος (m)	2.4
Ισχύς (HP)	77.8
Κατανάλωση (lt/HP/h)	0.2
Κόστος κτήσης (€)	250,000

Σε ωριαία βάση η επιφάνεια που θα πρέπει να υποστηρίζεται είναι:

$$A = \frac{Q_{\omega\rho.\nu\pi\omicron\varsigma\tau.}}{\mu\acute{\epsilon}\varsigma\omicron\ \acute{\upsilon}\psi\omicron\varsigma\ \sigma\tau\omicron\acute{\alpha}\varsigma} = \frac{100.27 \frac{m^3}{hr}}{6m} = 16.71 m^2/hr$$

Θεωρείται πως για την υποστήριξη ισχύει ότι 1 διάτρημα χρειάζεται ανά 1m<sup>2</sup>. Για μια γνωστή επιφάνεια με πλάτος στοάς 6m και με μέσο μήκος διατρήματος 2.4m, ισχύει ότι, 6m x 2.4m = 14.4m<sup>2</sup>, όπου χρειάζονται περίπου 15 διατρήματα (1 διάτρημα/m<sup>2</sup>). Έτσι ο χρόνος διάτρησης της επιφάνειας είναι (15διατρ/σφύρα x 5min) + (2.4m/min/σφύρα/2.4m) \* 15διατρ = 90min.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι η απόδοση κατά την υποστήριξη είναι:

$$Q_{\alpha\pi\omicron\delta.\nu\pi\omicron\varsigma\tau.} = 0.85 * \frac{14.4m^2}{90min * \frac{1hr}{60min}} = 8.16m^2/hr$$

$$A/Q_{\alpha\pi\omicron\delta.\nu\pi\omicron\varsigma\tau.} = 16.71/8.16 = 2.04$$

άρα θα χρειαστούν 3 διατρητικά τύπου Boltec S.

Για τα κατακόρυφα ακτινικά διατρητικά κατά τη φάση της παραγωγής προτείνεται το Sandvik DL431.

Πίνακας 5.4. Στοιχεία μηχανήματος Sandvik DL431.

Βραχίονες-σφύρες	1
Σταθερός χρόνος μεταξύ διατρημάτων (min)	5
Ρυθμός διάτρησης (m/min/σφύρα)	3
Μέσο μήκος διατρήματος (m)	40 - 50
Ισχύς (HP)	150
Κατανάλωση (lt/HP/h)(θεώρηση)	0.2
Κόστος κτήσης (€)	300,000



Εικόνα 33 Διατρητικό τύπου Sandvik DL431 (Sandvik 2022)

Σε κάθε ανατίναξη ο όγκος του υλικού που προκύπτει είναι  $40\text{m} \times 20\text{m} \times 3.2\text{m} = 2560\text{m}^3$ , το συνολικό μήκος διάτρησης είναι  $20\text{m}/\text{διάτρ.} \times 30\text{διάτρ.} = 600\text{m}$ . Επομένως η ειδική διάτρηση που προκύπτει είναι  $600\text{m} / 2560\text{m}^3 = 0.25\text{m}/\text{m}^3$ , άρα η απαιτούμενη ταχύτητα διάτρησης είναι:  $0.25\text{m}/\text{m}^3 \times 390.8\text{m}^3/\text{hr} = 97.7 \text{ m/hr}$ , η απόδοση του διατρητικού είναι:  $Q \text{ διατρητικού} = 3\text{m}/\text{min} = 180\text{m/hr}$ , επομένως ο αριθμός των διατρητικών που θα χρειαστούν είναι ένα διατρητικό τύπου Sandvik DL431.

## 5.2 Εξοπλισμός φόρτωσης και μεταφοράς για τα έργα προσπέλασης ανατολικά του κοιτάσματος

Η φόρτωση γίνεται με την χρήση του φορτωτή τύπου SANDVIK LH514 (Εικόνα 34 Φορτωτής τύπου SANDVIK LH514 ). Για την φόρτωση και μεταφορά του υλικού πρέπει



να γίνουν ορισμένοι υπολογισμοί όπως, το φορτίο και ο όγκος του υλικού όταν αυτό βρίσκεται σε πλήρη φόρτωση, με σκοπό να υπολογιστεί ο ακριβής αριθμός φορτηγών και φορτωτών που είναι απαραίτητοι.

Πίνακας 5.5. Στοιχεία φορτωτή τύπου SANDVIK LH514.

