



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

**«Σχεδιασμός υπόγειας εκμετάλλευσης κοιτάσματος σιδηρονικελίου Β.Α  
Ακρών»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Άγγελος Τέλλης**

Επιβλέπων: Μπενάρδος Ανδρέας, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2022

**«Σχεδιασμός υπόγειας εκμετάλλευσης κοιτάσματος σιδηρονικελίου Β.Α  
Ακρών»**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Άγγελος Τέλλης**

Επιβλέπων: Μπενάρδος Ανδρέας, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 28/7/2022

**Μπενάρδος Ανδρέας, Αναπληρωτής Καθηγητής,**..... (Υπογραφή)

**Μενεγάκη Μαρία, Καθηγήτρια,**..... (Υπογραφή)

**Μιχαλακόπουλος Θεόδωρος, Καθηγητής,**..... (Υπογραφή)

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ένα βαθύ ευχαριστώ στην οικογένεια μου και τους φίλους μου για την ατελείωτη στήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Ακόμη ειδικές ευχαριστίες επιβάλλεται να αφιερώσω στον συνάδελφο κ. Ν.Μποζίκη για την πληθώρα πληροφοριών και ιδεών που μου προσέφερε αδιάκοπα σε όλες τις φάσεις της εργασίας μου. Επιπλέον να ευχαριστήσω τον γεωλόγο κ. Σ.Παππά και όλο το προσωπικό της ΛΑΡΚΟ Γ.Μ.Μ.Α.Ε για τις πληροφορίες τόσο της περιοχής όσο και του κοιτάσματος. Τέλος ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στον καθηγητή μου κ. Α.Μπενάρδο για την ανάθεση του θέματος και την διαρκή υποστήριξη που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην παρούσα διπλωματική εξετάζεται η μετάβαση της εκμετάλλευσης του κοιτάσματος νικελίου των ΒΑ Ακρών Ευβοίας από επιφανειακή σε υπόγεια. Η επιλογή και η υλοποίηση της κατάλληλης μεθόδου γίνεται με στόχο την οικονομικότερη εκμετάλλευση εντός των γεωτεχνικών παραμέτρων και της γενικότερης βιωσιμότητας του έργου. Στη συνέχεια πραγματοποιείται μία πλήρης ανάλυση της διαδικασίας σχεδιασμού της εκμετάλλευσης, συνοδευόμενη από γεωτεχνικούς ελέγχους και την τελική εκτίμηση του κόστους ανά τόνο εξορυσσόμενου μεταλλεύματος.

## **ABSTRACT**

The present thesis examines the transition of the nickel deposit exploitation in the location of Akres, Evia from open pit to underground mining. The selection and implementation of the appropriate method is done with the aim of the most economical exploitation within the geotechnical parameters and general viability of the project. Following that, an analysis of the mining planning process is carried out, accompanied by geotechnical testing and the final estimate of the cost per ton of extracted ore.

## Περιεχόμενα

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Εισαγωγή.....   | 10 |
| 1.1   | Νικέλιο.....  | 10 |
| 1.2   | Κοιτασματολογία Νικελίου.....                             | 12 |
| 1.3   | Κοιτάσματα.....   | 13 |
| 1.4   | Μεταλλουργία νικελίου.....                                | 16 |
| 1.5   | ΛΑΡΚΟ.....  | 17 |
| 1.6   | Υπογειοποίηση.....  | 18 |
| 2     | Αναγνώριση περιοχής.....                                  | 25 |
| 2.1   | Η περιοχή.....  | 25 |
| 2.2   | Γεωλογικοί σχηματισμοί περιοχής μεταλλείου.....           | 27 |
| 2.3   | Γεωλογία.....   | 29 |
| 2.4   | Γεωτεχνική ανάλυση.....                                   | 31 |
| 2.4.1 | Υπερκείμενα:.....   | 31 |
| 2.4.2 | Κοίτασμα:.....  | 34 |
| 2.4.3 | Υποκείμενα:.....  | 35 |
| 2.4.4 | Λόγος Poisson.....  | 38 |
| 2.4.5 | RMR-RSS.....  | 39 |
| 2.5   | Υδρογεωλογία.....   | 40 |
| 3     | Επιλογή μεθόδου.....                                      | 40 |
| 3.1   | ΘΑΛΑΜΟΙ ΚΑΙ ΣΤΥΛΟΙ (room and pillar).....                 | 42 |
| 3.2   | ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΕΣ ΚΟΠΕΣ ΚΑΙ ΛΙΘΟΓΟΜΩΣΕΙΣ (cut and fill)..... | 46 |
| 4     | Μοντελοποίηση κοιτάσματος.....                            | 49 |
| 5     | Υπολογισμός διάρκειας ζωής.....                           | 52 |
| 6     | Σχεδιασμός εκμετάλλευσης.....                             | 53 |
| 6.1   | Φάσεις.....   | 56 |
| 6.2   | Στοιχεία σχεδιασμού.....                                  | 61 |
| 6.3   | Σειρά μετώπων.....  | 63 |
| 6.3.1 | Προσβολή από άκρα.....                                    | 63 |
| 6.3.2 | Προσβολή κεντροβαρικά.....                                | 65 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 7      | Γεωτεχνική προσομοίωση .....                               | 66  |
| 7.1    | Ελικοειδές.....  | 66  |
| 7.2    | Διευθυντικές .....   | 68  |
| 7.3    | Μόνιμα ανοικτές στοές εντός κοιτάσματος .....              | 70  |
| 7.4    | Κατώτερο επίπεδο εκμετάλλευσης.....                        | 73  |
| 7.5    | Μέση εκμετάλλευση .....                                    | 75  |
| 8      | Διάτρηση γόμωση ανατίναξη .....                            | 76  |
| 8.1    | Διάτρηση .....   | 76  |
| 8.2    | Γόμωση-Επιγόμωση .....                                     | 77  |
| 8.3    | Έναυση .....   | 77  |
| 8.4    | Σχεδιασμός ανατίναξης .....                                | 78  |
| 9      | Αερισμός.....  | 85  |
| 10     | Αποκομιδή.....   | 88  |
| 11     | Ξεσκάρωμα .....  | 88  |
| 12     | Υποστήριξη .....   | 89  |
| 12.1   | Στοιχεία-Παράμετροι .....                                  | 89  |
| 12.2   | Υπολογισμός Q.....   | 91  |
| 12.3   | Λιθογόμωση.....  | 98  |
| 12.3.1 | Λιθογόμωση με τσιμεντοπολφό (CRF Cemented Rock Fill) ..... | 99  |
| 12.3.2 | Ξηρή λιθογόμωση.....                                       | 99  |
| 13     | Χρόνοι .....   | 100 |
| 14     | Υπολογισμός βαρδιών.....                                   | 103 |
| 14.1   | Ρουτίνες .....   | 105 |
| 14.1.1 | Ρουτίνα Α .....  | 105 |
| 14.1.2 | Ρουτίνα Β .....  | 108 |
| 15     | Προσωπικό.....   | 112 |
| 16     | Μηχανήματα .....   | 112 |
| 17     | Κόστη .....  | 113 |
| 17.1   | Διάτρηση.....  | 114 |
| 17.2   | Γόμωση.....  | 114 |
| 17.3   | Αερισμός.....  | 115 |
| 17.4   | Μεταφορές υλικών .....                                     | 116 |
| 17.5   | Ξεσκάρωμα.....   | 117 |

|       |                                   |     |
|-------|-----------------------------------|-----|
| 17.6  | Υποστήριξη.....                   | 117 |
| 17.7  | Λιθογόμωση με τσιμεντοπολφό ..... | 118 |
| 17.8  | Raise boring.....                 | 119 |
| 17.9  | Προσωπικό .....                   | 119 |
| 17.10 | Κτήση μηχανημάτων.....            | 119 |
| 17.11 | Τελική ανάλυση.....               | 121 |
| 18    | Σημειώσεις.....                   | 121 |
| 19    | Συμπεράσματα .....                | 122 |
| 20    | Βιβλιογραφία .....                | 124 |
| 21    | Παράρτημα .....                   | 126 |

## Ευρετήριο εικόνων

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Εικόνα 1  | Μετεωρίτης πλούσιος σε σιδηρονικέλιο ( <a href="http://meteorite.unm.edu">http://meteorite.unm.edu</a> ).....                            | 11 |
| Εικόνα 2  | Μέρος κινητήρα εσωτερικής καύσης με επιμετάλλωση κράματος Ni ( <a href="http://www.helmut-fischer.com">www.helmut-fischer.com</a> )..... | 11 |
| Εικόνα 3  | Τομή επιφανειακής εκμετάλλευσης βάθους 100m.....   | 19 |
| Εικόνα 4  | Τομή επιφανειακής εκμετάλλευσης βάθους 200m.....   | 19 |
| Εικόνα 5  | Τομή επιφανειακής εκμετάλλευσης βάθους 300m.....   | 20 |
| Εικόνα 6  | Κομμάτι κοιτάσματος μη εκμεταλλεύσιμο από open pit.....  | 21 |
| Εικόνα 7  | Υπόγειο κοίτασμα Βρυσάκια (Benardos et al., 2021) .....  | 24 |
| Εικόνα 8  | Θέση κοιτάσματος .....   | 26 |
| Εικόνα 9  | Αεροφωτογραφία θέσης κοιτάσματος.....  | 26 |
| Εικόνα 10 | Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας, Μεγάλη Ελληνική Εγκυκλοπαίδεια, 1934.....   | 27 |
| Εικόνα 11 | Γεωλογικός χάρτης περιοχής κοιτάσματος Β.Α Ακρών ( I.Γ.Μ.Ε 1981) .....   | 28 |
| Εικόνα 12 | Στρωματογραφική στήλη περιοχής Ακρών (I.Γ.Μ.Ε 1981) .....  | 29 |
| Εικόνα 13 | Δεδομένα εισόδου UBC .....   | 41 |
| Εικόνα 14 | Μέθοδος θαλάμων και στύλων (Atlas Corco) .....   | 42 |
| Εικόνα 15 | Διάγραμμα Πλάτος στύλου-Συντελεστή ασφαλείας.....  | 45 |
| Εικόνα 16 | Διάγραμμα Απόληψης-Συντελεστή ασφαλείας.....   | 45 |
| Εικόνα 17 | Drift and fill (Atlas Corco).....  | 47 |
| Εικόνα 18 | Πλάγια όψη δύο ορόφων της εκμετάλλευσης .....  | 48 |
| Εικόνα 19 | Κάτοψη ορόφου εκμετάλλευσης .....  | 48 |
| Εικόνα 20 | Τοπογραφία επιφάνειας.....   | 49 |
| Εικόνα 21 | Τομή ΑΑ'.....  | 49 |
| Εικόνα 22 | Πλάγια όψη κοιτάσματος .....   | 50 |
| Εικόνα 23 | Προφίλ του κοιτάσματος .....   | 50 |
| Εικόνα 24 | Κοίτασμα μετά από περικοπή.....  | 51 |
| Εικόνα 25 | Διατομή στοάς 5Χ5 .....  | 54 |
| Εικόνα 26 | Διατομή στοάς 4Χ4 .....  | 54 |

|   |     |
|---|-----|
| Εικόνα 27 Διατομή στοάς 4Χ3.5 .....   | 55  |
| Εικόνα 28 Διατομή φρέατος.....  | 55  |
| Εικόνα 29 Τομείς κοιτάσματος.....   | 56  |
| Εικόνα 30 Α φάση εκμετάλλευσης .....  | 57  |
| Εικόνα 31 Β φάση εκμετάλλευσης .....  | 58  |
| Εικόνα 32 Γ φάση εκμετάλλευσης .....  | 59  |
| Εικόνα 33 Δ φάση εκμετάλλευσης .....  | 60  |
| Εικόνα 34 Δ φάση της εκμετάλλευσης .....  | 61  |
| Εικόνα 35 Στόμια εκμετάλλευσης και φρέαρ.....   | 62  |
| Εικόνα 36 Κάτοψη ορόφου.....  | 64  |
| Εικόνα 37 Τρόπος ανάπτυξης συνήθη ορόφου .....  | 64  |
| Εικόνα 38 Πλάγια όψη τριών ορόφων .....   | 65  |
| Εικόνα 39 Χαμηλότεροι όροφοι με κεντροβαρική προσβολή.....  | 65  |
| Εικόνα 40 Τρόπος ανάπτυξης κατώτερων ορόφων .....   | 66  |
| Εικόνα 41 Ελικοειδές .....  | 67  |
| Εικόνα 42 Μετακινήσεις ελικοειδούς.....   | 67  |
| Εικόνα 43 Πολλαπλές διευθυντικές .....  | 68  |
| Εικόνα 44 Σχέδιο διευθυντικών .....   | 69  |
| Εικόνα 45 Μετακινήσεις διευθυντικών .....   | 69  |
| Εικόνα 46 Στοές Α και Β εντός του κοιτάσματος.....  | 70  |
| Εικόνα 47 Στοά Α .....  | 71  |
| Εικόνα 48 Στοά Β .....  | 71  |
| Εικόνα 49 Μετακινήσεις στοάς Α.....   | 72  |
| Εικόνα 50 Μετακινήσεις στοάς Β.....   | 72  |
| Εικόνα 51 Κατώτερο επίπεδο εκμετάλλευσης .....  | 73  |
| Εικόνα 52 Σχέδιο κατώτερης εκμετάλλευσης.....   | 74  |
| Εικόνα 53 Μετακινήσεις κατώτερου επιπέδου εκμετάλλευσης .....                                       | 74  |
| Εικόνα 54 Ανερχόμενη εκμετάλλευση σε μέσο βάθος .....   | 75  |
| Εικόνα 55 Μετακινήσεις μέσης εκμετάλλευσης.....   | 76  |
| Εικόνα 56 Γραμμική πυκνότητα πρώτου τετραγώνου .....  | 79  |
| Εικόνα 57 Γραμμική πυκνότητα τετραγώνων (εκτός πρώτου).....   | 79  |
| Εικόνα 58 Υπολογισμός γόμωσης πυθμένα.....  | 81  |
| Εικόνα 59 Σχέδιο ανατίναξης σήραγγας 5Χ5.....   | 82  |
| Εικόνα 60 Σχέδιο ανατίναξης σήραγγας 4Χ4.....   | 83  |
| Εικόνα 61 Σχέδιο ανατίναξης σήραγγας 4Χ3,5.....   | 83  |
| Εικόνα 62 Θέση υπολογισμού ισχύος ανεμιστήρων .....   | 86  |
| Εικόνα 63 Ξεσκαρώτης σε δράση ( <a href="http://www.gradall.com">http://www.gradall.com</a> ) ..... | 89  |
| Εικόνα 64 Υπολογισμός υποστήριξης παρειών.....  | 93  |
| Εικόνα 65 Υπολογισμός υποστήριξης οροφής .....  | 93  |
| Εικόνα 66 Ενδεικτική υποστήριξη σε στοά 5Χ5.....  | 95  |
| Εικόνα 67 Θέση αποθήκης.....  | 103 |



## Ευρετήριο πινάκων

|  |     |
|--|-----|
| Πίνακας 1 Μεγαλύτερα ορυχεία νικελίου στον κόσμο ( <a href="https://www.mining-technology.com">https://www.mining-technology.com</a> ) . | 14  |
| Πίνακας 2 Πίνακας παγκόσμιων παραγωγών και αποθεμάτων νικελίου (U.S. Geological Survey, 2022).....                                       | 14  |
| Πίνακας 3 Ετήσια παραγωγή και εργατικό δυναμικό ορυχείων σιδηρονικελίου ΛΑΡΚΟ (2013) .....   | 18  |
| Πίνακας 4 Χαρακτηριστικά εκσκαφών επιφανειακής εκμετάλλευσης.....  | 20  |
| Πίνακας 5 Παράμετροι λιθολογικής ενότητας Ksm.1 .....  | 32  |
| Πίνακας 6 Παράμετροι λιθολογικής ενότητας Ksm.2 .....  | 33  |
| Πίνακας 7 Παράμετροι λιθολογικής ενότητας FeNi. 2.....   | 35  |
| Πίνακας 8 Παράμετροι λιθολογικής ενότητας Js.1 .....   | 36  |
| Πίνακας 9 Παράμετροι λιθολογικής ενότητας Oph.1.....   | 38  |
| Πίνακας 10 Τιμές λόγου Poisson ( $\nu$ ).....  | 39  |
| Πίνακας 11 Τιμές RMR-RSS .....   | 39  |
| Πίνακας 12 Αποτελέσματα UBC.....   | 41  |
| Πίνακας 13 Χαρακτηριστικά μεθόδου θαλάμων και στύλων για διάφορα πλάτη στύλων .....  | 44  |
| Πίνακας 14 Αποθέματα .....   | 52  |
| Πίνακας 15 Διάρκεια ζωής μεταλλείου κατά Taylor.....   | 53  |
| Πίνακας 16 Χαρακτηριστικά στοών .....  | 53  |
| Πίνακας 17 Συγκεντρωτικά στοιχεία στοών .....  | 62  |
| Πίνακας 18 Υπολογισμός χαρακτηριστικών τετραγώνων προεκσκαφής .....  | 80  |
| Πίνακας 19 Υπολογισμός χαρακτηριστικών διατρημάτων .....   | 80  |
| Πίνακας 20 Χαρακτηριστικά κύριων και περιφερειακών διατρημάτων .....   | 81  |
| Πίνακας 21 Μάζες εκρηκτικών ανά διάτρημα .....   | 82  |
| Πίνακας 22 Αριθμός είδους διατρημάτων αντιπροσωπευτικών διατρημάτων εκάστοτε διατομής .....  | 84  |
| Πίνακας 23 Σύνολο διατρημάτων .....  | 84  |
| Πίνακας 24 Συνολικές μάζες εκρηκτικών .....  | 85  |
| Πίνακας 25 Ίπποι ανεμιστήρων.....  | 88  |
| Πίνακας 26 Τιμές ESR.....  | 91  |
| Πίνακας 27 Έργα με λιθολογικές ενότητες.....   | 91  |
| Πίνακας 28 Συγκεντρωτικός πίνακας στοιχείων .....  | 92  |
| Πίνακας 29 Τιμές Q, Qwall, De.....   | 92  |
| Πίνακας 30 Χαρακτηριστικά υποστήριξης .....  | 94  |
| Πίνακας 31 Ανάγκες υποστήριξης ανά διατομή .....   | 96  |
| Πίνακας 32 Ολικές απαιτήσεις υποστήριξης.....  | 96  |
| Πίνακας 33 Επιπλέον αγκύρια.....   | 97  |
| Πίνακας 34 Όγκοι προς λιθογόμωση.....  | 99  |
| Πίνακας 35 Ανάγκες Cemented Rock Fill .....  | 99  |
| Πίνακας 36 Ολικές ανάγκες λιθογόμωσης .....  | 100 |
| Πίνακας 37 Χρόνοι έργων .....  | 102 |
| Πίνακας 38 Βάρδια συνεργείου 1 ημέρα 1.....  | 105 |
| Πίνακας 39 Βάρδια συνεργείου 1 ημέρα 2.....  | 106 |

|  |     |
|--|-----|
| Πίνακας 40 Βάρδια συνεργείου 3 .....                                       | 106 |
| Πίνακας 41 Βάρδια συνεργείου 3 .....                                       | 106 |
| Πίνακας 42 Συγκεντρωτικός πίνακας βαρδιών πρώτης ημέρας (ρουτίνα Α).....   | 107 |
| Πίνακας 43 Συγκεντρωτικός πίνακας βαρδιών δεύτερης ημέρας (ρουτίνα Α)..... | 108 |
| Πίνακας 44 Βάρδια συνεργείου 1 ημέρα 1.....                                | 109 |
| Πίνακας 45 Βάρδια συνεργείου 2 ημέρα 1.....                                | 109 |
| Πίνακας 46 Βάρδια συνεργείου 3 ημέρα 1.....                                | 109 |
| Πίνακας 47 Βάρδια συνεργείου 1 ημέρα 2.....                                | 110 |
| Πίνακας 48 Βάρδια συνεργείου 2 ημέρα 2.....                                | 110 |
| Πίνακας 49 Βάρδια συνεργείου 3 ημέρα 2.....                                | 110 |
| Πίνακας 50 Συγκεντρωτικός πίνακας βαρδιών πρώτης ημέρας (ρουτίνα Β).....   | 111 |
| Πίνακας 51 Συγκεντρωτικός πίνακας βαρδιών δεύτερης ημέρας (ρουτίνα Β)..... | 111 |
| Πίνακας 52 Προσωπικό.....  | 112 |
| Πίνακας 53 Μηχανήματα .....  | 113 |
| Πίνακας 54 Μισθοδοσία εργαζομένων .....                                    | 119 |
| Πίνακας 55 Κόστος ανά τόνο μεταλλεύματος.....                              | 120 |

## Ευρετήριο διαγραμμάτων

|  |     |
|--|-----|
| Διάγραμμα 1 Ποσοστά παγκόσμιας παραγωγής νικελίου .....  | 15  |
| Διάγραμμα 2 Ποσοστά αποθεμάτων νικελίου.....   | 16  |
| Διάγραμμα 3 Βάθος κοιτάσματος- σχέση αποκάλυψης.....   | 21  |
| Διάγραμμα 4 ΛΑΡΚΟ ΓΜΜΑΕ παραγωγή και περιεκτικότητα νικελίου τα τελευταία 50 χρόνια(Benardos et al., 2021) ..... | 23  |
| Διάγραμμα 5 Κόστη (%) .....  | 121 |

## 1 Εισαγωγή

### 1.1 Νικέλιο

Το νικέλιο (Ni) είναι χημικό στοιχείο αποτελούμενο από 28 ηλεκτρόνια, 31 νετρόνια και 28 πρωτόνια. Βρίσκεται στην 4<sup>η</sup> περίοδο του περιοδικού πίνακα ενώ ανήκει στην ομάδα VIII B αυτού. Είναι μέταλλο σιδηρομαγνητικό με ιδιαίτερη αντοχή στη διάβρωση και ασημόλευκο

χρώμα. Η θερμοκρασία τήξης του υπό ατμοσφαιρική πίεση ανέρχεται στους 1455 °C ενώ κρυσταλλώνεται στο κυβικό εδροκεντρωμένο σύστημα (FCC). Ο φλοιός της γης περιέχει κατά μέσο όρο 75ppm νικελίου ενώ η ελάχιστη απαιτούμενη συγκέντρωση για εκμετάλλευση είναι τα 2.000ppm ή το 0,5% κατά βάρος μεταλλεύματος. (Τριανταφυλλίδης, 2019)



Εικόνα 1 Μετεωρίτης πλούσιος σε σιδηρονικέλιο (<http://meteorite.unm.edu>)

Οι πρώτες εμφανίσεις χρήσης Νικελίου εντοπίζονται από το 3500πχ με τη μορφή μετεωρικού σιδηρονικελίου ενώ η απομόνωση του χημικού στοιχείου έγινε το 1751 από τον σουηδό Axel Fredrik Cronstedt. Το όνομα του στοιχείου προέρχεται από κάκβουλο ξωτικό της γερμανικής μυθολογίας των μεταλλωρύχων μίας και αυτό εμφανιζόταν σε κράματα με το χαλκό που δεν επιδέχονταν διαχωρισμό και λήψη του ζητούμενου χαλκού. ('Britannica, T. Editors of Encyclopaedia. "nickel", 2019)

Η μεγαλύτερη κατανάλωση νικελίου (>80%) λαμβάνει χώρα για τους σκοπούς της μεταλλουργίας με την ενσωμάτωση του σε ανοξείδωτους χάλυβες και γενικότερα σε κράματα υψηλής αντοχής και σκληρότητας. Ακόμη χρήση του μετάλλου γίνεται και σε επιμεταλλώσεις αντικειμένων και εξαρτημάτων προσδίδοντας τους αυξημένη θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα καθώς και μειωμένη φθορά από την έκθεση τους σε περιβαλλοντικούς παράγοντες. Επιπλέον ολοένα αυξανόμενη είναι η χρήση του νικελίου στην δημιουργία μπαταριών Ni-Cd (Νικελίου-Καδμίου) και Li-ion (Ιόντων λιθίου) με χρήση του 7% της παγκόσμιας παραγωγής του μετάλλου. (<https://nickelinstitute.org>)



Εικόνα 2 Μέρος κινητήρα εσωτερικής καύσης με επιμετάλλωση κράματος Ni ([www.helmut-fischer.com](http://www.helmut-fischer.com))

## 1.2 Κοιτασματολογία Νικελίου

Στην φύση το νικέλιο συναντάται είτε σε μορφή οξειδίων και υδροξειδίων εντός λατεριτών είτε σε μορφή σουλφιδίων.

### Λατεριτες

Ο κύριος μηχανισμός δημιουργίας του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος εντός λατεριτών βασίζεται στην αποσάθρωση των πετρωμάτων ολιβίνη ( $Mg,Fe_2SiO_4$ ) και σερπεντίνη ( $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ ). Στη φύση δύναται να αντικατασταθεί μέρος των ατόμων μαγνησίου του ορυκτού με νικέλιο το οποίο όμως είναι αρχικά σε πολύ χαμηλή συγκέντρωση (0,15-0,2%).

Για τη δημιουργία των εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων σιδηρονικελίου πρέπει να συμβούν ορισμένες αντιδράσεις υδρόλυσης των πετρωμάτων με τη βοήθεια των φυσικών υδάτων που ρέουν από την επιφάνεια προς μεγαλύτερα βάθη. Με αυτόν τον τρόπο τα πιο δυσκίνητα στοιχεία (π.χ Fe και Al) παραμένουν στη θέση τους ενώ τα πιο ευκίνητα (π.χ Ni και Co) μπορούν να διαλυτοποιηθούν και να παρασυρθούν βαθύτερα δημιουργώντας διακριτές ζώνες με μεγάλο εμπλουτισμό σε αυτά. Το φαινόμενο ονομάζεται λατεριτική αποσάθρωση και δημιουργεί τους εξής ορίζοντες από πάνω προς τα κάτω:

Πισολιθικός: Υψηλή συγκέντρωση Fe και Al (<60%), πλήρης εξαφάνιση του αρχικού ιστού του μητρικού πετρώματος

Αργιλικός: Εμφάνιση κυρίως αργιλικών ορυκτών, συγκεντρώσεις δυσδιάλυτων στοιχείων Fe και Al αλλά και σε πιο περιορισμένο βαθμό Ni (<1%) ,μερική διατήρηση του αρχικού ιστού του μητρικού πετρώματος

Σαπρολίτη: Σταδιακά αντικαθιστά το μητρικό πέτρωμα, υψηλή συγκέντρωση Ni (<3%), παρουσία Fe

Τέτοιου είδους κοιτάσματα αποτελούνται κυρίως από νικελιούχο λιμονίτη  $[(Fe,Ni)O(OH)]$  και γαρνιερίτη (μείγμα διαφόρων ένυδρων πυριτικών φάσεων Mg-Ni). Το κοιτάσμα μπορεί να παραμείνει στον αρχικό χώρο δημιουργίας του (αυτόχθονο) ή λόγω της εξαλλοιωμένης φύσης του να μεταφερθεί και να αποτεθεί πάνω από άλλα υπερβασικά πετρώματα ή να εγκλωβιστεί σε καρστ ανθρακικών πετρωμάτων όπως στην περίπτωση των Ακρών Ευβοίας. (Τριανταφυλλίδης, 2019)

## Σουλφίδια

Προέρχονται από καθίζηση θειούχων φάσεων εντός μαγματικών θαλάμων με τα κύρια ορυκτά που σχηματίζονται να είναι ο πυροτίτης ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ), ο πετλανδίτης  $[(\text{Fe},\text{Ni},\text{Co})_9\text{S}_8]$  και ο χαλκοπυρίτης ( $\text{CuFeS}_2$ ). Κοιτάσματα αυτού του είδους υπάρχουν στο Ontario του Καναδά με 400 εκατομμύρια τόνους μεταλλεύματος με μέση περιεκτικότητα 1,1% Ni και στο Norilsk της Ρωσίας με την περιεκτικότητα νικελίου να φτάνει το 3,5%. (Τριανταφυλλίδης, 2019)

Μία ακόμα πηγή σιδηρονικελίου είναι οι διάφοροι μετεωρίτες που πέφτουν στη επιφάνεια της γης και συνήθως αποτελούνται από κράματα με περιεκτικότητα 10% σε νικέλιο.

Υπολογίζεται από το παγκόσμιο απόθεμα νικελίου των 300 εκατομμυρίων τόνων, το 60% είναι λατεριτικό ενώ το 40% είναι με τη μορφή σουλφιδίων. (U.S. Geological Survey, 2022)

### 1.3 Κοιτάσματα

Στην Ελλάδα τα κοιτάσματα Νικελίου διακρίνονται από σχετικά χαμηλές περιεκτικότητες (<1,5%) με την ηλικία τους να κυμαίνεται από 40 έως 100 εκατομμύρια χρόνια. Τα κύρια κοιτάσματα του ελληνικού χώρου βρίσκονται στη Λοκρίδα Ευβοίας, στον Άγιο Ιωάννη Φθιώτιδας και στην Ιεροπηγή Καστοριάς. Ακόμη μικρότερα κοιτάσματα και εμφανίσεις συναντώνται στην Έδεσσα, στην Αττική, στα Γρεβενά, στο Βέρμιο, στην Κοζάνη, στη Σκύρο και στη Μυτιλήνη. (Τριανταφυλλίδης, 2019).

Τα επιβεβαιωμένα κοιτάσματα στην Ελλάδα υπολογίζονται σε 500 εκατομμύρια τόνους μεταλλεύματος ενώ τα πιθανά σε 1 δισεκατομμύριο τόνους με τη χώρα μας να κατέχει περίπου το 1,7% της παγκόσμιας παραγωγής. (Αποστολίκας, 2010)

Σε παγκόσμια κλίμακα τα μεγαλύτερα ορυχεία νικελίου περιλαμβάνουν τα:

Πίνακας 1 Μεγαλύτερα ορυχεία νικελίου στον κόσμο (<https://www.mining-technology.com>)

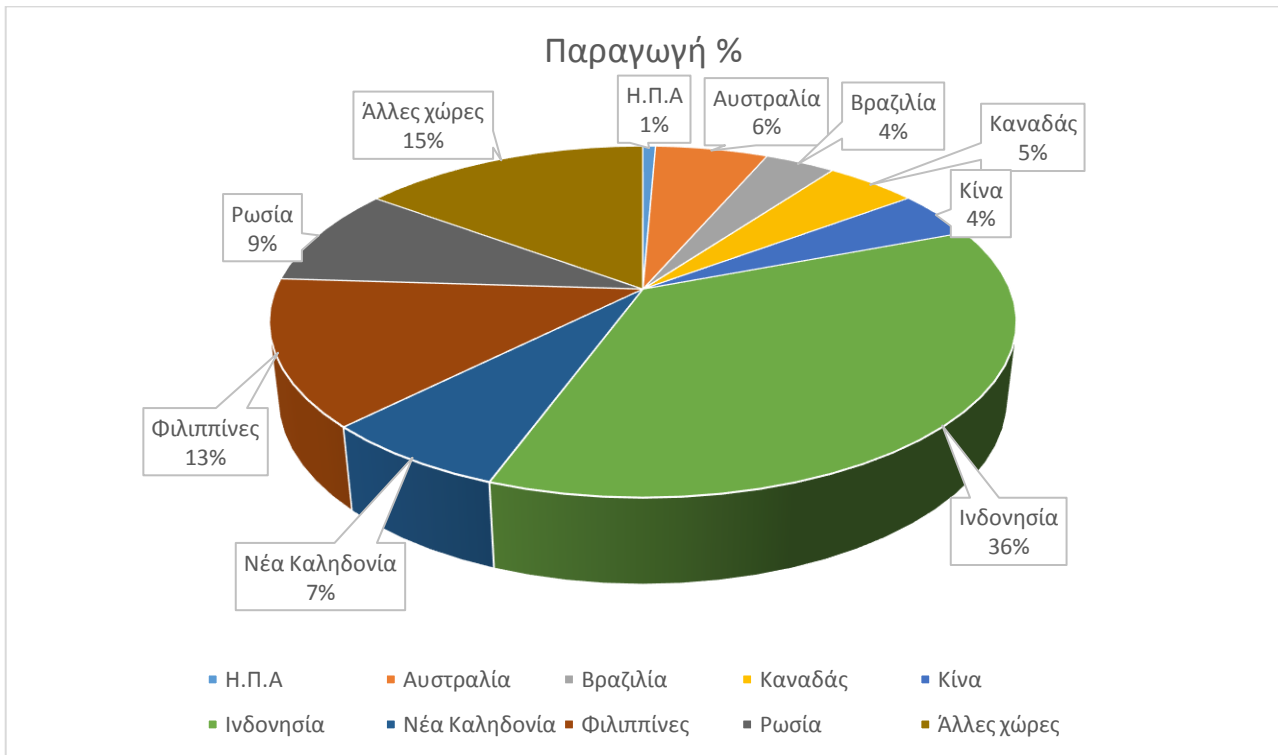
| Όνομα ορυχείου       | Χώρα       | Παραγωγή 2020<br>(10 <sup>3</sup> tn Ni) | Εκτιμώμενη ημερο-<br>μηνία εξόφλησης<br>κοιτάσματος |
|----------------------|------------|--|---|
| <b>Sorowako</b>      | Ινδονησία  | 71,6                                     | 2045  |
| <b>Taganito</b>      | Φιλιππίνες | 67,3                                     | 2049  |
| <b>Oktyabrsky</b>    | Ρωσία      | 60                                       | 2025  |
| <b>Rio Tuba</b>      | Φιλιππίνες | 46,5                                     | 2028  |
| <b>Yiwan</b>         | Ινδονησία  | 43                                       | -   |
| <b>Komsomolsky</b>   | Ρωσία      | 42                                       | -   |
| <b>Taimyrsky</b>     | Ρωσία      | 42                                       | 2038  |
| <b>Cerro Matoso</b>  | Κολομβία   | 40,5                                     | 2029  |
| <b>Raglan</b>        | Καναδάς    | 39,2                                     | 2027  |
| <b>Murrin Murrin</b> | Αυστραλία  | 36,4                                     | 2042  |

Από τα παραπάνω είναι εμφανές ότι το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας παραγωγής νικελίου γίνεται από τις χώρες Ινδονησία, Φιλιππίνες και Ρωσία. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνεται αν δούμε την παγκόσμια παραγωγή ως προς τις εκάστοτε χώρες:

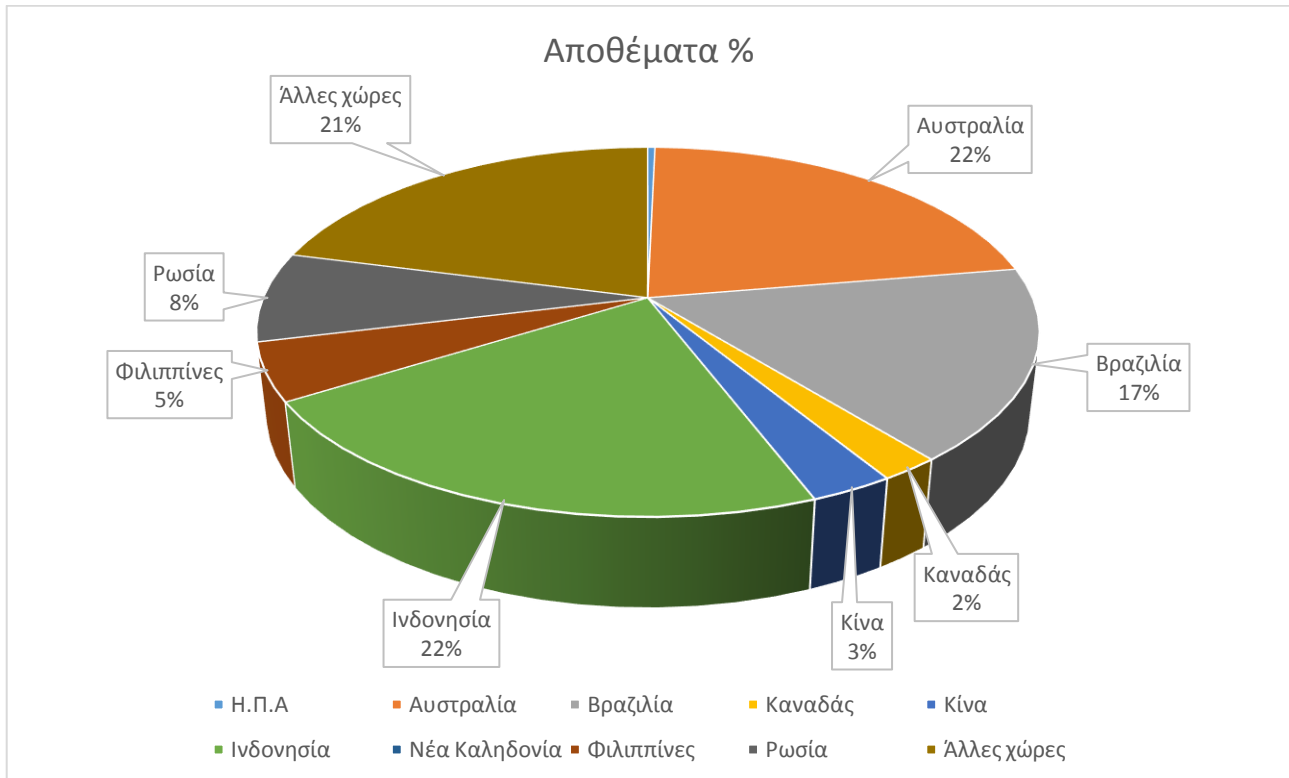
Πίνακας 2 Πίνακας παγκόσμιων παραγωγών και αποθεμάτων νικελίου (U.S. Geological Survey, 2022)

| Χώρα             | Παραγωγή νικελίου 2021<br>(10 <sup>3</sup> tn) | Αποθέματα (10 <sup>3</sup> tn) |
|------------------|--|--------------------------------|
| <b>Η.Π.Α</b>     | 18   | 340                            |
| <b>Αυστραλία</b> | 160  | 21.000                         |
| <b>Βραζιλία</b>  | 100  | 16.000                         |
| <b>Καναδάς</b>   | 130  | 2.000                          |
| <b>Κίνα</b>      | 120  | 2.800                          |
| <b>Ινδονησία</b> | 1.000  | 21.000                         |

|                      |             |                     |
|----------------------|-------------|---------------------|
| <b>Νέα Καληδονία</b> | 190         | - (Μη δημοσιευμένα) |
| <b>Φιλιππίνες</b>    | 370         | 4.800               |
| <b>Ρωσία</b>         | 250         | 7.500               |
| <b>Άλλες χώρες</b>   | 410         | 20.000              |
| <b>Σύνολο</b>        | <u>2748</u> | <u>&gt;95440</u>    |



Διάγραμμα 1 Ποσοστά παγκόσμιας παραγωγής νικελίου



*Διάγραμμα 2 Ποσοστά αποθεμάτων νικελίου*

Η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων νικελίου γίνεται κυρίως επιφανειακά ενώ πιο σπάνια (>2% των περιπτώσεων) (<http://www.larco.gr/>) εφαρμόζεται υπόγεια εκμετάλλευση. Ακόμη σε ορισμένες περιπτώσεις η υπόγεια εκμετάλλευση διαδέχεται στο ίδιο ορυχείο την επιφανειακή (υπογειοποίηση) κάτι που θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

#### 1.4 Μεταλλουργία νικελίου

Για την εξαγωγή του νικελίου από το μετάλλευμα στην Ελλάδα η πιο συνήθης μέθοδος είναι αυτή της τήξης του προς παραγωγή σιδηρονικελίου. Αρχικά το μετάλλευμα λειοτριβείται σε διάσταση κόκκου περίπου 25mm και προστίθεται μαζί με στερεά καύσιμα (συνήθως ορυκτοί γαιάνθρακες) σε περιστροφικούς καμίνους. Εκεί με τη χρήση υψηλών θερμοκρασιών (400-900°C) και αντιροής αέρα το μετάλλευμα ξηραίνεται και τα οξειδία νικελίου και σιδήρου προαγάγονται. Στη συνέχεια το υλικό υπόκειται σε αναγωγική τήξη εντός ηλεκτρικών καμίνων εμβαπτιζόμενου τόξου και παράγεται σιδηρονικέλιο περιεκτικότητας περίπου 15% Ni καθώς και σκουριά που περιέχει οξειδία άλλων μετάλλων όπως σιδήρου ασβεστίου και πυριτίου. Έπειτα το σιδηρονικέλιο εμπλουτίζεται σε μεταλλάκτες OBM με την θέρμανση του στους 1800°C και



εμφύσησης οξυγόνου και προπανίου στον πυθμένα του μεταλλάκτη. Με αυτόν τον τρόπο μέρος του Fe οξειδώνεται και το προϊόν εμπλουτίζεται σε Ni. (<http://www.larco.gr>). Η μέθοδος βρίσκει εφαρμογές ακόμη στην Κολομβία, στη Δομινικανή Δημοκρατία, στη Βενεζουέλα και στην Ιαπωνία. Η μέθοδος έχει υψηλές ενεργειακές ανάγκες και επομένως είναι αρκετά κοστοβόρα. (Ουσταδάκης, 2014) Για αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί υδρομεταλλουργικές μέθοδοι (Caron, Freeport Sulfur) οι οποίες εξάγουν το νικέλιο μέσω εκχύλισης και έχουν σαφώς μικρότερο κόστος.

### 1.5 ΛΑΡΚΟ

Η εταιρία ΛΑΡΚΟ ΓΜΜΑΕ (Γενική Μεταλλευτική και Μεταλλουργική Ανώνυμη Εταιρία) αποτελεί σήμερα τη μοναδική εταιρία παραγωγής σιδηρονικελίου στην Ελλάδα που έχει αναλάβει την εκμετάλλευση των αντίστοιχων κοιτασμάτων στη χώρα μας.

Η εταιρία ιδρύθηκε το 1963 από τον Πρόδρομο Αθανασιάδη 'Μποδοσάκη', με τη πρώτη παραγωγή σιδηρονικελίου να λαμβάνει χώρα τρία χρόνια μετά, με την δημιουργία εργοστασίου στην Λάρυμνα. Το 1969 ξεκινά η ανάπτυξη των μεταλλείων Ευβοίας και το 1976 η ΛΑΡΚΟ γίνεται η πρώτη μεταλλουργική εταιρία που εισάγει κοκκοποιημένο σιδηρονικέλιο στην αγορά. Στη συνέχεια το 1992 η εταιρία πιστοποιείται με ISO 9000 επιβεβαιώνοντας σε παγκόσμια κλίμακα την ποιότητα του προϊόντος. Το 1992 ξεκινά η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων Ιεροπηγής στο νομό Καστοριάς. Μέχρι σήμερα η ΛΑΡΚΟ συνεχίζει τη λειτουργία της σε συνεργασία με ευρωπαϊκούς φορείς και διαρκείς εκσυγχρονισμούς στον εξοπλισμό και τις μεθόδους της. (<http://www.larco.gr>)

Η εταιρεία εκμεταλλεύεται κοιτάσματα νικελίου στις περιοχές Εύβοια, Άγιος Ιωάννης και Καστοριά με τις παραγωγές σε μέταλλευμα να κυμαίνονται κατά μέσο όρο στους 2,3 εκατομμύρια τόνους το χρόνο με την παραγωγή καθαρού νικελίου να αγγίζει τους 19.000 τόνους το χρόνο. Ακόμη, το παραχθέν σιδηρονικέλιο έχει μηδενικό ποσοστό άνθρακα, που θεωρείται ανεπιθύμητος, αλλά και ποσότητες κοβαλτίου που βελτιώνουν τις αντοχές των νικελιούχων χαλύβων ή με τις σωστές διεργασίες δύναται να διαχωριστεί και να εισαχθεί στην αγορά.

