



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ  
ΥΠΑΙΘΡΙΑ Ή ΤΗΝ ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ  
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ**

**ΣΑΝΤΟΡΙΝΑΙΟΥ ΜΑΡΙΑ-ΝΙΚΗ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΝΔΡΕΑΣ ΜΠΕΝΑΡΔΟΣ, ΕΠΙΚ.ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.**

**ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2017**



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Σαντοριναίου Μαρία-Νίκη**

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

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 23/03/2017

Μπενάρδος Ανδρέας, Επίκουρος Καθηγητής.....

Μενεγάκη Μαρία, Επίκουρη Καθηγήτρια.....

Δαμίγος Δημήτριος, Αναπληρωτής Καθηγητής.....

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2017

Copyright © Σαντοριναίου Μαρία-Νίκη, 2017  
Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

*Η διπλωματική εργασία  
είναι αφιερωμένη στην γιαγιά μου, Αναστασία*

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον κ Α. Μπενάρδο, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών ΕΜΠ, τόσο για την αρχική ανάθεση του θέματος όσο και για τη συνολική του στήριξη και καθοδήγηση στο θέμα της διπλωματικής αλλά και για την άψογη συνεργασία μας και για τις γενικότερες γνώσεις που μου μετέδωσε.

Παράλληλα, εξίσου θερμά ευχαριστώ τον Γεωλόγο κ. Σ. Παππά της εταιρείας ΛΑΡΚΟ Γ.Μ.Μ.Α.Ε. τόσο για την παροχή των απαραίτητων στοιχείων για τη συγγραφή της διπλωματικής εργασίας όσο για την εξαιρετική συνεργασία μας κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους γονείς μου, στον αδερφό μου και κυρίως στη γιαγιά μου, Αναστασία, για την ηθική υποστήριξη τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και σε οποιοδήποτε βήμα μου. Τέλος, ευχαριστώ όλους τους ανθρώπους που βρίσκονται δίπλα μου και υπάρχουν στην καθημερινότητά μου. Με κάνετε ένα καλύτερο άνθρωπο.

Μαρινίκη Σαντοριναίου

Αθήνα, Μάρτιος 2017

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας είναι η διερεύνηση της βέλτιστης επιλογής για την επιφανειακή ή υπόγεια εκμετάλλευση κοιτασμάτων. Δίνεται έμφαση στο Στρατηγικό Σχεδιασμό για την δυνατότητα υπόγειων εκμεταλλεύσεων της εταιρείας ΛΑΡΚΟ Γ.Μ.Μ.Α.Ε. Πιο συγκεκριμένα, διερευνάται συγκριτικά, κυρίως με βάση οικονομικά κριτήρια, η υπαίθρια μέθοδος εκμετάλλευσης σε σχέση με τη δυνατότητα και αναγκαιότητα μετάβασης σε υπόγεια εκμετάλλευση για το κοιτάσμα ΒΑ Άκρες της εταιρείας στην Εύβοια. Πραγματοποιείται μία προκαταρκτική οικονομική εκτίμηση και εξάγονται γενικά συμπεράσματα με βάση το εξεταζόμενο οικονομικό μοντέλο.

**Λέξεις – κλειδιά:** Στρατηγικός Σχεδιασμός, Στρατηγικός Σχεδιασμός Εκμετάλλευσης, Μέθοδοι υπόγειας εκμετάλλευσης, κοιτάσμα ΒΑ Άκρες, οικονομική εκτίμηση

# ABSTRACT

The aim of the present Diploma Thesis is the investigation of the optimal decision between the open-pit and the underground exploitation of a mineral deposit. Emphasis is being given in the Strategic Planning for the ability of underground exploitations of the company LARCO G.m.m.A.E. more specifically, it is being looked into, mostly based on economic criteria, the open-pit compared with the ability and the necessity of the transition to underground mining method for the mineral deposit NE Akres of the company in Euboea. A preliminary financial assessment is carried out in order to extract general conclusions based on the under examination financial model.

**Key – words:** Strategic Planning, Strategic mine Planning, Underground Exploitation methods, mineral deposit NE Akres, financial analysis

## Résumé

Le but de cette diplôme Thèse est l'étude de la décision optimale entre la carrière à ciel ouvert et l'exploitation souterraine d'un gisement. Nous mettrons l'accent sur la planification stratégique de la capacité des exploitations souterraines de l'entreprise LARCO G.m.m.A.E. Plus particulièrement, nous étudierons les méthodes minières concernant le gisement de NE Akres à Euboea possédé par ladite entreprise.

Principalement basé sur des critères économiques, nous étudirons le cas de la carrière à ciel ouverte comparé à la capacité et la nécessité de la transition vers des méthodes d'extraction souterrains. Basé sur le modèle financier sous estimé, une évaluation financière préliminaire est réalisée pour en tirer des conclusions générales.

**mots-Clés:** Planification Stratégique, Planification Stratégique d'une mine, méthodes d'exploitations souterraines, Gisement de NE Akres, Analyse Financière.



## Πίνακας περιεχομένων

1. ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ .....	15
1.1 Εισαγωγή .....	15
1.1 Υπαίθριες Εκμεταλλεύσεις .....	20
1.2 Υπόγειες Εκμεταλλεύσεις.....	22
1.3 Μεικτές Εκμεταλλεύσεις .....	27
1.4 Παραδείγματα Μεικτών Εκμεταλλεύσεων .....	33
1.5 Συμπεράσματα Κεφαλαίου .....	41
2. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ .....	44
2.1 Γεωμορφολογικά και Μηχανικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος και της ευρύτερης περιοχής .....	44
2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των προαναφερθέντων μεθόδων υπόγειας εκμετάλλευσης.....	46
2.2.1 Θαλάμων και Στύλων (Room and Pillar) .....	46
2.2.2 Κατακρήμιση διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα (Sublevel Stopping) .....	47
2.2.3 Μέθοδος διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων (Cut and Fill Stopping).....	48
2.2.4 Μέθοδος με κατακρήμιση πατώματος (Block Caving) .....	49
2.2.5 Μέθοδος διαδοχικών υποορόφων με κατακρήμιση οροφής (Sublevel Caving) .....	50
2.3 Κόστος των παραπάνω μεθόδων υπόγειας εκμετάλλευσης.....	50
3. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ (Strategic Mine Planning).....	54
3.1 Εισαγωγή .....	54
3.2 Αναγκαιότητα ύπαρξης Στρατηγικού Σχεδιασμού και Στρατηγικού Σχεδιασμού μιας Εκμετάλλευσης .....	55
3.3 Κατηγορίες Στρατηγικού Σχεδιασμού και Στρατηγικού Σχεδιασμού μιας Εκμετάλλευσης .....	58
3.3.1 Βραχυπρόθεσμος Στρατηγικός Σχεδιασμός (Short-Term Strategic Planning) ..	58
3.3.2 Μακροπρόθεσμος Στρατηγικός Σχεδιασμός (Long-Term Strategic Planning)..	59

3.4 Τα στάδια του Στρατηγικού Σχεδιασμού.....	61
3.4.1 Καθορισμός βασικών στοιχείων.....	61
3.4.2 Ανάλυση εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος.....	62
3.4.3 Θέσπιση των στόχων (Goal Setting) και του σχεδίου δράσης (Action Plan)....	63
3.4.4 Αξιολόγηση .....	64
3.5 Ανάλυση SWOT για την δυνατότητα υπόγειων εκμεταλλεύσεων της εταιρείας ΛΑΡΚΟ Γ.Μ.Μ.Α.Ε.....	64
4. ΤΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΒΑ ΑΚΡΕΣ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΛΑΡΚΟ Γ.Μ.Μ.Α.Ε.....	67
4.1 Εισαγωγή .....	67
4.2 Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής.....	69
4.3 Υπαίθρια Εκμετάλλευση του κοιτάσματος ΒΑ Άκρες.....	72
5. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΓΙΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΜΕΘΟΔΟ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΣΤΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΤΩΝ ΒΑ ΑΚΡΩΝ .....	74
5.1 Εισαγωγή .....	74
5.2 Δοκιμή φόρτισης (Point Load Test).....	75
5.3 Διερεύνηση εκμετάλλευσης του κοιτάσματος ΒΑ Ακρών με τη μέθοδο Θαλάμων και Στύλων .....	88
5.2 Διερεύνηση εκμετάλλευσης του κοιτάσματος ΒΑ Ακρών με τη μέθοδο Διαδοχικών Υποορόφων με Κατακρήμνιση Οροφής.....	95
6. ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΚΟΣΤΟΥΣ.....	100
6.1 Εισαγωγή .....	100
6.2 Κόστος Υπαίθριας Εκμετάλλευσης .....	100
6.3 Κόστος Υπόγειας Εκμετάλλευσης.....	101
6.3.1 Κόστους Επένδυσης (Capital Cost).....	101
6.3.2 Κόστους Λειτουργίας (Operational Cost) .....	104
6.4 Σύγκριση του κόστους της Υπαίθριας και της Υπόγειας Εκμετάλλευσης .....	105
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	110
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	112

## Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 1.1 Συνοπτικό σχήμα των βασικών παραμέτρων σχεδιασμού της παραγωγής μίας εκμετάλλευσης (Τερεζόπουλος, 2003).....	16
Σχήμα 1.2. Γενικό σχήμα μεταλλευτικού σχεδιασμού (Τερεζόπουλος, 2003).....	17
Σχήμα 1.3. Σχηματική απεικόνιση για την επιλογή μεταξύ υπαίθριας και υπόγειας εκμετάλλευσης (Μενεγάκη, 2010).....	18
Σχήμα 1.4. Ταξινόμηση μεθόδων υπογείου εκμετάλλευσης(Μπενάρδος, 2014).....	24
Σχήμα 1.5. Διαδικασία επιλογής μεθόδου εκμετάλλευσης και ιδιαίτερα της επιλογής του σημείου μετάβασης από υπαίθρια σε υπόγεια εκμετάλλευση. (Bakhtavar, etal., 2009).....	29
Σχήμα 1.6. Συνοπτική παρουσίαση της επιλογής της κατάλληλης μεθόδου εκμετάλλευσης στην εκάστοτε περίπτωση κοιτάσματος (Hartman & Mutmanský, 1992).....	42
Σχήμα 3.1 Καθορισμός της ανάλυσης Κινδύνου.....	56
Σχήμα 3.2. Ο Κυκλικός Σχεδιασμός μιας Εκμετάλλευσης (Cyclical Mine Planning) (Fuykschot, 2009).....	60
Σχήμα 3.3.SWOT analysis.....	63
Σχήμα 5.2. Ιστόγραμμα των τιμών της αντοχής για το κοίτασμα της προαναφερθείσας δημοσίευσης (Ρόζος & Κούκης, 1986).....	87
Σχήμα 5.4. Ιστόγραμμα διακύμανσης της απώλησης για τις εξεταζόμενες περιπτώσεις Εκμετάλλευσης με Θαλάμων & Στύλων.....	91
Σχήμα 5.5 Κάτοψη της προτεινόμενης μεθόδου εκμετάλλευσης θαλάμων και στύλων για το κοίτασμα των ΒΑ Ακρών. ....	94
Σχήμα 5.6.....	95
Σχήμα 5.7 Κοίτασμα μικρής κλίσης. Η απώληση των σκιασμένων περιοχών δεν είναι εφικτή (Τερεζόπουλος, 2003).....	96
Σχήμα 5.8 Σχήμα ενεργού ανοίγματος (effective extraction width) – άνοιγμα στοάς (Kvapil, 1982).....	97
Σχήμα 5.9 Ύψος ελλεισοειδούς και τοποθέτηση στοών παραγωγής (Kvapil, 1982).....	98
Σχήμα 5.10. Ύψος εξόρυξης σε μέταλλευμα προς ανατίναξη – μέγιστο πλάτος ελλεισοειδούς W' (Kvapil, 1982).....	98
Σχήμα 6.1 Διάγραμμα μεταβολής του κόστους εκμετάλλευσης σε συνάρτηση με τη μεταβολή του βάθους (Μενεγάκη, 2010).....	106

Σχήμα 6.2 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής του κόστους εκμετάλλευσης ανά τη μεταλλεύματος σε κάθε φάση για τις υπό εξέταση μεθόδους εκμετάλλευσης στο κοίτασμα των ΒΑ Ακρών .....	108
Σχήμα 6.3 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής του συνολικού κόστους σε κάθε φάση για τις υπό εξέταση μεθόδους εκμετάλλευσης στο κοίτασμα των ΒΑ Ακρών .....	109

## Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 2.1 Χαρακτηριστικά και Διαμόρφωση Κοιτάσματος για την κάθε ζητούμενη μέθοδο υπόγειας εκμετάλλευσης (Μπενάρδος, 2014) .....	45
Πίνακας 2.2. Συγκεντρωτικός Πίνακας για τις παραπάνω μεθόδους (Μπενάρδος, 2014) .	51
Πίνακας 2.3. Τα συνολικά λειτουργικά έξοδα και το συνολικό κόστος κεφαλαίου για μία υπόγεια εκμετάλλευση (Info.Mine, 2010).....	52
Πίνακας 3.1 SWOT Analysis υπόγειων εκμεταλλεύσεων για την εταιρεία ΛΑΡΚΟ.....	65
Πίνακας 5.1. Αποτελέσματα της Δοκιμής Φόρτισης (Point Load Test) για τα δείγματα του κοιτάσματος των ΒΑ Ακρών .....	82
Πίνακας 5.2. Αποτελέσματα υπολογισμού αντοχής του πετρώματος για το κοίτασμα των ΒΑ Ακρών .....	83
Πίνακας 5.3: Στατιστικοί υπολογισμοί για τα ανωτέρω αποτελέσματα που προέκυψαν για το κοίτασμα των ΒΑ Ακρών .....	84
Πίνακας 5.4 Κατηγοριοποίηση πετρωμάτων ανάλογα με την αντοχή τους σε μονοαξονική θλίψη (International.Society.for.Rock.Mechanics.-.ISRM, 1985) .....	85
Πίνακας 5.5: Αντοχή του πετρώματος (Ρόζος & Κούκης, 1986).....	86
Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης για την αντοχή του πετρώματος (Ρόζος & Κούκης, 1986) .....	86
Πίνακας 5.7 Ενδεικτικές περιπτώσεις που εξετάστηκαν για την επιλογή των βέλτιστων διαστάσεων των θαλάμων και των στύλων .....	90
Πίνακας 5.9. Αναλυτικός Πίνακας Υπολογισμών αντοχής στύλου και συντελεστή ασφαλείας στη μέθοδο θαλάμων και στύλων.....	93
Πίνακας 6.1. Υπολογισμός του κόστους εκμετάλλευσης του κοιτάσματος ΒΑ Άκρες με υπαίθρια μέθοδο εκμετάλλευσης.....	101
Πίνακας 6.2 Κόστος Εγκατάστασης Εργοταξίου για την Υπόγεια Εκμετάλλευση .....	103
Πίνακας 6.3 Κόστος Λειτουργίας για την Υπόγεια Εκμετάλλευση.....	105

Πίνακας 6.4. Συγκεντρωτικός πίνακας με τα κόστη για την Υπαίθρια και την Υπόγεια Εκμετάλλευση του κοιτάσματος ΒΑ Άκρες.....	107
---	-----

## Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1.1. Η υπαίθρια εκμετάλλευση North Antelope Rochelle στο Wyoming των ΗΠΑ .....	22
Εικόνα 1.2. Η υπόγεια εκμετάλλευση Henderson στο Colorado των ΗΠΑ (Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 2011).....	26
Εικόνα 1.3. Αντιπροσωπευτική εικόνα ενός συνηθισμένου προβλήματος μετάβασης από υπαίθρια σε υπόγεια εκμετάλλευση (Bakhtavar, etal., 2010).....	31
Εικόνα 1.4 Σχηματική απεικόνιση μίας υπόγειας εκμετάλλευσης μετά από την μετάβασή της σε υπαίθρια (SocietyforMining, MetallurgyandExploration, Inc., 2011) .....	32
Εικόνα 1.5. Η μεικτή εκμετάλλευση Northparkes στο Queensland της Αυστραλίας .....	33
Εικόνα 1.6. Η υπόγεια ανάπτυξη της μεικτής εκμετάλλευσης Northparkes στο Queensland της Αυστραλίας (SocietyforMining, MetallurgyandExploration, Inc., 2011).....	34
Εικόνα 1.7. Σχηματική απεικόνιση του κοιτάσματος Northparkes στο Queensland της Αυστραλίας (Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 2011) .....	35
Εικόνα 1.8. Αεροφωτογραφία της εκμετάλλευσης Chiquicamata στην Χιλή.....	36
Εικόνα 1.9. Το Diavik Diamond Mine κατά τους θερινούς μήνες.....	37
Εικόνα 1.10. Το Diavik Diamond Mine κατά τους χειμερινούς μήνες.....	38
Εικόνα 1.11. Αεροφωτογραφία από το μεταλλείο των Σκουριών σήμερα .....	39
Εικόνα 1.12. Σχηματική απεικόνιση του κοιτάσματος στις Σκουριές (Hellas.Gold, n.d)..	40
Εικόνα 1.13. Εμφάνιση χρυσού και χαλκού με τις αντίστοιχες περιεκτικότητές τους κατά τόπους στο κοίτασμα των Σκουριών (Hellas Gold, n.d). .....	41
Εικόνα 4.1. Η τοποθεσία του κοιτάσματος ΒΑ Άκρες.....	67
Εικόνα 4.2. Κάτοψη του κοιτάσματος ΒΑ Άκρες από τον δορυφόρο .....	68
Εικόνα 4.3. Εξωτερική άποψη του κοιτάσματος των ΒΑ Ακρών 23/11/2016.....	69
Εικόνα 4.4. Γεωλογικός Χάρτης της ευρύτερης περιοχής του κοιτάσματος των ΒΑ Ακρών .....	70
Εικόνα 4.5. Χάρτης της υφιστάμενης κατάστασης στο κοίτασμα των Ακρών.....	72
Εικόνα 5.1 Εκμετάλλευση κοιτάσματος μικρής κλίσης με τη μέθοδο κατακρήμνισης οροφής με διαδοχικούς υποορόφους (Τερεζόπουλος, 2003) .....	75
Εικόνα 5.2. Η συσκευή μέτρησης σημειακής φόρτισης.....	76

Εικόνα 5.3. Ενδεικτικό δείγμα που πληροί και τις δύο βασικές πρώτες παραμέτρους για να πραγματοποιηθεί σε αυτό η Δοκιμή Φόρτισης.....	77
Εικόνα 5.4. Ορθή τοποθέτηση του δείγματος στη συσκευή φόρτισης .....	78
Εικόνα 5.5. Ο μετρητής της συσκευής φόρτισης .....	79
Εικόνα 5.6. Έγκυρος και μη τρόπος σπασίματος (International Society for Rock Mechanics - ISRM, 1985). Τα σκίτσα a, b, c έχουν σπάσει σύμφωνα με τις προδιαγραφές, ενώ τα σκίτσα d και e δεν θεωρούνται έγκυρα. ....	79
Εικόνα 5.7. Κάτοψη δείγματος με αποδεκτό τρόπο σπασίματος κατά την αστοχία.....	80
Εικόνα 5.8. Πλάγια όψη του δείγματος με αποδεκτό τρόπο σπασίματος κατά την αστοχία .....	80
Εικόνα 5.9. Πλάγια όψη του δείγματος με αποδεκτό και εμφανή τρόπο σπασίματος κατά την αστοχία.....	81

# 1. ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ

## 1.1 Εισαγωγή

Μία εκμετάλλευση σχετίζεται με την πραγματική ανάκτηση των μετάλλων σε μεγάλη ποσότητα από το υπέδαφος. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο να υπάρχει η απαιτούμενη παραγωγή μεταλλεύματος και αυτή να συνεχιστεί χωρίς διακοπή καθ' όλη την διάρκεια ζωής του μεταλλείου.

Η απόφαση εάν ένα κοιτάσμα είναι εκμεταλλεύσιμο αποτελεί συνάρτηση πολλών διαφορετικών παραγόντων. Ενδεικτικά αναφέρονται:

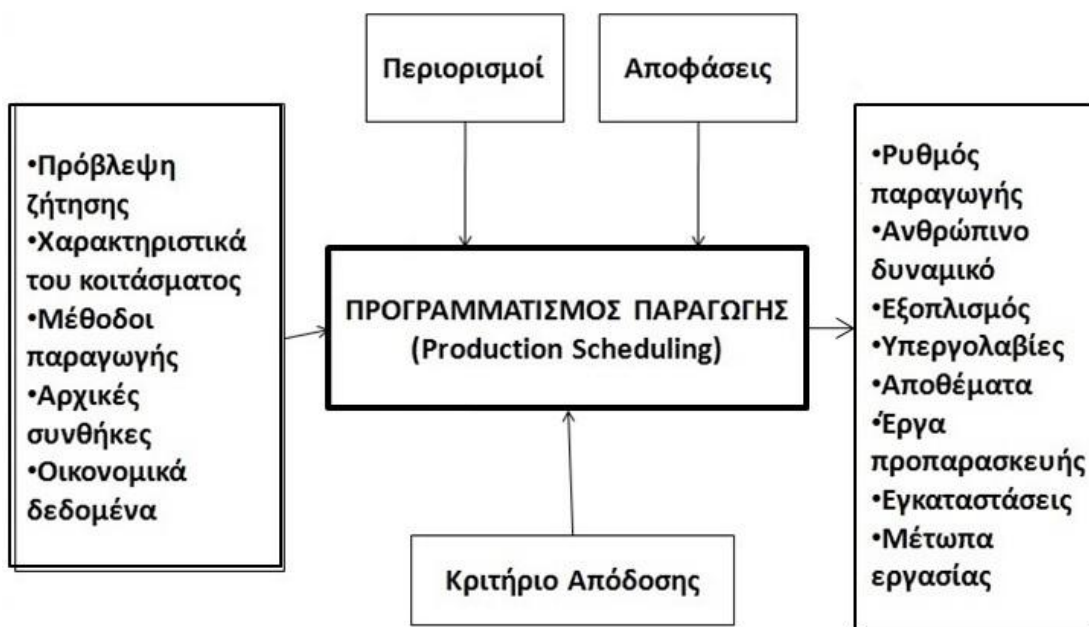
- Τη θέση του και τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά (σχήμα, μέγεθος, κλίση) που καθορίζουν τις δυνατότητες απόληψής του
- Τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος και των υπερκείμενων του
- Την ποιότητά του και την περιεκτικότητά του σε χρήσιμα συστατικά έτσι ώστε να είναι εφικτός ο υπολογισμός της αξίας του
- Τα αποθέματα του κοιτάσματος, το βάθος τους από την επιφάνεια και κατά πόσο αυτά είναι απολήψιμα
- Το απαιτούμενο κόστος για την εξόρυξή του (υπαίθρια/υπόγεια, πιθανά έργα υποδομής, μεταφορικά κόστη)
- Τα διαθέσιμα τεχνολογικά μέσα και τον ρυθμό παραγωγής
- Το αν και κατά πόσο η εξόρυξη είναι εφικτή χωρίς να επηρεάσει το περιβάλλον

Ο σχεδιασμός μιας εκμετάλλευσης στοχεύει στον προσδιορισμό των κάτωθι χαρακτηριστικών (Μενεγάκη, 2010) των ορίων της εκμετάλλευσης.

- Των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της εκσκαφής
- Των απολήψιμων αποθεμάτων
- Της διάρκειας των φάσεων και της χρονικής εξέλιξης της εκμετάλλευσης
- Της περιοχής και του τρόπου απόθεσης των στείρων υλικών
- Της αποκατάστασης – αξιοποίησης του χώρου μετά το πέρας της εκμετάλλευσης

Ο σχεδιασμός μιας εκμετάλλευσης αποτελεί σύνθετη διαδικασία, η οποία επηρεάζεται από πολλές διαφορετικές παραμέτρους. Οι εκάστοτε συνθήκες μεταβάλλονται με την πάροδο των εργασιών στην εκμετάλλευση, συνεπώς οι τακτές αναθεωρήσεις του σχεδιασμού κρίνονται αναγκαίες για την βιωσιμότητα της εκμετάλλευσης καθ' όλη την διάρκεια ζωής της (Σχήμα1.1). Ο σχεδιασμός της εκμετάλλευσης εξαρτάται άμεσα από:

- Το ανθρώπινο δυναμικό
- Τον προγραμματισμό του προσωπικού
- Την οργάνωση της παραγωγής
- Τον υπάρχον μηχανικό εξοπλισμό και τις δυνατότητες αυτού
- Την ευελιξία εφαρμογής όλων των παραπάνω και όσων αυτά συνεπάγονται



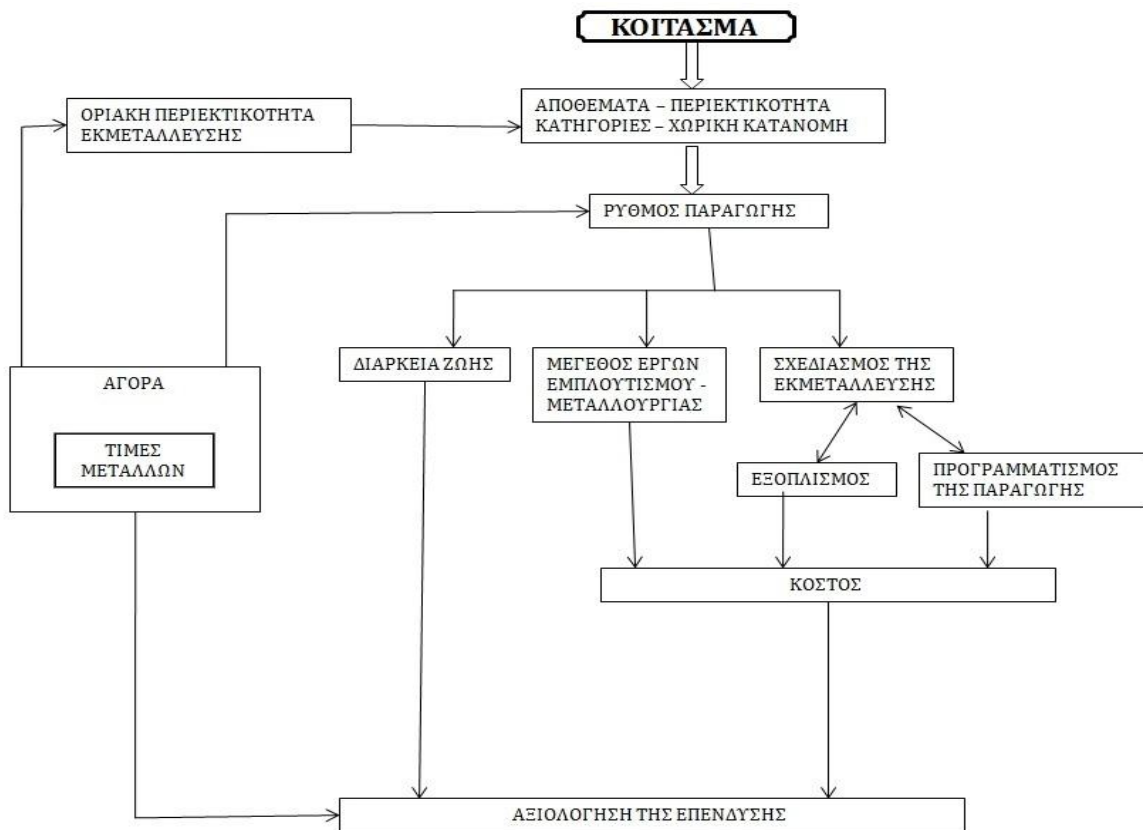
**Σχήμα 1.1** Συνοπτικό σχήμα των βασικών παραμέτρων σχεδιασμού της παραγωγής μίας εκμετάλλευσης (Τερεζόπουλος, 2003)

Πολύ σημαντικό ρόλο στους ρυθμούς παραγωγής της εκμετάλλευσης παίζουν και οι ψυχολογικοί παράγοντες. Με τον όρο ψυχολογικοί παράγοντες εννοείται η ψυχολογία των εργαζομένων όταν μεταβαίνουν στον χώρο εργασίας. Εν αντιθέσει με μία επιφανειακή εκμετάλλευση, σε μία υπόγεια δεν είναι εφικτό να κατανοήσουν ποιες εργασίες γίνονται και που εφόσον πέρα από τις κοντινές στην έξοδο αποστάσεις το



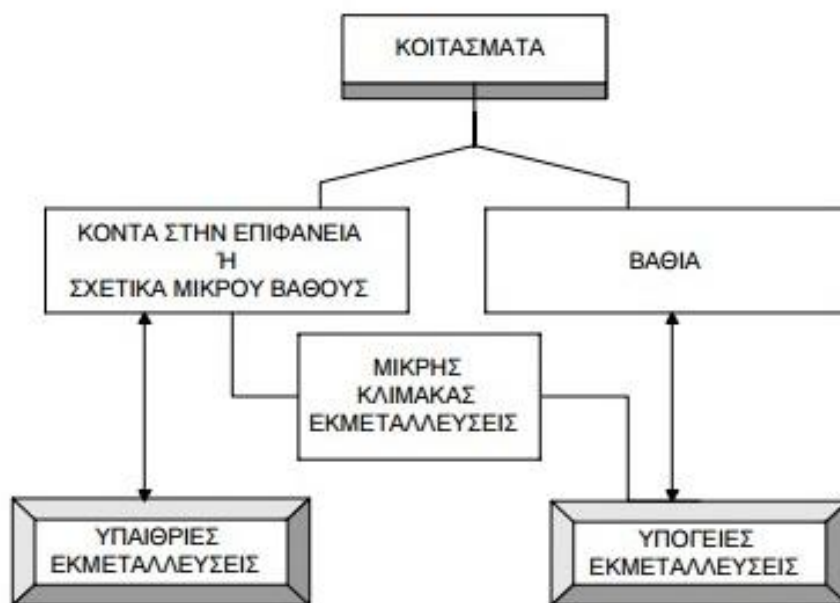
φως είναι τεχνητό και όταν το μεταλλείο αναπτύσσεται σε μεγάλη έκταση δεν υπάρχει φωτισμός, συνεπώς οι εργαζόμενοι πρακτικά χάνουν την αίσθηση της όρασης σε ευρύ οπτικό πεδίο. Αυτό σε πολλές περιπτώσεις επηρεάζει αρνητικά την ψυχολογία των εργαζομένων και έτσι δίνεται ένα ακόμα πλεονέκτημα στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις.

Στο Σχήμα 1.2 παρουσιάζονται σε σχήμα ροής τα ευρύτερα στάδια του μεταλλευτικού σχεδιασμού. Έχοντας ως σημείο έναρξης ένα δοσμένο κοιτάσμα, δίνεται η σειρά με την οποία εξετάζονται όλες οι επιμέρους παράμετροι καθώς επίσης και η μεταξύ τους σύνδεση. Όπως φαίνεται και από το σχήμα, μείζον ζήτημα αποτελεί η αξιολόγηση της επένδυσης. Μέσω της αξιολόγησης, προκύπτει η δυνατότητα της απόφασης εάν και κατά πόσο είναι βιώσιμο και οικονομικά συμφέρον το εγχείρημα της εκμετάλλευσης ενός οποιουδήποτε κοιτάσματος. Κατά την διαδικασία της αξιολόγησης, λαμβάνεται και η τελική απόφαση εάν μία εκμετάλλευση αξίζει να συνεχιστεί και να περάσει από τον σχεδιασμό στην πράξη ή όχι.



Σχήμα 1.2. Γενικό σχήμα μεταλλευτικού σχεδιασμού (Τερεζόπουλος, 2003)

Η κάθε περίπτωση για την εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος είναι ξεχωριστή. Η απόφαση για την μέθοδο εκμετάλλευσης ενός κοιτάσματος είναι αρκετά εύκολη όταν το κοιτάσμα είναι σχετικά κοντά στην επιφάνεια ή βρίσκεται σε πιο μεγάλα βάθη, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.3. Σε αυτές τις περιπτώσεις αντίστοιχα η μέθοδος εκμετάλλευσης είναι υπαίθρια και υπόγεια.



**Σχήμα 1.3. Σχηματική απεικόνιση για την επιλογή μεταξύ υπαίθριας και υπόγειας εκμετάλλευσης (Μενεγάκη, 2010)**

Πριν την τελική απόφαση για την επιλογή του είδους της εκμετάλλευσης υπάρχουν κάποιοι καθοριστικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη.

Πρωταρχικός παράγων είναι εάν με τα υπάρχοντα δεδομένα το η εκμετάλλευση του υπό εξέταση κοιτάσμα είναι οικονομικά συμφέρουσα. Συνεπώς, καθίσταται σημαντικό να υπολογιστεί το κατώτατο όριο εκμεταλλευσιμότητας ενός κοιτάσματος, cut off grade, όπως αυτό ορίζεται στο διαδικτυακό ιστότοπο (Equipedia Investment Research, 2011). Το όριο αυτό υποδεικνύει το επίπεδο κάτω από το οποίο η εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος καθίσταται οικονομικά ασύμφορη. Το κατώτατο όριο εκμεταλλευσιμότητας μπορεί να υπολογιστεί μέσω του τύπου:

$$\text{Cut off grade} = \text{total cost} / \text{recovery} / \text{price per unit of metal}$$

Δηλαδή, το κατώτατο όριο εκμεταλλευσιμότητας, όπως προκύπτει από τον παραπάνω τύπο υπολογισμού, ισούται με το συνολικό κόστος προς την ανάκτηση προς την τιμή ανά μονάδα του μετάλλου.

Εάν η εκμετάλλευση κριθεί οικονομικά συμφέρουσα τότε επέρχεται η εξέταση της δυνητικής ανάπτυξης της παραγωγής. Είθισται να υπάρχει μεγαλύτερη δυνατότητα ανάπτυξης και παραγωγής στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις και είναι γεγονός πως καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό όσο αναφορά τις εκμεταλλεύσεις παγκοσμίως. Αυτό συμβαίνει γιατί οι επιφανειακές εκμεταλλεύσεις έχουν περισσότερα πλεονεκτήματα έναντι των υπόγειων όσο αναφορά την ανάκτηση, την ευελιξία, την ασφάλεια και το περιβάλλον εργασίας. Επιπροσθέτως, η κατανάλωση της ενέργειας στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις είναι κατά πολύ μεγαλύτερη διότι υπάρχουν οι ανάγκες για γεωτρήσεις, εκρήξεις, φωτισμό, εξαερισμό, άντληση υδάτων, μεταφορά του υλικού στην επιφάνεια, κ.ά.

Η τελική επιλογή του τρόπου είναι πολύ σημαντική και είναι αναγκαίο να γίνεται πριν από την έναρξη οποιαδήποτε εργασίας.

Εν κατακλείδι, στην τελική επιλογή, υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός παραγόντων που παίζουν σημαντικό ρόλο και οι οποίοι θα πρέπει να εξετάζονται πριν από την οποιαδήποτε ενέργεια. Κάτω από παρόμοιες συνθήκες για ένα κοίτασμα, προτιμητέα μέθοδος είναι η επιφανειακή εκμετάλλευση.

