



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

# ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κοκοβιάδης Χρυσόστομος

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

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2019





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

## ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κοκοβιάδης Χρυσόστομος

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

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 12/07/2019

Μπενάρδος Ανδρέας, Αν. Καθηγητής, ..... (Υπογραφή)

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

Δαμίγος Δημήτριος, Καθηγητής, ..... (Υπογραφή)

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2019

Copyright © Κοκοβιάδης Χρυσόστομος, 2019  
Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

*Θα ήθελα να ευχαριστήσω γονείς  
και φίλους για την στήριξη τους  
όλο αυτό το διάστημα. Ιδιαίτερες ευχαριστίες στους  
συναδέλφους Πολίτη Βαγγέλη και Μπουφίδη Χρήστο για  
την βοήθεια τους. Τέλος ευχαριστώ τον επιβλέποντα  
καθηγητή μου κ. Μπενάρδο Ανδρέα για την πολύτιμη  
καθοδήγηση του.*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία σκοπεύει στην παρουσίαση και επίλυση του προβλήματος επιλογής βέλτιστης μεθόδου εκμετάλλευσης. Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου εκμετάλλευσης, είναι μια πολυσύνθετη διαδικασία, η οποία απαιτεί την εξέταση πολλών παραμέτρων. Η δυσκολία αυτή, προκύπτει από το γεγονός ότι κάθε κοίτασμα είναι ξεχωριστό θέτοντας ιδιαίτερες απαιτήσεις και προϋποθέσεις εκμετάλλευσης, τόσο λόγω των γεωμετρικών του χαρακτηριστικών, όσο και άλλων παραμέτρων όπως η κατανομή της μεταλλοφορίας, τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά του μητρικού πετρώματος και των περιβαλλόντων πετρωμάτων, κ.α.. Ταυτόχρονα, οι διαθέσιμες τεχνικές και μέθοδοι εκμετάλλευσης έχουν διαφορετικές προϋποθέσεις εφαρμογής, διαφορετικά χαρακτηριστικά έντασης εκμηχάνισης, κόστους, κ.α. Όλα τα παραπάνω δημιουργούν ένα πολλές φορές δυσεπίλυτο πρόβλημα, για το οποίο δεν μπορεί να εφαρμοστούν παρά μόνο γενικές κατευθύνσεις, μετατρέποντας την επίλυση σε τέχνη. Παρά τα παραπάνω όμως χρειάζεται πλέον να οριοθετηθεί ένα σαφές πλαίσιο υποβοήθησης της απόφασης ώστε να επιτευχθούν οι βασικοί στόχοι της εκμετάλλευσης, της απόσπασης του μεταλλεύματος με συνθήκες ασφάλειας αλλά και οικονομικότητας. Στο παρελθόν, έχουν γίνει προσπάθειες προσέγγισης επίλυσης από διάφορους επιστήμονες και μηχανικούς, οι οποίοι έχουν δημιουργήσει μια πρώτη προσέγγιση για την ανάπτυξη αυτού του πλαισίου ανάλυσης. Η παρούσα εργασία αξιοποιεί τη μέθοδο της Αναλυτικής Ιεραρχίας (AHP), η οποία διαχειρίζεται πολυκριτηριακές αποφάσεις. Σκοπός είναι μέσω της ιεραρχικής δόμησης του προβλήματος να προσδιοριστεί η καλύτερη από τις εναλλακτικές μεθόδους υπόγειας εκμετάλλευσης για το ορυχείο με βάση την αξιολόγησή τους πάνω σε ένα καθορισμένο αριθμό κριτηρίων και υποκριτηρίων τα οποία θα είναι ικανά να αποσαφηνίσουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διάφορων εναλλακτικών. Ως παράδειγμα εφαρμογής της μεθοδολογίας χρησιμοποιείται το κοίτασμα που αναπτύσσεται στη θέση «Βρυσάκια» Ευβοίας και το οποίο και αξιολογείται ως προς την βέλτιστη λύση υπόγειας εκμετάλλευσης που θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε αυτό.

## ABSTRACT

This paper aims at presenting and solving the problem of choosing an optimal mining method. Choosing the most appropriate mining method is a complex process that requires the consideration of many parameters. This difficulty arises from the fact that each deposit is unique by setting special requirements and conditions of exploitation both due to its geometrical characteristics and other parameters such as the distribution of mineralization, geomechanical characteristics of the rock and the surrounding rocks, etc. At the same time, the available techniques and mining methods have different application conditions, different features of machining intensity, cost, etc. All of the above creates a sometimes insoluble problem for which only general guidelines can be applied, transforming the solution into an art. Despite of the above, however, it is necessary to define a clear framework for decision support in order to achieve the basic objectives of mining, the extraction of the ore with safety and economy. In the past, efforts have been made to approach a solution from several scientists and engineers who have created a first approach to developing this framework of analysis. This paper explores the Analytical Hierarchy (AHP) method, which manages multi-criteria decisions. The purpose of the problem is to determine the best of the mine underground alternative methods on the basis of their assessment of a certain number of criteria and sub-criteria which will be able to clarify the particular characteristics of the various alternatives. An example of the application of the methodology is the deposit developed at Vrysakia of Evia, which is evaluated for the optimal underground mining solution that could be applied to it.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	3
ABSTRACT .....	4
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	6
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	7
1. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ .....	9
1.1. Μέθοδοι αριθμητικής προσέγγισης για την επιλογή μεθόδου εκμετάλλευσης .....	10
1.1.1. Η μέθοδος Nicholas .....	10
1.1.2. Η μέθοδος UBC .....	15
1.1.3. Εφαρμογή και σύγκριση των μεθόδων Nicholas και UBC .....	17
2. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	21
2.1. Η βασική δομή της ΑΗΡ .....	22
2.2. Συγκρίσεις κατά ζεύγη (Pairwise comparison) .....	23
2.2.1. Η κλίμακα του Saaty .....	24
2.3. Ιεραρχική ανάλυση αποφάσεων με τη μέθοδο του ιδιοδιάνυσματος .....	25
2.3.1. Η προτεραιότητα ως ιδιοδιάνυσμα .....	27
2.4. Συνέπεια και ιδιοτιμές .....	29
3. ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ .....	31
3.1 Υπαίθρια Εκμετάλλευση .....	31
3.2 Υπόγεια Εκμετάλλευση .....	32
3.2.1. Room and pillar (Θάλαμοι και στύλοι) .....	34
3.2.2. Sublevel stoping (Μέθοδος των διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα) .....	36
3.2.3. Square-set timbering (Μέθοδος των ξύλινων πρισματικών πλαισίων) .....	40
3.2.4. Cut and fill method (Μέθοδος των εναλλασσόμενων κοπών και λιθογομώσεων) .....	42
3.2.5. Longwall mining (Επίμηκες ευθύγραμμο μέτωπο) .....	45
3.2.6. Shrinkage stoping method (Μέθοδος του συμπτυσσόμενου μετώπου) .....	48
3.2.7. Top-slicing (Μέθοδος των οριζόντιων διαδοχικών κοπών με κατερχόμενη φορά εκμετάλλευσης) .....	51
3.2.8. Sublevel caving (Μέθοδος των διαδοχικών ορόφων με κατακρήμνιση οροφής) .....	54
3.2.9. Block caving (Μέθοδος της κατακρήμνισης προκαθορισμένου όγκου) .....	59
3.3. Παράγοντες που καθορίζουν την επιλογή μεθόδου εκμετάλλευσης .....	62
4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΑΗΡ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΣΤΑ «ΒΡΥΣΑΚΙΑ» ΕΥΒΟΙΑΣ .....	64
4.1. Διαδικασία επιλογής μεθόδου εκμετάλλευσης .....	64
4.1.1. Συγκρίσεις και σχετικά βάρη για τα κριτήρια και τα υποκριτήρια .....	70
4.1.2. Αποτελέσματα των συγκρίσεων και υπολογισμός των τελικών ποσοστών των μεθόδων εκμετάλλευσης .....	91
4.2 Συμπεράσματα .....	93



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	94
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	95
Μέρος Α΄.....	95
Μέρος Β΄.....	98

## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

<i>Εικόνα 1: Το σημείο αλλαγής από επιφανειακή σε υπόγεια μέθοδο.....</i>	<i>32</i>
<i>Εικόνα 2: Η διαδικασία της μεθόδου θαλάμων και στύλων.....</i>	<i>36</i>
<i>Εικόνα 3: Η μέθοδος των διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα.....</i>	<i>39</i>
<i>Εικόνα 4: Η Μέθοδος των ξύλινων πρισματικών πλαισίων.....</i>	<i>41</i>
<i>Εικόνα 5: Μέθοδος των εναλλασσόμενων κοπών και λιθογομώσεων.....</i>	<i>45</i>
<i>Εικόνα 6: Η διαδικασία της μεθόδου του επιμήκους μετώπου.....</i>	<i>48</i>
<i>Εικόνα 7: Η μέθοδος του συμπτυσσόμενου μετώπου.....</i>	<i>50</i>
<i>Εικόνα 8: Η μέθοδος των οριζόντιων διαδοχικών κοπών με κατερχόμενη φορά εκμετάλλευσης.....</i>	<i>54</i>
<i>Εικόνα 9: Η μέθοδος των διαδοχικών ορόφων με κατακρήμνιση οροφής.....</i>	<i>58</i>
<i>Εικόνα 10: Η μέθοδος της κατακρήμνισης προκαθορισμένου όγκου.....</i>	<i>61</i>
<i>Εικόνα 11: Πανοραμική φωτογραφία του ορυχείου «Βρυσάκια» Ευβοίας.....</i>	<i>65</i>
<i>Εικόνα 12: Excel για την ΑΗΡ.....</i>	<i>68</i>

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Τιμές βαθμολόγησης κάθε παράγοντα κατά Nicholas.....	11
Πίνακας 2: Κατηγοριοποίηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών κατά Nicholas.....	11
Πίνακας 3: Κατηγοριοποίηση των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών κατά Nicholas.....	12
Πίνακας 4: Βαθμολόγηση για το σχήμα του κοιτάσματος για Nicholas.....	13
Πίνακας 5: Βαθμολόγηση για την κλίση του κοιτάσματος για Nicholas.....	14
Πίνακας 6: Κατηγοριοποίηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών κατά UBC.....	15
Πίνακας 7: Κατηγοριοποίηση των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών κατά UBC.....	16
Πίνακας 8: Βαθμολόγηση για το σχήμα του κοιτάσματος για UBC.....	17
Πίνακας 9: Βαθμολόγηση για τη κλίση του κοιτάσματος για UBC.....	17
Πίνακας 10: Πίνακας τιμών για τα γεωμετρικά και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος στα «Βρυσάκια» Ευβοίας.....	18
Πίνακας 11: Αποτελέσματα των μεθόδων Nicholas και UBC για το κοιτάσμά μας.....	19
Πίνακας 12: Διάγραμμα ροής με την προσέγγιση της μεθόδου AHP.....	23
Πίνακας 13: Κλίμακα τιμών συγκρίσεως κατά ζεύγη (κατά Saaty, 1980).....	25
Πίνακας 14: Γραφική αναπαράσταση της σχετικής σημασίας.....	26
Πίνακας 15: Τιμές RI (random index) για διάφορες τιμές μεγέθους πίνακα.....	29
Πίνακας 16: Διάγραμμα ροής του προβλήματος επιλογής βέλτιστης μεθόδου εκμετάλλευσης..	67
Πίνακας 17: Σύγκριση των κριτηρίων για την επιλογή μεθόδου εκμετάλλευσης.....	70
Πίνακας 18: Σύγκριση των υποκριτηρίων της <b>Γεωμετρίας του κοιτάσματος</b> .....	72
Πίνακας 19: Σύγκριση των υποκριτηρίων των <b>Γεωτεχνικών χαρακτηριστικών</b> .....	73
Πίνακας 20: Σύγκριση των υποκριτηρίων του <b>Κόστους</b> .....	74
Πίνακας 21: Σύγκριση των υποκριτηρίων της <b>Διαδικασίας Εξόρυξης</b> .....	75
Πίνακας 22: Σύγκριση των μεθόδων για το <b>Πάχος</b> .....	76
Πίνακας 23: Σύγκριση των μεθόδων για την <b>Κλίση</b> .....	77
Πίνακας 24: Σύγκριση των μεθόδων για το <b>Βάθος</b> .....	78
Πίνακας 25: Σύγκριση των μεθόδων για το <b>Σχήμα</b> .....	79
Πίνακας 26: Σύγκριση των μεθόδων για το <b>RMR HW</b> .....	80
Πίνακας 27: Σύγκριση των μεθόδων για το <b>RMR Ore</b> .....	81
Πίνακας 28: Σύγκριση των μεθόδων για την <b>Επένδυση (αρχικό Κεφάλαιο)</b> .....	82
Πίνακας 29: Σύγκριση των μεθόδων για το <b>Κόστος Παραγωγής</b> .....	83
Πίνακας 30: Σύγκριση των μεθόδων για την <b>Παραγωγή</b> .....	84
Πίνακας 31: Σύγκριση των μεθόδων για την <b>Ευελιξία</b> .....	85
Πίνακας 32: Σύγκριση των μεθόδων για την <b>Εκλεκτικότητα</b> .....	86
Πίνακας 33: Σύγκριση των μεθόδων για την <b>Απόληψη</b> .....	87
Πίνακας 34: Σύγκριση των μεθόδων για την <b>Διάλυση</b> .....	88
Πίνακας 35: Σύγκριση των μεθόδων για την <b>Ασφάλεια και υγιεινή</b> .....	89
Πίνακας 36: Σύγκριση των μεθόδων για την <b>Περιβαλλοντικές συνέπειες</b> .....	90
Πίνακας 37: Βαθμολογία της κάθε μεθόδου εκμετάλλευσης για κάθε κριτήριο και υποκριτήριο .....	91
Πίνακας 38: Αθροίσματα των αποτελεσμάτων των σχετικών βαρών κάθε μεθόδου εκμετάλλευσης ως προς τα κριτήρια και τα υποκριτήρια για την τελική επιλογή βέλτιστης μεθόδου εκμετάλλευσης.....	92
Πίνακας 39: Βαθμολόγηση για το πάχος του κοιτάσματος για Nicholas.....	95
Πίνακας 40: Βαθμολόγηση για το βαθμό κατανομής της μεταλλογορίας του κοιτάσματος για Nicholas.....	95
Πίνακας 41: Βαθμολόγηση για το RSS του κοιτάσματος για Nicholas.....	95
Πίνακας 42: Βαθμολόγηση για την απόσταση ασυνεχειών του κοιτάσματος για Nicholas.....	96
Πίνακας 43: Βαθμολόγηση για τη διατμητική αντοχή ασυνεχειών του κοιτάσματος για Nicholas .....	96