Ωφέλιμο φορτίο κουβά (tn)	M <sub>φ</sub>	14
Όγκος κουβά m <sup>3</sup>	V <sub>φ</sub>	6
Συντελεστής πλήρωσης	Φ <sub>φ</sub>	1
Χρόνος κύκλου φόρτωσης (min)	t <sub>φ</sub>	1
Ισχύς HP	-	343
Κατανάλωση (lt/HP/hr) (θεώρηση)	-	0.2
Κόστος κτήσης (€/μηχάνημα) (θεώρηση)	-	300,000



Εικόνα 34 Φορτωτής τύπου SANDVIK LH514 ([Sandvik 2022](#))

Ο όγκος του υλικού από τα έργα προπαρασκευής ανατολικά του κοιτάσματος υπολογίστηκαν στα 1,132,075.84m<sup>3</sup>. Στον όγκο αυτό περιέχονται η εξόρυξη του ελικοειδούς κεκλιμένου, των κεκλιμένων ραμπών, των διευθυντικών στοών και των εγκάρσιων στοών ανατολικά του κοιτάσματος.

Για τη φόρτωση και τη μεταφορά η επιθυμητή παραγωγή είναι:

$$Q_{\text{παρ}} = \frac{\frac{1132075,84 \text{ m}^3}{10 \text{ years}} * \frac{1 \text{ year}}{275 \text{ days}} * \frac{1 \text{ day}}{14 \text{ hr}}}{0.9} * 1.3 = 42.47 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

$$Q_{\text{παρ}} = 42.47 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} * 2.64 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} = 112.12 \frac{\text{t}}{\text{hr}}$$

Θεωρείται ότι ο όγκος χαλαρών σε πλήρη φόρτωση  $V_{\chi\varphi}$  είναι ίσος με τον όγκο του κουβά  $V_{\varphi}$ , άρα θα πρέπει να γίνει έλεγχος εάν ο φορτωτής μπορεί να σηκώσει αυτό το φορτίο.

Φορτίο σε πλήρη φόρτωση (tn)

$$V_{\chi\varphi} * \frac{\gamma}{\varepsilon} = 12.18tn < M_{\varphi} = 14tn.$$

Επομένως, ο κουβάς του φορτωτή έχει τη δυνατότητα να σηκώσει τον ζητούμενο όγκο με ποσοστό πλήρωσης κουβά:  $\Pi\% = \frac{V_{\chi\varphi}}{V_{\varphi}} = 100\%$

Ο φορτωτής έχει πραγματική ωριαία παραγωγή:

$$Q_{\varphi} = n_{\mu\eta\chi} * \frac{V_{\chi\varphi}}{t_{\varphi}/60} = 306m^3/hr$$

Άρα οι φορτωτές τύπου SANDVIK LH514 που θα χρειαστούν είναι:

$$z = \frac{Q_{\text{παρ}}}{Q_{\varphi}} = \frac{42.47}{306} = 0.14$$

Για την κάλυψη της παραγωγής υπολογίζονται οι απαιτούμενοι φορτωτές στρογγυλοποιώντας προς τα επάνω, άρα απαιτείται 1 φορτωτής. Παρατηρείται ότι ο επιλεγμένος φορτωτής έχει πολύ μεγαλύτερη δυναμικότητα από την απαιτούμενη και ίσως ένας μικρότερος φορτωτής να ήταν καταλληλότερος.

Πίνακας 5.6. Στοιχεία φορτηγού τύπου TORO™ TH663i.

Μέγιστο Ωφέλιμο φορτίο (t)	B <sub>o</sub>	65
Απόβαρο (t)	B <sub>a</sub>	30
Συντελεστής πλήρωσης (θεώρηση)	Φ <sub>a</sub>	1
Όγκος καρότσας (m <sup>3</sup> )	V <sub>a</sub>	36
Σταθεροί χρόνοι ελιγμών (χωρίς φόρτωση) (min)	t <sub>σταθ</sub>	4
Όριο ταχύτητας (km/hr)	U <sub>R</sub>	33
Ονομαστική ισχύς (HP)	N <sub>a</sub>	758

Κόστος κτήσης (€/μηχάνημα) (θεώρηση)	-	550,000
Κατανάλωση (lt/HP/hr) (θεώρηση)	-	0.2



Εικόνα 35 Φορτηγό τύπου TORO TH663i (Sandvik 2022)

Πριν ξεκινήσει ο υπολογισμός για τον αριθμό των φορτηγών, θα πρέπει να γίνει έλεγχος του φορτίου, να ελεγχθεί αν το φορτηγό μπορεί να μεταφέρει τον όγκο του συγκεκριμένου μεταλλεύματος. Ο έλεγχος γίνεται λαμβάνοντας υπόψιν το ειδικό βάρος το οποίο είναι  $2.64 \text{ t/m}^3$  και τον συντελεστή επιπλήσματος του υλικού που είναι  $\varepsilon=1.3$ , καθώς επίσης και τεχνικά χαρακτηριστικά του φορτηγού που δίνονται στον [πίνακα 5.6](#) τα οποία είναι το ωφέλιμο φορτίο ο συντελεστής πλήρωσης και ο όγκος της καρότσας του φορτηγού.