Πίνακας 3 Ετήσια παραγωγή και εργατικό δυναμικό ορυχείων σιδηρονικελίου ΛΑΡΚΟ (2013)

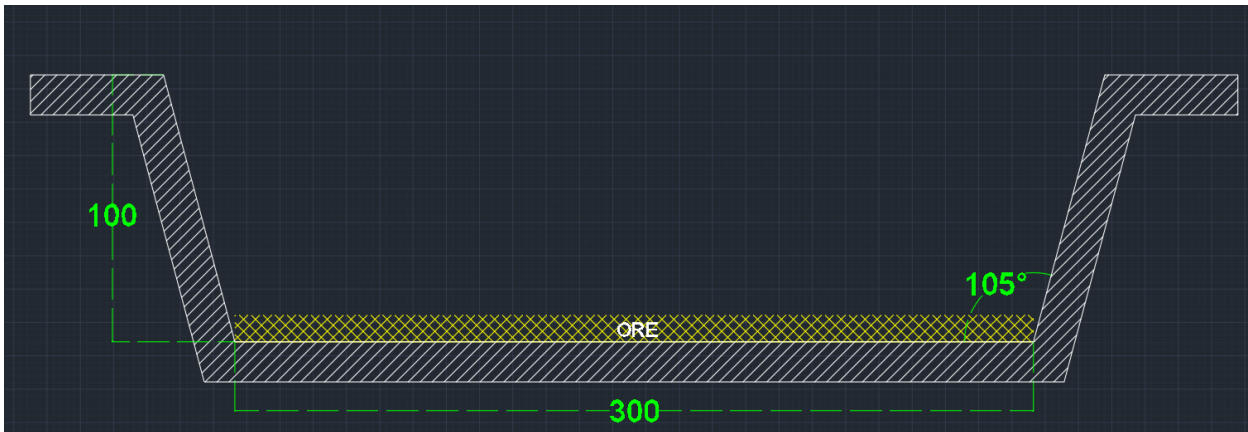
| Περιοχή       | Παραγωγή μεταλλεύματος<br>(tn/y) | Εργαζόμενοι |
|---------------|----------------------------------|-------------|
| Εύβοια        | 1.200.000-1.500.000              | 235         |
| Άγιος Ιωάννης | 500.000-600.000                  | 160         |
| Καστοριά      | 350.000-450.000                  | 130         |

Το μέταλλευμα προωθείται στο μεταλλουργικό εργοστάσιο στη Λάρυμνα και από εκεί μέσω του λιμανιού της περιοχής εξάγεται αποκλειστικά σε ευρωπαϊκούς παραγωγούς χαλύβων. Η ΛΑΡΚΟ είναι υπεύθυνη για την παραγωγή του 5% του νικελίου στην Ευρώπη ενώ οι πωλήσεις της καλύπτουν το 1% των ελληνικών εξαγωγών. (Αποστολίκας και Κουντουρελλης, 2014)

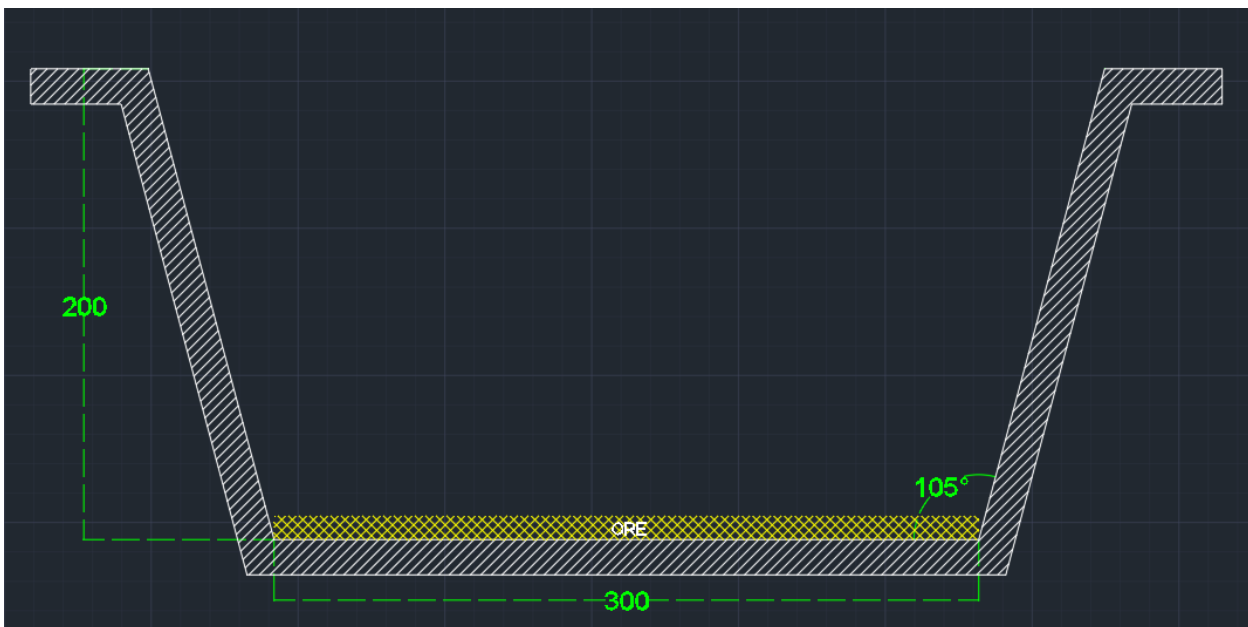
### 1.6 Υπογειοποίηση

Η εξόρυξη σιδηρονικελίου στην Ελλάδα λαμβάνει χώρα κατά συντριπτική πλειοψηφία μέσω επιφανειακής εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων με μόλις το 2% να γίνεται υπόγεια όπως στα μεταλλεία του Αγίου Ιωάννη (<http://www.larco.gr>). Όμως με την διαρκή εκμετάλλευση των εν λόγω κοιτασμάτων οι περιεκτικότητες τους στους ανώτερους ορίζοντες αρχίζουν και πλησιάζουν μη κερδοφόρες συγκεντρώσεις νικελίου. Λόγω αυτού αρχίζουν και διαφαίνονται τα μειονεκτήματα της επιφανειακής εκμετάλλευσης τα οποία γίνονται εμφανέστερα στο ακόλουθο παράδειγμα:

Εξετάστηκε τομή open pit επιφανειακής εκμετάλλευσης που σχεδιάστηκε προς εξόρυξη ενός επίπεδου ορίζοντα μεταλλεύματος πάχους 10m και διατομής 300x100m. Τα πρανή του ανάστροφου κώνου που δημιουργήθηκε έχουν κλίση 75° και εξετάστηκαν τρία πιθανά βάθη κοιτάσματος στα 100,200 και 300m.



Εικόνα 3 Τομή επιφανειακής εκμετάλλευσης βάθους 100m



Εικόνα 4 Τομή επιφανειακής εκμετάλλευσης βάθους 200m

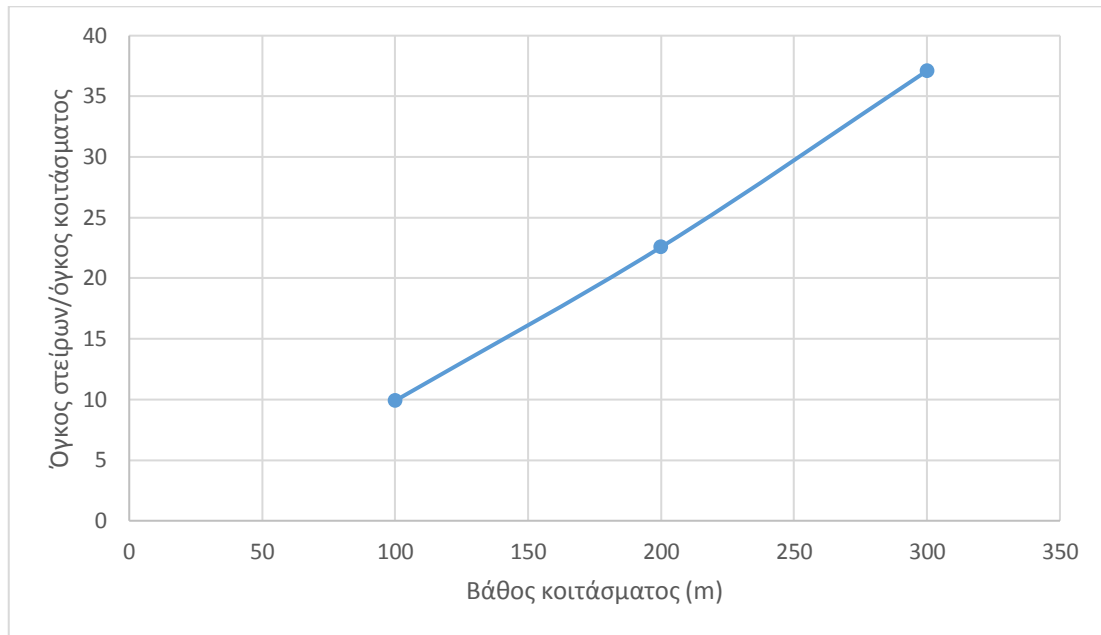


Εικόνα 5 Τομή επιφανειακής εκμετάλλευσης βάθους 300m

Μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος Autodesk AutoCAD υπολογίστηκε το εμβαδόν του εκάστοτε αναστροφου κώνου το οποίο έπειτα πολλαπλασιάστηκε με τα 100m του πλάτους του κοιτάσματος που θέσαμε προηγουμένως, για να δοθεί σε κάθε περίπτωση ο όγκος των συνολικών εκσκαφών. Ακόμη γνωρίζοντας τον όγκο του κοιτάσματος ( $300 \cdot 100 \cdot 10 = 300.000 \text{ m}^3$ ) με αφαίρεση βρίσκουμε τον όγκο των στείρων.

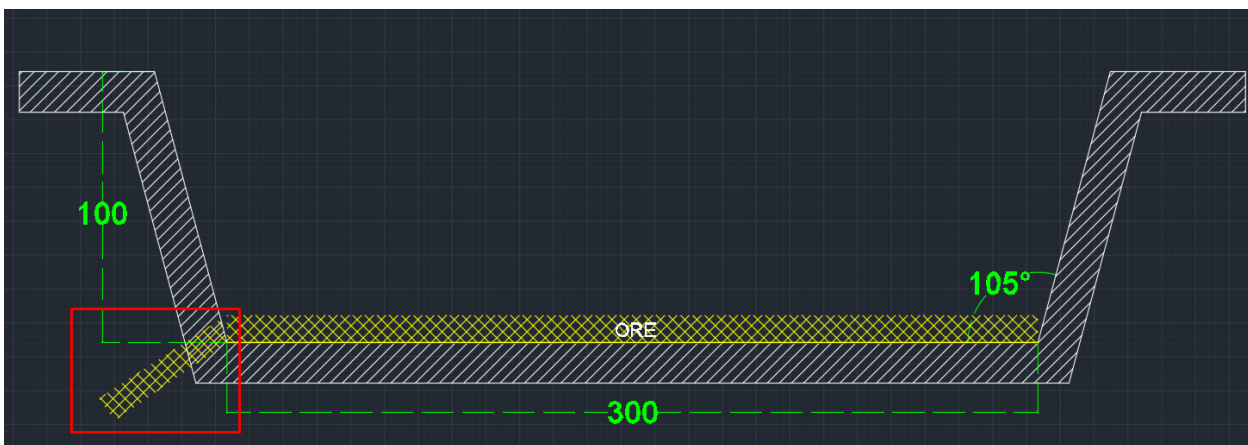
Πίνακας 4 Χαρακτηριστικά εκσκαφών επιφανειακής εκμετάλλευσης

| Βάθος εκσκαφής (m) | Εκσκαφές συνολικές (m <sup>3</sup> ) | Στείρα (m <sup>3</sup> ) | όγκος στείρων/όγκος κοιτάσματος (σχέση αποκάλυψης) |
|--------------------|--------------------------------------|--------------------------|--|
| 100                | 3.270.000                            | 2.970.000                | 10   |
| 200                | 7.070.000                            | 6.770.000                | 23   |
| 300                | 11.430.000                           | 11.130.000               | 37   |



Διάγραμμα 3 Βάθος κοιτάσματος- σχέση αποκάλυψης

Από τα παραπάνω αποτυπώνονται οι γεωμετρικές αδυναμίες των επιφανειακών εκμεταλλεύσεων σε μεγαλύτερα βάθη όπου τα στείρα που πρέπει να απομακρυνθούν αυξάνονται γραμμικά σε σχέση με το βάθος του κοιτάσματος. Ακόμη το συνολικό αποτύπωμα του κώνου της εκσκαφής ακολουθεί παρόμοια πορεία απαιτώντας μεγαλύτερες εκτάσεις από τη γύρω περιοχή. Ακόμη, πολλές φορές λόγω γεωλογικών διαδικασιών (πχ ρήγματα) κομμάτι του κοιτάσματος μπορεί να βυθίζεται σε μεγαλύτερα βάθη με εντονότερες κλίσεις κάνοντας την επιφανειακή εκμετάλλευση του ασύμφορη.



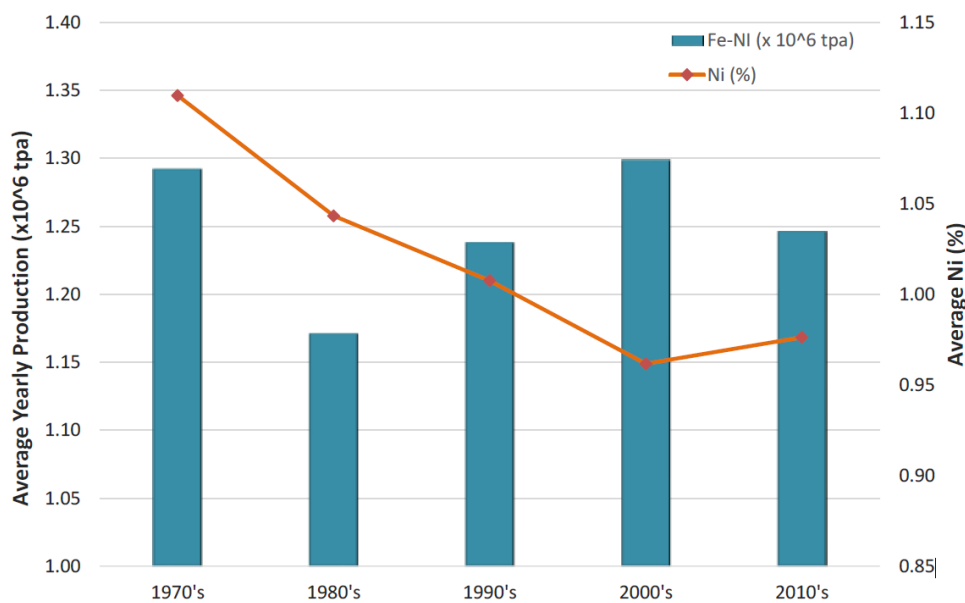
Εικόνα 6 Κομμάτι κοιτάσματος μη εκμεταλλεύσιμο από open pit

Σε παγκόσμια κλίμακα έχουν υπάρξει πολλές μεταβάσεις εκμεταλλεύσεων (όχι μόνο νικελίου) από επιφανειακές σε υπόγειες με κάποια παραδείγματα να είναι τα εξής:

- **Limporo:** Στις αρχές του 1990 η εταιρία Palabora Mining που διαχειριζόταν το ορυχείο χαλκού της περιοχής Limporo στη Νότια Αφρική έγινε η πρώτη μεταλλευτική εταιρία στον κόσμο που αποφάσισε την πλήρη αλλαγή της μεθόδου εκμετάλλευσης από επιφανειακή σε υπόγεια. Το υπόγειο μεταλλείο ξεκίνησε να λειτουργεί υπόγεια το 2004 κάνοντας χρήση της μεθόδου block caving (κατακρήμνιση οροφής) με το πάχος του block να κυμαίνεται από 450m έως 700m. Το ορυχείο παράγει κατά μέσο όρο 30.000 tn μεταλλεύματος τη μέρα.
- **Chuquicamata:** Το ορυχείο χαλκού που διαχειρίζεται η εταιρία Codelco στη βόρεια Χιλή, μετά από 100 χρόνια επιφανειακής εκμετάλλευσης βρίσκεται πλέον σε διαδικασία υπογειοποίησης λόγω της εξόφλησης του επιφανειακού κοιτάσματος. Η παραγωγή του block caving υπολογίζεται σε 320.000 tn μεταλλεύματος χαλκού το χρόνο ενώ προβλέπεται η επέκταση του χρόνου ζωής του ορυχείου για ακόμα 50 χρόνια με τα συνολικά αποθέματα να αγγίζουν τους 1.7 δισεκατομμύρια τόνους με μέση περιεκτικότητα χαλκού 0.7%. (Fiscor, 2010)
- **Grasberg:** Το ορυχείο βρίσκεται στη νήσο της Νέας Γουινέας και διαχειρίζεται από την εταιρία Freeport Indonesia. Περιέχει τα μεγαλύτερα αποθέματα χρυσού καθώς και τα δεύτερα μεγαλύτερα αποθέματα χαλκού στον κόσμο. Την περίοδο 1990-2019 το ορυχείο λειτουργούσε αποκλειστικά με επιφανειακή εκσκαφή ενώ στη συνέχεια ταυτόχρονα με το open pit ξεκίνησαν και εκμεταλλεύσεις μέσω (κατακρήμνισης πατώματος (block caving). Μέσω της υβριδικής αυτής εξόρυξης εκτιμάται ότι θα εκσκαφθούν επιπλέον 400tn χρυσού και 7,8 εκατομμύρια τόνοι χαλκού. (<https://www.mining-technology.com>)
- **Kanowna Belle:** Το ορυχείο βρίσκεται στη δυτική Αυστραλία 18 χιλιόμετρα βορειοανατολικά της πόλης Kalgoorlie και εξορύσσει μέταλλευμα χρυσού διαχειριζόμενο από την εταιρία Northern Star. Οι εκμετάλλευση ξεκίνησε το 1993 με τη μορφή του open pit όμως αυξημένες κλίσεις του μεταλλεύματος οδήγησαν το 1998 σε αλλαγή της μεθόδου

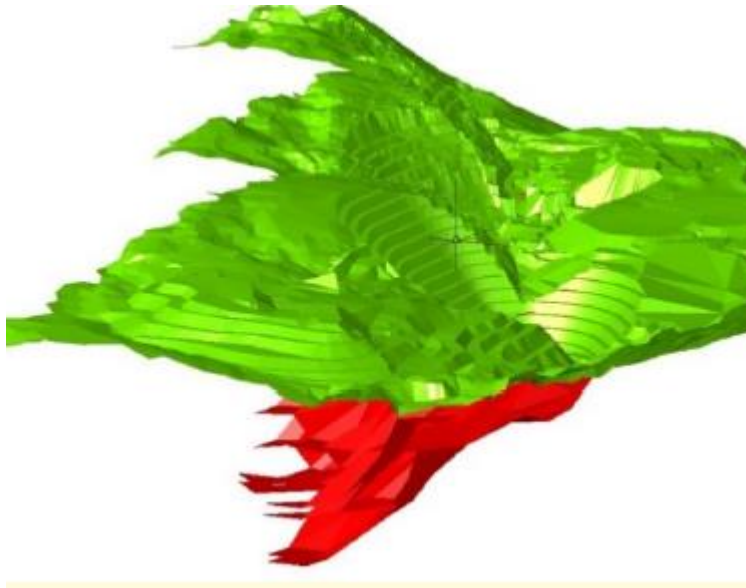
σε open storing (διαδοχικοί όροφοι με κενά μέτωπα) με την πλήρωση των κενών χώρων με στείρα της εκμετάλλευσης. Το ορυχείο έχει παραγωγή 1,2 εκατομμυρίων τόνων μεταλλεύματος το χρόνο. (<https://www.nsrltd.com>)

- Στην Ελλάδα οι προσπάθειες υπογειοποίησης εστιάζουν κυρίως στα ορυχεία σιδηρονικελίου της ΛΑΡΚΟ στην κεντρική Εύβοια. Η κίνηση αυτή αποσκοπεί στην επέκταση του διαθέσιμου χρόνου ζωής των υφιστάμενων επιφανειακών ορυχείων καθώς λόγω της πολύχρονης εκμετάλλευσης τους τα διαθέσιμα μικρού βάθους κοιτάσματα γίνονται συνεχώς και λιγότερο βιώσιμα. Αυτό αποτυπώνεται καλύτερα στο διάγραμμα που ακολουθεί όπου είναι εμφανής η ραγδαία μείωση της μέσης περιεκτικότητας Νί στο μέταλλευμα.



Διάγραμμα 4 ΛΑΡΚΟ ΓΜΜΑΕ παραγωγή και περιεκτικότητα νικελίου τα τελευταία 50 χρόνια (Benardos et al., 2021)

Οι αρχικές έρευνες υπέδειξαν το ορυχείο Βρυσάκια ως την καλύτερη επιλογή για την αρχική φάση υπογειοποίησης των εκμεταλλεύσεων της περιοχής. Το ορυχείο βρίσκεται στην Κεντρική Εύβοια 21 km βορειοανατολικά της πόλης της Χαλκίδας. Το υπόγειο κοίτασμα έχει μήκος 1,3 km με ΝΔ-ΒΑ διεύθυνση και βρίσκεται σε βάθος 150-250m. Το πάχος του κυμαίνεται από 10 έως 30m με την μέση περιεκτικότητα του να είναι 0,95% σε νικέλιο. Αν θεωρήσουμε κατώτερη εκμεταλλεύσιμη περιεκτικότητα νικελίου το 0,8% τα αποθέματα του κοιτάσματος εκτιμώνται σε 15 εκατομμύρια τόνους.



Εικόνα 7 Υπόγειο κοίτασμα Βρυσάκια (Benardos et al., 2021)

Το μετάλλευμα βρίσκεται ανάμεσα σε οροφή Κρητιδικών ασβεστολίθων και δάπεδο Ιουρασικών ασβεστολίθων. Οι αντοχές των πετρωμάτων εκτιμώνται από χαμηλές έως μέτριες με τη γωνία τριβής του μεταλλεύματος να είναι  $\phi=23-28^\circ$ , το  $GSI=20-45$  και τη συνοχή του ως  $c=250-350$  kPa (Benardos et al., 2021).

Με στόχο την απομάκρυνση 350.000tn μεταλλεύματος το χρόνο και με βάση τα γεωτεχνικά δεδομένα του κοιτάσματος και της περιοχής έγινε χρήση της μεθόδου UBC, που θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο, και προτάθηκαν τρεις μέθοδοι εκμετάλλευσης. Οι μέθοδοι αυτοί ήταν:

- Cut and fill (κοπές και λιθογομώσεις): Μέθοδος απλή στην εφαρμογή, παρέχει μέγιστη ασφάλεια στους εργαζομένους και δεν ενέχει κίνδυνο επιφανειακών καθιζήσεων
- Room and pillar (θαλάμων και στύλων): Μέθοδος ευρέως γνωστή στην Ελλάδα
- Sub level caving (κατακρήμνιση με υποορόφους): Οικονομικότερη μέθοδος

Ύστερα από τις οικονομικές αναλύσεις και τις αναλύσεις βιωσιμότητας, η μέθοδος με τα περισσότερα πλεονεκτήματα φαίνεται να είναι αυτή του cut and fill καθώς συνδυάζει τη μέγιστη απολιψιμότητα και ασφάλεια ενώ ταυτόχρονα δύναται να μειώσει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της εκμετάλλευσης χρησιμοποιώντας τα στείρα της στις διαδικασίες λιθογόμωσης. (Benardos et al., 2021)



Συνοψίζοντας τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η υπογειοποίηση μίας επιφανειακής εκμετάλλευσης είναι τα εξής:

- Εκμετάλλευση κοιτασμάτων μικρότερης κλίμακας, μεγαλύτερης κλίσης που σε άλλες περιπτώσεις θα έμεναν ανεκμετάλλευτα
- Μικρότερες εκσκαφές αγόνων μειώνοντας έτσι τις ανάγκες διαχείρισης και αποθήκευσης τους
- Μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα λόγω περιορισμένων επιφανειακών εγκαταστάσεων
- Αυξημένο κέρδος εξαιτίας εκλεκτικότερης εκμετάλλευσης και συνήθως υψηλότερων συγκεντρώσεων
- Δυνατότητα παράλληλης διεξαγωγής με την επιφανειακή εκμετάλλευση και επομένως βελτιστοποίηση της διαδικασίας εξόφλησης του κοιτάσματος

## 2 Αναγνώριση περιοχής

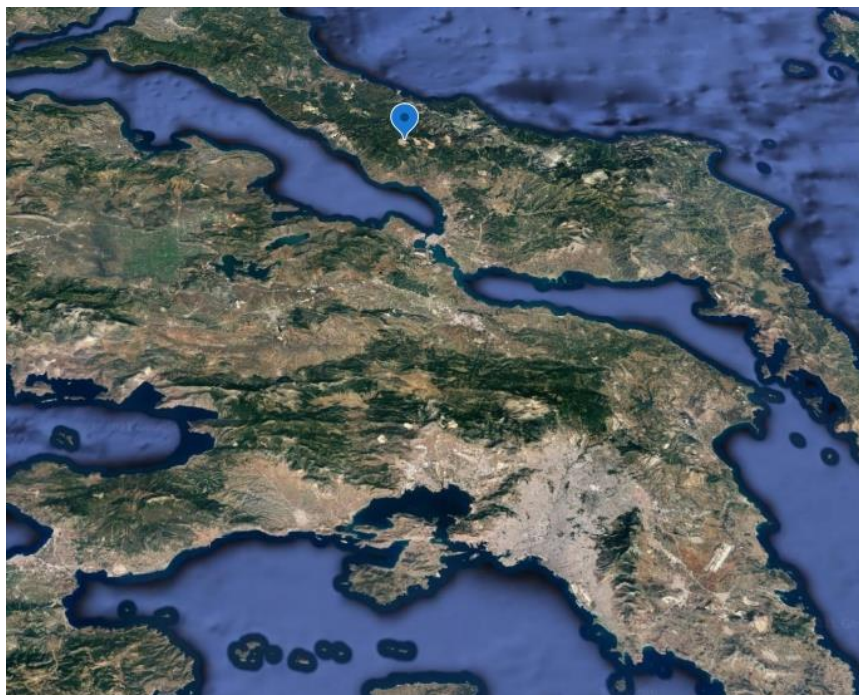
### 2.1 Η περιοχή

Το κοίτασμα των Β.Α Ακρών βρίσκεται στην κεντρική Εύβοια στο δήμο Μεσσαπιών, ανάμεσα από τα όρη Καντήλι και Πυξαριά και περιχαρακώνεται γεωγραφικά από:

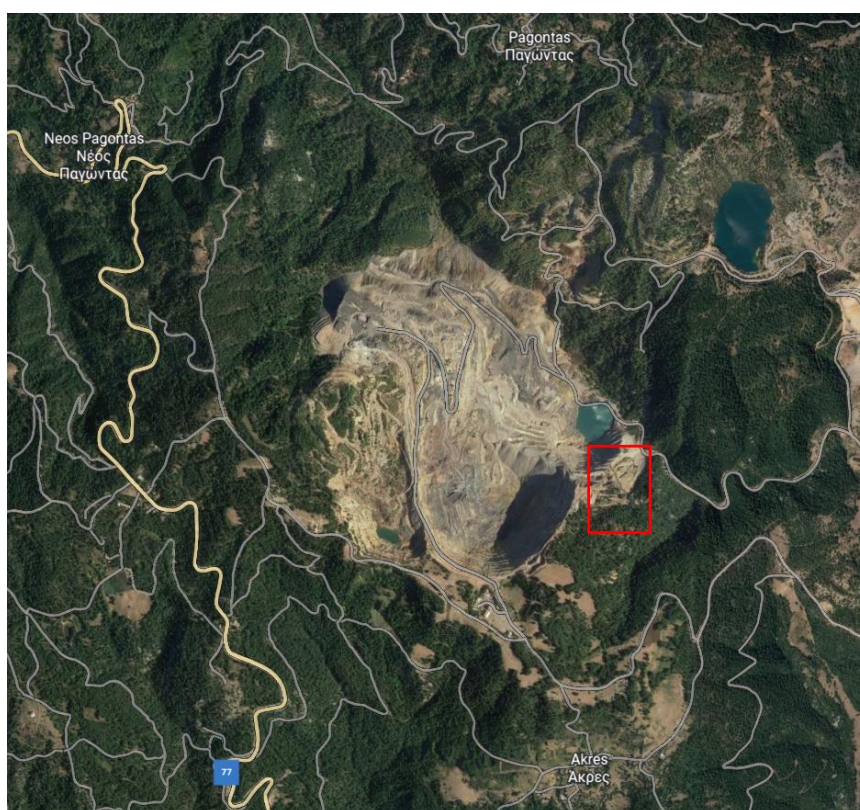
- Τα βόρεια από τους οικισμούς του Παγώντα και Νέου Παγώντα
- Τα νότια από τον οικισμό των Ακρών
- Τα δυτικά από τον οικισμό του Αγίου

Ακόμη σε μικρή απόσταση στα δυτικά βρίσκεται η εθνική οδός Χαλκίδας-Εδιψού.

Η περιοχή του κοιτάσματος καθώς και η ευρύτερη περιοχή έχει υπάρξει αντικείμενο επιφανειακής εκμετάλλευσης με πλήθος έργων να υπάρχουν ακόμη χωρίς επικάλυψη δενδροβλάστησης.



Εικόνα 8 Θέση κοιτάσματος

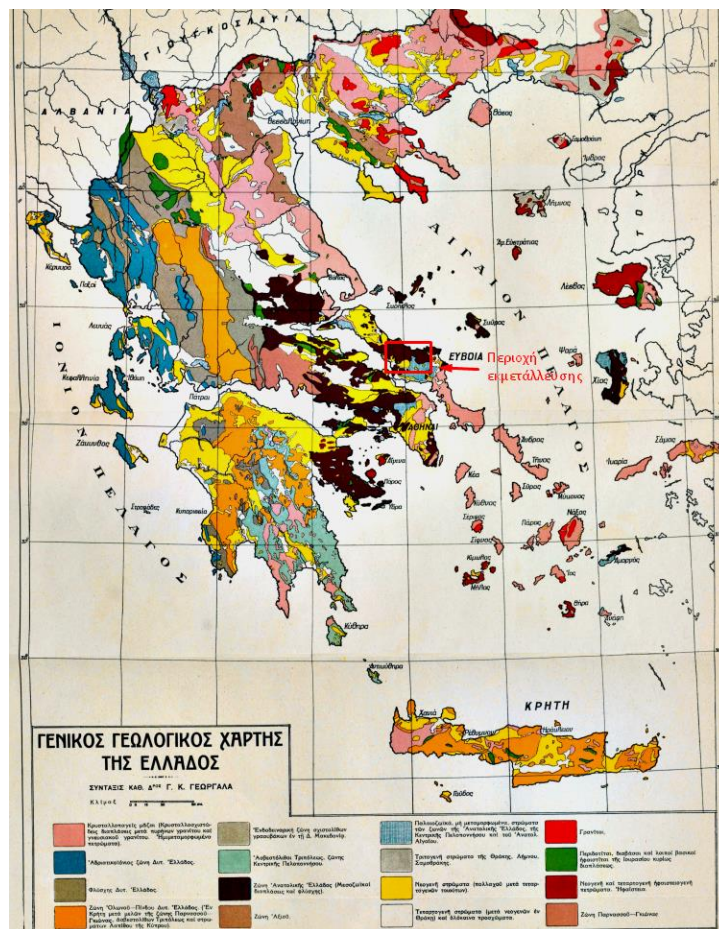


Εικόνα 9 Αεροφωτογραφία θέσης κοιτάσματος

Το κοίτασμα αναπτύσσεται με γενική διεύθυνση παράταξης ΒΑ-ΝΔ βυθιζόμενο προς τα ΝΔ με μέση κλίση 15-30° και πάχος 5-7m φτάνοντας στο βόρειο τμήμα του και τα 18m. Το σχήμα του είναι κατά κύριο λόγο επίπεδο αλλά παρουσιάζει πληθώρα τοπικών βυθισμάτων και ανυψώσεων που μπορούν να ξεπεράσουν τις 40° σε κλίση.

## 2.2 Γεωλογικοί σχηματισμοί περιοχής μεταλλείου

Η περιοχή ανήκει στην Υποπελαγονική Ζώνη ή Ζώνη της Ανατολικής Ελλάδας. Τα σιδηρονικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα σχηματίσθηκαν κατά την περίοδο χέρσευσης (Ανωτέρο Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό), λόγω της λατεριτικής αποσάθρωσης των οφιολίθων. Τα κοιτάματα αυτά στη συνέχεια καλύφθηκαν και προστατεύθηκαν από διάβρωση λόγω της απόθεσης των Μέσο – Άνω Κρητιδικών επικλυσισιγενών ιζημάτων. Η επίκλυση της θάλασσας εκδηλώθηκε γενικά στο Κενομάνιο του Μέσο-Κρητιδικού. (Omikron Karra Consulting, 2019)

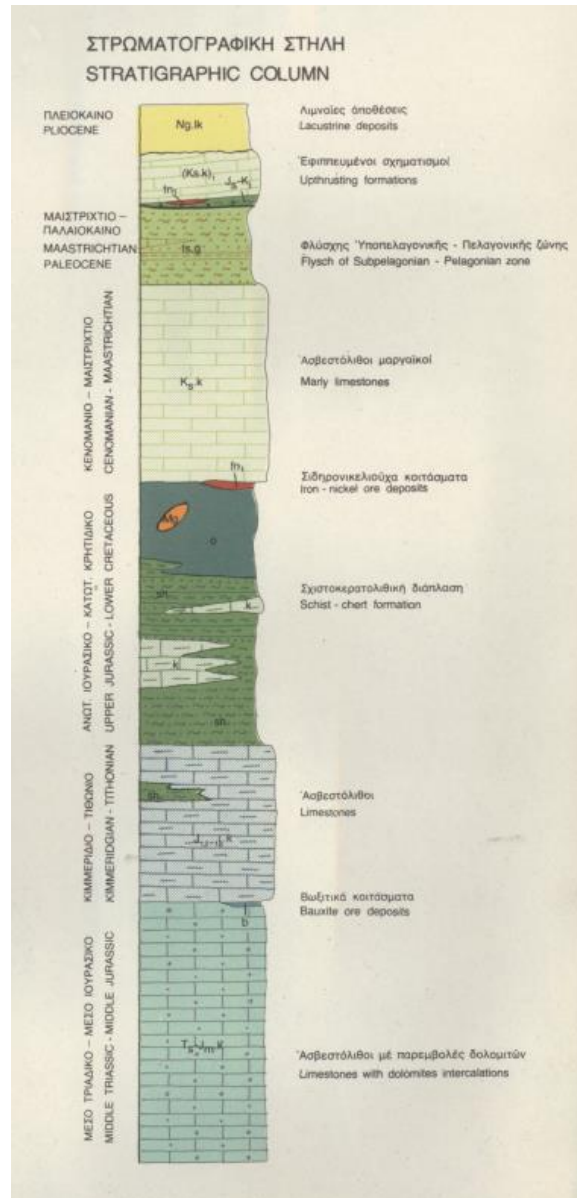


Εικόνα 10 Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας, Μεγάλη Ελληνική Εγκυκλοπαίδεια, 1934



Εικόνα 11 Γεωλογικός χάρτης περιοχής κοιτάσματος Β.Α Ακρών (Ι.Γ.Μ.Ε 1981)

Ακολουθεί η στρωματογραφική στήλη της περιοχής όπως αυτή παρουσιάζεται στον γεωλογικό χάρτη της περιοχής από το ΙΓΜΕ:



Εικόνα 12 Στρωματογραφική στήλη περιοχής Ακρών (Ι.Γ.Μ.Ε 1981)

### 2.3 Γεωλογία

Τα κρητιδικά ιζηματογενή νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα της Εύβοιας έχουν αποτεθεί σε ρηχό υποθαλάσσιο περιβάλλον πάνω σε υπερβασικά πετρώματα ή εντός καρστικών εγκοίλων σε ανθρακικούς σχηματισμούς του Άνω Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού.

Η μεταλλοφορία έχει ως υπερκείμενα ασβεστόλιθους του Άνω Κρητιδικού και ως υποκείμενα οφιόλιθους, σχιστοκερατόλιθους και Ιουρασικούς ασβεστόλιθους.

Αναλόγως έχουμε τις εξής λιθολογικές ενότητες:(Οmikron Kappa Consulting, 2019)

- Λ.Ε. ksm.1: Ελαφρά αποσαθρωμένος και κερματισμένος ασβεστόλιθος, Κρητιδικής ηλικίας, με τιμές του δείκτη RQD κυμαινόμενες από 50% έως 90%.
- Λ.Ε. ksm.2: Ελαφρά έως μέτρια τοπικά αποσαθρωμένος και μέτρια έως ισχυρά τοπικά κερματισμένος ασβεστόλιθος, Κρητιδικής ηλικίας, με τιμές του δείκτη RQD κυμαινόμενες από 20% έως 65%.
- Λ.Ε. orh.1: Υγιής έως ελαφρά αποσαθρωμένος οφιόλιθος, μέτρια κερματισμένος, με τιμές του δείκτη RQD κυμαινόμενες από 35% έως 90%.
- Λ.Ε. orh.2: Μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένος (σερπεντινωμένος) οφιόλιθος, ισχυρά κερματισμένος και τεκτονικώς διατμημένος, με τιμές του δείκτη RQD κυμαινόμενες από 0% έως 25%.
- Λ.Ε. sch.1: Ελαφρά αποσαθρωμένα, ελαφρά έως μέτρια κερματισμένα πετρώματα της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης (κυρίως αργιλικός σχιστόλιθος) με αραιές παρεμβολές οφιολίθων, με τιμές του δείκτη RQD κυμαινόμενες από 50% έως 100%.
- Λ.Ε. sch.2: Ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένα, μέτρια έως ισχυρά κερματισμένα πετρώματα της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης (κυρίως αργιλικός σχιστόλιθος) με αραιές παρεμβολές οφιολίθων, με τιμές του δείκτη RQD κυμαινόμενες από 25% έως 50%.
- Λ.Ε. sch.3: Μέτρια έως πολύ αποσαθρωμένα, μέτρια έως ισχυρά κερματισμένα πετρώματα της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης (κυρίως αργιλικός σχιστόλιθος) με αραιές παρεμβολές οφιολίθων, με τιμές του δείκτη RQD κυμαινόμενες από 0% έως 25%.
- Λ.Ε. Js.1: Ελαφρά έως μέτρια τοπικά αποσαθρωμένος και μέτρια κερματισμένος ασβεστόλιθος, Ιουρασικής ηλικίας, με τιμές του δείκτη RQD κυμαινόμενες από 45% έως 90%.
- Λ.Ε. FeNi.1: Ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένο και μέτρια κερματισμένο σιδηρονικελιούχο κοίτασμα, με τιμές του δείκτη RQD κυμαινόμενες από 40% έως 95%.
- Λ.Ε. FeNi.2: Μέτρια έως πολύ αποσαθρωμένο και μέτρια έως ισχυρά κερματισμένο σιδηρονικελιούχο κοίτασμα, με τιμές του δείκτη RQD κυμαινόμενες από 0% έως 55%.

## 2.4 Γεωτεχνική ανάλυση

Παρακάτω αναλύονται οι Λ.Ε που θα χρησιμοποιηθούν σε επόμενη φάση για την προσομοίωση πεπερασμένων στοιχείων και υποστήριξης: (Omikron Kappa Consulting, 2019)

### 2.4.1 Υπερκείμενα:

- **Ksm.1:** Η λιθολογική ενότητα ksm.1 αποτελείται από λευκό έως λευκότεφρο, λεπτο- έως μεσοστρωματώδη ασβεστόλιθο. Ο ασβεστόλιθος εμφανίζεται κυρίως υγιής έως ελαφρά αποσαθρωμένος και ελαφρά κερματισμένος, με τιμές του δείκτη RQD κυμαινόμενες από 50% έως 90%. Η βραχόμαζα της υπόψη λιθολογικής ενότητας χαρακτηρίζεται ως μερικώς διαταραγμένη έως αδιατάρακτη με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα και με τραχείες, ελαφρά αποσαθρωμένες και οξειδωμένες επιφάνειες ασυνεχειών, με εύρος τιμών του δείκτη GSI κυμαινόμενο από 55 έως 70. Τα κύρια δομικά χαρακτηριστικά της βραχόμαζας είναι η παρουσία στρώσης και διακλάσεων, με γωνίες κλίσης 40°-45° και 10°-20° στα επιφανειακά κυρίως στρώματα και 30°-60° και 60°-90° σε μεγαλύτερα βάθη. Οι επιφάνειες των ασυνεχειών είναι τραχείες κυματοειδείς, πληρωμένες κυρίως από ασβεστιτικό και δευτερευόντως από αργιλικό υλικό ή χωρίς υλικό πλήρωσης, μέτριας έως μεγάλης μεταξύ τους απόστασης. Οι επιφάνειες των ασυνεχειών εμφανίζονται συχνά οξειδωμένες και καρστικοποιημένες, με τον βαθμό καρστικοποίησης να μειώνεται από την επιφάνεια του εδάφους προς της αύξηση του βάθους εμφάνισης της λιθολογικής ενότητας. Η συγκεκριμένη ενότητα συναντάται στη μεγαλύτερη μάζα των υπερκειμένων, με το πλήθος των προσπελαστικών έργων να πραγματοποιείται εντός αυτής, με εξαίρεση τα τελευταία 5m πάνω από το κοίτασμα που συναντάται παρατάβανο αποτελούμενο από την Λ.Ε Ksm.2.