<i>Πίνακας 44: Βαθμολόγηση για το RSS οροφής για Nicholas .....</i>	<i>96</i>
<i>Πίνακας 45: Βαθμολόγηση για την απόσταση ασυνεχειών της οροφής για Nicholas .....</i>	<i>97</i>
<i>Πίνακας 46: Βαθμολόγηση για τη διατμητική αντοχή ασυνεχειών οροφής για Nicholas.....</i>	<i>97</i>
<i>Πίνακας 47: Βαθμολόγηση για το RSS δαπέδου για Nicholas.....</i>	<i>97</i>
<i>Πίνακας 48: Βαθμολόγηση για την απόσταση ασυνεχειών του δαπέδου για Nicholas .....</i>	<i>98</i>
<i>Πίνακας 49: Βαθμολόγηση για τη διατμητική αντοχή ασυνεχειών δαπέδου για Nicholas.....</i>	<i>98</i>
<i>Πίνακας 50: Βαθμολόγηση για το πάχος του κοιτάσματος για UBC .....</i>	<i>98</i>
<i>Πίνακας 51: Βαθμολόγηση για την κατανομή της μεταλλοφορίας του κοιτάσματος για UBC..</i>	<i>99</i>
<i>Πίνακας 52: Βαθμολόγηση για το βάθος του κοιτάσματος για UBC.....</i>	<i>99</i>
<i>Πίνακας 53: Βαθμολόγηση για το RMR του κοιτάσματος για UBC .....</i>	<i>99</i>
<i>Πίνακας 54: Βαθμολόγηση για το RMR της οροφής για UBC.....</i>	<i>100</i>
<i>Πίνακας 55: Βαθμολόγηση για το RMR του δαπέδου για UBC.....</i>	<i>100</i>
<i>Πίνακας 56: Βαθμολόγηση για το RSS του κοιτάσματος για UBC .....</i>	<i>100</i>
<i>Πίνακας 57: Βαθμολόγηση για το RSS της οροφής για UBC .....</i>	<i>101</i>
<i>Πίνακας 58: Βαθμολόγηση για το RSS του δαπέδου για UBC.....</i>	<i>101</i>

# 1. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

Η επιλογή της μεθόδου εξόρυξης είναι μία από τις πιο κρίσιμες και προβληματικές διαδικασίες της μεταλλευτικής δραστηριότητας. Οι τελικοί στόχοι της επιλογής μεθόδου εξόρυξης είναι η μεγιστοποίηση της κερδοφορίας της εταιρείας και η ανάκτηση των ορυκτών πόρων, παρέχοντας ταυτόχρονα ένα ασφαλές περιβάλλον για τους εργαζόμενους, επιλέγοντας την κατάλληλη μέθοδο με τα λιγότερα προβλήματα μεταξύ των εφικτών εναλλακτικών λύσεων. Η επιλογή μιας κατάλληλης μεθόδου εξόρυξης είναι μια σύνθετη εργασία που απαιτεί την εξέταση πολλών τεχνικών, οικονομικών, πολιτικών, κοινωνικών και ιστορικών παραγόντων. Η κατάλληλη μέθοδος εξόρυξης είναι η μέθοδος που είναι τεχνικά εφικτή ανάλογα με τη γεωμετρία του μεταλλεύματος και τις συνθήκες εδάφους, ενώ ταυτόχρονα πρέπει να είναι χαμηλού κόστους. Συνεπώς, η βέλτιστη μέθοδος είναι αυτή που ανταποκρίνεται καλύτερα στις συγκεκριμένες ανά περίπτωση συνθήκες και προσφέρει στην ουσία τα λιγότερα προβλήματα. Η προσέγγιση της υιοθέτησης της ίδιας μεθόδου εξόρυξης με εκείνη της γειτονικής επιχείρησης, δεν είναι πάντα κατάλληλη. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι δεν μπορεί κανείς να μάθει από τη σύγκριση μεθόδων εξόρυξης υφιστάμενων επιχειρήσεων στην ίδια περιοχή ή παρόμοιων κοιτασμάτων. Κάθε κοιτάσμα είναι μοναδικό και έχει τις δικές του ιδιότητες και έχει εκτιμηθεί ότι η κρίση των μηχανικών έχει ευεργετική επίδραση στην απόφαση σε μια τόσο ευπροσάρμοστη εργασία όπως η εξόρυξη. Παρόλο που η εμπειρική και επιστημονική κρίση των μηχανικών εξακολουθούν να προσφέρουν σημαντική συμβολή στην επιλογή μεθόδου εξόρυξης, λεπτές διαφορές στα χαρακτηριστικά κάθε κοιτάσματος μπορεί συνήθως να γίνουν αντιληπτές μόνο μέσω λεπτομερούς ανάλυσης των διαθέσιμων δεδομένων. Είναι στην ευθύνη των γεωλόγων και των μηχανικών να συνεργαστούν για να εξασφαλίσουν ότι όλοι οι παράγοντες εξετάζονται στη διαδικασία επιλογής της μεθόδου εξόρυξης.

## 1.1. Μέθοδοι αριθμητικής προσέγγισης για την επιλογή μεθόδου εκμετάλλευσης

Για το πρόβλημα που αποτελεί και το θέμα της εργασίας, έγιναν προσπάθειες επίλυσης στο παρελθόν, με κριτήρια τα γεωμετρικά και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά ενός κοιτάσματος. Ομάδες μηχανικών προσπάθησαν να λύσουν το πρόβλημα κάνοντας χρήση της αναλυτικής ιεραρχίας (AHP). Κάποιες άλλες προσπάθειες που έγιναν, είναι της μορφής αριθμητικής προσέγγισης, η οποία καταλήγει σε βαθμολόγηση των μεθόδων. Δύο τέτοια παραδείγματα είναι η μέθοδος Nicholas και UBC, που κάνουν βαθμολόγηση δέκα μεθόδων εκμετάλλευσης (open pit, block caving, sublevel stoping, sublevel caving, longwall, room & pillar, shrinkage stoping, cut & fill, top-slicing, square set), η οποία καταλήγει σε άθροισμα “πόντων” για κάθε κριτήριο που τίθεται, με την προτιμότερη μέθοδο να καθίσταται αυτή που θα συγκεντρώσει την μεγαλύτερη βαθμολογία.

### 1.1.1. Η μέθοδος Nicholas

Η μέθοδος αυτή, είναι μια βασική μέθοδος επιλογής μεθόδου εκμετάλλευσης μέσω της αξιολόγησης και κατάταξης των διαφόρων μεθόδων εκμετάλλευσης με τη χρήση μιας αριθμητική κλίμακας βαθμολόγησης.

Οι παράμετροι που η μέθοδος Nicholas εξετάζει για την επιλογή μιας μεθόδου εκμετάλλευσης, είναι οι εξής:

1. Η γεωμετρία και την κλίση του κοιτάσματος.
2. Τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά για τη ζώνη ορυκτών, την οροφή και το δάπεδο.

Αρχικά, η μέθοδος Nicholas, περιγράφει τα χαρακτηριστικά, κατηγοριοποιώντας τα σύμφωνα με τις τιμές τους, και στην συνέχεια βαθμολογεί αριθμητικά κάθε μέθοδο για τα χαρακτηριστικά της γεωμετρίας του κοιτάσματος και τα μηχανικά χαρακτηριστικά της ζώνης του κοιτάσματος, του δαπέδου και της οροφής.

- Κάθε βαθμολογία αποτελείται από τον αριθμό "0 έως 4" ή "-49" (Πίνακας 1).
- Η βαθμολογία "-49" εξαλείφει πλήρως μια μέθοδο εξόρυξης από το να είναι εφικτή.

- Μια τιμή "0" υποδηλώνει έντονα ότι αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά τη συγκεκριμένη τεχνική εξόρυξης λιγότερο ελκυστική.
- Η τιμή "1 ή 2" υποδεικνύει ότι ένα χαρακτηριστικό δεν θα έχει αρνητικό αντίκτυπο σε μια μέθοδο.
- Η τιμή "3 ή 4" δείχνει ένα πολύ ευνοϊκό χαρακτηριστικό για τη συγκεκριμένη μέθοδο εξόρυξης.

*Πίνακας 1: Τιμές βαθμολόγησης κάθε παράγοντα κατά Nicholas*

<u>Βαθμολογία</u>	<u>Τιμή</u>
Προτιμώμενο	3-4
Πιθανό	1-2
Απίθανο	0
Εξαλειφθέν	-49

(Nicholas, 1981)

Οι βαθμολογίες στη συνέχεια αθροίζονται, με τις υψηλότερες βαθμολογίες να είναι οι πιο ευνοϊκές ή πιθανές μέθοδοι εκμετάλλευσης. Επομένως, η μέθοδος αυτή παρέχει μια ποσοτική προσέγγιση για την επιλογή μιας μεθόδου εξόρυξης.

Στους παρακάτω πίνακες, παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση με βάση τα χαρακτηριστικά της γεωμετρίας του κοιτάσματος, του RSS, της απόστασης μεταξύ των ασυνεχειών, και της διατμητικής τάσης των ασυνεχειών κατά Nicholas.

*Πίνακας 2: Κατηγοριοποίηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών κατά Nicholas*

### Γεωμετρία του Κοιτάσματος

#### 1) Γενικό σχήμα

*Ισομετρικό:* όλες οι διαστάσεις είναι ίδιας τάξης μεγέθους

*Πινακοειδές:* οι δυο διαστάσεις είναι πολλές φορές το μέγεθος του πάχους, το οποίο συνήθως δε ξεπερνά τα 100 m

*Ακανόνιστο:* οι διαστάσεις ποικίλλουν μεταξύ κοντινών αποστάσεων

## 2) Πάχος κοιτάσματος

*Μικρό:* <10 m

*Ενδιάμεσο:* 10m-30m

*Μεγάλο:* 30m-100m

*Πολύ Μεγάλο:* >100m

## 3) Κλίση

*Επίπεδη:* <20°

*Ενδιάμεση:* 20°-55°

*Απότομη:* >55°

## 4) Βαθμός κατανομής της μεταλλοφορίας

*Ομοιόμορφος:* ο βαθμός κατανομής σε οποιοδήποτε σημείο στο κοίτασμα δε διαφέρει σημαντικά από τον μέσο βαθμό κατανομής του κοιτάσματος

*Βαθμιαίος:* οι τιμές του βαθμού κατανομής έχουν χαρακτηριστικά ζώνης, και ο βαθμός αλλάζει βαθμιαία από τη μία στην άλλη

*Ασταθής:* οι τιμές του βαθμού κατανομής αλλάζουν ριζικά μεταξύ κοντινών αποστάσεων

*Πίνακας 3: Κατηγοριοποίηση των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών κατά Nicholas*

### 1) Απόσταση ασυνεχειών

	<u>Ασυνέχειες/m</u>	<u>Δείκτης ποιότητας πετρώματος (RQD)%</u>
<i>Πολύ μικρή:</i>	>16	0-20
<i>Μικρή:</i>	10-16	20-40
<i>Μεγάλη:</i>	3-10	40-70
<i>Πολύ μεγάλη:</i>	3	70-100

2) Rock substance strength (RSS=μονοαξονική αντοχή/κύρια τάση)

*μικρή:* <8

*μέτρια:* 8-15

*μεγάλη:* >15

3) Διατμητική αντοχή ασυνεχειών (Fracture shear strength)

*Μικρή:* καθαρή ασυνέχεια με λεία επιφάνεια ή πληρωμένη με υλικό με αντοχή μικρότερη του RSS

*Μέτρια:* καθαρή ασυνέχεια με τραχεία επιφάνεια

*Μεγάλη:* η ασυνέχεια πληρώνεται με υλικό το οποίο είναι ισοδύναμο ή δυνατότερο του RSS

Η βαθμολόγηση κατά Nicholas, όσον αφορά το κριτήριο σχήμα και κλίση, γίνεται με τον τρόπο που παρουσιάζεται στους παρακάτω πίνακες. Για παράδειγμα, ανάλογα με το σχήμα ή την κλίση του κοιτάσματος, επιλέγεται μια από τις 3 κατηγορίες που φαίνονται στους πίνακες και κάθε μέθοδος εξόρυξης, βαθμολογείται με έναν αριθμό για το αντίστοιχο κριτήριο.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι πίνακες με την βαθμολόγηση των μεθόδων εκμετάλλευσης συγκριτικά με το σχήμα και την κλίση, ενώ οι υπόλοιποι περιλαμβάνονται στο **Παράρτημα, Μέρος Α΄**.

*Πίνακας 4: Βαθμολόγηση για το σχήμα του κοιτάσματος για Nicholas*

Μέθοδος	Σχήμα		
	Ισομετρικό	Πινακοειδές	Ακανόνιστο
Open Pit	3	2	3
Block Caving	4	2	0
Sublevel Stopping	2	2	1
Sublevel Caving	3	4	1
Longwall	-49	4	-49
Room and Pillar	0	4	2
Shrinkage Stopping	2	2	1
Cut and Fill	0	4	2
Top Slicing	3	3	0
Square Set	0	2	4



Πίνακας 5: Βαθμολόγηση για την κλίση του κοιτάσματος για Nicholas

Μέθοδος	Κλίση		
	Επίπεδη	Ενδιάμεση	Απότομη
Open Pit	3	3	4
Block Caving	3	2	4
Sublevel Stopping	2	1	4
Sublevel Caving	1	1	4
Longwall	4	0	-49
Room and Pillar	4	1	0
Shrinkage Stopping	2	1	4
Cut and Fill	0	3	4
Top Slicing	4	1	2
Square Set	2	3	3

### 1.1.2. Η μέθοδος UBC

Η προσέγγιση του UBC (Miller-Tait 1995), είναι απλώς μια τροποποιημένη έκδοση της προσέγγισης του Nicholas. Αυτό το σύστημα αρίθμησης ακολουθεί ένα πολύ παρόμοιο πρότυπο με τη μέθοδο Nicholas. Μια τιμή, -10 εισήχθη για να βαθμολογηθεί μια μέθοδος, χωρίς ωστόσο να την εξαλείψει εξ ολοκλήρου όπως η μέθοδος Nicholas, αντικαθιστώντας έτσι την τιμή -49. Επιπλέον, η βαθμολογία των μηχανικών χαρακτηριστικών προσαρμόστηκε ώστε να είναι περισσότερο ρεαλιστική και ακριβής. Οι αντίστοιχοι πίνακες κατηγοριοποίησης για την μέθοδο UBC παρατίθενται παρακάτω.