Τα  $36 \text{ m}^3$  μεταλλεύματος αντιστοιχούν σε:  $\frac{Va}{\varepsilon} = 36 / 1.3 = 27.7 \text{ m}^3$

Όπου

$$27.7 \text{ m}^3 * 3 \text{ t/m}^3 = 83.1 \text{ t} > Bo = 65 \text{ t}$$

άρα οι 65t μεταλλεύματος αντιστοιχούν σε :

$$\frac{Bo}{\gamma} = 65 / 2.64 = 24.6 \text{ m}^3, \text{ όπου } 24.6 \text{ m}^3 * 1.3 = 31.2 \text{ m}^3 < 36 \text{ m}^3$$

Επομένως το φορτηγό μπορεί να μεταφέρει 65t ή  $31.2 \text{ m}^3$  του συγκεκριμένου μεταλλεύματος.

Υπολογισμός αριθμού φορτώσεων:  $\xi = \frac{Bo}{M\phi} = 65t / 14t = 4.64$  φορτώσεις

Στην περίπτωση αυτή ο αριθμός φορτώσεων βρίσκεται στρογγυλοποιώντας προς τα κάτω, άρα χρειάζονται 4 φορτώσεις.

Βυλ = αριθμός φορτώσεων ( $\xi$ ) \*  $M\phi$  = 56t

Πίνακας 5.7. Θεωρήσεις για τα δρομολόγια των εργασιών προπαρασκευής.

Αντίσταση κύλισης (Kp/Mp)	$W_r$	50
Μήκος δρομολογίου (m)	$L$	5520
Μέση κλίση δρόμου (%)	$S$	10
Αντίσταση κλίσης $W_s = 1000S$ (Kp/Mp)	$W_s$	100
Συντελεστής ταχύτητας φορτωμένο	$n_{al}$	0.75
Συντελεστής ταχύτητας άδειο	$n_{ae}$	1

Αρχικά, γίνεται υπολογισμός της ταχύτητας κίνησης φορτωμένου φορτηγού ( $U_{φορτ}$ ) και της μέγιστης ταχύτητας κίνησης φορτηγού ( $U_{max}$ ):

$$U_{max} = \frac{270 * n_{κιν} * Na}{B_o * (w_r + w_s)}$$

$$U_{φορτ} = n_{al} * \frac{270 * n_{κιν} * Na}{(B_o + B_{υλ}) * (w_r + w_s)}$$

Η μέγιστη ταχύτητα κίνησης του φορτηγού είναι ίση με τη ταχύτητα κίνησης του φορτηγού άδειου. Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 5.7 προκύπτουν οι ταχύτητες  $U_{max} = 16.79\text{km/hr}$ ,  $U_{φορτ} = 9.02\text{km/hr}$  για το άδειο και γεμάτο φορτηγό αντίστοιχα. Έπειτα, γίνεται προσδιορισμός του συνολικού χρόνου των δρομολογίων που προκύπτουν αθροίζοντας τους επιμέρους χρόνους των διάφορων θέσεων εργασίας.

Πίνακας 5.8. Αποτελέσματα χρόνων για τις διάφορες θέσεις εργασίας κατά τα έργα προπαρασκευής.

Χρόνος μετακίνησης φορτωμένου φορτηγού (hr)	$\frac{L(km)}{U_{φορτ}(\frac{km}{hr})}$	0.61
Χρόνος μετακίνησης άδειου φορτηγού (hr)	$\frac{L(km)}{U_{max}(\frac{km}{hr})}$	0.33

Χρόνος φόρτωσης (hr)	$t_{\phi} * \xi$	0.06
Χρόνος σταθερών ελιγμών (hr)	$t_{σταθ}$	0.06
Σύνολο (hr)	$t_{ολ}$	1.06

$$V_{\chi\alpha} = \xi * M\phi * \frac{\varepsilon}{\gamma} = 4 * 14 * (1.3 / 2.64) = 27.6 m^3$$

Το φορτηγό υπογείων έχει ωριαία παραγωγή:  $Q_a = \frac{V_{\chi\alpha}}{t_{ολ}} = 26.03 m^3/hr$

Άρα ο αριθμός των φορτηγών τύπου TORO™ TH663i που θα χρειαστούν είναι:

$$Q_{\pi\alpha\rho} / Q_a = 42.47 / 22 = 1.63$$

Για την κάλυψη της παραγωγής γίνεται στρογγυλοποίηση προς τα επάνω, άρα θα χρειαστούν 2 φορτηγά.

### 5.3 Εξοπλισμός φόρτωσης και μεταφοράς για τα έργα προσπέλασης δυτικά του κοιτάσματος

Για την φόρτωση και μεταφορά του υλικού πρέπει να γίνουν ορισμένοι υπολογισμοί όπως, το φορτίο και ο όγκος του υλικού όταν αυτό βρίσκεται σε πλήρη φόρτωση, με σκοπό να υπολογιστεί ο ακριβής αριθμός φορτηγών και φορτωτών που είναι απαραίτητοι.