Ακολουθούν οι γεωτεχνικές παράμετροι της Λ.Ε Ksm.1 όπως αυτές αναφέρονται στην μελέτη της Omikron Kappa Consulting και με χρήση του προγράμματος Roclab θεωρώντας υπερκείμενα 30-350m:

Πίνακας 5 Παράμετροι λιθολογικής ενότητας Ksm.1

| <b>Ksm.1</b>  |                     |              |
|---|---------------------|--------------|
| <b>Ειδικό βάρος, <math>\gamma</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b> |                     | 2.600        |
| <b>Μέτρο ελαστικότητας βραχόμαζας, E (Μpa)</b>              |                     | 4.725-10.804 |
| <b>Συνοχή, c (kpa)</b>                                      | 30m<br>υπερκείμενα  | 340-913      |
|   | 150m<br>υπερκείμενα | 652-1.215    |
|   | 250m<br>υπερκείμενα | 856-1.452    |
|   | 350m<br>υπερκείμενα | 1.034-.1.669 |
| <b>Γωνία εσωτερικής τριβής, <math>\phi</math></b>           | 30m<br>υπερκείμενα  | 52-55        |
|   | 150m<br>υπερκείμενα | 41-47        |
|   | 250m<br>υπερκείμενα | 37-43        |
|   | 350m<br>υπερκείμενα | 34-41        |

- Ksm.2: Η λιθολογική ενότητα ksm.2 αποτελείται από λευκό έως λευκότεφρο, λεπτο- έως μεσοστρωματώδη ασβεστόλιθο. Ο ασβεστόλιθος είναι ελαφρά έως μέτρια τοπικά αποσαθρωμένος και μέτρια έως ισχυρά τοπικά κερματισμένος, με τιμές του δείκτη RQD κυμαινόμενες από 20% έως 60%. Η βραχόμαζα της υπόψη λιθολογικής ενότητας χαρακτηρίζεται ως διαταραγμένη από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών έως μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες ομάδες ασυνεχειών, με τραχείες, ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένες και οξειδωμένες επιφάνειες ασυνεχειών και εύρος τιμών



του δείκτη GSI κυμαινόμενο από 40 έως 55. Τα κύρια δομικά χαρακτηριστικά της βραχόμαζας είναι η παρουσία στρώσης και διακλάσεων, με γωνίες κλίσης  $40^{\circ}$ - $45^{\circ}$  και  $10^{\circ}$ - $20^{\circ}$  στα επιφανειακά κυρίως στρώματα και γωνίες κλίσεις των ασυνεχειών  $30^{\circ}$ - $60^{\circ}$  και  $60^{\circ}$ - $90^{\circ}$  σε μεγαλύτερα βάθη. Οι επιφάνειες των ασυνεχειών είναι τραχείες κυματοειδείς, πληρωμένες με ασβεστιτικό και αργιλικό υλικό ή χωρίς υλικό πλήρωσης, μέτριας μεταξύ τους απόστασης. Συχνά οι ασυνέχειες εμφανίζονται καρστικοποιημένες, με τον βαθμό καρστικοποίησης να μειώνεται με την αύξηση του βάθους έως την περιοχή επαφής με το κοίτασμα. Η ενότητα αναμένετε να συναντηθεί κυρίως σε μια στρώση πάχους 4-5m σε επαφή με την οροφή του κοιτάσματος με τη μορφή 'παρατάβανου'

Ακολουθούν οι γεωτεχνικές παράμετροι της Λ.Ε Ksm.2 όπως αυτές αναφέρονται στην μελέτη της Omikron Karra Consulting και με χρήση του προγράμματος Roclab θεωρώντας υπερκείμενα 30-350m:

Πίνακας 6 Παράμετροι λιθολογικής ενότητας Ksm.2

| <b>Ksm.2</b>  |                     |             |
|---|---------------------|-------------|
| <b>Ειδικό βάρος, <math>\gamma</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b> |                     | 2.600       |
| <b>Μέτρο ελαστικότητας βραχόμαζας, E (Mpa)</b>              |                     | 1.747-4.429 |
| <b>Συνοχή, c (kpa)</b>                                      | 30m<br>υπερκείμενα  | 161-317     |
|   | 150m<br>υπερκείμενα | 402-622     |
|   | 250m<br>υπερκείμενα | 548-820     |
|   | 350m<br>υπερκείμενα | 672-933     |
| <b>Γωνία εσωτερικής τριβής, <math>\phi</math></b>           | 30m<br>υπερκείμενα  | 46-52       |
|   | 150m<br>υπερκείμενα | 33-40       |

|  |                     |       |
|--|---------------------|-------|
|  | 250m<br>υπερκείμενα | 29-36 |
|  | 350m<br>υπερκείμενα | 27-34 |

#### 2.4.2 Κοίτασμα:

Οι δειγματοληπτικές γεωτρήσεις διακρίνουν δύο λιθολογικές ενότητες στο κοίτασμα τις τις FeNi.1 και FeNi.2. Στην παρούσα περίπτωση έγινε η παραδοχή από τον γράφον ότι όλο το κοίτασμα αποτελείται από την πιο κερματισμένη Λ.Ε FeNi.2 ως χείριστο σενάριο.

- FeNi.2: Η λιθολογική ενότητα FeNi.2 αποτελείται από ερυθρό έως μαύρο και σποραδικά τεφρό, μέτρια έως πολύ αποσαθρωμένο και μέτρια έως ισχυρά κερματισμένο, εύθρυπτο σιδηρονικελιούχο κοίτασμα, με εμφανή τον κλαστικό χαρακτήρα του ιζηματογενούς σχηματισμού όπου διακρίνονται θραύσματα και τεμαχίδια των πετρωμάτων του υποβάθρου, με τιμές του δείκτη RQD κυμαινόμενες από 0% έως 55%. Η βραχόμαζα της υπόψη λιθολογικής ενότητας χαρακτηρίζεται ως διαταραγμένη από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών έως ισχυρά κερματισμένη με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστρογγυλωμένων τεμαχών, με λείες, πολύ αποσαθρωμένες επιφάνειες ασυνεχειών και εύρος τιμών του δείκτη GSI κυμαινόμενο από 20 έως 30. Οι επιφάνειες των ασυνεχειών είναι λείες έως τραχείες κυματοειδείς, χωρίς υλικό πλήρωσης, συνήθως πολύ μικρής έως εξαιρετικά μικρής μεταξύ τους απόστασης.

Ακολουθούν οι γεωτεχνικές παράμετροι της Λ.Ε FeNi. 2 όπως αυτές αναφέρονται στην μελέτη της Omikron Kappa Consulting και με χρήση του προγράμματος Roclab θεωρώντας υπερκείμενα 30-350m:

Πίνακας 7 Παράμετροι λιθολογικής ενότητας FeNi. 2

| <b>FeNi. 2</b>  |                     |         |
|---|---------------------|---------|
| <b>Ειδικό βάρος, <math>\gamma</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b> |                     | 3.200   |
| <b>Μέτρο ελαστικότητας βραχόμαζας, E (Mpa)</b>              |                     | 109-175 |
| <b>Συνοχή, c (kra)</b>                                      | 30m<br>υπερκείμενα  | 85-112  |
|   | 150m<br>υπερκείμενα | 239-314 |
|   | 250m<br>υπερκείμενα | 328-431 |
|   | 350m<br>υπερκείμενα | 404-529 |
|   |                     |         |
| <b>Γωνία εσωτερικής τριβής, <math>\varphi</math></b>        | 30m<br>υπερκείμενα  | 34-38   |
|   | 150m<br>υπερκείμενα | 23-26   |
|   | 250m<br>υπερκείμενα | 20-23   |
|   | 350m<br>υπερκείμενα | 18-21   |
|   |                     |         |

#### 2.4.3 Υποκείμενα:

Το κοίτασμα υπέρκειται από πολλαπλές Λ.Ε οι κύριες όμως από αυτές είναι η οφιολιθική ενότητα Orh.1 που συναντάται στο Βόρειο και Κεντρικό μέρος του κοιτάσματος και η ενότητα των Ιουρασικών ασβεστόλιθων Js.1 που συναντάται στο Νότιο και Κεντρικό μέρος.

- Js.1: Η λιθολογική ενότητα Js.1 αποτελείται από τεφρό έως λευκότεφρο, τοπικά λατυποπαγή ασβεστόλιθο, με ίχνη καρστικοποίησης. Ο ασβεστόλιθος είναι ελαφρά έως μέτρια τοπικά αποσαθρωμένος και μέτρια κερματισμένος, με τιμές του δείκτη RQD κυμαι-

νόμενες από 45% έως 90%. Η βραχώμαζα της υπόψη λιθολογικής ενότητας χαρακτηρίζεται ως μερικώς διαταραγμένη με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών, κυρίως με τραχείες έως τοπικά λείες επιφάνειες ασυνεχειών, ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένες και εύρος τιμών του δείκτη GSI κυμαινόμενο από 45 έως 55. Τα κύρια δομικά χαρακτηριστικά της βραχώμαζας είναι η παρουσία στρώσης και διακλάσεων, με γωνίες κλίσης κυμαινόμενες από 0°-30°, 30°-60° και 60°-90°. Οι επιφάνειες των ασυνεχειών είναι εν γένει τραχείες κυματοειδείς, πληρωμένες με ασβεστίτικο και αργιλικό υλικό ή χωρίς υλικό πλήρωσης, μικρής έως μεγάλης απόστασης μεταξύ των ασυνεχειών και τοπικά πολύ μικρής απόστασης.

Ακολουθούν οι γεωτεχνικές παράμετροι της Λ.Ε Js.1 όπως αυτές αναφέρονται στην μελέτη της Omikron Kappa Consulting και με χρήση του προγράμματος Roclab θεωρώντας υπερκείμενα 30-350m:

Πίνακας 8 Παράμετροι λιθολογικής ενότητας Js.1

| <b>Js.1</b>   |                     |             |
|---|---------------------|-------------|
| <b>Ειδικό βάρος, <math>\gamma</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b> |                     | 2.600       |
| <b>Μέτρο ελαστικότητας βραχώμαζας, E (Mpa)</b>              |                     | 3.287-6.201 |
| <b>Συνοχή, c (kpa)</b>                                      | 30m<br>υπερκείμενα  | 128-183     |
|   | 150m<br>υπερκείμενα | 326-422     |
|   | 250m<br>υπερκείμενα | 442-567     |
|   | 350m<br>υπερκείμενα | 540-692     |
| <b>Γωνία εσωτερικής τριβής, <math>\phi</math></b>           | 30m<br>υπερκείμενα  | 41-46       |

|  |                     |       |
|--|---------------------|-------|
|  | 150m<br>υπερκείμενα | 29-34 |
|  | 250m<br>υπερκείμενα | 25-30 |
|  | 350m<br>υπερκείμενα | 23-27 |

- Ορη.1: Η λιθολογική ενότητα ορη.1 αποτελείται από σκούρους τεφροπράσινους οφιολίθους (περιδοτίτες), παρουσία αραιών λευκών φλεβιδίων μαγνησίτη. Οι οφιολίθοι εμφανίζονται κυρίως υγιείς έως ελαφρά αποσαθρωμένοι - σερπεντινωμένοι και μέτρια κερματισμένοι, με τιμές του δείκτη RQD κυμαινόμενες από 35% έως 90%. Η βραχόμαζα της υπόψη λιθολογικής ενότητας χαρακτηρίζεται ως διαταραγμένη με γωνιώδη τεμάχη που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών με λείες, μετρίως αποσαθρωμένες και σερπεντινωμένες επιφάνειες έως μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχη που σχηματίζονται από τέσσερις ομάδες ασυνεχειών με ελαφρά αποσαθρωμένες - σερπεντινωμένες επιφάνειες. Το εύρος τιμών του δείκτη GSI της λιθολογικής ενότητας ορη.1 κυμαίνεται από 40 έως 60. Τα κύρια δομικά χαρακτηριστικά της βραχόμαζας είναι η παρουσία διακλάσεων, με γωνίες κλίσης 60°-90° και 30°-60°. Οι επιφάνειες των ασυνεχειών είναι κυρίως λείες κυματοειδείς, ιδιαίτερα όταν ο σχηματισμός παρουσιάζει αύξηση του κερματισμού και της σερπεντινίωσης και δευτερευόντως τραχείες όταν ο σχηματισμός είναι υγιής με μειωμένο βαθμό κερματισμού.

Ακολουθούν οι γεωτεχνικές παράμετροι της Λ.Ε Ορη.1 όπως αυτές αναφέρονται στην μελέτη της Omikron Karra Consulting και με χρήση του προγράμματος Roclab θεωρώντας υπερκείμενα 30-350m:

Πίνακας 9 Παράμετροι λιθολογικής ενότητας Ορη.1

| Ορη.1                                       |                     |           |
|---|---------------------|-----------|
| Ειδικό βάρος, $\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> ) |                     | 2.700     |
| Μέτρο ελαστικότητας βραχόμαζας, $E$ (Μρα)   |                     | 815-2.810 |
| Συνοχή, $c$ (κρα)                           | 30m<br>υπερκείμενα  | 110-176   |
|   | 150m<br>υπερκείμενα | 306-475   |
|   | 250m<br>υπερκείμενα | 420-654   |
|   | 350m<br>υπερκείμενα | 515-807   |
|   | 30m<br>υπερκείμενα  | 41-50     |
| Γωνία εσωτερικής τριβής, $\phi$             | 150m<br>υπερκείμενα | 28-37     |
|   | 250m<br>υπερκείμενα | 25-33     |
|   | 350m<br>υπερκείμενα | 22-31     |
|   | 30m<br>υπερκείμενα  | 41-50     |

#### 2.4.4 Λόγος Poisson

Αποτελεί σταθερά που προκύπτει πειραματικά και ορίζεται ως ο λόγος της εγκάρσιας προς την διαμήκη παραμόρφωση.

Από την προαναφερθείσα έκθεση της Ο.Κ λαμβάνονται οι λόγοι Poisson για χρήση τους στα προγράμματα πεπερασμένων στοιχείων:

Πίνακας 10 Τιμές λόγου Poisson ( $\nu$ )

| ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ                    | ΛΟΓΟΣ POISSON ( $\nu$ ) |
|---------------------------------------|-------------------------|
| Κρητιδικών ασβεστολίθων( Ksm.1,Ksm.2) | 0,37                    |
| Οφιολίθων(Οph.1)                      | 0,27                    |
| Ιουρασικών ασβεστολίθων (Js.1)        | 0,41                    |
| Κοιτάσματος(FeNi.2)                   | 0,33                    |

#### 2.4.5 RMR-RSS

Η ταξινόμηση βραχώμαζας κατά Beniaowski ή RMR (Rock Mass Rating) λαμβάνει υπόψη της τις εξής παραμέτρους:

- Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη
- Το δείκτη ποιότητας της βραχώμαζας (RQD)
- Την απόσταση των ασυνεχειών
- Την ύπαρξη υπογείων υδάτων

Η ανηγμένη αντοχή άρρηκτων πετρωμάτων (RSS) αποτελεί δείκτη της αντίστασης άρρηκτων τεμαχών υπερκείμενων, μεταλλοφορίας και υποκείμενων σχηματισμών έναντι διάρρηξής τους από το in situ τασικό πεδίο.

Οι τιμές του RMR και RSS παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα όπως αυτές αναφέρονται στην προκαταρκτική τεχνικοοικονομική μελέτη σκοπιμότητας για τη διερεύνηση της δυνατότητας ανάπτυξης υπόγειων εκμεταλλεύσεων νικελιούχων κοιτασμάτων στα μεταλλεία της Γ.Μ.Μ.Α.Ε Λάρκο στην Εύβοια από την Omikron Kappa Consulting:

Πίνακας 11 Τιμές RMR-RSS

| ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ   | RMR                       | RSS           |
|---------------|---------------------------|---------------|
| Ταβανιών      | 79 (καλής ποιότητας)      | >15(strong)   |
| Μεταλλοφορίας | 67 (καλής ποιότητας)      | <5(very weak) |
| Πατωμάτων     | 40-58 (μέτριας ποιότητας) | 5-10(weak)    |

## 2.5 Υδρογεωλογία

Όσο αφορά τη διαπερατότητα των σχηματισμών, οι ασβεστόλιθοι χαρακτηρίζονται από μικρές τιμές περατότητας λόγω φαινομένων καρστικοποίησης ενώ οι οφιόλιθοι και οι σχιστοκερατόλιθοι παρουσιάζουν χαμηλές ή και μηδενικές τιμές. Ακόμη οι διερευνητικές γεωτρήσεις δεν συνάντησαν υπόγεια φυσικά ύδατα, γεγονός που σημαίνει ότι το έργο γίνεται πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα.

## 3 Επιλογή μεθόδου

Η προκαταρκτική έρευνα επιλογής μεθόδου έγινε με τη χρήση του συστήματος UBC. Το σύστημα το οποίο βασίστηκε στην προσέγγιση του Nicholas, λαμβάνει υπόψιν του: (Singhal, 1995)

### 1. Τις ιδιότητες του κοιτάσματος:

- Σχήμα
- Κλίση
- Μέση περιεκτικότητα
- Πάχος
- Μέσο ύψος υπερκειμένων

### 2. Το RMR

- Της οροφής
- Των δαπέδων
- Του κοιτάσματος

### 3. Το RSS

- Της οροφής
- Των δαπέδων



- Του κοιτάσματος

Οι παραπάνω ιδιότητες του κοιτάσματος συμπληρώθηκαν στο πρόγραμμα της μεθόδου:

The screenshot shows three panels of the UBC software interface. The first panel (left) contains 'Orebody Shape' (Platy / Tabular selected), 'Orebody Thickness' (Narrow selected), 'Orebody Plunge' (Moderate selected), and 'Ore Grade' (Moderate selected). The second panel (middle) contains 'RMR Hanging Wall' (60-80 Strong selected), 'RMR Ore' (40-60 Moderate selected), and 'RMR Footwall' (60-80 Strong selected). The third panel (right) contains 'RSS Hanging Wall' (Strong selected) and 'RSS Ore' (Very Weak selected). Each panel has 'Cancel' and 'Next' buttons.

Εικόνα 13 Δεδομένα εισόδου UBC

και κατέληξε στα εξής αποτελέσματα:

Πίνακας 12 Αποτελέσματα UBC

| Final Results |                    |     |
|---------------|--------------------|-----|
| 1             | Open Pit           | 32  |
| 2             | Sublevel Stopping  | 31  |
| 3             | Shrinkage Stopping | 29  |
| 4             | Cut and Fill       | 29  |
| 5             | Room and Pillar    | 26  |
| 6             | Longwall           | 25  |
| 7             | Top Slicing        | 20  |
| 8             | Square Set         | 16  |
| 9             | Block Caving       | -27 |
| 10            | Sublevel Caving    | -27 |

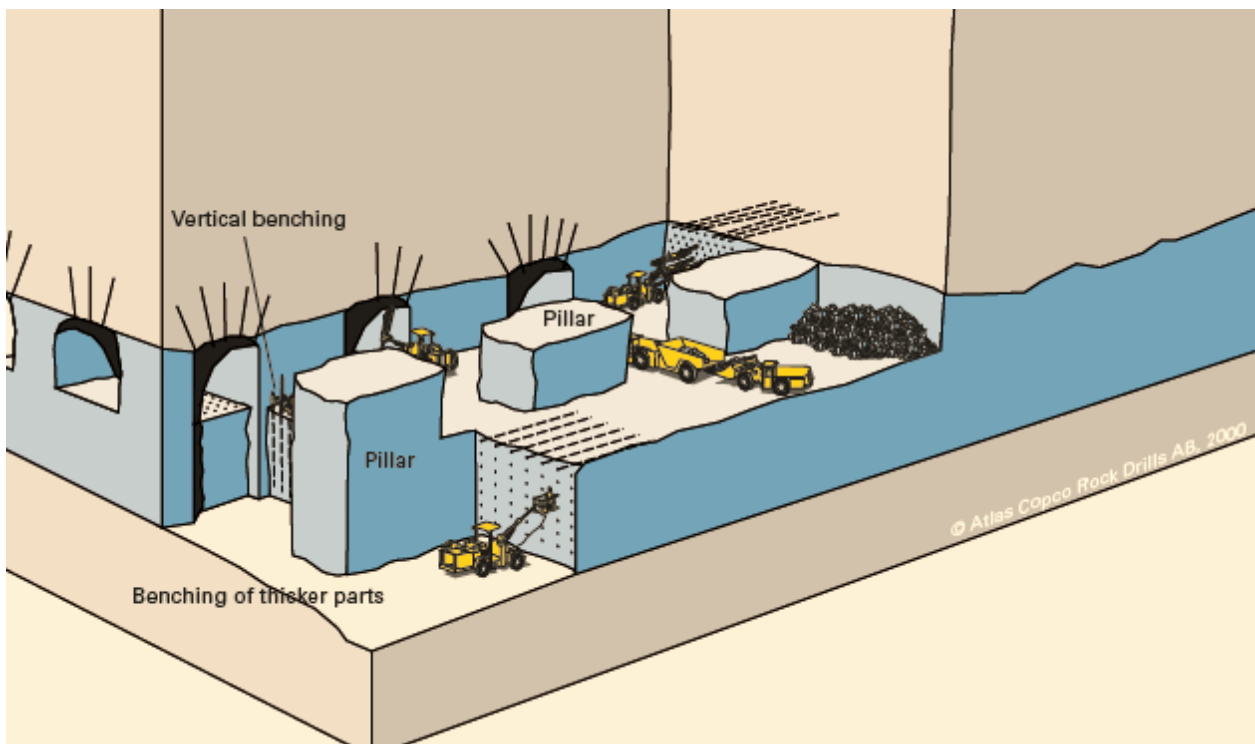
Εφόσον η μέθοδος αποτελεί μια αρχική εκτίμηση των θεωρητικά καταλληλότερων τρόπων εκμετάλλευσης η τελική απόφαση είναι στην κρίση του μηχανικού.

Αρχικά απορρίπτεται από πλευράς κόστους το σενάριο της επιφανειακής εκμετάλλευσης δεδομένου των υπέρμετρων όγκων που θα χρειαστεί να μετακινηθούν. Ακόμη απορρίπτονται οι μέθοδοι που περιλαμβάνουν κατακρημνίσεις όπως αυτές των: διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα (Sublevel Storing) και συμπτυσσόμενου μετώπου (Shrinkage Storing) διότι τα μέρη του κοιτάσματος που με το πάχος τους δικαιολογούν αυτές τις μεθόδους βρίσκονται πολύ κοντά στην επιφάνεια.

Επομένως προς εξέταση παραμένουν οι μέθοδοι θαλάμων και στύλων (room and pillar) και αυτή των εναλλασσόμενων κοπών και λιθογομώσεων (cut and fill).

### 3.1 ΘΑΛΑΜΟΙ ΚΑΙ ΣΤΥΛΟΙ (room and pillar)

Το μετάλλευμα αποσπάται μέσα σε θαλάμους με μικρά τμήματα του να απομένουν άθικτα δρώντας υποστηρικτικά στο έργο.



Εικόνα 14 Μέθοδος θαλάμων και στύλων (Atlas Copco)

Η μέθοδος παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα(Τερεζόπουλος, 2003):

#### Πλεονεκτήματα

- Υψηλή μηχανοποίηση
- Μικρές ανάγκες επιπλέον υποστήριξης (αγκύρια, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα)
- Εύκολη διαχείριση στειρών με εναπόθεσή τους στους εξοφλημένους θαλάμους
- Περιορισμένα προσπελαστικά έργα
- Δυνατότητα εκλεκτικής εξόρυξης

#### Μειονεκτήματα

- Σημαντικές απώλειες μεταλλεύματος εξαιτίας των ανεκμετάλλευτων στύλων κοιτάσματος ή γεωμετρικών αρρυθμιών σε αυτό
- Μειωμένες συνθήκες ασφαλείας λόγω των μεγάλων κενών θαλάμων που δημιουργούνται

### **Ποιοτική εξέταση της μεθόδου με τετραγωνικής διατομής στύλους**

Λαμβάνονται οι ιδιότητες:

- Μέσο ύψος υπερκειμένων:  $H=150\text{m}$
- Ειδικό βάρος υπερκείμενων  $\gamma=2,6 \text{ tn/m}^3$
- Αντοχή κοιτάσματος σιδηρονικελίου σε μονοαξονική θλίψη  $UCS=9\text{MPa}$
- Ύψος στύλου/θαλάμου  $H_p=6\text{m}$
- Πλάτος θαλάμου  $W_r=5\text{m}$
- Μεταβλητό πάχος στύλου  $W_p$  από 6-20m

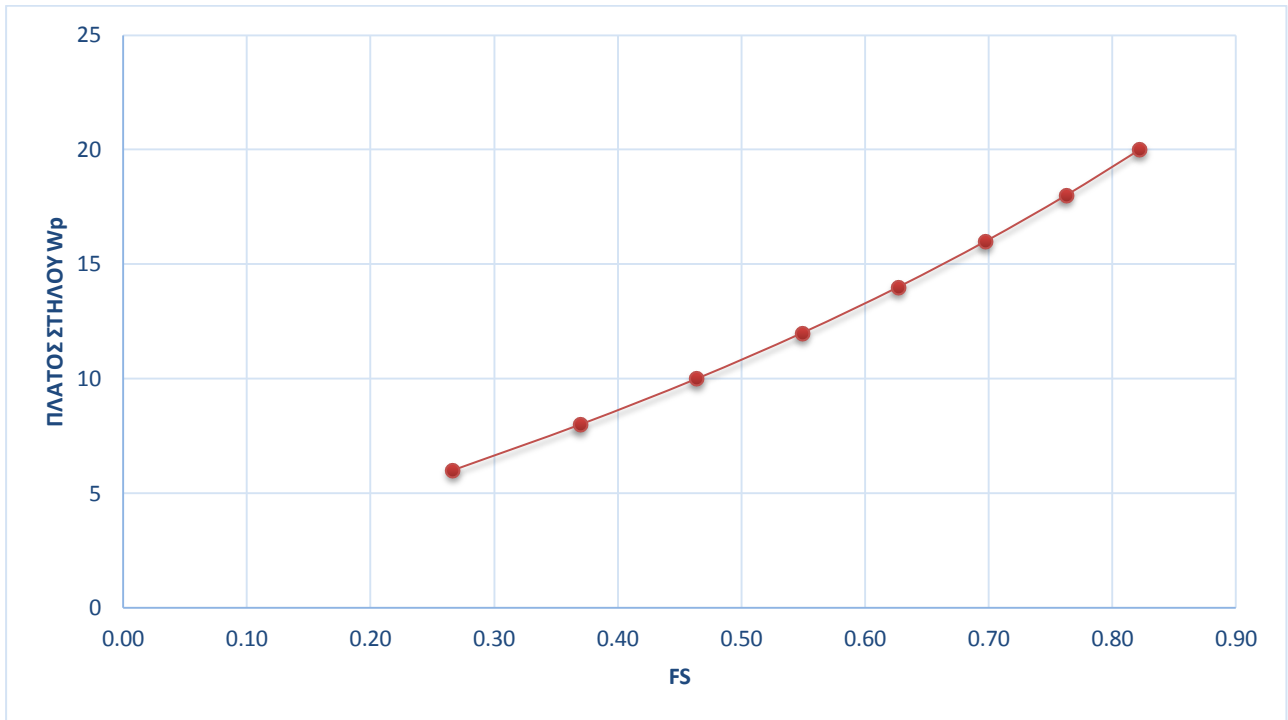
Η διαστασιολόγηση των στύλων έγινε με τους εξής τύπους (Esterhuizen, Dolinar and Ellenberger, 2011):

- Τάση σε στύλο  $\sigma_p = \gamma \cdot H \cdot (1 + W_r/W_p)^2$
- Αντοχή του στύλου σε θλίψη  $C_p = UCS \cdot 0.65 \cdot (W_p^{0.3}/H_p^{0.59})$
- Συντελεστής ασφαλείας  $F_s = C_p / \sigma_p$
- $R = 1 - [W_p^2 / (W_p + W_r)^2]$

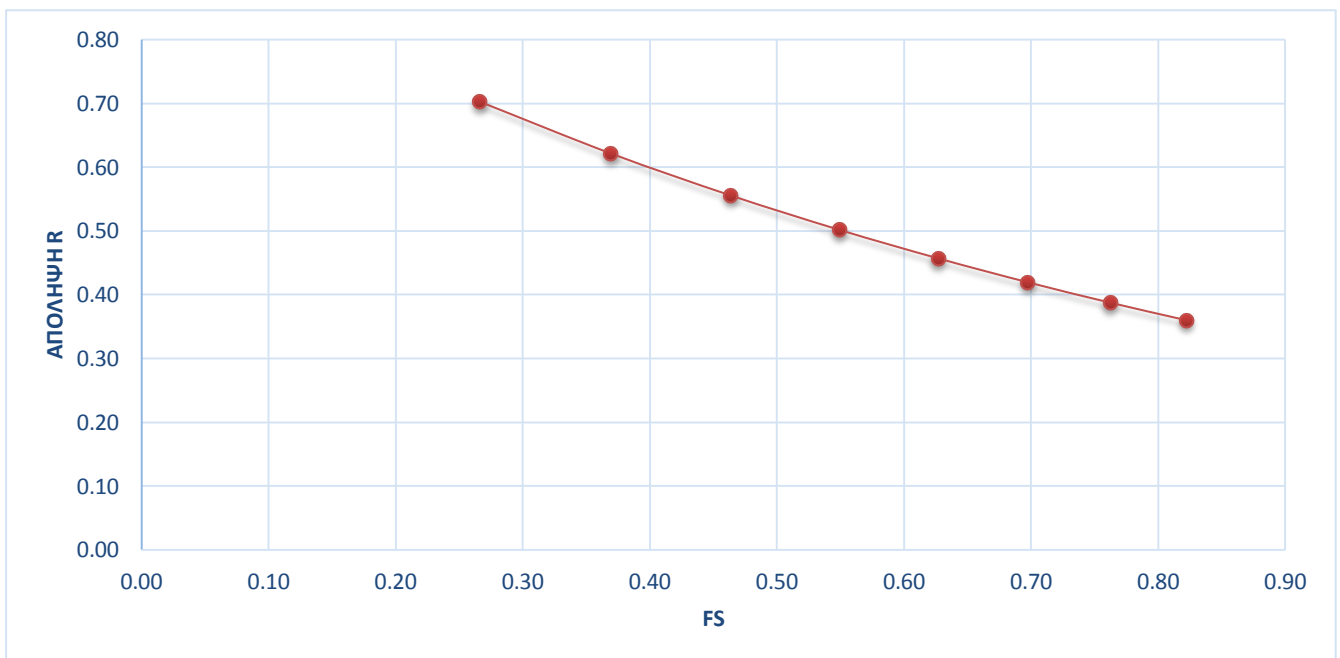
Δίνοντας τους παρακάτω πίνακες και διαγράμματα:

Πίνακας 13 Χαρακτηριστικά μεθόδου θαλάμων και στύλων για διάφορα πλάτη στύλων

| <b>ESTERHUIZEN</b> |                 |              |                | <b>Τάση Υπερκειμένων</b>    |              |               |                |           |             |
|--------------------|-----------------|--------------|----------------|-----------------------------|--------------|---------------|----------------|-----------|-------------|
| <b>Wp(m)</b>       | <b>UCS(MPa)</b> | <b>Hp(m)</b> | <b>Cp(MPa)</b> | <b>γ (tn/m<sup>3</sup>)</b> | <b>H (m)</b> | <b>WR (m)</b> | <b>σp(MPa)</b> | <b>SF</b> | <b>R</b>    |
| <b>6</b>           | 9               | 6            | 3.48           | 2.6                         | 150          | 5             | 13.06          | 0.27      | <u>0.70</u> |
| <b>8</b>           | 9               | 6            | 3.79           | 2.6                         | 150          | 5             | 10.26          | 0.37      | <u>0.62</u> |
| <b>10</b>          | 9               | 6            | 4.06           | 2.6                         | 150          | 5             | 8.74           | 0.46      | <u>0.56</u> |
| <b>12</b>          | 9               | 6            | 4.28           | 2.6                         | 150          | 5             | 7.80           | 0.55      | <u>0.50</u> |
| <b>14</b>          | 9               | 6            | 4.49           | 2.6                         | 150          | 5             | 7.16           | 0.63      | <u>0.46</u> |
| <b>16</b>          | 9               | 6            | 4.67           | 2.6                         | 150          | 5             | 6.69           | 0.70      | <u>0.42</u> |
| <b>18</b>          | 9               | 6            | 4.84           | 2.6                         | 150          | 5             | 6.34           | 0.76      | <u>0.39</u> |
| <b>20</b>          | 9               | 6            | 4.99           | 2.6                         | 150          | 5             | 6.07           | 0.82      | <u>0.36</u> |



Εικόνα 15 Διάγραμμα Πλάτος σύλου-Συντελεστή ασφαλείας



Εικόνα 16 Διάγραμμα Απόληψης-Συντελεστή ασφαλείας

Είναι εμφανές από τα παραπάνω ότι ακόμα και με πλάτος στύλου  $W_p=20m$  ο συντελεστής ασφαλείας δεν προσεγγίζει την ελάχιστη τιμή 2 ενώ οποιαδήποτε περεταίρω μεγέθυνση της διατομής των στύλων θα μειώσει ακόμα περισσότερο την απόληψη, επομένως οι απώλειες κρίνονται ασύμφορες και η μέθοδος απορρίπτεται .

### 3.2 ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΕΣ ΚΟΠΕΣ ΚΑΙ ΛΙΘΟΓΟΜΩΣΕΙΣ (cut and fill)

Η μέθοδος αποτελείται από δύο διακριτά στάδια. Το πρώτο αποτελεί την απομάκρυνση του μεταλλεύματος και κατά συνέπεια τη δημιουργία ανυποστήρικτων κενών. Στη συνέχεια τα κενά αυτά γεμίζουν με λιθογόμωση προς υποστήριξη του επόμενου κύκλου εργασιών. Η διαδικασία μπορεί να είναι ανερχόμενη ή και κατερχόμενη σε φτωχές γεωτεχνικές καταστάσεις που όμως θα απαιτήσουν περιπλοκότερα συστήματα λιθογόμωσης(Τερεζόπουλος, 2003).

Η μέθοδος είναι ευέλικτη και προσαρμόζεται εύκολα στις κατά τόπους γεωμετρικές ανωμαλίες του κοιτάσματος ενώ ταυτόχρονα προσφέρει:

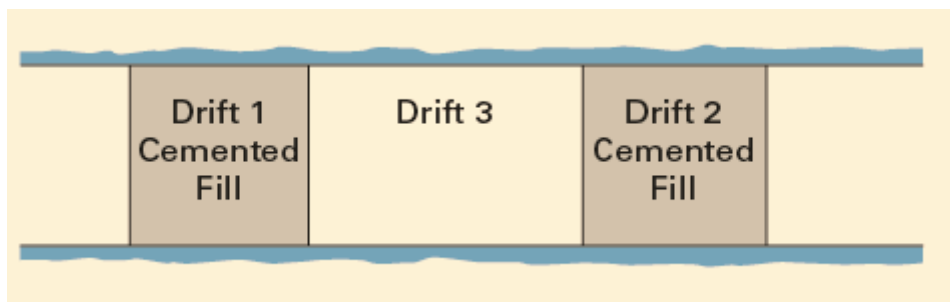
- Υψηλή απόληψη έως και 100%
- Συνεχής δειγματοληψία του κοιτάσματος
- Μικρά έργα προσπέλασης
- Ευκολία εναλλαγής σε άλλη μέθοδο
- Εκλεκτική εκμετάλλευση
- Μικρά ανοίγματα που δεν διαταράσσουν τα περιβάλλοντα πετρώματα ή την επιφάνεια
- Σχετικά μικρή επένδυση σε μηχανολογικό εξοπλισμό
- Υψηλή παραγωγικότητα ανά μονάδα επιφάνειας

Όπως κάθε άλλη μέθοδο όμως φέρει και τα εξής μειονεκτήματα:

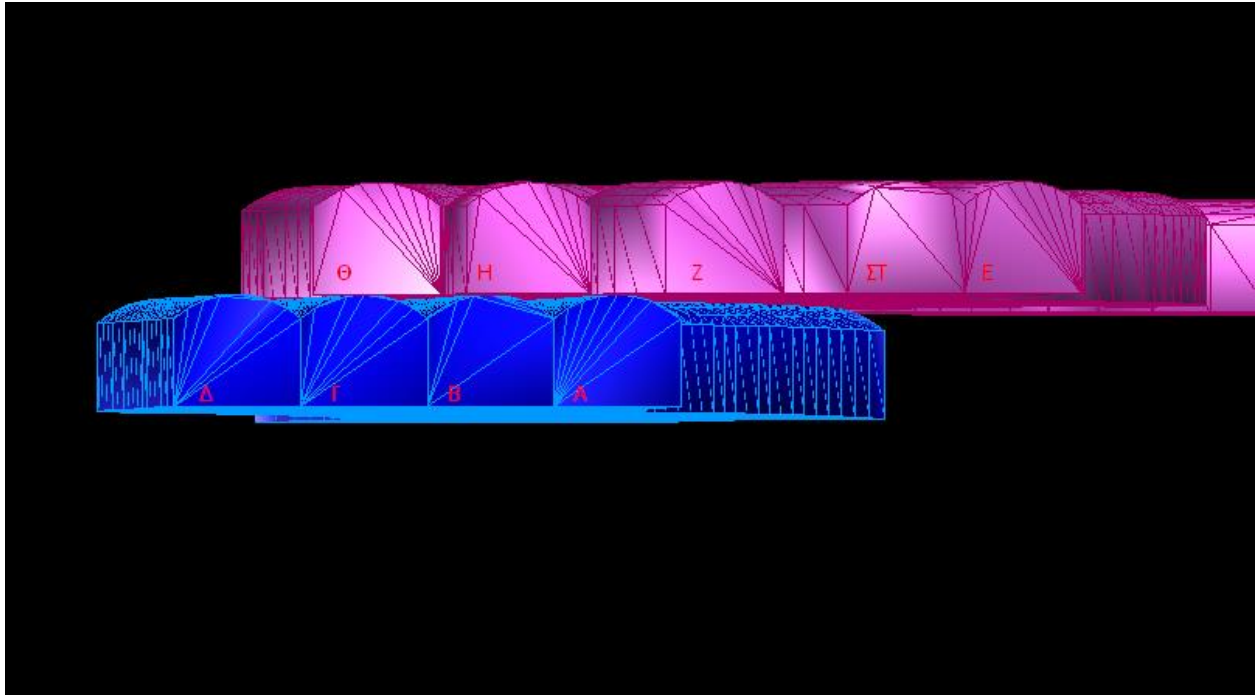
- Ασυνεχής μέθοδος με κυκλική παραγωγή του μεταλλεύματος

- Δυσκολίες στον αερισμό
- Μικρή έκταση μηχανοποίησης
- Υψηλό κόστος σε σχέση με τις μεθόδους κατακρήμνισης
- Το προσωπικό πρέπει να εργάζεται κάτω από πρόσφατα διαταραγμένο πέτρωμα

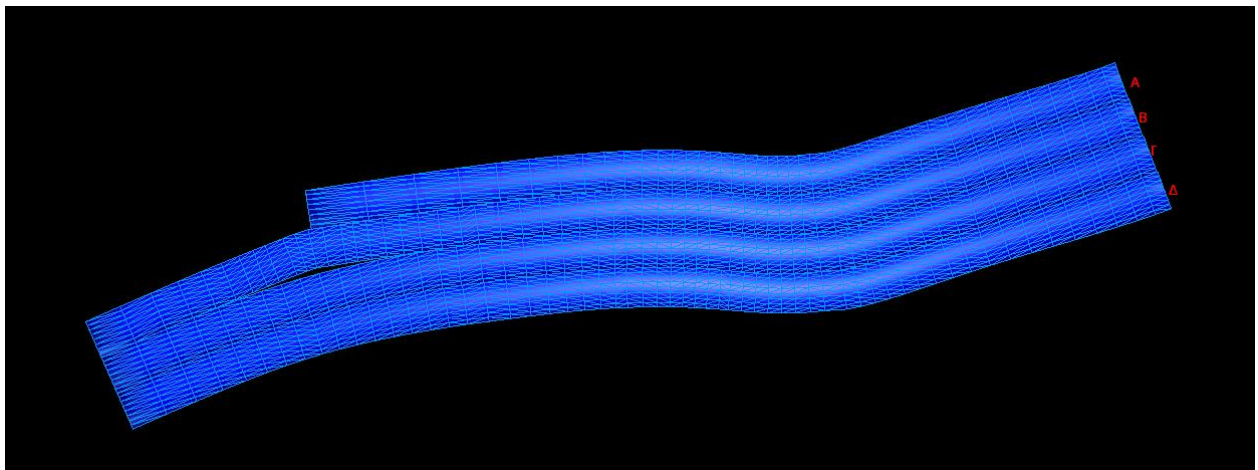
Για το παρόν έργο επιλέγεται η μέθοδος των οριζοντίων ανερχόμενων διαδοχικών πλακών που ορύσσονται κατά εγκάρσιες λωρίδες, μία παραλλαγή της μεθόδου cut and fill. Στη μέθοδο το μέταλλευμα εξορύσσεται σε λωρίδες που αποκόπτονται καθέτως από τα περιβάλλοντα πετρώματα μέσα σε οριζόντια πλάκα (crosscut). Μόλις ολοκληρωθεί η εκσκαφή ο χώρος λιθογομώνεται και η διαδικασία επαναλαμβάνεται στον ανώτερο όροφο. Λόγω της μεγάλης οριζόντια έκτασης του κοιτάσματος και της απομειωμένης αντοχής του, η λιθογόμωση θα γίνει μέσω της μεθόδου drift and fill σύμφωνα με την οποία οι στοές κάθε ορόφου θα λιθογομώνονται ταυτόχρονα με την εξόρυξη του με συγκεκριμένη αλληλουχία.



Εικόνα 17 Drift and fill (Atlas Copco)



Εικόνα 18 Πλάγια όψη δύο ορόφων της εκμετάλλευσης



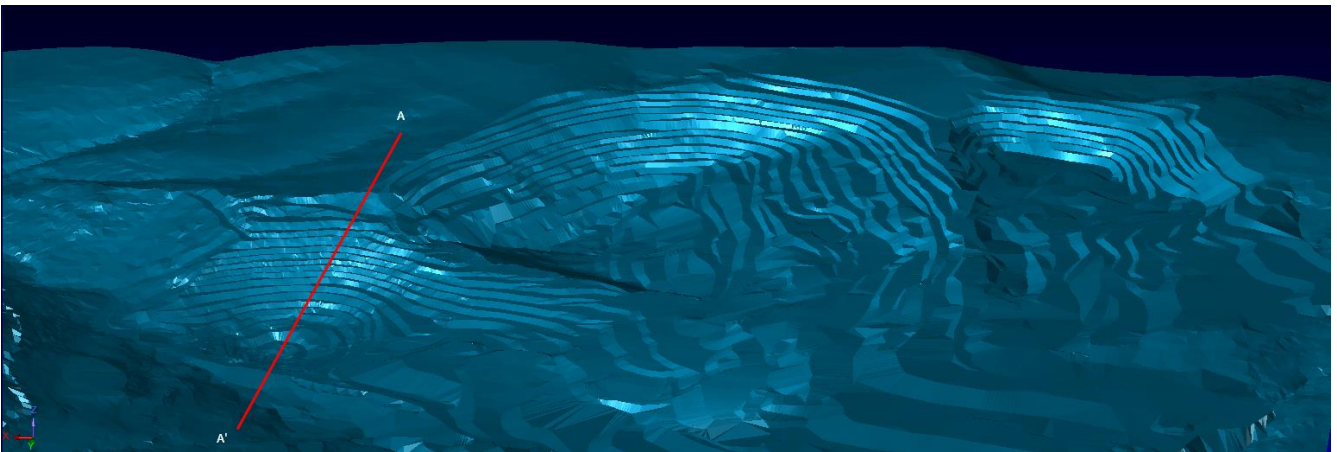
Εικόνα 19 Κάτοψη ορόφου εκμετάλλευσης



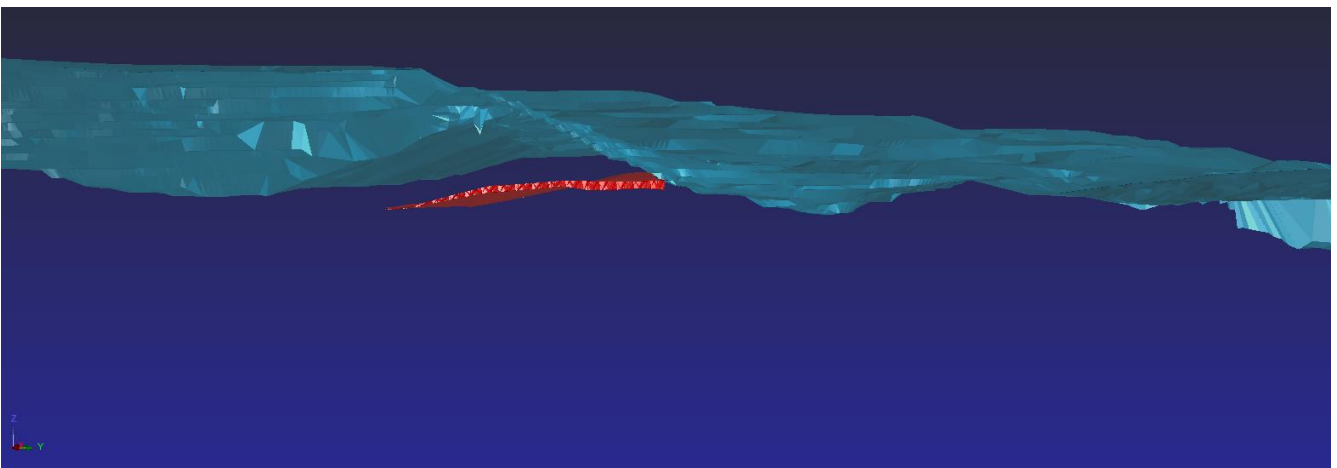
## 4 Μοντελοποίηση κοιτάσματος

Η διαδικασία του σχεδιασμού της εκμετάλλευσης ξεκινά με την μοντελοποίηση του κοιτάσματος. Στην παρούσα διπλωματική εργασία η μοντελοποίηση έγινε με τη χρήση του προγράμματος Surpac (v6.6.2) της GEOVIA.