*Πίνακας 6: Κατηγοριοποίηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών κατά UBC*

#### Γεωμετρία του Κοιτάσματος

##### 1) Γενικό σχήμα

*Ισομετρικό:* όλες οι διαστάσεις είναι ίδιας τάξης μεγέθους

*Πινακοειδές:* οι δυο διαστάσεις είναι πολλές φορές το μέγεθος του πάχους, το οποίο συνήθως δε ξεπερνά τα 35 m

*Ακανόνιστο:* οι διαστάσεις ποικίλλουν μεταξύ κοντινών αποστάσεων

##### 2) Πάχος κοιτάσματος

*Πολύ Μικρό:* <3

*Μικρό:* 3-10 m

*Ενδιάμεσο:* 10m-30m

*Μεγάλο:* 30m-100m

*Πολύ Μεγάλο:* >100m

##### 3) Κλίση

*Επίπεδη:* <20°

*Ενδιάμεση:* 20°-55°

*Απότομη:* >55°

#### 4) Βαθμός κατανομής μεταλλοφορίας

*Ομοιόμορφος:* ο βαθμός κατανομής σε οποιοδήποτε σημείο στο κοίτασμα δε διαφέρει σημαντικά από τον μέσο βαθμό κατανομής του κοιτάσματος

*Βαθμιαίος:* οι τιμές του βαθμού κατανομής έχουν χαρακτηριστικά ζώνης, και ο βαθμός αλλάζει βαθμιαία από τη μία στην άλλη

*Ασταθής:* οι τιμές του βαθμού κατανομής αλλάζουν ριζικά μεταξύ κοντινών αποστάσεων

*Πίνακας 7: Κατηγοριοποίηση των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών κατά UBC*

#### 1) Βαθμολογία της βραχομάζας (RMR)

*πολύ μικρή:* 0-20

*μικρή:* 20-40

*μέτρια:* 40-60

*μεγάλη:* 60-80

*πολύ μεγάλη:* 80-100

#### 2) Rock substance strength (RSS=μονοαξονική αντοχή/κύρια τάση)

*πολύ μικρή:* <5

*μικρή:* 5-10

*μέτρια:* 10-15

*μεγάλη:* >15

Η βαθμολόγηση των κριτηρίων σχήμα και κλίση για κάθε μέθοδο εξόρυξης κατά UBC, παρουσιάζεται στους παρακάτω πίνακες και γίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως η βαθμολόγηση στη μέθοδο Nicholas(που αναφέραμε προηγουμένως). Οι υπόλοιποι περιλαμβάνονται στο **Παράρτημα, Μέρος Β΄**.

*Πίνακας 8: Βαθμολόγηση για το σχήμα του κοιτάσματος για UBC*

Μέθοδος	Σχήμα		
	Ισομετρικό	Πινακοειδές	Ακανόνιστο
Open Pit	4	2	3
Block Caving	4	2	0
Sublevel Stopping	3	4	1
Sublevel Caving	3	4	1
Longwall	-49	4	-49
Room and Pillar	0	4	2
Shrinkage Stopping	0	4	2
Cut and Fill	1	4	4
Top Slicing	1	2	0
Square Set	0	1	4

*Πίνακας 9: Βαθμολόγηση για τη κλίση του κοιτάσματος για UBC*

Μέθοδος	Κλίση		
	Επίπεδη	Ενδιάμεση	Απότομη
Open Pit	3	3	1
Block Caving	3	2	4
Sublevel Stopping	2	1	4
Sublevel Caving	1	1	4
Longwall	4	0	-49
Room and Pillar	4	0	-49
Shrinkage Stopping	-49	0	4
Cut and Fill	1	3	4
Top Slicing	4	2	0
Square Set	2	3	2

### 1.1.3. Εφαρμογή και σύγκριση των μεθόδων Nicholas και UBC

Παρακάτω, παρατίθενται τα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος που μας απασχολεί και θα μας απασχολήσει και στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο.

Πίνακας 10: Πίνακας τιμών για τα γεωμετρικά και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος στα «Βρυσάκια» Ευβοίας

	<b>Παράμετροι</b>	<b>Περιγραφή</b>
<b>Ζώνη Κοιτάσματος</b>	Πάχος	10-30m
	Κλίση	45%
	Γενικό σχήμα	Πινακοειδές
	Βαθμός κατανομής της μεταλλοφορίας	Ομοιόμορφος
	Βάθος	150-200m
	RQD	0-95%
	Κατάσταση ασυνεχειών	Στον λατερίτη είναι ελαφρά λείες και μέτρια έως πολύ αποσαθρωμένες
	RSS	<5
	RMR	40-58
	UCS	10MPa
	<b>Οροφή</b>	RQD
Κατάσταση ασυνεχειών		Στα ταβάνια οι ασυνέχειες είναι τραχείς και ελαφρά αποσαθρωμένες
RSS		>15
RMR		79
UCS		70 MPa
<b>Δάπεδο</b>	RQD	45-90%
	Κατάσταση ασυνεχειών	Στα πατώματα τραχείς, ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένες
	RSS	5-10
	RMR	67
	UCS	28MPa

Στο σημείο αυτό, με τα στοιχεία που περιγράφονται στον Πίνακα 6, θα γίνει χρήση των μεθόδων Nicholas και UBC, ώστε να πάρουμε κάποια αποτελέσματα όσον αφορά τις 6 μεθόδους που έχουν επιλεχθεί να εξεταστούν για το κοίτασμα. Έτσι, αθροίζονται οι τιμές που αντιστοιχούν στην κάθε μέθοδο για κάθε κριτήριο ξεχωριστά. Για **παράδειγμα**, η μέθοδος Cut and fill για τη μέθοδο Nicholas, συγκεντρώνει τη συνολική βαθμολογία ως εξής:

**Cut and Fill:**

- Σχήμα(Πινακοειδές)=3
- Πάχος(Ενδιάμεσο)=4
- Κλίση(Ενδιάμεση)=3
- Βαθμός κατανομής μεταλλοφορίας(Ομοιόμορφος)=3
- RSS Κοιτάσματος(Μικρή)=3
- RSS Οροφής(Μεγάλη)=2
- RSS Δαπέδου(Μέτρια)=2
- Απόσταση ασυνεχειών κοιτάσματος(Πολύ μικρή)=3
- Απόσταση ασυνεχειών οροφής(Μεγάλη)=2
- Απόσταση ασυνεχειών δαπέδου(Μικρή)=4
- Διατμητική αντοχή ασυνεχειών κοιτάσματος(Μικρή)=3
- Διατμητική αντοχή ασυνεχειών οροφής(Μέτρια)=3
- Διατμητική αντοχή ασυνεχειών δαπέδου(Μέτρια)=4

Άρα, η συνολική βαθμολογία της μεθόδου Cut and Fill κατά Nicholas, με βάση το δεδομένο κοίτασμα, είναι 40. Αντίστοιχα προκύπτει και η βαθμολόγηση για τις υπόλοιπες μεθόδους κατά Nicholas και UBC. Συνεπώς τα τελικά μας αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

*Πίνακας 11: Αποτελέσματα των μεθόδων Nicholas και UBC για το κοίτασμά μας*

<b>NICHOLAS</b>	<b><u>Total</u></b>	<b>UBC</b>	<b><u>Total</u></b>
1. Cut and Fill	40	1.Sublevel stoping	33
2. Longwall	37	2.Cut and Fill	28
3.Block caving	33	3.Room and Pillar	26

4.Room & pillar	29	4.Longwall	25
5.Sublevel caving	22	5.Block caving	23
6.Sublevel stoping	-27	6.Sublevel caving	23

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, συμπεραίνουμε, ότι οι δυο μέθοδοι παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις, αφού βγάζουν αρκετά διαφορετικά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, η μέθοδος **Sublevel stoping**, έχει λάβει την μικρότερη βαθμολογία (-27) για τη μέθοδο Nicholas, ενώ για τη μέθοδο UBC, καταλαμβάνει την πρώτη θέση (33). Χρειάζεται επομένως να γίνει μεγαλύτερη ανάλυση και σε περισσότερο βάθος από μιας τέτοιου τύπου αριθμητικής προσέγγισης. Σε αντίθεση με αυτές τις δύο μεθόδους, μέσω της AHP, μπορούμε να συγκρίνουμε τις μεθόδους μας σύμφωνα με περισσότερα κριτήρια και υποκριτήρια, τα οποία το καθένα θα έχει και διαφορετική βαρύτητα ως προς την τελική επιλογή.

## 2. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (AHP) είναι μια δομημένη τεχνική για την οργάνωση και την ανάλυση σύνθετων αποφάσεων βασισμένων στα μαθηματικά και την ψυχολογία. Αναπτύχθηκε από τον Thomas L. Saaty στη δεκαετία του 1970 και έχει εξεταστεί εκτενώς από τότε.

Σκοπεύει πρωτίστως στην κατασκευή ρεαλιστικών μοντέλων για την λήψη μιας απόφασης. Ένα μοντέλο για να είναι ρεαλιστικό, είναι απαραίτητο να προσμετρά όλους τους παράγοντες – κριτήρια που συμμετέχουν στην λήψη της απόφασης, είτε έχουν υλική είτε άυλη μορφή. Οι μετρήσεις σε ένα μοντέλο AHP μπορούν να είναι ποσοτικές ή ποιοτικές. Αυτό είναι και το «επαναστατικό» στην μέθοδο του Saaty, το ότι δημιούργησε δηλαδή μια κλίμακα η οποία καθιστά τα πάντα μετρήσιμα, με τρόπο τέτοιο, έτσι ώστε να μπορούν να ιεραρχηθούν με συνέπεια και τελικά να προσδιοριστεί η καλύτερη εναλλακτική απόφαση.

Η AHP συγκαταλέγεται στις μεθόδους λήψης αποφάσεων πολυκριτηριακών προβλημάτων, γνωστές ως Multi-Attribute Decision Methods (*M.A.D.M's*). Είναι ίσως η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη από τις μεθόδους M.A.D.M.1 διότι ως μέθοδος έχει μια σειρά από επιθυμητές ιδιότητες (Steiguer 2003):

- i. Η AHP είναι εφαρμόσιμη σε περιπτώσεις αποφάσεων όπου εμπλέκεται η υποκειμενική κρίση.
- ii. Χρησιμοποιεί τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά δεδομένα.
- iii. Προβλέπονται τρόποι για τη μέτρηση της συνέπειας των κρίσεων από την ίδια την διαδικασία.
- iv. Η AHP είναι κατάλληλη για περιπτώσεις όπου ο αποφασίζων είναι ομάδα.

Το έργο των μηχανικών είναι σε μεγάλο βαθμό εξαρτώμενο από την λήψη αποφάσεων και την επίλυση προβλημάτων. Μέσα από τη λήψη αποφάσεων και την επίλυση προβλημάτων εντοπίζονται οι παράγοντες που απαιτούν προσοχή, θέτονται στόχοι, σχεδιάζονται οι εναλλακτικές δράσεις-στρατηγικές-αποφάσεις, γίνεται η επιλογή των καλύτερων εναλλακτικών και εκτιμώνται τα αποτελέσματα αυτών.

Η AHP **δε μετρά** κάθε παράγοντα που αλληλεπιδρά με κάποια εναλλακτική απόφαση ή κάποιο κριτήριο **μεμονωμένα** αλλά σε **σχετική σύγκριση** με κάποιον αντίστοιχο παράγοντα. Με λίγα λόγια βαθμολογεί την σημαντικότητα του ενός παράγοντα σε σύγκριση με την σημαντικότητα κάποιου άλλου, βασίζεται δηλαδή αποκλειστικά στις



δυναδικές συγκρίσεις, οι οποίες παρέχουν, μέσα από την κλίμακα του Saaty (Πίνακας 13), και το μετρήσιμο αποτέλεσμα.

Είναι προφανές ωστόσο, ότι λόγω της υποκειμενικότητας είναι δύσκολο να δουλέψει κανείς βασιζόμενος στην κρίση του αποφασίζοντας ή ακόμη και ενός μεγαλύτερου συνόλου. Για τον λόγο αυτό μελετήθηκε ιδιαίτερα η συνέπεια της κρίσης και η εγκυρότητα της.