Ο όγκος του υλικού από τα έργα προπαρασκευής δυτικά του κοιτάσματος υπολογίστηκαν στα 1,719,661 m<sup>3</sup>. Στον όγκο αυτό περιέχονται η εξόρυξη του ελικοειδούς κεκλιμένου, των κεκλιμένων ραμπών, των διευθυντικών στοών και των εγκάρσιων στοών δυτικά του κοιτάσματος.

Για τη φόρτωση και τη μεταφορά η επιθυμητή παραγωγή είναι:

$$Q_{\pi\alpha\rho} = \frac{1719661.84 m^3}{10 years} * \frac{1 year}{275 days} * \frac{1 day}{14 hr} * 1.3 = 64.5 \frac{m^3}{hr}$$

$$Q_{\pi\alpha\rho} = 64.5 \frac{m^3}{hr} * 2.64 \frac{t}{m^3} = 170.28 \frac{t}{hr}$$

Θεωρείται ότι ο όγκος χαλαρών σε πλήρη φόρτωση  $V_{\varphi}$  είναι ίσος με τον όγκο του κουβά  $V_{\varphi}$ , άρα θα πρέπει να γίνει έλεγχος εάν ο φορτωτής μπορεί να σηκώσει αυτό το φορτίο.

Ο φορτωτής υπολογίστηκε στην [ενότητα 5.2](#) και έχει πραγματική ωριαία παραγωγή:  
 $Q_{\varphi} = 306 \text{ m}^3/\text{hr}$

Άρα οι φορτωτές τύπου SANDVIK LH514 που θα χρειαστούν είναι:

$$z = \frac{Q_{\text{παρ}}}{Q_{\varphi}} = \frac{64.5}{306} = 0.21$$

άρα 1 φορτωτής και σε αυτή την περίπτωση θα χρειαζόταν μικρότερης δυναμικότητας φορτωτής.

Τα  $36 \text{ m}^3$  μεταλλεύματος αντιστοιχούν σε:  $V_a/\varepsilon = 36 / 1.3 = 27.7 \text{ m}^3$

Όπου  $27.7 \text{ m}^3 * 3 \text{ t/m}^3 = 83.1 \text{ t} > B_o = 65 \text{ t}$  άρα οι 65t μεταλλεύματος αντιστοιχούν σε :

$$B_o/\gamma = 65 / 2.64 = 24.6 \text{ m}^3, \text{ όπου } 24.6 \text{ m}^3 * 1.3 = 31.2 \text{ m}^3 < 36 \text{ m}^3$$

Επομένως το φορτηγό μπορεί να μεταφέρει 65t ή  $31.2 \text{ m}^3$  του συγκεκριμένου μεταλλεύματος.

Υπολογισμός αριθμού φορτώσεων:  $\xi = B_o / M_{\varphi} = 65 \text{ t} / 14 \text{ t} = 4.64$  φορτώσεις

Στην περίπτωση αυτή ο αριθμός φορτώσεων βρίσκεται στρογγυλοποιώντας προς τα κάτω, άρα χρειάζονται 4 φορτώσεις.

$$B_{\text{υλ}} = \text{αριθμός φορτώσεων } (\xi) * M_{\varphi} = 56 \text{ t}$$

*Πίνακας 5.9 Θεωρήσεις για τα δρομολόγια των εργασιών προπαρασκευής.*

Αντίσταση κύλισης (Kp/Mp)	$W_r$	50
Μήκος δρομολογίου (m)	$L$	7700
Μέση κλίση δρόμου (%)	$S$	10
Αντίσταση κλίσης $W_s = 1000S$ (Kp/Mp)	$W_s$	100
Συντελεστής ταχύτητας φορτωμένο	$n_{al}$	0.75
Συντελεστής ταχύτητας άδειο	$n_{ae}$	1

Αρχικά, γίνεται υπολογισμός της ταχύτητας κίνησης φορτωμένου φορτηγού ( $U_{φορτ}$ ) και της μέγιστης ταχύτητας κίνησης φορτηγού ( $U_{max}$ ):  $U_{max} = 16.79\text{km/hr}$ ,

$$U_{φορτ} = 9.02\text{km/hr}$$

Έπειτα, γίνεται προσδιορισμός του συνολικού χρόνου των δρομολογίων που προκύπτουν από αθροίζοντας τους επιμέρους χρόνους των διάφορων θέσεων εργασίας.