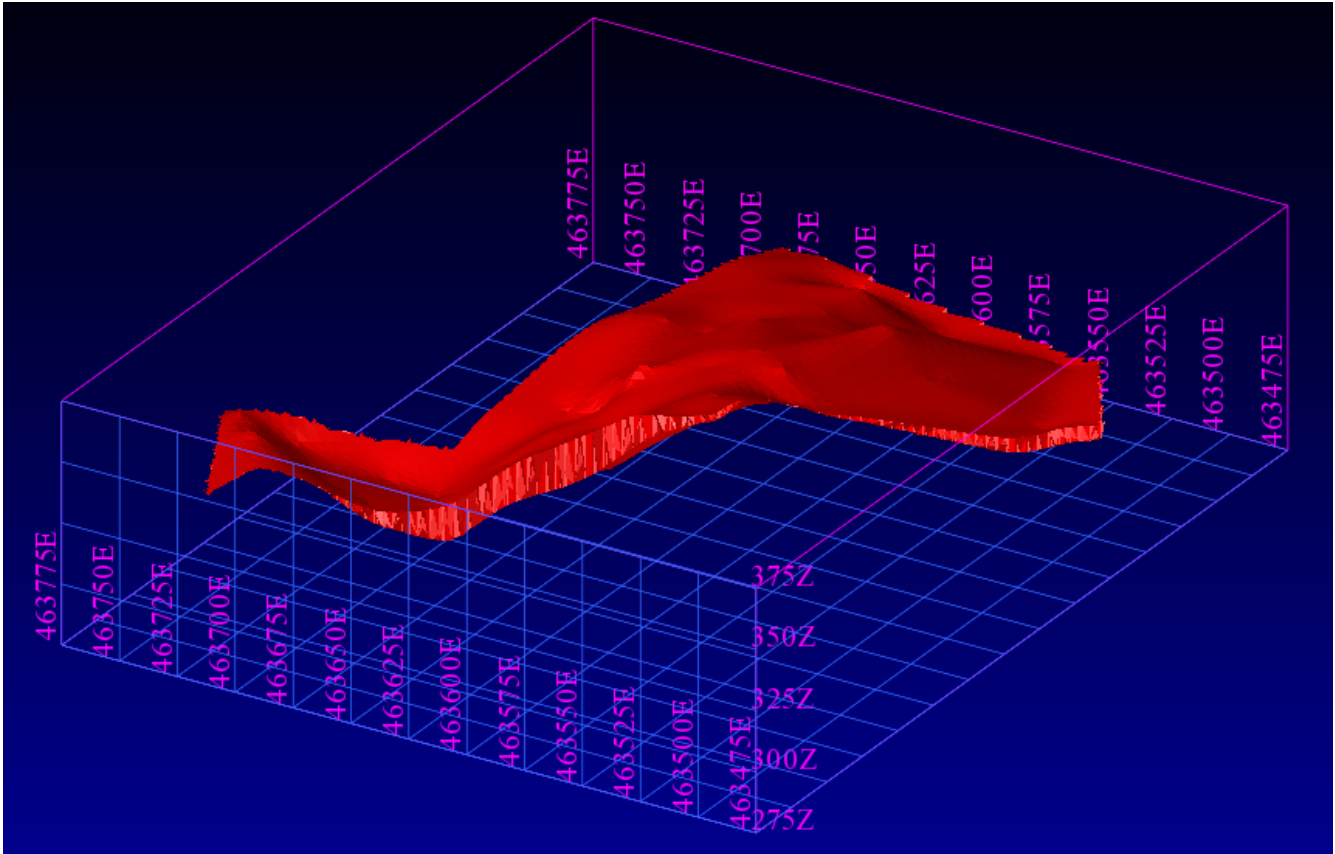
Η αρχική απεικόνιση του κοιτάσματος όπως αυτό δόθηκε από την ΛΑΡΚΟ φαίνεται παρακάτω:



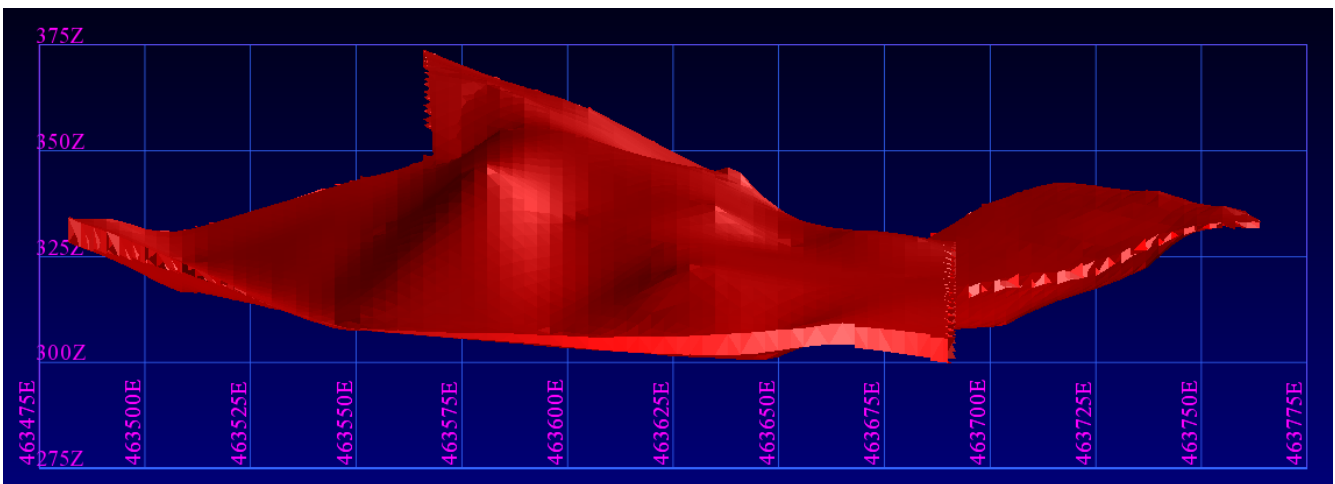
Εικόνα 20 Τοπογραφία επιφάνειας



Εικόνα 21 Τομή AA'



Εικόνα 22 Πλάγια όψη κοιτάσματος



Εικόνα 23 Προφίλ του κοιτάσματος

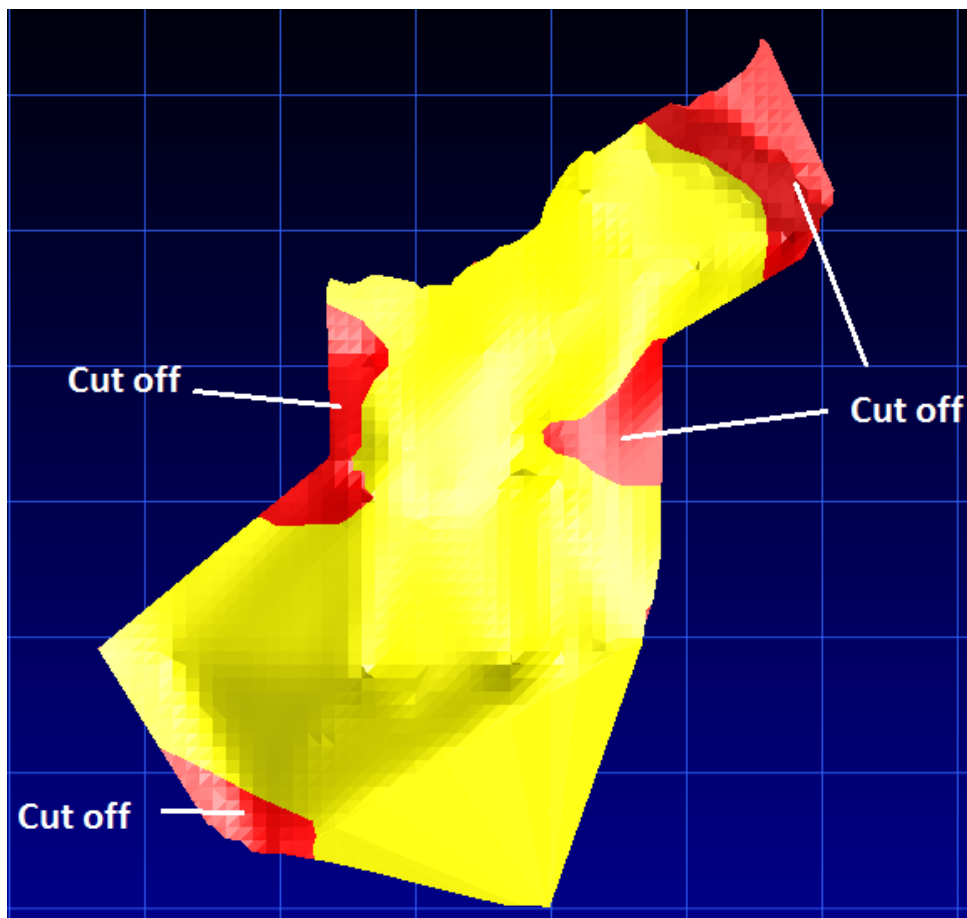
Το κοιτάσμα αναπτύσσεται με γενική διεύθυνση παράταξης ΒΑ-ΝΔ βυθιζόμενο προς τα ΝΔ με μέση κλίση 15-30° και πάχος 5-7m φτάνοντας στο βόρειο τμήμα του και τα 18m. Το σχήμα

του είναι κατά κύριο λόγο επίπεδο αλλά παρουσιάζει πληθώρα τοπικών βυθισμάτων και ανυψώσεων που μπορούν να ξεπεράσουν τις 40° σε κλίση. Το μέσο βάθος του κυμαίνεται στα 150m και στα χαμηλότερα σημεία φτάνει στα 200m.

Στη συνέχεια ακολούθησε η ογκομέτρηση του κοιτάσματος αφού πρώτα χωρίστηκε σε διακριτά αρχεία πατώματος και οροφής με το αποτέλεσμα να είναι **291.039m<sup>3</sup>** in situ μεταλλεύματος. Αν πολλαπλασιάσουμε με το ειδικό βάρος του μεταλλεύματος έχουμε  $291.039\text{m}^3 \cdot 3,2 \text{ tn/m}^3 =$  **931.325tn** μεταλλεύματος.

Ο μέσος όρος της περιεκτικότητας κ.β του νικελίου ανέρχεται σύμφωνα με το δοθέν block model σε **1,05%**. Επομένως αρχικά στο κοίτασμα βρίσκονται:  $931.324,8\text{tn} \cdot 1,05\% =$  **9.780tn** καθαρού Νικελίου.

Λόγω τεχνικών περιορισμών των μηχανημάτων και προσπάθειας αποφυγής πρόσμιξης της παραγωγής με στείρα αποφασίστηκε η περικοπή του κοιτάσματος με cutoff των 2m πάχους.



Εικόνα 24 Κοίτασμα μετά από περικοπή

Στη συνέχεια η ογκομέτρηση επαναλήφθηκε δίνοντας μας **280.364m<sup>3</sup>** in situ. Στη συνέχεια ο όγκος απομειώθηκε επιπλέον 5% για να ληφθούν υπόψιν τυχόν αποκλίσεις λόγω σχεδιασμού από το ιδεατό σενάριο δίνοντάς μας **266.346m<sup>3</sup>** in situ .

Πίνακας 14 Αποθέματα

| Σχεδιασμοί           | Όγκος in situ (m <sup>3</sup> ) | Μάζα (tn) | Νικέλιο (tn) |
|----------------------|---------------------------------|-----------|--------------|
| Γεωλογικά            | 291.039                         | 931.325   | 9.779        |
| Τεχνικά (cut-off 2m) | 280.364                         | 897.165   | 9.420        |
| Τελικά τεχνικά       | 266.346                         | 852.307   | 8.949        |

## 5 Υπολογισμός διάρκειας ζωής

Το μέγεθος της παραγωγής ενός μεταλλείου επηρεάζεται από πληθώρα παραγόντων

- Τις συνθήκες της αγοράς και τη τιμή του προϊόντος
- Την περιεκτικότητα του μεταλλεύματος σε χρήσιμο συστατικό και τα αντίστοιχα αποθέματα
- Ο χρόνος έως την έναρξη της παραγωγής
- Πολιτικοί και κοινωνικοί παράγοντες
- Το επίπεδο της φορολογίας
- Η διαθεσιμότητα πηγών ενέργειας και νερού
- Οι φυσικές ιδιότητες των περιβαλλόντων πετρωμάτων και του μεταλλεύματος
- Η γεωμετρία του κοιτάσματος
- Το μέγεθος και η διαθεσιμότητα του προσωπικού

Αν και πολλοί από τους προαναφερθέντες παράγοντες είναι αστάθμιστοι και μη ποσοτικοποιήσιμοι βιβλιογραφικά υπάρχουν τύποι για έναν προκαταρκτικό υπολογισμό της διάρκειας ζωής

ενός μεταλλείου. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέχθηκε ο εμπειρικός κανόνας του Taylor για την εκτίμηση της ετήσιας παραγωγής σε συνάρτηση με τα αποθέματα.

Ο τύπος είναι ο εξής:  $Q=5R^{0.75}$

Όπου:

- Q= η ετήσια παραγωγή (tn/year)
- R= τα αποθέματα του κοιτάσματος (tn)

Ακόμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο τύπος:  $L=0,2R^{0.25}$  για τη διάρκεια ζωής του μεταλλείου

Όπου:

- L= η διάρκεια ζωής (years)

Εισάγοντας τα παραπάνω στοιχεία για τον τελικό σχεδιασμό στους τύπους και θεωρώντας 250 εργάσιμες ημέρες το χρόνο έχουμε τα παρακάτω:

Πίνακας 15 Διάρκεια ζωής μεταλλείου κατά Taylor

| Όγκος (m <sup>3</sup> ) | Μάζα (tn) | Παραγωγή(tn/y) | Παραγωγή(m <sup>3</sup> /d) | Παραγωγή(tn/d) | Διάρκεια ζωής (y) |
|-------------------------|-----------|----------------|-----------------------------|----------------|-------------------|
| 266.346                 | 852.307   | 140.255        | 175                         | 561            | 6                 |

## 6 Σχεδιασμός εκμετάλλευσης

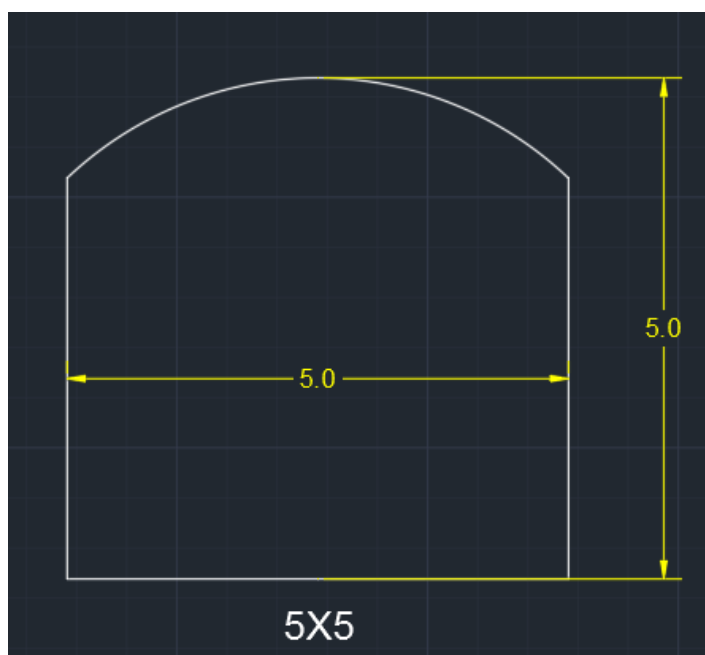
Έχοντας λοιπόν την τελική μορφή του κοιτάσματος μπορούμε να προχωρήσουμε στον σχεδιασμό του έργου με τις παρακάτω στοές με τις αντίστοιχες διατομές:

Πίνακας 16 Χαρακτηριστικά στοών

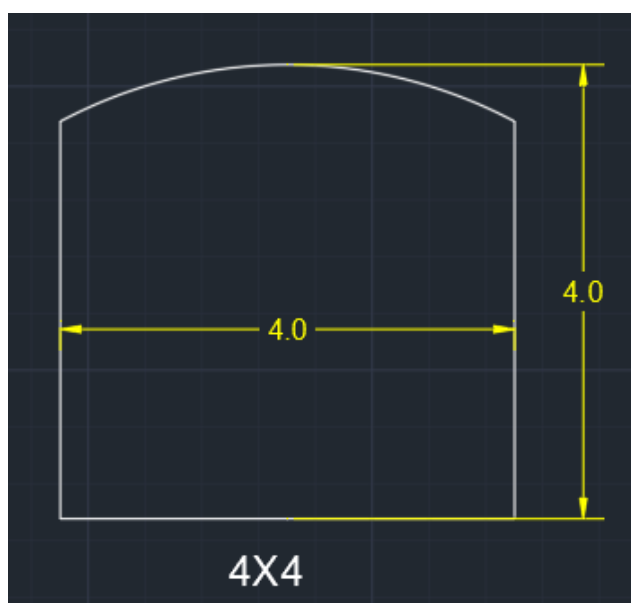
| Τύπος                    | Ύψος(m) | Πλάτος(m) | Χρώμα απεικόνισης | Διατομή     |
|--------------------------|---------|-----------|-------------------|-------------|
| Προσπέλασης-Περιχάραιξης | 5       | 5         | Πορτοκαλί         | Πεταλοειδής |
| Διευθυντικές             | 4       | 4         | Γαλάζιο           | Πεταλοειδής |

|           |     |   |     |             |
|-----------|-----|---|-----|-------------|
| Προσβολής | 3,5 | 4 | -   | Πεταλοειδής |
| Φρέαρ     | 3   | 3 | Ροζ | Στρογγυλή   |

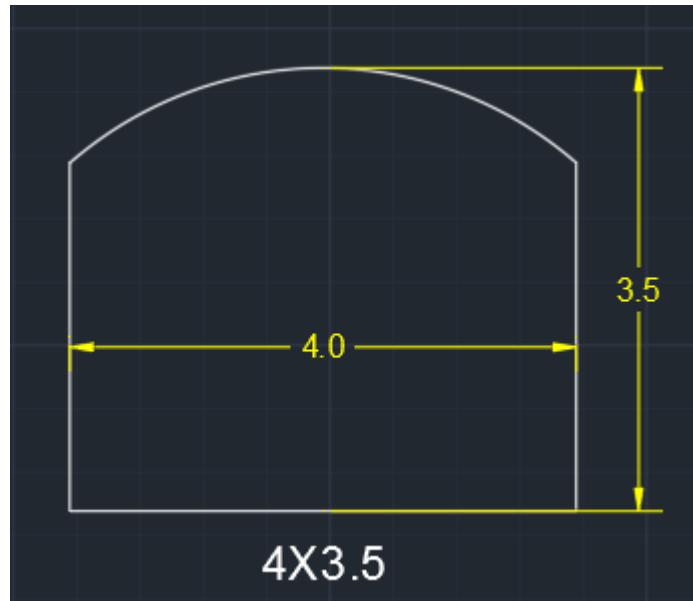
Ακόμη αξίζει να σημειωθεί ότι για τις ανάγκες περιχάραξης θα υπάρξουν στοές προσβολής που δεν θα λιθογομωθούν και θα απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα



Εικόνα 25 Διατομή στοάς 5X5



Εικόνα 26 Διατομή στοάς 4X4



Εικόνα 27 Διατομή στοάς 4X3.5



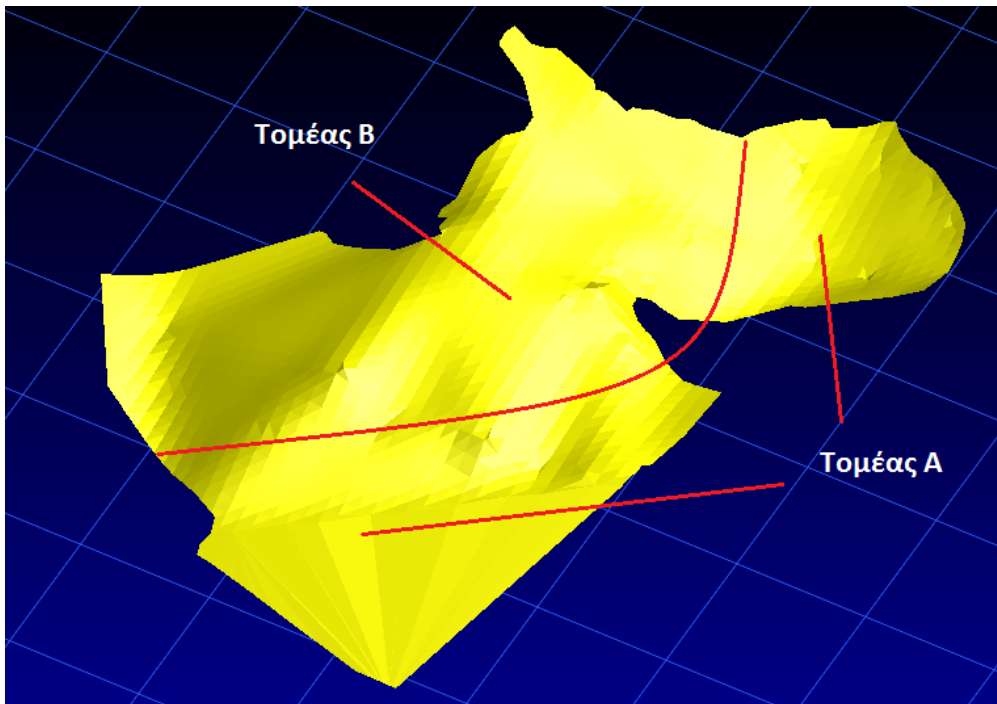
Εικόνα 28 Διατομή φρέατος

## 6.1 Φάσεις

Οι σχεδιασμοί γίνονται με φόντο το 'δάπεδο' του κοιτάσματος για διευκόλυνση κατανόησης του σχεδιασμού

- Α ΦΑΣΗ (Περιχάραξη τομέα Α)

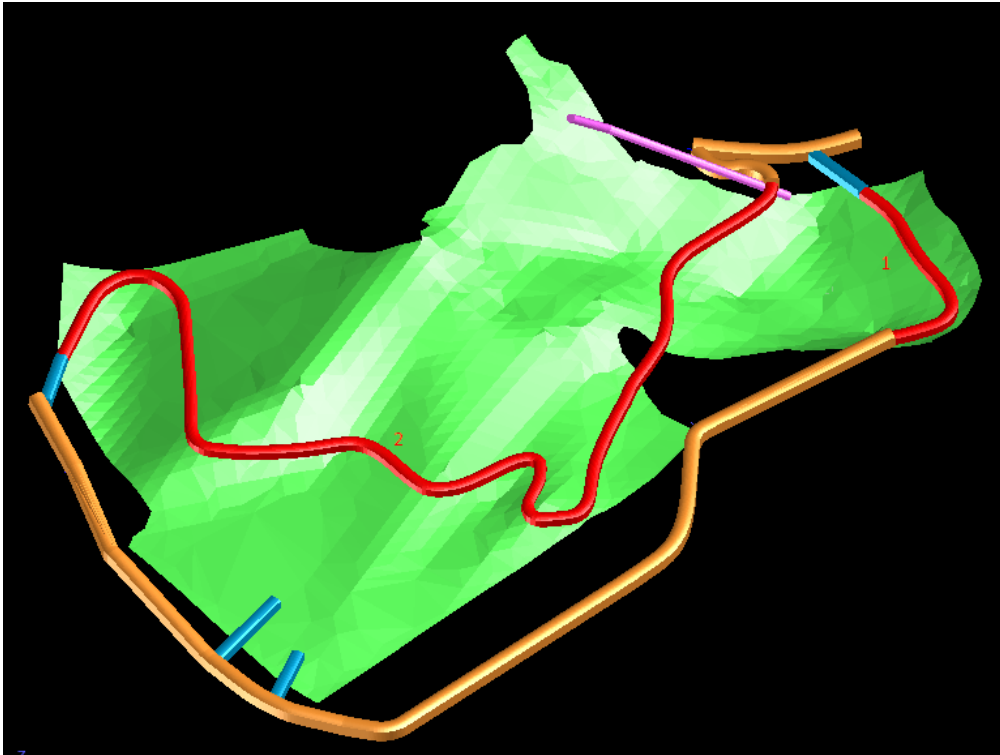
Αρχικά το κοιτάσμα χωρίζεται σε τομείς Α και Β όπως φαίνεται στην παρακάτω απεικόνιση



Εικόνα 29 Τομείς κοιτάσματος

Για τις ανάγκες αυτής της φάσης αρχικά θα γίνει περιχάραξη του τομέα Α με διάνοιξη του φρέατος, μέρους των προσπελαστικών έργων όπως αυτά απεικονίζονται παρακάτω καθώς και των στοών 1 και 2. Στο τέλος της φάσης αυτής θα υπάρξει προσβολή του τομέα Α με διάνοιξη των πρώτων διευθυντικών.



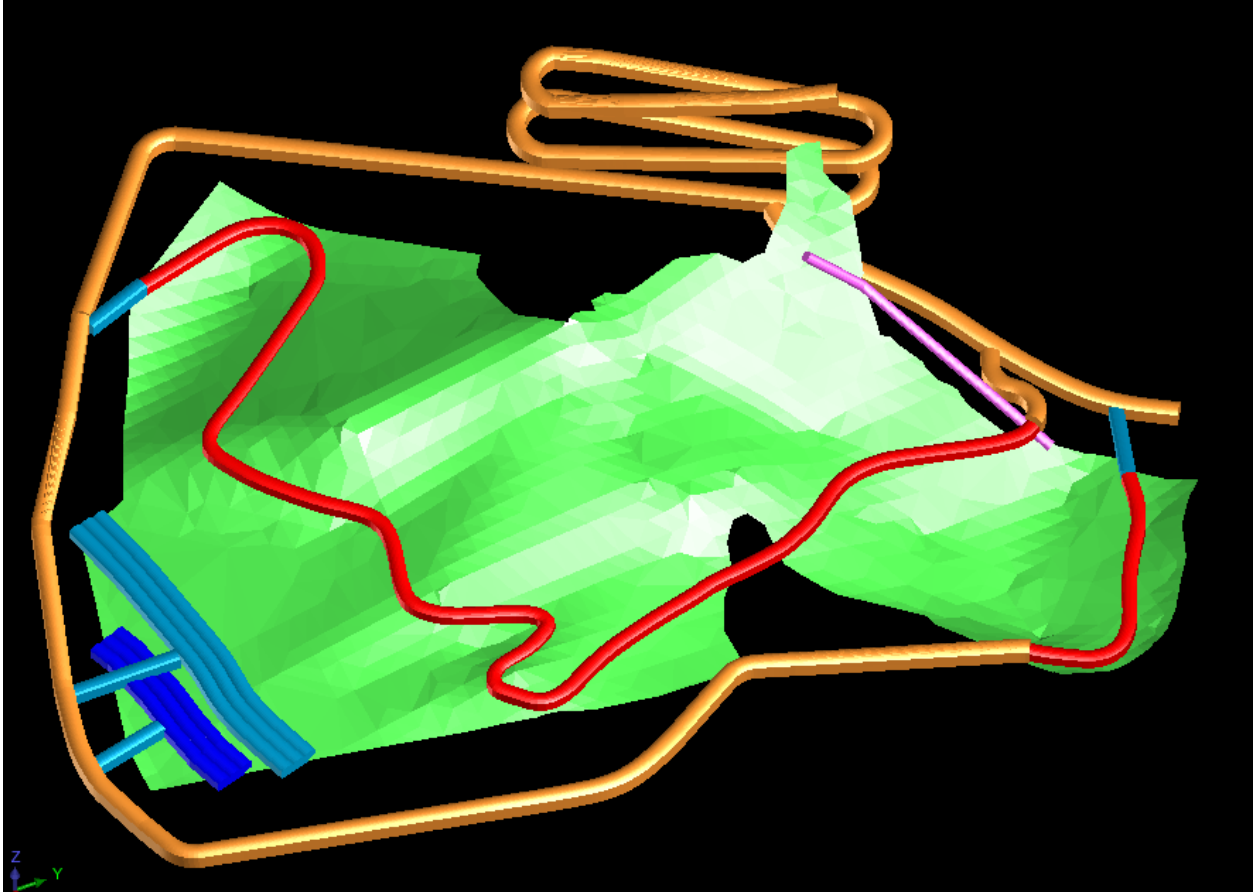


Εικόνα 30 Α φάση εκμετάλλευσης

Με τη λήξη της φάσης ο Α τομέας είναι έτοιμος για έναρξη της παραγωγής και το κύκλωμα αερισμού μπορεί και ανακυκλώνει τον αέρα για τους εργαζόμενους.

- Β ΦΑΣΗ (Διάνοιξη υπολειπόμενων προσπελαστικών έργων-εκμετάλλευση Α τομέα)

Σε αυτή τη φάση αρχίζει η παραγωγή μέσω δύο μετώπων στον τομέα Α και ολοκληρώνονται και τα υπόλοιπα προσπελαστικά έργα

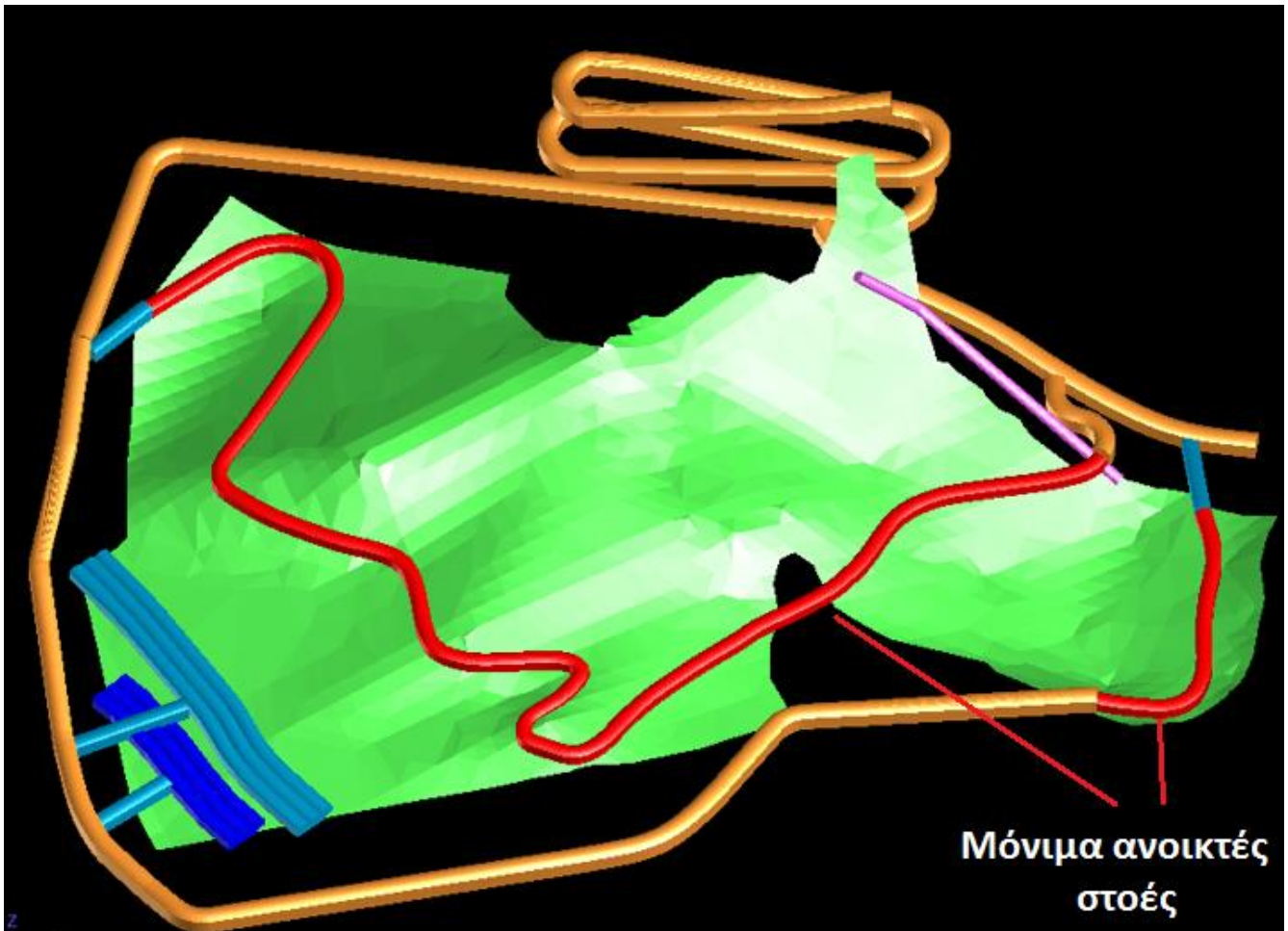


Εικόνα 31 Β φάση εκμετάλλευσης

Με τη λήξη της Β φάσης τα προσπελαστικά έργα λήγουν και ο τομέας Β είναι έτοιμος για προσβολή

- Γ ΦΑΣΗ (Εκμετάλλευση Α-προσβολή Β)

Σε αυτή τη φάση ο τομέας Α συνεχίζει και εκμεταλλεύεται και γίνονται οι πρώτες διευθυντικές στοές προς προετοιμασία έναρξης της εξόφλησης του Β. Αξίζει να σημειωθεί ότι αφήνονται 'κουβέρτες' ανεκμετάλλετου κοιτάσματος γύρω από τις μόνιμα ανοικτές στοές που περνούν μέσα από το κοίτασμα για λόγους ασφαλείας

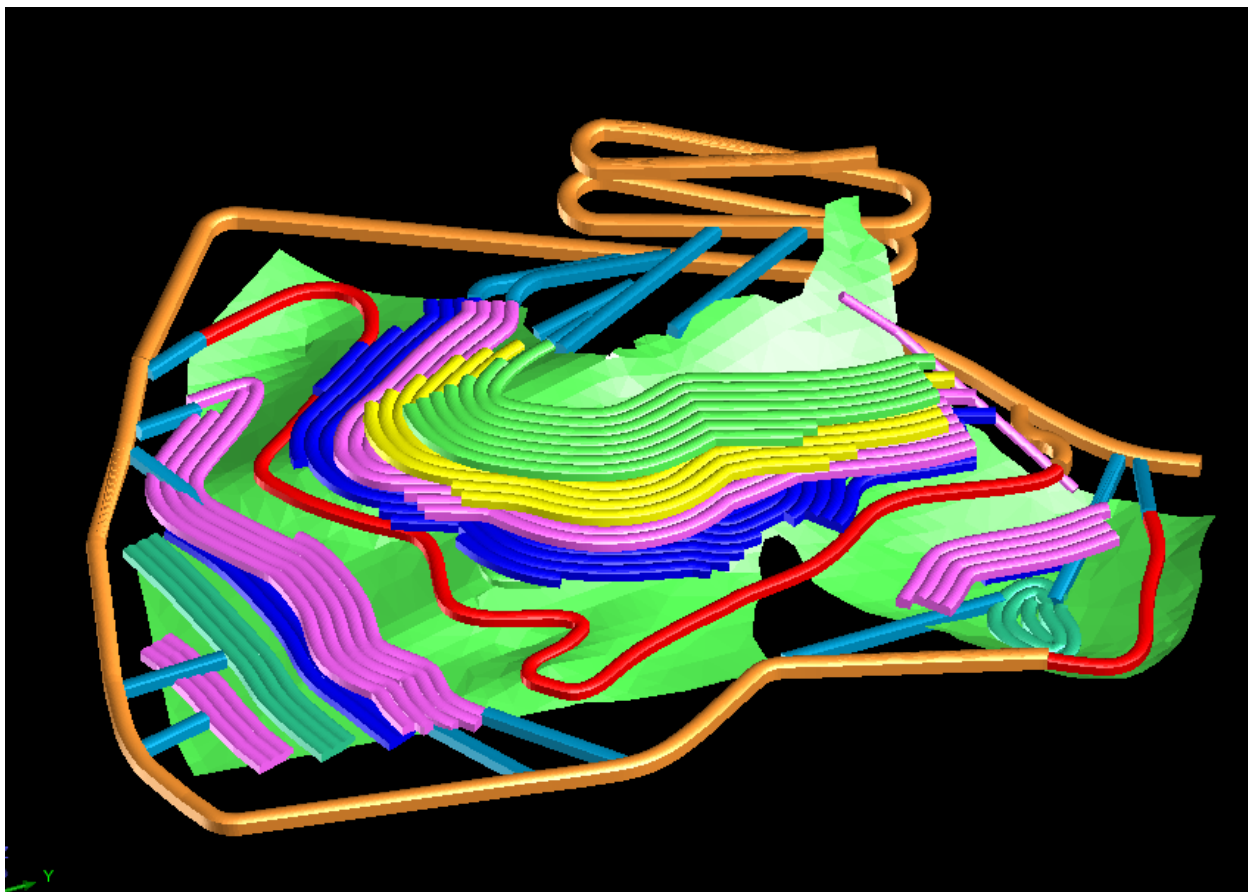


Εικόνα 32 Γ φάση εκμετάλλευσης

Στο τέλος της Γ φάσης ο τομέας Α συνεχίζει να εξοφλείται ενώ ο Β είναι πια έτοιμος για τις πρώτες προσβολές.

- Δ ΦΑΣΗ (Εξόφληση τομέα Α-εκμετάλλευση Β)

Σε αυτή τη φάση ο τομέας Α εξοφλείται πλήρως (πλην της 'κουβέρτας' ασφαλείας) ενώ βρίσκεται σε εξέλιξη η εκμετάλλευση του τομέα Β.

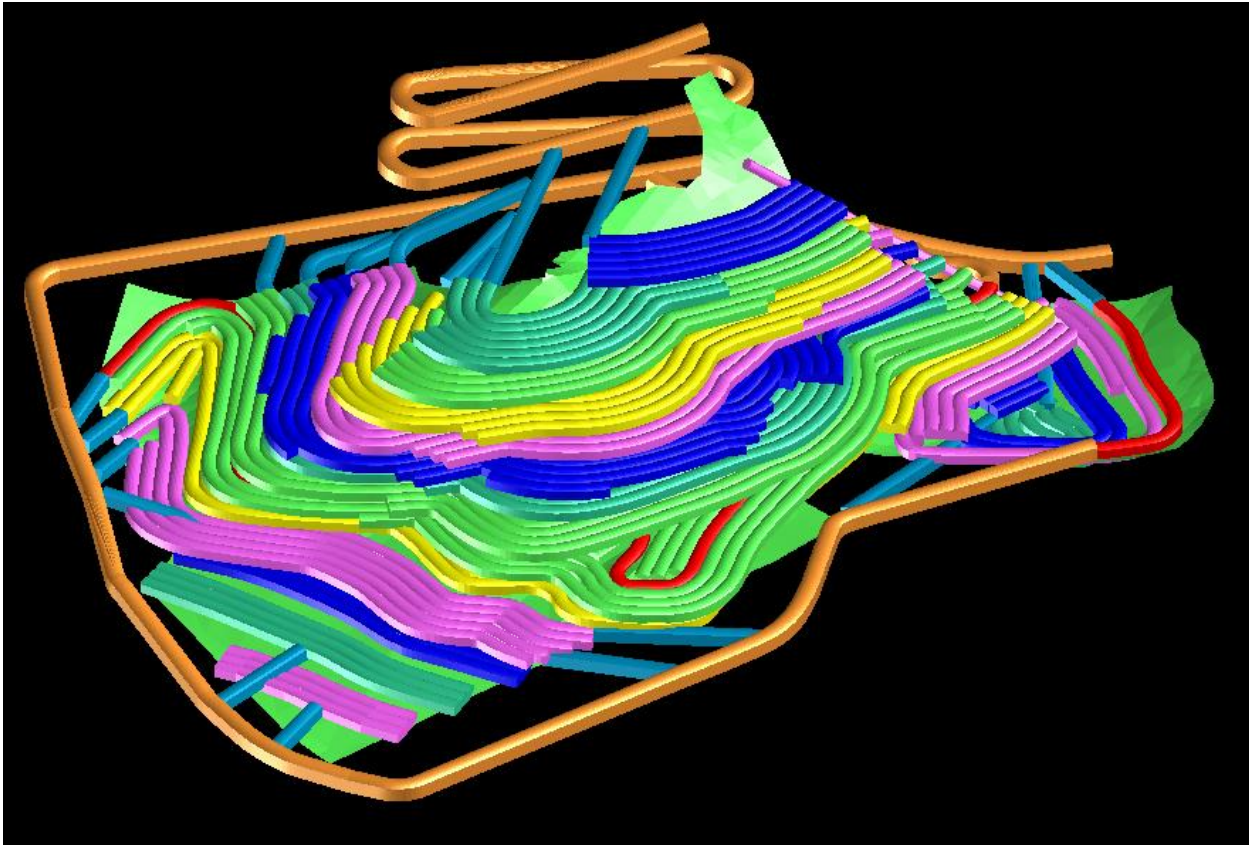


Εικόνα 33 Δ φάση εκμετάλλευσης

Στο τέλος της φάσης Δ οι τομείς Α και Β έχουν εξοφληθεί σε μεγάλο βαθμό και ακολουθεί η τελευταία φάση της εκμετάλλευσης

### Ε ΦΑΣΗ (Εξόφληση Β τομέα-κουβέρτας Α)

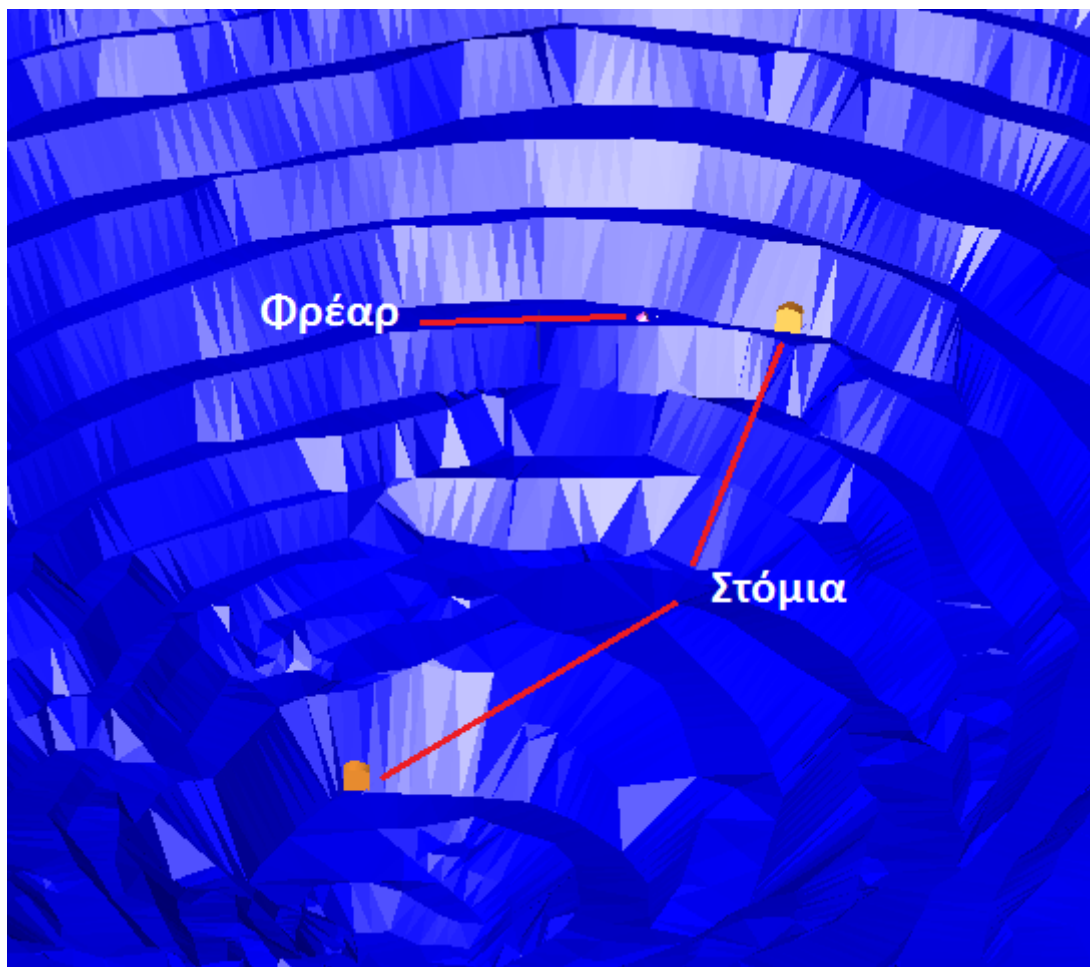
Σε αυτή τη φάση εξοφλείται πλήρως ο Β τομέας καθώς και ο Α με την τελική απόληψη της κουβέρτας δίνοντάς μας την μορφή του εξαντλημένου πια κοιτάσματος.