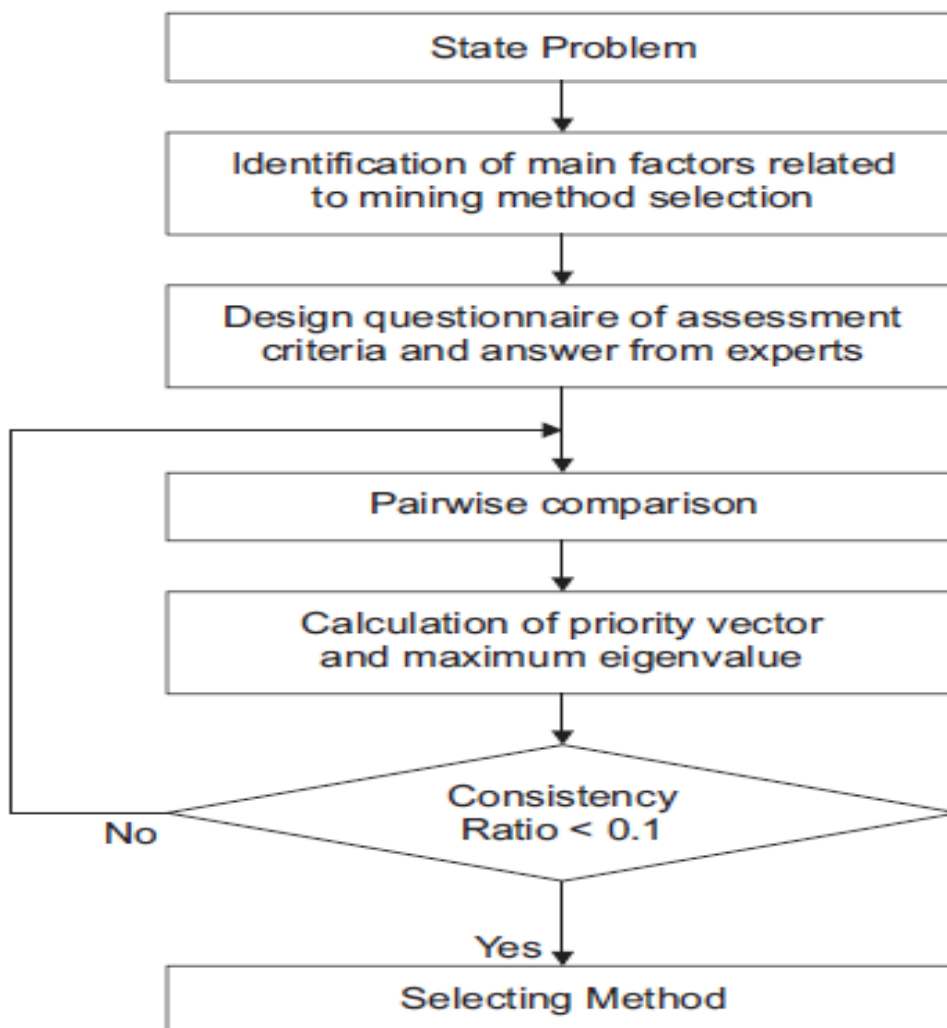
## 2.1. Η βασική δομή της ΑΗΡ

Η δομή της μεθόδου ξεκινά διαχωρίζοντας το πρόβλημα σε μικρότερα κομμάτια και στη συνέχεια χρησιμοποιεί συγκρίσεις κατά ζεύγη, ώστε να καθορίσει τις προτεραιότητες σε κάθε ιεραρχία. Η ΑΗΡ βασίζεται ουσιαστικά σε τρεις αρχές: **αποσύνθεση, σχετικές συγκρίσεις και σύνθεση των προτεραιοτήτων** (Saaty, 1986):

1. **Αποσύνθεση:** Για να κατασκευαστεί μια ιεραρχία, πρέπει να εντοπιστούν τα βασικά στοιχεία του προβλήματος. Για τον εντοπισμό των στοιχείων αυτών είναι απαραίτητη η αποσύνθεση του προβλήματος σε επίπεδα με την μορφή δέντρου. Στο **πρώτο επίπεδο** του δέντρου βρίσκεται ο τελικός στόχος. Ακολουθείται από τα βασικά κριτήρια που επηρεάζουν την απόφαση στο **δεύτερο επίπεδο**, τα υποκριτήρια αυτών στο **τρίτο** και συνεχίζεται με ανάλογο τρόπο. Κάθε επίπεδο λοιπόν, είναι η αποσύνθεση του ακριβώς προηγούμενου. Στο τελευταίο επίπεδο του δέντρου παραθέτονται οι εναλλακτικές αποφάσεις.
2. **Σχετικές συγκρίσεις:** Οι συγκρίσεις κατά ζεύγη που ακολουθούν την αποσύνθεση του προβλήματος, ποσοτικοποιούν την σημασία του κάθε κριτηρίου (ή υποκριτηρίου) στο εκάστοτε επίπεδο σε σχέση πάντοτε με το κάθε στοιχείο που συνδέεται στο ανώτερο ακριβώς επίπεδο. Μέσω των συγκρίσεων αυτών προκύπτουν οι πίνακες προτιμήσεων, οι οποίοι παρέχουν στη συνέχεια την εκτίμηση των σχετικών βαρών για κάθε κριτήριο (ή υποκριτήριο) και για κάθε εναλλακτική.
3. **Σύνθεση των προτεραιοτήτων:** Τα σχετικά βάρη που υπολογίζονται μέσω των πινάκων προτιμήσεων υποδεικνύουν την σύνθεση των προτεραιοτήτων, η οποία οδηγεί στη συνέχεια στην κατασκευή της ιεραρχίας.

Σύμφωνα με τον Saaty (1980), το βασικό πρόβλημα σε μια ιεραρχία είναι η επιδίωξη εξαγωγής πληροφορίας και γνώσης στα υψηλότερα επίπεδα μέσω των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στα επίπεδα και όχι απευθείας από τα στοιχεία που περιλαμβάνει κάθε επίπεδο. Με το παρακάτω διάγραμμα (Πίνακας 12), διαφαίνεται η δομή της μεθόδου της AHP, καθώς και τα βήματα που ακολουθούνται:

Πίνακας 12: Διάγραμμα ροής με την προσέγγιση της μεθόδου AHP



## 2.2. Συγκρίσεις κατά ζεύγη (Pairwise comparison)

Η μέθοδος AHP βασίζεται στις σχετικές συγκρίσεις ανάμεσα στα κριτήρια ή υποκριτήρια, ώστε να εξάγει ένα μετρήσιμο αποτέλεσμα για την σύνθεση των προτεραιοτήτων.

Μέσω των συγκρίσεων αυτών δημιουργείται μια κλίμακα προτεραιοτήτων οι οποίες είναι σε σχετικές τιμές. Επομένως, η διαδικασία ξεκινά με την κρίση του αποφασίζοντος η οποία έρχεται πρώτη και τις προτεραιότητες να ακολουθούν εξαγόμενες από αυτήν. Ο τρόπος είναι ιδιαίτερα απλός, αφού συγκρίνονται δύο στοιχεία με σκοπό να εντοπιστεί ποιο είναι μεγαλύτερο ή προτιμότερο.

Στα πολυκριτηριακά προβλήματα κατά την βαθμολόγηση των κριτηρίων ή υποκριτηρίων, σκοπός είναι να φανερώνεται η επιρροή του ενός στο άλλο. Το μέσο, για να επιτευχθούν συγκρίσεις τέτοιου είδους και να γίνει ορθή βαθμολόγηση αυτών, είναι οι απόλυτοι αριθμοί.

Τέλος, ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που καθιστά τις σχετικές συγκρίσεις ιδανικές για την επίλυση προβλημάτων λήψης αποφάσεων, είναι η συνέπεια η οποία προσφέρουν. Η συνέπεια σε οποιονδήποτε τρόπο μέτρησης και αξιολόγησης των αντικειμένων, δε μπορεί να θεωρηθεί δεδομένη. Σχετίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό με την γνώση που έχει ο αποφασίζων για την δεδομένη κατάσταση. Με λίγα λόγια, όσο πιο καλά γνωρίζει κάποιος το πρόβλημα, τόσο πιο συνεπής αναμένεται να είναι και η αναπαράσταση του προβλήματος που θα κάνει. Οι δυαδικές συγκρίσεις μέσα από την απλότητα που προσφέρουν, βοηθούν στην διασφάλιση της συνέπειας, δίνοντας στον αποφασίζοντα την δυνατότητα να χρησιμοποιήσει όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες χρειάζεται. (Κόλλια, 2011-2012).

### 2.2.1. Η κλίμακα του Saaty

Η δόμηση μιας αποτελεσματικής και απλοϊκής κλίμακας για τις συγκρίσεις κατά ζεύγη, αποτέλεσε σημαντικότατο παράγοντα για την λειτουργία της AHP. Ο Saaty (1980), πρότεινε αντί να χρησιμοποιούνται δύο αριθμοί (ή κατ' επέκταση η ερμηνεία του λόγου τους  $w_i/w_j$ ) από μία κλίμακα κατά την πραγματοποίηση των συγκρίσεων, να καθορίζεται η σύγκριση από έναν αριθμό από μια θεμελιώδη κλίμακα απόλυτων αριθμών, ο οποίος θα αντιπροσωπεύει τον λόγο  $\frac{w_i/w_j}{1}$ . Ο αριθμός αυτός αποτελεί μια αρκετά καλή ακέραια προσέγγιση του λόγου  $w_i/w_j$ . Η παραγόμενη κλίμακα, παρέχει πληροφορίες για τους αριθμούς  $w_i$  και  $w_j$ , και αποκαλύπτει ουσιαστικά τα βάρη για τα συγκρινόμενα μέρη.

Με βάση αυτά, ο Saaty(1980), κατέληξε σε ένα σύνολο  $S$  πεπερασμένων θετικών πραγματικών αριθμών, όπου ο καθένας τους, δίνει ένα μέτρο της σχετικής σημασίας δυο παραγόντων στη γνώμη του αποφασίζοντα. Το σύνολο  $S$ , είναι πεπερασμένο όχι

μόνο για λόγους προτυποποίησης της μελέτης μέσω σύγκρισης, αλλά επίσης για την αποφυγή δημιουργίας της παραπλανητικής εντύπωσης ότι η ανθρώπινη κρίση μπορεί να κάνει αυθαίρετα οποιαδήποτε σύγκριση ανεξάρτητα από την ανομοιογένεια των συγκρινόμενων μερών. Ο Saaty λοιπόν, προτείνει ως επαρκές το σύνολο:

$$S = \{1/9, 1/7, 1/5, 1/3, 1, 3, 5, 7, 9\}$$

Και επιτρέπει για βελτίωση του την επέκταση χρησιμοποιώντας τις ενδιάμεσες τιμές:  $\{1/9, 1/8, 1/7, \dots, 1, \dots, 7, 8, 9\}$ .

Έτσι προκύπτει ο Πίνακας 13, που παρέχει τη βαθμολογία από την πλήρως ισοδύναμη σημαντικότητα έως την ισχυρά πολύ πιο μεγάλη σημαντικότητα του ενός στοιχείου έναντι του άλλου.

Πίνακας 13: Κλίμακα τιμών συγκρίσεως κατά ζεύγη (κατά Saaty, 1980)

Βαθμολογία	Ορισμός σχετικής σημασίας	Επεξήγηση σχετικής σημασίας
1	Ίδιας σημασίας	Τα σχέδια συνεισφέρουν ισότιμα στο κριτήριο
3	Ασθενής προτίμηση του ενός ως προς το άλλο	Ελαφρά προτίμηση στο ένα σχέδιο
5	Αισθητή ή δυνατή προτίμηση	Ισχυρή προτίμηση στο ένα σχέδιο
7	Πολύ δυνατή προτίμηση	Ισχυρά επιθυμητό του ενός με διαφορά που αποδεικνύεται
9	Απόλυτη προτίμηση κρίσεων	Προφανής προτίμηση του ενός με διαφορά που επιβεβαιώνεται
2, 4, 6, 8	Ενδιάμεσες τιμές μεταξύ των δύο κρίσεων	Όταν απαιτείται συμβιβασμός

## 2.3. Ιεραρχική ανάλυση αποφάσεων με τη μέθοδο του ιδιοδιανύσματος

Η πρώτη μέθοδος που αναπτύχθηκε για τον υπολογισμό των βαρών των εναλλακτικών αποφάσεων μέσω της AHP είναι η μέθοδος του ιδιοδιανύσματος. Η κατάταξη των προτεραιοτήτων δίνεται από το ιδιοδιάνυσμα  $w$ , το οποίο προκύπτει από την σχέση:

$$Aw = \lambda_{max}w$$

Όπου  $A$  ο πίνακας που περιέχει τις τιμές των δυαδικών συγκρίσεων (*pairwise comparison matrix*) και  $\lambda_{max}$  πρωτεύουσα ιδιοτιμή του (*principal eigenvalue*). Όπου

$a_{ij}$  οι τιμές των δυαδικών συγκρίσεων που φανερώνουν την σχετική σημασία του παράγοντα  $i$  έναντι του  $j$  όπως φαίνεται στο γράφημα:

Πίνακας 14: Γραφική αναπαράσταση της σχετικής σημασίας



Το διάνυσμα των προτεραιοτήτων  $w$  υπολογίζεται ως εξής:

- Υπολογίζεται το άθροισμα της κάθε γραμμής του πίνακα  $A$ :

$$s_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}$$

- Για κάθε γραμμή του πίνακα  $A$  υπολογίζονται τα  $w_i$  όπου δίνονται από το πηλίκο:  $w_i = s_i / \sum_{i,j=1}^n a_{ij}$ , από το οποίο προκύπτει το εκτιμώμενο κανονικοποιημένο διάνυσμα  $\hat{w}$ . Ισχύει πάντα  $\sum_i w_i = 1$ .
- Στη συνέχεια, υψώνεται ο πίνακας  $A$  στο τετράγωνο και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι δύο διαδοχικές εκτιμήσεις του  $\hat{w}$  να μη διαφέρουν.

Με βάση την διαδικασία της AHP, αφού γίνει ο υπολογισμός του διανύσματος των προτεραιοτήτων για κάθε πίνακα των δυαδικών συγκρίσεων, ακολουθεί ο υπολογισμός των προτεραιοτήτων συνολικά για κάθε εναλλακτική απόφαση-λύση. Η συνολική προτεραιότητα προκύπτει από πράξεις πολλαπλασιασμού μεταξύ των βαρών του κάθε πίνακα, από το κατώτερο προς το ανώτερο αρχικό επίπεδο (Κόλλια, 2011-2012).

### 2.3.1. Η προτεραιότητα ως ιδιοδιάνυσμα

Έστω τα στοιχεία  $C_1, \dots, C_n$  ενός επιπέδου της ιεραρχίας. Σκοπός είναι η εκτίμηση των σχετικών βαρών  $w_1, \dots, w_n$  που φανερώνουν την επιρροή των  $C_1, \dots, C_n$  σε κάποιο στοιχείο του αμέσως επόμενου επιπέδου.