*Πίνακας 5.10. Αποτελέσματα χρόνων για τις διάφορες θέσεις εργασίας κατά τα έργα προπαρασκευής.*

Χρόνος μετακίνησης φορτωμένου φορτηγού(hr)	$\frac{L(km)}{U_{φορτ}(\frac{km}{hr})}$	0.85
Χρόνος μετακίνησης άδειου φορτηγού (hr)	$\frac{L(km)}{U_{max}(\frac{km}{hr})}$	0.46
Χρόνος φόρτωσης(hr)	$t_{\varphi} * \xi$	0.06
Χρόνος σταθερών ελιγμών (hr)	$t_{σταθ}$	0.06
Σύνολο (hr)	$t_{ολ}$	1.43

$$V_{xa} = \xi * M_{\varphi} * \varepsilon/\gamma = 4 * 14 * (1.3 / 2.64) = 27.6m^3$$

Το φορτηγό υπογείων έχει ωριαία παραγωγή:  $Q_a = \frac{V_{xa}}{t_{ολ}} = 19.3m^3/hr$

Άρα ο αριθμός των φορτηγών τύπου TORO™ TH663i που θα χρειαστούν είναι:

$$Q_{παρ}/Q_a = 64.5 / 19.82 = 3.34$$

Για την κάλυψη της παραγωγής γίνεται στρογγυλοποίηση προς τα επάνω, άρα θα χρειαστούν 4 φορτηγά.

#### **5.4 Εξοπλισμός φόρτωσης και μεταφοράς για την παραγωγή**

Ο συνολικός όγκος που θα εκμεταλλευθεί κατά τη φάση της παραγωγής εκτιμήθηκε συνολικά ( από τη 1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup> φάση) στα 12,612,371m<sup>3</sup>. Η επιθυμητή παραγωγή ημερησίως είναι 10000t/day. Επομένως, ο χρόνος ζωής της εκμετάλλευσης είναι:

$$(12612371m^3 * 2.64t/m^3)/(10000 t/day * 275days/year) = 12 \text{ χρόνια}.$$

Πίνακας 5.11. Γενικές θεωρήσεις κατά τη παραγωγή.

Επιθυμητή παραγωγή (t/day)	M	10000
Απόδοση εργοταξίου	νεργ	0.9
Απόδοση μηχανημάτων	ημηχ	0.85
Απόδοση κινητήρων	ηκιν	0.8
Συντελεστής επιπλήσματος	ε	1.3
Ειδικό βάρος (t/m <sup>3</sup> )	γ	2.64
Εργάσιμες μέρες/χρόνο (days/year)	-	275
Εργάσιμες ώρες/ημέρα (hr/day)	-	14
Βάρδιες/ημέρα (shifts/day)	-	2
Χρόνος ζωής εκμετάλλευσης (years)	-	12

Για την μεταφορά και φόρτωση του υλικού στη φάση της εκμετάλλευσης, χρησιμοποιούνται φορτωτές τύπου SANDVIK LH514 (ίδιοι με αυτούς της φάσης των έργων προσπέλασης) και φορτηγά τύπου υπογείων TORO™ TH663i (ίδια με αυτά της φάσης προσπέλασης).

Κατά την εκμετάλλευση η επιθυμητή παραγωγή ανά ώρα είναι:

$$Q_{\text{παρ}} = \frac{\frac{12612371 \text{ m}^3}{12 \text{ years}} * \frac{1 \text{ year}}{275 \text{ days}} * \frac{1 \text{ day}}{14 \text{ hr}}}{0.9} * 1.3 = 233.3 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Με βάση την προηγούμενη [ενότητα 5.3](#), η απόδοση των φορτωτών είναι 306m<sup>3</sup>/hr.

Επομένως, ο απαραίτητος αριθμός για την συγκεκριμένη επιθυμητή παραγωγή είναι:

$$z = \frac{Q_{\text{παρ}}}{Q_{\text{φ}}} = 233.3/306 = 0.76$$

άρα 1 φορτωτής τύπου SANDVIK LH514, επομένως ο συγκεκριμένος φορτωτής που προτείνεται είναι κατάλληλος για την εκμετάλλευση.

Το υλικό από τη φάση παραγωγής μεταφέρεται με φορτηγά υπογείων τύπου TORO™ TH663i, στην επιφάνεια και από την ανατολική και από την δυτική είσοδο.

Εφόσον χρησιμοποιείται ο ίδιος συνδυασμός φορτωτών-φορτηγών ο αριθμός φορτώσεων είναι ο ίδιος με τις προηγούμενες ενότητες, ξ = 4.

Βυλ = αριθμός φορτώσεων (ξ) \* Mφ = 56t



Πίνακας 5.12. Θεωρήσεις για τα δρομολόγια των εργασιών παραγωγής.