*Εικόνα 34 Δ φάση της εκμετάλλευσης*

### 6.2 Στοιχεία σχεδιασμού

Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού δόθηκε ιδιαίτερη μέριμνα ώστε οι κλίσεις των προσπελάσεων και διευθυντικών στοών να μην ξεπεράσουν το 15% με τον μέσο όρο των κλίσεων να κυμαίνεται στο 10-12%. Ακόμη, οι παραγωγικές στοές σχεδιάστικαν με μηδενικές κλίσεις για διευκόλυνση των εργασιών μέσα σε αυτές μιας και αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του έργου. Ακόμη σύμφωνα με το άρθρο 64/1 του ΚΜΛΕ οι κύριες προσπελάσεις που έρχονται σε επαφή με την επιφάνεια είναι δύο και η απόστασή τους είναι μεγαλύτερη από 20m, επιπρόσθετως τα στόμια τους συμφωνούν σε μεγάλο βαθμό με το ανάγλυφο της παλαιότερης επιφανειακής εκμετάλλευσης που βρίσκεται πάνω από το κοιτάσμα μειώνοντάς αρκετά τα έργα για τη διαμόρφωσή τους.



Εικόνα 35 Στόμια εκμετάλλευσης και φρέαρ

Πίνακας 17 Συγκεντρωτικά στοιχεία στοών

| ΤΥΠΟΣ                            | Διατομή (τύπος)     | Διατομή (m <sup>2</sup> ) | Μήκος (m) | Όγκος in situ (m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------------|---------------------|---------------------------|-----------|---------------------------------|
| Παραγωγικές (προσωρινά ανοικτές) | 3,5Χ4 (πεταλοειδής) | 13                        | 15.446    | <u>200.798</u>                  |
| Παραγωγικές (μόνιμα ανοικτές)    | 3,5Χ4 (πεταλοειδής) | 13                        | 554       | <u>7.202</u>                    |
| Προσπελαστικές                   | 5Χ5 (πεταλοειδής)   | 23,4                      | 1.317     | <u>30.813</u>                   |

|                     |                        |       |     |               |
|---------------------|------------------------|-------|-----|---------------|
| <b>Διευθυντικές</b> | 4X4 (πεταλοει-<br>δής) | 15,34 | 736 | <u>11.292</u> |
| <b>Φρέαρ</b>        | 3 (κυκλική)            | 7     | 75  | <u>525</u>    |

Το σύνολο των όγκων των στειρών in situ (ασβεστόλιθος) βρίσκεται ως εξής :Όγκος προσπελαστικών στοών (m<sup>3</sup>)+ όγκος διευθυντικών στοών (m<sup>3</sup>)+ ο όγκος του φρέατος(m<sup>3</sup>)= 30.813+11.292+ 525=42.630m<sup>3</sup> ,υπολογίζοντας και έναν συντελεστή επιπλήσματος 1,2 μας δίνει 42.630m<sup>3</sup>\*1.2=**51.156m<sup>3</sup>**

Το σύνολο των παραγωγικών στοών ανέρχεται σε 208.000 m<sup>3</sup> , με την παραδοχή ότι όλος ο όγκος τους περνά από το κοίτασμα, η αποληψιμότητα σχηματίζεται ως εξής:

$$R=\text{Απολήψιμα(m}^3\text{)}/ \text{Όγκος κοιτάσματος (m}^3\text{)}=208.000/266.346=0,781 \text{ ή } \mathbf{78,1\%}$$

### 6.3 Σειρά μετώπων

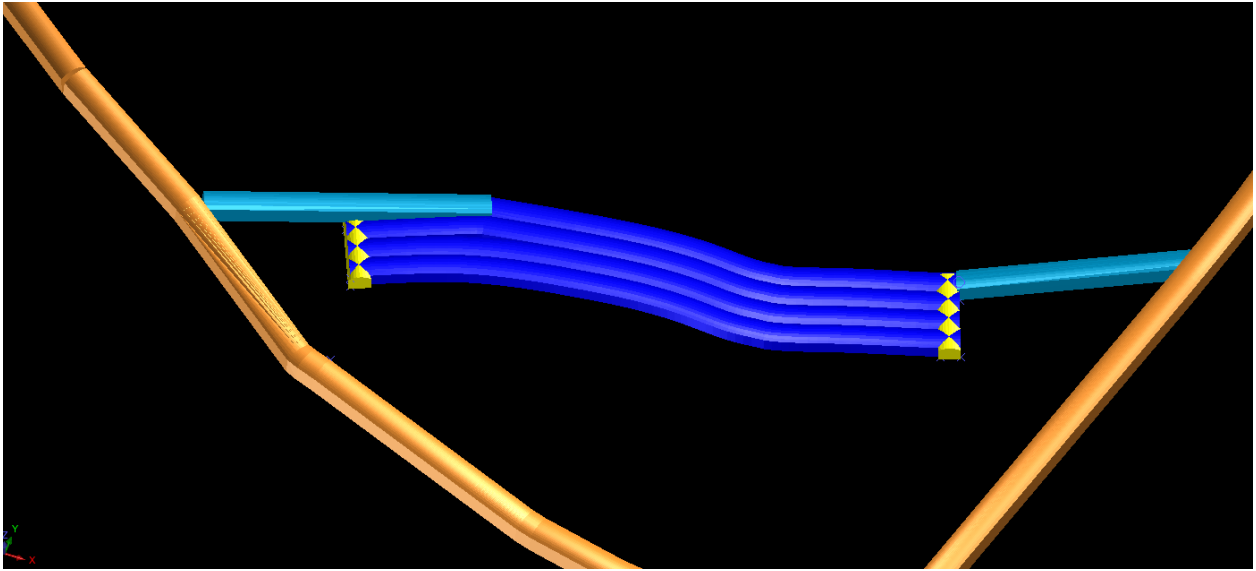
Στον παρόν σχεδιασμό εφόσον χρησιμοποιείται η μέθοδος του ανερχόμενου cut and fill πρέπει να υποδειχθεί η σειρά προσβολής των εκάστοτε μετώπων. Συναντάμε δύο περιπτώσεις προσβολής

#### 6.3.1 Προσβολή από άκρα

Στο μεγαλύτερο μέρος του ορυχείου οι όροφοι προσβάλλονται ταυτόχρονα από δεξιά και αριστερά μέσω των αντίστοιχων διευθυντικών και αφού εξοφληθούν λιθογομώνονται και η διαδικασία συνεχίζει στον επάνω όροφο.

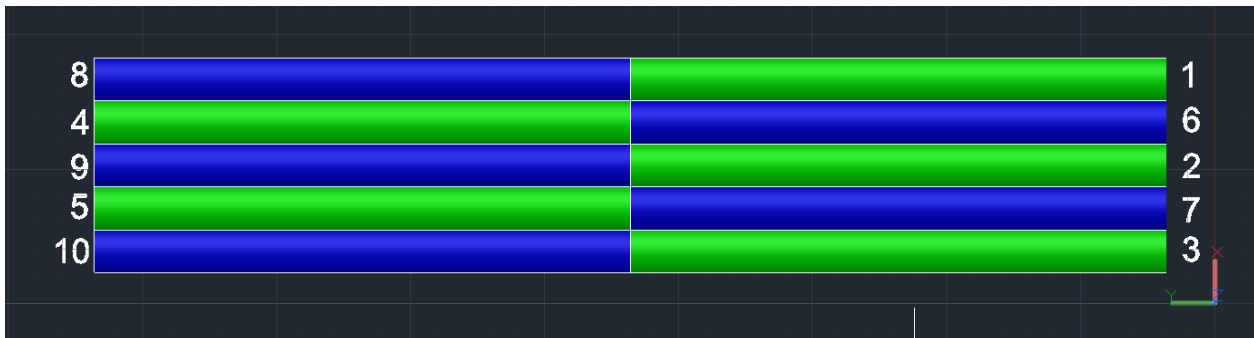
Η διαδικασία έχει ως εξής:

- Οι διευθυντικές φτάνουν στα αντιδιαμετρικά άκρα το ορόφου
- Διανοίγονται στοές κάθετες στις διευθυντικές (κίτρινο χρώμα) για να δοθεί η δυνατότητα προσπέλασης όλου του μήκους του ορόφου



Εικόνα 36 Κάτοψη ορόφου

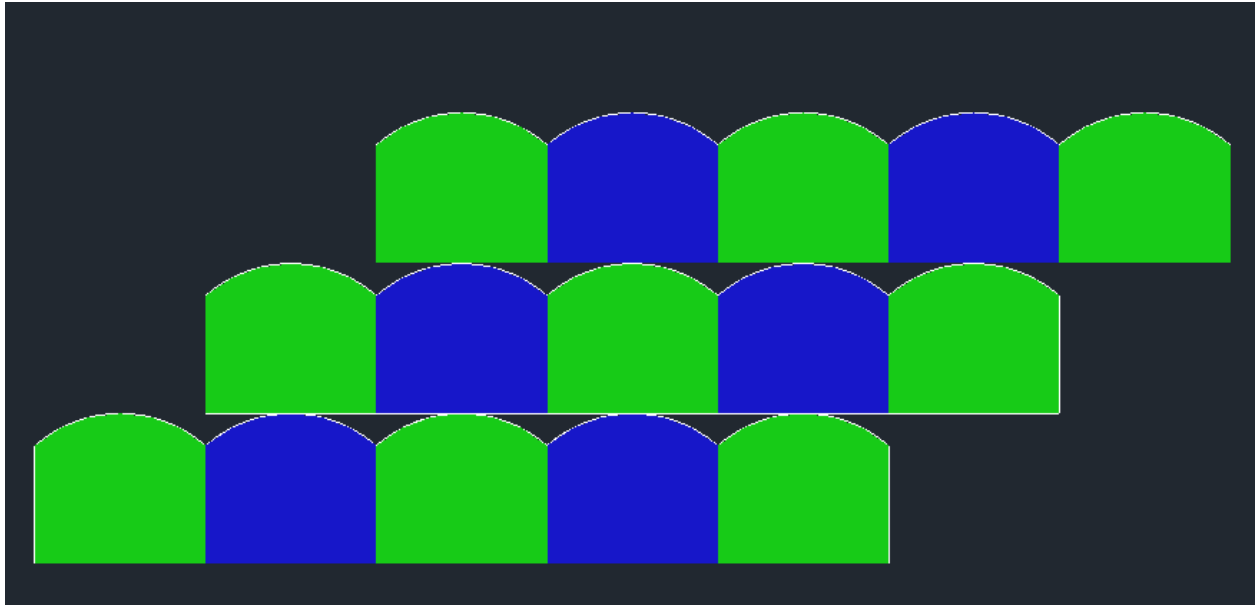
Οι εξόφληση ξεκινά από τις εξωτερικές πλευρές του ορόφου και συγκλίνει προς το μέσο του με τον παρακάτω χρονισμό



Εικόνα 37 Τρόπος ανάπτυξης συνήθη ορόφου

Εκτός του χρονισμού παρουσιάζεται και ο τρόπος λιθογόμωσης με τα πράσινα μέρη να γεμίζονται με τσιμεντοπολφό ο οποίος με την σειρά του αντιστηρίζει τα μπλε μέρη που γεμίζονται με ξηρή λιθογόμωση (η λιθογόμωση θα αναλυθεί εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο). Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε νέο όροφο με ανιούσα φορά.



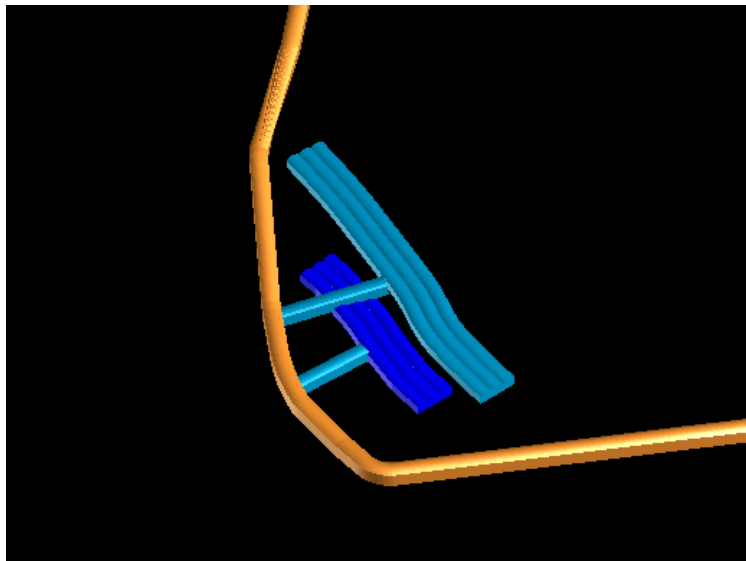


Εικόνα 38 Πλάγια όψη τριών ορόφων

Αξίζει να παρατηρηθεί η πεσσοειδής διάταξη των σηράγγων όπου οι στοές που λιθογομώνονται με τσιμεντοπολφό αντιστηρίζουν αυτές που θα γεμίσουν με στείρα (ξηρή λιθογόμωση)

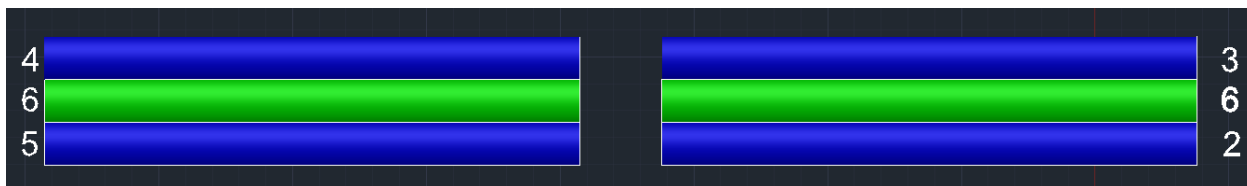
### 6.3.2 Προσβολή κεντροβαρικά

Οι δύο χαμηλότεροι όροφοι ( $z=305$  και  $308.5$ ) προς αποφυγή περεταίρω διανοίξεων διευθυντικών στοών προσβάλλονται κεντροβαρικά



Εικόνα 39 Χαμηλότεροι όροφοι με κεντροβαρική προσβολή

Η ίδια αρχή χρονισμού και λιθογόμωσης που ακολουθήθηκε προηγουμένως μας δίνει το εξής



Εικόνα 40 Τρόπος ανάπτυξης κατώτερων ορόφων

## 7 Γεωτεχνική προσομοίωση

Μετά το σχεδιασμό της εκμετάλλευσης αναγκαίος κρίθηκε ο γεωτεχνικός έλεγχος κρίσιμων σημείων του έργου που πραγματοποιήθηκε με χρήση του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων ADONIS (v3.25.1).

Σε όλες τις προσομοιώσεις ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

1. Σχεδιασμός της γεωμετρίας του σεναρίου στο AUTOCAD 2020
2. Εισαγωγή του παραγόμενου αρχείου dxf στο ADONIS
3. Βελτιστοποίηση και τριγωνισμός του σεναρίου
4. Εισαγωγή των απαραίτητων υλικών και των ιδιοτήτων του στο πρόγραμμα με χρήση κριτηρίου Mohr-Coulomb
5. Μηδενισμός τάσεων για προετοιμασία έναυσης του σεναρίου
6. Ανασκαφή των περιοχών προς εξέταση με χρήση relax στο μισό χρόνο των τελικών καθιζήσεων για την προσομοίωση νεκρών χρόνων πριν τη τοποθέτηση στοιχείων υποστήριξης ή λιθογόμωσης
7. Τελικός υπολογισμός υποχωρήσεων

### 7.1 Ελικοειδές

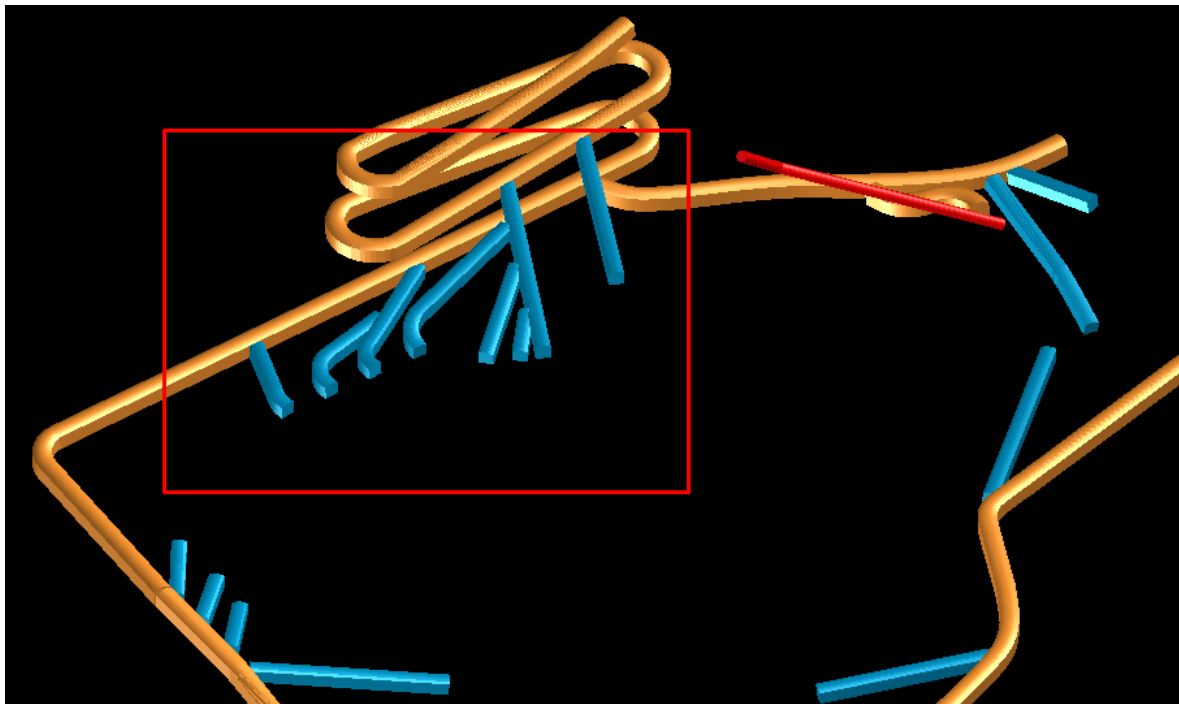
Αρχικά εξετάστηκε το ελικοειδές που συνδέεται με το ανώτερο στόμιο του έργου. Το ελικοειδές έχει υπερκείμενα 31m και βρίσκεται σε ασβεστόλιθο της ενότητας Ksm.1 ο οποίος παρουσιάζεται με γαλάζιο χρώμα στη παρακάτω εικόνα:



Οι μετακινήσεις που παρατηρούνται είναι της τάξης των χιλιοστών ακόμη και χωρίς τη χρήση υποστήριξης και επομένως το σενάριο κρίνεται ασφαλές.

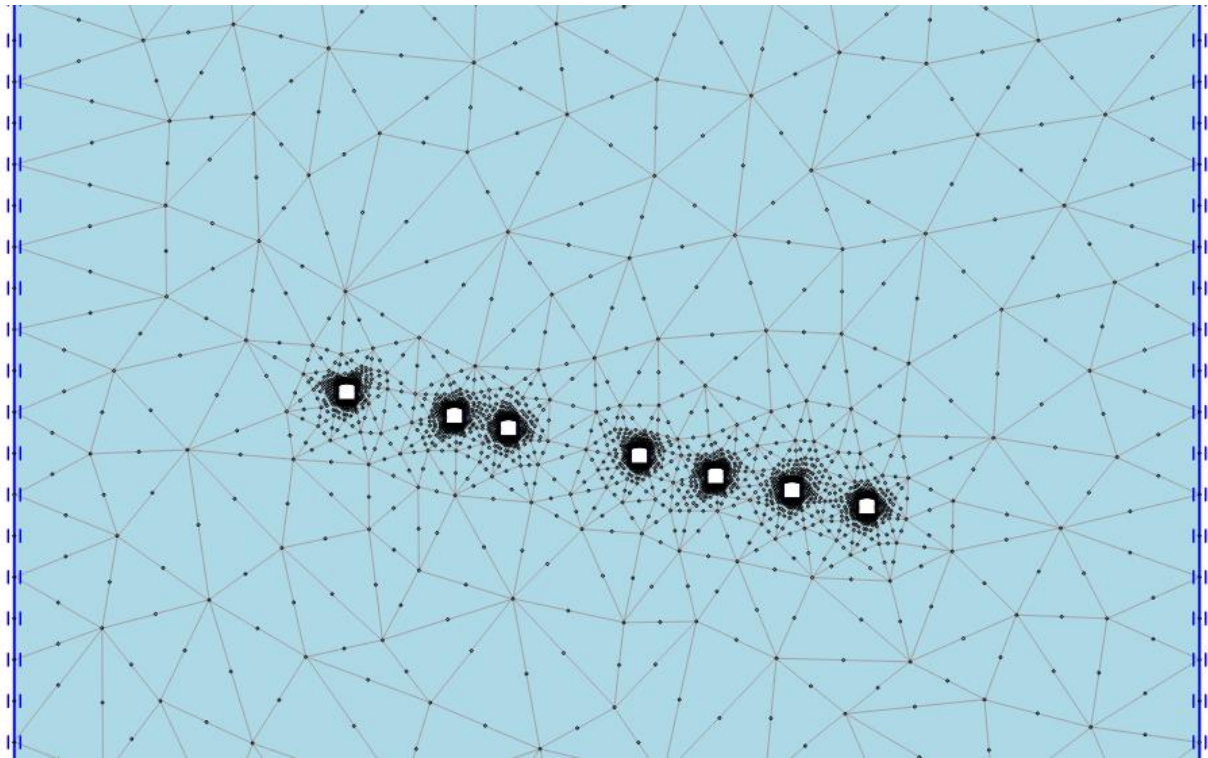
## 7.2 Διευθυντικές

Ακόμη ελέγχθηκε η ευστάθεια των πολλαπλών διευθυντικών στοών που υπάρχουν στον τομέα Β



Εικόνα 43 Πολλαπλές διευθυντικές

Το σενάριο αυτό βρίσκεται σε ασβεστόλιθο της ενότητας Ksm.1 και η χαμηλότερη στοά έχει υπερκείμενα έως 161m:



Εικόνα 44 Σχέδιο διευθυντικών

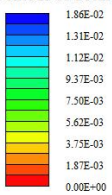
Μετά την επίλυση έχουμε τις παρακάτω μετακινήσεις:

**ADONIS 3.25**  
©2021 Roozbeh Geraili Mikola

**Setting Information**

Analysis Mode: Static  
Physical Unit: User-defined  
Gravity: 0, 9.81 (+Right, +Down)  
Step Number: 28712  
Equil. Ratio: 9.95e-04

**Contour of Total Displacement**

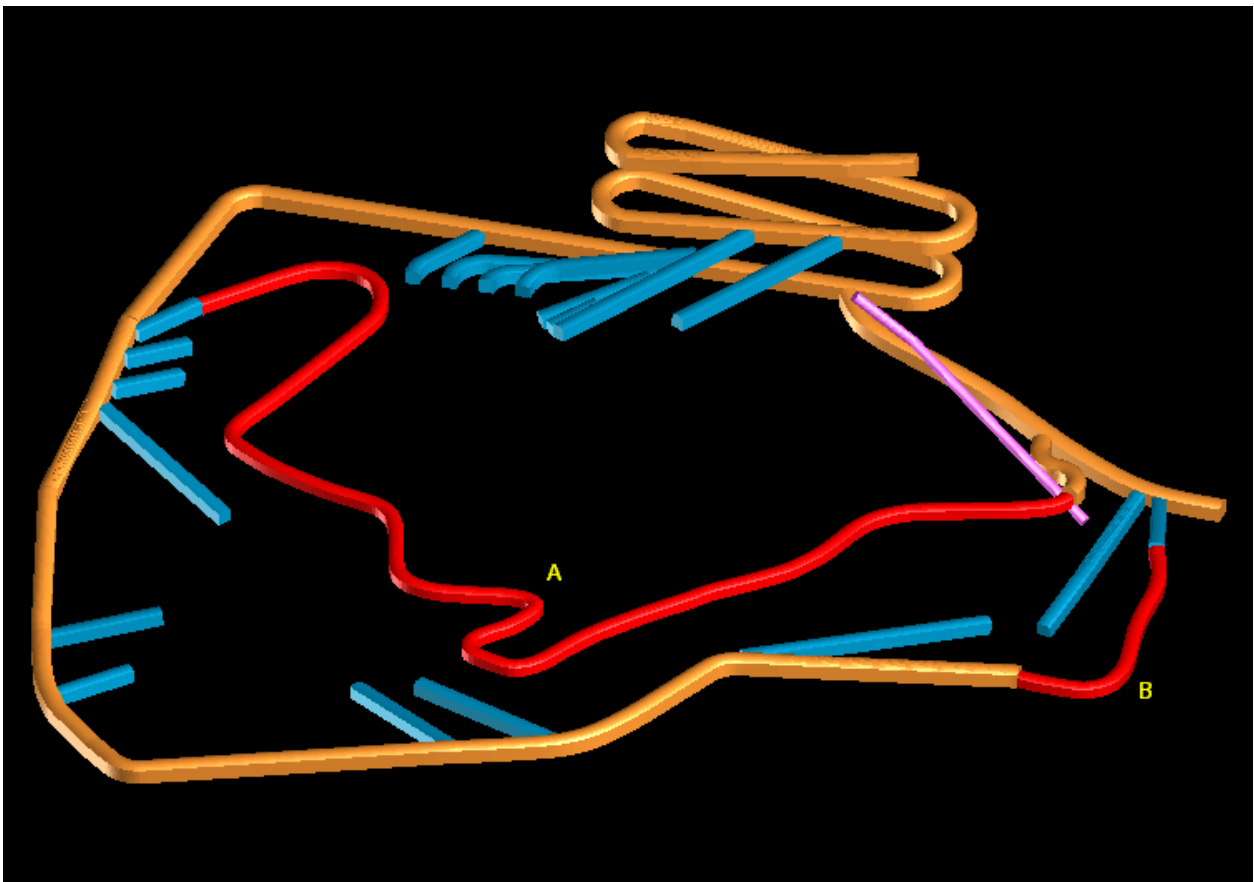


Εικόνα 45 Μετακινήσεις διευθυντικών

Οι παρατηρούμενες μετακινήσεις είναι περίπου στα 3cm και θεωρούνται ασφαλείς εφόσον το μοντέλο ελέγχθηκε χωρίς την προβλεπόμενη υποστήριξη η οποία θα τις απομειώσει σε μικρότερα επίπεδα.

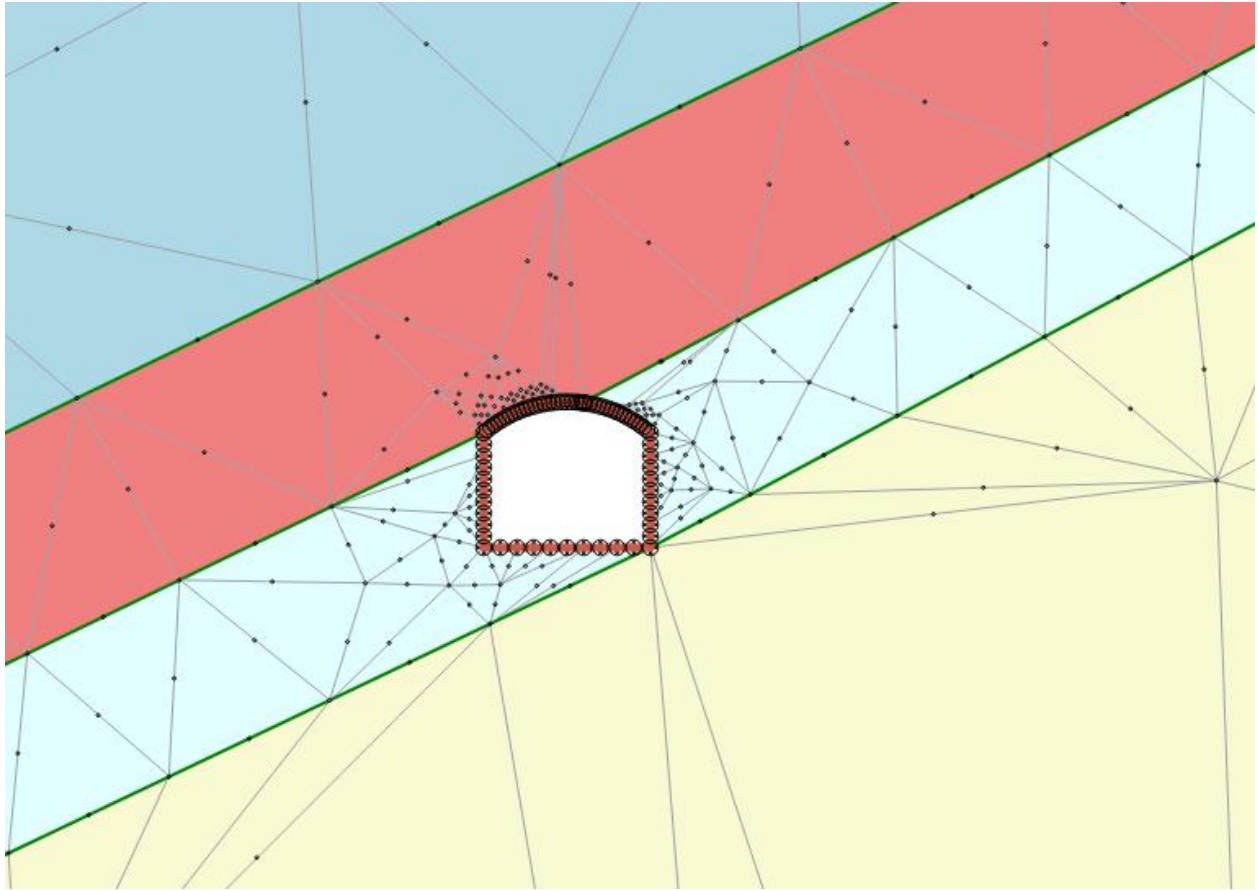
### 7.3 Μόνιμα ανοικτές στοές εντός κοιτάσματος

Δύο σημεία ιδιαίτερου ενδιαφέροντος αποτελούν οι δύο στοές (Α και Β) εντός του κοιτάσματος που θα παραμείνουν χωρίς λιθογόμωση αφού αποτελούν μέρος του κυκλώματος αερισμού και κίνησης του εξοπλισμού.

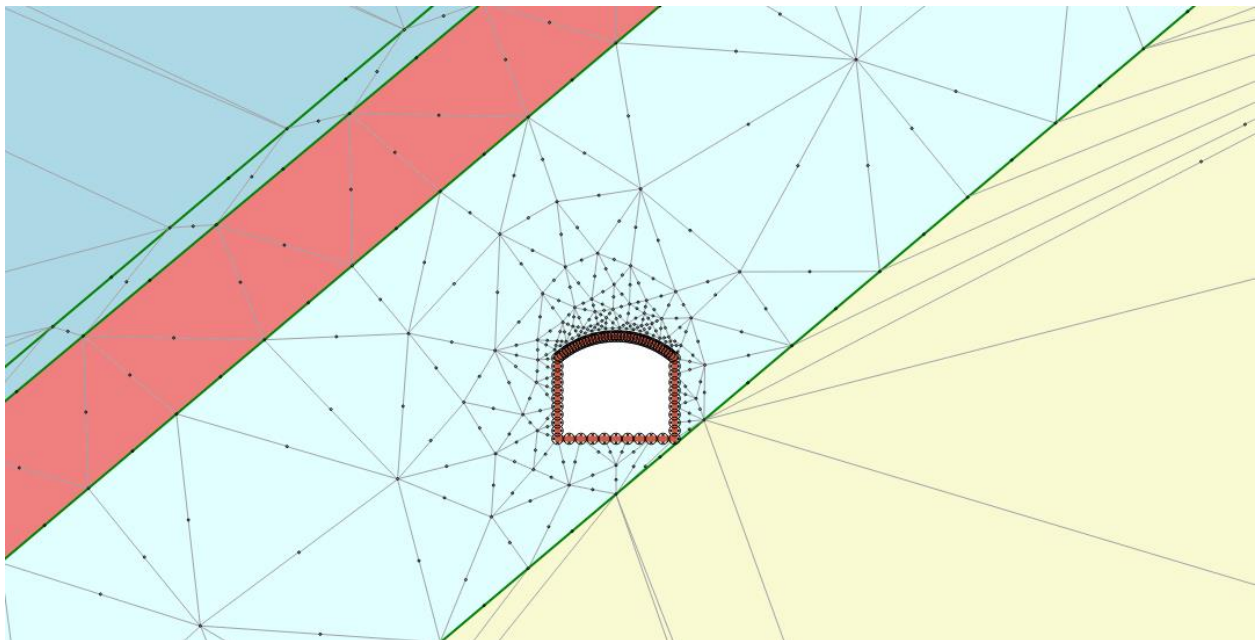


Εικόνα 46 Στοές Α και Β εντός του κοιτάσματος

Στα δύο σενάρια που εμφανίζονται παρακάτω τα υπερκείμενα ανέρχονται σε 77m για την Α και 170m για τη Β αντίστοιχα ενώ γεωλογικά είναι πανομοιότυπα και αποτελούνται κυρίως από ασβεστόλιθο της ενότητας Ksm.1 (μπλε) και από ένα παρατάβανο 5m πάνω από το κείτασμα ασβεστόλιθου της ενότητας Ksm.2 (κόκκινο). Το κείτασμα παρουσιάζεται με γαλάζιο χρώμα και ως υποκείμενο πέτρωμα (μπεζ) στη στοά Α έχει επιλεγθεί οφιόλιθος της ενότητας ορη.1 και ασβεστόλιθος της ενότητας Js.1 για τη στοά Β

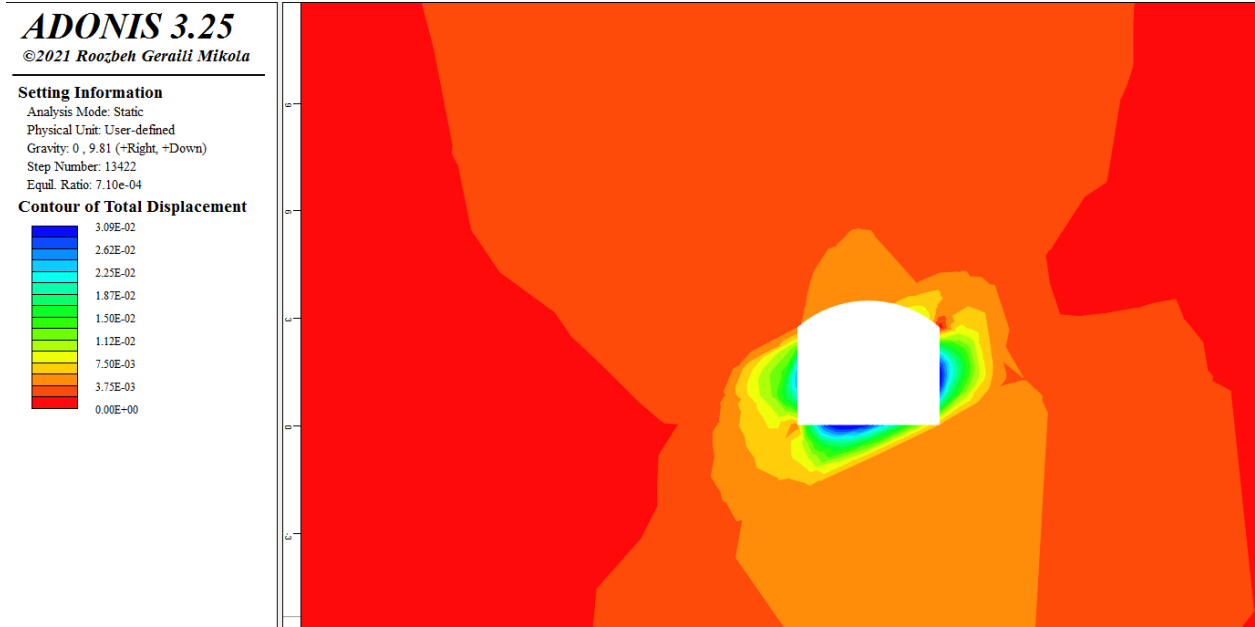


Εικόνα 47 Στοά Α

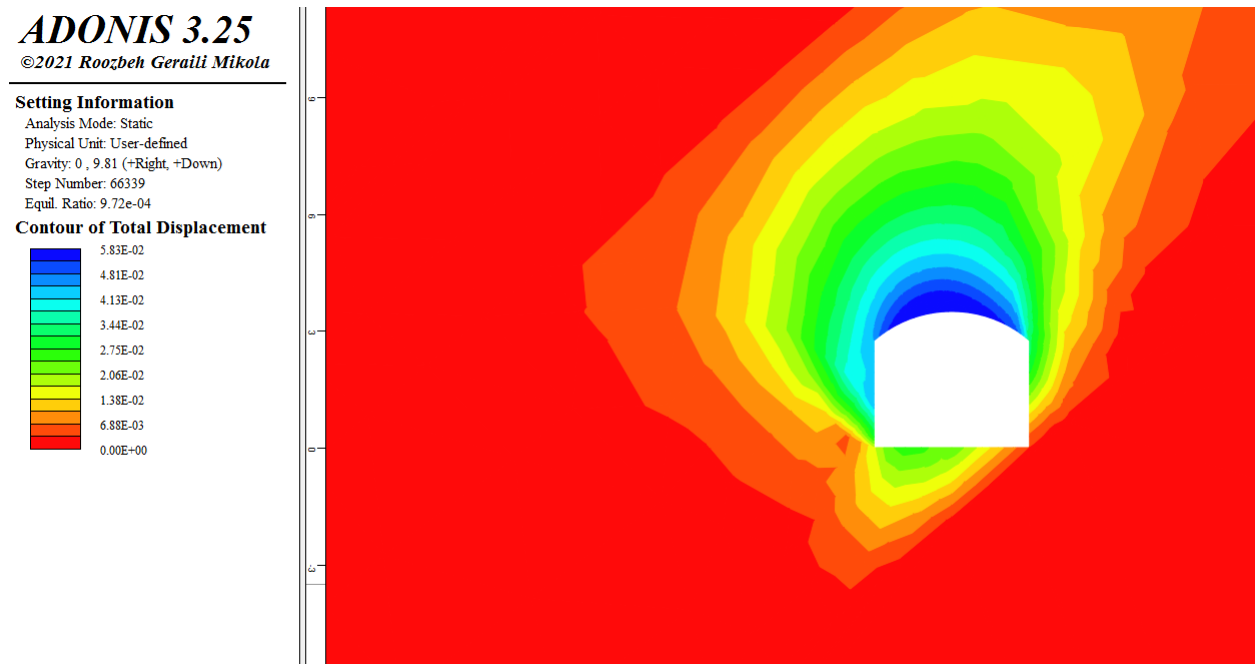


Εικόνα 48 Στοά Β

Μετά την επίλυση έχουμε τις παρακάτω μετακινήσεις:



Εικόνα 49 Μετακινήσεις στοάς A



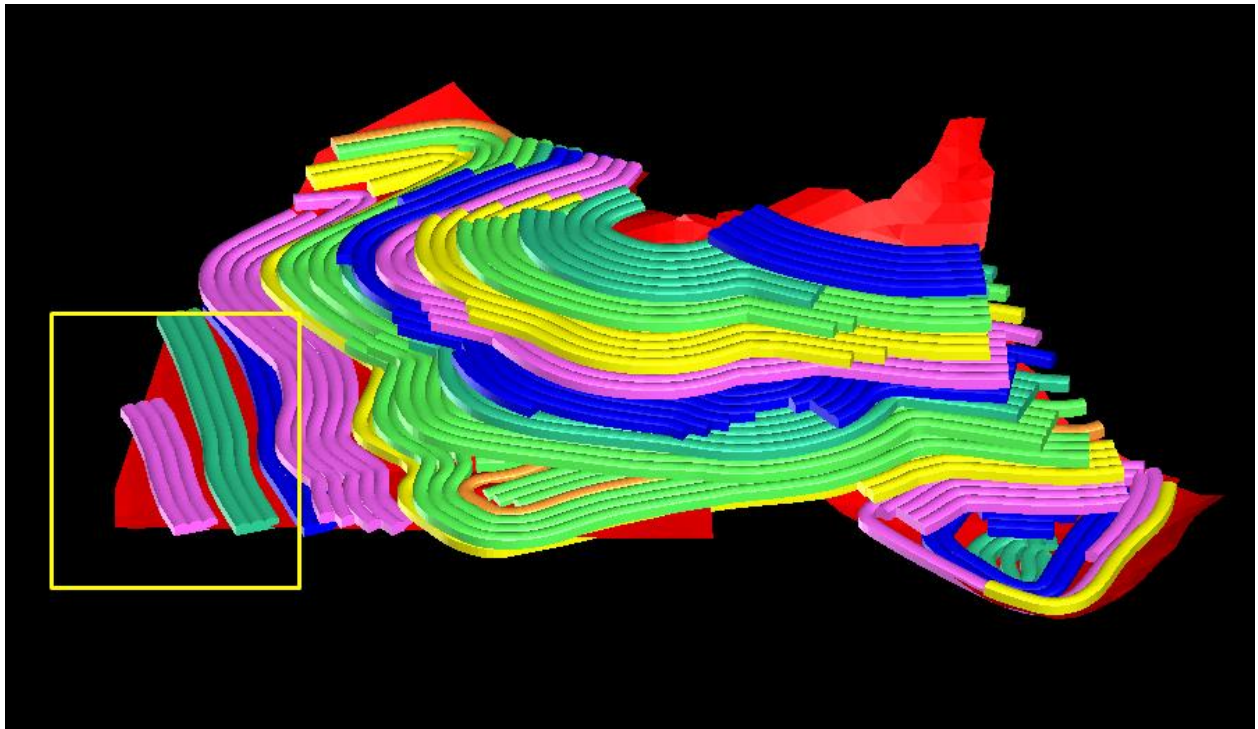
Εικόνα 50 Μετακινήσεις στοάς B



Η πτωχή κατάσταση του μεταλλεύματος γίνεται εμφανής από τις μεγάλες μετακινήσεις που παρουσιάζουν οι στοές με την Α να παραμορφώνεται έως και 4cm και την Β 8cm παρά τις επενδύσεις τους από σκυρόδεμα (πάχους 5cm και 10cm αντίστοιχα) όμως με την τοποθέτηση των προβλεπόμενων αγκυρίων οι στοές υπολογίζεται ότι θα ευσταθήσουν χωρίς τόσο μεγάλες υποχωρήσεις.