Ως  $a_{ij}$  αναπαριστάται ο αριθμός που υποδεικνύει την ισχύ του  $C_i$  όταν συγκρίνεται με το  $C_j$ . Ο πίνακας των  $a_{ij}$  είναι ο πίνακας  $A$ ,

$$A = (a_{ij})$$

Ισχύει ότι:  $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$  και έτσι, ο πίνακας  $A$  έχει αντίστροφο.

Επίσης, ο πίνακας  $A$  είναι συνεπής εάν και μόνο εάν ισχύει :

$$a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk} \text{ για κάθε } i, j, k.$$

Μια προφανής περίπτωση όπου ο πίνακας  $A$  θα ήταν συνεπής, είναι αυτή στην οποία οι συγκρίσεις βασίζονται σε ακριβής μετρήσεις. Στην περίπτωση αυτή τα βάρη  $w_1, \dots, w_n$  είναι ήδη γνωστά. Τότε :

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad i, j = 1, \dots, n \quad (1-1)$$

Και κατά συνέπεια:

$$a_{ij} a_{jk} = \frac{w_i}{w_j} \frac{w_j}{w_k} = \frac{w_i}{w_k} = a_{ik}$$

Και λόγω αντιστροφής:

$$a_{ij} = \frac{w_j}{w_i} = \frac{1}{w_i/w_j} = \frac{1}{a_{ji}}$$

Έστω τώρα η εξίσωση:  $A \cdot x = y$ , όπου  $x = (x_1, \dots, x_n)$  και  $y = (y_1, \dots, y_n)$  είναι ένας άλλος συμβολισμός του συνόλου εξισώσεων:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = y_i \quad i = 1, \dots, n$$

Από την σχέση (1-1) παίρνουμε ότι :

$$a_{ij} \cdot \frac{w_j}{w_i} = 1 \quad i, j = 1, \dots, n$$

Και επομένως:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \frac{1}{w_i} = n \quad i = 1, \dots, n$$

ή

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j = n w_i \quad i = 1, \dots, n$$

Η οποία ισοδυναμεί με:

$$Aw = nw \quad (1-2)$$

Η παραπάνω έκφραση στην θεωρία πινάκων εκφράζει ότι το  $w$  είναι ένα ιδιοδιάνυσμα του πίνακα  $A$  με ιδιοτιμή  $n$ . Σε μορφή πινάκων η (1-2) έχει ως εξής:

$$\begin{array}{c|cccc}
 & A_1 & A_2 & \cdots & A_n \\
 \hline
 A_1 & \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \cdots & \frac{w_1}{w_n} \\
 A_2 & \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \cdots & \frac{w_2}{w_n} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\
 A_n & \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \cdots & \frac{w_n}{w_n}
 \end{array}
 \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

Όλα όσα μέχρι τώρα έχουμε αναφέρει βασίζονται στην περίπτωση όπου οι μετρήσεις είναι ακριβής και έτσι ο πίνακας  $A$  θα ήταν συνεπής. Στην πράξη όμως, οι αριθμοί  $a_{ij}$  βασίζονται στην υποκειμενική κρίση του χρήστη της μεθόδου όπου πραγματοποιεί τις συγκρίσεις. Έτσι τα  $a_{ij}$  θα αποκλίνουν από τον λόγο  $w_i/w_j$  και η εξίσωση (1-2) δεν θα ισχύει.

Συνεπώς, το πρόβλημα συνοψίζεται ως εξής : Εάν  $A$  είναι ο πίνακας που περιέχει τις τιμές των δυαδικών συγκρίσεων, για να βρεθεί το διάνυσμα των προτεραιοτήτων, πρέπει να βρεθεί το διάνυσμα  $w$ , τέτοιο ώστε:

$$Aw = \lambda_{max} w$$

Για να διασφαλίζεται μια κανονικοποιημένη λύση όπως είναι επιθυμητό, μεταβάλλεται ελαφρώς το διάνυσμα  $w$ , θέτοντας  $\alpha = \sum_{i=1}^n w_i$  και αντικαθιστώντας το

$w$  με την σχέση  $(1/a)w$ . Η μεταβολή αυτή διασφαλίζει την μοναδικότητα του αποτελέσματος και επιπλέον ότι  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$  (Κόλλια, 2011-2012).

## 2.4. Συνέπεια και ιδιοτιμές

Η συνέπεια των κρίσεων και των αποφάσεων κατά την εφαρμογή της AHP σχετίζεται άμεσα με την συνέπεια του πίνακα.

Η ανάλυση συνέπειας εξασφαλίζει ότι οι εκτιμήσεις και η βαθμολογία που προέκυψε δεν έχουν εγγενή προβλήματα. Για το σκοπό αυτό και την αξιολόγηση της ποιότητας του πίνακα συγκρίσεων, ορίζεται ο δείκτης συνέπειας (CI), ο οποίος εκφράζεται από τη σχέση:

$$\text{Δείκτης συνέπειας: } C.I = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{n-1}, \text{ όπου } \lambda_{\max} \text{ είναι η τιμή του}$$

μέγιστης ιδιοτιμής (principal eigenvalue) του πίνακα και ισχύει ότι  $\lambda_{\max} \geq n$

Για τον προσδιορισμό του δείκτη συνέπειας ενός τυχαία παραγόμενου πίνακα  $A^r$  με στοιχεία από το σύνολο του Saaty ορίστηκε ο τυχαίος δείκτης **R.I.** (*random index*) (Πίνακας 15). Το σύνολο του Saaty, αποτελεί ένα πεπερασμένο σύνολο θετικών αριθμών όπως δόθηκε και προηγούμενα στον Πίνακα 13., στην επεκταμένη μορφή του είναι το εξής:  $\{1/9, 1/8, \dots, 1, \dots, 8, 9, \dots\}$ . Ο R.I. είναι ένας τυχαίος δείκτης ο οποίος έχει υπολογιστεί με την χρήση ενός μεγάλου δείγματος από τυχαία παραχθέντες θετικά ορισμένους  $A^r$  πίνακες (*reciprocal matrices*) αυξανόμενης τάξης. Οι τιμές του τυχαίου δείκτη δίνονται από έναν πίνακα τον οποίο έχει καταρτίσει ο Saaty, χρησιμοποιώντας μεγάλο δείγμα πινάκων με αριθμό τάξης έως 15η, υπολογίζοντας κατά μέσο όρο τον δείκτη συνέπειας για κάθε τάξη. Ο παρακάτω πίνακας δίνει το μέγεθος του πίνακα και τον αντίστοιχο μέσο R.I.:

Πίνακας 15: Τιμές RI (*random index*) για διάφορες τιμές μεγέθους πίνακα

Μέγεθος Πίνακα	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I.	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Πηγή: Saaty, 1996

Ο λόγος του δείκτη C.I. προς τον αντίστοιχης τάξης R.I. καλείται λόγος συνέπειας - consistency ratio (C.R.)- (Saaty, 1980). Ο δείκτης, λοιπόν, που κρίνει τελικώς την



συνέπεια των αποτελεσμάτων και ολοκληρώνει έτσι και τον έλεγχο συνέπειας, είναι ο **C.R.** Όπως φαίνεται και από την έκφραση του δείκτη  $C.R.=C.I/R.I$  , είναι αντιστρόφως ανάλογος με την συνέπεια των κρίσεων. Ο Saaty έχει θέσει ως όριο την τιμή **0,10** για την αποδοχή των αποτελεσμάτων. Εάν ο C.R. είναι μεγαλύτερος από την τιμή αυτή θεωρείται ασυνεπής και ο αποφασίζων πρέπει να αναθεωρήσει τις εισόδους του πίνακα (Saaty, 1980). Στην πράξη βέβαια, υπάρχουν και περιπτώσεις όπου και τιμές λίγο πάνω από το 0,10 πρέπει να γίνονται αποδεκτές. Η ιδανική τιμή για την συνέπεια της διαδικασίας είναι προφανώς το μηδέν. Οι τρεις αυτοί δείκτες ολοκληρώνουν και τον έλεγχο συνέπειας της μεθόδου.

Η γνώση της ασυνέπειας επιτρέπει ακολούθως και την αναγνώριση των κρίσεων οι οποίες απαιτούν αναθεώρηση (Saaty and Vargas, 1984). Το γεγονός ότι, από την ίδια την μέθοδο προβλέπονται τρόποι για μέτρηση της συνέπειας των κρίσεων, την διαχωρίζει ριζικά από τις περισσότερες αναλυτικές μεθόδους αποφάσεων οι οποίες δεν έχουν κανέναν επίσημο τρόπο ελέγχου της συνέπειας, και την καθιστά ως μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους.

### 3. ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

Διάφορες μέθοδοι εξόρυξης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βέλτιστη απόσπαση ενός κοιτάσματος. Η επιλογή του τύπου εκμετάλλευσης εξαρτάται κυρίως από τη γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά του κοιτάσματος. Όπως γνωρίζουμε, υπάρχουν δύο μέθοδοι εξόρυξης: η επιφανειακή και η υπόγεια.

#### 3.1 Υπαίθρια Εκμετάλλευση

Υπαίθρια εκμετάλλευση ονομάζεται οποιαδήποτε εκμετάλλευση στερεών πρώτων υλών, η οποία πραγματοποιείται επιφανειακά με οικονομικά συμφέροντες όρους.

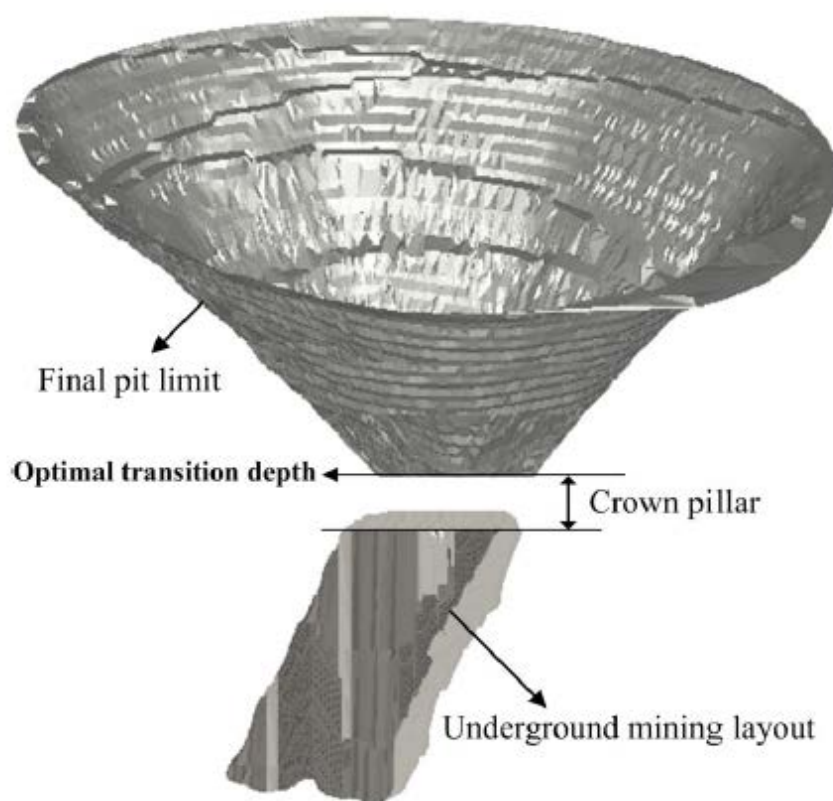
Οι επιφανειακές εκμεταλλεύσεις μπορούν να διακριθούν σε τρεις βασικούς τύπους:

1. Επιφανειακή εκμετάλλευση κοιτασμάτων κατά λωρίδες (**Strip mining**).
2. Επιφανειακή εκμετάλλευση με βαθμίδες για κοιτάσματα μεγάλης οριζόντιας εξάπλωσης (**Terrace mining**), η οποία κυρίως χρησιμοποιείται στις εκμεταλλεύσεις λιγνιτικών κοιτασμάτων.
3. Επιφανειακή εκμετάλλευση με κλειστές βαθμίδες (χοανοειδής εκμετάλλευση-**Conical pit**), η οποία χρησιμοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις μεταλλικών κοιτασμάτων.
4. Επιφανειακή εκμετάλλευση (**Open pit mining**) με ανοιχτές βαθμίδες, η οποία χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις λατομείων αδρανών υλικών και μαρμάρων αλλά και σε μεταλλεία, στις περιπτώσεις που δεν επιλέγεται η υπόγεια εκμετάλλευση είτε άλλου είδους επιφανειακή εκμετάλλευση.

Η μέθοδος **open pit**, θεωρείται σε μεγάλο βαθμό πλεονεκτική σχετικά τις μεθόδους υπόγειας εκμετάλλευσης, ιδίως όσον αφορά την ανάκτηση, την παραγωγική ικανότητα, τη μηχανικοποίηση, τον έλεγχο της κλίσης και την κλίση κοπής, την απώλεια και διάλυση του ορυκτού, τα οικονομικά, και την ασφάλεια, ενώ η υπόγεια εξόρυξη μπορεί να θεωρηθεί ως περισσότερο αποδεκτή από περιβαλλοντική και κοινωνική άποψη. Επιπλέον, η υπόγεια εκμετάλλευση θα έχει συχνά μικρότερο αποτύπωμα από ένα ανοιχτό μεγάλο λάκκο στην επιφάνεια της γης.

Πολλά κοιτάσματα μπορούν να εξορύσσονται εξ ολοκλήρου με τη μέθοδο open pit ενώ άλλα πρέπει να δουλευτούν εξ αρχής με υπόγειες μεθόδους. Εκτός από αυτά τα δύο είδη κοιτασμάτων, υπάρχουν κοιτάσματα κοντά στην επιφάνεια με σημαντική

κατακόρυφη έκταση. Αν και είναι δυνατόν αρχικά να τα εκμεταλλευτούμε με τη μέθοδο open pit, υπάρχει συχνά ένα σημείο όπου πρέπει να ληφθεί απόφαση αν θα συνεχίσει να εμβαθύνει το ορυχείο ή να αλλάξει σε υπόγειες μεθόδους. Το σημείο στο οποίο οι οικονομικοί λόγοι υπαγορεύουν την αλλαγή από open pit σε υπόγεια μέθοδο ονομάζεται **"βάθος μετάβασης"** (Εικόνα 1). Ο ακριβής προσδιορισμός αυτού του βάθους όπου και οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται, είναι εξαιρετικά σημαντικός.