Αντίσταση κύλισης (Kp/Mp)	$W_r$	50
Μήκος ανατολικού δρομολογίου (m)	$L_{ανατ.}$	5420
Μήκος δυτικού δρομολογίου (m)	$L_{δυτ.}$	7870
Μέση κλίση δρόμου (%)	$S$	10
Αντίσταση κλίσης $W_s = 1000S$ (Kp/Mp)	$W_s$	100
Συντελεστής ταχύτητας φορτωμένο	$n_{al}$	0.75
Συντελεστής ταχύτητας άδειο	$n_{ae}$	1

Αρχικά, γίνεται υπολογισμός της ταχύτητας κίνησης φορτωμένου φορτηγού ( $U_{φορτ}$ ) και της μέγιστης ταχύτητας κίνησης φορτηγού ( $U_{max}$ ):

$$U_{max} = 16.79 km/hr, U_{φορτ} = 9.02 km/hr$$

Έπειτα, γίνεται προσδιορισμός του συνολικού χρόνου των δρομολογίων που προκύπτουν από αθροίζοντας τους επιμέρους χρόνους των διάφορων θέσεων εργασίας.

Πίνακας 5.13. Αποτελέσματα χρόνων για τις διάφορες θέσεις εργασίας κατά τα έργα παραγωγής.

Χρόνος μετακίνησης φορτωμένου φορτηγού ανατολικά (hr)	$\frac{L_{ανατ.} (km)}{U_{φορτ} (\frac{km}{hr})}$	0.64
Χρόνος μετακίνησης φορτωμένου φορτηγού δυτικά (hr)	$\frac{L_{δυτ.} (km)}{U_{φορτ} (\frac{km}{hr})}$	0.92
Χρόνος μετακίνησης άδειου φορτηγού ανατολικά (hr)	$\frac{L_{ανατ.} (km)}{U_{max} (\frac{km}{hr})}$	0.32
Χρόνος μετακίνησης άδειου φορτηγού δυτικά (hr)	$\frac{L_{δυτ.} (km)}{U_{max} (\frac{km}{hr})}$	0.47
Χρόνος φόρτωσης(hr)	$t_{\phi} * \xi$	0.06
Χρόνος σταθερών ελιγμών (hr)	$t_{σταθ}$	0.06
Σύνολο ανατολικά (hr)	$t_{ολανατ.}$	1.08
Σύνολο δυτικά (hr)	$t_{ολδυτ.}$	1.51

Το φορτηγό υπογείων στο ανατολικό δρομολόγιο έχει ωριαία παραγωγή:

$$Q_{\text{ανατ.}} = \frac{V_{\text{χα}}}{\text{τολανατ.}} = 22.22 \text{ m}^3/\text{hr}, \text{ ενώ στο δυτικό έχει } Q_{\text{δυτ.}} = \frac{V_{\text{χα}}}{\text{τολδυτ.}} = 15.89 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Άρα ο αριθμός των φορτηγών τύπου TORO™ TH663i για το ανατολικό δρομολόγιο είναι:

$$Q_{\text{παρ}}/Q_{\text{ανατ.}} = 233.3 / 22.22 = 10.5$$

άρα θα χρειαστούν 11 φορτηγά.

Ενώ, ο αριθμός των φορτηγών τύπου TORO™ TH663i για το δυτικό δρομολόγιο είναι:

$$Q_{\text{παρ}}/Q_{\text{δυτ.}} = 233.3 / 15.89 = 14.68$$

άρα θα χρειαστούν 15 φορτηγά.

### 5.5 Κοστολόγηση εξοπλισμού και λοιπών έργων

• Λειτουργία (καύσιμα),  $OC = CU * HP * N * U$

• Λιπαντικά  $LC = 0.25 * OC$

• Συντήρηση  $M = MC * C * N$

• Απόσβεση  $D = C * \frac{(1+i)^y \cdot i}{(1+i)^y - 1}$

όπου ισχύουν τα εξής:

HP= Ιπποδύναμη

N= Αριθμός μηχανημάτων

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

CU=συντελεστής χρήσης (hr/year)

MC=συντελεστής συντήρησης μηχανήματος (Επειδή ο εξοπλισμός θα αγοραστεί καινούργιος θεωρείται 0,08)

C=αρχικό κόστος αγοράς

i=επιτόκιο (Θεωρείται i=0,03)

y = χρόνια

Πίνακας 5.13. Δαπάνες εξοπλισμού και εργοστασίου λιθογόμωσης.