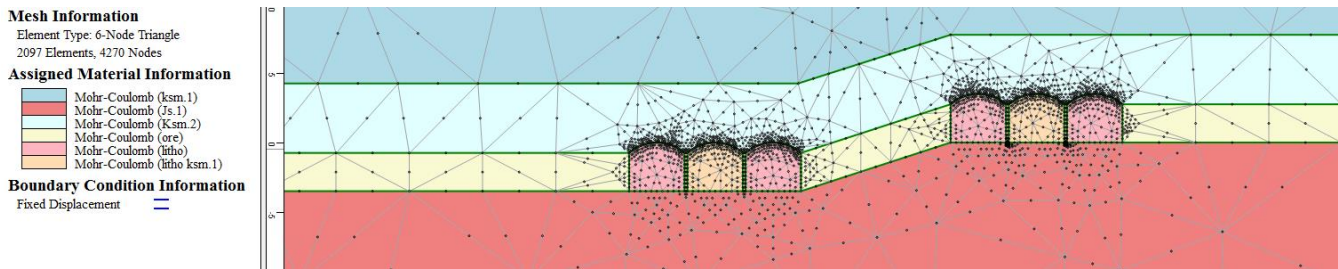
#### 7.4 Κατώτερο επίπεδο εκμετάλλευσης

Στην φάση της παραγωγής, το πρώτο σενάριο που εξετάζεται είναι αυτό του μεγαλύτερου βάρους στο οποίο θα γίνει εξόρυξη:



Εικόνα 51 Κατώτερο επίπεδο εκμετάλλευσης

Στο παρόν σενάριο τα υπερκείμενα φτάνουν τα 230m και αποτελούνται από ασβεστόλιθο της ενότητας Ksm.1 και από ένα παρατάβανο πάχους 5m πάνω από το κοίτασμα από ασβεστόλιθο της ενότητας Ksm.2. Ως υποκείμενα έχουμε ασβεστόλιθο της ενότητας Js.1.



Εικόνα 52 Σχέδιο κατώτερης εκμετάλλευσης

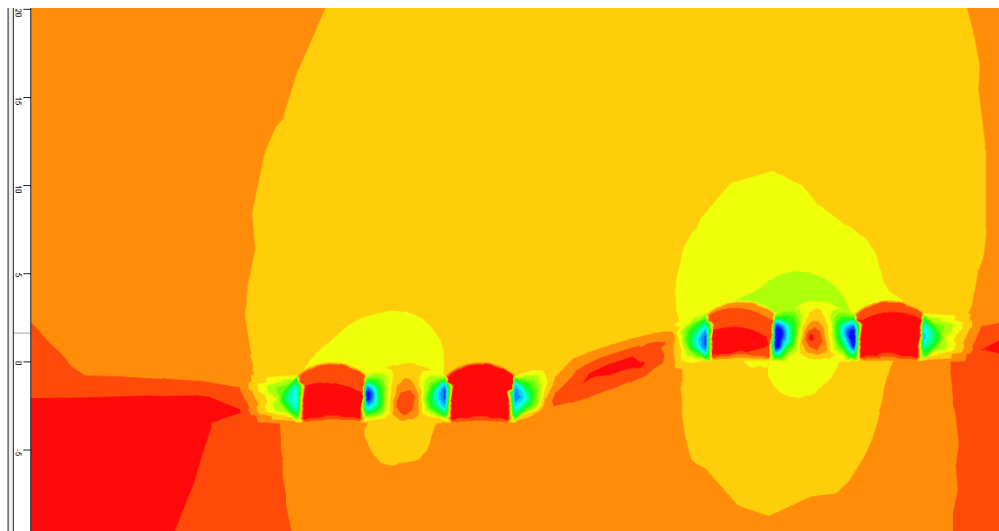
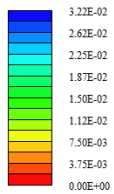
Μετά την επίλυση έχουμε τις παρακάτω μετακινήσεις:

**ADONIS 3.25**  
©2021 Roozbeh Geraili Mikola

**Setting Information**

Analysis Mode: Static  
Physical Unit: User-defined  
Gravity: 0, 9.81 (+Right, +Down)  
Step Number: 79428  
Equil. Ratio: 9.84e-04

**Contour of Total Displacement**

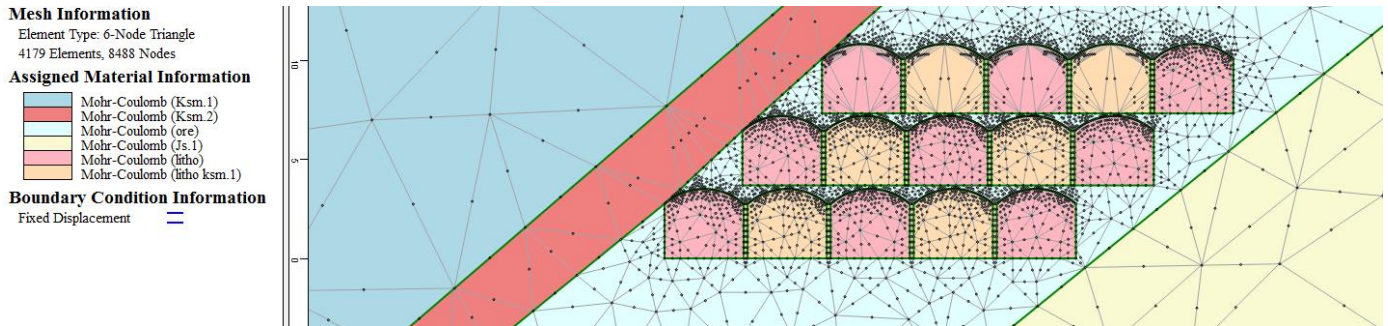


Εικόνα 53 Μετακινήσεις κατώτερου επιπέδου εκμετάλλευσης

Οι στοές παίρνουν μετακινήσεις της τάξης των 5cm ανυποστήρικτες και θεωρείται ότι με την τοποθέτηση της υπολογισμένης υποστήριξης αυτές θα απομειωθούν σε αρκετά μεγάλο βαθμό.

## 7.5 Μέση εκμετάλλευση

Το τελευταίο σενάριο που θα ελεγχθεί είναι αυτό μιας, μέσου βάθους , ανερχόμενης εξόρυξης.



Εικόνα 54 Ανερχόμενη εκμετάλλευση σε μέσο βάθος

Στο παρόν σενάριο τα υπερκείμενα φτάνουν τα 150m και αποτελούνται από ασβεστόλιθο της ενότητας Ksm.1 και από ένα παρατάβανο πάχους 5m πάνω από το κοίτασμα από ασβεστόλιθο της ενότητας Ksm.2. Ως υποκείμενα έχουμε ασβεστόλιθο της ενότητας Js.1.

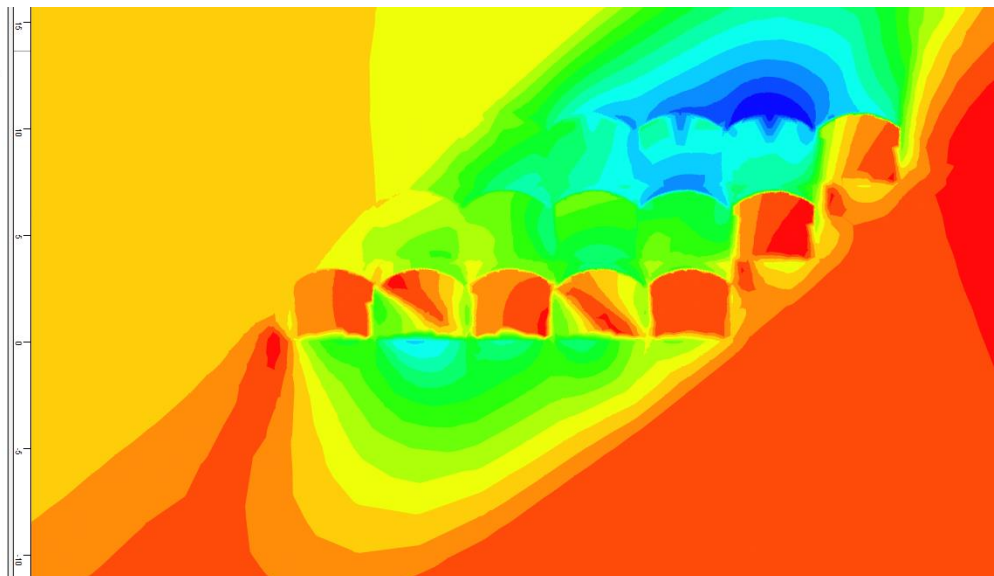
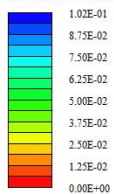
Μετά την επίλυση έχουμε τις παρακάτω μετακινήσεις:

**ADONIS 3.25**  
©2021 Roozbeh Geraili Mikola

**Setting Information**

Analysis Mode: Static  
Physical Unit: User-defined  
Gravity: 0, 9.81 (+Right, +Down)  
Step Number: 1.51882e+06  
Equal. Ratio: 9.66e-04

**Contour of Total Displacement**



Εικόνα 55 Μετακινήσεις μέσης εκμετάλλευσης

Οι ανυποστήρικτες στοές παίρνουν μετακινήσεις που πλησιάζουν τα 10cm, τιμή που θα μειωθεί αρκετά με την τοποθέτηση των προβλεπόμενων αγκυριών.

## 8 Διάτρηση γόμωση ανατίναξη

Η διάνοιξη των προσπελαστικών έργων καθώς και των παραγωγικών στοών θα γίνει μέσω ασυνεχούς κύκλου με τη χρήση πνευματικά γομούμενου ANFO. Η διαδικασία ξεκινά με τις εργασίες διάτρησης-γόμωσης-ανατίναξης.

Αναλυτικότερα, για να γίνει η προχώρηση πρέπει αρχικά να υπολογιστεί το σχέδιο της ανατίναξης με τη χρήση ημι-εμπειρικών κανόνων, να διανοιχθούν τα κατάλληλα διατρήματα στο μέτωπο, να γομωθούν και στο τέλος να γίνει η έναυσή τους με τον κατάλληλο χρονισμό απομακρύνοντας τη ζητούμενη ποσότητα πετρώματος. Στη συνέχεια ακολουθούν τα στάδια του αερισμού, της υποστήριξης και της αποκομιδής.

### 8.1 Διάτρηση

Ο όρος διάτρημα (drillhole, borehole, blasthole) αναφέρεται κυρίως σε μικρής διαμέτρου κυλινδρικά ανοίγματα (Αγιουτάντης, 2019). Στην περίπτωση των υπόγειων εκμεταλλεύσεων η διαδι-

κασία εκτελείται από υπόγεια διατρητικά συγκροτήματα (jumbo) που φέρουν έναν έως τέσσερις βραχίονες. Σημαντικός παράγοντας της διάτρησης αποτελεί η επιλογή του κοπτικού, απόφαση που λαμβάνεται σε σχέση με την αντοχή του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη και τη σκληρότητά του. Στην προκειμένη περίπτωση έχουμε  $UCS=9Mpa$  για το κοίτασμα και  $60Mpa$  για τους γειτονικούς ασβεστόλιθους ενώ αμφότερα επιδεικνύουν μέτρια έως χαμηλή σκληρότητα. Επομένως σύμφωνα με τους Handewith & Dahmen 1982 το κοπτικό θα είναι συρόμενου τύπου.

## 8.2 Γόμωση-Επιγόμωση

Για τη γόμωση των διατρημάτων θα χρησιμοποιηθεί πετραμμωνίτης ή ANFO το οποίο είναι μείγμα νιτρικού αμμωνίου ( $NH_4NO_3$ ) και κάποιου καύσιμου υδρογονάνθρακα, συνήθως πετρελαίου. Η αναλογία νιτρικού αμμωνίου-πετρελαίου είναι 94:6 κ.β για πλήρη κατανάλωση του οξυγόνου που εκλύει το νιτρικό αμμώνιο από το προς οξείδωση καύσιμο (πετρέλαιο). (Αγιου-τάντης, 2019)

Η κάθε στήλη θα δομείται ,ξεκινώντας από τον πυθμένα, από :

- Γόμωση πυθμένα: Μέρος της στήλης γομωμένο με μεγαλύτερης ισχύος εκρηκτικά μέσα για καλύτερο θρυμματισμό της περιοχής
- Γόμωση στήλης: Κύρια γόμωση για θρυμματισμό του πετρώματος
- Επιγόμωση: Η τελική συμπλήρωση της στήλης με υλικά της διάτρησης ή μείγματα άμμου και αργίλου για την διοχέτευση των αερίων της ανατίναξης στο γειτονικό πέτρωμα και όχι στην ατμόσφαιρα

Όλα τα διατρήματα δεν γομώνονται το ίδιο, με τα διατρήματα των παρειών και του δαπέδου να φέρουν λιγότερο ενεργητικά φορτία.

## 8.3 Έναυση

Η έναυση των υπονόμων (διατρήματα πληρωμένα με εκρηκτικά) θα γίνει με ηλεκτρικά καψύλια για διευκόλυνση του χρονισμού και ελέγχου της ανατίναξης)

#### 8.4 Σχεδιασμός ανατίναξης

Στις υπόγειες ανατινάξεις η δημιουργία των αρχικών ελεύθερων επιφανειών(τετράγωνα προεκσκαφής) διαδραματίζει το σημαντικότερο ρόλο στην ομαλή εξέλιξη της διαδικασίας. Ο τρόπος που επιλέχθηκε ήταν η κοπή τύπου Burn με την διάνοιξη κενού διατρήματος, παράλληλου με το δάπεδο, διαμέτρου 89mm και μήκους  $H=3,26m$  για να δημιουργήσει την ζητούμενη προχώρηση των 3m.

Στη συνέχεια με τη χρήση δατρημάτων διαμέτρου 45mm και ίδιου μήκους πρέπει να σχηματιστούν τα ,μέχρι 4 , αρχικά τετράγωνα κοπής. Αυτό επετεύχθη με τη χρήση των παρακάτω εμπειρικών κανόνων: ( Γ.Παναγιώτου, 2015)

##### Πρώτο τετράγωνο

Φορτίο πρώτου τετραγώνου  $B1(m)$ :  $B1=1,5 * D_0$

Πλευρά πρώτου τετραγώνου  $A1(m)$ :  $A1=B1\sqrt{2}$

Μήκος επιγόμωσης  $h_s (m)$ :  $h_s=B1$

Μήκος γόμωσης  $h_c (m)$ :  $h_c= H - h_s$

Γόμωση διατρημάτων  $Q1 (kg)$  :  $Q1= q_t * h_c$

##### Δεύτερο τετράγωνο

Φορτίο δεύτερου τετραγώνου  $B2 (m)$ :  $B2=B1\sqrt{2}= A1$

Πλευρά δεύτερου τετραγώνου  $A2 (m)$ :  $A2=1,5 * B2\sqrt{2}$

Μήκος επιγόμωσης  $h_s (m)$ :  $h_s=0,5 * B2$

Μήκος γόμωσης  $h_c (m)$ :  $h_c= H - h_s$

Γόμωση διατρημάτων  $Q2 (kg)$  :  $Q2 =q_t * h_c$

##### Τρίτο τετράγωνο

Φορτίο τρίτου τετραγώνου  $B3(m)$ :  $B3=1,5 B2\sqrt{2} = A2$

Πλευρά τρίτου τετραγώνου  $A3 (m)$ :  $A3=1,5 B3\sqrt{2}$

Μήκος επιγόμωσης  $h_s (m)$ :  $h_s=0,5 * B3$

Μήκος γόμωσης  $h_c$  (m):  $h_c = H - h_s$

Γόμωση διατρημάτων Q3 (kg) :  $Q_3 = q_t * h_c$

### Τέταρτο τετράγωνο

Φορτίο τέταρτου τετραγώνου  $B_4$ (m):  $B_4 = 1,5 B_3 \sqrt{2} = A_3$

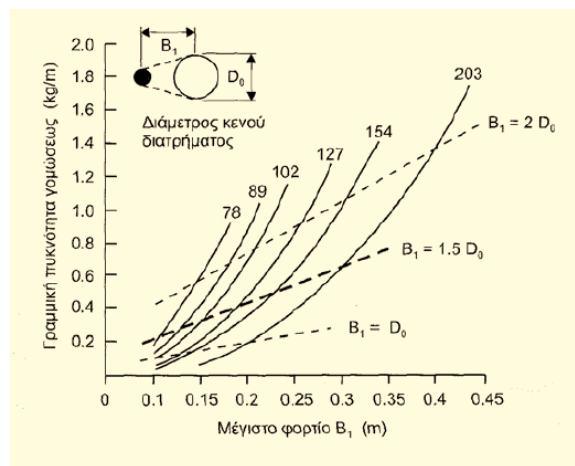
Πλευρά τέταρτου τετραγώνου  $A_4$ (m):  $A_4 = 1,5 B_4 \sqrt{2}$

Μήκος επιγόμωσης  $h_s$  (m):  $h_s = 0,5 * B_4$

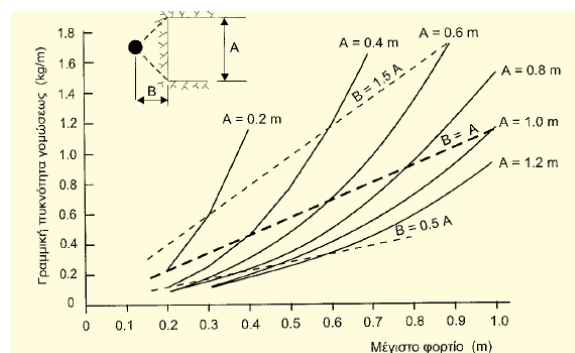
Μήκος γόμωσης  $h_c$  (m):  $h_c = H - h_s$

Γόμωση διατρημάτων Q4 (kg) :  $Q_4 = q_t * h_c$

Επιπλέον η γραμμική πυκνότητα γόμωσης βρίσκεται για το πρώτο τετράγωνο από τα παρακάτω γραφήματα:



Εικόνα 56 Γραμμική πυκνότητα πρώτου τετραγώνου



Εικόνα 57 Γραμμική πυκνότητα τετραγώνων (εκτός πρώτου)

Με τη χρήση των παραπάνω προκύπτει ο εξής πίνακας:

Πίνακας 18 Υπολογισμός χαρακτηριστικών τετραγώνων προεσκαφής

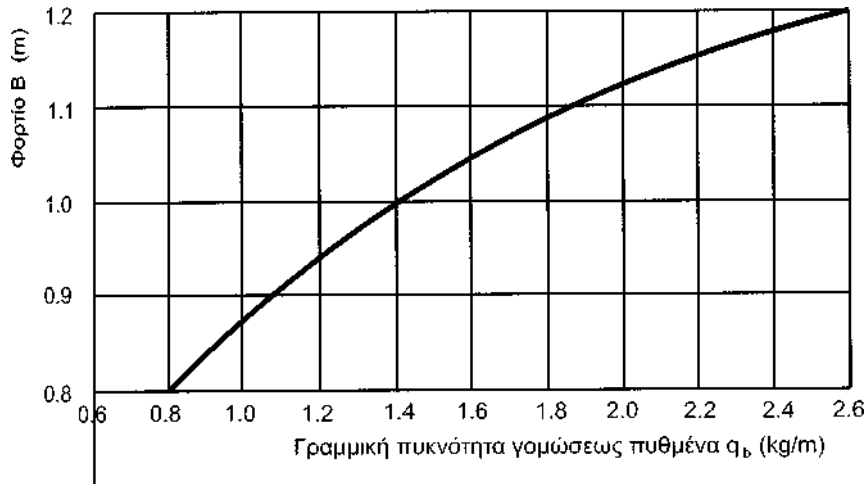
| ΤΕΤΡΑΓΩΝΑ | B,<br>ΦΟΡΤΙΟ (m) | A,<br>ΠΛΕΥΡΑ(m) | qt,ΓΡΑΜΜΙΚΗ<br>ΠΥΚΝΟ-<br>ΤΗΤΑ(kg/m) | hs,ΜΗΚΟΣ<br>ΕΠΙΓΟΜΩΣΗΣ<br>(m) | hc,ΜΗΚΟΣ<br>ΓΟΜΩΣΗΣ(m) | Q1,ΓΟΜΩΣΗ<br>(kg)<br>(ανά διάτρημα) |
|-----------|------------------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| 1ο        | 0,134            | 0,188           | 0,200                               | 0,134                         | 3,127                  | 0,625                               |
| 2ο        | 0,188            | 0,398           | 0,200                               | 0,094                         | 3,166                  | 0,633                               |
| 3ο        | 0,398            | 0,842           | 0,400                               | 0,199                         | 3,061                  | 1,224                               |
| 4ο        | 0,842            | 1,781           | 0,800                               | 0,421                         | 2,839                  | 2,271                               |

Αφού έχουν δημιουργηθεί οι απαραίτητες ελεύθερες επιφάνειες μέσω των τετραγώνων προεσκαφής σειρά έχουν τα κύρια διατρήματα καθώς και αυτά των παρειών, δαπέδου και οροφής. Ο υπολογισμός τους γίνεται πάλι με βάση εμπειρικών κανόνων όπως παρουσιάζονται παρακάτω:

Πίνακας 19 Υπολογισμός χαρακτηριστικών διατρημάτων

| Κατηγορία διατρημάτων | Φορτίο<br>B(m) | Από-<br>σταση<br>διατρημά-<br>των S(m) | Μήκος<br>γόμενης<br>πυθμένα<br>(m) | Γραμμική πυκνό-<br>τητα γόμενης<br>(kg/m) |                | Μήκος επιγόμε-<br>σης (m) |         |
|-----------------------|----------------|--|------------------------------------|---|----------------|---------------------------|---------|
|                       |                |  |                                    | Πυθ-<br>μένα                              | Στήλης         |                           |         |
| Κύρια                 | Ανιόντα        | B                                      | 1,1 * B                            | 1/3 * H                                   | q <sub>b</sub> | 0,5 * q <sub>b</sub>      | 0,5 * B |
|                       | Οριζόντια      | B                                      | 1,1 * B                            | 1/3 * H                                   | q <sub>b</sub> | 0,5 * q <sub>b</sub>      | 0,5 * B |
|                       | Κατιόντα       | B                                      | 1,2 * B                            | 1/3 * H                                   | q <sub>b</sub> | 0,5 * q <sub>b</sub>      | 0,5 * B |
| Περιμετρικά           | Οροφής         | 0.9 * B                                | 1,1 * B                            | 1/6 * H                                   | q <sub>b</sub> | 0,3 * q <sub>b</sub>      | 0,5 * B |
|                       | Παρειών        | 0.9 * B                                | 1,1 * B                            | 1/6 * H                                   | q <sub>b</sub> | 0,4 * q <sub>b</sub>      | 0,5 * B |
|                       | Δαπέδου        | B                                      | 1,1 * B                            | 1/3 * H                                   | q <sub>b</sub> | q <sub>b</sub>            | 0,2 * B |





Εικόνα 58 Υπολογισμός γόμωσης πυθμένα

Με την χρήση των παραπάνω, για φορτίο  $B=0,95$  και  $q_b=1,2$  kg/m καθώς και τα εξής χαρακτηριστικά για κάθε είδος διατρήματος προκύπτει:

Πίνακας 20 Χαρακτηριστικά κύριων και περιφερειακών διατρημάτων

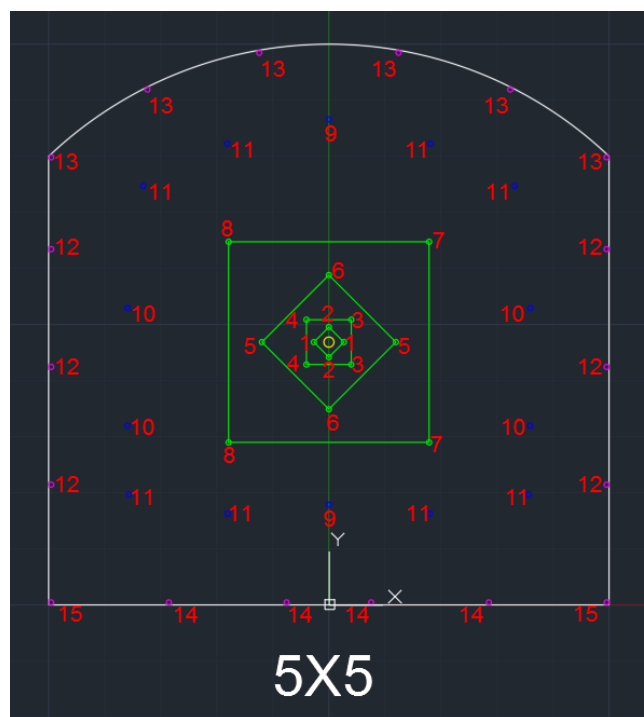
| Κατηγορία διατρημάτων |           | Φορτίο B(m) | Απόσταση διατρημάτων S(m) | Μήκος γόμωσης πυθμένα (m) | Γραμμική πυκνότητα γομώσεως (kg/m) |             | Μήκος επιγόμεσης (m) |
|-----------------------|-----------|-------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|-------------|----------------------|
|                       |           |             |                           |                           | Πυθμένα                            | Στήλης      |                      |
| <b>Κύρια</b>          | Ανιόντα   | B           | $1,1 * B$                 | $1/3 * H$                 | $q_b$                              | 0,5         | $0,5 * B$            |
|                       | Οριζόντια | B           | $1,1 * B$                 | $1/3 * H$                 | $q_b$                              | $0,5 * q_b$ | $0,5 * B$            |
|                       | Κατιόντα  | B           | $1,2 * B$                 | $1/3 * H$                 | $q_b$                              | $0,5 * q_b$ | $0,5 * B$            |
| <b>Περιμετρικά</b>    | Οροφής    | $0,9 * B$   | $1,1 * B$                 | $1/6 * H$                 | $q_b$                              | $0,3 * q_b$ | $0,5 * B$            |
|                       | Παρειών   | $0,9 * B$   | $1,1 * B$                 | $1/6 * H$                 | $q_b$                              | $0,4 * q_b$ | $0,5 * B$            |
|                       | Δαπέδου   | B           | $1,1 * B$                 | $1/3 * H$                 | $q_b$                              | $q_b$       | $0,2 * B$            |

Πολλαπλασιάζοντας τις γραμμικές πυκνότητες γόμωσης με τα αντίστοιχα μήκη (στήλης και πυθμένα) προκύπτει η απαιτούμενη μάζα εκρηκτικών που απαιτείται σε κάθε διάτρημα:

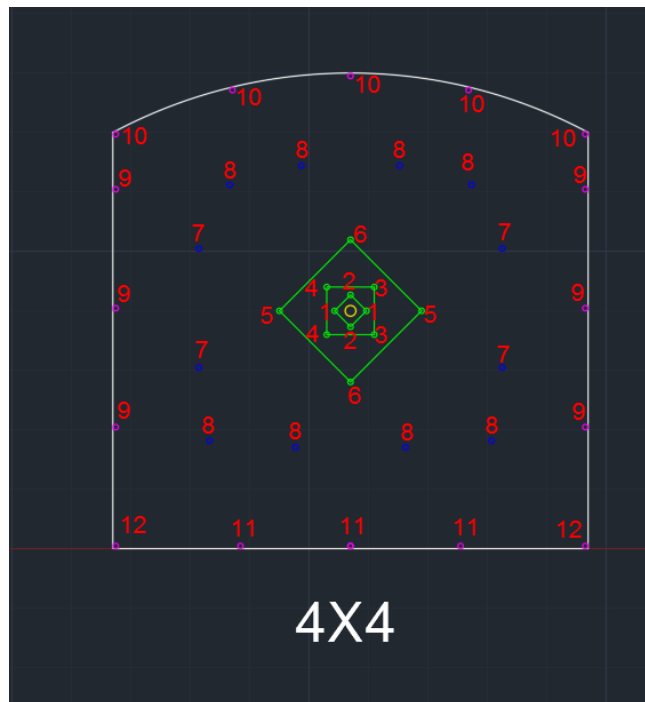
Πίνακας 21 Μάζες εκρηκτικών ανά διάτρημα

| ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΑ                 |                | Μάζα εκρηκτικών στήλης (kg) | Μάζα εκρηκτικών πυθμένα(kg) |
|----------------------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 <sup>ου</sup> τετραγώνου |                | 2,501                       | 0                           |
| 2 <sup>ου</sup> τετραγώνου |                | 2,533                       | 0                           |
| 3 <sup>ου</sup> τετραγώνου |                | 4,898                       | 0                           |
| 4 <sup>ου</sup> τετραγώνου |                | 9,085                       | 0                           |
| ΚΥΡΙΑ                      | Κύρια          | 1,02                        | 1,30                        |
| ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΑ                | <u>Οροφής</u>  | 0,81                        | 0,65                        |
|                            | <u>Παρειών</u> | 1,08                        | 0,65                        |
|                            | <u>Δαπέδου</u> | 2,38                        | 1,30                        |

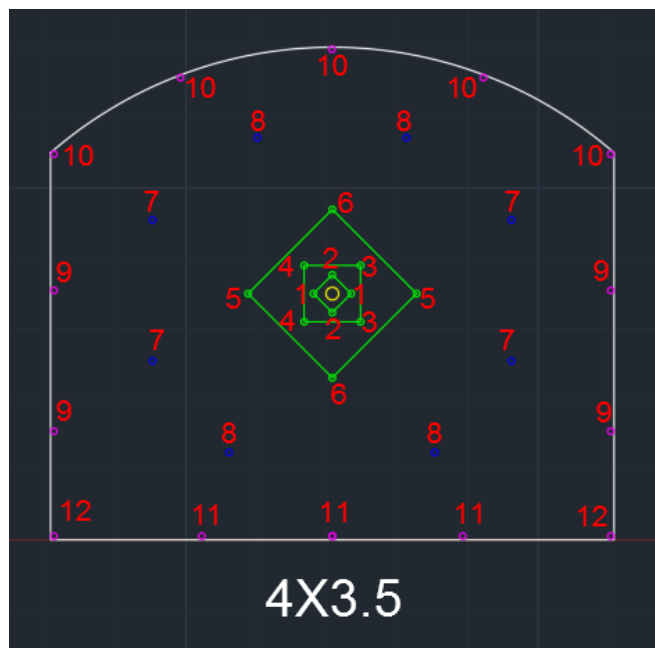
Στη συνέχεια λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω τοποθετήθηκαν τα κατάλληλα διατρήματα σε διατομές 5X5, 4X4 και 4X3,5 όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 59 Σχέδιο ανατίναξης σήραγγας 5X5



Εικόνα 60 Σχέδιο ανατίναξης σήραγγας 4X4



Εικόνα 61 Σχέδιο ανατίναξης σήραγγας 4X3,5

Αξίζει να αναφερθεί ότι στην διατομή 5X5 χρησιμοποιήθηκαν 4 τετράγωνα προεκκαφής ενώ στο φρέαρ, στις 4X4 και 4X3,5 χρησιμοποιήθηκαν 3 εφόσον κρίθηκαν ικανά για τη δημιουργία των κατάλληλων ελεύθερων επιφανειών.

Ακόμη στις άνωθεν εικόνες είναι ορατός ο χρονισμός της πυροδότησης ο οποίος είναι της τάξης των 0,5s για να δοθεί ο απαραίτητος χρόνος για τη 'μεταφορά' του πετρώματος.

Ακολουθεί ο υπολογισμός των αναγκαίων ποσοτήτων εκρηκτικών για την πραγματοποίηση της εκμετάλλευσης με δεδομένο ότι ανά 3m προχώρησης απαιτούνται τα διατρήματα του παρακάτω πίνακα για τις διάφορες διατομές :

Πίνακας 22 Αριθμός είδους διατρημάτων αντιπροσωπευτικών διατρημάτων εκάστοτε διατομής

| <u>Τύπος</u> | <u>ΤΕΤΡΑΓΩΝΑ</u> |    |    |    | Κύρια | Παρειών | Οροφής | Δαπέδου | Σύνολο διατρημάτων |
|--------------|------------------|----|----|----|-------|---------|--------|---------|--------------------|
|              | 1ο               | 2ο | 3ο | 4ο |       |         |        |         |                    |
| <b>5X5</b>   | 1                | 1  | 1  | 1  | 14    | 6       | 6      | 6       | 48+1(κενό)         |
| <b>4X4</b>   | 1                | 1  | 1  | 0  | 12    | 6       | 5      | 6       | 41+1(κενό)         |
| <b>4X3.5</b> | 1                | 1  | 1  | 0  | 8     | 4       | 5      | 6       | 35+1(κενό)         |

Γνωρίζοντας το μήκος της κάθε διατομής υπολογίζεται ο αριθμός απαιτούμενων ανατινάξεων και κατά συνέπεια αυτός των απαιτούμενων συνολικών διατρημάτων:

Πίνακας 23 Σύνολο διατρημάτων

| <u>Σύνολο διατρημάτων</u> | <u>Μήκος (m)</u> | <u>ΤΕΤΡΑΓΩΝΑ</u> |              |              |            | <u>ΚΥΡΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΑ</u> |              |              |              |
|---------------------------|------------------|------------------|--------------|--------------|------------|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                           |                  | 1ο               | 2ο           | 3ο           | 4ο         | Κύρια                         | Παρειών      | Οροφής       | Δαπέδου      |
| <b>5X5</b>                | 1.317            | 439              | 439          | 439          | 439        | 6.146                         | 2.634        | 2.634        | 2.634        |
| <b>4X4</b>                | 736              | 245              | 245          | 245          | 0          | 2.944                         | 1.472        | 1.227        | 1.472        |
| <b>4X3.5</b>              | 16.000           | 5.333            | 5.333        | 5.333        | 0          | 42.667                        | 21.333       | 26.667       | 32.000       |
| <b>Σύνολο</b>             |                  | <u>6.018</u>     | <u>6.018</u> | <u>6.018</u> | <u>439</u> | <u>51.757</u>                 | <u>25439</u> | <u>30527</u> | <u>36106</u> |

Πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό διατρημάτων με την απαιτούμενη ποσότητα εκρηκτικών για κάθε ένα από αυτά προκύπτει ότι:

Πίνακας 24 Συνολικές μάζες εκρηκτικών

| <b>ΟΛΙΚΕΣ<br/>ΜΑΖΕΣ (kg)</b> | <b>Γόμωση<br/>στήλης</b> | <b>Γόμωση<br/>πυθμένα</b> |
|------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| <b>1ο</b>                    | 15.051                   | 0,00                      |
| <b>2ο</b>                    | 15.240                   | 0,00                      |
| <b>3ο</b>                    | 29.471                   | 0,00                      |
| <b>4ο</b>                    | 3.988                    | 0,00                      |
| <b>Κύρια</b>                 | 52.740                   | 67.490                    |
| <b>Οροφής</b>                | 24.635                   | 19.903                    |
| <b>Παρειών</b>               | 27.372                   | 16.586                    |
| <b>Δαπέδου</b>               | 85.932                   | 47.082                    |
| <b>Σύνολο</b>                | <u>254.432</u>           | <u>151.063</u>            |

## 9 Αερισμός

Τη διαδικασία της ανατίναξης ακολουθεί ο αερισμός. Τα μεταλλεία και γενικότερα τα υπόγεια έργα πρέπει να διαθέτουν ένα αποτελεσματικό σύστημα αερισμού το οποίο να διασφαλίζει:

- Ατμόσφαιρα μέσα από την οποία το προσωπικό θα εργάζεται άνετα και αποδοτικά
- Αραίωση και απαγωγή των επικίνδυνων αερίων και κονιορτών

Σε ένα μεταλλείου δρουν δύο κυκλώματα αερισμού. Αρχικά λόγω ελκυσμού του αέρα ασκείται μία φυσική ροή χαμηλής όμως παροχής. Για την ενίσχυση του φαινομένου αυτού λειτουργεί ταυτόχρονα και τεχνητό κύκλωμα αερισμού που αποτελείται από ηλεκτρικούς αξονικούς ανεμιστήρες με καθοδήγηση του ρεύματος αέρα που παράγεται στο μέτωπο με πάνινους αγωγούς. Ακόμη τοποθετούνται φράγματα με τη μορφή αεροστεγών θυρών σε τομείς του έργου όπου ο αερισμός δεν είναι απαραίτητος (πχ εξοφλημένες στοές) ενώ στενώσεις σε κατάλληλα σημεία διατηρούν τη ροή του αέρα σε επιτρεπτά επίπεδα. Τέλος ειδική μέριμνα λαμβάνεται για τη βελτιστοποίηση του κυκλώματος αερισμού με ενσωμάτωση φρεάτων αερισμού στο έργο

Στη συνέχεια επόμενο βήμα για τον υπολογισμό του αερισμού είναι η εύρεση της ισχύος των ανεμιστήρων του κυκλώματος. Ο αερισμός σε ένα υπόγειο μεταλλείο ποσοτικοποιείται από

τον ΚΜΛΕ στο άρθρο 75/3 ως τουλάχιστον  $5,66\text{m}^3/\text{min}$  ανά εργαζόμενο που βρίσκεται στο μέτωπο και  $2,3\text{m}^3/\text{min}$  για κάθε ίππο μηχανήματος.

Η θέση που επιλέχθηκε αποτελεί το χειρίστο σενάριο και βρίσκεται σε περίπου ίσες αποστάσεις (560m) από την κοντινότερη είσοδο αέρα



Εικόνα 62 Θέση υπολογισμού ισχύος ανεμιστήρων

Στο παρόν μέτωπο έχουμε (πλήρης ανάπτυξη των βαρδιών παρακάτω) :

- 1 Jumbo με 160hp
- 2 Φορτωτές με 270hp έκαστος
- 1 Καλαθοφόρο των 120hp
- 1 Ξεσκρωτή των 163hp
- 1 Φορτηγό των 315hp

- 1 Ανυψωτικό των 120hp

Με ένα συντελεστή 0,2 στα μηχανήματα εκτός του jumbo και των φορτωτών λόγω της περιστασιακής χρήσης τους έχουμε 630hp συνολικά ενώ παράλληλα στην περιοχή απασχολούνται 6 άτομα.

Άρα κάνοντας:

$$Q = 630\text{hp} * 2.3 + 6\text{άτομα} * 5.66 = 1533,96\text{m}^3/\text{min} \text{ ή } 25,56 \text{ m}^3/\text{s}$$

Αφού γνωρίζουμε πλέον τις ανάγκες σε αερισμό εφαρμόζουμε τους εξής τύπους:

$$h_0 = 0.1 * \lambda' * (L_{\text{ισοδύναμο}} / D^5) * Q^{1.7}$$

Όπου

- $h_0$ = πίεση σε mmH<sub>2</sub>O
- $\lambda'$ = σταθερά εύκαμπτου αγωγού (0,027)
- $L$ = το ισοδύναμο μήκος από την κοντινότερη πηγή αέρα, υπολογισμένο για αυτή την περίπτωση σε 575m
- $D$ = η διάμετρος του αγωγού αερισμού (m)
- $Q$ = η παροχή αέρα (m<sup>3</sup>/s)

Και

$$N = (Q * h_0) / (75 * \eta)$$

Όπου

- $N$ = η ισχύς του ανεμιστήρα σε hp
- $\eta$ = η αποδοτικότητα του αξονικού ανεμιστήρα (0,75)

Τα παραπάνω μας δίνουν:

Πίνακας 25 Ίπποι ανεμιστήρων

|                             |              |
|-----------------------------|--------------|
| <b>ΙΠΠΟΙ</b>                | <b>630</b>   |
| <b>ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ</b>            | <b>7</b>     |
| <b>Q(m<sup>3</sup>/s)</b>   | <b>24,8</b>  |
| <b>H (mmH<sub>2</sub>O)</b> | <b>145,9</b> |
| <b>N(hp)</b>                | <b>64,3</b>  |

Εφόσον ο αέρας έχει ακόμη να διανύσει ίση απόσταση για την έξοδό του η τιμή διπλασιάζεται σε 130hp, ακόμη η τιμή διπλασιάζεται εκ' νέου για τυχόν διαφυγές και απρόβλεπτες περιπτώσεις φέρνοντας την τελική ισχύ των ανεμιστήρων σε **260hp**. Λαμβάνοντας υπόψιν την απαιτούμενη ισχύ θα γίνει χρήση **5 ανεμιστήρων των 44hp έκαστος**.

## 10 Αποκομιδή

Αμέσως μετά τον αερισμό ακολουθεί η αποκομιδή του υλικού προς τις προσωρινές αποθήκες που θα δημιουργηθούν στις βάσεις των διευθυντικών στοών. Η μεταφορά από το μέτωπο θα γίνεται με φορτωτές και η μεταφορά από τις αποθήκες προς την επιφάνεια με τετραξονικά φορτηγά.