## 1.1 Υπαίθριες Εκμεταλλεύσεις

Η επιλογή υπαίθριας εκμετάλλευσης εΐθισται να εΐναι κατά πολύ πιο οικονομική μέθοδος συγκριτικά με την υπόγεια εκμετάλλευση. Ο σχεδιασμός δε της κάθε εκμετάλλευσης θα πρέπει να έχει ως κύριους άξονες την οικονομικότητα, την ασφάλεια και την περιβαλλοντική προστασία.

Τα πλεονεκτήματα των υπαΐθριων εκμεταλλεύσεων εΐναι (Hedberg, 1981):

- Ευκολότερη πρόσβαση στο χρήσιμο υλικό
- Ύψηλή παραγωγικότητα
- Ύψηλός συντελεστής απόληψης σε χρήσιμο υλικό
- Χαμηλότερο απαιτούμενο αρχικό κεφάλαιο
- Χαμηλότερο κόστος εξόρυξης συγκριτικά με τις υπόγειες εκμεταλλεύσεις
- Δυνατότητα εκλεκτικής εκμετάλλευσης και πιο απλή ανάπτυξη στον χώρο
- Ύψηλότερη ενεργειακή απόδοση
- Δυνατότητα εξόρυξης μεγάλων διαστάσεων όγκων χρήσιμου υλικού
- Μεγαλύτερος εξοπλισμός και ευκολότερη διαχείριση των μηχανημάτων
- Ευκολότερη διαχείριση του προσωπικού
- Μεγαλύτερη ασφάλεια
- Καλύτερες συνθήκες υγιεινής

Τα βασικά μειονεκτήματα των υπαΐθριων εκμεταλλεύσεων εΐναι (Μπενάρδος, 2014):

- Η εκμετάλλευση επηρεάζεται άμεσα από τις εκάστοτε καιρικές συνθήκες
- Δυσκολία στον φωτισμό της εκμετάλλευσης μετά την δύση του ήλιου
- Πιθανή οξείδωση του μεταλλεύματος
- Σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις (οπτική ρύπανση, ηχορύπανση, σκόνη στην ατμόσφαιρα, όχληση, καταστροφή του φυσικού τοπίου, κλπ)
- Αναγκαΐος μεγάλος χώρος για την απόθεση των αγόνων

Οι επιφανειακές εκμεταλλεύσεις μπορούν να διακριθούν σε τέσσερις βασικούς τύπους (Μενεγάκη, 2010):

- Επιφανειακή εκμετάλλευση κοιτασμάτων κατά λωρίδες (Strip mining): Αυτή η μέθοδος εκμετάλλευσης είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη για κοιτάσματα γαιανθράκων. Διακρίνεται σε δύο βασικές κατηγορίες:
  - Περιφερειακή εκμετάλλευση (Contour mining)
  - Εκμετάλλευση ευρείας περιοχής (Area mining)
- Επιφανειακή εκμετάλλευση με βαθμίδες για κοιτάσματα μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης (Terracemining): Η εν λόγω μέθοδος εκμετάλλευσης είναι η πλέον διαδεδομένη μορφή εκμετάλλευσης λιγνιτικών κοιτασμάτων του Ελλαδικού χώρου.
- Επιφανειακή εκμετάλλευση με κλειστές βαθμίδες (Conical Pit): Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για την εκμετάλλευση έντονα κεκλιμένων στρωσιγενών κοιτασμάτων καθώς επίσης και για κοιτάσματα ακανόνιστου σχήματος.
- Επιφανειακή εκμετάλλευση με ανοιχτές βαθμίδες: Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται ιδιαιτέρως για την εκμετάλλευση των μαρμάρων και των αδρανών υλικών στον Ελλαδικό χώρο.

Υπάρχουν κάποια κοιτάσματα των οποίων η επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης είναι εύκολη και γρήγορη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα μεγάλης εξάπλωσης επιφανειακά ανθρακοφόρα κοιτάσματα, όπως αυτά που εκμεταλλεύεται η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ). Εξίσου αξιοσημείωτο παράδειγμα αποτελεί το North Antelope Rochelle της εταιρείας Peabody Energy, στο Wyoming των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Η εκμετάλλευσή του North Antelope ξεκίνησε το 1983 για την εξόρυξη άνθρακα και το μεταλλείο Rochelle το 1984. Τα δύο αυτά μεταλλεία συνδυάστηκαν το 1999, δημιουργώντας το μεγαλύτερο μεταλλείο άνθρακα στις ΗΠΑ, παράγοντας 110,9 εκατ.tn άνθρακα το 2013 (Society for mining, metallurgy and Exploration, Inc., 2011).

Παρόλα αυτά, μετά το έτος 2012, το μεταλλείο πλέον δεν εξακολουθεί να είναι το μεγαλύτερο των ΗΠΑ. Στην Εικόνα 1.1 υπάρχει φωτογραφία της σημερινής κατάστασης του μεταλλείου.



**Εικόνα 1.1. Η υπαίθρια εκμετάλλευση North Antelope Rochelle στο Wyoming των ΗΠΑ**

Η εκβιομηχάνιση και η ταχύτατη ανάπτυξη των επιφανειακών εκμεταλλεύσεων κατά τους δύο προηγούμενους αιώνες επέφερε σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες δύναται να μειωθούν σε πολύ μεγάλο βαθμό εάν ο αποτελεσματικός σχεδιασμός, η ασφαλής λειτουργία, η σωστή διαχείριση των εξορυκτικών αποβλήτων καθώς επίσης και η εφαρμογή σχεδίου αποκατάστασης έχουν ως πρωταρχικό στόχο την μέριμνα για το περιβάλλον και την προστασία του.

## **1.2 Υπόγειες Εκμεταλλεύσεις**

Παρά το σχετικά χαμηλότερο κόστος υποδομών ενός επιφανειακού μεταλλείου, τα υπαίθρια μεταλλεία επιφέρουν και σημαντική εξαγωγή αποβλήτων. Ένα υπαίθριο μεταλλείο ενδέχεται να είναι ή να γίνει οικονομικά ασύμφορο για να λειτουργήσει όταν παραδείγματος χάριν η αναλογία εξορυσσόμενων αποβλήτων και μεταλλεύματος είναι πάρα πολύ μεγάλη, όταν ο χώρος δεν επαρκεί και για την αποθήκευση των αποβλήτων ή

όταν τα περιβαλλοντικά ζητήματα υπερτερούν την εξόρυξη. Σε αυτές τις περιπτώσεις αρχίζει η υπόγεια εκμετάλλευση.

Η ανάπτυξη ενός υπόγειου μεταλλείου είναι σε γενικές γραμμές πιο περίπλοκη και δαπανηρή συγκριτικά με την υπαίθρια. Απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό καθώς επίσης σωστή διάρθρωση των ανοιγμάτων της στοάς για την επίτευξη της αποτελεσματικότερης διαδικασίας εξόρυξης, ασφάλειας αλλά και σταθερότητας. Τα κύρια ανοίγματα μπορεί να είναι άτρακτοι, πλαγιές και εγκάρσια. Καθένα από αυτά πρέπει να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να εξυπηρετεί την διέλευση των εργαζομένων, των μηχανημάτων, την μεταφορά και την προσωρινή αποθήκευση του χρήσιμου μεταλλεύματος και του στείρου. Εξίσου σημαντικός παράγοντας είναι και η ύπαρξη του απαραίτητου χώρου για την εγκατάσταση συστήματος αερισμού που θα επαρκεί για ολόκληρη την υπόγεια εκμετάλλευση καθώς επίσης και την εγκατάσταση δικτύου νερού το οποίο είναι απαραίτητο για την λειτουργία πολλών μηχανημάτων υπογείων εκμεταλλεύσεων, όπως για παράδειγμα το διατρητικό μηχάνημα.

Τα πλεονεκτήματα των υπόγειων εκμεταλλεύσεων είναι τα εξής (Μπενάρδος & Καλιαμπάκος, 2010):

- Υψηλή περιβαλλοντική προστασία
- Η ιδιότητα της απομόνωσης – απόκρυψης που εμφανίζουν, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένο βαθμό προστασίας
- Η υψηλή <<διαθεσιμότητα>> και οι μειωμένες ανάγκες για επιφανειακούς χώρους
- Η μειωμένη επίδραση σε αυτά των ενεργών γεωλογικών φαινομένων (σεισμοί, διάβρωση – αποσάθρωση – απόθεση)

Τα βασικά μειονεκτήματα των υπόγειων εκμεταλλεύσεων είναι (Μπενάρδος, 2014):

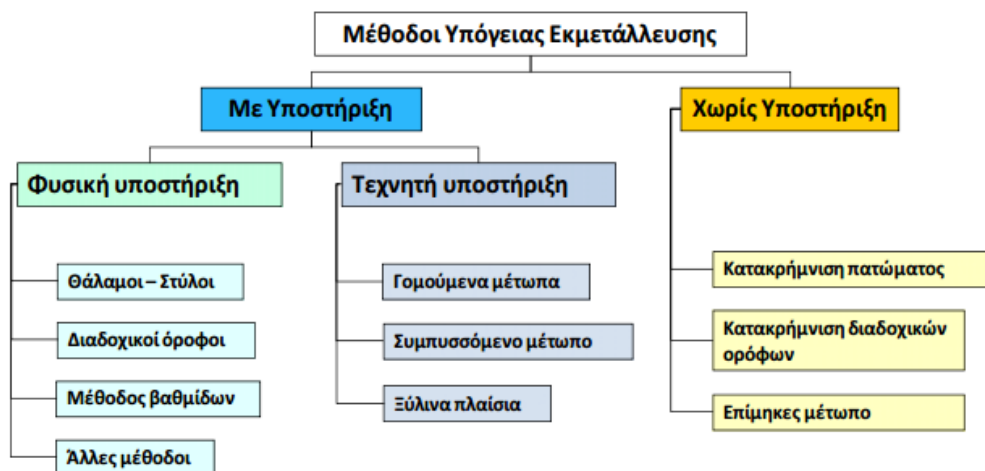
- Σε αντίθεση με τις επιφανειακές εκμεταλλεύσεις, στις υπόγειες, ανάλογα με την επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης, υφίσταται το ενδεχόμενο να μην καθίσταται δυνατή η εξόρυξη όλου του χρήσιμου υλικού.
- Υψηλό κόστος επένδυσης (capital cost)
- Ανάγκες για καλό σύστημα αερισμού, φωτισμού, παροχής νερού και υποστήριξης (είτε φυσικής είτε τεχνητής), τα οποία αυξάνουν το λειτουργικό κόστος (operational cost)
- Μεγαλύτερος βαθμός επικινδυνότητας και πρόκλησης ατυχημάτων



- Μικρότερος σε μέγεθος μηχανικός εξοπλισμός απ' ότι στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις
- Εάν η εκμετάλλευση είναι εξ' ολοκλήρου υπόγεια τότε δεν υπάρχει η δυνατότητα υπαίθριου χώρου απόθεσης εξορυγμένων υλικών, συνεπώς αυξάνονται και τα μεταφορικά κόστη
- Ανθυγιεινό περιβάλλον για το ανθρώπινο δυναμικό της εκμετάλλευσης
- Πιο δύσκολες και απαιτητικές συνθήκες εργασίας για τον μηχανικό εξοπλισμό
- Πιο χρονοβόρα μέθοδος εκμετάλλευσης δεδομένου ότι πρέπει να γίνει αρχικά διάνοιξη των στοών προσπέλασης

Οι υπόγειες εκμεταλλεύσεις μπορούν να διακριθούν στις εξής κατηγορίες, όπως αναφέρονται στο βιβλίο του Τερεζόπουλου (2003) και στις ηλεκτρονικές σημειώσεις του Μπενάρδου (2014).

- Εκμεταλλεύσεις με ανοιχτά μέτωπα (Open Stops): στις οποίες ο εναπομένον χώρος μετά από το πέρας την εκμετάλλευσης διατηρείται κενός και ο τρόπος της υποστήριξης της οροφής είναι φυσικός, δηλαδή προέρχεται από το ίδιο το πέτρωμα
- Εκμεταλλεύσεις με γομούμενα μέτωπα (Filling Stops): στις οποίες ο εναπομένον χώρος μετά το τέλος της εκμετάλλευσης ο κενός χώρος συμπληρώνεται με τεχνητό τρόπο, συνήθως από στείρα υλικά.
- Εκμεταλλεύσεις με κατακρημιζόμενα μέτωπα (Caving Stops): στις οποίες ο κενός χώρος πληρώνεται με υλικά από την κατακρήμιση της οροφής του κοιτάσματος.



Σχήμα 1.4. Ταξινόμηση μεθόδων υπογείου εκμετάλλευσης(Μπενάρδος, 2014)

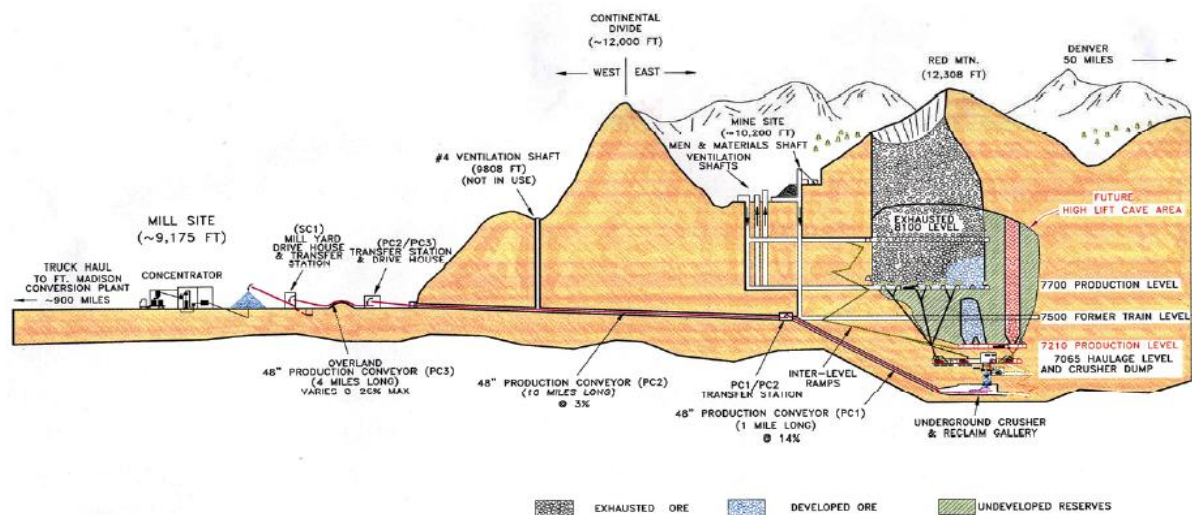


Στο παραπάνω Σχήμα 1.4 παρουσιάζεται μία σχηματική απεικόνιση της ταξινόμησης των βασικών μεθόδων υπόγειας εκμετάλλευσης με βάση τον τρόπο που πραγματοποιείται η υποστήριξη. Αναλυτικότερα:

- Μέθοδοι με υποστήριξη (Supported methods)
  - Με φυσική υποστήριξη (Natural Support), οι οποίες ανήκουν στην κατηγορία των μεθόδων εκμετάλλευσης με κενά μέτωπα.
    - Θάλαμοι και στύλοι (Room and Pillar): Έχει καθιερωθεί για οριζόντια κοιτάσματα με ήπια κλίση (μέχρι  $30^\circ$  )
    - Διαδοχικοί όροφοι (Sublevel Stopping): Ενδείκνυται για κοιτάσματα με μεγάλη κλίση ( $>50^\circ -60^\circ$  ) και πάχος μεταξύ 2 και 20 m.
  - Με τεχνητή υποστήριξη (Artificial Support), οι οποίες εντάσσονται στην κατηγορία των μεθόδων εκμετάλλευσης με λιθογόμωση.
    - Διαδοχικές κοπές και λιθογομώσεις (Cut and fill): Για πλούσια μεταλλεύματα, με πάχος από 1 έως 10 m και ελάχιστη κλίση  $45^\circ$ .
    - Συμπυκνόμενο μέτωπο (Shrinkage method): Για ομαλό κοιτάσματα με πάχος 1 έως 15 m το μέγιστο και ελάχιστη κλίση  $50^\circ$ .
    - Ξύλινα πρισματικά πλαίσια (Square Set): Για πλούσια κοιτάσματα, με ανώμαλη γεωμετρία και πάχος μεγαλύτερο από 2- 3m.
- Μέθοδοι χωρίς υποστήριξη (Un-supported methods), οι οποίες συγκαταλέγονται στην κατηγορία των μεθόδων εκμετάλλευσης με κατακρήμνιση οροφής.
  - Κατακρήμνιση πατώματος (Block caving): Για κοιτάσμα με συνεκτικό και εύθραυστο μέταλλευμα πάχους τουλάχιστον 25 m
  - Διαδοχικοί όροφοι με κατακρήμνιση οροφής (Sublevel caving): Για κοιτάσμα με μεγάλη κλίση και μέτριας σκληρότητας ώστε να είναι εύκολη η κατακρήμνιση.
  - Ευθύγραμμο επίμηκες μέτωπο (Long wall): Για κοιτάσμα που δύναται να εκμεταλλευθεί σε μεγάλο μήκος και μικρό ύψος.

Ένα από τα πιο γνωστά παραδείγματα υπόγειων εκμεταλλεύσεων αποτελεί το μεταλλείο Henderson των εταιρειών Freeport-Mc Moran Copper και Gold Inc, στο Colorado των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Το μεταλλείο λειτουργεί από το 1976 και έκτοτε παράγει μόλυβδο. Παρότι το κοίτασμα είναι αρκετά μεγάλο σε μήκος έχει και αρκετά μεγάλο βάθος, περίπου 1040 m από την κορυφή του Red Mountain. Για να εκμεταλλευθεί υπαίθρια θα έπρεπε να απομακρυνθεί πολύ μεγάλη ποσότητα εδάφους μέχρι να αποκαλυφθεί το κοίτασμα, το οποίο θα ήταν τόσο χρονοβόρο όσο και δαπανηρό και εν τέλει θα ήταν αναγκαία από ένα σημείο και έπειτα η μετάβαση σε υπόγεια εκμετάλλευση (Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 2011).

Το μεταλλείο τελικά αναπτύχθηκε όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.2.



**Εικόνα 1.2. Η υπόγεια εκμετάλλευση Henderson στο Colorado των ΗΠΑ (Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 2011)**

Όπως κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα στο περιβάλλον έτσι και ορισμένοι τύποι υπογείων εκμεταλλεύσεων μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Η καθίζηση της επιφάνειας και η απορροή όξινων νερών τόσο από ενεργά αλλά κυρίως από εγκαταλελειμμένα μεταλλεία αποτελούν φαινόμενα που δύναται να επιφέρουν σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Φυσικά, η νομοθεσία πλέον όντας πιο αυστηρή επιβάλλει πέρα από τον σωστό σχεδιασμό και εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος και την αποκατάσταση του μεταλλείου μετά το πέρας των εργασιών.

### 1.3 Μεικτές Εκμεταλλεύσεις

Όταν μία υπαίθρια εκμετάλλευση καθίσταται οικονομικά ασύμφορη τότε, εάν φυσικά υπάρχουν οι ανάλογες προδιαγραφές στο υπό εκμετάλλευση κοίτασμα, η εκμετάλλευση του κοιτάσματος θα μπορούσε να μετασχηματιστεί σε υπόγεια.

Αυτή αποτελεί και την πιο περίπλοκη περίπτωση, δηλαδή όταν ένα κοίτασμα βρίσκεται σε ενδιάμεσο βάθος και είναι εφικτό να εκμεταλλευτεί με υπαίθρια, με υπόγεια ή και με μεικτή εκμετάλλευση. Ο Nilsson (1992) δίνει έναν αριθμό παραδειγμάτων για την στρατηγική εκμετάλλευσης σε διαφορετικά κοιτάσματα. Σαν γενικότερα συμπεράσματα παρουσιάζονται τα παρακάτω (Bakhtavar, et al.,2007):

- Σε ένα κοίτασμα σε μέτριο βάθος, το κοίτασμα δύναται να εκμεταλλευθεί τόσο με υπαίθρια όσο και υπόγεια αλλά όχι με συνδυασμό των δύο.
- Για μία απότομα βυθιζόμενη φλέβα ή μαζική απόθεση χρήσιμου υλικού με προεκτάσεις στην επιφάνεια και επέκταση σε βάθος, η βέλτιστη στρατηγική επιλογή είναι αρχικά η επιφανειακή εκμετάλλευση η οποία θα συνεχίζεται σε υπόγεια. Αυτή η περίπτωση αποτελεί την πλέον συνήθη για την μετάβαση από υπαίθρια σε υπόγεια εκμετάλλευση.
- Το σημείο στο οποίο η επιφανειακή εκμετάλλευση πρέπει να συνεχιστεί σε υπόγεια πραγματοποιείται όταν το κόστος της επιφανειακής εκμετάλλευσης φτάνει τα επίπεδα της υπόγειας, εάν ο ρυθμός παραγωγής του χρήσιμου δεν θα διαφοροποιηθεί σε αυτό το σημείο.

Όπως αναφέρεται (Bakhtavar, et. al.,2008), ο επιτρεπόμενος συντελεστής αποκάλυψης (Allowable Stripping Ratio, ASR) χαρακτηρίζει την μέγιστη έκταση αποκάλυψης που είναι εφικτή πρακτικά σε μία επιφανειακή εκμετάλλευση.

$$ASR = \frac{C_{ug} - C_{op}}{C_w}$$

όπου,

C<sub>ug</sub>: full prime cost of 1 ton of the mined mineral via underground (\$ US), δηλαδή το κόστος παραγωγής για ένα tn εξορυσσόμενου μεταλλεύματος σε υπόγεια εκμετάλλευση

C<sub>op</sub>: prime cost of 1 ton of the mined mineral via open-pit (minus expenses of waste removal) (\$ US), δηλαδή το κόστος παραγωγής για ένα tn εξορυσσόμενου μεταλλεύματος σε υπαίθρια εκμετάλλευσης (μείον τα έξοδα της απομάκρυνσης των αγόνων) εκμετάλλευση

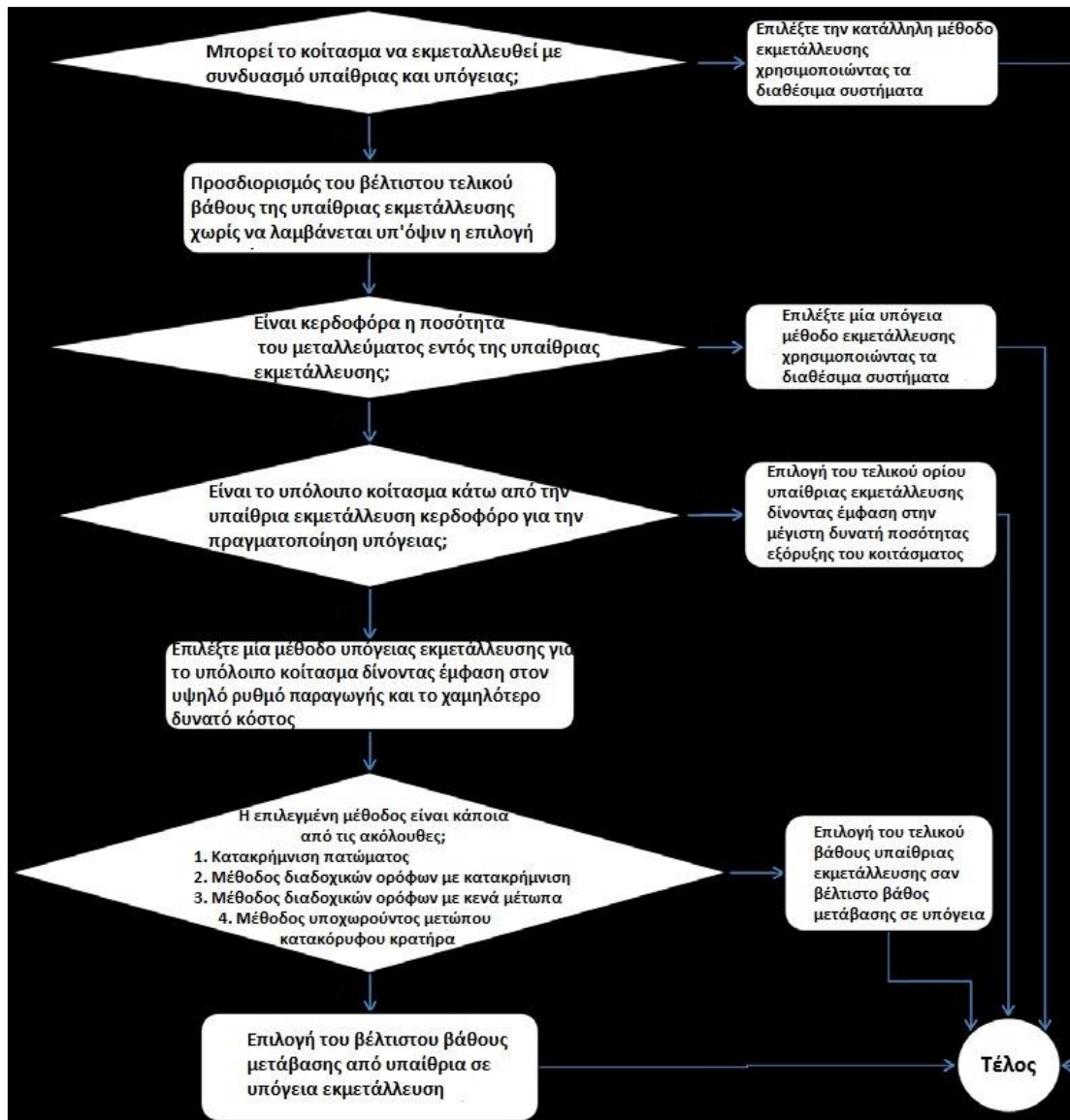
C<sub>w</sub>: total costs of 1 m<sup>3</sup> of ground removal via open-pit mining (\$ US), δηλαδή το συνολικό κόστος απομάκρυνσης ενός m<sup>3</sup> εδάφους με εξόρυξη σε υπαίθρια εκμετάλλευση

Ο ASR εμπλέκεται κατά την διάρκεια της διαδικασίας της οικονομικής αξιολόγησης της λειτουργίας της υπαίθριας εκμετάλλευσης και μέσω αυτού μπορεί να βρεθεί το βάθος στο οποίο θα γίνει η μετάβαση σε υπόγεια εκμετάλλευση.

Κατά τον Hartman (1992), η αναλογία του συνολικού όγκου των απορριμμάτων (σε tn) προς τον συνολικό όγκο του μεταλλεύματος (σε tn) ονομάζεται συνολική Σχέση Αποκάλυψης (Overall Stripping Ratio, OSR) και δίνεται από την σχέση:

$$OSR = \frac{\text{Volume of waste removed to a certain depth (W)}}{\text{Volume of ore removed to a certain depth (O)}}$$

Στην περίπτωση όπου επιλεγεί η μετάβαση από υπαίθρια σε υπόγεια εκμετάλλευση βασικά ερωτήματα προκύπτουν στην πορεία. Λόγου χάρη, ποια μέθοδος υπόγειας εκμετάλλευσης είναι καλύτερα να εφαρμοστεί ή σε ποιο ακριβώς σημείο θα γίνει η μετάβαση από υπαίθριο σε υπόγειο μεταλλείο. Ο αλγόριθμος του σχήματος 1.5 (Bakhtavar, et al., 2009) δίνει μία εύκολα κατανοητή εικόνα της διαδικασίας και των βημάτων που ακολουθούνται για την εύρεση της προτεραιότητας μεταξύ της επιλογής μεθόδου εκμετάλλευσης και της επιλογής του σημείου μετάβασης από υπαίθρια σε υπόγεια εκμετάλλευση.



Σχήμα 1.5. Διαδικασία επιλογής μεθόδου εκμετάλλευσης και ιδιαίτερα της επιλογής του σημείου μετάβασης από υπαίθρια σε υπόγεια εκμετάλλευση. (Bakhtavar, etal., 2009)

Αναλυτικότερα, όπως παρουσιάζεται στο παραπάνω σχήμα, είναι αναγκαίο να καθοριστεί εάν το εν λόγω κοίτασμα μπορεί να εκμεταλλευθεί είτε με επιφανειακή είτε με υπόγεια εκμετάλλευση είτε με συνδυασμό των δύο. Εάν για το ισχύον κοίτασμα προκύψει ότι η εκμετάλλευση δεν είναι εφικτή να είναι συνδυασμός των δύο μεθόδων, τότε επιλέγεται η βέλτιστη δυνατή επιλογή τρόπου εκμετάλλευσης με βάση τα διαθέσιμα συστήματα και πόρους. Στην περίπτωση που καθίσταται εφικτή η συνύπαρξη και των δύο μεθόδων, τότε επιβάλλεται να προσδιοριστεί το βέλτιστο τελικό βάθος υπαίθριας εκμετάλλευσης χωρίς να ληφθεί υπ' όψιν η συνέχεια της σε υπόγεια. Εν συνεχεία, πρέπει να αξιολογηθεί από

οικονομικής πλευράς η ποσότητα του μεταλλεύματος που βρίσκεται εντός των ορίων της επιφανειακής εκμετάλλευσης. Εάν βρεθεί ότι η συγκεκριμένη ποσότητα μεταλλεύματος μπορεί να υπάρξει οικονομικά προσοδοφόρα και η επέκταση της επένδυσης του έργου μπορεί να επιφέρει κέρδος, τότε μπορεί να συνεχιστεί κανονικά ο σχεδιασμός και ο προγραμματισμός του εγχειρήματος. Σε διαφορετική περίπτωση, συνετό είναι αν αποφευχθεί η υπαίθρια εκμετάλλευση και να εξεταστεί απευθείας το ενδεχόμενο της υπόγειας με τους υπάρχοντες διαθέσιμους πόρους.

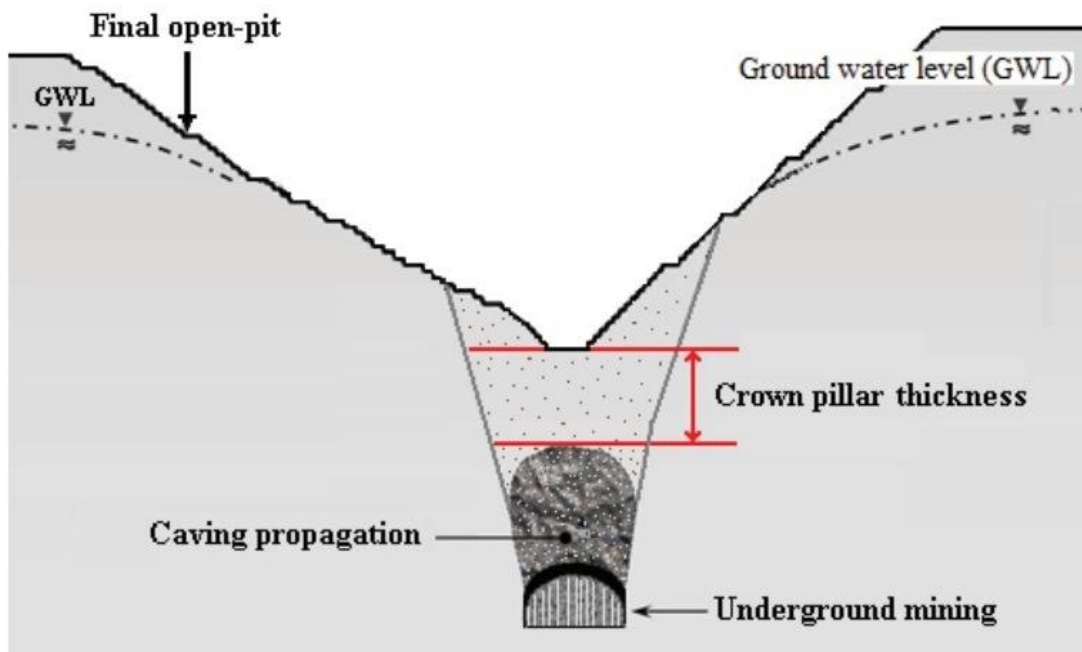
Στην περίπτωση που ακολουθείται η υπαίθρια εκμετάλλευση, θα πρέπει μετά να μελετηθεί προσεκτικά εάν η ποσότητα του κοιτάσματος κάτω από αυτήν είναι συμφέρον οικονομικά για να εκμεταλλευθεί. Στόχος είναι να επιλεγεί μία τέτοια μέθοδος υπόγειας εκμετάλλευσης που θα επιφέρει την μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση του κοιτάσματος και ταυτόχρονα το μέγιστο δυνατό κέρδος. Σε αντίθετη περίπτωση, οριοθετείται η υπαίθρια εκμετάλλευση εστιάζοντας στην μέγιστη δυνατή εξορυσσόμενη ποσότητα χρήσιμου μεταλλεύματος. Είναι πολύ σημαντικό σε κάθε περίπτωση να επιλεγεί η καταλληλότερη μέθοδος εκμετάλλευσης που να επιφέρει μεγάλη παραγωγή με μικρό κόστος. Έχοντας, αυτό ως γνώμονα, εάν η επιλεγμένη μέθοδος υπόγεια εκμετάλλευσης είναι μία από τις ακόλουθες τότε ο σχεδιασμός προχωράει στο επόμενο και τελικό βήμα τον καθορισμό του βέλτιστου σημείου μετάβασης από υπαίθρια σε υπόγεια εκμετάλλευση, διαφορετικά επιλέγεται το βέλτιστο τελικό βάθος της υπαίθριας εκμετάλλευσης σαν το σημείο μετάβασης.

Οι μέθοδοι υπόγειων εκμεταλλεύσεων που επιτρέπουν τον υπολογισμό του σημείου μετάβασης είναι οι εξής (Bakhtavar et al., 2009):

- Με κατακρήμνιση πατώματος (block, panel, mass caving)
- Με τη μέθοδο διαδοχικών ορόφων με κατακρήμνιση: Sublevel Caving (SLC)
- Με τη μέθοδο διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα: Sublevel Stopping
- Με τη μέθοδο υποχωρούντος μετώπου κατακόρυφου κρατήρα: Vertical Crater Retreat (VRC)

Φυσικά και άλλες μέθοδοι υπόγειων εκμεταλλεύσεων επιτρέπουν τον υπολογισμό του σημείου μετάβασης, απλά οι συγκεκριμένες αφορούν κυρίως σε κοιτάσματα μεγάλης κλίσης τα οποία εκτείνονται σε βάθος και είναι αρκετά εύκολη η υιοθέτηση των ως άνω μεθόδων υπόγειας εκμετάλλευσης.