Εξοπλισμός	Ποσότητα	Κόστος κτήσης €/τεμάχιο	Κόστος λειτουργίας €/year	Κόστος λι- παντικών €/year	Κόστος συ- ντήρησης €/year	Απόσβεση (€/year)
Epiroc BOOMER E	2	400,000	128,000	32,000	64,000	80,369
Boltec S	3	250,000	87,525	21,881	60,000	75,346
Sandvik DL431	1	300,000	115,500	28,875	24,000	30,138
TORO™ TH663i	20	600,000	11,673,200	2,918,300	960,000	1,205,545
SANDVIK LH514	2	300,000	528,220	132,055	48,000	60,277
Εργοστάσιο λιθογόμωσης		10,000,000				
Σύνολο		24,450,000	12,532,445	3,133,111	1,156,000	1,451,675
Συνολικές Δαπάνες (€/year)			18,273,231			

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει ότι το **κόστος για την εξόρυξη, φόρτωση, μεταφορά μεταλλεύματος και στείρων αλλά και για την κατασκευή του εργοστασίου παρασκευής λιθογόμωσης** για τη συγκεκριμένη μέθοδο και τον συγκεκριμένο εξοπλισμό είναι 6.64€/tn.

Για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους (dry cost) θα πρέπει να συνυπολογιστούν τα κόστη των εκρηκτικών υλών, το κόστος του εργατικού δυναμικού, τα αναλώσιμα για την διατήρηση, ο εξοπλισμός για την υποστήριξη της οροφής, τα οποία το άθροισμά τους μπορεί να ξεπερνά το 50% όλου του μοναδιαίου κόστους.

## 5.6 Εκτίμηση του χρόνου ζωής της φάσης που μελετήθηκε

Ο όγκος που πρόκειται να εξορυχθεί με τη συγκεκριμένη μέθοδο από τη πρώτη και δεύτερη φάση εκμετάλλευσης εκτιμήθηκε στα 12,612,371.7m<sup>3</sup> ή 33,296,661.2t. Με

βάση την ετήσια επιθυμητή παραγωγή στους 2,750,000t/year, η ζωή της φάσης που μελετήθηκε υπολογίζεται στα :

$$33,296,661 / 2,750,000 = 12 \text{ έτη}$$

## 6. Συμπεράσματα-Προτάσεις

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μελέτη για την υπόγεια εκμετάλλευση του πορφυριτικού κοιτάσματος χρυσού-χαλκού στο τμήμα του κοιτάσματος από τα +150m μέχρι τα +350m (απόλυτο υψόμετρο) στις Σκουριές Χαλκιδικής. Η μέθοδος εκμετάλλευσης που επιλέχθηκε είναι η Κενών Μετώπων με λιθογόμωση.

Με βάση τον σχεδιασμό της μεθόδου στο κοίτασμα υπολογίστηκαν τα μεταλλευτικά αποθέματα 12,612,371m<sup>3</sup> και το κόστος για την εξόρυξη, φόρτωση, μεταφορά μεταλλεύματος και στείρων αλλά και για την κατασκευή του εργοστασίου παρασκευής λιθογόμωσης στα 6.64€/tn. Εξαιτίας της θέσης και της γεωμετρίας του κοιτάσματος, πιο αποδοτικό θα ήταν να γίνει πρώτα μια σχεδίαση υπαίθριας εκμετάλλευσης και στη συνέχεια μιας υπόγειας χρησιμοποιώντας τα ήδη προϋπάρχοντα έργα.

Μετά από την εξέταση των ελικοειδών κεκλιμένων προκύπτει ότι είναι γρηγορότερη η πρόσβαση σε κάθε υποόροφο, από την άλλη αυτά τα έργα δημιουργούν πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις από ότι μια κεκλιμένη ευθεία στοά και για τον λόγο αυτό είναι δύσκολη η εφαρμογή της.

Η διάτρηση των μετώπων θα γίνει με διατρήματα σε μορφή βεντάλιας, ενώ για την ανατίναξη των μετώπων θα γίνει χρήση ANFO. Η υποστήριξη των κενών που δημιουργούνται με τη μέθοδο κενών μετώπων μέχρι την λιθογόμωσή τους θα γίνει με τη χρήση κοχλιών οροφής και ταυτόχρονη χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος και πλεγμάτων. Η φόρτωση και μεταφορά του εξορυγμένου υλικού από τα μέτωπα μέχρι την επιφάνεια θα γίνει με τη χρήση φορτωτών υπογείων (LHDs) και φορτηγών υπογείων.

Για την λιθογόμωση των μετώπων απαραίτητη είναι η δημιουργία εργοστασίου λιθογόμωσης πάστας, διότι είναι ένας από τους πιο οικονομικά συμφέροντες τρόπους λιθογόμωσης υπογείων.

Με βάση την ετήσια επιθυμητή παραγωγή, έγινε υπολογισμός του χρόνου ζωής της υπό μελέτη φάσης στα 12 έτη. Επιπλέον, υπολογίστηκε ο εξοπλισμός που θα χρειαστεί: 2 διατρητικά μετώπων, 3 διατρητικά ανιόντων διατρημάτων, 1 διατρητικό ακτινικών διατρημάτων, 2 φορτωτές, με τον ένα από τους δύο, με βάση τους υπολογισμούς να είναι μικρότερης δυναμικότητας από ότι πρότεινα στο κείμενο. Τέλος χρειάζονται 20 φορτηγά για όλες τις φάσεις του έργου.