## 11 Ξεσκάρωμα

Τη φάση της αποκομιδής ακολουθεί το ξεσκάρωμα. Ξεσκάρωμα ονομάζεται η απομάκρυνση επισφαλών όγκων από την οροφή και παρειές της στοάς ανάπτυξης για αποφυγή ατυχημάτων από την πτώση αυτών. Παλαιότερα και σε μικρής διατομής στοές η διαδικασία γινόταν χειροκίνητα με αυξημένο βέβαια βαθμό κινδύνου για τον χειριστή. Στη σημερινή ημέρα γίνεται **χρήση ξεσκαρωτή** που φέρει ειδικό 'νύχι' που αποκολλά με συγκεκριμένη άσκηση δύναμης και ροπής τους επισφαλείς όγκους που δημιουργεί η ανατίναξη.





Εικόνα 63 Ξεσκαρώτης σε δράση (<http://www.gradall.com>)

## 12 Υποστήριξη

### 12.1 Στοιχεία-Παράμετροι

Την διαδικασία ξεσκαρώματος ακολουθεί η τοποθέτηση της κατάλληλης υποστήριξης. Η επιλογή των κατάλληλων δομών έγινε ακολουθώντας το σύστημα Q του Νορβηγικού Γεωτεχνικού Ινστιτούτου (NGI). Τα κριτήρια του συστήματος αναλύονται παρακάτω (Barton, Lien and Lunde, 1974):

- RQD: Δείκτης ποιότητας βραχώμαζας (0-100)
- Jn: Εξαρτάται από τον αριθμό των οικογένειών των ασυνεχειών
- Jr: Εξετάζει την τραχύτητα που παρουσιάζουν οι επιφάνειες των ασυνεχειών
- Ja: Εξετάζει το βαθμό αποσάθρωσης που παρουσιάζουν οι επιφάνειες των ασυνεχειών
- Jw: Εξετάζει την επίδραση του υπόγειου νερού στο τασικό πεδίο

- SRF: Εξετάζει την τασική κατάσταση που επικρατεί γύρω από την υπόγεια εκσκαφή
- ESR: Οι τιμές του εξαρτώνται από το είδος του έργου και τις απαιτήσεις ασφαλείας αυτού
- Dt: Άνοιγμα εκσκαφής, διάμετρος ή μήκος (m)
- De: Dt/ESR

Οι λιθολογικές ενότητες στις οποίες έχουμε έργα και θα εξεταστούν είναι οι Ksm.1 και Fe Ni.2.

#### Ksm.1:

- RQD: Οι γεωτρήσεις έδειξαν τιμές 90-50 λαμβάνεται χείριστη τιμή το 50
- Jn: Εμφανίζει δύο συστήματα διακλάσεων επομένως λαμβάνει τιμή 4
- Jr: Εμφανίζει τραχείες κυματοειδής διακλάσεις επομένως λαμβάνει τιμή 3
- Ja: Εμφανίζει ελαφρά αποσαθρωμένα τοιχώματα διακλάσεων επομένως λαμβάνει τιμή 2
- Jw: Το έργο βρίσκεται πάνω από τον υδροφόρο επομένως λαμβάνει τιμή 1
- SRF: Τα έργα βρίσκονται σε περιβάλλον χαμηλών τάσεων επομένως λαμβάνει τιμή 2.5

#### Fe Ni.2

- RQD: Οι γεωτρήσεις έδειξαν τιμές 0-55 λαμβάνεται μέση τιμή το 30
- Jn: Εμφανίζει πολλαπλά συστήματα διακλάσεων επομένως λαμβάνει τιμή 15
- Jr: Εμφανίζει λείες κυματοειδής διακλάσεις επομένως λαμβάνει τιμή 2
- Ja: Εμφανίζει ελαφρά αποσαθρωμένα τοιχώματα διακλάσεων επομένως λαμβάνει τιμή 2
- Jw: Το έργο βρίσκεται πάνω από τον υδροφόρο επομένως λαμβάνει τιμή 1
- SRF: Τα έργα βρίσκονται σε περιβάλλον μεσαίων τάσεων επομένως λαμβάνει τιμή 5

Στη συνέχεια έγινε η επιλογή του ESR με βάση το ακόλουθο διάγραμμα(Barton, Lien and Lunde, 1974):

Πίνακας 26 Τιμές ESR

| Τύπος εκσκαφής                       | ESR |
|--------------------------------------|-----|
| Προσωρινά ανοίγματα μεταλλείων       | 3,5 |
| Κατακόρυφα φρεάτια κυκλικής διατομής | 2   |
| Μόνιμες στοές μεταλλείων             | 1,6 |

Ακολουθεί πίνακας αντιστοίχισης των έργων με τις λιθολογικές ενότητες που θα διανοιχθούν:

Πίνακας 27 Έργα με λιθολογικές ενότητες

| ΕΡΓΟ                             | ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ | ΔΙΑΤΟΜΗ(m)               | Dt (m) | ESR |
|----------------------------------|--------------------|--------------------------|--------|-----|
| Προσπελαστικά έργα               | Ksm.1              | 5X5 (πεταλοει-<br>δής)   | 5      | 1,6 |
| Διευθυντικές                     | Ksm.1              | 4X4 (πεταλοει-<br>δής)   | 4      | 1,6 |
| Παραγωγικές (προσωρινά ανοικτές) | Fe Ni.2            | 4X3,5 (πεταλο-<br>ειδής) | 4      | 3,5 |
| Παραγωγικές (μόνιμα ανοικτές)    | Fe Ni.2            | 4X3.5 (πεταλο-<br>ειδής) | 4      | 1,6 |
| Φρέαρ                            | Ksm.1              | 3 (κυκλική)              | 3      | 2   |

## 12.2 Υπολογισμός Q

Ακόμη υπολογίστηκαν τα μέτρα υποστήριξης για τις εισόδους και τις διασταυρώσεις (με 2\*Jn και 3\*Jn αντίστοιχα)

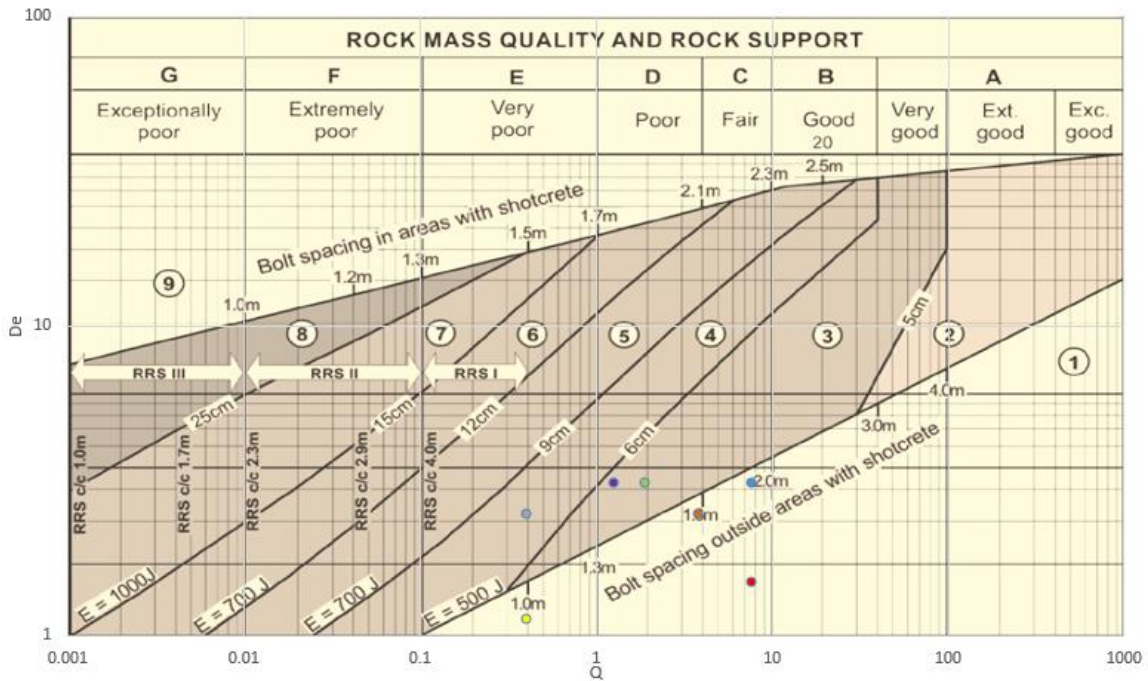
Πίνακας 28 Συγκεντρωτικός πίνακας στοιχείων

| ΕΡΓΟ                             | RQD | Jn | Jr | Ja | Jw | SRF | Dt | ESR |
|----------------------------------|-----|----|----|----|----|-----|----|-----|
| Προσπελαστικά έργα               | 50  | 4  | 3  | 2  | 1  | 2.5 | 5  | 1,6 |
| Είσοδοι                          | 50  | 8  | 3  | 2  | 1  | 5   | 5  | 1,6 |
| Διασταυρώσεις                    | 50  | 12 | 3  | 2  | 1  | 5   | 5  | 1,6 |
| Διευθυντικές                     | 50  | 4  | 3  | 2  | 1  | 5   | 4  | 1,6 |
| Παραγωγικές (προσωρινά ανοικτές) | 30  | 15 | 2  | 2  | 1  | 5   | 4  | 3,5 |
| Παραγωγικές (μόνιμα ανοικτές)    | 30  | 15 | 2  | 2  | 1  | 5   | 4  | 1,6 |
| Φρέαρ                            | 50  | 4  | 3  | 2  | 1  | 2.5 | 3  | 2   |

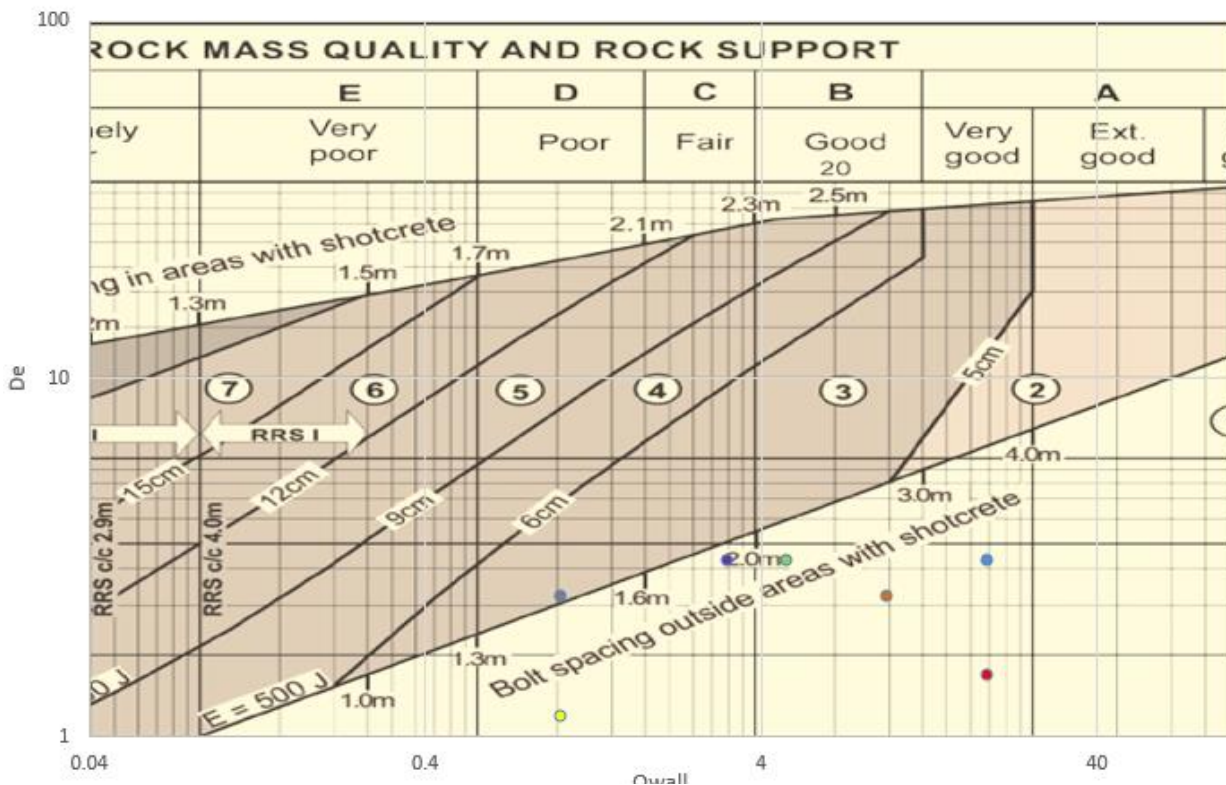
Στη συνέχεια υπολογίζεται το  $De=Dt/ESR$ , το  $Q=(RQD/Jn)*(Jr/Ja)*(Jw/SRF)$  και το  $Q_{wall}=2,5*Q$  δίνοντας τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 29 Τιμές Q, Q<sub>wall</sub>, De

| ΕΡΓΟ                             | <u>Q</u> | <u>Q<sub>wall</sub></u> | <u>De</u> |
|----------------------------------|----------|-------------------------|-----------|
| Προσπελαστικά έργα               | 7,5      | 18,75                   | 3,125     |
| Είσοδοι                          | 1,875    | 4,69                    | 3,125     |
| Διασταυρώσεις                    | 1,25     | 3,125                   | 3,125     |
| Διευθυντικές                     | 3,75     | 9,375                   | 2,5       |
| Παραγωγικές (προσωρινά ανοικτές) | 0,4      | 1                       | 1,14      |
| Παραγωγικές (μόνιμα ανοικτές)    | 0,4      | 1                       | 2,5       |
| Φρέαρ                            | 7,5      | 18,75                   | 1,5       |



Εικόνα 65 Υπολογισμός υποστήριξης οροφής



Εικόνα 64 Υπολογισμός υποστήριξης παρειών

Οι άνωθεν τιμές εισάγονται στα κατάλληλα διαγράμματα και από αυτά προκύπτει η προτεινόμενη υποστήριξη:

Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα τα μέτρα υποστήριξης που θα χρησιμοποιηθούν στο έργο θα είναι:

- Ινοπλισμένο σκυρόδεμα (fibercrete): Αποτελεί βελτίωση επί του παραδοσιακού σκυροδέματος με προσθήκη ινών χάλυβα ή πολυπροπυλενίου. Αποτέλεσμα της προσθήκης αυτής είναι η καλύτερη αγκύρωση του υλικού στη βραχομάζα και η μεγαλύτερη παραμορφωσιμότητα του πριν τη αστοχία.
- Αγκύρια: Θα γίνει χρήση αγκυρίων ρητίνης. Η επιλογή έγινε με γνώμονα την ταχύτητα εγκατάστασης και ανάληψης τάσεων από τα συγκεκριμένα αγκύρια εφόσον θα χρησιμοποιηθούν κυρίως στην περιοχή του έντονα κερματισμένου πετρώματος.

Το μήκος των αγκυρίων υπολογίστηκε με τη χρήση των εξής εμπειρικών τύπων (Hoek, 1995):

➤ Οροφής:  $L=2+0,15*(B/ESR)$

➤ Παρειών:  $L=2+0,15*(H/ESR)$

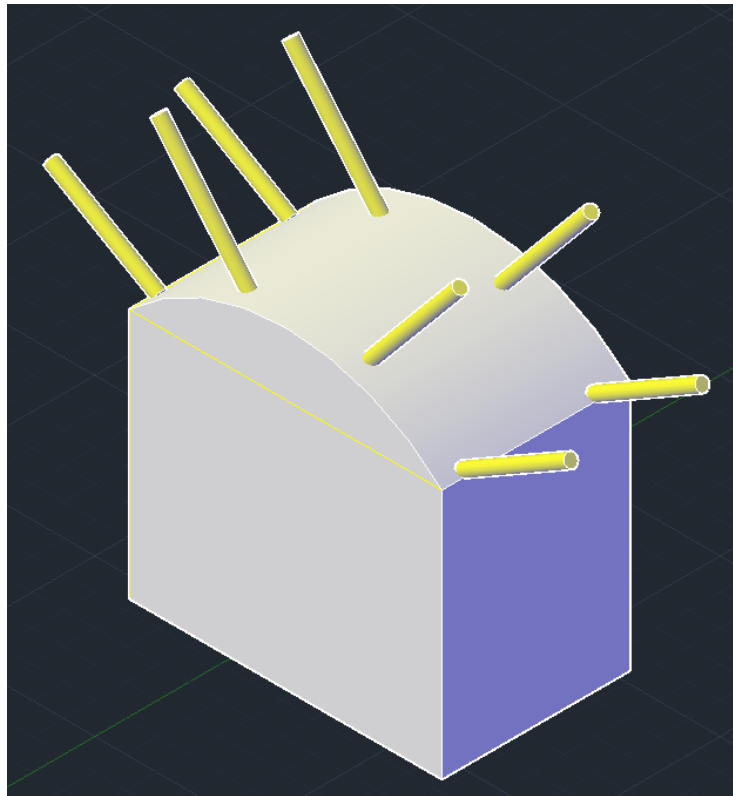
Όπου Β πλάτος της εκσκαφής και Η το ύψος της

Με συνδυασμό όλων των παραπάνω προκύπτει ο αντίστοιχος πίνακας:

*Πίνακας 30 Χαρακτηριστικά υποστήριξης*

| ΕΡΓΟ                      | Οροφή            | Παρειές          | B(m) | H(m) | Μήκος αγκυρίων οροφής(m) | Μήκος αγκυρίων παρειών(m) |
|---------------------------|------------------|------------------|------|------|--------------------------|---------------------------|
| <b>Προσπελαστικά έργα</b> | αγκύρια ανά 1,5μ | αυτοϋποστηριξη   | 5    | 5    | 2,47                     | 2,47                      |
| <b>Διευθυντικές</b>       | αγκύρια ανά 1,5μ | αυτοϋποστηριξη   | 4    | 4    | 2,38                     | 2,38                      |
| <b>Διασταυρώσεις</b>      | αγκύρια ανά 1,5μ | αγκύρια ανά 1,8μ | -    | -    | 2,47                     | 2,47                      |

|   |   |   |   |     |      |      |
|---|---|---|---|-----|------|------|
| <b>Είσοδοι</b>                                  | αγκύρια<br>ανά 1,5μ                         | αγκύρια ανά 2μ                          | - | -   | 2,47 | 2,47 |
| <b>Παραγωγικές<br/>(προσωρινά<br/>ανοικτές)</b> | αγκυρια<br>ανά 1,5μ                         | αγκύρια ανά 1,5μ                        | 4 | 3.5 | 2,17 | 2,15 |
| <b>Παραγωγικές<br/>(μόνιμα ανοικτές)</b>        | αγκύρια<br>ανά 1,5μ<br>+ 10cm<br>fibercrete | αγκύρια ανά<br>1,5μ+5cm fi-<br>bercrete | 4 | 3.5 | 2,38 | 2,33 |



Εικόνα 66 Ενδεικτική υποστήριξη σε στοά 5Χ5

Πίνακας 31 Ανάγκες υποστήριξης ανά διατομή

| ΕΡΓΟ                             | Αγκύρια οροφής (διατομής) | Αγκύρια παρειών(διατομής) | Fi-bercrete οροφής (m <sup>2</sup> ) | Fi-bercrete παρειών (m <sup>2</sup> ) |
|----------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Προσπελαστικά έργα               | 4                         | 0                         | 0                                    | 0                                     |
| Είσοδοι                          | 4                         | 2                         | 0                                    | 0                                     |
| Διευθυντικές                     | 3                         | 0                         | 0                                    | 0                                     |
| Παραγωγικές (προσωρινά ανοικτές) | 3                         | 2                         | 0                                    | 0                                     |
| Παραγωγικές (μόνιμα ανοικτές)    | 4                         | 2                         | 0,43                                 | 0,28                                  |

Λαμβάνοντας υπόψιν τα μήκη των στοών και την απόσταση των αγκυρίων και την απαιτούμενη επένδυση υπολογίζεται ποσοτικά η ζητούμενη υποστήριξη όλου του έργου:

Πίνακας 32 Ολικές απαιτήσεις υποστήριξης

| ΕΡΓΟ                             | Μήκη(m) | Αγκύρια οροφής | Αγκύρια παρειών | Fibercrete οροφής (m <sup>3</sup> ) | Fibercrete παρειών (m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------------|---------|----------------|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Προσπελαστικά έργα               | 1.317   | 3.512          | 0               | 0                                   | 0                                    |
| Διευθυντικές                     | 736     | 1.472          | 0               | 0                                   | 0                                    |
| Παραγωγικές (προσωρινά ανοικτές) | 15.446  | 30.892         | 20.595          | 0                                   | 0                                    |



|                                     |     |       |     |     |     |
|-------------------------------------|-----|-------|-----|-----|-----|
| Παραγωγικές<br>(μόνιμα<br>ανοικτές) | 554 | 1.477 | 739 | 238 | 155 |
|-------------------------------------|-----|-------|-----|-----|-----|

Ακόμη λαμβάνονται υπόψιν:

Οι δύο είσοδοι που απαιτούν τοπική πύκνωση των αγκυρίων σε +4 άρα  $2*4=8$  επιπλέον αγκύρια

Οι 21 διασταυρώσεις οι οποίες χωρίζονται σε:

Πίνακας 33 Επιπλέον αγκύρια

| ΤΥΠΟΣ                       | Αριθμός διασταυρώσεων | Επιπλέον αγκύρια ανά διασταύρωση | Σύνολο επιπλέον αγκυρίων |
|-----------------------------|-----------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Διευθυντική-Διευθυντική     | 4                     | 10                               | 40                       |
| Προσπελαστική-προσπελαστική | 2                     | 6                                | 12                       |
| Διευθυντική-διευθυντική     | 15                    | 8                                | 15                       |

Επομένως:

1. Η συνολική ανάγκη αγκυρίων υπολογίζεται σε:
  - Σύνολο αγκυρίων 2,4m (με διασταυρώσεις και εισόδους): **7.380**
  - Σύνολο αγκυρίων 2,2m: **51.487**
2. Η συνολική ανάγκη σε fibercrete ανέρχεται σε:
$$238\text{m}^3 \text{ (οροφής)} + 155 \text{ (παρειές)} \text{ m}^3 = \mathbf{393 \text{ m}^3}$$

### 12.3 Λιθογόμωση

Αναπόσπαστο κομμάτι της μεθόδου cut and fill αποτελεί η λιθογόμωση. Ο όρος αναφέρεται στην πλήρωση εξοφλημένων μερών του κοιτάσματος με στείρα υλικά ή τσιμέντο προς υποστήριξή τους για λόγους ασφαλείας ή για τη διευκόλυνση εκμετάλλευσης ανώτερου ή κατώτερου ορόφου. Η λιθογόμωση λοιπόν αποτελεί έργο μόνιμης υποστήριξης.

Στο παρόν έργο θα χρησιμοποιηθούν εναλλάξ δύο ειδών γομώσεις

- Ξηρή: Αποτελείται από στείρα υλικά της εκμετάλλευσης χωρίς άλλες προσθήκες. Τα υλικά αποθέτονται σε στρώσεις στις εξοφλημένες στοές με χρήση φορτωτών υπογείων και στη συνέχεια υπόκεινται σε προστεροποίηση μέσω πάκτωσης. Η ξηρή γόμωση αναλαμβάνει τάσεις την ίδια στιγμή που τοποθετείται σε αντίθεση με τον τσιμεντοπολφό.
- Τσιμεντοπολφός (cemented rock fill): Αποτελείται από κοσκινισμένα στείρα της εκμετάλλευσης, τσιμεντοκονία και νερό. Η διαδικασία τοποθέτησης της γόμωσης γίνεται με κατασκευή φράγματος για να μη διαφύγει το μείγμα και στη συνέχεια ο χώρος πληρώνεται με υδραυλικό ψεκασμό. Η γόμωση με τσιμεντοπολφό απαιτεί 28 ημέρες τουλάχιστον για τη πλήρη στερεοποίηση της.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι στοές που γομώνονται με ξηρή λιθογόμωση πρέπει να αντιστηρίζονται από τις παρειές τους καθώς η συνοχή του υλικού είναι μηδενική. Αυτό μας οδηγεί σε έναν **πεσσοειδή** σχεδιασμό των λιθογομώσεων όπως φαίνεται στο κεφάλαιο χρονισμού των μετώπων.

#### Υπολογισμοί λιθογόμωσης

Συνολικά θα διανοιχθούν όγκοι 208.000m<sup>3</sup>. Λόγω πεσσοειδής μορφής λιθογόμωσης η αναλογία στοών που γομώνονται ξηρά προς αυτές που γομώνονται με τσιμεντοπολφό είναι 1:1. Επομένως:

Πίνακας 34 Όγκοι προς λιθογόμωση

| Τύπος                                     | Όγκος (m <sup>3</sup> ) |
|---|-------------------------|
| Όγκος που θα γεμίσει με ξηρή λιθογόμωση   | 104.000                 |
| Όγκος που θα γεμίσει με CEMENTED ROCKFILL | 104.000                 |
| <b>Σύνολο</b>                             | <u>208.000</u>          |

### 12.3.1 Λιθογόμωση με τσιμεντοπολφό (CRF Cemented Rock Fill)

Γίνεται χρήση γόμωσης αποτελούμενης από 55% μείγματος τσιμέντου( αποτελούμενου από τσιμεντοκονία και νερό σε αναλογία 1:1,2) και 45% στείρα υλικά.

Η περιοχή που πρέπει να λιθογομωθεί κατά αυτόν τον τρόπο έχει όγκο 104.000m<sup>3</sup> αν πολλαπλασιάσουμε με το ειδικό βάρος του τσιμεντοπολφού 2,2tn/m<sup>3</sup> παίρνουμε 104.000\*2.2=228.800 tn CRF. Σύμφωνα με τα παραπάνω ορίζονται οι απαιτήσεις υλικών για τη συγκεκριμένη γόμωση:

Πίνακας 35 Ανάγκες Cemented Rock Fill

| ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ CEMENTED ROCK-FILL | (tn)    |
|--------------------------------|---------|
| <b>CEMENTED ROCK FILL</b>      | 228.800 |
| <b>ΣΤΕΙΡΑ</b>                  | 102.960 |
| <b>ΜΕΙΓΜΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ</b>        | 125.840 |
| <b>ΝΕΡΟ</b>                    | 68.640  |
| <b>ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑ</b>           | 57.200  |

### 12.3.2 Ξηρή λιθογόμωση

Εφόσον αποτελείται αποκλειστικά από στείρα θα χρειαστούμε 104.000m<sup>3</sup> για τη γόμωση των αντίστοιχων στοών.

Επομένως οι τελικές απαιτήσεις σε υλικά ανέρχονται σε:

Πίνακας 36 Ολικές ανάγκες λιθογόμωσης

|   |                       |
|---|-----------------------|
| <b>ΟΛΙΚΑ ΖΗΤΟΥΜΕΝΑ ΣΤΕΙΡΑ (m<sup>3</sup>)</b> | <b><u>143.600</u></b> |
| <b>ΟΛΙΚΟ ΖΗΤΟΥΜΕΝΟ ΝΕΡΟ (m<sup>3</sup>)</b>   | <b><u>68.640</u></b>  |
| <b>ΟΛΙΚΗ ΖΗΤΟΥΜΕΝΗ ΚΟΝΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ (tn)</b>   | <b><u>57.200</u></b>  |

Για τσιμέντο θα χρησιμοποιηθεί τύπου Portland λόγω της δοκιμασμένα υψηλής αντοχής του και το απαιτούμενο νερό μπορεί να παροχετευθεί από γεωτρήσεις ή και να αντληθεί από τα λιμνάζοντα ύδατα στα χαμηλότερα επίπεδα των παλαιών επιφανειακών εκμεταλλεύσεων της περιοχής. Ακόμη είναι εμφανές ότι τα παραγόμενα στείρα του μεταλλείου (51.156m<sup>3</sup>) δεν φτάνουν να καλύψουν τις ανάγκες τα λιθογόμωσης (143600m<sup>3</sup>). Τα υπολειπόμενα στείρα (92.444m<sup>3</sup>) μπορούν να διατεθούν είτε από τα απορρίμματα της μεταλλουργίας είτε από δανειοθαλάμους στη γύρω περιοχή η οποία είναι άφθονη σε κρητιδικό ασβεστόλιθο ή σε άλλη περίπτωση μπορεί να γίνει χρήση παλαιών αποθέσεων στείρων από τις εξοφλημένες επιφανειακές εκμεταλλεύσεις.

## 13 Χρόνοι

Ακολουθεί η διαδικασία εύρεσης του χρόνου της κάθε εργασίας στον κύκλο διάτρησης, γόμωσης-ανατίναξης, αερισμού, ξεσκαρώματος, υποστήριξης, αποκομοιδής.

Για παραγωγική στοά 4Χ3,5 και προχώρηση 3m:

- Διάτρηση

36 διατρήματα \* 3,3m = 119m διάτρηση συνολικά

119m / 2<sup>m</sup>/min ταχύτητας διάτρησης = 60min

(36-1) μετακινήσεις της μπούμας \* 1min για κάθε μία = 35 min

Συνολικός χρόνος διάτρησης= χρόνος διάτρησης+ μετακινήσεις μπούμας + προσαύξηση τυχαίας καθυστέρησης= 60+35+10=**105min**

- Γόμωση

35 γομούμενα διατρήματα \*2min χρόνος γόμωσης= 70min

Συνολικός χρόνος γόμωσης= χρόνος γόμωσης+ ανύψωση πλατφόρμας γόμωσης+ προσαύξηση= 70+20+10=**100min**

- Ανατίναξη και αερισμός

Απαιτούνται κατά μέσο όρο **60min** για την πλήρη απομάκρυνση των καπναερίων και των κοιορτών που δημιουργούνται από την ανατίναξη. Σημειώνεται ότι μέσα στο χρόνο αυτό περιλαμβάνεται και το διάστημα των 30min που επιβάλλει ο ΚΜΛΕ άρθρο 58/3 για τον ελάχιστο χρόνο επιστροφής των εργαζομένων σε μέτωπο μετά από ανατίναξη.

- Ξεσκάρωμα

Κατά μέσο όρο η διαδικασία του ξεσκάρωματος με ειδικό μηχάνημα απαιτεί **20min**

- Υποστήριξη

10 αγκύρια ανά προχώρηση \* 2,2 m μήκος αγκυρίων= 22m διάτρησης

22m / 2<sup>m</sup>/min ταχύτητας διάτρησης = 11 min

(10-1) μετακινήσεις της μπούμας \* 1 min για κάθε μία = 9 min

Συνολικός χρόνος υποστήριξης= χρόνος διάτρησης+ προσαρμογή ακυρίων+ χρόνος μετακίνησης μπούμας+προσαύξηση= 11+10+9+10=**40min**

- Αποκομιδή σε αποθήκες

Οι αποθήκες θα βρίσκονται στις βάσεις των διευθυντικών και το μέταλλευμα θα φτάνει σε αυτές με τη χρήση LHD. Σε κάθε περίπτωση λαμβάνεται το δυσμενέστερο σενάριο ως αναφορά τη πιθανή θέση της αποθήκης.

13m<sup>2</sup> διατομή \* 3m προχώρηση \* 1,2 συντελεστής επιπλήσματος= 46,8m<sup>3</sup> προς μετακίνηση

Αν ο κουβάς του μηχανήματος χωράει 4,5m<sup>3</sup> τότε θα χρειαστούμε 46,8m<sup>3</sup>/ 4,5m<sup>3</sup> = 10 διαδρομές προς την αποθήκη

Αν η κοντινότερη αποθήκη στο χειρίστο σενάριο απέχει 300m και το μηχανήμα μας λόγω των κλίσεων αναπτύσσει 7km/h άδειο και 5km/h φορτωμένο και προσθέτοντας 3min για τους ελιγμούς θα χρειαστεί 6,5min για κάθε διαδρομή, άρα:

10 διαδρομές\* 6,5min η διαδρομή= **65min** η μεταφορά του υλικού προς την αποθήκη

Επομένως από τα παραπάνω:

Συνολικός χρόνος για πλήρη προχώρηση 3m σε παραγωγική στοά 4Χ3,5:

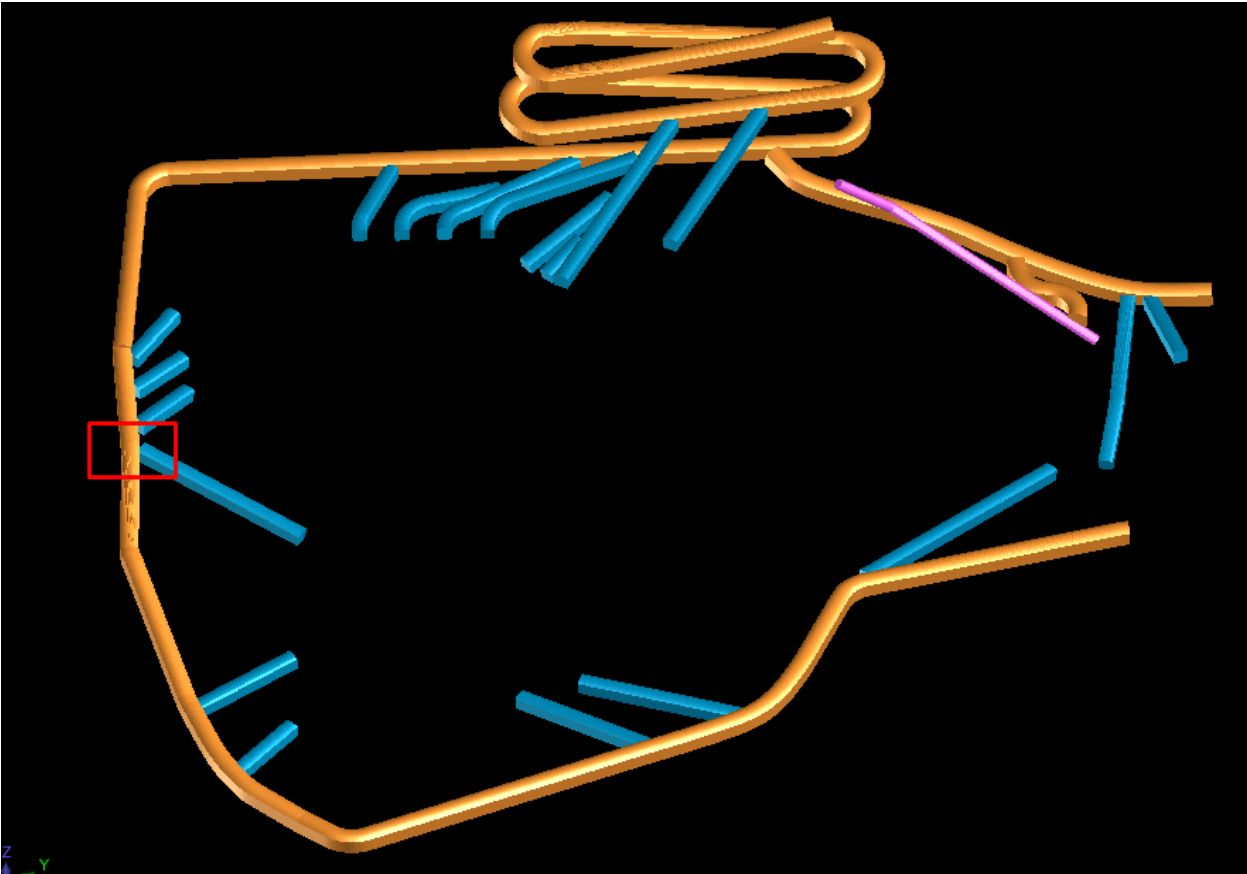
Χρόνος διάτρησης+ χρόνος γόμωσης+ χρόνος ανατίναξης, που αερισμού+ χρόνος ξεσκάρωματος+ χρόνος υποστήριξης+ χρόνος αποκομιδής=  
 $105\text{min}+100\text{min}+60\text{min}+20\text{min}+40\text{min}+65\text{min}=\mathbf{390\text{min}}$  ή **6,5hr**

Ακολουθώντας το άνωθεν παράδειγμα υπολογίστηκαν οι χρόνοι όλων των έργων

*Πίνακας 37 Χρόνοι έργων*

| Τύπος                  | Διάτρηση (min) | Γόμωση (min) | Ανατίναξη και αερισμός (min) | Αποκομιδή (min) | Ξεσκάρωμα (min) | Υποστήριξη (min) | Σύνολο (min) | Σύνολο (h) |
|------------------------|----------------|--------------|------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------|------------|
| Παραγωγικές            | 104,4          | 100          | 60                           | 65              | 20              | 40               | 389          | <u>6.5</u> |
| Προσπελαστικές         | 138,85         | 126          | 60                           | 76              | 20              | 37               | 457          | <u>7.6</u> |
| Διευθυντικές           | 120,3          | 112          | 60                           | 36              | 20              | 32               | 381          | <u>6.3</u> |
| Παραγωγικές (ανοικτές) | 104,4          | 100          | 60                           | 65              | 20              | 46               | 396          | <u>6.6</u> |

Ακόμη υπολογίστηκε ο χρόνος της διαδρομής από την αποθήκη στο στόμιο εξόδου και πίσω φορτηγού υπογείων. Η θεωρητική θέση της αποθήκης φαίνεται παρακάτω



Εικόνα 67 Θέση αποθήκης

Με τις παραδοχές ότι η χωρητικότητα του φορτηγού είναι  $16\text{m}^3$  και ότι ταξιδεύει με  $5\text{km/h}$ , ο χρόνος που θα χρειαστεί για τη διαδρομή από την αποθήκη στην έξοδο του μεταλλείου και πίσω θα είναι  $12,7\text{min}$ . Αν σε αυτό προσθέσουμε  $3\text{min}$  για ελιγμούς και  $10\text{min}$  για φόρτωμα και ξεφόρτωμα ο συνολικός χρόνος υπολογίζεται σε **26min**.

## 14 Υπολογισμός βαρδιών

Οι εργασίες των συνεργείων θα συμβολίζονται ως εξής:

ΔΓΑ: Διάτρηση, Γόμωση, Ανατίναξη (3m προχώρηση)

ΑΞΥ: Αποκομιδή, Ξεσκάρωμα, Υποστήριξη (3m προχώρηση)

ΟΛ: Ολοκληρωμένος κύκλος εργασιών (Διάτρηση, Γόμωση, Ανατίναξη, Αποκομιδή, Ξεσκάρωμα, Υποστήριξη (3m προχώρηση)

Λ: Λιθογόμωση

Β: εκτέλεση βοηθητικών εργασιών

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι χρόνοι λιθογόμωσης και εργασιών:

Για την ξηρή λιθογόμωση, εφόσον το υλικό μεταφέρεται από την αποθήκη στο μέτωπο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο αντίστοιχος χρόνος της αποκομιδής που με μία προσαύξηση για LHD με κουβά 4,5m<sup>3</sup> μας δίνει **31m<sup>3</sup>/h**. Επίσης στη διαδικασία θα προστεθεί μισή ώρα για αστάθμητους παράγοντες .

Για τον τσιμεντοπολφό βιβλιογραφικά ο ρυθμός γόμωσης ανέρχεται σε **25m<sup>3</sup>/h**. Επίσης στη διαδικασία θα προστεθεί μισή ώρα για αστάθμητους παράγοντες και τοποθέτηση του φράγματος.

ΔΓΑ<sub>ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ</sub>= χρόνος Διάτρησης+ χρόνος Γόμωσης= 105+100=205min ή **3,4h** να σημειωθεί ότι δεν περιλαμβάνεται ο χρόνος αερισμού των 60min καθώς με τον παρόν προγραμματισμό αυτός συμβαίνει είτε παράλληλα με άλλες εργασίες ή στο τέλος της βάρδιας.

ΑΞΥ<sub>ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΩΝ</sub>= χρόνος Αποκομιδής+ χρόνος Ξεσκάρωματος+ χρόνος Υποστήριξης= 65+20+40=125min ή **2h**

Για τους χρόνους των εργασιών προσπέλασης χρησιμοποιήθηκαν οι σταθμισμένοι μέσοι όροι διευθυντικών και προσπελαστικών- περιχαρακωματικών έργων.

ΔΓΑ<sub>ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΤΙΚΩΝ</sub>= χρόνος Διάτρησης+ χρόνος Γόμωσης= 132,23+121=253min ή **4,2h** να σημειωθεί ότι δεν περιλαμβάνεται ο χρόνος αερισμού των 60min καθώς με τον παρόν προγραμματισμό αυτός συμβαίνει είτε παράλληλα με άλλες εργασίες ή στο τέλος της βάρδιας.

ΑΞΥ<sub>ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΤΙΚΩΝ</sub>= χρόνος Αποκομιδής+ χρόνος Ξεσκάρωματος+ χρόνος Υποστήριξης= 61,66+20+35,21=117min ή **2h**



## 14.1 Ρουτίνες

Στο παρόν σχεδιασμό συναντάμε δύο διακριτές ρουτίνες. Σημειώνεται ότι η βάρδια υπολογίζεται σε 7,5h .

### 14.1.1 Ρουτίνα Α

Η ρουτίνα Α θα χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του μεταλλείου και ταυτόχρονα με την διαδικασία του cut and fill θα διανοίγονται οι προσπελαστικές και περιχαρακωματικές στοές. Θα έχουμε τρία συνεργεία. Το πρώτο συνεργείο (πρωινό) θα εκτελεί ΔΓΑ σε ένα παραγωγικό μέτωπο και αμέσως μετά ΑΞΥ σε ένα άλλο με τις εργασίες να γίνονται εναλλάξ ανάμεσα στα δύο μέτωπα κάθε μέρα και στο τέλος της βάρδιας θα λιθογομώνει εξοφλημένες στοές. Τα υπόλοιπα δύο συνεργεία (ένα μεσημέρι και ένα βράδυ) θα ασχολούνται με την διάνοιξη των προσπελαστικών έργων με παρόμοια διαδικασία με τις παραγωγικές και στο τέλος της βάρδιας ο υπολειπόμενος χρόνος (περίπου 1 ώρα ανά συνεργείο) θα χρησιμοποιείται για δευτερεύουσες εργασίες όπως η εγκατάσταση φωτιστικών σωμάτων και πανιών αερισμού.