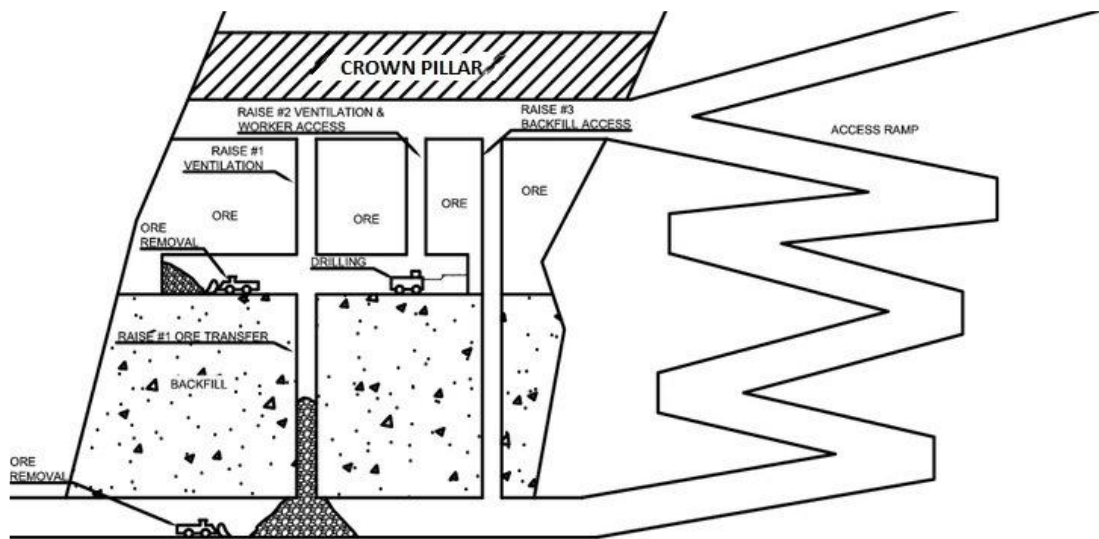
Σε πολλές περιπτώσεις μεικτών εκμεταλλεύσεων, εκτός από το βέλτιστο βάθος μετάβασης από υπαίθρια σε υπόγεια εκμετάλλευση, θα πρέπει να προβλεφθεί και η ύπαρξη μίας ζώνης πετρώματος, η οποία θα λειτουργήσει ως στύλος στέψης (crown pillar) μεταξύ της υπαίθριας και της υπόγεια εκμετάλλευσης (Εικόνα 1.3). Ο κυριότερος λόγος ύπαρξής της εν λόγω ζώνης είναι η προστασία του μεταλλείου και όσων εργάζονται εντός αυτού από την πιθανή εισροή νερού, υποχώρηση εδάφους και την πτώση πετρωμάτων από την υπαίθρια εκμετάλλευση στην υπόγεια. Οι στύλοι στέψης είναι αναγκαίο να παραμείνουν σταθεροί καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του μεταλλείου. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η ομαλότερη έκβαση των εργασιών στο χώρο του υπόγειου μεταλλείου και ταυτόχρονα αυξάνεται το ποσοστό της ασφάλειας στην εκμετάλλευση.



**Εικόνα 1.3. Αντιπροσωπευτική εικόνα ενός συνηθισμένου προβλήματος μετάβασης από υπαίθρια σε υπόγεια εκμετάλλευση (Bakhtavar, etal., 2010)**

Σε κάποιες εκμεταλλεύσεις η υπαίθρια και η υπόγεια εκμετάλλευση πραγματοποιούνται ταυτόχρονα. Συνεπώς, για τον υπολογισμό της σταθερότητας του πυλώνα θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν τόσο η διάρκεια κατά την οποία οι δύο εκμεταλλεύσεις θα πραγματοποιούνται την ίδια χρονική περίοδο όσο και το γεγονός ότι το πάχος του πυλώνα θα μειώνεται λόγω της εξόρυξης του μεταλλεύματος από το υπόγειο μεταλλείο.

Καθώς τις τελευταίες δεκαετίες ο αριθμός των μεικτών εκμεταλλεύσεων αυξάνεται ραγδαία, ο αποτελεσματικός, ακριβής και αποδοτικότερος υπολογισμός του πάχους του στύλου στέψης αποτελεί ζήτημα μείζονος σημασίας. Με ένα στύλο στέψης επαρκούς πάχους μπορεί να επιτευχθεί η ελαχιστοποίηση των επιζήμιων παρεμβολών μεταξύ των δύο παράλληλων εκμεταλλεύσεων και ταυτόχρονα να μεγιστοποιηθεί η αποληψιμότητα σε χρήσιμο μέταλλευμα. Στην Εικόνα 1.4 υπάρχει μία σχηματική απεικόνιση μίας μικτής εκμετάλλευσης, όπου είναι διακριτός ο στύλος στέψης (crown pillar).



**Εικόνα 1.4 Σχηματική απεικόνιση μίας υπόγειας εκμετάλλευσης μετά από την μετάβασή της σε υπαίθρια (SocietyforMining, MetallurgyandExploration, Inc., 2011)**



## 1.4 Παραδείγματα Μεικτών Εκμεταλλεύσεων

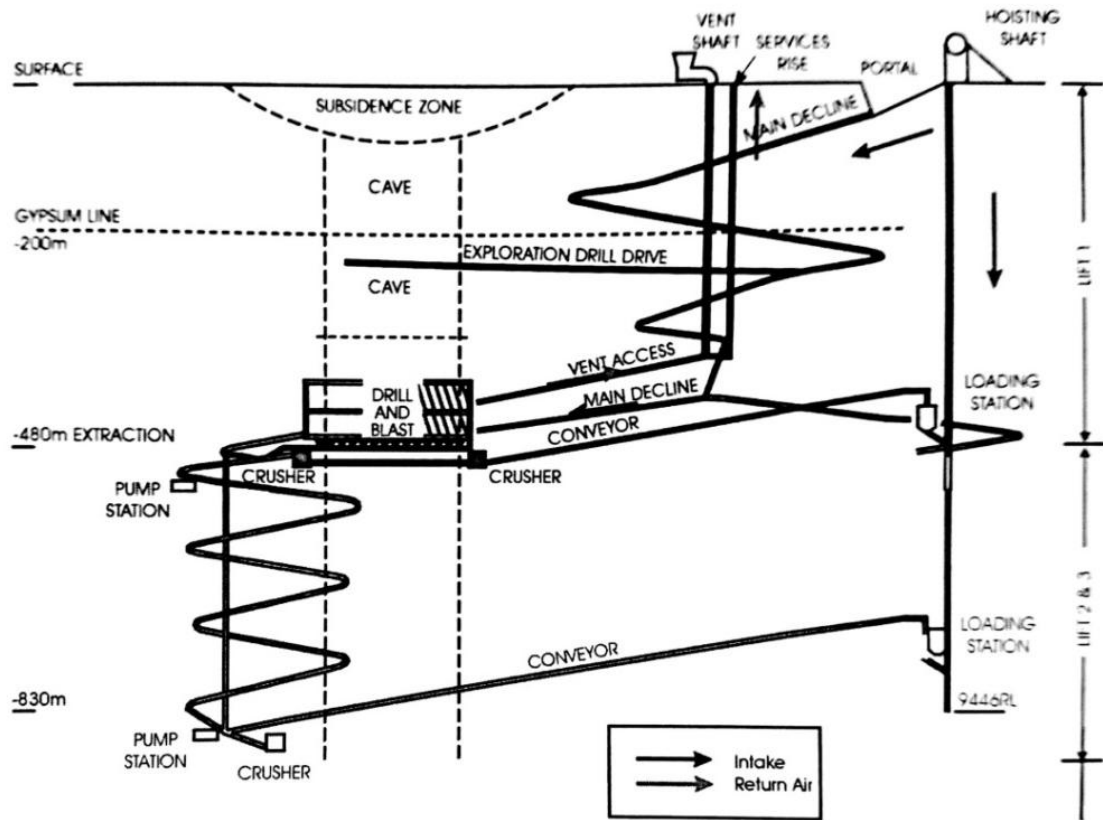
Χαρακτηριστικό παράδειγμα μετάβασης από υπαίθρια σε υπόγεια εκμετάλλευση αποτελεί η περίπτωση του μεταλλείου Northparkes στο Queensland της Αυστραλίας (Εικόνα 1.5).



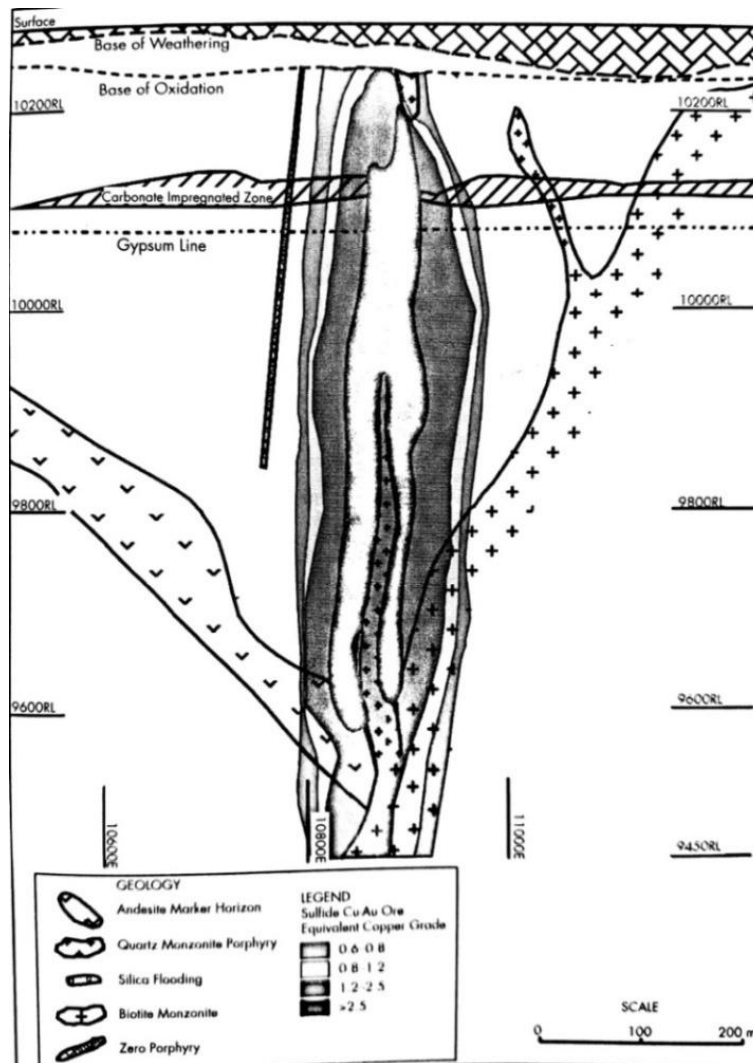
**Εικόνα 1.5. Η μεικτή εκμετάλλευση Northparkes στο Queensland της Αυστραλίας**

Το μεταλλείο Northparkes είναι ένα μεταλλείο εξόρυξης χαλκού και χρυσού. Η εκμετάλλευση του μεταλλείου ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του 1970 με δύο υπαίθριες εκμεταλλεύσεις βάθους 150 m η καθεμία. Εξαιτίας της μικρής εγκάρσιας τομής του κοιτάσματος, η σχέση αποκάλυψης αυξήθηκε ραγδαία με αποτέλεσμα το 1993 να αποτελέσει το εναρκτήριο έτος για την υπόγεια εκμετάλλευσή του με την μέθοδο κατακρήμνισης πατώματος. Πλέον η εν λόγω εκμετάλλευση παράγει 251.000 tn ημερησίως (Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 2011).

Στις Εικόνες 1.6 και 1.7 παρουσιάζεται σε σχηματική απεικόνιση η ανάπτυξη της εκμετάλλευσης στο μεταλλείο Northparkes και το κοίτασμα αντίστοιχα.

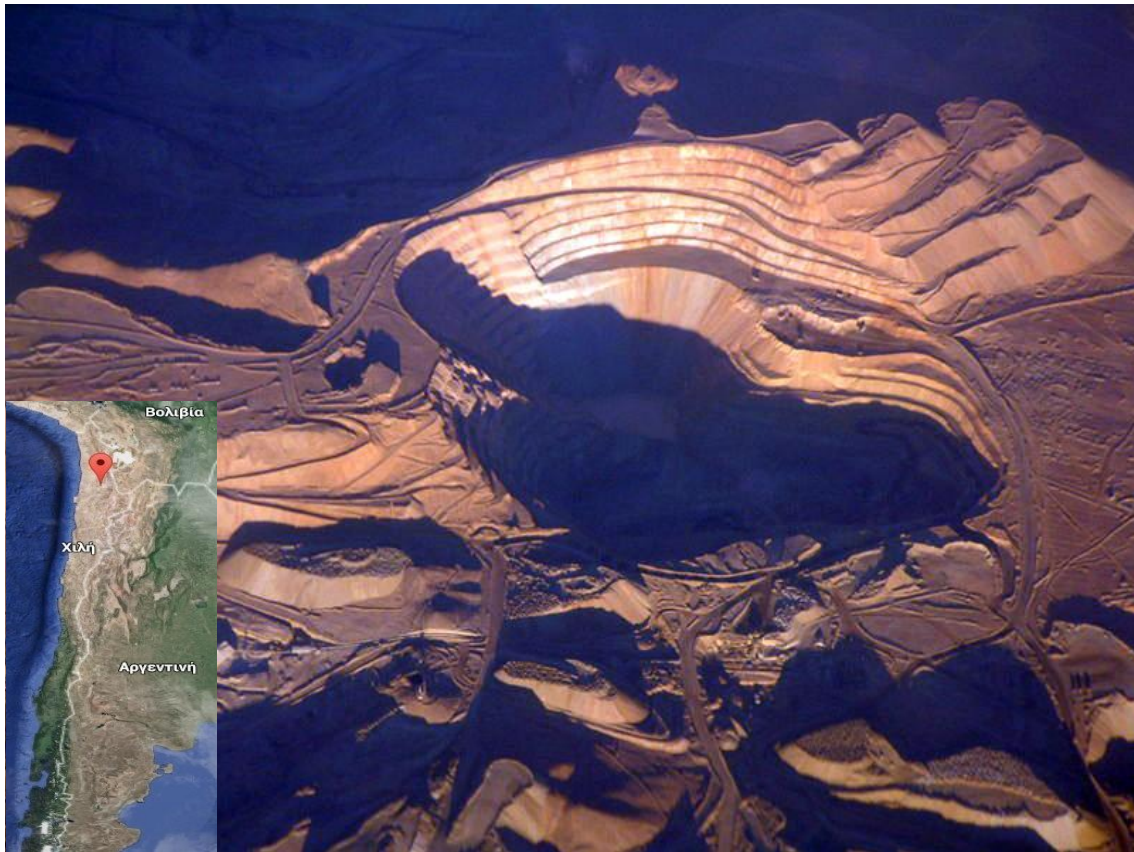


Εικόνα 1.6. Η υπόγεια ανάπτυξη της μεικτής εκμετάλλευσης Northparkes στο Queensland της Αυστραλίας (SocietyforMining, MetallurgyandExploration, Inc., 2011)



**Εικόνα 1.7. Σχηματική απεικόνιση του κοιτάσματος Northparkes στο Queensland της Αυστραλίας (Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 2011)**

Εξίσου γνωστή περίπτωση εκμετάλλευσης που ενώ ξεκίνησε υπαίθρια συνεχίστηκε υπόγεια αποτελεί το Chiquicamata mine (Εικόνα 1.8), ιδιοκτησία της εταιρείας Division Codelco Norte, στην έρημο Atacama στην Χιλή, 1650 km βόρεια της πρωτεύουσας της χώρας, Santiago.



**Εικόνα 1.8. Αεροφωτογραφία της εκμετάλλευσης Chiquicamata στην Χιλή**

Είναι μία από τις μεγαλύτερες υπαίθριες εκμεταλλεύσεις, για την οποία έγιναν εκτενείς μελέτες και αναφορές για να συνεχιστεί η εκμετάλλευση της υπογείως. Από την εκμετάλλευση Chiquicamata εξορύσσεται χαλκός από το 1915, όπου και ξεκίνησε η λειτουργία της. Με βάθος να αγγίζει τα 1100 m, το Chiquicamata στα 90 χρόνια από την αρχή της λειτουργίας του υπολογίζεται ότι η παραγωγή του αγγίζει τα 2,6 δις. tn σε χαλκό. Μετά από έρευνες στην περιοχή, υπολογίζονται περίπου 2,3 δις. tn χαλκού σε αποθέματα στο κοίτασμα κάτω από το σημείο μετάβασης από υπαίθρια σε υπόγεια εκμετάλλευση μέχρι το βάθος των 1800 m. Η υπόγεια εκμετάλλευση έχει μελετηθεί και θα ξεκινήσει στο τέλος της παρούσης δεκαετίας, περί το έτος 2019 και υπολογίζεται να αγγίζει η υπόγεια εκμετάλλευσή του τους 140.000 tn ημερησίως. Σήμερα, εξορύσσονται καθημερινά 375.000 tn χαλκού. (Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 2011)

Τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα κοιτασμάτων τα οποία ενώ ξεκίνησαν σαν υπαίθριες εκμεταλλεύσεις συνεχίστηκαν σε υπόγειες αποτελούν τα φλεβικά σωληνοειδή κοιτάσματα.



Τα κοιτάσματα του κιμπερλίτη, στα οποία συναντώνται τα διαμάντια, συνιστούν την πλέον κλασικότερη περίπτωση μεικτής εκμετάλλευσης.

Το Diavik Diamond Mine είναι ιδιοκτησία της εταιρείας Diavik Diamond Mine Inc., θυγατρική της εταιρείας Rio Tinto plc, μία από τις μεγαλύτερες εξορυκτικές εταιρείες στον κόσμο. Αποτελεί το μεγαλύτερο αδαμαντωρυχείο στον Καναδά από την άποψη παραγωγής σε καράτια. Η εκμετάλλευσή του ξεκίνησε μετά την ανακάλυψη τεσσάρων κοιτασμάτων διαμαντιών, πιο συγκεκριμένα σωλήνων κιμπερλίτη, κατά τα έτη 1994 και 1995. Βρίσκεται σε ένα απομακρυσμένο μέρος και έχει έκταση στην επιφάνεια ίση με 20 τετραγωνικών χιλιομέτρων στο νησί Lac de Gras. Η πρωτεύουσα της περιοχής, Yellowknife, βρίσκεται 300 km νοτιότερα από την τοποθεσία του, ενώ βρίσκεται μόλις 210 km νότια του Αρκτικού Κύκλου. Στις Εικόνες 1.9 και 1.10 που ακολουθούν, υπάρχουν πανοραμικές φωτογραφίες του Diavik Diamond Mine κατά τους θερινούς και χειμερινούς μήνες αντίστοιχα.



**Εικόνα 1.9. Το Diavik Diamond Mine κατά τους θερινούς μήνες**



**Εικόνα 1.10. Το Diavik Diamond Mine κατά τους χειμερινούς μήνες**

Η παραγωγή των διαμαντιών ξεκίνησε τον Ιανουάριο του 2003, ενώ η εταιρεία πούλησε το πρώτο της ακατέργαστο διαμάντι τον Μάρτιο του ίδιου έτους. Τα διαμάντια που προέρχονται από αυτό το μεταλλείο είναι ιδιαίτερα γνωστά παγκοσμίως. Τα περισσότερα είναι τουλάχιστον ένα καράτι ή και μεγαλύτερα και διακρίνονται για το λευκό τους χρώμα και την εξαιρετική διαύγειά τους και αυτά καθιστούν το Diavik Diamond Mine ένα από τα πολυτιμότερα ορυχεία διαμαντιών στον κόσμο. Από την έναρξη της παραγωγής μέχρι σήμερα έχουν παραχθεί 31,2 εκατ. καράτια από το εν λόγω ορυχείο. Στα τέλη του 2014, το Diavik Diamond Mine είχε 39,6 εκατ. καράτια αποδεδειγμένων αποθεμάτων και 13,7 εκατ. καράτια πιθανών αποθεμάτων. Το σχέδιο του ορυχείου είναι βασισμένο πάνω στους τέσσερις σωλήνες κιμπερλίτη που φέρουν διαμάντια. Οι τρεις σωλήνες κιμπερλίτη από τους οποίους πραγματοποιείται η εξόρυξη είναι πολύ υψηλής ποιότητας. Ο τέταρτος βρίσκεται σε εξέλιξη, με την πρώτη παραγωγή να αναμένεται στα τέλη του 2018.

Στον Ελλαδικό χώρο, η πιο γνωστή και πολυσυζητημένη εκμετάλλευση που σκόπευε να ξεκινήσει ως υπαίθρια και να συνεχίσει ως υπόγεια είναι το μεταλλείο των Σκουριών στον Δήμο Αριστοτέλη στην Χαλκιδική. Ανήκει στην εταιρεία Ελληνικός Χρυσός Α.Ε., η οποία από τον Φεβρουάριο 2012 λειτουργεί ως θυγατρική της канаδικής εταιρείας Eldorado Gold που έχει την έδρα της στο Βανκούβερ του Καναδά. Κατέχει το 95% της Ελληνικός Χρυσός Α.Ε., ενώ το υπόλοιπο 5% παραμένει στην κατοχή του ομίλου ΕΛΛΑΚΤΩΡ.

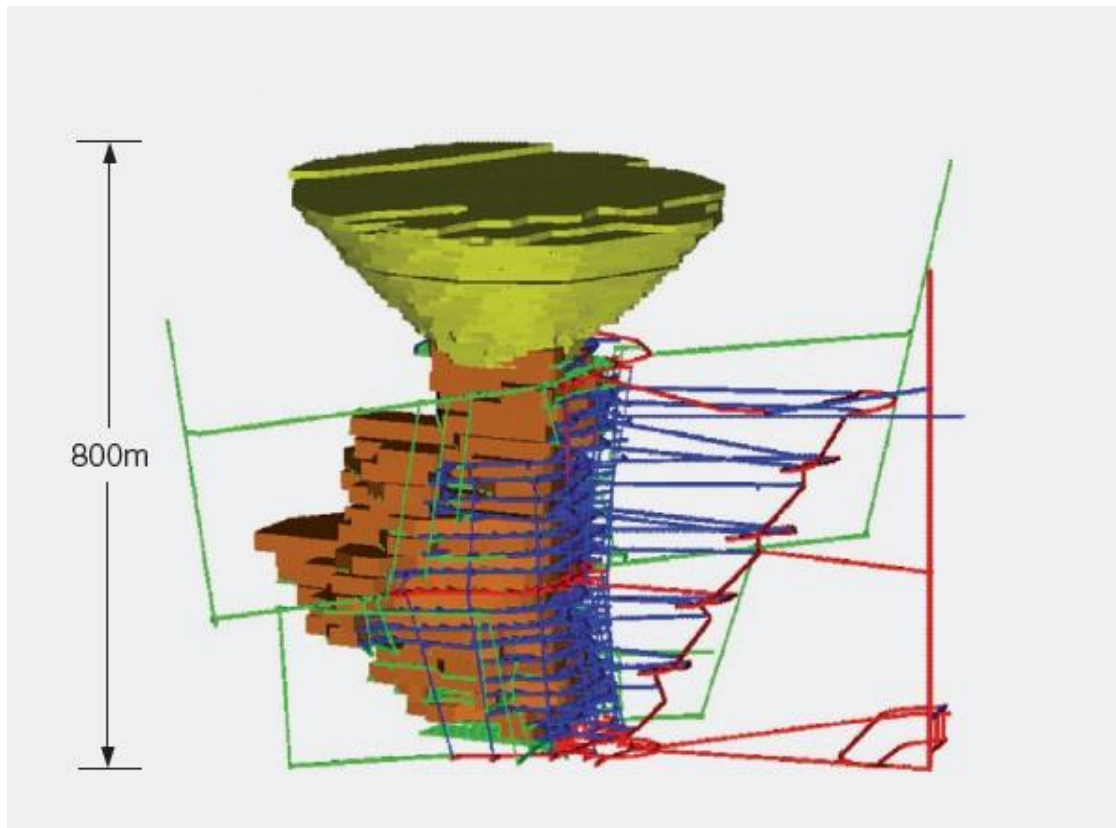
Η εταιρεία τον Ιανουάριο 2006 υπέβαλλε ενιαίο επιχειρηματικό σχέδιο για την παράλληλη ανάπτυξη και εκμετάλλευση των κοιτασμάτων Μαύρων Πετρών, Ολυμπιάδας και Σκουριών, το οποίο προέβλεπε και τη δημιουργία μεταλλουργίας χαλκού-χρυσού στην ευρύτερη περιοχή του Μαντέμ Λάκκος, το οποίο εγκρίθηκε τον Ιούλιο 2011.

Το κοίτασμα των Σκουριών (Εικόνα 1.11) είναι ένα παγκοσμίου κλάσης πορφυριτικό κοίτασμα, το οποίο περιέχει 0,54% χαλκό και 0,83 gr ανά tn χρυσό. Η κυλινδρική του μορφή με διάμετρο 200m εκτείνεται από την επιφάνεια κατακόρυφα σε βάθος 800 m, όπως φαίνεται σχηματικά στην Εικόνα 1.12.



**Εικόνα 1.11. Αεροφωτογραφία από το μεταλλείο των Σκουριών σήμερα**





**Εικόνα 1.12.** Σχηματική απεικόνιση του κοιτάσματος στις Σκουριές (Hellas.Gold, n.d.).

Πιο συγκεκριμένα, το επενδυτικό σχέδιο της Ελληνικός Χρυσός στις Σκουριές, όπως αυτό καταγράφεται στην ιστοσελίδα της εταιρείας (Hellas.Gold, n.d.), είναι το εξής:

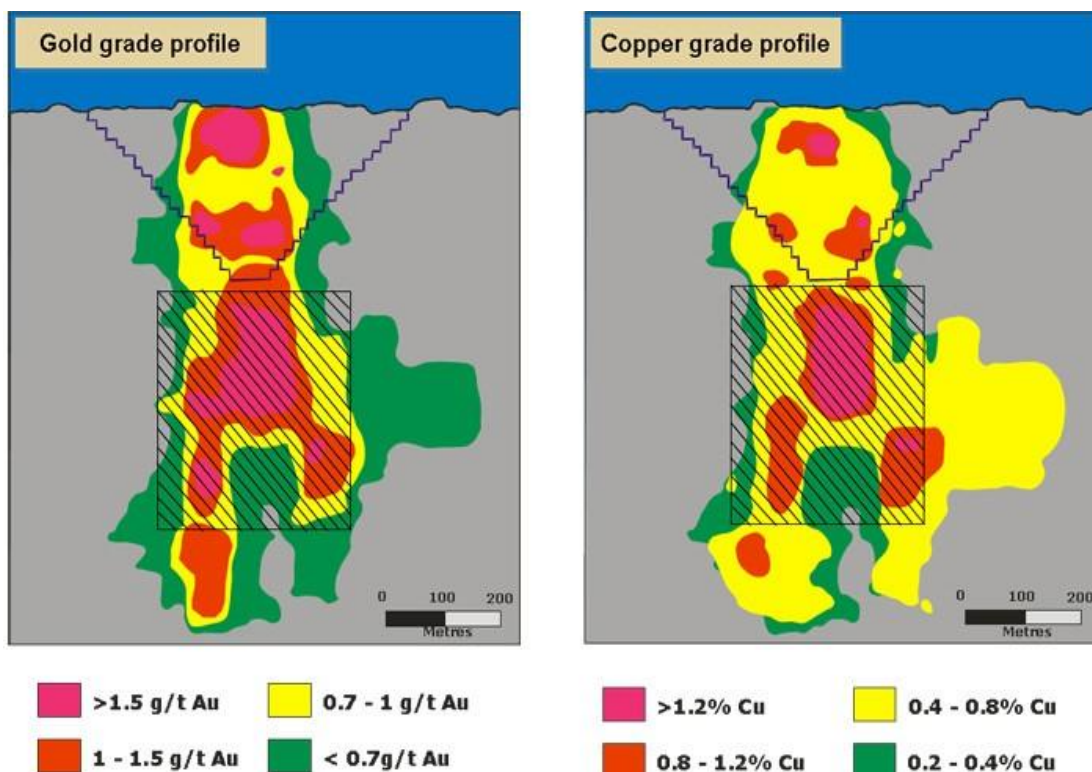
Με βάση την αρχή της μικρότερης δυνατής κατάληψης επιφάνειας, επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί ο συνδυασμός επιφανειακής και υπόγειας εκμετάλλευσης.

Κατά την πρώτη φάση, θα πραγματοποιηθεί επιφανειακή εκμετάλλευση η οποία θα διαρκέσει 7 έτη και από την οποία θα εξορυχτεί το 1/3 του κοιτάσματος. Η παραγωγή υπολογίζεται σε 140.000 oz χρυσού και 30.000 tn χαλκού ανά έτος. Το επιφανειακό όρυγμα θα έχει μέγιστη διάμετρο 700 m, μέγιστο βάθος 220 m και η μέγιστη συνολική επιφάνεια που θα καταληφθεί θα ανέρχεται στα 390 στρέμματα.

Κατά την δεύτερη φάση, θα πραγματοποιηθεί υπόγεια εκμετάλλευση η οποία θα διαρκέσει 21 έτη και από την οποία θα εξορυχτούν τα υπόλοιπα 2/3 του κοιτάσματος. Η παραγωγή από την φάση υπολογίζεται σε 100.000 oz χρυσού και 22.000 tn χαλκού ανά χρόνο.



Στην Εικόνα 1.13 παρουσιάζεται η εμφάνιση του χρυσού και του χαλκού με τις αντίστοιχες περιεκτικότητές τους κατά τόπους στο κοίτασμα.



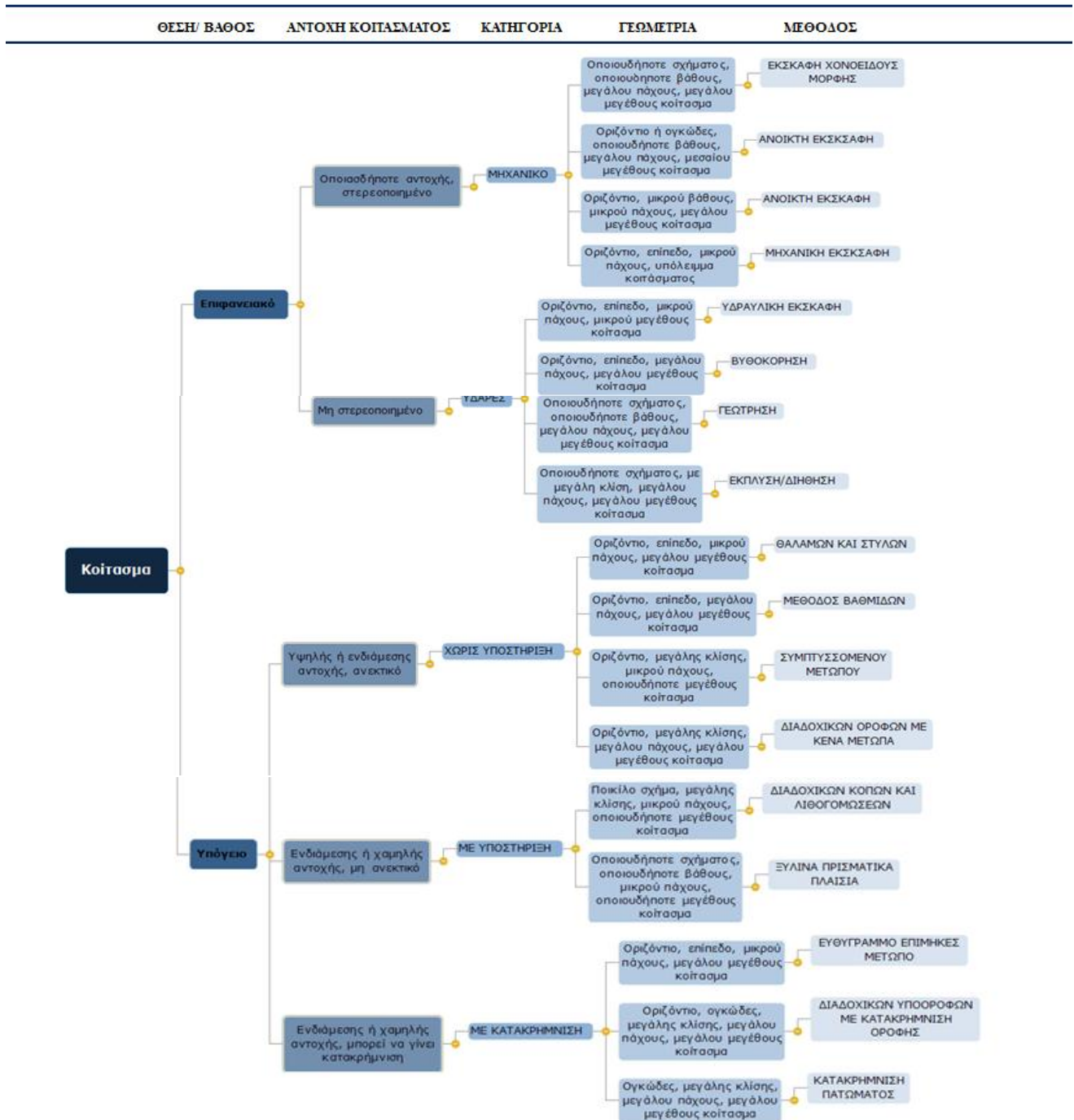
**Εικόνα 1.13. Εμφάνιση χρυσού και χαλκού με τις αντίστοιχες περιεκτικότητές τους κατά τόπους στο κοίτασμα των Σκουριών (Hellas Gold, n.d.).**

Παρόλα αυτά, σήμερα τα κατασκευαστικά και αναπτυξιακά έργα τελούν υπό αναστολή μετά από την απόφαση της Eldorado Gold τον Ιανουάριο 2016. Οι εργασίες προστασίας του περιβάλλοντος και συντήρησης εξακολουθούν να πραγματοποιούνται έχοντας ως στόχο την διασφάλιση τόσο του περιβάλλοντος όσο και των περιουσιακών στοιχείων της εταιρείας.

## 1.5 Συμπεράσματα Κεφαλαίου

Η επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης αποτελεί μία εκ των σημαντικότερων αποφάσεων που πρέπει να παρθούν για το σχεδιασμό του μεταλλείου πριν από την ανάπτυξή του. Σε αντίθεση με τον τρόπο με τον οποίο ένα κοίτασμα που δύναται να εκμεταλλευθεί τόσο επιφανειακά όσο και υπόγεια, το μεγαλύτερο πρόβλημα εγείρεται στο βάθος της

μετάβασης από την μία μέθοδο στην άλλη. Γι' αυτό το σκοπό έχουν δημιουργηθεί και οι δείκτες ASR και OSR. Συνοπτικά, η επιλογή της εκάστοτε μεθόδου εκμετάλλευσης παρουσιάζεται στο παρακάτω Σχήμα 1.6 μεταφρασμένο στην Ελληνική από το βιβλίο των Hartman & Mutmanský (1992).