*Εικόνα 1: Το σημείο αλλαγής από επιφανειακή σε υπόγεια μέθοδο*

### 3.2 Υπόγεια Εκμετάλλευση

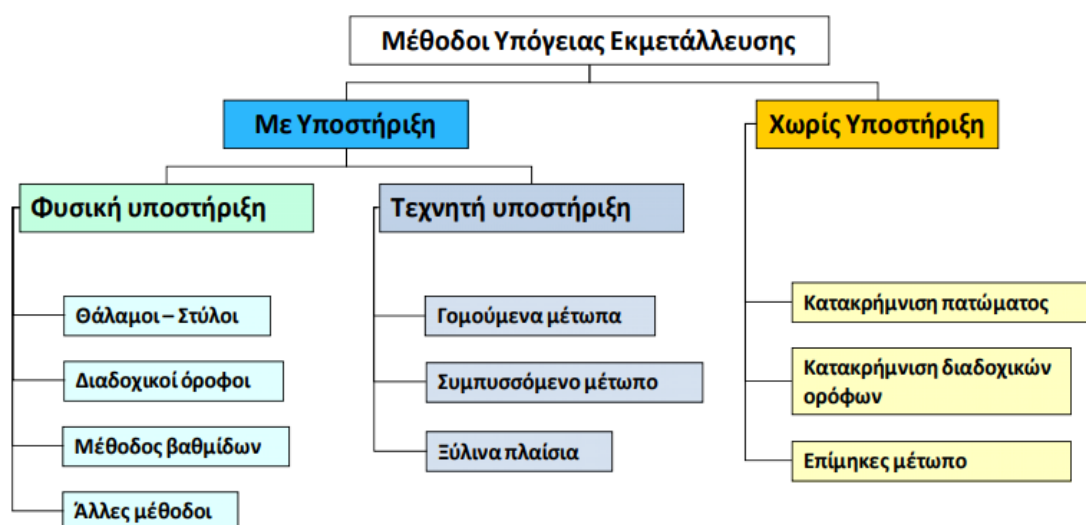
Η ανάπτυξη κοιτασμάτων σε μεγάλα βάθη κυρίως βάθη για τα οποία η εκμετάλλευσή τους από την επιφάνεια δεν μπορεί να γίνει με θετικό οικονομικό αποτέλεσμα οδηγεί στην διερεύνηση της εκμεταλλευσιμότητάς τους με υπόγειες μεθόδους. Οι υπόγειες μέθοδοι εκμετάλλευσης ουσιαστικά επιτυγχάνουν την πρόσβαση στο χώρο

ανάπτυξης του κοιτάσματος μέσω έργων προσπελάσεως και την προσβολή και απόσπαση του μεταλλεύματος χωρίς να απαιτείται η μαζική μετακίνηση των υπερκείμενων στείων πετρωμάτων. Τα έργα προσπέλασης εξορύσσονται μέσα στα άγωνα πετρώματα που περιβάλλουν το κοιτάσμα, ενώ τα έργα προπαρασκευής κατά κανόνα μέσα στο μέταλλευμα.

Οι μέθοδοι υπόγειας εκμετάλλευσης που έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται σήμερα είναι πάρα πολλές μπορούν όμως να καταταγούν σε 3 μεγάλες κατηγορίες και πιο συγκεκριμένα, τις μεθόδους εκμετάλλευσης (Μπενάρδος 2014):

1. με **κενά μέτωπα** (open stopes), στις οποίες ο χώρος που απομένει μένει μετά την απόσπαση του μεταλλεύματος διατηρείται κενός με συνήθεστερα με **φυσική υποστήριξη**, δηλαδή η υποστήριξη παρέχεται κυρίως από το πέτρωμα.
2. με **γομούμενα μέτωπα** (filling stopes), στις οποίες ο χώρος του κοιτάσματος που εκμεταλλεύεται πληρώνεται στη συνέχεια με τεχνητό τρόπο συνήθως από στείρα υλικά.
3. με **κατακρημιζόμενα μέτωπα** (caving stopes), στις οποίες ο χώρος που έχει πραγματοποιηθεί η απόσπαση του μεταλλεύματος πληρώνεται με υλικά μέσω της κατακρήμισης της οροφής του κοιτάσματος.

Πίνακας 16: Διάκριση των βασικών μεθόδων υπόγειας εκμετάλλευσης



### 3.2.1. Room and pillar (Θάλαμοι και στύλοι)

#### **Γενικά:**

Είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος υποστηριζόμενης με στύλους, που σχεδιάστηκε και χρησιμοποιήθηκε κυρίως για εξόρυξη επίπεδων μεταλλευμάτων ή πινακοειδών κοιτασμάτων, ή οριζόντιων κοιτασμάτων με ελαφρά κλίση και περιορισμένου πάχους (όπως άνθρακας, σχιστόλιθος, ασβεστόλιθος, φωσφορικό άλας,, και μεταλλεύματα υπό μορφή ουρανίου).

Οι μέθοδοι θαλάμων και στύλων είναι αρκετά μηχανοποιημένες και προτιμώνται για την εφαρμογή ιζηματογενών κοιτασμάτων (όπως σχιστόλιθος, ασβεστόλιθος, δολομίτης ή ψαμμίτης) που περιέχουν χαλκό, μόλυβδο, άνθρακα, φωσφορικά στρώματα και εβαποριτικά στρώματα (αλατιού και ποτάσας).

Στη μέθοδο αυτή το μέταλλευμα αποσπάται μέσα σε θαλάμους στους οποίους εγκαταλείπονται τοπικά μικρά τμήματα μεταλλεύματος με τη μορφή μεμονωμένων στύλων, για την υποστήριξη της οροφής. Οι διαστάσεις των μετώπων και των εγκαταλειπόμενων στύλων εξαρτώνται από την αντοχή του πετρώματος της οροφής και του ίδιου του μεταλλεύματος, το πάχος του κοιτάσματος και το τοπικό τασικό πεδίο.

Οι στύλοι έχουν συνήθως κανονικό σχήμα και διάταξη, συνήθως κυκλικής ή τετραγωνικής διατομής. Το μέταλλευμα που δεσμεύεται στους στύλους μπορεί να αποληφθεί μετά το τέλος της εκμετάλλευσης, στο σύνολό του ή εν μέρει.

#### **Προϋποθέσεις και πεδίο εφαρμογής:**

1. Ανθεκτικό μέταλλευμα, με περιβάλλοντα ανθεκτικά πετρώματα σε μικρό σχετικά βάθος
2. Ομαλό γεωμετρικό σχήμα και ιδίως κανονικό, κατά το δυνατό, δάπεδο.
3. Πάχος κοιτάσματος που δεν υπερβαίνει τα 7 μέτρα. Κλίση από 0° μέχρι 40° το μέγιστο.
4. Μέταλλευμα μικρής αξίας, έτσι ώστε να γίνεται παραδεκτή η σημαντική απώλεια που προκύπτει από την εγκατάλειψη στύλων.

Η μέθοδος θαλάμων και στύλων αποτελεί την οικονομικά εφικτότερη μέθοδο εκμετάλλευσης οριζοντίων κοιτασμάτων περιορισμένου πάχους. Κύριο πεδίο εφαρμογής της είναι οι στρωματοειδής μεταλλοφορίες ιζηματογενούς προέλευσης,

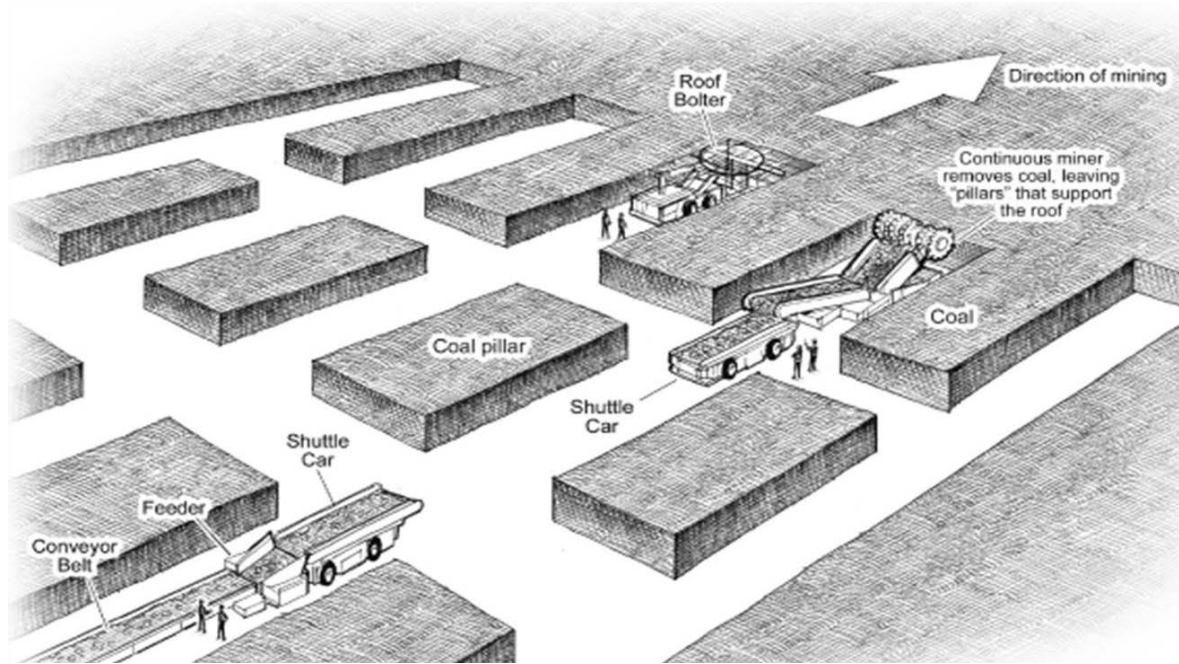
όπως οι χαλκούχοι σχιστόλιθοι, διάφορα βιομηχανικά ορυκτά (ασβεστόλιθος, ορυκτό άλας) και στρώματα άνθρακα.

#### **Πλεονεκτήματα:**

1. Υψηλή απόδοση κατά την εξόρυξη και την αποκόμιση, που οφείλεται στη δυνατότητα αποτελεσματικής μηχανοποίησης.
2. Σχεδόν ολοσχερής κατάργηση της τεχνικής υποστήριξης και μεγάλη παραγωγικότητα ανά μονάδα επιφάνειας του κοιτάσματος.
3. Ευχέρεια εναπόθεσης των παραγόμενων στείρων κατά την πορεία της εξόρυξης.
4. Ουσιαστικός περιορισμός των έργων προπαρασκευής, που σε κάθε περίπτωση τοποθετούνται στο σύνολο τους μέσα στο κοίτασμα.
5. Δυνατότητα εκλεκτικής εξόρυξης και αποτελεσματικής διαλογής μέσα στο μέτωπο.

#### **Μειονεκτήματα:**

1. Σημαντική απώλεια μεταλλεύματος, που προέρχεται από την ανάγκη εγκατάλειψης στύλων. Το ποσοστό του κοιτάσματος που εγκαταλείπεται υπό τη μορφή στύλων κυμαίνεται μεταξύ 10% στις περισσότερες περιπτώσεις κοιτασμάτων μικρού βάθους και ανθεκτικών πετρωμάτων και 50% σε λιγότερο ανθεκτικά κοιτάσματα μεγάλου βάθους. Μεγάλες επίσης απώλειες μπορούν να προκύψουν εξαιτίας γεωμετρικών ανωμαλιών της οροφής και του δαπέδου. Εξάλλου, τέτοιες ανωμαλίες προκαλούν μερικές φορές σοβαρές αρρυθμίες στην πορεία του μετώπου.
2. Μειονεκτικές συνθήκες ασφαλείας, σε σύγκριση με αυτές που επιτυγχάνονται με άλλες μεθόδους. Οι μεγάλες διαστάσεις των κενών είναι δυσμενής παράγοντας, από άποψη ελέγχου της οροφής, μέσα στην οποία δεν είναι πάντοτε ευδιάκριτη η τυχόν παρουσία διασταυρωμένων επιπέδων με μικρότερη αντίσταση.



Εικόνα 2: Η διαδικασία της μεθόδου θαλάμων και στύλων

### 3.2.2. Sublevel stoping (Μέθοδος των διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα)

#### Γενικά:

Η μέθοδος των διαδοχικών ορόφων είναι μια μεταλλευτική μέθοδος ανοικτών μετώπων υψηλής παραγωγικότητας. Η δυνατότητα παραγωγής μπορεί να κυμαίνεται από 15 έως και 40 τόνους ανά βάρδια εργαζομένου ενώ με την ταυτόχρονη εκμετάλλευση πολλαπλών μετώπων μπορεί να επιτευχθεί μηνιαίο ύψος παραγωγής άνω των 25.000 τόνων. Η μέθοδος των διαδοχικών ορόφων με ανοικτά μέτωπα συχνά επιλέγεται ως εναλλακτική της μεθόδου των διαδοχικών ορόφων με κατακρημιζόμενα μέτωπα, όταν μια ελάχιστη πρόσμιξη του μεταλλεύματος με στείρο είναι ανεκτή.