Πίνακας 38 Βάρδια συνεργείου 1 ημέρα 1

| <b>ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 1 (ημέρα 1)</b>  | <b>6πμ-9:24πμ</b> | <b>9:24πμ-11:24πμ</b> | <b>11:24πμ-1:30μμ</b>    |
|-------------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|
| <b>Παρ. μέτωπο 1</b>          | ΔΓΑ               | -                     | -                        |
| <b>Παρ. μέτωπο 2</b>          | -                 | ΑΞΥ                   | -                        |
| <b>Προσπέλαση 1</b>           | -                 | -                     | -                        |
| <b>Προσπέλαση 2</b>           | -                 | -                     | -                        |
| <b>Λιθογόμωση (τσιμέντου)</b> | -                 | -                     | Λ (37,5 m <sup>3</sup> ) |
| <b>Λιθογόμωση(ξηρή)</b>       | -                 | -                     | -                        |
| <b>Βοηθητικές εργασίες</b>    | -                 | -                     | -                        |

Πίνακας 39 Βάρδια συνεργείου 1 ημέρα 2

| ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 1 (ημέρα 2)  | 6πμ-8πμ | 8πμ-11:24πμ | 11:24πμ-1:30μμ           |
|------------------------|---------|-------------|--------------------------|
| Παρ. μέτωπο 1          | -       | ΑΞΥ         | -                        |
| Παρ. μέτωπο 2          | ΔΓΑ     | -           | -                        |
| Προσπέλαση 1           | -       | -           | -                        |
| Προσπέλαση 2           | -       | -           | -                        |
| Λιθογόμωση (τσιμέντου) | -       | -           | -                        |
| Λιθογόμωση(ξηρη)       | -       | -           | Λ (46,5 m <sup>3</sup> ) |
| Βοηθητικές εργασίες    | -       | -           | -                        |

Πίνακας 40 Βάρδια συνεργείου 3

| ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 2            | 2μμ-6:12μμ | 6:12πμ-8:12μμ | 8:12μμ-9:30μμ |
|------------------------|------------|---------------|---------------|
| Παρ. μέτωπο 1          | -          | -             | -             |
| Παρ. μέτωπο 2          | -          | -             | -             |
| Προσπέλαση 1           | ΔΓΑ        | -             | -             |
| Προσπέλαση 2           | -          | ΑΞΥ           | -             |
| Λιθογόμωση (τσιμέντου) | -          | -             | -             |
| Λιθογόμωση(ξηρη)       | -          | -             | -             |
| Βοηθητικές εργασίες    | -          | -             | Β             |

Πίνακας 41 Βάρδια συνεργείου 3

| ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 3            | 10μμ-12πμ | 12πμ-4:12μμ | 4:12πμ-5:30πμ |
|------------------------|-----------|-------------|---------------|
| Παρ. μέτωπο 1          | -         | -           | -             |
| Παρ. μέτωπο 2          | -         | -           | -             |
| Προσπέλαση 1           | ΑΞΥ       | -           | -             |
| Προσπέλαση 2           | -         | ΔΓΑ         | -             |
| Λιθογόμωση (τσιμέντου) | -         | -           | -             |

|                     |   |   |   |
|---------------------|---|---|---|
| Λιθογόμωση(ξηρή)    | - | - | - |
| Βοηθητικές εργασίες | - | - | B |

Πίνακας 42 Συγκεντρωτικός πίνακας βαρδιών πρώτης ημέρας (ρουτίνα Α)

| Ημέρα 1                | <u>ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 1</u> |                    |                            | <u>ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 2</u> |                   |                   | <u>ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 3</u> |                 |                       |
|------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-----------------|-----------------------|
|                        | 6πμ-<br>9:24πμ     | 9:24πμ-<br>11:24πμ | 11:24πμ-<br>1:30μμ         | 2μμ-<br>6:12μμ     | 6:12πμ-<br>8:12μμ | 8:12μμ-<br>9:30μμ | 10μμ-<br>12πμ      | 12πμ-<br>4:12μμ | 4:12πμ<br>-<br>5:30πμ |
| Παρ. μέτωπο 1          | ΔΓΑ                | -                  | -                          | -                  | -                 | -                 | -                  | -               | -                     |
| Παρ. μέτωπο 2          | -                  | ΑΞΥ                | -                          | -                  | -                 | -                 | -                  | -               | -                     |
| Προσπέλαση 1           | -                  | -                  | -                          | ΔΓΑ                | -                 | -                 | ΑΞΥ                | -               | -                     |
| Προσπέλαση 2           | -                  | -                  | -                          | -                  | ΑΞΥ               | -                 | -                  | ΔΓΑ             | -                     |
| Λιθογόμωση (τσιμέντου) | -                  | -                  | Λ<br>(37,5m <sup>3</sup> ) | -                  | -                 | -                 | -                  | -               | -                     |
| Λιθογόμωση (ξηρή)      | -                  | -                  | -                          | -                  | -                 | -                 | -                  | -               | -                     |
| Βοηθητικές εργασίες    | -                  | -                  | -                          | -                  | -                 | B                 | -                  | -               | B                     |

Πίνακας 43 Συγκεντρωτικός πίνακας βαρδιών δεύτερης ημέρας (ρουτίνα Α)

|                           | <u>ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 1</u> |                 |                            | <u>ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 2</u> |                   |                   | <u>ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 3</u> |                 |                   |
|---------------------------|--------------------|-----------------|----------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| Ημέρα 2                   | 6πμ-<br>8πμ        | 8πμ-<br>11:24πμ | 11:24πμ-<br>1:30μμ         | 2μμ-<br>6:12μμ     | 6:12πμ-<br>8:12μμ | 8:12μμ-<br>9:30μμ | 10μμ-<br>12πμ      | 12πμ-<br>4:12μμ | 4:12πμ-<br>5:30πμ |
| Παρ. μέτωπο 1             | -                  | ΑΞΥ             | -                          | -                  | -                 | -                 | -                  | -               | -                 |
| Παρ. μέτωπο 2             | ΔΓΑ                | -               | -                          | -                  | -                 | -                 | -                  | -               | -                 |
| Προσπέλαση 1              | -                  | -               | -                          | ΔΓΑ                | -                 | -                 | ΑΞΥ                | -               | -                 |
| Προσπέλαση 2              | -                  | -               | -                          | -                  | ΑΞΥ               | -                 | -                  | ΔΓΑ             | -                 |
| Λιθογόμωση<br>(τσιμέντου) | -                  | -               | -                          | -                  | -                 | -                 | -                  | -               | -                 |
| Λιθογό-<br>μωση(ξηρή)     | -                  | -               | Λ<br>(46,5m <sup>3</sup> ) | -                  | -                 | -                 | -                  | -               | -                 |
| Βοηθητικές ερ-<br>γασίες  | -                  | -               | -                          | -                  | -                 | B                 | -                  | -               | B                 |

Με αυτό το πρόγραμμα έχουμε σταθερή προχώρηση 3m τη μέρα και αποκομιδή 13m<sup>2</sup>(διατομή)\* 3m(προχώρηση)\*1,2(συντελεστής επιπλήσματος)=47m<sup>3</sup> μεταλλεύματος που αποθηκεύονται προσωρινά στις αποθήκες στην βάση των διευθυντικών. Ακόμη έχουμε 6m προχώρησης των προσπελαστικών έργων τη μέρα ενώ αν λάβουμε υπόψιν το μήκος τους 2.053m /6m (μήκος προχώρησης)= 342 μέρες ή 342/250= 1,36 χρόνια που θα εφαρμόζεται αυτή η ρουτίνα . Στον χρόνο αυτό θα έχουν απομακρυνθεί 16.000m<sup>3</sup> μεταλλεύματος (με τον συντελεστή επιπλήσματος 1,2) και θα έχει επιτευχθεί προχώρηση 3m\*342 μέρες=1.026m στις παραγωγικές στοές.

Σημειώνεται ότι η διάνοιξη του φρέατος θα γίνει μέσω εργολαβίας και μηχάνημα raise boring από ενοικίαση

#### 14.1.2 Ρουτίνα Β

Η ρουτίνα Β θα αρχίσει να χρησιμοποιείται μετά το πέρας της διάνοιξης των έργων προσπέλασης και θα αποτελείται από τρία συνεργεία. Αυτά (ένα πρωί ,ένα μεσημέρι και ένα βράδυ)

θα εκτελούν ΔΓΑ σε ένα μέτωπο και αμέσως μετά ΑΞΥ σε ένα άλλο με τις εργασίες να γίνονται εναλλάξ ανάμεσα στα δύο μέτωπα κάθε μέρα και στο τέλος της βάρδιας θα λιθογομώσουν εξοφλημένες στοές.

Πίνακας 44 Βάρδια συνεργείου 1 ημέρα 1

| <b>ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 1<br/>(ημέρα 1)</b>  | <b>6πμ-<br/>9:24πμ</b> | <b>9:24πμ-<br/>11:24πμ</b> | <b>11:24πμ-<br/>1:30μμ</b> |
|-----------------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <b>Παρ. μέτωπο 1</b>              | ΔΓΑ                    | -                          | -                          |
| <b>Παρ. μέτωπο 2</b>              | -                      | ΑΞΥ                        | -                          |
| <b>Λιθογόμωση<br/>(τσιμέντου)</b> | -                      | -                          | Λ (37,5m <sup>3</sup> )    |
| <b>Λιθογό-<br/>μωση(ξηρη)</b>     | -                      | -                          | -                          |

Πίνακας 45 Βάρδια συνεργείου 2 ημέρα 1

| <b>ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 2<br/>(ημέρα 1)</b>  | <b>2μμ-<br/>4μμ</b> | <b>4μμ-<br/>7:24μμ</b> | <b>7:24μμ-9:30μμ</b>    |
|-----------------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|
| <b>Παρ. μέτωπο 1</b>              | ΑΞΥ                 | -                      | -                       |
| <b>Παρ. μέτωπο 2</b>              | -                   | ΔΓΑ                    | -                       |
| <b>Λιθογόμωση<br/>(τσιμέντου)</b> | -                   | -                      | -                       |
| <b>Λιθογό-<br/>μωση(ξηρή)</b>     | -                   | -                      | Λ (46,5m <sup>3</sup> ) |

Πίνακας 46 Βάρδια συνεργείου 3 ημέρα 1

| <b>ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 3<br/>(ημέρα 1)</b> | <b>10μμ-<br/>1:24πμ</b> | <b>1:24πμ-<br/>3:24πμ</b> | <b>3:24πμ-5:30πμ</b> |
|----------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|
| <b>Παρ. μέτωπο 1</b>             | ΔΓΑ                     | -                         | -                    |
| <b>Παρ. μέτωπο 2</b>             | -                       | ΑΞΥ                       | -                    |

|                                   |   |   |                         |
|-----------------------------------|---|---|-------------------------|
| <b>Λιθογόμωση<br/>(τσιμέντου)</b> | - | - | -                       |
| <b>Λιθογό-<br/>μωση(ξηρή)</b>     | - | - | Λ (46,5m <sup>3</sup> ) |

*Πίνακας 47 Βάρδια συνεργείου 1 ημέρα 2*

|                                   |                     |                         |                         |
|-----------------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 1<br/>(ημέρα 2)</b>  | <b>6πμ-<br/>8πμ</b> | <b>8πμ-<br/>11:24πμ</b> | <b>11:24πμ-1:30πμ</b>   |
| <b>Παρ. μέτωπο 1</b>              | -                   | ΑΞΥ                     | -                       |
| <b>Παρ. μέτωπο 2</b>              | ΔΓΑ                 | -                       | -                       |
| <b>Λιθογόμωση<br/>(τσιμέντου)</b> | -                   | -                       | -                       |
| <b>Λιθογό-<br/>μωση(ξηρή)</b>     | -                   | -                       | Λ (46,5m <sup>3</sup> ) |

*Πίνακας 48 Βάρδια συνεργείου 2 ημέρα 2*

|                                   |                        |                        |                         |
|-----------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| <b>ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 2<br/>(ημέρα 2)</b>  | <b>2μμ-<br/>5:24μμ</b> | <b>4μμ-<br/>7:24μμ</b> | <b>7:24μμ-9:30μμ</b>    |
| <b>Παρ. μέτωπο 1</b>              | -                      | ΔΓΑ                    | -                       |
| <b>Παρ. μέτωπο 2</b>              | ΑΞΥ                    | -                      | -                       |
| <b>Λιθογόμωση<br/>(τσιμέντου)</b> | -                      | -                      | Λ (37,5m <sup>3</sup> ) |
| <b>Λιθογό-<br/>μωση(ξηρή)</b>     | -                      | -                      | -                       |

*Πίνακας 49 Βάρδια συνεργείου 3 ημέρα 2*

|                                  |                       |                         |                      |
|----------------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|
| <b>ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 3<br/>(ημέρα 2)</b> | <b>10μμ-<br/>12πμ</b> | <b>12πμ-<br/>3:24πμ</b> | <b>3:24πμ-5:30πμ</b> |
| <b>Παρ. μέτωπο 1</b>             | ΑΞΥ                   | -                       | -                    |

|                        |   |     |                         |
|------------------------|---|-----|-------------------------|
| Παρ. μέτωπο 2          | - | ΔΓΑ | -                       |
| Λιθογόμωση (τσιμέντου) | - | -   | Λ (37,5m <sup>3</sup> ) |
| Λιθογόμωση(ξηρή)       | - | -   | -                       |

Πίνακας 50 Συγκεντρωτικός πίνακας βαρδιών πρώτης ημέρας (ρουτίνα Β)

|                        | <u>ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 1</u> |                    |                            | <u>ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 2</u> |                |                            | <u>ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 3</u> |                   |                            |
|------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------|----------------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|
| Ημέρα 1                | 6πμ-<br>9:24πμ     | 9:24πμ-<br>11:24πμ | 11:24πμ-<br>1:30μμ         | 2μμ-<br>4μμ        | 4μμ-<br>7:24μμ | 7:24μμ-<br>9:30μμ          | 10μμ-<br>1:24πμ    | 1:24πμ-<br>3:24πμ | 3:24πμ-<br>5:30πμ          |
| Παρ. μέτωπο 1          | ΔΓΑ                | -                  | -                          | ΑΞΥ                | -              | -                          | ΔΓΑ                | -                 | -                          |
| Παρ. μέτωπο 2          | -                  | ΑΞΥ                | -                          | -                  | ΔΓΑ            | -                          | -                  | ΑΞΥ               | -                          |
| Λιθογόμωση (τσιμέντου) | -                  | -                  | Λ<br>(37,5m <sup>3</sup> ) | -                  | -              | -                          | -                  | -                 | -                          |
| Λιθογόμωση(ξηρή)       | -                  | -                  | -                          | -                  | -              | Λ<br>(46,5m <sup>3</sup> ) | -                  | -                 | Λ<br>(46,5m <sup>3</sup> ) |

Πίνακας 51 Συγκεντρωτικός πίνακας βαρδιών δεύτερης ημέρας (ρουτίνα Β)

|                        | <u>ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 1</u> |                 |                            | <u>ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 2</u> |                |                            | <u>ΣΥΝΕΡΓΕΙΟ 3</u> |                 |                            |
|------------------------|--------------------|-----------------|----------------------------|--------------------|----------------|----------------------------|--------------------|-----------------|----------------------------|
| Ημέρα 2                | 6πμ-<br>8πμ        | 8πμ-<br>11:24πμ | 11:24πμ-<br>1:30μμ         | 2μμ-<br>5:24μμ     | 4μμ-<br>7:24μμ | 7:24μμ-<br>9:30μμ          | 10μμ-12πμ          | 12πμ-<br>3:24πμ | 3:24πμ-<br>5:30πμ          |
| Παρ. μέτωπο 1          | -                  | ΑΞΥ             | -                          | -                  | ΔΓΑ            | -                          | ΑΞΥ                | -               | -                          |
| Παρ. μέτωπο 2          | ΔΓΑ                | -               | -                          | ΑΞΥ                | -              | -                          | -                  | ΔΓΑ             | -                          |
| Λιθογόμωση (τσιμέντου) | -                  | -               | -                          | -                  | -              | Λ<br>(37,5m <sup>3</sup> ) | -                  | -               | Λ<br>(37,5m <sup>3</sup> ) |
| Λιθογόμωση(ξηρή)       | -                  | -               | Λ<br>(46,5m <sup>3</sup> ) | -                  | -              | -                          | -                  | -               | -                          |

Με εφαρμογή αυτή της ρουτίνας έχουμε προχώρηση 6m ανά ημέρας στο κοίτασμα άρα θα έχουμε εφαρμογή της ρουτίνας αυτής για (16.000m συνολικά – 1.026m ρουτίνας Α)/9m=1.663 μέρες ή 6,65 χρόνια

## Συμπεράσματα βαρδιών

Με την επανάληψη αυτών των βρόγχων το έργο αναμένεται να έχει ολοκληρωθεί σε  $6,65+1,36=8$  χρόνια (μη λαμβάνοντας υπόψιν τους χρόνους διαμόρφωσης στομιών)

## 15 Προσωπικό

Για τη διάρκεια του έργου, ανά βάρδια, θα απασχοληθεί ένας επιστάτης, ένας μηχανικός παραγωγής, ένας εργάτης γενικών καθηκόντων, τέσσερις τεχνίτες που θα αναλάβουν τους χειρισμούς των μηχανημάτων και 2 εργάτες για το χειρισμό της λιθογόμωσης και λοιπών βοηθητικών εργασιών εκτός των στοών.

Πίνακας 52 Προσωπικό

| ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ                             | Συνεργείο<br>1 | Συνεργείο<br>2 | Συνεργείο<br>3 | Συνολο |
|---------------------------------------|----------------|----------------|----------------|--------|
| ΕΠΙΣΤΑΤΗΣ                             | 1              | 1              | 1              | 3      |
| ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ                   | 1              | 1              | 1              | 3      |
| ΓΕΝΙΚΩΝ ΚΑΘΗΚΟΝΤΩΝ (υπόγεια)          | 1              | 1              | 1              | 3      |
| ΤΕΧΝΙΤΗΣ                              | 4              | 4              | 4              | 12     |
| ΓΕΝΙΚΩΝ ΚΑΘΗΚΟΝΤΩΝ (επίγεια-λιθόμωση) | 2              | 2              | 2              | 6      |

Ειδική μέριμνα λήφθηκε για εξισορρόπηση των δύο φάσεων του cut and fill με την αναλογία ανά ημέρα, όγκων εκσκαφής και γομούμενων όγκων να είναι 1:1.

## 16 Μηχανήματα

Θα γίνει χρήση των παρακάτω μηχανημάτων:



Πίνακας 53 Μηχανήματα

| Μηχάνημα              | Αριθμός | Ισχύς(hp) | Τιμή αγοράς (€) |
|-----------------------|---------|-----------|-----------------|
| Ξεσκαρωτής            | 1       | 163       | 150.000         |
| Φορτωτές LHD          | 3       | 270       | 250.000         |
| Φορτηγά Υπογείων      | 1       | 315       | 300.000         |
| Τετραξονικά φορτηγά   | 2       | 280       | 250.000         |
| Jumbo υπογείων (μονό) | 1       | 160       | 330.000         |
| Καλαθοφόρα            | 1       | 120       | 120.000         |
| Διατρητικό υπογείων   | 1       | 173       | 250.000         |
| Φορτωτής αποθηκών     | 1       | 150       | 85.000          |
| Δίκτυο αερα           | 1       | 260       | 80.000          |
| Μονάδα λιθογόμωσης    | 1       | 450       | 515.000         |
| Γεννήτριες            | 2       | 100       | 20.000          |
| Αντλίες               | 6       | 10        | 3.000           |
| Αυτοκινητα 4x4        | 4       | 120       | 15.000          |

## 17 Κόστη

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται ο υπολογισμός κόστους με στόχο την έκφρασή του σε €/tn και στη συνέχεια υπολογισμού των κερδών από την εκμετάλλευση. Αναλυτικότερα θα γίνει αναφορά στα κόστη:

- Διάτρησης
- Γόμωσης
- Αερισμού
- Μεταφοράς υλικών-Ξηρής λιθογόμωσης
- Ξεσκαρώματος
- Υποστήριξης
- Λιθογόμωσης με τσιμεντοπολφό
- Raise boring
- Προσωπικού
- Κτήσης μηχανημάτων

### 17.1 Διάτρηση

Τα κόστη διάτρησης χωρίζονται σε

1. Κορωνών
2. Στελεχών
3. Λειτουργίας μηχανημάτων

#### *Κορώνες*

Για τα διατρήματα των ανατινάξεων θα διατρηθούν 696.951m

Αν η κάθε κορώνα κοστίζει 50€ και έχει διάρκεια ζωής 500m:  $696.951\text{m}/500\text{m}=1.394$  κορώνες

$1.394\text{κορώνες}\cdot 50\text{€}=\underline{69.695\text{€}}$  το κόστος

#### *Στελέχη*

Αν το κάθε διατρητικό στέλεχος κοστίζει 245€ και έχει διάρκεια ζωής 5.000m

$696.951\text{m}/5.000\text{m}= 139$  στελέχη

$139\cdot 245\text{€}=\underline{34.151\text{€}}$  το κόστος

#### *Λειτουργίας μηχανημάτων*

Αν το κόστος λειτουργίας είναι 35€/h και 107,56min(1,8h) ο σταθμισμένος μέσος όρος λειτουργίας του μηχανήματος για προχώρηση 3m και 18.053m όλο το έργο

$18.053\text{m}/3\text{m}=6.017,6$  τα συνολικά βήματα

$6.017,6\cdot 1,8\text{h}/3\text{m}=10.831,8\text{h}$  σύνολο

$10.831,8\text{h}\cdot 35\text{€}=\underline{379.113\text{€}}$  το κόστος

Το συνολικό κόστος διάτρησης ανέρχεται σε 482.959€ που σημαίνει **0,73€/tn**

### 17.2 Γόμωση

Τα κόστη της γόμωσης χωρίζονται σε:

1. ANFO
2. Ηλεκτρικών καψυλίων
3. Κόστος λειτουργίας ανυψωτικής πλατφόρμας

#### 4. Καλωδίου σύνδεσης

##### *ANFO*

Το συνολικό ANFO που θα χρησιμοποιηθεί είναι 405.495,93kg με τιμή 0,62€/kg

$405.495,93\text{kg} \cdot 0,62\text{€/kg} = 25.1407\text{€}$  το κόστος

##### *Ηλεκτρικά καψύλια*

Αν το κάθε καψύλι έχει τιμή 0,8€ έκαστο και έχουμε 21.797 καψύλια

$21.797 \cdot 0,8\text{€} = 174.238\text{€}$  το κόστος

##### *Καλώδιο σύνδεσης*

Αν το συνολικό μήκος του καλωδίου είναι διπλάσιο των ολικών μέτρων του έργου για να συμπεριληφθούν οι διακλαδώσεις του στο μέτωπο και το κόστος του ανέρχεται σε 0,12€/m

$18.053\text{m} \cdot 2 \cdot 0,12\text{€/m} = 4.333\text{€}$  το κόστος

##### *Πλατφόρμα ανύψωσης*

Αν ο χρόνος λειτουργία της ανέρχεται σε 0,85h/3m μετά τον υποδιπλασιασμό του σταθμισμένου μέσου όρου του χρόνου γόμωσης εφόσον τα μισά διαστήματα θα κάνουν χρήση της

$6.017,6(\text{βήματα } 3\text{m}) \cdot 0,85\text{h}/3\text{m} = 5.114,96\text{h}$  λειτουργίας

$5.114,96\text{h} \cdot 35\text{€/h} = 179.023,6\text{€}$  το κόστος

Το συνολικό κόστος γόμωσης ανέρχεται σε 448.506€ που σημαίνει **0,67€/tn**

#### 17.3 Αερισμός

Αν οι μονάδες αερισμού λειτουργούν όλο το 24ωρο ,έχουν συνολική ισχύ 260hp, η τιμή της kwh ανέρχεται σε 0,12€ και οι συνολικές μέρες λειτουργίας του έργου σύμφωνα με το κεφάλαιο των βαρδιών είναι 2.000

$260\text{hp} \cdot 0,7 = 182\text{ kw}$

$182\text{kw} \cdot 24\text{h} = 4.368\text{kwh/day}$

$$4.368\text{kwh/day} \cdot 0,12\text{€/kwh} = 524\text{€/day}$$

$$524\text{€/day} \cdot 2.000\text{days} = 1.048.000\text{€}$$
 το κόστος

Αν προσθέσουμε 100.000€ για λοιπά έξοδα πανιών αερισμού το συνολικό κόστος ανέρχεται σε 1.148.000€ που σημαίνει **1,73€/tn**

#### 17.4 Μεταφορές υλικών

Οι μεταφορές υλικών χωρίζονται σε

1. Απομάκρυνση στείρων και μεταλλεύματος από τα μέτωπα και απόθεση στις εσωτερικές αποθήκες
2. Μεταφορά στείρων και μεταλλεύματος από τις εσωτερικές αποθήκες στην επιφάνεια
3. Μεταφορά στείρων από την επιφάνεια προς το εξοφλημένο μέτωπο για εκτέλεση ξηρής λιθογόμωσης

*Απομάκρυνση στείρων και μεταλλεύματος από τα μέτωπα και απόθεση στις εσωτερικές αποθήκες*

Αν ο σταθμισμένος μέσος όρος του χρόνου μεταφοράς-αποκομιδής για 3m προχώρησης είναι 64min (1,06h)

$$6.017,6\text{βήματα} \cdot 1,06\text{h} = 6.378,65\text{h}$$
 συνολικά για τις μεταφορές

$$6,378,65\text{h} \cdot 35\text{€/h} = 223.253\text{€}$$
 το κόστος

*Μεταφορά στείρων και μεταλλεύματος από τις εσωτερικές αποθήκες στην επιφάνεια*

Αν ο συνολικός όγκος in situ μεταλλεύματος και στείρου ανέρχεται σε 250.700m<sup>3</sup>, η πλήρης διαδρομή των φορητών χωρητικότητας 16 m<sup>3</sup> ανέρχεται σε 26min(0.43h), και το κόστος λειτουργίας τους σε 50 €/h

$$250.700\text{m}^3 \cdot 1,2 = 300.840\text{m}^3$$
 που θα πρέπει να μεταφερθούν από τα φορητά

$$300.840\text{m}^3 / 16\text{m}^3 = 18.802$$
 διαδρομές θα χρειαστούν

$$18.802 \cdot 0,43\text{h} = 8.085\text{h}$$
 συνολικά για τις μεταφορές

$$8.085\text{h} \cdot 50\text{ €/h} = 404.253\text{€}$$
 το κόστος

### Μεταφορά στείρων από την επιφάνεια προς το εξοφλημένο μέτωπο

Αν οι ανάγκες της ξηρής λιθογόμωσης ανέρχονται σε  $143.600\text{m}^3$ , η πλήρης διαδρομή των φορτηγών χωρητικότητας  $16\text{ m}^3$  ανέρχεται σε  $26\text{min}(0.43\text{h})$ , και το κόστος λειτουργίας τους σε  $50\text{ €/h}$

$143.600\text{ m}^3/16\text{ m}^3=8.975$  πλήρης διαδρομές

$8.975*0,43\text{h}=3.859,25\text{h}$  συνολικά για τις μεταφορές

$3.859,25*50\text{ €/h}=192963\text{ €}$  το κόστος

Συνολικά  $823.360\text{ €}$  που ανέρχονται σε **1,24 €/tn**

### 17.5 Ξεσκάρωμα

Αν  $20\text{min}(0.33\text{h})$  ο μέσος όρος ξεσκαρώματος για  $3\text{m}$  προχώρησης

$6.017,6\text{βήματα}*0,33\text{h}=1.985,8\text{h}$

$1.985,8\text{h}*35\text{ €/hr}=69.503\text{ €}$  το συνολικό κόστος άρα έχουμε **0,11 €/tn**

### 17.6 Υποστήριξη

Η ανάλυση κόστους της υποστήριξης χωρίζεται σε

1. Κόστος κορωνών
2. Κόστος στελεχών
3. Κόστος ρητινών
4. Κόστος λειτουργίας μηχανήματος
5. Κόστη κοχλιών
6. Κόστος επένδυσης ινοπλισμένου σκυροδέματος

### Κορώνες

Εφόσον για τους σκοπούς της υποστήριξης θα χρειαστούμε  $7.380$  αγκύρια των  $2,4\text{m}$  και  $51.487$  αγκύρια των  $2,2\text{m}$

$2,4\text{m}*7.380+51.487*2,2\text{m}=130.983\text{m}$  διάτρησης

Αν η κάθε κορώνα κοστίζει  $50\text{€}$  και έχει διάρκεια ζωής  $500\text{m}$ :  $130.983/500=262$  κορώνες

$262*50\text{€}=13.100\text{€}$  το κόστος

### Στελέχη

Αν το κάθε διατρητικό στέλεχος κοστίζει 245€ και έχει διάρκεια ζωής 5.000m

$$130.983\text{m}/5.000\text{m}=26 \text{ στελέχη}$$

$$26*245=6.370\text{€} \text{ το κόστος}$$

### Ρητίνη

Αν έχουμε 58.867 συνολικά αγκύρια και κάθε ένα από αυτά χρειάζεται δύο φυσίγγια ρητίνης που κοστίζουν 6€ το κάθε ένα

$$58.867*2*6\text{€}=706.404\text{€} \text{ το κόστος}$$

### Κόστος λειτουργίας μηχανήματος

Αν ο σταθμισμένος μέσος όρος της χρήσης του μηχανήματος είναι 40min(0,66h) για προχώρηση 3m

$$6.017,6\text{βήματα}*0,66\text{h}=3.971,66\text{h} \text{ λειτουργίας}$$

$$3.971,66\text{h}*35\text{€/h}=139.006\text{€} \text{ το κόστος}$$

### Κοχλίες

Αν ο κοχλίας με το πλακάκι του κοστίζει 15,5€ ο ένας

$$58.867\text{αγκύρια}*15,5\text{€}=912.438\text{€} \text{ το κόστος}$$

### Επένδυση

Αν η τιμή του ινοπλισμένου σκυροδέματος ανέρχεται σε 247€/m<sup>3</sup> και οι ανάγκες του έργου σε 398m<sup>3</sup> με το εξοπλισμό να κοστολογείται σε 356€/day και θα χρησιμοποιηθεί για 92 ημέρες

$$356 \text{ €/day}*92\text{d}=32.870\text{€} \text{ το κόστος του εξοπλισμού}$$

$$247\text{€/m}^3*398\text{m}^3=98.306\text{€} \text{ το κόστος του ινοπλισμένου}$$

Το συνολικό κόστος της υποστήριξης ανέρχεται σε 1.909.848€ ή **2,86€/tn**

### 17.7 Λιθογόμωση με τσιμεντοπολφό

Αν χρειαζόμαστε 57.200tn τσιμεντοκονιάματος με κόστος 50€/tn

57.200tn\*50€=2.860.000€ το κόστος, αν προσθέσουμε και 100.000€ για κόστη σωληνώσεων και βανών που θα χρησιμοποιηθούν το ολικό κόστος ανέρχεται σε 2.960.000€ ή **4,45€/tn**

### 17.8 Raise boring

Το έργο θα εκτελεστεί με εργολαβία και μηχάνημα με δανεισμό και υπολογίστηκε σε **0,03€/tn**

### 17.9 Προσωπικό

Σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 54 Μισθοδοσία εργαζομένων

| ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ   | Συνεργείο<br>1 | Συνεργείο<br>2 | Συνεργείο<br>3 | Συνολο | Μισθοί<br>(€/μήνα) | Ημέρες<br>εργασίας | Συνολικό<br>κόστος<br>(€) |
|---|----------------|----------------|----------------|--------|--------------------|--------------------|---------------------------|
| ΕΠΙΣΤΑΤΗΣ   | 1              | 1              | 1              | 3      | 1.500              | 2.000              | 432.000                   |
| ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ<br>ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ                                    | 1              | 1              | 1              | 3      | 2.000              | 2.000              | 576.000                   |
| ΕΡΓΑΤΕΣ ΓΕΝΙΚΩΝ<br>ΚΑΘΗΚΟΝΤΩΝ<br>(υπόγεια)                | 2              | 1              | 1              | 4      | 1.000              | 2.000              | 384.000                   |
| ΤΕΧΝΙΤΗΣ  | 4              | 4              | 4              | 12     | 1.200              | 2.000              | 1.382.400                 |
| ΕΡΓΑΤΕΣ ΓΕΝΙΚΩΝ<br>ΚΑΘΗΚΟΝΤΩΝ<br>(επίγεια-<br>λιθογόμωση) | 2              | 2              | 2              | 6      | 1.000              | 2.000              | 576.000                   |

Η συνολική μισθοδοσία των εργαζομένων για όλη τη διάρκεια του έργου ανέρχεται σε 3.350.400€ ή **5€/tn**

### 17.10 Κτήση μηχανημάτων

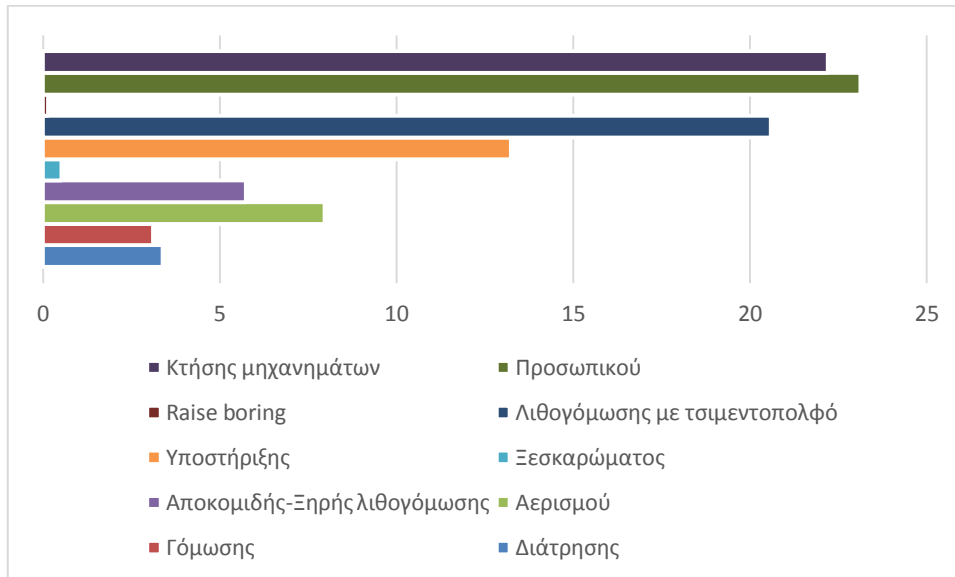
Εφόσον το συνολικό κόστος ανέρχεται σε 3.198.000€ διαμορφώνεται σε **4,8€/tn**

Επομένως τα ολικά κόστη ανέρχονται σε :

Πίνακας 55 Κόστος ανά τόνο μεταλλεύματος

| Είδος                                    | Κόστη (€)                | Κόστη(€/tn)         |
|--|--------------------------|---------------------|
| Διάτρησης                                | 482.959                  | 0,73                |
| Γόμωσης                                  | 448.506                  | 0,67                |
| Αερισμού                                 | 1.048.000                | 1,72                |
| Αποκομιδής-Ξηρής λιθογόμωσης             | 823.360                  | 1,24                |
| Ξεσκάρωματος                             | 69.503                   | 0,11                |
| Υποστήριξης                              | 1.909.848                | 2,86                |
| Λιθογόμωσης με τσιμεντοπολφό             | 2.960.000                | 4,45                |
| Raise boring                             | 20.600                   | 0,03                |
| Προσωπικού                               | 3.350.400                | 5                   |
| Κτήσης μηχανημάτων                       | 3.198.000                | 4,8                 |
| <b><u>ΣΥΝΟΛΟ</u></b>                     | <b><u>14.311.176</u></b> | <b><u>21,61</u></b> |
| Προσθήκη 10% για αστάθμιστους παράγοντες | 1.431.117                | 2,16                |
| <b>ΤΕΛΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ</b>                     | <b>15.742.300</b>        | <b>23,77</b>        |





Διάγραμμα 5 Κόστη (%)

### 17.11 Τελική ανάλυση

Με τιμή παρόμοιου μεταλλεύματος να ανέρχεται σε 50,78€/tn ([SMM Information & Technology Co](#)), συνυπολογίζοντας τα κόστη μεταφοράς και ασφάλισης, μέσω της εκμετάλλευσης εξοικονομούνται τουλάχιστον 27€ για κάθε τόνο που στέλνεται στη μεταλλουργία. Επομένως με τη λειτουργία του υπόγειου ορυχείου εξοικονομούνται 18 εκατομμύρια €. Ακόμη με την τιμή του Νικελίου να ανέρχεται σε 20.134€/tn ([Insider Inc](#)) το έτος 2022 και τη μέση περιεκτικότητα στο κοίτασμα να αγγίζει το 1,05% κβ για 665.600tn μεταλλεύματος, έχουμε **μεικτό κέρδος** (μην υπολογίζοντας τα κόστη μεταφοράς-μεταλλουργείας): 6.988,8tn Ni  
 \*20.134€/tn=**140.712.499 €**

## 18 Σημειώσεις

- Στους τελικούς υπολογισμούς δεν λήφθηκε υπόψιν η πιθανή πώληση του εξοπλισμού, μετά το πέρας των εργασιών, για περαιτέρω μείωση του κόστους ανά τόνο.
- Η απόληψη (78%) είναι ενδεικτική για τον παρόν σχεδιασμό και με τις κατάλληλες πλατύνσεις και υπερεκσκαφές των παραγωγικών στοών μπορεί να αγγίξει το 100%

- Σε όλες τις φάσεις των υπολογισμών έχουν γίνει προσυζητήσεις για κάλυψη αστάθμιστων παραγόντων όπως π.χ. διακυμάνσεις στις τιμές καυσίμων, βλάβες καθυστερήσεις κ.α.
- Το κοίτασμα που μελετήθηκε αποτελεί μέρος του συνολικού υπόγειου κοιτάσματος σιδηρονικελίου της περιοχής

## 19 Συμπεράσματα

Η εκμετάλλευση θα αποτελείται από 14 ορόφους με το μέγιστο βάθος των έργων να φτάνει τα 225m. Συνολικά θα απομακρυνθούν 43.000 m<sup>3</sup> in situ στείρων (111.800 tn) και 208.000 m<sup>3</sup> in situ μεταλλεύματος (665.600 tn) ενώ από αυτά θα εξαχθούν 7.000 tn καθαρού νικελίου. Τα στείρα του μεταλλείου στο σύνολό τους θα χρησιμοποιηθούν για την λιθογόμωση των στοών μειώνοντας σημαντικά τις εξωτερικές αποθέσεις που θα χρειαστούν.

Ο σχεδιασμός διαθέτει ευελιξία και δέχεται σημαντικών τροποποιήσεων χωρίς αύξηση του απαιτούμενου κεφαλαίου, η αποκομιδή του μεταλλεύματος είναι άμεση με ελάχιστο νεκρό χρόνο μεταξύ προσπέλασης και έναρξης παραγωγής ενώ ταυτόχρονα δίνει μεγάλη βάση στην ασφάλεια του προσωπικού με την ύπαρξη πολλαπλών οδών διαφυγής και διπλών στομιών για πρόσβαση στην επιφάνεια. Ακόμη μέσω της υλοποίησης της μεθόδου των κοπών και λιθογομώσεων δεν υπάρχει κίνδυνος καθιζήσεων στα πρανή της προϋπάρχουσας επιφανειακής εκμετάλλευσης.

Η υποστήριξη κρίνεται υψίστης σημασίας για το έργο ειδικά σε στοές που περνούν εντός του κοιτάσματος εφόσον φέρει πολύ πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά. Υπολογίστηκε η ανάγκη χρήσεως περί των 60.000 αγκυρίων ρητίνης και 400 m<sup>3</sup> ινοπλισμένου σκυροδέματος για να καλυφθούν οι ανάγκες των υποστηρικτικών έργων.

Το προσωπικό θα αποτελείται από 3 συνεργεία σε οκτώωρες βάρδιες με τον πραγματικό χρόνο ζωής του μεταλλείου όπως αυτός υπολογίστηκε στο κεφάλαιο των ρουτινών (8 χρόνια) να προσεγγίζει τον θεωρητικό χρόνο διάρκειας του έργου κατά Taylor (6 χρόνια).

Το κόστος του μεταλλεύματος υπολογίστηκε σε 24 €/tn με το συνολικό κόστος να φθάνει τα 16 εκατομμύρια ευρώ.

Με βάση τα παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψη τις ολοένα αυξανόμενες τιμές του νικελίου γίνεται εμφανές ότι η μετάβαση της εκμετάλλευσης από επιφανειακή σε υπόγεια είναι επικερδής και ότι αποτελεί το επόμενο βήμα για την συνέχιση της εξόφλησης του κοιτάσματος των Β.Α Ακρών.

## 20 Βιβλιογραφία

- Barton, N., Lien, R. and Lunde, J. (1974) 'Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support', *Rock Mechanics Felsmechanik Mécanique des Roches*, 6(4), pp. 189–236. Available at: <https://doi.org/10.1007/BF01239496>.
- Benardos, A. *et al.* (2021) 'Going Underground for Ferronickel Mining in Greece: Preliminary Feasibility and Potential Benefits', in *International Conference on Raw Materials and Circular Economy. RawMat 2021*, MDPI, p. 6. Available at: <https://doi.org/10.3390/mater-proc2021005016>.
- 'Britannica, T. Editors of Encyclopaedia. "nickel"' (2019) *Britannica, T. Editors of Encyclopaedia. 'nickel'*. Available at: <https://www.britannica.com/science/nickel-chemical-element>.
- Esterhuizen, G.S., Dolinar, D.R. and Ellenberger, J.L. (2011) 'Pillar strength in underground stone mines in the United States', *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 48(1), pp. 42–50. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2010.06.003>.
- Fiscor, S. (2010) 'Major Open-Pit Copper Mines Move Underground'. Available at: <https://www.e-mj.com/features/major-open-pit-copper-mines-move-underground/>.
- Omikron Kappa Consulting (2019) 'Προκαταρκτική τεχνικοοικονομική μελέτη σκοπιμότητας για τη διερεύνηση της δυνατότητας ανάπτυξης υπόγειων εκμεταλλεύσεων νικελιούχων κοιτασμάτων στα μεταλλεία της Γ.Μ.Μ.Α.Ε ΛΑΡΚΟ στην Εύβοια'.
- Singhal, R.K. (ed.) (1995) *Mine planning and equipment selection 1995: proceedings of the Fourth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, Calgary, Canada, 31 October - 3 November 1995. International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, Rotterdam: Balkema.
- U.S. Geological Survey (2022) 'Mineral Commodity Summaries, Nickel'.
- Αγιουτάντης, Ζ. (2019) *Στοιχεία διάτρησης-ανατίναξης*. Αθήνα: Εκδοτικός όμιλος Ίων.
- Αποστολίκας, Α. (2010) *Κοιτασματολογία Νικελίου*. Καστοριά: Εκδόσεις Εφύρα.

Αποστολίκας, Α. and Κουντουρελλης, Ι. (2014) 'Mineral Resources. Present, future, opportunities Laterite – Nickel Industry'. Available at: <https://www.oryktosploutos.net/wp-content/uploads/2014/07/LARCOMineralResources.Presentfutureopportunities.pdf>.

Ουσταδάκης, Π. (2014) *ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΝΙΚΕΛΙΟΥΧΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΛΑΤΕΡΙΤΩΝ ΜΕ ΘΕΙΙΚΟ ΟΞΥ*. Αθήνα.

Τερεζόπουλος, Ν.Γ. (2003) *Μέθοδοι υπόγειων εκμεταλλεύσεων*. Αθήνα: Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π.

Τριανταφυλλίδης, Σ. (2019) *Κοιτασματολογία*. Αθήνα: Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π.







Γ.Παναγιώτου,(2015) ηλεκτρονικές σημειώσεις 'Σχέδιο ανατίναξης σε μέτωπο στοάς-σήραγας, ΕΜΠ Αθήνα

#### **Ηλεκτρονικών διευθύνσεων (τελευταία ενημέρωση 6/2022)**

- <https://nickelinstitute.org>
- <http://www.larco.gr/>
- <https://www.mining-technology.com>
- <https://www.nsrltd.com>

## 21 Παράρτημα

Κώδικες γεωτεχνικών προσομοιώσεων προγράμματος ADONIS

- Ελικοειδούς:  elikoeides.ajs
- Διευθυντικών:  multi.ajs
- Μόνιμα ανοικτών στοών εντός του κοιτάσματος:  ανοixti.ajs  ανοixtiB.ajs
- Βαθύτερων στοών μεταλλείου:  katotero.ajs
- Στοών μεταλλείου μέσου βάθους:  meso.ajs