Σχήμα 1.6. Συνοπτική παρουσίαση της επιλογής της κατάλληλης μεθόδου εκμετάλλευσης στην εκάστοτε περίπτωση κοιτάσματος (Hartman & Mutmanský, 1992)

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί αύξηση των μεικτών εκμεταλλεύσεων. Οι κυριότεροι παράγοντες που ωθούν προς την πλευρά της υπόγειας ανάπτυξης είναι (Sterling&Godard, 2001):

- Έλλειψη διαθέσιμων χώρων – Καλύτερη εκμετάλλευση της γης:

Με τη μεταφορά και εγκατάσταση δραστηριοτήτων υπόγεια απελευθερώνονται ζωτικοί χώροι στην επιφάνεια. Ακόμη, οι υπόγειες κατασκευές προσφέρουν αυξημένες δυνατότητες επέκτασης, δεδομένου ότι δεν υφίστανται, κατά κανόνα, οι περιορισμοί της επιφάνειας σε σχέση με το περιβάλλον ιδιοκτησιακό καθεστώς.

- Περιβαλλοντικοί λόγοι:

Δραστηριότητες οι οποίες δεν είναι ρυπογόνες ή δεν είναι αναγκαίο να λειτουργούν στην επιφάνεια (“windowless buildings”) μπορούν να μεταφερθούν υπόγεια και να επιτευχθεί διπλή ωφέλεια. Οι ίδιες οι χρήσεις ωφελούνται από την απομόνωση και την προστασία του γεωλογικού μέσου και ταυτόχρονα βελτιώνεται η ποιότητα ζωής και μειώνονται οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από οχλούσες δραστηριότητες.

- Κοινωνικοί – οικονομικοί λόγοι:

Οι ενεργειακές ανάγκες στον υπόγειο χώρο είναι μειωμένες λόγω της σχετικά σταθερής θερμοκρασίας και ελεγχόμενου περιβάλλοντος. Η ασφάλεια των υπόγειων κατασκευών είναι ιδιαίτερα αυξημένη αφού οι προσβάσεις σε αυτές είναι συγκεκριμένες και απόλυτα ελεγχόμενες. Επίσης, η συμπεριφορά τους σε σεισμικές φορτίσεις είναι σημαντικά καλύτερη από αυτή των επιφανειακών κατασκευών (Hashash, et al., 2001)κάτι ιδιαίτερα σημαντικό σε σεισμογενείς περιοχές όπως αυτή του Ελλαδικού χώρου.

## 2. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

Πριν από την τελική επιλογή της βέλτιστης μεθόδου υπόγειας εκμετάλλευσης ενός κοιτάσματος είναι αναγκαία η σύγκριση και η αξιολόγηση αυτών, στοχεύοντας στην επιλογή της πλέον οικονομικά συμφέρουσας, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα την ασφάλεια και τις μικρότερες δυνατές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Στο εν λόγω κεφάλαιο όλα τα στοιχεία έχουν συλλεχθεί από τις σημειώσεις του μαθήματος Σχεδιασμός Υπόγειων Εκμεταλλεύσεων (Μπενάρδος, 2014) και του μαθήματος Υπόγεια Έργα (Μπενάρδος & Καλιαμπάκος, 2010).

### 2.1 Γεωμορφολογικά και Μηχανικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος και της ευρύτερης περιοχής

Υπό την προϋπόθεση ότι ένα κοιτάσμα δύναται να εκμεταλλευθεί, ένας πρώτος παράγοντας που επηρεάζει την τελική επιλογή της μεθόδου είναι το ίδιο το κοιτάσμα και τα χαρακτηριστικά του. Παραδείγματος χάριν, οι διαστάσεις του κοιτάσματος, η κλίση του και η μορφολογία της περιοχής. Η μέθοδος θαλάμων και στύλων για παράδειγμα δεν ενδείκνυται για κοιτάσματα με κλίση μεγαλύτερη των 30° ενώ η μέθοδος διαδοχικών ορόφων είναι κατάλληλη για κοιτάσματα με κλίση μεγαλύτερη των 50° - 60°.

Εξίσου σημαντικό ρόλο στην επιλογή συντελούν και η γενικότερη μορφολογία της περιοχής καθώς επίσης και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υπερκείμενων στο κοιτάσμα πετρωμάτων. Λόγου χάρη, εάν τα περιβαλλοντικά πετρώματα σε ένα κοιτάσμα έχουν χαμηλή μηχανική αντοχή τότε προτιμητέα θα είναι μία μέθοδος εκμετάλλευσης με τεχνητή υποστήριξη έναντι μίας μεθόδου εκμετάλλευσης με φυσική υποστήριξη.

Στον παρακάτω Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται τα γεωμορφολογικά και μηχανικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την τελική επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης.

Πίνακας 2.1 Χαρακτηριστικά και Διαμόρφωση Κοιτάσματος για την κάθε ζητούμενη μέθοδο υπόγειας εκμετάλλευσης (Μπενάρδος, 2014)

Μέθοδος Υπόγειας Εκμετάλλευσης	Χαρακτηριστικά και Διαμόρφωση του Κοιτάσματος					
	Αντοχή Μεταλλεύματος	Αντοχή Πετρώματος	Μέγεθος	Σχήμα	Κλίση Κοιτάσματος	Βάθος
Θαλάμων και Στύλων (Room and Pillar)	χαμηλή, μέση, υψηλή	μέση, υψηλή	μικρό πάχος, μεγάλη εξάπλωση	στρωματοειδές	ήπια, μέση	μικρό ή ενδιάμεσο
Διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα (Sublevel Stopping)	μέση, υψηλή	υψηλή	μεγάλο ή μέσο πάχος	στρωματοειδές	μεγάλη	ενδιάμεσο
Διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων (Cut and Fill Stopping)	μέση, υψηλή	χαμηλή, μέση	μικρό ή ενδιάμεσο πάχος	στρωματοειδές ή ακανόνιστο	μέση, μεγάλη	ενδιάμεσο ή μεγάλο
Κατακρήμιση Πατώματος (Block Caving)	χαμηλή, υψηλή	χαμηλή, μέση	μεγάλο πάχος	οποιοδήποτε με μεγάλο πάχος	μεγάλη	ενδιάμεσο
Διαδοχικών Υποορόφων με κατακρήμιση οροφής (Sublevel Caving)	μέση, υψηλή	χαμηλή, μέση	μεγάλο πάχος	στρωματοειδές	μεγάλη	ενδιάμεσο

## 2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των προαναφερθέντων μεθόδων υπόγειας εκμετάλλευσης

Φυσικά, η καθεμία από τις παραπάνω μεθόδους παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

### 2.2.1 Θαλάμων και Στύλων (Room and Pillar)

Η μέθοδος θαλάμων και στύλων είναι μία από τις παλαιότερες μεθόδους υπόγειας εκμετάλλευσης και ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων με φυσική υποστήριξη. Είναι κατάλληλη μέθοδος για μηχανοποίηση, οι εργασίες σε αυτήν είναι συγκεντρωμένες, δύναται να χρησιμοποιηθεί για ποικίλες συνθήκες πετρώματος οροφής και ο αερισμός μπορεί πολύ εύκολα να βελτιωθεί με αυτή την μέθοδο. Είναι ιδανική για κοιτάσματα με κλίση μικρότερη των 30°. Αποτελεί δηλαδή την οικονομικά εφικτότερη μέθοδο εκμετάλλευσης οριζοντίων κοιτασμάτων περιορισμένου πάχους.

Η απόληψη του μεταλλεύματος κυμαίνεται από 70% έως 90%, εάν εξορυχτεί και μέρος των στύλων κατά την εξόφληση, και 40 % έως 60% εάν οι στύλοι μείνουν ανέπαφοι. Η αραίωση του μεταλλεύματος με στείρο είναι πολύ χαμηλή και δεν ξεπερνά το 20%. Τόσο η παραγωγικότητα όσο και ο ρυθμός παραγωγής σε αυτή τη μέθοδο είναι σχετικά υψηλά.

Από την άλλη πλευρά, με αυτή την μέθοδο αυξάνεται η πιθανότητα ύπαρξης καθιζήσεων στην προσπάθεια απόληψης των στύλων, είναι ανελαστική μέθοδος στην διάταξή της και στον τρόπο επιλογής διάθεσης των στείρων και με την αύξηση του βάθους της εκμετάλλευσης αυξάνονται και τα τασικά φορτία που ασκούνται στα υπερκείμενα πετρώματα. Τέλος, εάν ο αερισμός του μεταλλείου δεν είναι καλός, εγκυμονούνται κίνδυνοι για την υγεία και την ασφάλεια εντός αυτού.

Το κόστος εξόρυξης είναι ενδιάμεσο, κατά μέσο όρο 20% του κόστους κεφαλαίου, αλλά φυσικά εξαρτάται και από το εκάστοτε προϊόν της εξόρυξης. Η εν λόγω

μέθοδος, απαιτεί υψηλό αρχικό κεφάλαιο κυρίως για την αγορά του απαραίτητου εξοπλισμού.

### 2.2.2 Κατακρήμνιση διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα (Sublevel Stopping)

Η μέθοδος κατακρήμνισης διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων με φυσική υποστήριξη. Αυτή η μέθοδος εκμετάλλευσης ενδείκνυται για μηχανοποίηση και οι εργασίες στα διαφορετικά μέτωπα μπορούν να πραγματοποιούνται ταυτόχρονα. Η έκθεση σε επικίνδυνες συνθήκες είναι πολύ χαμηλή καθώς επίσης είναι εύκολος και ο σωστός αερισμός όλου του μεταλλείου. Για την επιλογή αυτή της μεθόδου, είναι απαραίτητη η κλίση του κοιτάσματος να είναι τουλάχιστον μεγάλη και τουλάχιστον 45°, με ιδανική περίπτωση τα κοιτάσματα που έχουν 60° έως 90° κλίση.

Η απόληψη του μεταλλεύματος είναι περίπου 75%, συνεπώς μέτρια προς υψηλή, και η αραίωση του μεταλλεύματος με στείρο είναι χαμηλή, περίπου 20%. Η παραγωγικότητά της μεθόδου και ο ρυθμός παραγωγής σε ένα τέτοιο μεταλλείο είναι μέτρια προς υψηλά.

Είναι μία αρκετά περίπλοκη μέθοδος που απαιτεί ακρίβεια κινήσεων και δεν επιτρέπει ευελιξία στο σχέδιο εξόρυξης, ενώ ταυτόχρονα οι μεγάλες και δυνατές εκρήξεις που απαιτεί μπορούν να προκαλέσουν ισχυρές δονήσεις και καταστροφή στη δομή των υπερκείμενων.

Το κόστος εξόρυξης της μεθόδου είναι ενδιάμεσο προς υψηλό για τα δεδομένα της μεθόδου. Μπορεί να ξεπεράσει 20% του κόστους κεφαλαίου, ακριβώς επειδή είναι περίπλοκη και έχει μεγάλο κόστος για την ανάπτυξή της. Επιπλέον, το κόστος θραύσης και διαχείρισης του μεταλλεύματος με αυτή τη μέθοδο δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλο.

### 2.2.3 Μέθοδος διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων (Cut and Fill Stopping)

Η μέθοδος διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων είναι η πλέον συνήθης σε κοιτάσματα με μεγάλη κλίση μεγαλύτερη των  $45^\circ$  και υψηλό βαθμό ανωμαλίας στην μορφολογία τους. Ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων με τεχνητή υποστήριξη και συναντάται με τουλάχιστον οκτώ διαφορετικές παραλλαγές. Η παραγωγικότητα της εκμετάλλευσης ενός κοιτάσματος με αυτή την μέθοδο είναι ενδιάμεση αλλά βελτιώνεται με τον κατάλληλο diesel εξοπλισμό. Τα ίδια ισχύει και για τον ρυθμό παραγωγής. Επιτρέπει την καλή εκλεκτικότητα και αποτελεί μία μέθοδο ευέλικτη με μεγάλη δυνατότητα προσαρμοστικότητας. Το στείρο της εξόρυξης χρησιμοποιείται για την λιθογόμωση αντί να μεταφερθεί στην επιφάνεια και η ασφάλεια είναι μέτρια προς υψηλή.

Η απόληψη του μεταλλεύματος είναι άριστη, αγγίζοντας το 90% έως και το 100% όταν οι στύλοι ανακτηθούν. Ταυτόχρονα, η αραίωση του μεταλλεύματος είναι πολλή χαμηλή και δεν ξεπερνά το 5% με 10%. Για να είναι αποδοτική η εν λόγω μέθοδος, η κλίση του κοιτάσματος πρέπει να είναι τουλάχιστον  $45^\circ$ , χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν μπορεί να επιλεγεί και σε περιπτώσεις κοιτασμάτων με μικρότερη κλίση, αρκεί η κλίση του μεταλλοφόρου ορίζοντα να είναι πιο απότομη από την γωνία κατάρρευσης.

Η συγκεκριμένη μέθοδος εκμετάλλευσης απαιτεί εργαζομένους με μεγάλη εξειδίκευση καθώς επίσης και διαρκή και αυστηρή επίβλεψη και επιτήρηση. Με την αύξηση της παραγωγής μειώνονται οι διαδικασίες λιθογόμωσης και καθώς προχωράει η εκμετάλλευση με την συμπίεστικότητα δύναται να προκληθεί μικρή καθίζηση του εδάφους.

Έχει μικρό κόστος ανάπτυξης και μέτριο κόστος κεφαλαίου, το οποίο μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με τον μηχανικό εξοπλισμό. Μολαταύτα, απαιτεί αρκετά υψηλό κόστος εξόρυξης, το σχετικό κόστος ανέρχεται περίπου στο 55% του κόστους κεφαλαίου. Το κόστος αυτό, δύναται να μειωθεί με την υιοθέτηση λύσεων υψηλής εκμηχάνισης.



#### 2.2.4 Μέθοδος με κατακρήμνιση πατώματος (Block Caving)

Η μέθοδος με κατακρήμνιση πατώματος ανήκει στις μεθόδους χωρίς υποστήριξη. Αποτελεί την μόνη μέθοδο που έχει τη δυνατότητα να συγκριθεί με τις επιφανειακές εκμεταλλεύσεις τόσο λόγω του κόστους της όσο και λόγω της παραγωγής και της απόδοσής της. Έχει από τους υψηλότερους ρυθμούς παραγωγής στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις και μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα. Έχει σχετικά υψηλή παραγωγικότητα και η βαρύτητα και η πλήρης δυνατότητα μηχανοποιημένου χειρισμού την καθιστούν σχετικά εύκολη, με επαναλαμβανόμενες και προκαθορισμένες διαδικασίες. Ο αερισμός του μεταλλείου είναι αρκετά ικανοποιητικός, ανεβάζοντας το ποσοστό της ασφάλειας και της υγιεινής.

Η απόληψη του μεταλλεύματος είναι εξαιρετική αγγίζοντας το 90% έως και 100% όταν πραγματοποιείται σε κοιτάσματα με κλίση μεγαλύτερη των 60°. Η αραίωση του μεταλλεύματος είναι σχετικά χαμηλή με ποσοστά που φτάνουν από 10% έως 25%.

Παρόλα αυτά, η εν λόγω μέθοδος υπόγειων εκμεταλλεύσεων, απαιτεί κατακρήμνιση σε μεγάλη κλίμακα χωρίς να αφήνει περιθώρια ευελιξίας. Για την επιτυχία της μεθόδου ο σχεδιασμός πρέπει να είναι πολύ προσεκτικός καθώς υπάρχει ο κίνδυνος ξαφνικής πυρκαγιάς στο μετάλλευμα ή στα υπερκείμενα πετρώματα εάν κατά τη διάρκεια της εξόρυξης υπάρχει κάποια καθυστέρηση ή η εξόρυξη πραγματοποιείται με αργούς ρυθμούς.

Η μέθοδος με κατακρήμνιση πατώματος έχει αρκετά χαμηλό κόστος εξόρυξης, το χαμηλότερο όλων των μεθόδων υπόγειας εκμετάλλευσης, περίπου 10% του κόστους κεφαλαίου. Κατά την κατακρήμνιση επέρχεται και η πλήρης διάσπαση του μεταλλεύματος, συνεπώς δεν υπάρχει επιπρόσθετο κόστος για θραύση. Ωστόσο, απαιτεί αργή, εκτενή και δαπανηρή ανάπτυξη. Η διατήρηση των ανοιγμάτων και των στοών καθ' όλη τη διάρκεια της παραγωγής είναι ουσιώδες ζήτημα και αυτό επιφέρει μεγάλα κόστη.

### 2.2.5 Μέθοδος διαδοχικών υποορόφων με κατακρήμνιση οροφής (Sublevel Caving)

Η μέθοδος διαδοχικών υποορόφων με κατακρήμνιση οροφής χρησιμοποιείται σε σχεδόν κάθετα κοιτάσματα, κλίσης τουλάχιστον 60°, και ανήκει στις μεθόδους εκμετάλλευσης χωρίς υποστήριξη. Είναι κατάλληλη για πλήρη μηχανοποίηση και εφόσον δεν σχετίζεται με στύλους, είναι μία αρκετά επιλεκτική, ευέλικτη και προσαρμόσιμη μέθοδος. Εξασφαλίζει την υγιεινή και την ασφάλεια σε μεγάλο ποσοστό.

Έχει αρκετά υψηλή παραγωγικότητα καθώς επίσης και ρυθμούς παραγωγής εφόσον είναι μία μέθοδος ευρείας κλίμακας. Τα ποσοστά απόληξης μεταλλεύματος είναι σχετικά υψηλά και κινούνται μεταξύ 60% και 90%, ανάλογα με την κλίση του κοιτάσματος.

Παρά ταύτα, η αραίωση του μεταλλεύματος θεωρείται υψηλή φτάνοντας από 10% έως 35%. Η κατακρήμνιση μπορεί να επηρεάσει εμφανώς την επιφάνεια, γι' αυτό και ο σχεδιασμός είναι κρίσιμος παράγοντας για την διασφάλιση της επιτυχίας της μεθόδου.

Ωστόσο, η συγκεκριμένη μέθοδος εκμετάλλευσης έχει πολύ μεγάλο κόστος ανάπτυξης.

## 2.3 Κόστος των παραπάνω μεθόδων υπόγειας εκμετάλλευσης

Το κόστος για μία υπόγεια εκμετάλλευση δεν είναι ίδιο σε όλες τις περιπτώσεις εφόσον αποτελεί συνάρτηση πολλών διαφορετικών παραγόντων οι οποίοι το επηρεάζουν. Στον παρακάτω Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται κάποιες ενδεικτικές τιμές παραγωγής και κόστους για τις προαναφερθείσες μεθόδους υπόγειας εκμετάλλευσης.

**Πίνακας 2.2. Συγκεντρωτικός Πίνακας για τις παραπάνω μεθόδους (Μπενάρδος, 2014)**

Μέθοδος Υπόγειας Εκμετάλλευσης	Ρυθμός παραγωγής σε tpd (tn per day)	Παραγωγικότητα (tn/εργάτη/βάρδια)		Συντελεστής αραίωσης %	Συντελεστής απόληψης %	Κατώτατο όριο εκμεταλλευσιμότητας (cut-off grade)	Σχετικό κόστος	Κόστος εξόρυξης (σε US \$/tn)	Κόστος κεφαλαίου	Λειτουργικό κόστος
		Κανονική	Υψηλή							
<b>Θαλάμων και Στόλων (Room and Pillar)</b>	500 - 3500	30 - 50	50 - 70	0 - 20	40 - 90	χαμηλό	1,2	10 - 30	υψηλό	χαμηλό
<b>Διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα (Sublevel Stopping)</b>	500 - 5000	15 - 30	30 - 40	20	75	χαμηλό	1,3	40 - 50	υψηλό	υψηλό
<b>Διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων (Cut and Fill Stopping)</b>	200 - 2000	10 - 20	30 - 40	5 - 10	90 - 100	υψηλό	4,5	100 - 200	ενδιάμεσο	ενδιάμεσο
<b>Κατακρήμιση Πατώματος (Block Caving)</b>	< 160000	15 - 40	40 - 50	10 - 25	90 - 100	χαμηλό	1	5 - 15	πολύ υψηλό	χαμηλό
<b>Διαδοχικών Υποορόφων με κατακρήμιση οροφής (Sublevel Caving)</b>	ενδέχεται > 7500	20 - 40	40 - 50	10 - 35	60 - 90	χαμηλό	1,5	8 - 15	ενδιάμεσο προς υψηλό	υψηλό

Με βάση στοιχεία από την ιστοσελίδα Info Mine (2010), στον παρακάτω Πίνακα 2.3 παρουσιάζονται κατά προσέγγιση τα συνολικά λειτουργικά έξοδα και το συνολικό κόστος κεφαλαίου για μία υπόγεια εκμετάλλευση, στην οποία η προσπέλαση πραγματοποιείται με φρέαρ.

**Πίνακας 2.3. Τα συνολικά λειτουργικά έξοδα και το συνολικό κόστος κεφαλαίου για μία υπόγεια εκμετάλλευση (Info Mine, 2010)**

<b>Μέθοδος Υπόγειας Εκμετάλλευσης</b>	<b>Ρυθμός παραγωγής (σε tpd)</b>	<b>Συνολικό λειτουργικό κόστος (σε \$ ανά tn μεταλλεύματος)</b>	<b>Συνολικό κόστος κεφαλαίου (σε εκατομμύρια \$)</b>
<b>Θαλάμων και Στύλων (Room and Pillar)</b>	<b>8000</b>	<b>20,83</b>	<b>118,2</b>
<b>Διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα (Sublevel Stopping)</b>	<b>4000</b>	<b>19,02</b>	<b>63,7</b>
<b>Διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων (Cut and Fill Stopping)</b>	<b>1000</b>	<b>52,48</b>	<b>68,4</b>
<b>Κατακρήμνιση Πατώματος (Block Caving)</b>	<b>30000</b>	<b>9,1</b>	<b>163,7</b>
<b>Διαδοχικών Υποορόφων με κατακρήμνιση οροφής (Sublevel Caving)</b>	<b>8000</b>	<b>21,99</b>	<b>142,6</b>

Παρατηρώντας τους δύο παραπάνω πίνακες μπορούν να προκύψουν κάποια πρωταρχικά συμπεράσματα για τις υπόγειες εκμεταλλεύσεις και τα κόστη τους. Στην περίπτωση της εκμετάλλευσης με την προσπέλαση με φρέαρ, η οποία εξετάζεται στον Πίνακα 2.3, προκύπτει ότι η βέλτιστη επιλογή εκμετάλλευσης για το εν λόγω κοίτασμα είναι με την μέθοδο Κατακρήμνισης Πατώματος (Block Caving) διότι δίνει τον μεγαλύτερο ρυθμό παραγωγής με το χαμηλότερο συνολικό λειτουργικό κόστος. Παρότι απαιτεί υψηλό συνολικό κόστος κεφαλαίου, διότι ο εξοπλισμός που απαιτείται για αυτή την μέθοδο είναι ιδιαίτερα ακριβός, μακροπρόθεσμα αποδεικνύεται ως η πιο οικονομικά συμφέρουσα

μέθοδος. Αυτό το συμπέρασμα, επιβεβαιώνεται και από τον Πίνακα 2.2 καθώς η εν λόγω μέθοδος, παρότι έχει λίγο πιο υψηλό συντελεστή αραίωσης και πιο υψηλό κόστος κεφαλαίου από αρκετές από τις υπόλοιπες μεθόδους, εξακολουθεί να αποτελεί την πλέον συμφέρουσα οικονομικά. Τόσο το κόστος εξόρυξης και ανάπτυξής της είναι σε πολύ χαμηλές τιμές ενώ ταυτόχρονα ο ρυθμός παραγωγής της είναι εκτοξευμένος πολύ υψηλά. Η αμέσως επόμενη οικονομικά συμφέρουσα μέθοδος υπόγειας εκμετάλλευσης που προκύπτει και από τους δύο παραπάνω πίνακες είναι η μέθοδος Θαλάμων και Στύλων (Room and Pillar). Ο συνδυασμός παραγωγής και κόστους είναι σε πολύ καλά επίπεδα δίνοντας σχετικά υψηλό ρυθμό παραγωγής και ταυτόχρονα χαμηλό κόστος εξόρυξης και ανάπτυξης, υψηλό βαθμό απόληψης σε χρήσιμο μέταλλευμα και πολύ χαμηλό συντελεστή αραίωσης.

## 3. ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

### ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ (Strategic Mine Planning)

#### 3.1 Εισαγωγή

Ο Στρατηγικός Σχεδιασμός (Strategic Planning) είναι απαραίτητος για την διασφάλιση της επιτυχίας μιας επένδυσης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για να καθορίσει το όραμα, της αποστολή, τις αξίες, τους στόχους, τα αντικείμενα, τους ρόλους, τις ευθύνες, τα χρονοδιαγράμματα κ.ά.

Ο Στρατηγικός Σχεδιασμός εστιάζει στην μακροπρόθεσμη οπτική κατά προτίμηση έναντι της βραχυπρόθεσμης άποψης. Πράγματι, η στρατηγική σκέψη μπορεί να σημαίνει την ανταλλαγή του βραχυπρόθεσμου κέρδους έναντι μακροπρόθεσμων πλεονεκτημάτων. (Adair, 2010)

Ο σκοπός του Στρατηγικού Σχεδιασμού είναι να τεθούν συνολικοί στόχοι και στην συνέχεια να αναπτυχθούν τα κατάλληλα σχέδια ώστε αυτοί να επιτευχθούν. Περιλαμβάνει την πραγματοποίηση μίας σμίκρυνσης όσο αναφορά τις καθημερινές εργασίες, επιζητώντας απάντηση στο ερώτημα προς τα πού κατευθύνεται η επιχείρηση και ποιες θα πρέπει να τεθούν προτεραιότητες. (Info Entrepreneurs, 2009)

Συνεπώς, τα ζητούμενα σε έναν Στρατηγικό Σχεδιασμό είναι:

- Η διασαφήνιση των επιζητούμενων αποτελεσμάτων
- Η επιλογή της ευρείας στρατηγικής που θα επιτρέψει την επίτευξη των αποτελεσμάτων
- Η αναγνώριση και ταυτοποίηση τρόπων για την διαρκή παρακολούθηση της προόδου

Πρακτικά, λοιπόν, ο Στρατηγικός Σχεδιασμός αξιοποιείται για να αποφασιστεί η κατεύθυνση την οποία θα ακολουθήσει η επιχείρηση.

Ο Σχεδιασμός μιας Εκμετάλλευσης είναι η διαδικασία κατά την οποία επιλέγεται η βέλτιστη δυνατή μέθοδος έτσι ώστε να εξορύσσεται το χρήσιμο υλικό από την

εκμετάλλευση στην σωστή χρονική στιγμή και με το μικρότερο δυνατό κόστος ανά μονάδα τελικού προϊόντος. (Fuykschot, 2009)

Ο Στρατηγικός Σχεδιασμός μιας Εκμετάλλευσης είναι η διαδικασία κατά την οποία ο απλός Σχεδιασμός μιας Εκμετάλλευσης ενσωματώνεται και έρχεται παράλληλα με τους στόχους που έχει θέσει η εταιρεία κατά τη διαδικασία της Θέσπισης των Στόχων (Goal Setting). (Fuykschot, 2009)

Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τακτικές αναπροσαρμογές στις τυχόν αλλαγές του επιχειρηματικού περιβάλλοντος. Στόχος, δηλαδή, αποτελεί η βέλτιστη αξιοποίηση των πόρων, παραδείγματος χάριν το κεφάλαιο, το ανθρώπινο δυναμικό, τα αποθέματα, με ταυτόχρονη μεγιστοποίηση των δυνατοτήτων που προσφέρει η εταιρεία και μείωση των αδυναμιών.

Συνεπώς, προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο Στρατηγικός Σχεδιασμός μιας Εκμετάλλευσης είναι βασισμένος στις αρχές και την θεωρία του Στρατηγικού Σχεδιασμού και προσαρμοσμένος στα δεδομένα της εκάστοτε εκμετάλλευσης.

### **3.2 Αναγκαιότητα ύπαρξης Στρατηγικού Σχεδιασμού και Στρατηγικού Σχεδιασμού μιας Εκμετάλλευσης**

Ο Στρατηγικός Σχεδιασμός επιτρέπει σε μία επιχείρηση να επιδεικνύει προνοητικότητα όσο αφορά την ανάπτυξή της και όχι απλά να αντιδρά και να προσπαθεί να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες της αγοράς. Παρακάτω αναγράφονται ενδεικτικά κάποια από τα πλεονεκτήματα που δύναται να προσφέρει σε μία εταιρεία ο Στρατηγικός Σχεδιασμός. (McNamara, 2007)

#### **1. Αναγνώριση του Κινδύνου (Risk Identification)**

Η ανάλυση του κινδύνου (Σχήμα 3.1) είναι η διαδικασία κατανόησης, αναγνώρισης, ανάλυσης, εκτίμησης και είτε αποδοχής είτε καταπράυνσης της αβεβαιότητας στην λήψη επενδυτικών αποφάσεων. Επί της ουσίας, το γενικότερο Σύστημα Διαχείρισης του Κινδύνου μπορεί να λάβει χώρα ανά πάσα στιγμή, αρκεί ο επενδυτής να προσπαθήσει να

ποσοτικοποιήσει την πιθανότητα των ζημιών στην επένδυση και στην συνέχεια να πάρει τα κατάλληλα μέτρα (ή να αδρανήσει ανάλογα με την περίπτωση).



**Σχήμα 3.1 Καθορισμός της ανάλυσης Κινδύνου**

Όταν οι κίνδυνοι αναγνωρίζονται, τότε μπορούν ευκολότερα να αξιολογηθούν και να αντιμετωπιστούν άμεσα.

### 2. Καλύτερος έλεγχος (Better Control)

Ο στρατηγικός σχεδιασμός ενδυναμώνει και εξαναγκάζει κατά κάποιο τρόπο την διοίκηση μίας εταιρείας να θέσει στόχους, οι οποίοι με την σειρά τους βοηθούν στην αποτελεσματικότερη και αποδοτικότερη διαχείριση και έλεγχο.

### 3. Συνοχή, Συνέπεια και Σταθερότητα (Consistency)

Χωρίς τον στρατηγικό σχεδιασμό οι βραχυπρόθεσμοι, οι μεσοπρόθεσμοι και οι μακροπρόθεσμοι στόχοι μπορεί να είναι αντιφατικοί και μεταξύ τους ασυμβίβαστοι. Για παράδειγμα, μπορεί να παρθούν αποφάσεις οι οποίες να ευνοούν τους βραχυπρόθεσμους στόχους αλλά να μην είναι ευνοϊκές για τους μακροπρόθεσμους. Με την σύνταξη του επίσημου στρατηγικού σχεδιασμού, όλοι οι στόχοι εναρμονίζονται και προάγεται η συνέπεια.



#### 4. Αποσαφήνιση των στόχων (Clarify Objects)

Ο στρατηγικός σχεδιασμός από την φύση του απαιτεί τον καθορισμό των στόχων, γεγονός που από μόνο του βοηθά στην αποσαφήνισή τους.

#### 5. Διαδικασία λήψης αποφάσεων (Decision making Process)

Η λήψη αποφάσεων είναι αναγκαία για το μέλλον της εταιρείας. Ο στρατηγικός σχεδιασμός βοηθά στην πρόβλεψη των τομέων στους οποίους η εταιρεία θα μπορούσε μελλοντικά να αναμειχθεί. Οι αποφάσεις πρέπει να λαμβάνονται σε συσχέτιση με την πορεία την οποία θέλει να ακολουθήσει η εταιρεία.

Πιο συγκεκριμένα, για τον Στρατηγικό Σχεδιασμό μιας Εκμετάλλευσης, οι παράγοντες κλειδιά, από τους οποίους κρίνεται η επιτυχία και η ανάπτυξη μιας εταιρείας είναι οι εξής (Fuykschot, 2009):

- οι πωλήσεις και η χρηματοοικονομική της μόχλευση
- η ανταγωνιστικότητα των τιμών της
- η παραγωγικότητά της και
- η παραγωγική της ικανότητα

Όλοι αυτοί οι παράγοντες αποτελούν επιμέρους τμήματα της διαδικασίας του σχεδιασμού μιας εκμετάλλευσης. Η σωστή τοποθέτηση της εταιρείας σχετικά με αυτούς και η σωστή διαχείρισή τους μπορούν να επιφέρουν την επιτυχή έκβαση και πραγματοποίηση των στόχων που έχει θέσει η εταιρεία αλλά και την περαιτέρω ανάπτυξή της. Η διαρκής παρακολούθησή τους προσφέρει την δυνατότητα επισκόπησης ολόκληρου του επιχειρηματικού σχεδίου, εφόσον ο καθένας από τους προαναφερθέντες παράγοντες βρίσκεται σε κρίσιμη και καίρια θέση κατά την διάρκεια του σχεδιασμού και της σύνταξης αυτού.

Τα αποτελέσματα που μπορεί να προσφέρει είναι απτά και συνάδουν με τον Στρατηγικό Σχεδιασμό της εταιρείας, προσθέτοντας ένα εξίσου σημαντικό πλεονέκτημα. Η εταιρεία δύναται να πάρει ανάσα λόγω της εμπιστοσύνης στην λειτουργικότητα του σχεδιασμού, η οποία της δίνει διεξόδους για περαιτέρω ενασχόληση και συγκέντρωση στην εύρεση τρόπων για την επέκταση και την εξέλιξή της. (Fuykschot, 2009)

### 3.3 Κατηγορίες Στρατηγικού Σχεδιασμού και Στρατηγικού Σχεδιασμού μιας Εκμετάλλευσης

Ο Στρατηγικός Σχεδιασμός και ο Στρατηγικός Σχεδιασμός μιας Εκμετάλλευσης πραγματοποιούνται για να εξασφαλιστεί η ανάπτυξη και η βιωσιμότητα μίας εταιρείας και ενός εγχειρήματος αντίστοιχα. Ο καθορισμός των στόχων μέσα στο ευρύτερο πλαίσιο ολόκληρου του σχεδιασμού, αντιπροσωπεύει μεγάλο μέρος της στρατηγικής διαχείρισης. Σε πιο πρακτικό επίπεδο αυτό σημαίνει ότι η ανάλυση και ανάλψη των σημαντικών πρωτοβουλιών που καλείται μία επιχείρηση να πάρει για μία επένδυση πρέπει να μεταφράζεται σε λογικούς και εφαρμόσιμους στόχους. Ο κάθε στόχος, όμως, μπορεί να διαφέρει από τους υπόλοιπους και αυτό διότι δύναται να είναι διαφορετική η φύση του, το χρονικό πλαίσιο μέσα στο οποίο πρέπει να πραγματοποιηθεί ή ακόμα και το που αποσκοπεί ο εν λόγω στόχος. Γι' αυτό είναι χρήσιμο ο σχεδιασμός να χωρίζεται σε φάσεις. Αυτό επιτρέπει την βέλτιστη παρακολούθηση και τη δυνατότητα άμεσων βελτιώσεων κατά την αξιολόγηση της προόδου των τελικών στόχων. Τα διαφορετικά χρονικά πλαίσια της διαδικασίας του σχεδιασμού τοποθετούνται εστιάζοντας σε χρόνο-ευαίσθητες πτυχές της δομής και μπορούν να διαφοροποιήσουν το σχεδιασμό με βάση τα χρονοδιαγράμματα των εισροών και των αναμενόμενων αποτελεσμάτων.