Στη συνέχεια προτείνεται να εξεταστεί η αρχική εκμετάλλευση του κοιτάσματος με υπαίθρια εκμετάλλευση και περαιτέρω συνέχιση της εκμετάλλευσης με υπόγεια. Επιπλέον θα μπορούσε, εκτός από τη περιεκτικότητα σε χρυσό να γίνει συνεκτίμηση και της περιεκτικότητας σε χαλκό σαν δευτερεύον προϊόν. Επιπρόσθετα ένας σημαντικός παράγοντας λειτουργίας των υπογείων που δεν έχει ληφθεί υπόψιν είναι η απαιτήσεις σε αερισμό που αυξάνουν το κόστος της εκμετάλλευσης.

## Βιβλιογραφία

### Ελληνικές:

- Λούκος, Ι. 2012. Διερεύνηση της δυνατότητας εμπλουτισμού χαλκούχου κοιτάσματος της περιοχής “Σκουριές” Χαλκιδικής. Διπλωματική Εργασία. ΕΜΠ.
- Ξηρουδάκης, Γ. 2022. Πανεπιστημιακές σημειώσεις μαθήματος «Σχεδιασμός Υπογείων Εκμεταλλεύσεων». Χανιά.
- Περουλάκης. 2019. Σχεδιασμός εκμετάλλευσης κοιτάσματος χρυσού χαλκού με συνδυασμό υπόγειας και υπαίθριας εκμετάλλευσης. Χανιά.
- Σαράτσης, Γ. 2022. Πανεπιστημιακές σημειώσεις μαθήματος «Σχεδιασμός Υπογείων Εκμεταλλεύσεων». Χανιά.
- Τζεφέρης, Π. (Επιμέλεια). 2015. Τα πορφυρικά κοιτάσματα χαλκού και το κοιτάσμα των Σκουριών. <http://www.orykta.gr/>.
- Τσιραμπίδης, Α. 2005. Ο ορυκτός πλούτος της Ελλάδος. Εκδόσεις Γιαχούδη.
- Χρηστίδης, Γ. 2022. «Πανεπιστημιακές σημειώσεις μαθήματος «Κοιτασματολογία»». Χανιά.

### Ξενόγλωσσες:

- AtlasCopco. 2007. «Sublevel Stoping Operation. Photograph.» Στο *Sublevel Stoping Operation*, του/της The Atlas Copco Group. <https://www.atlascopco.com/>.
- Belem, T., & Benzaazoua, M. 2008. *Design and application of underground mine paste backfill technology*.
- Cardu, M., S. Saltarin, C. Todaro, και C. Deangeli. 2021. «Precision rock excavation: beyond controlled blasting and line drilling.» *Mining*, 192-210.
- Eldorado-Gold. 2018. *Technical Report Skouries Project Greece 2018*. Eldorado Gold.

- ENVECO. 2013. *Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταλλευτικών-μεταλλουργικών εγκαταστάσεων της εταιρίας Ελληνικός Χρυσός στη Χαλκιδική*. Αθήνα.
- Epiroc. 2022. *Epiroc*. <https://www.epiroc.com/>.
- Evert Hoek, David. F. Wood. 1987. *SUPPORT IN UNDERGROUND*. Toronto.
- Hambley, A. R., Kumar, N., & Kulkarni, A. R. 2011. *Electrical engineering: principles and applications*. New Jersey: Pearson Education.
- Hartman. 2002. *Introductory Mining Engineering. 2nd ed.* New York: Wiley.
- . 1992. *SME Mining Engineering Handbook. 2nd. Vol. 1*. Littleton, Colorado.
- Hustrulid, W. A., and A. N. Brown. 1982. *Underground Mining Methods Handbook*. New York.
- Karimnia, H., & Bagloo, H. 2015. *Optimum mining method selection using fuzzy analytical hierarchy process—Qapiliq salt mine*. Iran: International Journal of Mining Science and Technology.
- McIsaac, George. 2006. *Mine 244: Underground Mining*. Kingston.
- MiningInfo. 2022. *MiningInfosite*. <https://sites.google.com/site/mininginfosite/>.
- Orykta. 2022. *Orykta*. <http://www.orykta.gr/>.
- Sandvik. 2022. *Sandvik*. <https://www.rocktechnology.sandvik/en/>.
- Scalise, Lauren Avery, Andrew Mountford, Danielle Piercey, and Dylan Labrech. 2011. *Part of the MINE 448 Underground Mine Design Course taught by Stephen McKinnon at Queen's University*.
- Wikipedia. 2022. *Wikipedia*. <https://en.wikipedia.org/>.