Η μέθοδος των διαδοχικών ορόφων απαιτεί υψηλό επίπεδο εργασιών παρά το γεγονός ότι το κόστος ανάπτυξης εξομαλύνεται λόγω του γεγονότος ότι οι εργασίες λαμβάνουν χώρα εντός του μεταλλεύματος. Η μέθοδος περιορίζεται σε μεγάλης κλίσης κοιτάσματα, στα οποία κοίτασμα και πέτρωμα είναι συμπαγή και υψηλής αντοχής και το θραυσμένο μέταλλευμα κατέρχεται στον κενό χώρο με τη δράση της βαρύτητας. Μια παραλλαγή της μεθόδου των διαδοχικών ορόφων, η Cascade

Method, επιτρέπει την εκμετάλλευση κοιτασμάτων με κλίση  $25^\circ$  χρησιμοποιώντας παράλληλα αποξεστήρες για την αποκομιδή του μεταλλεύματος. Αυστηρή προϋπόθεση εφαρμογής είναι το κοίτασμα να έχει ομαλές παρυφές και κανονικό σχήμα, λόγω της αδυναμίας εκλεκτικής εκμετάλλευσης. Τα διατηρήματα ορύσσονται με την χρησιμοποίηση εξοπλισμού μεγάλου μήκους διατηρητικής στήλης. Νέες τεχνικές όρυξης στην μέθοδο των διαδοχικών ορόφων περιλαμβάνουν την χρησιμοποίηση μεγάλης διαμέτρου ενδοδιατηρηματικών αεροσφυρών, λόγω της υψηλής απόδοσης διάτρησης και της αυξημένης ακρίβειας όρυξης ευθύγραμμων διατηρημάτων. Η χρήση βαρέως και αυτοματοποιημένου εξοπλισμού περιορίζει το ελάχιστο πλάτος μεταλλεύματος το οποίο μπορεί να εκμεταλλευτεί, ενώ παράλληλα το υψηλό κόστος ανάπτυξης προϋποθέτει και υψηλά επίπεδα παραγωγής. Η εφαρμογή μεγάλης κλίμακας ανατινάξεων, αντίστοιχες με αυτές των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων καθιστά την μέθοδο των διαδοχικών ορόφων με ανοικτά μέτωπα, ως μία από τις χαμηλότερου κόστους διαθέσιμες μεθόδους εκμετάλλευσης.

#### **Προϋποθέσεις και πεδίο εφαρμογής:**

Για την επιτυχή εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται κοίτασμα μεγάλων διαστάσεων, το οποίο θα έχει κανονική μορφή, με μέτρια έως μεγάλη ανθεκτικότητα, ενώ παράλληλα τα περιβάλλοντα πετρώματα δεν θα απαιτούν υποστήριξη. Η κλίση του δαπέδου θα πρέπει να ξεπερνά τη γωνία φυσικού πρανούς του θραυσμένου μεταλλεύματος, ώστε να επιτυγχάνεται η ροή του εξορυγμένου μεταλλεύματος με τη δράση της βαρύτητας προς τα κεκλιμένα αποκομιδής.

Το πάχος του κοιτάσματος θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 6 μέτρα, για να είναι αποδοτική η χρησιμοποίηση των διατηρημάτων μεγάλου μήκους. Κοιτάσματα με μικρότερο πάχος αποφέρουν υψηλότερο κόστος παραγωγής ανά τόνο μεταλλεύματος, λόγω της μειωμένης παραγωγής ανά ανατίναξη, στις περιπτώσεις δε που το πλάτος γίνεται μικρότερο από 1,5 μέτρο, η χειρονακτική όρυξη διατηρημάτων καθώς και οι μέθοδοι εκμετάλλευσης ανερχόμενης και κατερχόμενης φοράς καθίστανται προσφορότερες. Δεν υπάρχουν ανώτερα όρια διαστάσεων των κοιτασμάτων που εκμεταλλεύονται με τη συγκεκριμένη μέθοδο, αλλά σε μεγάλα κοιτάσματα πρέπει να εγκαταλείπονται στύλοι προστασίας μεταξύ των επιπέδων. Οι συγκεκριμένοι στύλοι συνήθως απολαμβάνονται μετά την ολοκλήρωση της εκμετάλλευσης και στη συνέχεια της λιθογόμωσης των παρακείμενων μετώπων.



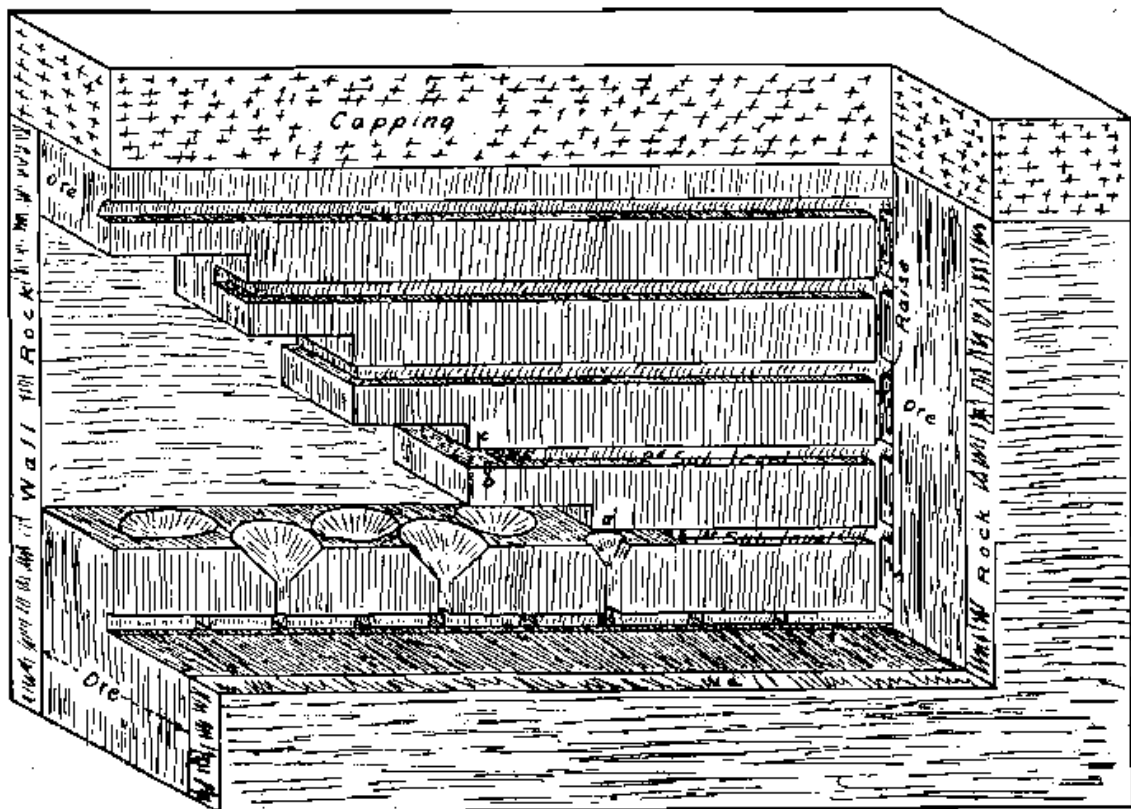
Τα μεγάλου μήκους διατρήματα, καθώς και η μεγάλου όγκου παραγωγή με χρήση εκρηκτικών υλών προϋποθέτει κοίτασμα το οποίο θα είναι ομοιόμορφο. Τα περιβάλλοντα πετρώματα πρέπει να είναι ομαλά, καθώς κοιτάσματα ακανόνιστου σχήματος με περιεχόμενες προσμίξεις στείρου δεν είναι δυνατό να εκμεταλλευτούν με επιτυχία. Οι προσμίξεις στείρων υποβαθμίζουν την τελική παραγόμενη ποιότητα μεταλλεύματος, αυξάνοντας το κόστος εκμετάλλευσης. Ομαλή επαφή μεταξύ μεταλλεύματος και στείρου επιτρέπει την ευκολότερη ροή του εξορυγμένου μεταλλεύματος προς τα κεκλιμένα αποκομιδής. Η ικανοποιητική ανθεκτικότητα και η συνεκτικότητα του πετρώματος είναι απαραίτητη, καθώς οι μεγάλοι κενοί χώροι πρέπει να παραμείνουν ανοικτοί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, οι πολλαπλές και επαναλαμβανόμενες ανατινάξεις μεγάλης κλίμακας καθιστούν απαραίτητη την απουσία επιφανειών ασυνεχειών.

### **Πλεονεκτήματα:**

1. Προσφέρει τη δυνατότητα αυτοματοποίησης του εξοπλισμού, αυξάνοντας την παραγωγική ικανότητα και μειώνοντας το κόστος παραγωγής. Ενδεικτικά, η παραγωγικότητα της μεθόδου φτάνει τους 110 τόνους ανά βάρδια και εργαζόμενο.
2. Η μέθοδος χαρακτηρίζεται από υψηλούς ρυθμούς απόληξης μεταλλεύματος από τα μέτωπα παραγωγής, της τάξης των 25.000 τόνων μηνιαίως.
3. Τα επίπεδα ασφάλειας είναι υψηλά, προσφέροντας ικανοποιητικό βαθμό αερισμού στα μέτωπα. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί η όρυξη των ορόφων.
4. Ο βαθμός απόληξης είναι υψηλός, της τάξεως του 90%, ειδικά όταν επιτευχθεί ικανοποιητικός βαθμός απόληξης των στύλων. Η πρόσμιξη στείρου στο μέταλλευμα είναι μικρή και συνήθως κυμαίνεται στο 20%.
5. Τα διατρήματα παραγωγής μπορούν να ορύσσονται πολύ πριν από την ανατινάξή τους, αξιοποιώντας στο μέγιστο τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού διάτρησης.
6. Σε μεγάλης κλίμακας εκμεταλλεύσεις, οι ανατινάξεις μπορούν να πραγματοποιούνται περιοδικά, όπως ανά βδομάδα, από καταρτισμένο και έμπειρο προσωπικό, επιτυγχάνοντας καλύτερα αποτελέσματα.
7. Το μέταλλευμα μπορεί να αποληφθεί άμεσα, μετά την έναρξη της παραγωγικής φάσης της εκμετάλλευσης.

### Μειονεκτήματα:

1. Το αρχικό κεφάλαιο επένδυσης είναι υψηλό, καθώς απαιτείται μεγάλο πλήθος έργων ανάπτυξης πριν από την έναρξη της παραγωγικής φάσης.
2. Η μέθοδος είναι μη εκλεκτική και προϋποθέτει τη συνολική εκμετάλλευση του μεταλλεύματος. Επίσης δεν μπορεί να προσαρμοστεί σε περιπτώσεις ανωμάτων επαφών με τα περιβάλλοντα πετρώματα.
3. Αποδεικνύεται ανεπαρκής κατά την εκμετάλλευση κοιτασμάτων μικρής κλίσης, καθώς αυξάνονται τα ποσοστά πρόσμιξης στείρου στο μέταλλευμα.
4. Σε περίπτωση εκτεταμένης χρήσης δευτερογενούς ανατίναξης για τη θραύση μεγάλων όγκων μεταλλεύματος, τα απαέρια διαφεύγουν προς το μέτωπο.



Εικόνα 3: Η μέθοδος των διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα

### 3.2.3. Square-set timbering (Μέθοδος των ξύλινων πρισματικών πλαισίων)

#### **Γενικά:**

Η ξύλινη υποστήριξη των μεταλλευτικών εργασιών εξακολουθεί και σήμερα ακόμη να αποτελεί ένα αποτελεσματικό σύστημα υποστήριξης λόγω της ευελιξίας προσαρμογής της σε οποιουδήποτε τύπου υπόγειο άνοιγμα και της ευκολίας εγκατάστασής της.

Η ξύλινη υποστήριξη, ως βασικός τύπος υποστήριξης, αντικαταστάθηκε σταδιακά από την ήλωση και τη λιθογόμωση. Όμως, το πλήθος των παραλλαγών εφαρμογής ξύλινης υποστήριξης που μπορούν να προσαρμοστούν με επιτυχία σε όλες τις μεθόδους εκμετάλλευσης, απέδειξαν την αξιοπιστία τους εδώ και πολλά χρόνια. Στις σύγχρονες εκμεταλλεύσεις, η ξυλεία εξακολουθεί και παίζει σημαντικό ρόλο ως αποτελεσματικό μέσο υποστήριξης.

#### **Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:**

Η ξυλεία όταν χρησιμοποιείται ως μέρος του συνολικού συστήματος υποστήριξης, χαρακτηρίζεται από μοναδικές δυνατότητες υποστήριξης, οι οποίες δεν περιορίζονται μόνο στην προστασία από καταπτώσεις πετρωμάτων, αλλά προσδίδουν και ένα σχετικά ασφαλές περιβάλλον εργασίας στα μέτωπα εκμετάλλευσης, ακόμη και στις δυσκολότερες συνθήκες πετρώματος.

Για την τοποθέτηση της ξύλινης υποστήριξης δεν απαιτείται η διάθεση αρχικού κεφαλαίου αγοράς εξοπλισμού κατεργασίας και ξυλείας.

Σοβαρό ωστόσο μειονέκτημα αποτελεί το υψηλό κόστος της ξυλείας και η αυξημένη απαίτηση σε ειδικευμένο εργατικό προσωπικό για την τοποθέτησή της.