#### 3.3.1 Βραχυπρόθεσμος Στρατηγικός Σχεδιασμός (Short-Term Strategic Planning)

Ο βραχυπρόθεσμος στρατηγικός σχεδιασμός σχετίζεται με την εξέταση των παρόντων χαρακτηριστικών της εταιρείας και αναπτύσσει στρατηγικές για την βελτίωσή τους. Πριν εξεταστεί κάθε δυνατή επένδυση είναι απαραίτητη η ορθή διαχείριση των πόρων. Πρωτεύον αποτελεί ο καθορισμός όλων των διαθέσιμων πόρων. Κατ' αυτό τον τρόπο μπορεί να διαπιστωθούν τυχόν ελλείψεις. Στην συνέχεια, οφείλεται να εξεταστεί η διαθεσιμότητα όλων των διαθέσιμων πόρων, ώστε να υπάρξει μία γενικότερη εικόνα της υπάρχουσας κατάστασης. Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό αποτελεί ο έλεγχος των διαθέσιμων πόρων. Με την σωστή παρακολούθηση αυξάνονται οι πιθανότητες για την επιτυχή και επιζητούμενη απόδοση.

Στα πλαίσια του Στρατηγικού Σχεδιασμού μιας Εκμετάλλευσης σε βραχυπρόθεσμο επίπεδο, η SRK Consulting (Fuykschot, 2009) διαχωρίζει δύο βασικές υποενότητες.

- Βραχυπρόθεσμος Λειτουργικός Σχεδιασμός: Συγκαταλέγονται οι μηνιαίοι, εβδομαδιαίοι και καθημερινοί στόχοι που έχουν τεθεί.
- Τακτικός Σχεδιασμός: Συμπεριλαμβάνεται η διοίκηση ενός μεταλλείου και μπορεί να είναι από ετήσιος έως πενταετής σχεδιασμός.

### **3.3.2 Μακροπρόθεσμος Στρατηγικός Σχεδιασμός (Long-Term Strategic Planning)**

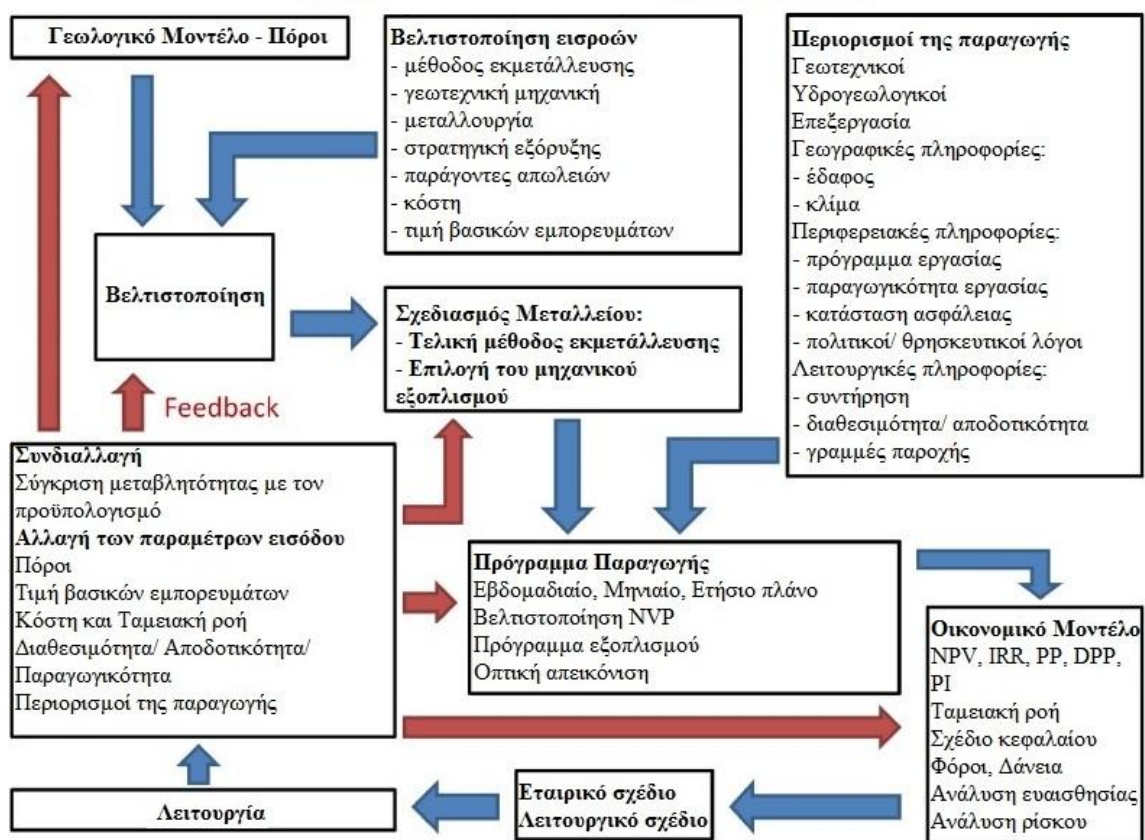
Ο μακροπρόθεσμος στρατηγικός σχεδιασμός στοχεύει στην επίλυση μόνιμων προβλημάτων και στην επίτευξη των συνολικών στόχων της εταιρείας. Ο μακροπρόθεσμος στρατηγικός σχεδιασμός επιδρά στην ανταγωνιστική θέση της εταιρείας αναφορικά με το κοινωνικό, οικονομικό και πολιτικό εξωτερικό της περιβάλλον και αναπτύσσει στρατηγικές για την προσαρμογή και την επιρροή της θέσης της για την επίτευξη των μακροπρόθεσμων στόχων της.

Μέσω αυτού, εξετάζονται σημαντικές κεφαλαιουχικές δαπάνες, όπως για παράδειγμα η αγορά και παροχή του εξοπλισμού και των απαιτούμενων εγκαταστάσεων καθώς επίσης και η εφαρμογή πολιτικών και διαδικασιών για την διαμόρφωση του προφίλ της εταιρείας τέτοιο ώστε να συμβαδίζει και να καλύπτει τις ιδέες της διοίκησης της εταιρείας. Όταν ο βραχυπρόθεσμος στρατηγικός σχεδιασμός που έχει προηγηθεί είναι επιτυχής, τότε ο μακροπρόθεσμος στρατηγικός σχεδιασμός βασίζεται στα ήδη υπάρχοντα επιτεύγματα με σκοπό να τα διατηρήσει και να εξασφαλίσει συνεχή πρόοδο. Οι στόχοι του μακροπρόθεσμου στρατηγικού σχεδιασμού δεν πρέπει να παραμένουν οι ίδιοι επ' αόριστον. Πρέπει να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα και να είναι εντός χρονικών πλαισίων. Μετά το πέρας της προκαθορισμένης χρονικής περιόδου, θα πρέπει να αξιολογούνται και να τίθενται καινούριοι μακροπρόθεσμοι στόχοι, πληρώντας τα ίδια βασικά κριτήρια.

Στα πλαίσια του Στρατηγικού Σχεδιασμού μιας Εκμετάλλευσης σε μακροπρόθεσμο επίπεδο, η SRK Consulting (Fuykschot, 2009) αναφέρει χαρακτηριστικά ότι αποτελείται

από τον σχεδιασμό και τον καθορισμό της διάρκειας ζωής του μεταλλείου και από το εταιρικό σχέδιο, δηλαδή ολόκληρη η διοίκηση της εταιρείας. Μεταξύ τους αυτά τα δύο είναι αλληλένδετα. Από την μία πλευρά, ο σχεδιασμός ενός μεταλλείου επηρεάζεται από την κατεύθυνση πλεύσης της εταιρείας. Από την άλλη πλευρά, απαιτείται ο καλύτερος δυνατός σχεδιασμός σε ένα μεταλλείο ώστε να μην χρειάζεται να προσαρμόζεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα το εταιρικό σχέδιο.

Στο παρακάτω Σχήμαδ παρουσιάζεται παραστατικά από την εταιρεία SRK Consulting ο Κυκλικός Σχεδιασμός μιας Εκμετάλλευσης (Fuykschot, 2009).



**Σχήμα 3.2. Ο Κυκλικός Σχεδιασμός μιας Εκμετάλλευσης (Cyclical Mine Planning) (Fuykschot, 2009)**

Από το παραπάνω σχήμα προκύπτει ότι πρέπει να αναλύεται το κάθε επιμέρους παράγοντας ξεχωριστά. Πρέπει να πραγματοποιείται ανάλυση των πόρων και των εισροών για να υπάρχει η δυνατότητα βελτιστοποίησής τους ώστε να μπορέσει να επέλθει το στάδιο του αυτού καθ' αυτού σχεδιασμού της εκμετάλλευσης. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τον σχεδιασμό και τους περιορισμούς της παραγωγής μπορεί να επέλθει το στάδιο κατά το

οποίο συντάσσεται το πρόγραμμα της παραγωγής. Προτού τεθούν όλα σε λειτουργία, πρέπει να εξετάζεται εάν είναι σύμφωνα με το υπάρχον οικονομικό μοντέλο τόσο της εταιρείας όσο και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Με αυτό τον τρόπο, προκύπτει σφαιρικότερη οπτική για το εάν και κατά πόσο είναι οικονομικά συμφέροντες, βιώσιμοι και ρεαλιστικοί οι στόχοι που έχει θέσει η εταιρεία στο σχέδιο της.

Μετά από την εφαρμογή ολόκληρου του σχεδιασμού με συνεχή αξιολόγηση (feedback) σε όλες τις επιμέρους παραμέτρους που μπορούν να επηρεάσουν το αποτέλεσμα, η εταιρεία δύναται να πράξει ορθολογικά και να πραγματοποιήσει τις απαραίτητες κινήσεις για την περαιτέρω ανάπτυξή της.

### 3.4 Τα στάδια του Στρατηγικού Σχεδιασμού

Η διαδικασία για την καταγραφή ενός Στρατηγικού Σχεδίου (Strategic Plan) χωρίζεται σε μικρότερα στάδια, τα οποία όλα μαζί στο τέλος συνθέτουν το τελικό Στρατηγικό Σχέδιο. Τα στάδια του Στρατηγικού Σχεδιασμού έχουν συλλεχθεί από το Soft Skills Training Archive του φοιτητικού οργανισμού BEST – Board of European Students of Technology (BEST, 2014).

#### 3.4.1 Καθορισμός βασικών στοιχείων

Στο πρώτο στάδιο, απαραίτητος είναι ο καθορισμός βασικών στοιχείων. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να έρθουν στην επιφάνεια απαντώντας στα παρακάτω ερωτήματα:

- Σε ποιο στάδιο βρίσκεται το εγχείρημα αυτή την στιγμή;
- Ποιο είναι το τελικό επιθυμητό αποτέλεσμα;
- Ποιο είναι το επιθυμητό χρονικό διάστημα για την επίτευξη του τελικού στόχου;
- Ποιοι είναι οι απαιτούμενοι πόροι για να υλοποιηθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα;

Για την απάντηση των παραπάνω ερωτήσεων απαιτείται η πλήρης κατανόηση του εγχειρήματος καθώς και να καθιστούν σαφή το όραμα, η αποστολή, οι στόχοι, οι αξίες και

οι διαθέσιμες τεχνικές. Θα πρέπει το όραμα να εξισορροπείται με την τρέχουσα πραγματικότητα και να ληφθούν υπ' όψιν όλες οι τυχόν αλλαγές και συνέπειες.

### 3.4.2 Ανάλυση εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος

Απαραίτητη προϋπόθεση για την συνέχεια της διαδικασίας του Στρατηγικού Σχεδιασμού αποτελεί η SWOT analysis. Τα αρχικά SWOT αντιπροσωπεύουν τις λέξεις Strengths, Weaknesses, Opportunities και Threats, δηλαδή τις Δυνατότητες, τις Αδυναμίες, τις Ευκαιρίες και τις Απειλές. Κατατάσσονται με τέτοιο τρόπο γιατί τα μεν δύο πρώτα πηγάζουν από το εσωτερικό περιβάλλον ενώ τα δύο επόμενα προκύπτουν από το εξωτερικό. Και για τις δύο περιπτώσεις οι Δυνατότητες και οι Ευκαιρίες κατατάσσονται στα βοηθητικά, ενώ οι Αδυναμίες και οι Απειλές στα επιβλαβή. Η ανάλυση SWOT στοχεύει στην αναγνώριση κρίσιμων θεμάτων. Με την ενίσχυση και αξιοποίηση των βοηθητικών στοιχείων που προκύπτουν από αυτήν καθώς επίσης και με την προσπάθεια για αποδυνάμωση των επιβλαβών θα μπορέσουν να δημιουργηθούν οι σωστές βάσεις για το εγχείρημα, οι οποίες θα βασίζονται στην πραγματικότητα.

Η SWOT analysis καταγράφεται, όπως υποδεικνύει το παρακάτω Σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.3.SWOT analysis

### 3.4.3 Θέσπιση των στόχων (Goal Setting) και του σχεδίου δράσης (Action Plan)

Μετά από όλη την ενδελεχή ανάλυση για τους παράγοντες που επηρεάζουν το εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον, το επόμενο στάδιο είναι η θέσπιση των στόχων (Goal Setting). Οι στόχοι που θα τεθούν θα πρέπει να έχουν ως βάση της παραπάνω αναλύσεις και να ακολουθούν το μοντέλο SMART.

Specific: Οι στόχοι θα πρέπει να είναι συγκεκριμένοι, ξεκάθαροι, απτοί και περιεκτικοί. Μπορούν να βρεθούν εύκολα απαντώντας στις ερωτήσεις “ποιος, που, πότε, τι και γιατί”.

Measurable: Θα πρέπει να είναι μετρήσιμοι όπως χρόνος, χρήμα, όγκος. Προσδιορίζονται μέσω της ερώτησης πόσο από τα πόσα.

Achievable: Οι στόχοι πρέπει να αποτελούν πρόκληση, αλλά όχι να είναι αδύνατοι.

Realistic: Θα πρέπει να είναι ρεαλιστικοί και να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

Time-bounded: Να καθίσταται εφικτή η δημιουργία χρονικού πλαισίου για την επίτευξη των επιζητούμενων αποτελεσμάτων.

Οι στόχοι που θεσπίστηκαν θα πρέπει με την σειρά τους να μπουν σε σειρά προτεραιότητας. Η αναβλητικότητα και η απόκλιση από τα βήματα του Στρατηγικού Σχεδιασμού επιφέρει στασιμότητα. Σκοπός είναι οι στόχοι να μεταφραστούν σε ένα σχέδιο δράσης (Action Plan), το οποίο αποτελεί την διαδικασία η οποία επιτρέπει την απόλυτη συγκέντρωση στον τελικό στόχο ενώ ταυτόχρονα βοηθά στην απόφαση των βημάτων που πρέπει να γίνουν ώστε αυτός να επιτευχθεί.

#### **3.4.4 Αξιολόγηση**

Το τελευταίο και ταυτόχρονα πρώτο στάδιο για τον Στρατηγικό Σχεδιασμό αποτελεί η αξιολόγηση της εφαρμογής του σχεδίου δράσης (Action Plan). Η διαρκής αξιολόγηση είναι εκείνη που προσφέρει την πλήρη επισκόπηση στον Στρατηγικό Σχεδιασμό, δείχνει την πρόοδο ανά πάσα στιγμή, τον βαθμό των κινδύνων και προάγει την επιτήρηση των διενεργειών. Στην περίπτωση που η πρόοδος του εγχειρήματος είναι ισχνή, τότε η αξιολόγηση επιτρέπει την εκ νέου εξέταση όλων των βημάτων του Στρατηγικού Σχεδιασμού.

### **3.5 Ανάλυση SWOT για την δυνατότητα υπόγειων εκμεταλλεύσεων της εταιρείας ΛΑΡΚΟ Γ.Μ.Μ.Α.Ε.**

Περνώντας από την θεωρία στην πράξη, στον παρακάτω Πίνακα 3.1 ακολουθεί μία ενδεικτική SWOT Analysis για την δυνατότητα υπόγειων εκμεταλλεύσεων της εταιρείας ΛΑΡΚΟ.



**Πίνακας 3.1 SWOT Analysis υπόγειων εκμεταλλεύσεων για την εταιρεία ΛΑΡΚΟ**

SWOT Analysis Underground Exploitation for LARCO G.M.M.S.A.		Positive	Negative
<b>Internal</b>		<p><b>Strengths</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Κοιτάσματα στην κατοχή της εταιρείας τα οποία δίνουν την δυνατότητα υπόγειας εκμετάλλευσης σε μεγάλη κλίμακα</li> <li>- Μοναδική ευρωπαϊκή εταιρεία που παράγει νικέλιο, έχοντας ένα ιδιαίτερο ειδικό βάρος στην ΕΕ που αντιμετωπίζει έλλειψη ορυκτών πρώτων υλών</li> </ul>	<p><b>Weaknesses</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Το υπάρχον προσωπικό δεν διαθέτει εμπειρία στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις</li> <li>- Υπάρχει έλλειψη τεχνογνωσίας και μηχανικού εξοπλισμού για τις υπόγειες εκμεταλλεύσεις</li> <li>- Δεν έχει γίνει Long-Term Strategic Planning για την δυνατότητα ανάπτυξης υπόγειων εκμεταλλεύσεων της εταιρείας</li> <li>- Δεν υπάρχουν δεδομένα ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών των κοιτασμάτων (π.χ. αντοχή) που θα επιτρέψουν την ακριβέστερη αξιολόγηση της πιθανότητας ανάπτυξης υπογείων εκμεταλλεύσεων</li> <li>- Υπάρχει έλλειψη αναγκαίων κεφαλαίων για την πραγματοποίηση επενδύσεων που θα επιτρέψει την ανάπτυξη υπόγειων εκμεταλλεύσεων</li> <li>- Η ευελιξία των κινήσεων της εταιρείας είναι περιορισμένη λόγω υφιστάμενων δομών που δεν έχουν εκσυγχρονιστεί.</li> </ul>
		<p><b>Opportunities</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Η εταιρεία δείχνει ισχυρή θέληση για την αξιοποίηση όλου του δυναμικού της καθώς και την ανάπτυξη συνεργασιών για να αξιολογήσει νέες δυνατότητες ακόμα και με την υπόγεια εκμετάλλευση κοιτασμάτων</li> <li>- Η αγορά κοιτασμάτων λατερίτη στο εξωτερικό είναι μία δυνατότητα που θα μπορούσε να επιφέρει στην εταιρεία σημαντικό ποσό εσόδων και κερδών</li> <li>- Η συνέχιση των εκμεταλλεύσεων στα κοιτάσματα της εταιρείας μπορεί να επιφέρει μεγαλύτερη παραγωγή και μπορεί να δώσει διεξόδους που</li> </ul>	<p><b>Threats</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Υπάρχει μεγάλος ανταγωνισμός στις αγορές του εξωτερικού και μεμονωμένες εταιρείες επηρεάζουν και πολλές φορές καθορίζουν και την τελική τιμή πώλησης του ίδιου προϊόντος</li> <li>- Η εταιρεία όντας εν μέρει κρατικού δικαίου επηρεάζεται άμεσα από την οικονομική και την πολιτική κατάσταση της χώρας</li> </ul>
<b>External</b>			

---

*σήμερα δεν έχει και να διασφαλίσει το μέλλον της εταιρείας καθώς οδηγούμαστε στην αύξηση της σχέσης εκμετάλλευσης των επιφανειακών εκμεταλλεύσεων*

*- Τα κοιτάσματα που πρόκειται να εκμεταλλευθούν υπόγεια περιέχουν μεγαλύτερη ποσότητα σε χρήσιμο υλικό και αυτό με την σειρά του κάνει την εταιρεία πιο ανταγωνιστική στην αγορά, αυξάνοντας τα κέρδη της καθώς οι δαπάνες μειώνονται*

---

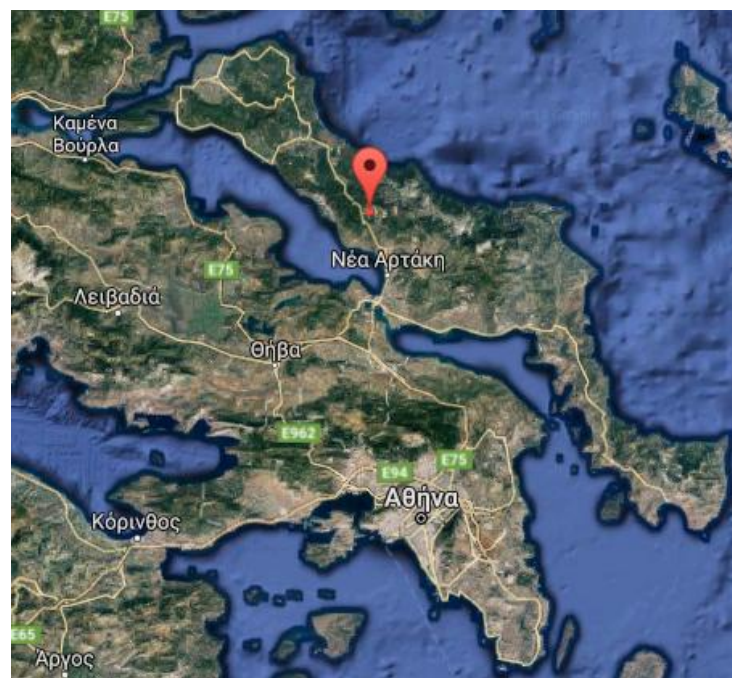
Μέσα σε αυτό το πλαίσιο επιδιώκεται η εξέταση των κοιτασμάτων της εταιρείας ΛΑΡΚΟ. Με τον Μακροπρόθεσμο Στρατηγικό Σχεδιασμό εξετάζονται διαφορετικά σενάρια, συγκρίνονται εναλλακτικές λύσεις καθώς και το πλαίσιο ανάλυσης αυτών, αξιολόγησης των διαθέσιμων πόρων και μεθόδων που δίνονται. Ο στόχος είναι να διερευνηθεί και να απαντηθεί το ερώτημα εάν είναι συμφέρον οικονομικά να προβεί η εταιρεία στην υπόγεια εκμετάλλευση των κοιτασμάτων της ή όχι.

## 4. ΤΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΒΑ ΑΚΡΕΣ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΛΑΡΚΟ Γ.Μ.Μ.Α.Ε.

### 4.1 Εισαγωγή

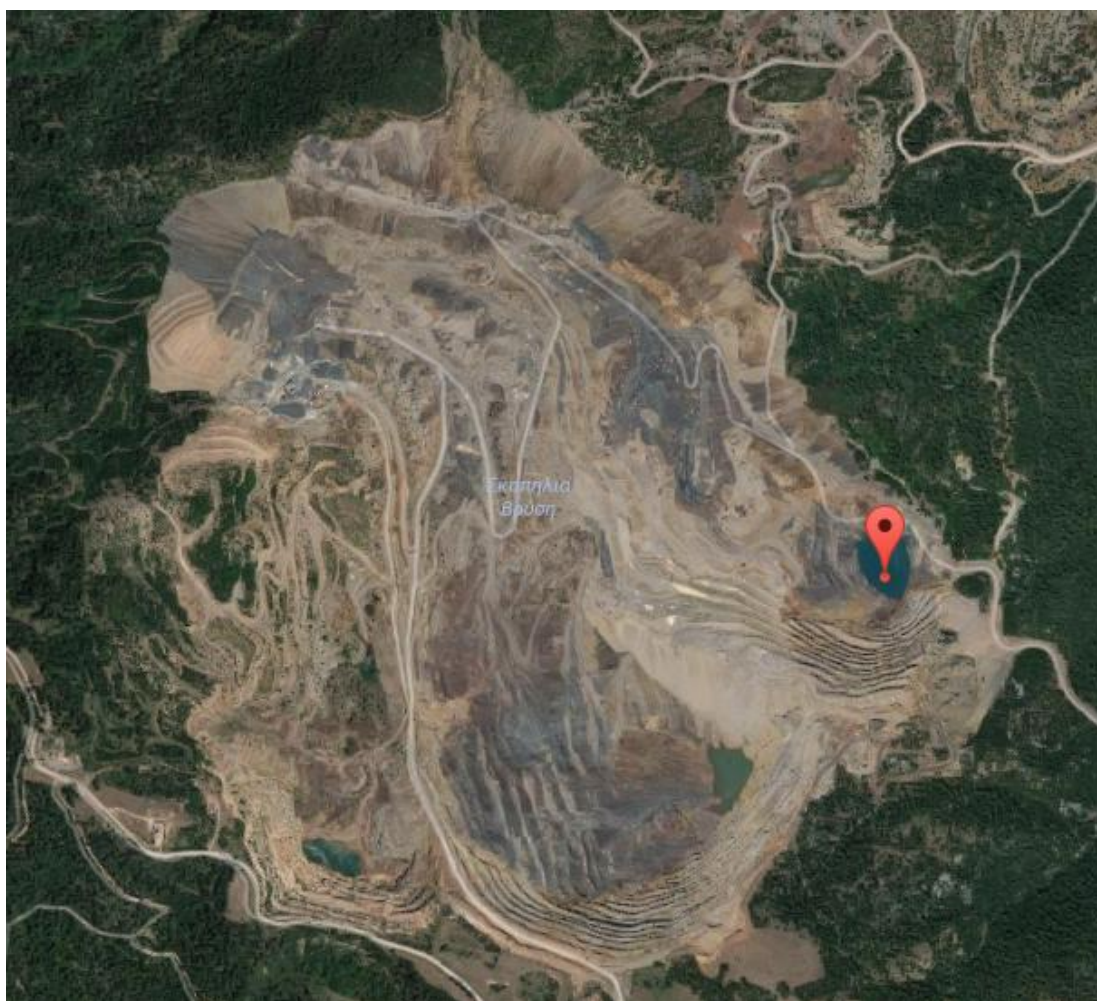
Το κοιτάσμα των Β.Α. Ακρών κατατάσσεται στην ευρύτερη κατηγορία του Σιδηρονικελιούχου (Fe-Ni) λατερίτη. Οι λατερίτες είναι πετρώματα που σχηματίζονται από χημική αποσάθρωση υπερβασικών, βασικών ή/και όξινων πετρωμάτων σε τροπικά ή υποτροπικά περιβάλλοντα (Χρηστίδης, 2002). Τα εν λόγω κοιτάσματα είναι πλούσια σε δευτερογενή οξειδία ή και υδροξειδία του σιδήρου, κλαστικούς κόκκους χρωμίτη και χρωμίτη-μαγνητίτη και περιέχουν αυξημένη ποσότητα νικελίου.

Το κοιτάσμα των Β.Α. Ακρών βρίσκεται στην κεντρική Εύβοια (Εικόνα 4.1) εντός των ορίων του Δήμου Διρφύων – Μεσσαπίων στην Δημοτική Ενότητα Μεσσαπίων και ανήκει στην Τοπική Κοινότητα Κυπαρισσίου. Οι συντεταγμένες του κοιτάσματος είναι: 38°39'35.38"Β , 23°35'3.03"Α



Εικόνα 4.1. Η τοποθεσία του κοιτάσματος ΒΑ Άκρες

Στην Εικόνα 4.2 αποτυπώνονται η κάτοψη του κοιτάσματος από το δορυφόρο.



**Εικόνα 4.2. Κάτοψη του κοιτάσματος ΒΑ Άκρες από τον δορυφόρο**

Με βάση τα στοιχεία της εταιρείας ΛΑΡΚΟ, το απόθεμα του κοιτάσματος ανέρχεται στους 850.000 τμμε 1,06% περιεκτικότητα σε νικέλιο Ni. Το ύψος του υπερκείμενου ασβεστόλιθου είναι περίπου 230m. Η κλίση του κοιτάσματος κυμαίνεται 7° έως 18° και το μέσο πάχος της μεταλλοφορίας όπως αυτό προέκυψε από γεωτρήσεις στην περιοχή ισούται με 10m.

Στην Εικόνα 4.3 υπάρχει φωτογραφία από το κοιτάσμα όπως αυτό ήταν την 23<sup>η</sup> Νοεμβρίου 2016.





**Εικόνα 3.3. Εξωτερική άποψη του κοιτάσματος των ΒΑ Ακρών 23/11/2016**

## **4.2 Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής**

Το κοιτάσμα των Β.Α. Ακρών ανήκει στην Ζώνη της Ανατολικής Ελλάδας (Εικόνα 4.4). Το κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα της εν λόγω ζώνης είναι η παρουσία των οφιολίθων. Τα σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα που σχηματίστηκαν πάνω στο μητρικό πέτρωμα (οφιόλιθος), αποκαλύφθηκαν αργότερα λόγω της Κενομάνιας επίκλησης της θάλασσας που ακολούθησε. Για την γεωλογία της ευρύτερης περιοχής, λεπτομέρειες δίνονται στα παρακάτω στοιχεία από την αναφορά της εταιρείας ΛΑΡΚΟ. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί στην περιοχή, από τους παλαιότερους προς τους νεότερους είναι:

- Κάτω-ιουρασικοί ασβεστόλιθοι
- Σχιστοκερατολιθική διάπλαση με οφιόλιθους
- Νικελιούχα Σιδηρομεταλλεύματα
- Άνω-κρητιδικοί ασβεστόλιθοι
- Φλύσχης
- Νεογενείς
- Τεταρτογενείς σχηματισμοί



μεταλλοφορίας. Οι εν λόγω ασβεστόλιθοι χαρακτηρίζονται από υψηλή καρστικότητα και μεγάλο συντελεστή υδροπερατότητας.

Η σχιστοκερατολιθική διάπλαση μετά οφιολίθων είναι κάτω κρητιδικής – άνω ιουρασικής ηλικίας. Η σχιστοκερατολιθική διάπλαση αποτελείται κυρίως από κεραμόχρωμους κοκκινωπούς κερατολίθους και πρασινοκάστανους αργλικούς σχιστολίθους, ενώ οι οφιόλιθοι συνίστανται κυρίως από σερπεντινίτες, περιδοτίτες και διαβάσες. Τόσο η σχιστοκερατολιθική διάπλαση, όσο και οι οφιόλιθοι είναι πρακτικά υδατοστεγανοί γεωλογικοί σχηματισμοί, με ιδιαίτερα χαμηλή υδροπερατότητα και υπόκεινται σε ορισμένες περιοχές της μεταλλοφορίας.

Τα νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα σχηματίστηκαν κατά την Κενομάνιο επίκλυση και βρίσκονται κάτω από τους άνω-κρητιδικούς ασβεστόλιθους και σε ασυμφωνία με του προκενομάνιους σχηματισμούς. Πρόκειται για συμπαγές ή πηλολιθικό μετάλλευμα, με λατύπες συνήθως πυριτολιθικές. Το μήκος των εμφανίσεων είναι από μερικά έως εκατοντάδες μέτρα ενώ το πάχος από 0,5 έως και 45 m.

Οι άνω-κρητιδικοί ασβεστόλιθοι υπέρκεινται της μεταλλοφορίας, είναι μαργαϊκοί κιτρινωποί έως τερφοί, άστρωτοι έως παχυστρωματώδεις, που εξελίσσονται στους ανώτερους ορίζοντες σε μεσοστρωματώδεις έως λεπτοστρωματώδεις. Χαρακτηρίζονται από υψηλή καρστικότητα και μεγάλο συντελεστή υδροπερατότητας.

Ο φλύσχης αδιαίρετος παλαιοκαινικής ηλικίας συνίσταται από λεπτόκοκκους έως μεσόκοκκους ψαμμίτες, σε στρώσεις πάχους 5-10 cm, που εναλλάσσονται με καστανοπράσινους έως τερφοκάστανους αργλικούς σχιστολίθους και παχυστρωματώδεις, τερφούς, κλαστικούς ασβεστολίθους με απολιθώματα.

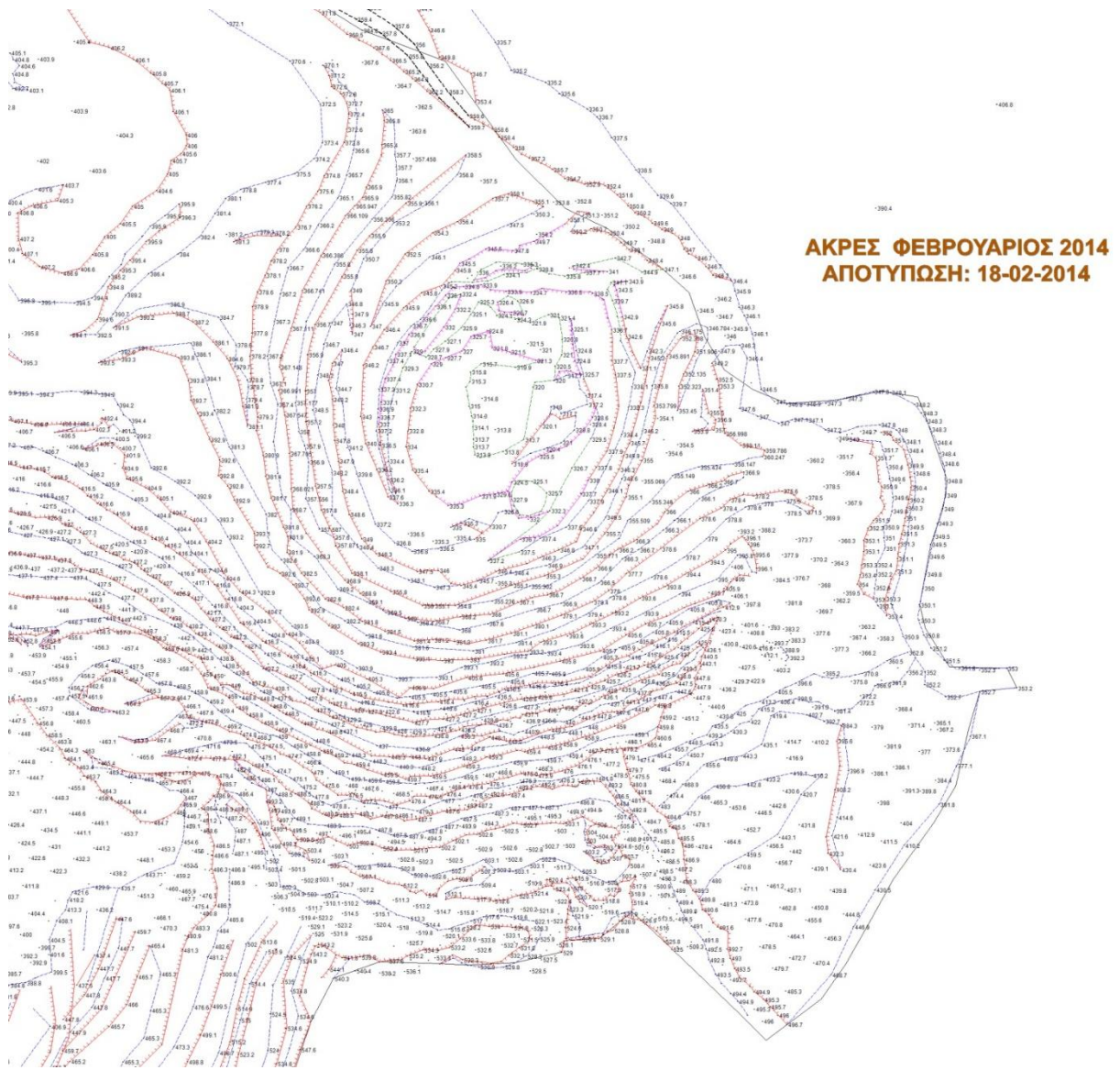
Οι νεογενείς σχηματισμοί αποτελούνται από λιμνιαίες αποθέσεις και από εναλλαγές θαλασσίων και λιμνιαίων αποθέσεων.

Οι τεταρτογενείς σχηματισμοί συνίστανται από πλειστοκαινικές λιμνιαίες έως υφάλμυρης φάσης κώνους κορημάτων (παλαιούς – νέους, χαλαρούς – συνεκτικούς) και από αλλουβιακές αποθέσεις.



### 4.3 Υπαίθρια Εκμετάλλευση του κοιτάσματος ΒΑ Άκρες

Τα συνολικά αποθέματα του κοιτάσματος εκτιμώνται σε 756.000 tn με Σχέση Αποκάλυψης 14,72 m<sup>3</sup>/tn. Η υφιστάμενη κατάσταση εκμετάλλευσης στο κούτασμα των ΒΑ Ακρών απεικονίζεται στην Εικόνα 4.5.



Εικόνα 4.5. Χάρτης της υφιστάμενης κατάστασης στο κούτασμα των Ακρών

Η εταιρεία ΛΑΡΚΟ έχει καταθέσει μελέτη για την απόληψη σχεδόν όλου του συνόλου του κοιτάσματος με υπαίθρια μέθοδο εκμετάλλευσης, η οποία σχεδιάζεται να γίνει σε δύο φάσεις. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη φάση που έχει μελετηθεί προς υλοποίηση αφορά στην



εκμετάλλευση 341.000 tn μεταλλεύματος και έχει Σχέση Αποκάλυψης 9,91 m<sup>3</sup>/tn. Ακολούθως, η δεύτερη φάση αφορά στην περαιτέρω ανάπτυξη της εκσκαφής για την εκμετάλλευση των υπόλοιπων 415.000 tn με τοπική σχέση αποκάλυψης η οποία θα φτάνει τα 19,53 m<sup>3</sup>/tn.

.

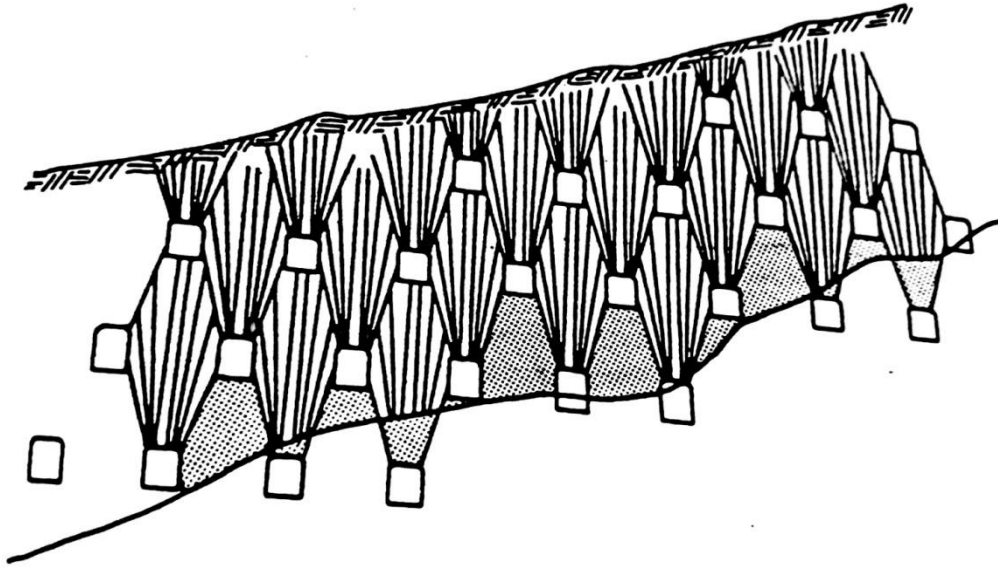
## 5. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΓΙΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΜΕΘΟΔΟ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΣΤΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΤΩΝ ΒΑ ΑΚΡΩΝ

### 5.1 Εισαγωγή

Η πιθανότητα ανάπτυξης υπόγειας εκμετάλλευσης είναι κάτι που θα διερευνηθεί στα πλαίσια της εργασίας. Φαντάζει αρχικά ως εφικτή, από τη στιγμή μάλιστα που η επιφανειακή εκμετάλλευση εμφανίζει υψηλές σχέσης εκμετάλλευσης. Για να υπάρξουν όμως πληροφορίες για την οικονομικότητα του εγχειρήματος είναι ιδιαίτερης σημασίας η επιλογή της μεθόδου υπόγειας εκμετάλλευσης καθώς και τα εν γένει χαρακτηριστικά αυτής.

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο το ύψος των υπερκειμένων στο κοιτάσμα είναι περίπου 230 m, η κλίση του κοιτάσματος είναι μικρή και δεν ξεπερνά τις 18° και το μέσω πάχος της μεταλλοφορίας ισούται με 10 m. Με βάση τα αρχικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος, το ποσοστό μεταλλοφορίας του καθώς και τα οικονομικά του χαρακτηριστικά φαίνονται ως ελκυστικές οι μέθοδοι εκμετάλλευσης με κενά και με κατακρημνιζόμενα μέτωπα. Πιο συγκεκριμένα, οι μέθοδοι των θαλάμων και στύλων καθώς και της κατακρήμνισης οροφής με διαδοχικούς υποορόφους προσφέρουν οικονομικότητα, παραγωγικότητα ενώ είναι συμβατές με το πάχος και την κλίση του κοιτάσματος, καθώς;

- Η μέθοδος θαλάμων και στύλων ενδείκνυται για κοιτάσματα με χαρακτηριστικά όπως του κοιτάσματος των ΒΑ Ακρών, δηλαδή μικρής κλίσης, σχετικά μικρού πάχος και μεγάλης έκτασης.
- Η μέθοδος κατακρήμνιση οροφής με διαδοχικούς υποορόφους, μπορεί να τροποποιηθεί και να χρησιμοποιηθεί ώστε να γίνεται η εκμετάλλευση σε ένα υπόροφο εξορύσσοντας το κοιτάσμα κατά το πάχος του και αντισταθμίζοντας έτσι τη μικρή κλίση του κοιτάσματος (Εικόνα 5.1)



Εικόνα 5.1 Εκμετάλλευση κοιτάσματος μικρής κλίσης με τη μέθοδο κατακρήμνισης οροφής με διαδοχικούς υποορόφους (Τερεζόπουλος, 2003)

Και οι δύο μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στον Ελλαδικό χώρο ενώ η μέθοδος κατακρήμνισης έχει χρησιμοποιηθεί επί σειρά ετών στην υπόγεια εκμετάλλευση σιδηρονικελίου στην περιοχή του Αγ. Ιωάννη Λάρυμνας.

Σημαντικός παράγοντας για την επιτυχή ανάπτυξη της εκμετάλλευσης όμως είναι και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των περιβαλλόντων πετρωμάτων και του κοιτάσματος. Στο συγκεκριμένο τομέα δυστυχώς δεν υπήρχε μεγάλος αριθμός προηγούμενων ερευνών επομένως αποφασίστηκε η διενέργεια εργαστηριακών αναλύσεων προσδιορισμού της αντοχής του μεταλλεύματος. Με βάση αυτά γίνονται στη συνέχεια οι υπολογισμοί και η ανάλυση των χαρακτηριστικών σχεδιασμού των υπόγειων εκμεταλλεύσεων.

## 5.2 Δοκιμή φόρτισης (Point Load Test)

Για τον προσδιορισμό της αντοχής του κοιτάσματος πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σημειακής φόρτισης (Point Load Test) στο εργαστήριο της σχολής των Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο σε δείγματα που

συλλέχθηκαν από τον εξωτερικό περιβάλλοντα χώρο της υπό εξέταση εκμετάλλευσης την 23<sup>η</sup> Νοεμβρίου 2016.

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της αντοχής ανεξαρτήτως σχήματος των δειγμάτων (κυλινδρικά, ομοιόμορφα, ανομοιόμορφα). Το βασικότερο πλεονέκτημα του Point Load Test είναι ότι για να πραγματοποιηθούν οι δοκιμές στη συσκευή φόρτισης (Εικόνες 5.2) απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί το δείγμα να είναι μεγαλύτερο από τις ελάχιστες απαιτούμενες διαστάσεις, οι οποίες είναι μείζονος σημασίας ώστε να είναι εφικτή η πραγματοποίηση δοκιμής φόρτισης. Ένα ακόμα πλεονέκτημα της δοκιμής σημειακής φόρτισης αποτελεί το γεγονός ότι η συσκευή με την οποία πραγματοποιούνται οι μετρήσεις είναι φορητή, συνεπώς μπορούν να πραγματοποιηθούν οπουδήποτε. (Galvan, etal., 2014)



**Εικόνα 5.2. Η συσκευή μέτρησης σημειακής φόρτισης**

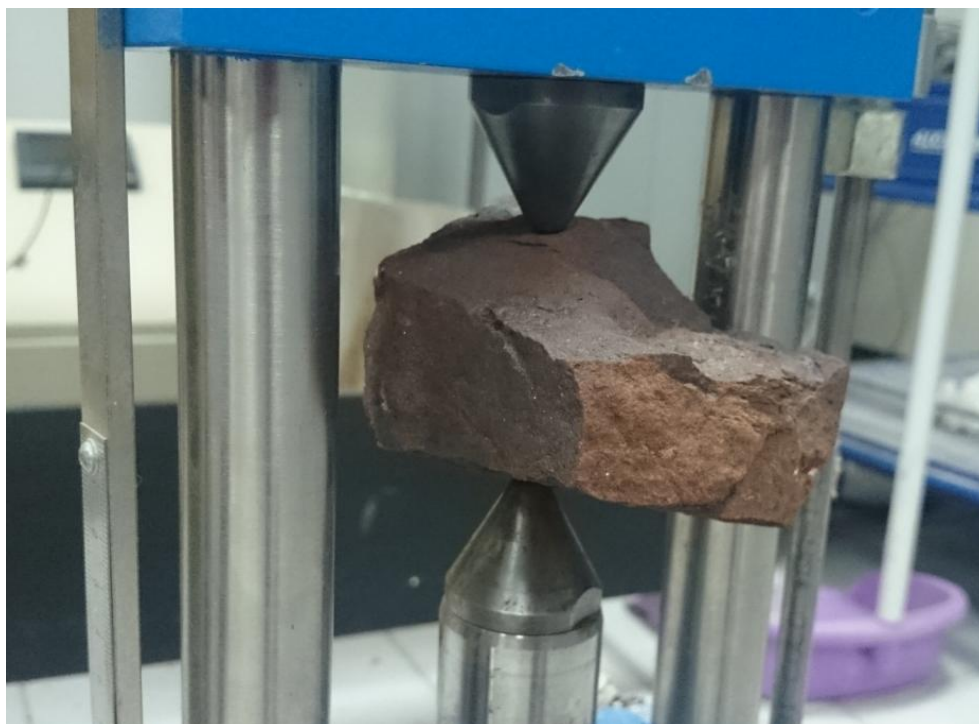
Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν ακολουθώντας το πρότυπο (International Society for Rock Mechanics - ISRM, 1985). Έχοντας ως σημείο αναφοράς το πρότυπο, τα δείγματα πρέπει να ικανοποιούν συγκεκριμένες παραμέτρους, οι οποίες καθορίζονται ανάλογα με το σχήμα τους. Τα δείγματα που εξετάστηκαν ήταν ορθογωνικής διατομής. Συνεπώς, οι παράμετροι που έπρεπε να πληροί το κάθε δείγμα είναι οι εξής:

- Το μέσο πλάτος  $L$  να είναι μεγαλύτερο από το μισό του μέσου ύψους  $D$  ( $L > D$ )
- Το μέσο ύψος  $D$  να είναι μικρότερο από το μέσο πλάτος  $W$  και μεγαλύτερο από το μέσο πλάτος  $W$  πολλαπλασιασμένο με 0,3 ( $W > D > 0,3 \times W$ )

Μόνο στην περίπτωση που πληρούνταν και οι δύο παράμετροι σε κάθε δείγμα, ήταν εφικτό να προχωρήσει η διαδικασία Δοκιμής Φόρτισης. Στην Εικόνα 5.3 παρουσιάζεται ένα από τα δείγματα που πληροί και τις δύο παραμέτρους. Εάν το δείγμα πληροί τις παραμέτρους τότε τοποθετείται στο μηχάνημα όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.4 και του ασκείται φόρτιση έως ότου επέλθει η αστοχία.



**Εικόνα 5.3. Ενδεικτικό δείγμα που πληροί και τις δύο βασικές πρώτες παραμέτρους για να πραγματοποιηθεί σε αυτό η Δοκιμή Φόρτισης**



**Εικόνα 5.4. Ορθή τοποθέτηση του δείγματος στη συσκευή φόρτισης**

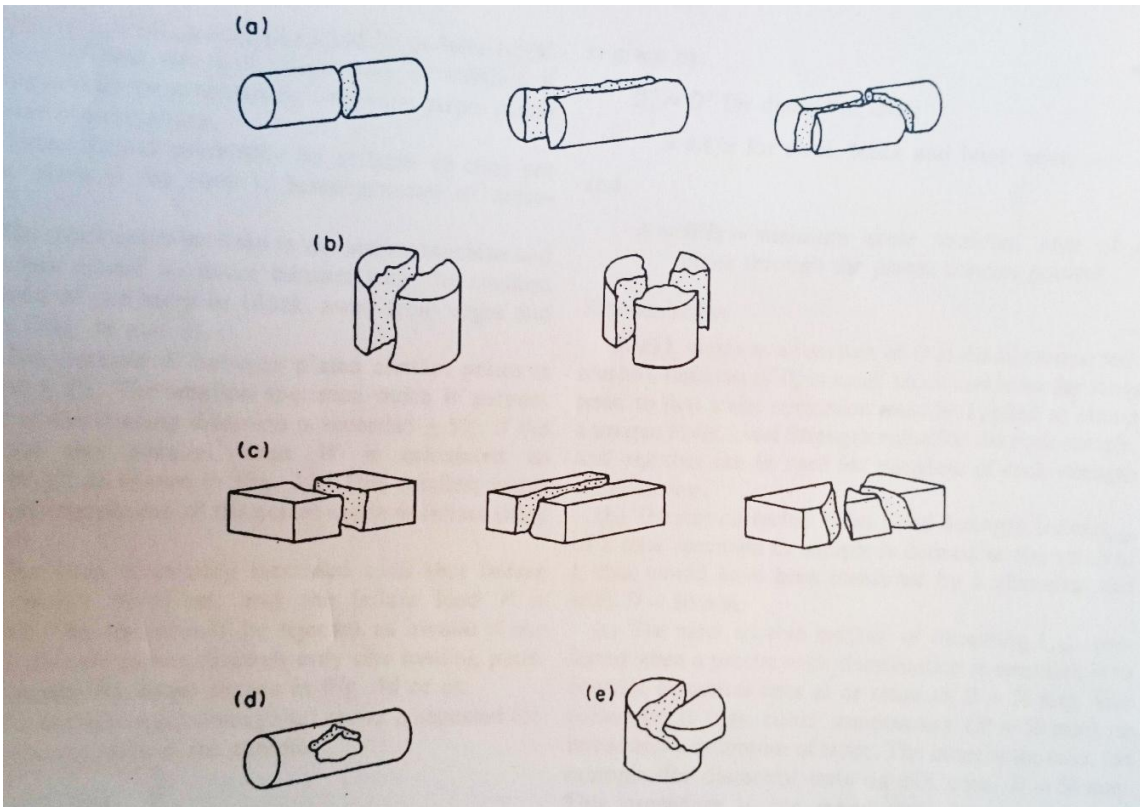
Μόλις επέλθει η αστοχία, πάνω στη συσκευή φόρτισης (Εικόνα 5.5) αναγράφεται το φορτίο (σε KN) στο οποίο αστόχησε το δείγμα.

Επιπροσθέτως, για να θεωρείται έγκυρο το τεστ, πρέπει η αστοχία να έχει επέλθει μέχρι τα 60 sec από την στιγμή που ξεκινά η εκάστοτε Δοκιμή Φόρτισης και ο τρόπος σπασίματος να θεωρείται έγκυρος με βάση το πρωτότυπο. Στην παρακάτω Εικόνα 5.6 παρουσιάζονται τα σκίτσα από τους έγκυρους και μη τρόπους σπασίματος ενός πετρώματος κατά την Δοκιμή Φόρτισης, όπως αυτά δίνονται από την International Society for Rock Mechanics - ISRM (1985).





Εικόνα 5.5. Ο μετρητής της συσκευής φόρτισης



Εικόνα 5.6. Έγκυρος και μη τρόπος σπασίματος (International Society for Rock Mechanics - ISRM, 1985). Τα σκίτσα a, b, c έχουν σπάσει σύμφωνα με τις προδιαγραφές, ενώ τα σκίτσα d και e δεν θεωρούνται έγκυρα.

Στις παρακάτω Εικόνες 5.7, 5.8 και 5.9 φαίνεται η αστοχία ενός από τα δείγματα που εξετάστηκαν από διαφορετικές οπτικές γωνίες, η οποία κατατάσσεται ως αποδεκτή.



**Εικόνα 5.7. Κάτοψη δείγματος με αποδεκτό τρόπο σπασίματος κατά την αστοχία**



**Εικόνα 5.8. Πλάγια όψη του δείγματος με αποδεκτό τρόπο σπασίματος κατά την αστοχία**





**Εικόνα 5.9. Πλάγια όψη του δείγματος με αποδεκτό και εμφανή τρόπο σπασίματος κατά την αστοχία**

Στον παρακάτω Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται αναλυτικά οι μετρήσεις που έγιναν καθώς επίσης και τα αποτελέσματα των υπολογισμών του δείκτη Point Load Index  $Is_{(50)}$  με τη βοήθεια του οποίου δύναται να υπολογιστεί η αντοχή του πετρώματος. Όλοι οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς ακολουθούν το πρότυπο της ISRM (1985).

**Πίνακας 5.1. Αποτελέσματα της Δοκιμής Φόρτισης (Point Load Test) για τα δείγματα του κοιτάσματος των ΒΑ Ακρών**

Δείγμα					Υπολογισμοί												
α/α Δείγματος	Όνομα Δείγματος	Μέσο Μήκος L (mm)	Μέσο Πλάτος W (mm)	Μέσο ύψος D (mm)	$0,5 * D$	Παράμετρος 1: $L > 0,5 * D$ (Ναι/Όχι)	$0,3 * W$	Παράμετρος 2: $0,3 * W < D < W$ (Ναι/Όχι)	Χρόνος για την αστοχία (sec)	Failure load P (KN)	Είναι έγκυρο το τεστ; (τρόπος σπασίματος)	$A = W * D$ ( $mm^2$ )	$De^2 = 4 * \frac{A}{\pi}$	De	$F = \left(\frac{De}{50}\right)^{0,45}$	$Is = P/De^2$ (Μpa)	$Is(50) = F * Is$
1	ΒΑ Ακρες Δ4	84	50	40	20.00	Ναι	15.00	Ναι	3	10.00	Ναι	2000.00	2547.77	50.48	1.00	3.93	3.94
2	ΒΑ Ακρες Δ6 I	146	58	41	20.45	Ναι	17.51	Ναι	πολύ λίγο	0,99	Ναι	2386.34	3039.92	55.14	1.04	0.33	0.34
3	ΒΑ Ακρες Δ6 II	74	50	48	24.01	Ναι	15.08	Ναι	πολύ λίγο	0,52	Ναι	2413.97	3075.12	55.45	1.05	0.17	0.18
4	ΒΑ Ακρες Δ2 I	61	71	52	26.08	Ναι	21.38	Ναι	32	12,56	Ναι	3717.28	4735.39	68.81	1.15	2.65	3.06
5	ΒΑ Ακρες Δ2 II	97	74	66	32.80	Ναι	22.23	Ναι	36	12,59	Ναι	4859.56	6190.53	78.68	1.23	2.03	2.49
6	ΒΑ Ακρες Δ5	147	53	62	31.25	Ναι	15.94	Ναι	13	7,64	Ναι	3320.09	4229.42	65.03	1.13	1.81	2.03
7	ΒΑ Ακρες Δ1 I	64	48	41	20.38	Ναι	14.26	Ναι	3	2,04	Ναι	1937.73	2468.45	49.68	1.00	0.82	0.82
8	ΒΑ Ακρες Δ1 III	47	39	24	12.17	Ναι	11.67	Ναι	πολύ λίγο	2,53	Ναι	946.83	1206.15	34.73	0.85	2.10	1.78
9	ΒΑ Ακρες Δ8	84	76	49	24.40	Ναι	22.83	Ναι	πολύ λίγο	1,10	Ναι	3713.41	4730.45	68.78	1.15	0.23	0.27
10	ΒΑ Ακρες Δ7	184	104	77	38.66	Ναι	31.28	Ναι	πολύ λίγο	2,66	Ναι	8062.93	10271.25	101.35	1.37	0.26	0.36
11	ΒΑ Ακρες Δ1 III	80	45	46	23.03	Ναι	13.61	Ναι	πολύ λίγο	4,07	Ναι	2089.29	2661.51	51.59	1.01	1.53	1.55

Για τον υπολογισμό της αντοχής του πετρώματος επεξεργάστηκαν τα παραπάνω στοιχεία. Εφόσον δεν υπάρχει βιβλιογραφικά ακριβής σχέση για την συσχέτιση του εν λόγω πετρώματος με την αντοχή, για τον υπολογισμό χρησιμοποιήθηκε η προτεινόμενη σχέση από την ISRM (1985). Κατά την σχέση αυτή,

$$UCS = (20, \dots, 25) * PLI$$

όπου,

UCS (Uniaxial Compressive Strength): η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη και

PLI (Point Load Index): ο δείκτης  $Is_{50}$  που έχει προκύψει από τους παραπάνω υπολογισμούς, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.1

Αξιοποιώντας τις τιμές  $Is_{50}$  που προέκυψαν από τους υπολογισμούς στον Πίνακα 5.1 και πολλαπλασιάζοντάς τες διαδοχικά με τους ακεραίους από 20 έως 25, όπως υποδεικνύει ο προαναφερθέν τύπος, προκύπτουν οι πιθανές τιμές για αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του πετρώματος (UCS), οι οποίες και αναγράφονται στον κάτωθι Πίνακα 5.2.

**Πίνακας 5.2. Αποτελέσματα υπολογισμού αντοχής του πετρώματος για το κοίτασμα των ΒΑ Ακρών**

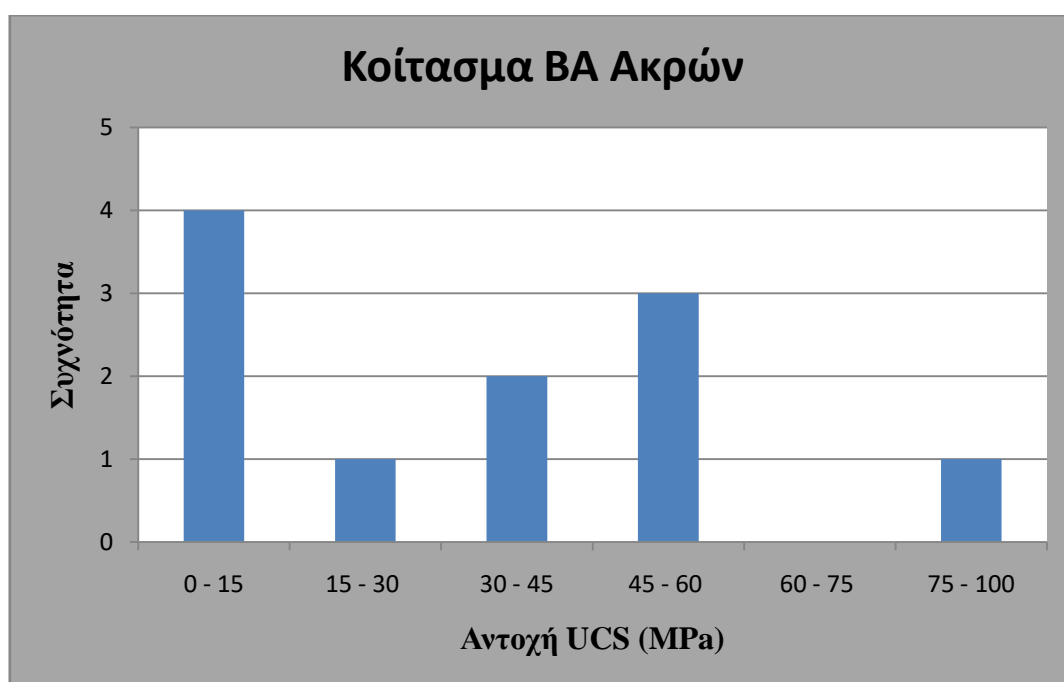
α/α Δείγματος	ISRM (1985)					
	x20	x21	x22	x23	x24	x25
1	78,5	82,4	86,4	90,3	94,2	98,1
2	6,5	6,8	7,2	7,5	7,8	8,1
3	3,4	3,5	3,7	3,9	4,0	4,2
4	53,0	55,7	58,4	61,0	63,7	66,3
5	40,7	42,7	44,7	46,8	48,8	50,8
6	36,1	37,9	39,7	41,5	43,4	45,2
7	16,5	17,3	18,1	19,0	19,8	20,6
8	42,0	44,0	46,1	48,2	50,3	52,4
9	4,7	4,9	5,1	5,3	5,6	5,8
10	5,2	5,4	5,7	5,9	6,2	6,5
11	30,6	32,1	33,6	35,2	36,7	38,2

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τους υπολογισμούς στον Πίνακα 5.2, πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω στατιστικοί υπολογισμοί του Πίνακα 5.3, για να υπολογιστεί η μέγιστη, η ελάχιστη, η μέση τιμή, η διάμεσος τιμή καθώς επίσης και η τυπική τους απόκλιση.

**Πίνακας 5.3: Στατιστικοί υπολογισμοί για τα ανωτέρω αποτελέσματα που προέκυψαν για το κοίτασμα των ΒΑ Ακρών**

Αντοχή UCS	MPa
Ελάχιστη (Min)	3,4
Μέγιστη (Max)	98,1
Μέση Τιμή (Average)	32,4
Διάμεσος Τιμή (Median)	33,6
Τυπική Απόκλιση (Standard Deviation )	27,3

Η γραφική απεικόνιση των παρακάτω δεδομένων φαίνεται στο παρακάτω ιστόγραμμα κατανομής της αντοχής του πετρώματος (Σχήμα 5.1).



**Σχήμα 5.1. Ιστόγραμμα των τιμών PLI (Point Load Index) για το κοίτασμα των ΒΑ Ακρών**

Στον Πίνακα 5.4, ο οποίος ακολουθεί, υπάρχει η κατηγοριοποίηση πετρωμάτων ανάλογα με την αντοχή τους σε μονοαξονική θλίψη. (International Society for Rock Mechanics - ISRM, 1985)

**Πίνακας 5.4 Κατηγοριοποίηση πετρωμάτων ανάλογα με την αντοχή τους σε μονοαξονική θλίψη (International Society for Rock Mechanics - ISRM, 1985)**

Term for Uniaxial Compressive Strength	Symbol	Strength (MPa)	Ranges for some Common Rock Materials				
			Granite, Basalt, Gneiss, Quartzite, Marble	Schist Sandstone	Limestone, Siltstone	Slate	Concrete
Extremely Weak	EW	0.25 - 1		**	**		
Very weak	VW	1 - 5		**	**	**	**
Weak	W	5 - 25		**	**	**	**
Medium Strong	MS	25 - 50	**		**	**	
Strong	S	50 - 100	**				
Very Strong	VS	100 - 250	**				
Extremely Strong	ES	>250	**				

Λαμβάνοντας, υπ' όψιν τις τιμές αντοχής που προέκυψαν ανωτέρω για το κοίτασμα των ΒΑ Ακρών, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η αντοχή του πετρώματος χαρακτηρίζεται ως ασθενής (weak - W) έως μέσης αντοχής (medium strong - MS).

Τα στοιχεία που προέκυψαν για το κοίτασμα των ΒΑ Ακρών συγκρίθηκαν με τα στοιχεία που δίνονται σε μια επιστημονική δημοσίευση των Ρόζου και Κούκη (1986). Τα στοιχεία της δημοσίευσης των προαναφερθέντων έχουν προκύψει από μετρήσεις σε λατεριτικό σιδηρονικελιούχο κοίτασμα στον Ελλαδικό χώρο.

Στον Πίνακα 5.5 παρουσιάζονται οι τιμές της αντοχής των δειγμάτων που εξέτασαν για την δημοσίευσή τους οι (Ρόζος & Κούκης, 1986). Στον Πίνακα 5.6 πραγματοποιήθηκαν οι στατιστικοί υπολογισμοί του όπως και για το κοίτασμα των ΒΑ Ακρών στον Πίνακα 5.3 αντίστοιχα, για να υπολογιστή η μέγιστη, η ελάχιστη, η μέση τιμή, ο μέσος όρος τους καθώς επίσης και η τυπική τους απόκλιση.

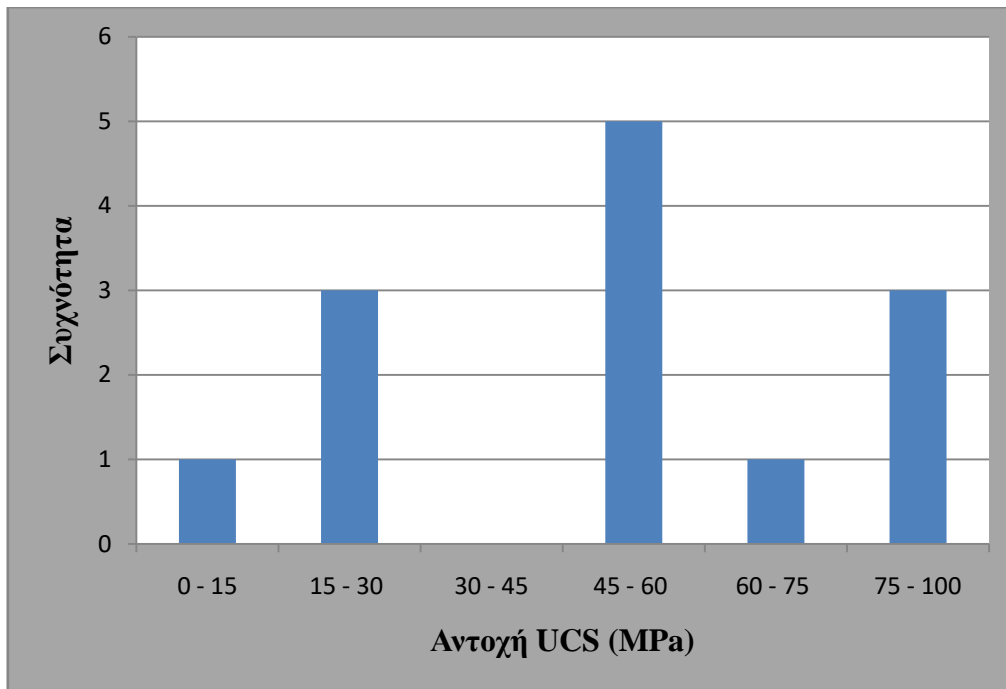
**Πίνακας 5.5: Αντοχή του πετρώματος (Ρόζος & Κούκης, 1986)**

<b>α/α δείγματος</b>	<b>Αντοχή (mPa)</b>
1	96,9
2	15,6
3	25,8
4	52,8
5	57,2
6	49,5
7	53,7
8	76,8
9	9,1
10	22,3
11	59
12	72,6
13	89,3

**Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης για την αντοχή του πετρώματος (Ρόζος & Κούκης, 1986)**

<b>Αντοχή UCS</b>	<b>MPa</b>
Ελάχιστη (Min)	9,1
Μέγιστη (Max)	96,9
Μέση Τιμή (Average)	52,4
Διάμεσος Τιμή (Median)	53,7
Τυπική Απόκλιση (Standard Deviation )	27,8

Στο Σχήμα 5.2 οπτικοποιήθηκαν τα παραπάνω δεδομένα σε ένα ιστόγραμμα κατανομής της αντοχής του πετρώματος.



**Σχήμα 5.2. Ιστόγραμμα των τιμών της αντοχής για το κοίτασμα της προαναφερθείσας δημοσίευσης (Ρόζος & Κούκης, 1986)**

Λαμβάνοντας, υπ' όψιν τις τιμές αντοχής που προέκυψαν ανωτέρω για το κοίτασμα της δημοσίευσης των Ρόζου και Κούκη (1986) και εξετάζοντας τον Πίνακα 5.4 της ISRM (1985) προκύπτει το συμπέρασμα ότι η εν λόγω περίπτωση βρίσκεται στην κατηγορία των πετρωμάτων μέσης (medium strong - MS) έως υψηλής αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (strong - S).

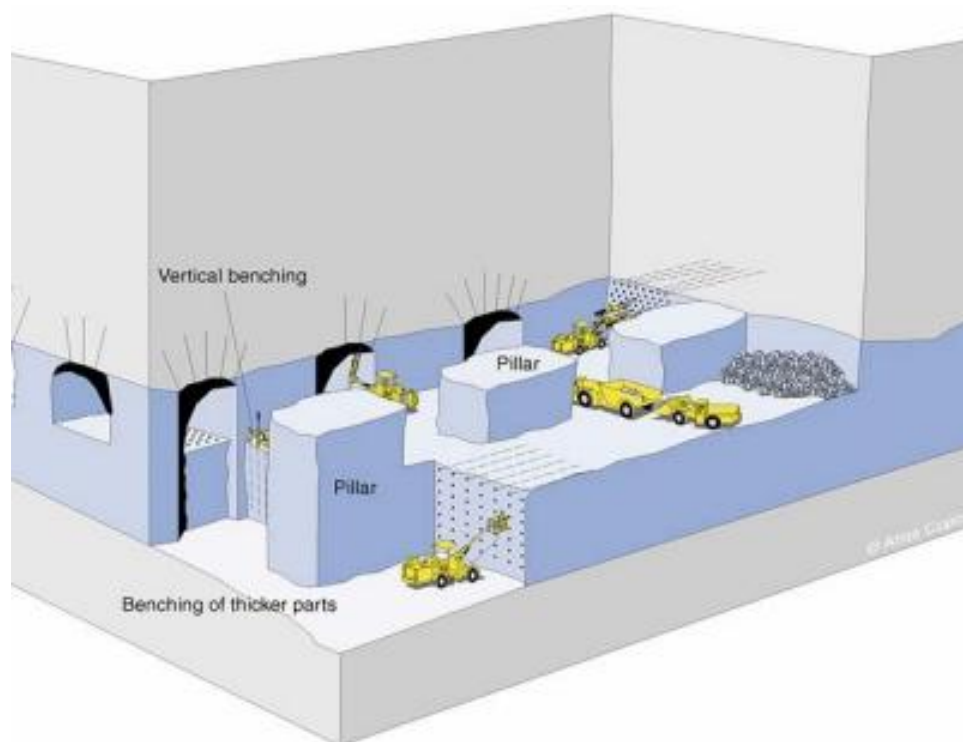
Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις το εύρος της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής της αντοχής είναι αρκετά μεγάλο. Παρόλα αυτά, η διάμεσος τιμή της αντοχής του κοιτάσματος της δημοσίευσης (Ρόζος & Κούκης, 1986) είναι 53,7 MPa και η μέση τιμή της αντοχής 52,4 MPa, ενώ για το κοίτασμα των ΒΑ Ακρών η διάμεσος τιμή της αντοχής ισούται με 33,6 MPa και η μέση τιμή με 32,4 MPa. Δηλαδή, οι αντίστοιχες τιμές έχουν μία διαφορά της τάξης του 60%. Συνεπώς οι συγκεκριμένες διαφορές είναι μεγάλες και χρειάζεται να υπάρξουν επιπρόσθετες δοκιμές για τον προσδιορισμό της συγκεκριμένης ιδιότητας καθώς είναι καθοριστικής σημασίας για την επιλογή της μεθόδου αλλά και του συνολικού σχεδιασμό της εκμετάλλευσης.

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι τα δείγματα από το κοίτασμα των ΒΑ Ακρών πάρθηκαν από τον εξωτερικό επιφανειακό χώρο του κοιτάσματος, συνεπώς, το

γεγονός αυτό ή άλλοι παράγοντες π.χ. το επίπεδο υγρασίας των δειγμάτων να έχουν επιδράσει στην αντοχή τους. Συνεπώς, θα είναι καλό να υπάρξουν δείγματα που θα αντικατοπτρίζουν τις συνθήκες στο βάθος ανάπτυξης της υπόγειας εκμετάλλευσης.

### 5.3 Διερεύνηση εκμετάλλευσης του κοιτάσματος ΒΑ Ακρών με τη μέθοδο Θαλάμων και Στύλων

Το κοιτάσμα των ΒΑ Ακρών έχει μικρή κλίση, η οποία κυμαίνεται μεταξύ  $7^{\circ}$  και  $18^{\circ}$ . και μέσο πάχος τα 10 m. Συνεπώς, μια πλέον κατάλληλη μέθοδος εκμετάλλευσής του θα ήταν η μέθοδος θαλάμων και στύλων (Σχήμα 5.3). Παρόλα αυτά οι τιμές αντοχής που προέκυψαν από τους παραπάνω υπολογισμούς φαντάζουν σχετικά οριακές για εκμετάλλευση με αυτή τη μέθοδο, καθώς πιθανώς τεθούν περιορισμοί στο μέγεθος των ανοιγμάτων που θα αφεθούν κενά, μετά το πέρας της εξόρυξης.



Σχήμα 5.3 Μέθοδος Θαλάμων και Στύλων για κοιτάσματα μεγάλου πάχους (Atlas Copco)



Με βάση τα παραπάνω είναι απαραίτητος ο υπολογισμός των διαστάσεων του πλάτους των στύλων και των θαλάμων. Στόχος είναι να βρεθούν οι βέλτιστες διαστάσεις ώστε να εξασφαλίζεται ταυτόχρονα η ασφάλεια και ταυτόχρονα η μέγιστη δυνατή απόληψη σε χρήσιμο μέταλλευμα

Για τον προσδιορισμό των ανωτέρω γεωμετρικών χαρακτηριστικών, οι βασικές παραδοχές που είναι γνωστές ή εκτιμώνται δίνονται στη συνέχεια:

- Το ύψος των υπερκειμένων του κοιτάσματος είναι 230 m
- Το ειδικό βάρος του υπερκειμένου ασβεστόλιθου είναι  $2,65 \text{ tn/m}^3$
- Η αντοχή του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη  $\sigma_{ci}$  είναι 33 MPa
- Η εφελκυστική αντοχή του ασβεστόλιθου είναι 5 MPa
- Το πάχος στρώσης του ασβεστόλιθου θεωρείται 1 m

Για να πραγματοποιηθεί ο προσδιορισμός των βέλτιστων διαστάσεων των θαλάμων και των στύλων, χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω τύποι υπολογισμού:

- Γεωστατικές τάσεις (MPa):  $S_v = \gamma * H$
- Τάση σε στύλο (MPa):  $\sigma_p = \gamma * H * (1 + \frac{WR}{W_p})^2$
- Αντοχή στύλου Obert & Duvall (1967):  $C_p = C_1 * (0.778 + 0.222 * \frac{W_p}{H_p})$
- Αντοχή στύλου Esterhuizen et al.. (2008):  $C_p = UCS * 0,65 * \frac{W_p^{0,3}}{H_p^{0,59}}$
- Αντοχή στύλου Hedley & Grand (1972):  $C_p = C_1 * \frac{W_p^{0,5}}{H_p^{0,75}}$
- Αντοχή στύλου Salamon & Munro (1967):  $C_p = C_1 * \frac{W_p^{0,46}}{H_p^{0,66}}$
- Συντελεστής Ασφαλείας ( $F_c$ ):  $F_c = \frac{C_p}{\sigma_p}$
- Μέγιστο πλάτος θαλάμου  $L_{max}$  (m):  $L_{max} = \sqrt{\frac{2 * \sigma * t}{\gamma * F_c}}$

Σημειώνεται ότι όλοι οι τύποι υπολογισμού που χρησιμοποιήθηκαν αναγράφονται στο βιβλίο Υπόγεια Έργα (Μπενάρδος & Καλιαμπάκος, 2010).

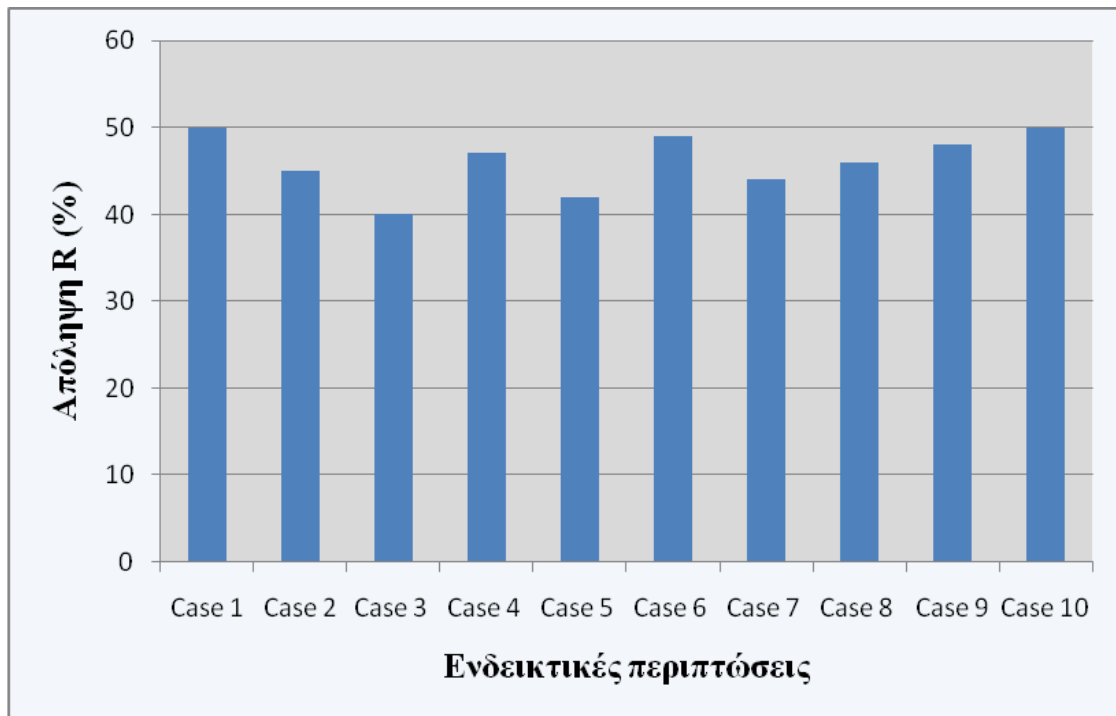
Στον παρακάτω Πίνακα 5.7 παρουσιάζονται δέκα ενδεικτικές από τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν, ώστε να επιλέξουμε τις βέλτιστες τιμές διαστασιολόγησης των θαλάμων και των στύλων. Στο Ιστόγραμμα του Σχήματος 5.4 που ακολουθεί αμέσως

μετά από τον Πίνακα 5.7, παρουσιάζονται οπτικά οι παραπάνω πιθανές λύσεις που εξετάστηκαν.

Σημειώνεται, επίσης, ότι  $W_P$  είναι το πλάτος του στύλου και  $W_R$  το πλάτος του θαλάμου. Ο συντελεστής ασφαλείας συμβολίζεται με  $F_c$  και υπολογίζεται με βάση τους αντίστοιχους τύπους των Obert & Duvall (1967), Esterhuizen et al. (2008), Hedley & Grand (1972) και Salamon & Munro (1967). Τέλος, η απόληψη στον παρακάτω Πίνακα 5.7 συμβολίζεται με  $R$  (%).

**Πίνακας 5.7** Ενδεικτικές περιπτώσεις που εξετάστηκαν για την επιλογή των βέλτιστων διαστάσεων των θαλάμων και των στύλων

Περίπτωση	$W_P$ (m)	$W_R$ (m)	$F_c$ (O&D)	$F_c$ (E.)	$F_c$ (H&G)	$F_c$ (S&M)	$R$ (%)
Case 1	17	7	2,4	1,1	1,5	1,6	50
Case 2	17	6	2,6	1,2	1,6	1,8	45
Case 3	17	5	2,8	1,3	1,8	2,0	40
Case 4	16	6	2,4	1,1	1,5	1,7	47
Case 5	16	5	2,7	1,2	1,7	1,8	42
Case 6	15	6	2,3	1,0	1,4	1,6	49
Case 7	15	5	2,5	1,1	1,6	1,7	44
Case 8	14	5	2,4	1,1	1,5	1,6	46
Case 9	13	5	2,3	1,0	1,4	1,5	48
Case 10	12	5	2,1	0,9	1,2	1,4	50



**Σχήμα 5.4.** Ιστόγραμμα διακύμανσης της απόληψης για τις εξεταζόμενες περιπτώσεις Εκμετάλλευσης με Θαλάμων & Στύλων

Όπως παρατηρείται από το ιστόγραμμα, η τιμή της απόληψης R, δεν ξεπερνά το 50%.

Οι τελικές τιμές που επιλέχθηκαν για τις διαστάσεις των θαλάμων και των στύλων είναι της δεύτερης περίπτωσης που εξετάστηκε (Case 2) και αναγράφονται στον παρακάτω Πίνακα 5.8.

**Πίνακας 5.8** Επιλεγμένες τιμές διαστάσεων

Διαστάσεις	Τιμές (m)
Ύψος χώρου $H_p$	10
Πλάτος Στύλων $W_p$	17
Μήκος Στύλων	17
Πλάτος Θαλάμου $W_R$	6
Μήκος Θαλάμου	6

Ο λόγος που επιλέχθηκαν οι παραπάνω τιμές, είναι διότι εξεταζόμενες σε διάφορους τύπους υπολογισμού αντοχής του στύλου, παρέχουν συνδυαστικά τη μέγιστη ασφάλεια και το μέγιστο δυνατό ποσοστό απόληψης.

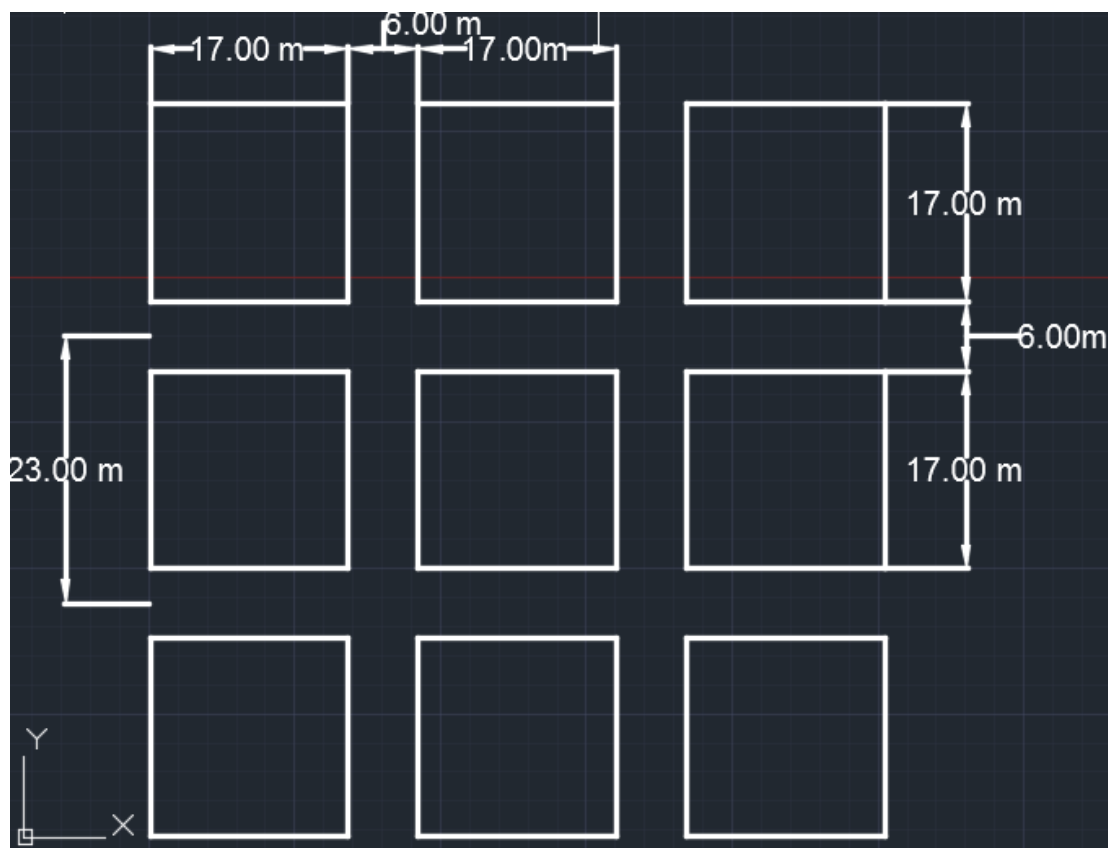
Στον παρακάτω Πίνακα 5.9 αναγράφονται αναλυτικά οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν με τις επιλεγθείσες τιμές για το πλάτος του στύλου και του θαλάμου.

Σημειώνεται η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του δοκιμίου του πετρώματος,  $C_1$ , υπολογίστηκε ως 0,75 πολλαπλασιασμένο με την αντίστοιχη αντοχή του στύλου, για τους τύπους των Obert & Duvall, Hedley & Grand και Salamon & Munro.

**Πίνακας 5.9. Αναλυτικός Πίνακας Υπολογισμών αντοχής στύλου και συντελεστή ασφαλείας στη μέθοδο θαλάμων και στύλων**

	Τύπος υπολογισμού	Τιμή	Σχόλια
<b>Γεωστατικές τάσεις (MPa)</b>	$S_v = \gamma * H$	6,1	
<b>Τάση σε στύλο (MPa)</b>	$\sigma_p = \gamma * H * (1 + \frac{W_R}{W_p})^2$	11,2	
<b>Αντοχή στύλου Obert &amp; Duvall (1967)</b>	$C_p = C_1 * (0.778 + 0.222 * \frac{W_p}{H_p})$	28,6	
<b>Συντελεστής Ασφαλείας (Fc) - O&amp;D</b>	$F_c = \frac{C_p}{\sigma_p}$	2,6	Πρέπει $F_c > 2$
<b>Αντοχή στύλου Esterhuizen et al.. (2008)</b>	$C_p = UCS * 0,65 * \frac{W_p^{0,3}}{H_p^{0,59}}$	12,9	
<b>Συντελεστής Ασφαλείας (Fc) –Esterhuizen et al.</b>	$F_c = \frac{C_p}{\sigma_p}$	1,2	Πρέπει $F_c > 1,8$
<b>Αντοχή στύλου Hedley &amp; Grand (1972)</b>	$C_p = C_1 * \frac{W_p^{0,5}}{H_p^{0,75}}$	18,1	
<b>Συντελεστής Ασφαλείας (Fc) – H&amp;G</b>	$F_c = \frac{C_p}{\sigma_p}$	1,6	Πρέπει $F_c > 1,6$
<b>Αντοχή στύλου Salamon &amp; Munro (1967)</b>	$C_p = C_1 * \frac{W_p^{0,46}}{H_p^{0,66}}$	19,9	
<b>Συντελεστής Ασφαλείας (Fc) – S&amp;M</b>	$F_c = \frac{C_p}{\sigma_p}$	1,8	Πρέπει $F_c > 1,6$
<b>Μέγιστο πλάτος θαλάμου Lmax (m)</b>	$L_{max} = \sqrt{\frac{2 * \sigma * t}{\gamma * F_c}}$	7,9	

Στην παρακάτω σχηματική απεικόνιση (Σχήμα 5.5) φαίνεται σε κάτοψη τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των θαλάμων και των στύλων για το εν λόγω κοιτάσμα.



**Σχήμα 5.5 Κάτοψη της προτεινόμενης μεθόδου εκμετάλλευσης θαλάμων και στύλων για το κοιτάσμα των ΒΑ Ακρών.**

Με δεδομένα το πλάτος στύλου  $W_p = 17\text{m}$  και το πλάτος θαλάμου  $W_R = 6\text{m}$ , ο συντελεστής απόληψης λοιπόν θα ισούται με:

$$R = \left[ 1 - \frac{W_p^2}{(W_R + W_p)^2} \right] * 100 = \left[ 1 - \frac{17^2}{(6+17)^2} \right] * 100 = 45\%$$

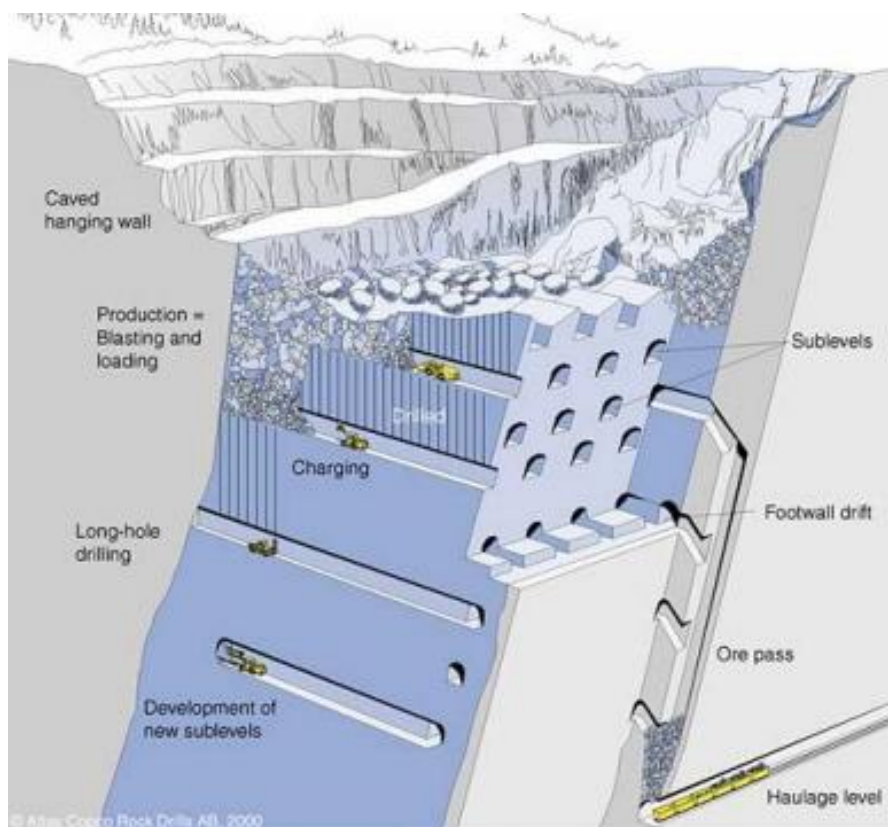
Εφόσον το συνολικό απόθεμα του κοιτάσματος είναι περίπου 850.000 tn και η απόληψη 45% αυτό σε μεταφράζεται σε απόληψη  $850.000 * 0,45 = 382.500\text{tn}$  σε μέταλλευμα με 1,06% περιεκτικότητα σε νικέλιο (Ni).

Τέλος, σημειώνεται ότι δύναται να υπάρξει απομείωση των στύλων κατά τη διάρκεια της εξόφλησης με άμεσο επακόλουθο την αύξηση της απόληψης. Αυτό όμως είναι κάτι το οποίο εξαρτάται από τις επιτόπιες συνθήκες εκμετάλλευσης και συνεπώς δεν μπορεί να αξιολογηθεί ή να υπολογιστεί σε αυτό το στάδιο της αξιολόγησης.

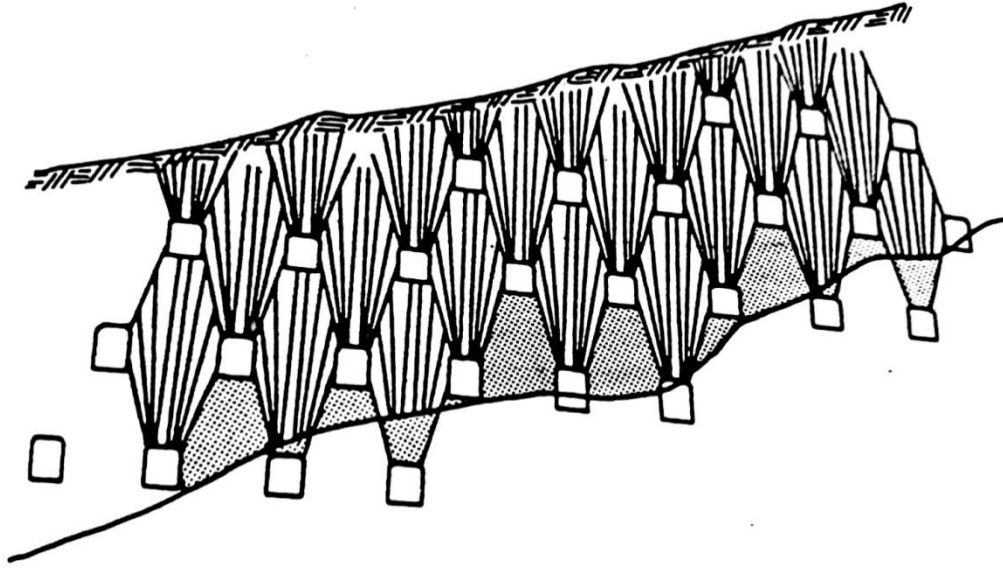
## 5.2 Διερεύνηση εκμετάλλευσης του κοιτάσματος ΒΑ Ακρών με τη μέθοδο Διαδοχικών Υποορόφων με Κατακρήμνιση Οροφής

Η δεύτερη περίπτωση που εξετάζεται για την εκμετάλλευση του κοιτάσματος είναι η μέθοδος διαδοχικών υποορόφων με κατακρήμνιση οροφής (Εικόνα 5.10).

Στην προκειμένη περίπτωση λόγω της μικρής κλίσης του κοιτάσματος η εκμετάλλευση προτείνεται να γίνει σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της Εικόνας 5.6. Με δεδομένο το πάχος του κοιτάσματος που είναι περί τα 10 m, προκύπτει ότι θα κατασκευαστεί ένας όροφος. Η απόσταση μεταξύ των στοών καθώς και το φορτίο των διατρημάτων υπολογίζεται σύμφωνα με τα ακόλουθα (Κναρίλ, 1982).



**Σχήμα 5.6 Μέθοδος Διαδοχικών Υποορόφων με Κατακρήμνιση Οροφής για κοιτάσμα μεγάλης κλίσης (Atlas Copco)**

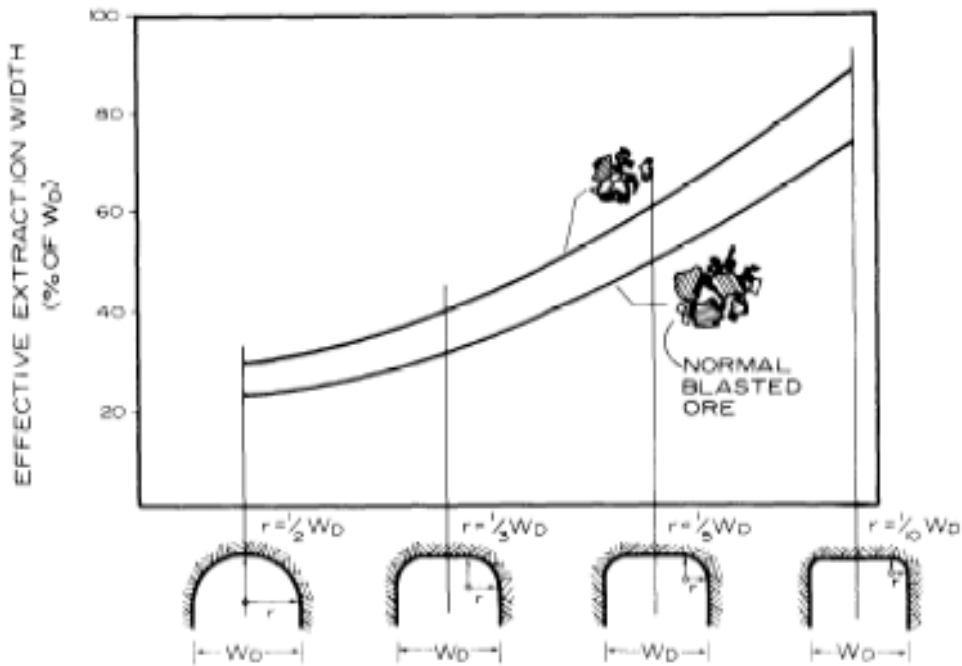


Σχήμα 5.7 Κοίτασμα μικρής κλίσης. Η απόληψη των σκιασμένων περιοχών δεν είναι εφικτή (Τερεζόπουλος, 2003)

Οι παραγωγικές στοές προτείνεται να είναι περίπου τετραγωνικής ή πεταλοειδούς διατομής με διαστάσεις 4 m x 4 m. Ο υπολογισμός του ενεργού ανοίγματος  $a$  γίνεται με τη βοήθεια του σχήματος 5.7. Με βάση την τετραγωνική διατομή της στοάς και για κανονικές συνθήκες ανατίναξης εκτιμάται ότι το ενεργό άνοιγμα υπολογίζεται ως:

$$a = 70\% \times W_D = 70\% \times 4 \text{ m} = 2,8 \text{ m}$$





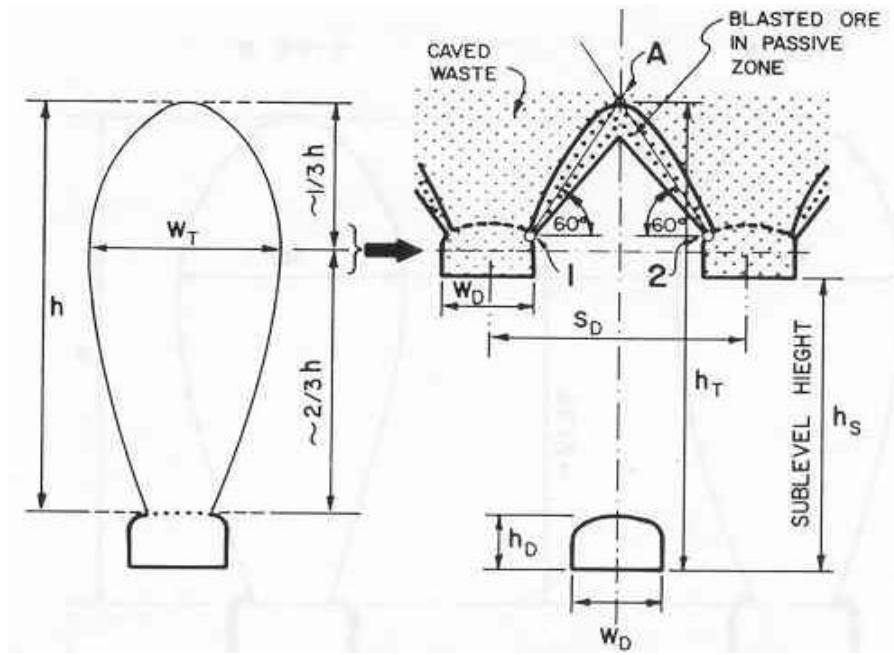
Σχήμα 5.8 Σχήμα ενεργού ανοίγματος (effective extraction width) – άνοιγμα στοάς (Kvapil, 1982)

Με βάση το Σχήμα 5.8, το ύψος της στοάς  $h_D = 4\text{m}$ , αλλά και το πάχος του κοιτάσματος το ύψος ανάπτυξης του ελλειψοειδούς θα πρέπει να είναι ίσο με  $h = 10\text{m}$ , επομένως:  $h = h_t - h_d \Rightarrow 10 = h_t - 4 \Rightarrow h_t = 6\text{m}$

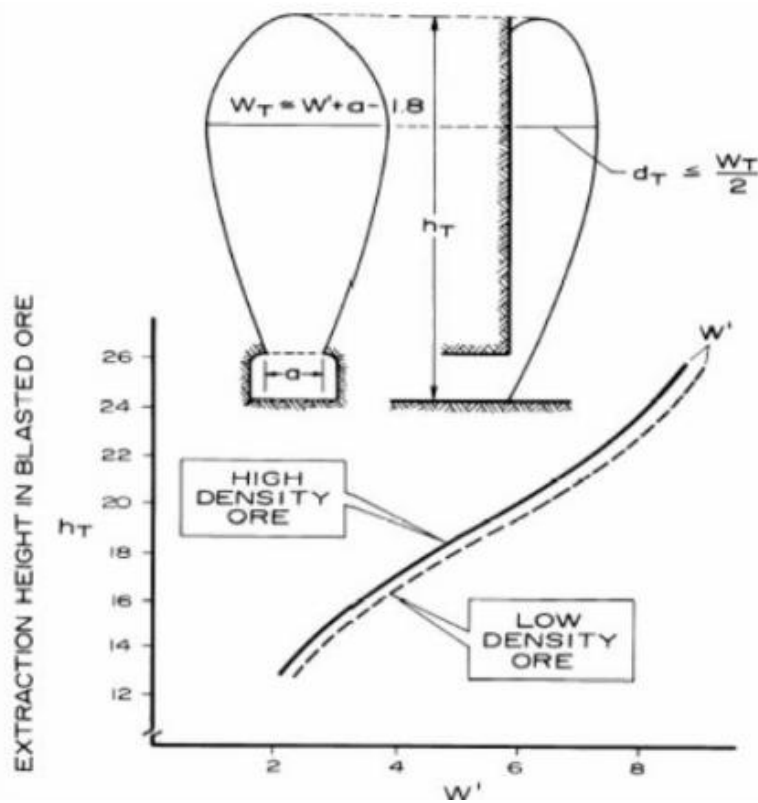
Αντίστοιχα, το μέγιστο πλάτος ελλειψοειδούς  $W_T$ , δίνεται από τη σχέση:  $W_T = W' + a - 1,8$ , όπου το  $W'$  λαμβάνεται ίσο με 3.

Με βάση τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι το πλάτος θα είναι ίσο με  $W_T = 4\text{m}$ , ενώ το πλάτος του  $d_T = W_T / 2 = 2\text{m}$ . Έτσι, το φορτίο των διατηρημάτων ( $b$ ) θα είναι  $b \leq d_T / 2 = 1\text{m}$ .

Τέλος, η απόσταση μεταξύ των στοών  $S_D$  (για  $h_s < 18\text{m}$ ) υπολογίζεται σε  $S_D \leq W_T / 0,60 \Rightarrow S_D \leq 7\text{m}$



Σχήμα 5.9 Ύψος ελλειψοειδούς και τοποθέτηση στοών παραγωγής (Κναπίλ, 1982)



Σχήμα 5.10. Ύψος εξόρυξης σε μετάλλευμα προς ανατίναξη – μέγιστο πλάτος ελλειψοειδούς  $W'$  (Κναπίλ, 1982)

Συνοπτικά, λοιπόν, οι εκτιμήσεις για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των στοών της εκμετάλλευσης είναι:

Απόσταση στοών:  $S_D \leq 7m = 7m$

Πλάτος στοάς:  $W_d = 4m$

Ύψος στοάς:  $h_D = 4m$

Πλάτος ελλειψοειδούς εκμετάλλευσης:  $W_T = 4m$

Βάθος ελλειψοειδούς εκμετάλλευσης:  $d_T = 2m$

Φορτίο διατρημάτων:  $b = 1m$

Ο συντελεστής απόληψης εκτιμάται ότι θα είναι της τάξης του 60% και επομένως από το εν λόγω κοίτασμα δύναται να εξορυχθούν  $850.000 \times 0,60 = 510.000$  tn σε μέταλλευμα με 1,06% περιεκτικότητα σε νικέλιο (Ni).

Κάτι που χρειάζεται να προσεχθεί είναι ο πιθανώς αυξημένος συντελεστής αραίωσης, ο οποίος μπορεί να δημιουργήσει κάποια προβλήματα στην οικονομικότητα της μεθόδου. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι η εν λόγω μέθοδος ενδέχεται να προκαλέσει ποικίλλες διαταραχές στην επιφάνεια του εδάφους, λόγω πιθανών καθιζήσεων της επιφάνειας.

## 6. ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΚΟΣΤΟΥΣ

### 6.1 Εισαγωγή

Η εκτίμηση κόστους πραγματοποιείται για την εύρεση του ποσού κοστολόγησης ενός εγχειρήματος και αποδίδει την συνολική του αξία, στην οποία είναι διακριτά τα κόστη των επιμέρους συνιστωσών. Πραγματοποιείται για την εύρεση του προϋπολογισμού και των πιθανών περιορισμών στο κόστος του έργου. Είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της σκοπιμότητας του έργου καθώς και για την διευκόλυνση της διαχείρισής του. Μία αξιόπιστη εκτίμηση κόστους απαιτεί συλλογική αυστηρότητα στην καταγραφή της.

Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιείται μία προκαταρκτική εκτίμηση του κόστους και εξάγονται πρωταρχικά συμπεράσματα.

### 6.2 Κόστος Υπαίθριας Εκμετάλλευσης

Για τον υπολογισμό του κόστους της υπαίθριας εκμετάλλευσης, θα χρησιμοποιηθεί ένα ενδεικτικό κοστολόγιο της εταιρείας ΛΑΡΚΟ με βάση το οποίο το κόστος για αποκάλυψη είναι 2,20 €/m<sup>3</sup> και το κόστος για εξόρυξη μεταλλεύματος είναι 1,10 €/tn.

Στον παρακάτω Πίνακα 6.1 φαίνεται αναλυτικά ο υπολογισμός του κόστους εκμετάλλευσης του κοιτάσματος με υπαίθρια μέθοδο εκμετάλλευσης. Σημειώνεται ότι για κάθε εγχείρημα συνυπολογίζεται 10% του τελικού ποσού για απρόβλεπτα έξοδα (unexpected expenses).

**Πίνακας 6.1. Υπολογισμός του κόστους εκμετάλλευσης του κοιτάσματος ΒΑ Άκρες με υπαίθρια μέθοδο εκμετάλλευσης**

Τμηματική Εκσκαφή (Φάση)	Σχέση Αποκάλυψης (m <sup>3</sup> /tn)	Μετάλλευμα (tn)	Στείρο (m <sup>3</sup> )	Κόστος Εξόρυξης Μεταλλεύματος (€)	Κόστος Αποκάλυψης (€)	Συνολικό κόστος τμηματικής εκσκαφής, συνυπολογιζόμενο με τα απρόβλεπτα έξοδα (€)
A	9,91	341.000	3.379.310	375.100	7.434.482	8.590.540
B	19,53	415.000	8.104.950	456.500	17.830.890	20.116.129
A & B						28.706.669

Το συνολικό κόστος για την Υπαίθρια Εκμετάλλευση του κοιτάσματος των ΒΑ Ακρών είναι της τάξης των 28,7 εκατ. €.

### 6.3 Κόστος Υπόγειας Εκμετάλλευσης

Το κόστος της Υπόγειας Εκμετάλλευσης θα υπολογιστεί σαν το άθροισμα του κόστους επένδυσης (Capital Cost) και του κόστους λειτουργίας (Operational Cost). Σημειώνεται όμως ότι αυτό γίνεται κυρίως ώστε να συμπεριληφθεί στην αξιολόγηση το κόστος των προσπελαστικών έργων τα οποία θεωρούνται ως κόστη επένδυσης και όχι τα κόστη που αφορούν στην αγορά εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί στην εκμετάλλευση. Έτσι, και με δεδομένο ότι η εκμετάλλευση εκτιμάται ότι θα ολοκληρωθεί σε σύντομο χρόνο μπορεί να γίνει η συγκεκριμένη άθροιση ώστε να προκύψει το συνολικό ποσό που θα χρειαστεί να διατεθεί για την απόληψη του κοιτάσματος, χωρίς να χρειαστεί να καταρτιστεί ο πίνακας ταμειακών ροών της επένδυσης.

#### 6.3.1 Κόστος Επένδυσης (Capital Cost)

Το κόστος επένδυσης αποτελείται από το αρχικό κεφάλαιο που απαιτείται πριν ξεκινήσει η εκμετάλλευση αυτή καθ' αυτή. Αυτό συνίσταται από τα κόστη για την αγορά οικοπέδων, τις δαπάνες της απαραίτητης υποδομής (π.χ. δρόμοι για την

προσπέλαση της περιοχής που θα κατασκευαστεί το έργο) αλλά και από το κόστος για την αγορά του εξοπλισμού, την κατασκευή των κύριων και βοηθητικών κτιριακών εγκαταστάσεων, τα συστήματα ασφάλειας, προσπελαστικά έργα κ.λ.π. (Μπενάρδος & Καλιαμπάκος, 2010)

Για το κοίτασμα ΒΑ Άκρες της εταιρείας ΛΑΡΚΟ οι δαπάνες που πρέπει να γίνουν πριν την έναρξη της εκμετάλλευσης είναι η αγορά των συστημάτων ασφαλείας, η ηλεκτρολογική εγκατάσταση, η εγκατάσταση του τηλεφωνικού δικτύου, η εγκατάσταση του δικτύου παροχής νερού και το σύστημα αερισμού. Τα έργα υποδομής υπάρχουν ήδη στην περιοχή.

Σημειώνεται ότι στον παρακάτω συνολικό Πίνακα 6.2 δεν περιλαμβάνεται το κόστος εξοπλισμού, διότι η πολιτική της εταιρείας είναι να προσλαμβάνει εξωτερικούς συνεργάτες (εργολαβικά συνεργεία), οι οποίοι διαθέτουν τα δικά τους απαραίτητα μηχανήματα Αυτό σημαίνει ότι δεν θα υπάρξει επιβάρυνση λόγω του κόστους κεφαλαίου αλλά θα υπάρξει αυξημένο κόστος παραγωγής το οποίο θα συμπεριλαμβάνει και το εργολαβικό όφελος.

Πέρα από τα παραπάνω, μία πρώτη εκτίμηση των μηχανημάτων που θα χρειαστούν για την εκμετάλλευση του κοιτάσματος δίνεται ως ακολούθως:

- 1 Jumbo Κοχλίωσης
- 2 Jumbo Διάτρησης
- 2 Φορτωτές
- 3 Φορτηγά Υπογείων

Αξίζει να σημειωθεί πως ο αριθμός των μηχανημάτων θα είναι ο ίδιος τόσο για τη μέθοδο Θαλάμων και Στύλων όσο και για τη μέθοδο Διαδοχικών Υποορόφων με Κατακρήμνιση Οροφής. Αυτό που διαφοροποιείται είναι το μοντέλο του μηχανήματος, όπως για παράδειγμα του διατρητικού.

Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές για τις απαιτούμενες δαπάνες για την εγκατάσταση του εργοταξίου.

**Πίνακας 6.2 Κόστος Εγκατάστασης Εργοταξίου για την Υπόγεια Εκμετάλλευση**

Περιγραφή δαπάνης	Κόστος (σε €)
Εγκαταστάσεις ασφαλείας (refugearea) εντός της υπόγειας εκμετάλλευσης	30.000
Ηλεκτρολογική εγκατάσταση	12.000
Τηλεφωνικό δίκτυο	2.000
Δίκτυο παροχής νερού	5.000
Ανεμιστήρας, Αγωγοί αερισμού	20.000
<b>Σύνολο</b>	<b>69.000</b>

Στο Κόστος Επένδυσης, πρέπει να υπολογιστεί και το κόστος των προσπελαστικών έργων. Θεωρείται ως δεδομένο ότι δεν θα πραγματοποιηθούν εκτεταμένες εργασίες εντός στείων σχηματισμών, καθώς το κοιτάσμα βρίσκεται σε άμεση επαφή με την επιφάνεια. Παρόλα αυτά, ενδέχεται να είναι αναγκαία κάποια έργα ανάπτυξης εντός των στείων σχηματισμών. Η αναλυτική εκτίμηση των έργων και του μήκους τους εντός των σχηματισμών είναι κάτι που θα γίνει στον πιθανό αναλυτικό σχεδιασμό της εκμετάλλευσης. Προκειμένου, όμως, να υπάρξει μία πρώτη εικόνα του κόστους θα υπολογιστεί το κόστος της διάνοιξης συνολικά 2.500 m στείων στοών, (καθώς οι εργασίες σταδιακά βαίνουν προς βαθύτερους ορίζοντες). Ο αριθμός αυτός ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, εφόσον το κοιτάσμα είναι κοντά στην επιφάνεια, και θα χρειαστεί η διάνοιξη στοών αερισμού, ελικοειδών κεκλιμένων (ράμπες) για ευκολότερη πρόσβαση σε σημεία του κοιτάσματος και ενδεχόμενα έργα ανάπτυξης. Εκτιμάται επίσης ότι το κόστος διάνοιξης των στοών προσπέλασης και των στείων στοών εν γένει, οι οποίες και θα αποτελούν βασικά έργα ανάπτυξης του κοιτάσματος ανέρχεται σε 500 € ανά τρέχον m σήραγγας (διατομής περί τα 20 m<sup>2</sup>).

Συνεπώς,  $(1.250 \text{ m} + 1.250 \text{ m}) \times 500 \text{ €/m} = 1.250.000 \text{ €}$ .

Τέλος, υπογραμμίζεται ότι συνυπολογίζονται απρόβλεπτα έξοδα (unexpected expenses) ίσα με το 10% του τελικού κόστους. Συνεπώς, το σύνολο του Κόστους Επένδυσης (Capital Cost) για την Υπόγεια Εκμετάλλευση του κοιτάσματος των ΒΑ Ακρών ανέρχεται στα  $(69.000 + 1.250.000) \times 1,1 = 1.450.900 \text{ €}$ .

### 6.3.2 Κόστους Λειτουργίας (Operational Cost)

Ως κόστος λειτουργίας ορίζεται το σύνολο των εξόδων της παραγωγικής διαδικασίας, ήτοι δηλαδή τα έξοδα όρυξης στοάς, λειτουργίας και συντήρησης μηχανημάτων, μισθοδοσίας εργαζομένων και μεταφοράς μεταλλεύματος από το εσωτερικό της στοάς μέχρι την πλατεία απόθεσης. Το λειτουργικό κόστος εκφράζεται σε χρηματικές μονάδες ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος (Μπενάρδος & Καλιαμπάκος, 2010).

Στον παρακάτω Πίνακα 6.3 παρουσιάζονται αναλυτικά οι υπολογισμοί για το Κόστος Λειτουργίας (Operational Cost) των μεθόδων υπόγειας εκμετάλλευσης Θαλάμων και Στύλων και Διαδοχικών Υποορόφων με Κατακρήμιση Οροφής. Λαμβάνονται υπόψη υφιστάμενες κοστολογικές εκτιμήσεις που προκύπτουν από πραγματικές εκμεταλλεύσεις, καθώς και από άλλες Διπλωματικές εργασίες.

Πιο συγκριμένα, χρησιμοποιούνται οι Διπλωματικές εργασίες των Δεληβέρη (2012) και Καστάνη (2016) που αφορούν εκμεταλλεύσεις βωξιτικών κοιτασμάτων με τις μεθόδους θαλάμων και στύλων και κατακρήμισης της οροφής με διαδοχικούς υποορόφους, αντίστοιχα. Στην μεν πρώτη το κόστος υπολογίζεται σε 17 €/tn περίπου (παραγωγή 430.000 tn), ενώ στην δεύτερη το κόστος εκμετάλλευσης σε 10 €/tn περίπου (παραγωγή 200.000 tn). Τα παραπάνω ποσά προσαυξάνονται ώστε να ληφθούν υπόψη το εργολαβικό όφελος, τα πιθανά κόστη για την αντιμετώπιση απρόβλεπτων καταστάσεων όπως παραδείγματος χάριν για την αντιμετώπιση αυξημένων αναγκών υποστήριξης - καθώς οι γεωτεχνικές συνθήκες είναι δυσμενέστερες σε σχέση με τις βωξιτικές εκμεταλλεύσεις. Προκύπτει έτσι κόστος εκμετάλλευσης ίσο με:

- 22 €/tn στην περίπτωση εκμετάλλευσης με τη μέθοδο θαλάμων και στύλων
- 15 €/tn στην περίπτωση εκμετάλλευσης με κατακρήμιση οροφής με διαδοχικούς υποορόφους

Η υπόγεια εκμετάλλευση χωρίστηκε σε δύο τμήματα (φάσεις) αντίστοιχα με τον υφιστάμενο σχεδιασμό της υπαίθριας, ώστε να είναι πιο ευδιάκριτη η σύγκριση μεταξύ υπαίθριας και υπόγειας εκμετάλλευσης.



**Πίνακας 6.3 Κόστος Λειτουργίας για την Υπόγεια Εκμετάλλευση**

Μέθοδος Υπόγειας Εκμετάλλευσης	Τμήμα (Φάση)	Απόληψη Μεταλλεύματος (tn)	Κόστος λειτουργίας (€/tn)	Συνολικό κόστος (€)
<b>Θαλάμων &amp; Στύλων</b>	A	153.450	22	3.375.900
	B	229.050	22	5.039.100
	<b>Σύνολο</b>	<b>382.500</b>		<b>8.415.000</b>
<b>Διαδοχικών Υποορόφων με Κατακρήμιση Οροφής</b>	A	204.600	15	3.069.000
	B	305.400	15	4.581.000
	<b>Σύνολο</b>	<b>510.000</b>		<b>7.650.000</b>

Από τον παραπάνω Πίνακα προκύπτει ότι το σύνολο του Κόστους Λειτουργίας (Operational Cost) για την Υπόγεια Εκμετάλλευση του κοιτάσματος των ΒΑ Ακρών κυμαίνεται μεταξύ 8,42 εκατ. € και 7,65εκατ. € για την μέθοδο Θαλάμων και Στύλων και για τη μέθοδο των Διαδοχικών Υποορόφων με Κατακρήμιση Οροφής, αντίστοιχα. Η ποσότητα του αποληπτόμενου κοιτάσματος επίσης κυμαίνεται μεταξύ 380.000 tn και 510.000 tn, αντίστοιχα.

#### **6.4 Σύγκριση του κόστους της Υπαίθριας και της Υπόγειας Εκμετάλλευσης**

Στο παρακάτω θεωρητικό Σχήμα 6.1 παρουσιάζεται η συγκριτική μεταβολή του κόστους εκμετάλλευσης με υπαίθρια και υπόγεια μέθοδο συναρτήσεως του βάθους. Διαπιστώνεται ότι το κόστος υπαίθριας εκμετάλλευσης ενδέχεται να είναι αρχικά χαμηλότερο από αυτό της υπόγειας για κοιτάσματα που βρίσκονται σε μικρό βάθος, παρόλα αυτά με την αύξηση του βάθους αυξάνεται. Από την άλλη πλευρά, αν και το κόστος της υπόγειας εκμετάλλευσης ενδέχεται να είναι αρχικά αυξημένο για κοιτάσματα σε μικρό βάθος, η περαιτέρω σταδιακή αύξηση του βάθους δεν επιφέρει ιδιαίτερα σημαντική αύξηση του κόστους.



**Σχήμα 6.1** Διάγραμμα μεταβολής του κόστους εκμετάλλευσης σε συνάρτηση με τη μεταβολή του βάθους (Μενεγάκη, 2010)

Το σημείο στο οποίο τέμνονται οι δύο καμπύλες είναι αυτό το οποίο καθορίζει μέχρι ποιο βάθος είναι οικονομικά συμφέρουσα η υπαίθρια εκμετάλλευση. Πέρα από αυτό το σημείο οικονομικά συμφέρουσα είναι η υπόγεια εκμετάλλευση του κοιτάσματος.

Ο Πίνακας 6.4 που ακολουθεί είναι ο συγκεντρωτικός πίνακας με τα κόστη που προέκυψαν από τους υπολογισμούς του κεφαλαίου για την Υπαίθρια και την Υπόγεια Εκμετάλλευση.

Σημειώνεται, ότι το κόστος εγκατάστασης εργοταξίου και τα έργα προσπέλασης ισομοιράζονται για λόγους απλούστευσης και στις δύο φάσεις της εκμετάλλευσης. Κάτι τέτοιο οδηγεί ουσιαστικά στην σταθεροποίηση του κόστους κάτι που δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα (βλ. Σχήμα 6.1) καθώς η αύξηση του βάθους θα επιδράσει σημαντικά σε κέντρα κόστους της εκμετάλλευσης όπως π.χ. της μεταφοράς. Παρ' όλα αυτά κρίθηκε σκόπιμο σε αυτή τη φάση της διερεύνησης να μην υπάρξει κάτι τέτοιο καθώς δεν υπάρχουν σαφή στοιχεία που θα επιτρέπουν τους αντίστοιχους υπολογισμούς.

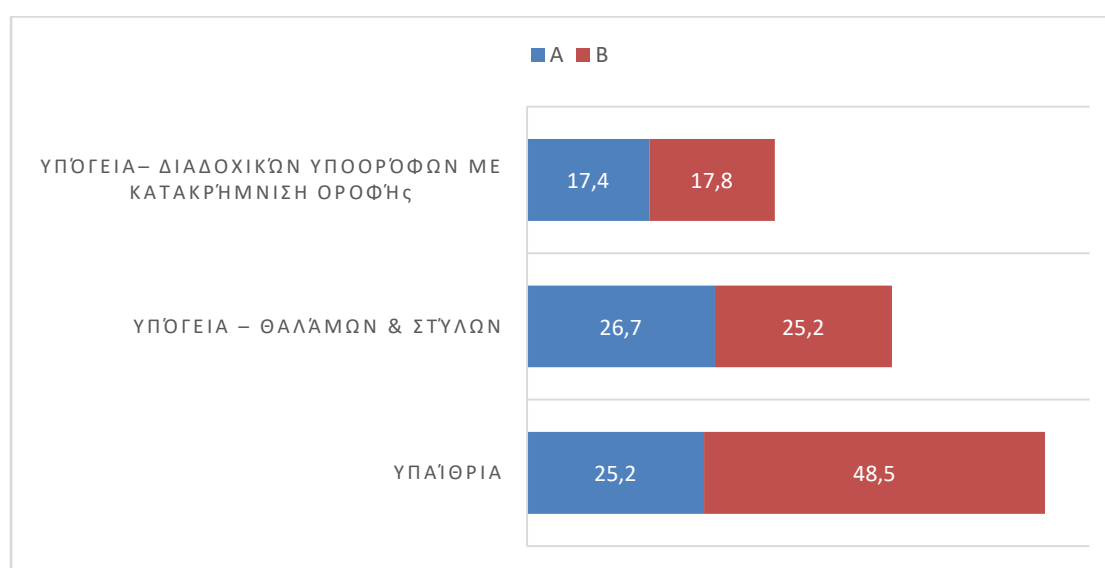
**Πίνακας 6.4. Συγκεντρωτικός πίνακας με τα κόστη για την Υπαίθρια και την Υπόγεια Εκμετάλλευση του κοιτάσματος ΒΑ Άκρες**

Εκμετάλλευση	Φάση	Απόληψη Μεταλλεύματος (tn)	Κόστος Επένδυσης (€)	Κόστος Λειτουργίας (€)	Συνολικό Κόστος (€)	Κόστος ανά tn μετ/τος (€/tn)
Υπαίθρια	A	341.000	-	8.590.540	8.590.540	25,2
	B	415.000	-	20.116.129	20.116.129	48,5
	<b>Σύνολο</b>	<b>756.000</b>		<b>28.706.669</b>	<b>28.706.669</b>	<b>38,0</b>
Υπόγεια – Θαλάμων & Στύλων	A	153.450	725.450	3.375.900	4.101.350	26,7
	B	229.050	725.450	5.039.100	5.764.550	25,2
	<b>Σύνολο</b>	<b>382.500</b>	<b>1.450.900</b>	<b>8.415.000</b>	<b>9.865.900</b>	<b>25,8</b>
Υπόγεια – Διαδοχικών Υποορόφων με Κατακρήμιση Οροφής	A	204.600	725.450	3.069.000	3.794.450	18,5
	B	305.400	725.450	4.581.000	5.306.450	17,4
	<b>Σύνολο</b>	<b>510.000</b>	<b>1.450.900</b>	<b>7.650.000</b>	<b>9.100.900</b>	<b>17,8</b>

Παρότι το κόστος της υπαίθριας εκμετάλλευσης είναι σχετικά χαμηλό στην αρχή (Φάση Α), στην συνέχεια (Φάση Β) της εκμετάλλευσης αυξάνεται σημαντικά, ξεπερνώντας το διπλάσιο του κόστους της πρώτης φάσης της εκμετάλλευσης. Από την άλλη πλευρά, το κόστος της υπόγεια εκμετάλλευσης και για τις δύο εξεταζόμενες περιπτώσεις μένει σχετικά σταθερό. Η μικρή μείωσή του αν αναχθεί ανά tn αποληπτόμενου υλικού οφείλεται στο γεγονός ότι προστίθενται σταθερά κόστη (επένδυση) στην Β' φάση που όμως έχει μεγαλύτερα απολήψιμα αποθέματα.

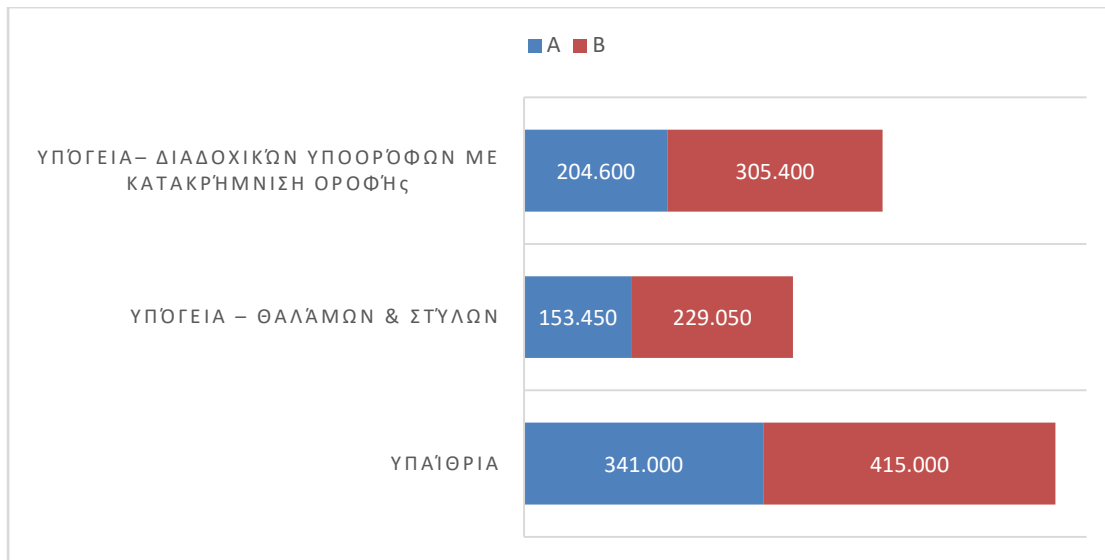
Για το σύνολο της εκμετάλλευσης, το ελάχιστο κόστος ανά tn μεταλλεύματος συναντάται στην εκμετάλλευση με την μέθοδο των διαδοχικών υποορόφων με κατακρήμιση οροφής και είναι ίσο με 17,8 €/tn. Το αμέσως επόμενο, αντιστοιχεί στην μέθοδο θαλάμων και στύλων και ισούται με 25,8 €/tn μεταλλεύματος. Το υψηλότερο κόστος για το σύνολο της εκμετάλλευσης αντιστοιχεί στην υπαίθρια μέθοδο εκμετάλλευσης και ανέρχεται στα 38,0 €/tn μεταλλεύματος.

Για την Α' φάση της εκμετάλλευσης είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον ότι η μέθοδος θαλάμων και στύλων έχει περίπου ίδιο κόστος με την επιφανειακή εκμετάλλευση ενώ η μέθοδος κατακρήμισης είναι φθηνότερη (Σχήμα 6.2). Αυτό δείχνει ότι στην μεν περίπτωση των θαλάμων και στύλων η περιοχή μετάβασης (από επιφανειακή σε υπόγεια εκμετάλλευση) οροθετείται περίπου σε αυτή την περιοχή, ενώ για την μέθοδο κατακρήμισης η περιοχή μετάβασης είναι σε μικρότερο βάθος – και συνεπώς σε μικρότερη σχέση εκμετάλλευσης. Για τη Β' φάση οι υπόγειες μέθοδοι φαίνονται να υπερτερούν σημαντικά έναντι της επιφανειακής.



**Σχήμα 6.2 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής του κόστους εκμετάλλευσης ανά τη μεταλλεύματος σε κάθε φάση για τις υπό εξέταση μεθόδους εκμετάλλευσης στο κοίτασμα των ΒΑ Ακρών**

Βέβαια, δεν πρέπει να παραγνωριστεί το γεγονός ότι η αποληπτώμενη ποσότητα μεταλλεύματος είναι σημαντικά μεγαλύτερη για την περίπτωση της επιφανειακής έναντι των μεθόδων υπόγειας εκμετάλλευσης (Σχήμα 6.3).



**Σχήμα 6.3 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής του συνολικού κόστους σε κάθε φάση για τις υπό εξέταση μεθόδους εκμετάλλευσης στο κοίτασμα των ΒΑ Ακρών**

Αξιοποιώντας τον τύπο για τον επιτρεπόμενο συντελεστή αποκάλυψης (ASR) (Bakhtavar, et al., 2008), ο οποίος αναλύθηκε στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας, και υπολογίζει ένα δείκτη μετάβασης, υπολογίζεται, μόνο με γνώμονα το κόστος λειτουργίας, ότι στην εν λόγω περίπτωση του κοιτάσματος των ΒΑ Ακρών θα ισχύει ότι:

- Για την μέθοδο θαλάμων και στύλων:

$$ASR = \frac{C_{ug} - C_{op}}{C_w} = \frac{22 - 1,10}{2,20} = 9,5$$

- Για την μέθοδο διαδοχικών υποορόφων με κατακρήμνιση οροφής:

$$ASR = \frac{C_{ug} - C_{op}}{C_w} = \frac{15 - 1,10}{2,20} = 6,3$$

Τα παραπάνω είναι σε συμφωνία με τα ευρήματα της εργασίας που έγινε με την ανάλυση κόστους καθώς όντως οριοθετείται η μετάβαση σε υπόγεια εκμετάλλευση θαλάμων και στύλων στο τέλος της Α' φάσης της επιφανειακής εκμετάλλευσης η οποία έχει  $\Sigma A = 9,9$ .

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων σιδηρονικελίου στην Ελλάδα αποτελεί πολύ σημαντικό κλάδο τόσο της μεταλλευτικής όσο και της εθνικής οικονομίας, γεγονός που αποδεικνύεται από την αύξηση της παραγωγής σιδηρονικελίου από 2015, όπου ανήλθε στους 1,94 εκατ. tn, το 2016 σε 2,264 εκατ.tn.

Η ΛΑΡΚΟ Γ.Μ.Μ.Α.Ε. παίζει καταλυτικό ρόλο στην εκμετάλλευση του σιδηρονικελίου, όμως αντιμετωπίζει δυσχέρειες τόσο λόγω των διεθνών τιμών όσο και εξαιτίας της σταδιακής μείωσης των διαθέσιμων κοιτασμάτων και της παράλληλης αύξησης της σχέσης εκμετάλλευσής τους. Συνεπώς, γίνεται επιτακτική η ανάγκη για λήψη στρατηγικών αποφάσεων για το μέλλον της εταιρείας και του τρόπου δράσης της.

Μία από τις στρατηγικές αποφάσεις που καλείται να λάβει η εταιρεία είναι να διαφοροποιήσει τον τρόπο εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων της και να εξετάσει την υιοθέτηση υπόγειων μεθόδων εκμετάλλευσης. Η ανάλυση SWOT που πραγματοποιήθηκε δείχνει ότι υπάρχουν σημαντικές ελλείψεις – κυρίως σε τεχνογνωσία - στην εταιρεία, ταυτόχρονα όμως υπάρχουν και σημαντικότερες δυνατότητες που μπορεί να προσφέρει το συγκεκριμένο βήμα. Επομένως, προτείνεται να υπάρξουν στο άμεσο μέλλον στοχευόμενες και συστηματικές κινήσεις προς την κατεύθυνση αυτή.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αξιολόγησε, σε προκαταρκτική φάση, την δυνατότητα μετάβασης σε μια υπόγεια εκμετάλλευση στο κοίτασμα των ΒΑ Ακρών της εταιρείας. Λήφθηκαν δείγματα και αξιολογήθηκαν τα χαρακτηριστικά τους και τέλος προτάθηκαν δύο εναλλακτικές μέθοδοι εκμετάλλευσης που κρίνονται ότι είναι συμβατές με το γεωλογικό και γεωτεχνικό καθεστώς του κοιτάσματος:

- Η μέθοδος των θαλάμων και στύλων
- Η μέθοδος των διαδοχικών υποορόφων με κατακρήμνιση οροφής

Η αξιολόγηση του κόστους στο τελευταίο κεφάλαιο υπέδειξε ότι η υπόγεια εκμετάλλευση έχει σημαντικά πλεονεκτήματα κόστους έναντι της υπαίθριας, ιδίως σε κοιτάσματα όπως των ΒΑ Ακρών, τα οποία αναπτύσσονται σε μεγαλύτερο βάθος. Βέβαια, καθώς πάντα θα απολήπτεi ένα ποσοστό του κοιτάσματος θα εμφανίζει μειωμένα ποσοστά απόληψης. Παρ' όλα αυτά, στο καθεστώς των φτωχών περιεκτικότητων των λατεριτικών κοιτασμάτων της Ελλάδας κάτι τέτοιο θα πρέπει και αυτό με τη σειρά του να αξιολογηθεί.

Όσον αφορά στα στοιχεία που προέκυψαν φαίνεται ότι η περιοχή οικονομικής μετάβασης από την υπαίθρια εκμετάλλευση σε μια υπόγεια είναι περίπου στο πέρας της φάσης Α' της εκμετάλλευσης του κοιτάσματος ή περί τη σχέση αποκάλυψης 9-10:1 tn/m<sup>3</sup>. Αντίστοιχα, η μέθοδος κατακρήμνισης δείχνει πιο καλά στοιχεία κόστους έναντι της μεθόδου των θαλάμων και στύλων. Από την άλλη η μέθοδος θαλάμων και στύλων είναι πιο ευέλικτη και δεν θα προκαλέσει επιφανειακές καθιζήσεις στην επιφάνεια.

Βέβαια, τα παραπάνω αφορούν βασίζονται σε προκαταρκτικά δεδομένα και εκτιμήσεις που έγιναν στο πλαίσιο της Εργασίας. Συνεπώς για μεγαλύτερη ακρίβεια στα συμπεράσματα απαιτείται να πραγματοποιηθεί αναλυτικός σχεδιασμός της εκμετάλλευσης, ο οποίος να βασίζεται σε ακριβή γεωτεχνικά στοιχεία.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adair, J., 2010. *Effective Strategic Leadership*. 2nd ed. London: Pan Books.
- Anon., 2011. *Mining Engineering Handbook 3rd Edition*. United States of America: Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc.
- Bakhtavar, E., Shahriar, K. & Oraee, K., 2007. *Effective Factor of Investigation In Choice Between Surface and Underground Mining*. Sofia, Bulgaria: VII-th International Scientific Conference SGEM2007.
- Bakhtavar, E., Shahriar, K. & Oraee, K., 2008. *An approach towards ascertaining open-pit to underground transition depth*.
- Bakhtavar, E., Shahriar, K. & Oraee, K., 2010. *Determination of the Optimum Crown Pillar Thickness Between Open-pit and Underground Mining*. 29th International Conference on Ground Control in Mining.
- Bakhtavar, E., Shahriar, K., Oraee, K. & Flett, P., 2009. *Mining method selection and transition depth determination problems- which one is in priority of consideration?*.
- BEST, 2014. *Private Area - Board of European Students of Technology (BEST)*. [Online] Available at: <https://private.best.eu/docs/folderView.jsp?folder=jovgl6x>.
- Equedia Investment Research, 2011. *Equedia Investment Research*. [Online] Available at: <http://www.equedia.com/mining-valuation-lesson-cut-off-grade-theory-and-practice/> [Accessed 2016].
- Fuykschot, J., 2009. *Strategic Mine Planning - Flexible mine planning to meet changes in the business environment*. Presentation. Moscow, Russia: Minex Conference 2009 SRK Consulting.
- Galvan, M., Preciado, J. & Seron, J., 2014. Correlation Between the Point Load Index  $Is(50)$ , and the resistance to unconfined compression in Limestone from the Comunidad Valenciana, Spain. *AGS - Acta Geotechnica Slovenica*, February. pp.35-45.
- Hartman, L.H., 1992. *SME Mining Engineering handbook*. 2nd ed. Littleton: Society for Mining, Metallurgy and Exploration.



Hartman, H.L. & Mutmansky, J.M., 1992. *Introductory Mining Engineering*. 2nd ed. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.

Hashash, Y.M.A., Hook, J.J., Schmidt, B. & Yao, J.I.-C., 2001. Seismic design and analysis of underground structures. *Tunneling and Underground Space Technology Vol.16*, October. pp.247-93.

Hedberg, B., 1981. Large Scale nderground Mining; An alternative to open cast mining. *Mining Magazine*, 15 September. pp.177-83.

Hellas Gold, n.d. *Hellas Gold*. [Online] Available at: <http://www.hellas-gold.com/metalleia/metalleio-xrysou-skouries> [Accessed 2016].

Info Entrepreneurs, 2009. *Info Entrepreneurs*. [Online] Available at: <http://www.infoentrepreneurs.org/en/guides/strategic-planning/#6> [Accessed 2016].

Info Mine, 2010. *TechnoMine - Mining Technology*. [Online] Available at: <http://technology.infomine.com/reviews/UgMiningMethods/welcome.asp?view=full> [Accessed July 2016].

International Society for Rock Mechanics - ISRM, 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength. pp.53-60.

Kvapil, R., 1982. The mechanics and design of sublevel caving systems. In W.A. Hustrulid, ed. *Underground Mining Methods Handbook*. New York: Society for Mining, Metallurgy and Exploration. pp.880-97.

McNamara, C., 2007. *Field Guide to Nonprofit Strategic Planning and Facilitation*. 3rd ed. Minnesota, USA: Authenticity Consulting, LLC.

Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 2011. *SME Mining Engineering Handbook*. United States of America: SME.

Sterling, R.L. & Godard, J.P., 2001. *Geoengineering Considerations in the Optimum Use of Underground Space*.

Δεληβέρης, Α., 2012. *Σχεδιασμός Υπόγειας Εκμετάλλευσης Βωξιτικού Κοιτάσματος Ασφακόλακκα*. Διπλωματική Εργασία. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Καστάνης, Μ., 2016. *Σχεδιασμός εκμετάλλευσης υπόγειου βωξιτικού*. Διπλωματική Εργασία. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Μενεγάκη, Μ., 2010. *Σχεδιασμός υπαιθρίων εκμεταλλεύσεων*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Μπενάρδος, Α., 2014. *Μέθοδοι υπόγειας εκμετάλλευσης - ελληνικές εκμεταλλεύσεις*. [Online] Αθήνα: Εκδόσεις ΕΜΠ Available at: [http://www.metal.ntua.gr/index.pl/notes7d1d23d9\\_gr\\_notes](http://www.metal.ntua.gr/index.pl/notes7d1d23d9_gr_notes).

Μπενάρδος, Α., 2014. *Σχεδιασμός Υπόγειων Εκμεταλλεύσεων*. [Online] Available at: [http://www.metal.ntua.gr/index.pl/notes7d1d23d9\\_gr](http://www.metal.ntua.gr/index.pl/notes7d1d23d9_gr).

Μπενάρδος, Α. & Καλιαμπάκος, Δ., 2010. *Υπόγεια Έργα*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ρόζος, Δ. & Κούκης, Γ., 1986. An investigation of the mineralogical, physical and mechanical properties of greek laterites. Paris, 1986. Bulletin of the international association of engineering geology.

Τερεζόπουλος, Ν., 2003. *Μέθοδοι Υπαιθρίων Εκμεταλλεύσεων*. 1st ed. Αθήνα: Εκδόσεις ΕΜΠ.

Χρηστίδης, Γ., 2002. *Κοιτασματολογία Ι (Γενικές Αρχές - Μεταλλικά Ορυκτά)*. Κρήτη, Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.