#### **Πεδίο εφαρμογής:**

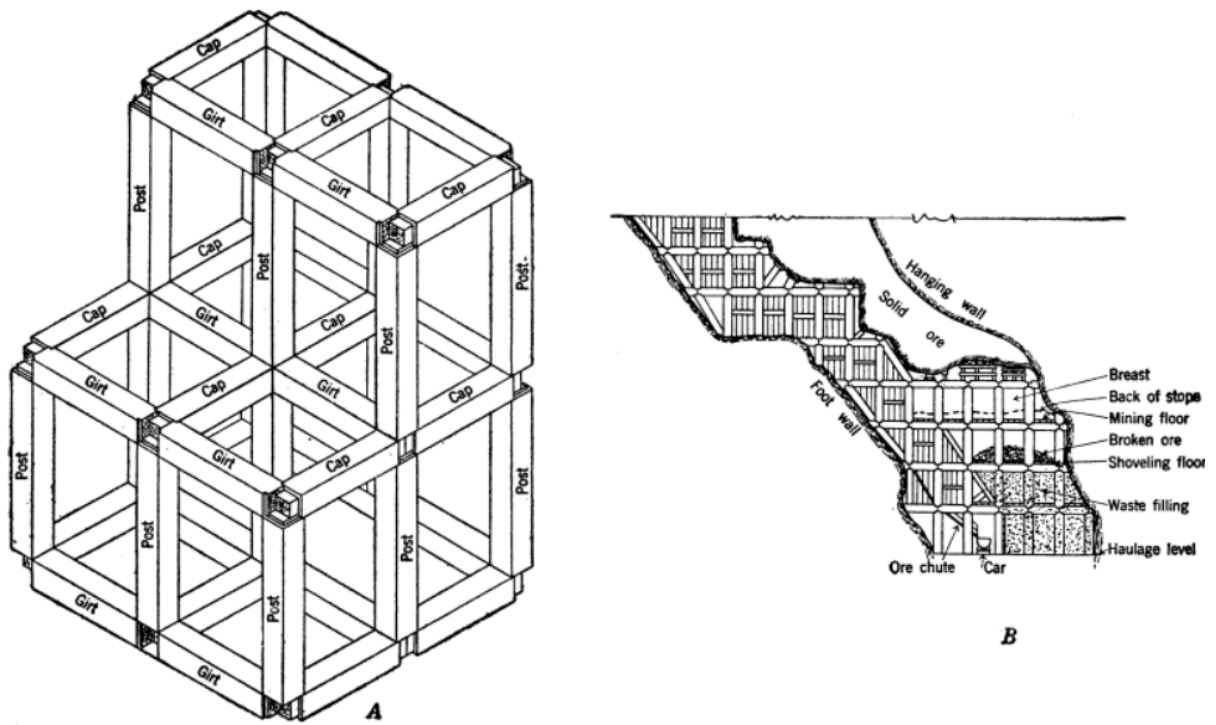
Η μέθοδος έχει εφαρμοστεί με επιτυχία για την εξόρυξη υψηλής περιεκτικότητας μεταλλεύματος σε σαθρό πέτρωμα. Βρίσκει επίσης εφαρμογή παράλληλα με άλλες μεθόδους εκμετάλλευσης ή όταν επιβάλλεται η απόληψη των φυσικών στύλων από μετάλλευμα που αφέθησαν σαν υποστήριξη των μετώπων εργασίας. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με οποιαδήποτε άλλη μέθοδο εκμετάλλευσης, τοπικά και όπου οι συνθήκες το επιτρέπουν. Σε αρκετές περιπτώσεις, το 50% του

παραγόμενου μεταλλεύματος από μεταλλεία που χρησιμοποιούν άλλες μεθόδους εκμετάλλευσης, εξορύσσεται με τη μέθοδο των ξύλινων πρισματικών πλαισίων.

Λόγω του υψηλού κόστους της ξυλείας, σε συνδυασμό με τη μειωμένη παραγωγική ανά εργαζόμενο, η μέθοδος γενικά δε χρησιμοποιείται όπου το μέταλλευμα μπορεί να εξορυχτεί με κάποια άλλη μέθοδο.

Η αυξανόμενη ανάγκη για μεθόδους εκμετάλλευσης με χαμηλό κόστος παραγωγής και ανάπτυξης, οδήγησε στην αντικατάσταση της μεθόδου των ξύλινων πρισματικών πλαισίων από μεθόδους λιθογόμωσης ή μεθόδους κατακρήμνισης.

Ο όρος «ξύλινα πρισματικά πλαίσια» αναφέρεται σε όλες τις μεθόδους εκμετάλλευσης, στις οποίες το δημιουργούμενο κενό από την εξόρυξη του μεταλλεύματος ξυλοδετείται με πρισματικά πλαίσια. Στη συνέχεια το μέτωπο αφήνεται ανοικτό ή λιθογομώνεται.



Εικόνα 4: Η Μέθοδος των ξύλινων πρισματικών πλαισίων

### 3.2.4. Cut and fill method (Μέθοδος των εναλλασσόμενων κοπών και λιθογομώσεων)

#### Γενικά:

Η μέθοδος των εναλλασσόμενων κοπών και λιθογομώσεων ήταν ίσως η πιο διαδεδομένη μέθοδος εκμετάλλευσης για υπόγεια μεταλλικά μεταλλεία, επί χρόνια. Για μια περίοδο η μέθοδος αυτή εκτοπίστηκε σε μεγάλη κλίμακα από τη μέθοδο των κενών μετώπων. Έγινε όμως πρόσφορη εκ νέου, όταν πολλά μεταλλεία έφτασαν σε μεγάλα βάθη που απαιτούσαν μεγάλα ανοιχτά κενά να παραμένουν έτσι για μεγάλη χρονική περίοδο. Επίσης δεδομένης της απαίτησης για υψηλές περιεκτικότητες μεταλλεύματος, η μέθοδος των κενών μετώπων αποδείχθηκε ανεπιτυχής, εξ' αιτίας της υπερβολικής πρόσμιξης στείρων.

Η μέθοδος είναι πολύ ευέλικτη και εύκολα προσαρμόσιμη σε κάθε τύπο κοιτάσματος. Η τυπική εφαρμογή της μεθόδου περιλαμβάνει την αφαίρεση μιας στρώσης πάχους 2,4-3,0 μ. από την οροφή του μετώπου και καθώς το μετάλλευμα πέφτει στο δάπεδο, γίνεται επένδυση και κοχλίωση. Μετά την ασφάλιση της οροφής το σπασμένο μετάλλευμα απομακρύνεται μέσα από διόδους προς το κατώτερο επίπεδο. Μετά την απομάκρυνση του μεταλλεύματος οι δίοδοι του μεταλλεύματος επεκτείνονται προς τα επάνω κατά το ύψος του μεταλλεύματος που μετακινήθηκε και το μέτωπο γεμίζει με λιθογόμωση, για να αρχίσει νέος κύκλος εξόρυξης.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται καλύτερα σε έντονα βυθιζόμενα κοιτάσματα με σημαντική κατακόρυφη έκταση ή σε περιοχές μεταλλεύματος που απαιτούν εκλεκτική εκμετάλλευση ή σε περιοχές μεταλλεύματος που επικρατούν συνθήκες χαμηλής αντοχής περιβαλλόντων πετρωμάτων ή σε κοιτάσματα που έχουν αξία μεταλλεύματος ικανή να αντισταθμίσει το υψηλό κόστος της συγκεκριμένης μεθόδου. Η μέθοδος των κενών μετώπων ή του συμπυκνωμένου μετώπου και λοιπές μέθοδοι εκμετάλλευσης που δεν χρησιμοποιούν διόδους μεταλλεύματος μέσα στο μέτωπο, δεν είναι αποτελεσματικές σε βυθιζόμενα ή μικρής κλίσης κοιτάσματα, επειδή η παρουσία του πετρώματος του δαπέδου καθιστά δύσκολη την αποκόμιση του μεταλλεύματος.

Όταν εξορύσσεται μετάλλευμα σε ζώνες κοντά στο πέτρωμα της οροφής, τα τοιχώματα αναγκαστικά παραμένουν ανυποστήριχτα σε μικρές επιφάνειες για πολύ σύντομα όμως χρονικά διαστήματα. Λόγω του μικρού ύψους της οροφής, τμήματα πτωχού μεταλλεύματος μπορούν να παραμείνουν στη θέση τους ή να εξορυχθούν

εκλεκτικά και το προϊόν να εναποτεθεί μέσα στο μέτωπο. Επειδή οι εργαζόμενοι μέσα στο είναι υποχρεωμένοι να δουλεύουν κάτω από περιοχές που εξορύχθηκαν πρόσφατα, έχει μεγάλη σημασία ο έλεγχος της σταθερότητας αυτών των επιφανειών. Ο όγκος του μεταλλεύματος που εξορύσσεται σε ένα τμήμα εκμετάλλευσης είναι σχετικά μικρός, ενώ το ποσοστό της μη παραγωγικής εργασίας είναι υψηλό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την περιορισμένη παραγωγικότητα στο μέτωπο.

### **Προϋποθέσεις και πεδίο εφαρμογής:**

Η μέθοδος μπορεί να υιοθετηθεί για όλους σχεδόν τους τύπους των κοιτασμάτων με μια σχετικά μεγάλη κατακόρυφη ανάπτυξη. Το κοίτασμα πρέπει να επιτρέπει την ταυτόχρονη προσπέλαση από την οροφή και το δάπεδο, καθώς και από κανονικά ενδιάμεσα διαστήματα κατά την κατακόρυφη κατεύθυνση.

Παρά το γεγονός ότι προσαρμόζεται στα περισσότερα κοιτάσματα, η μέθοδος εφαρμόζεται καλύτερα εκεί όπου το μέταλλευμα έχει συνέχεια και εκεί όπου οι περισσότεροι τύποι μαζικής εξόρυξης θα προκαλούσαν υπερβολική πρόσμιξη στείρων. Σε περιοχές συχνής διακοπής της μεταλλοφορίας, η δυνατότητα συνεχούς και εκτεταμένης δειγματοληψίας κατά την εξόρυξη κάθε κύκλου, καθιστά αυτή τη μέθοδο πολύ πρόσφορη. Η δυνατότητα αυτή ελαχιστοποιεί την απαίτηση για αρχική δειγματοληψία πριν από την έναρξη της παραγωγής. Το χρησιμοποιούμενο σύστημα αποκόμισης επιτρέπει την αλλαγή του μεγέθους και του σχήματος του μετώπου σύμφωνα με τις απαιτήσεις που καθορίζει η δειγματοληψία. Προφανώς, το μοναδικό χαρακτηριστικό που απαιτείται να παρουσιάζει το μέταλλευμα είναι η επαρκής αντοχή, ώστε να είναι δυνατή η υποστήριξη του από την κοιλίωση κατά τους κύκλους της εξόρυξης και λιθογόμωσης. Καλός σχεδιασμός, συστηματική δειγματοληψία και προσεκτική επίβλεψη, αποδίδουν προϊόν με ελάχιστη πρόσμιξη σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη μέθοδο ανοικτών μετώπων.

Συνοψίζοντας, οι προϋποθέσεις πλεονεκτικής εφαρμογής της μεθόδου έχουν ως εξής:

1. Ανθεκτικότητα του μεταλλεύματος από μεγάλη έως μέτρια. Στα σχετικά σαθρά μεταλλεύματα απαιτείται πυκνή υποστύλωση της οροφής του μετώπου, που δυσχεραίνει σημαντικά την εργασία.
2. Οποιαδήποτε σύσταση του μεταλλεύματος. Διαχωρίζονται εύκολα παρεμβολές στείρων, με διαλογή των αγόνων που αξιοποιούνται για τη λιθογόμωση. Ο διαχωρισμός διαφόρων ποιοτήτων μεταλλεύματος είναι επίσης εύκολος.

3. Μετάλλευμα μεγάλης αξίας. Η απόληψη που επιτυγχάνουμε είναι σχεδόν πλήρης και ασήμαντες συνεπώς οι απώλειες.
4. Οποιαδήποτε ανθεκτικότητα των περιβαλλόντων πετρωμάτων. Τα ασθενή περιβάλλοντα πετρώματα προκαλούν παρόλα αυτά πρόσμιξη στείρων, που απαιτεί διαλογή ως συνέπεια.
5. Αδιακρίτως ανώμαλα ή κανονικά περιβάλλοντα πετρώματα. Η ασάφεια μεταξύ μεταλλεύματος και περιβαλλόντων πετρωμάτων αντιμετωπίζεται επίσης με ευχέρεια. Όμως η παρουσία παραφυάδων δημιουργεί δυσκολίες.
6. Πάχος κοιτάσματος από 0,8 μέχρι και 10 ή και περισσότερα μέτρα.
7. Ελάχιστη κλίση 45°. Με κλίση κατώτερη από αυτή, η κάθοδος του μεταλλεύματος μέσα από τα φρέατα απαγωγής δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί.

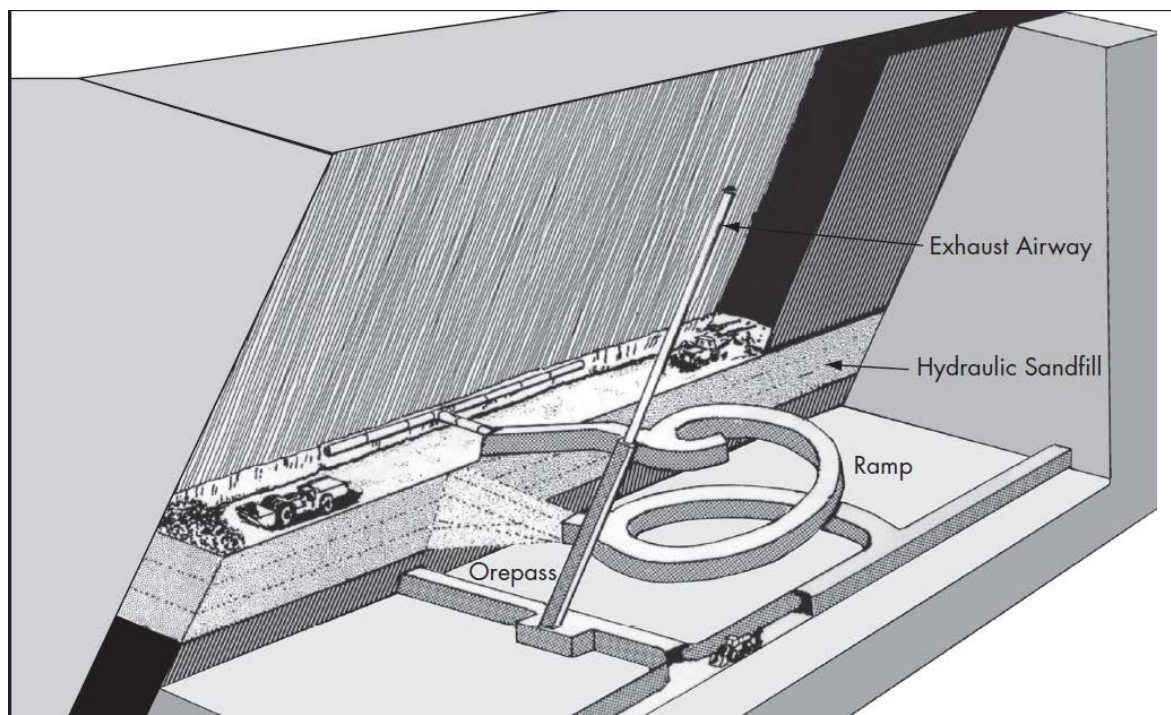
Με τις παραπάνω συνθήκες, το κατεξοχήν πεδίο εφαρμογής είναι τα φλεβοειδή ή στρωματοειδή κοιτάσματα μεγάλης κλίσης με μεταλλεύματα ικανοποιητικής ανθεκτικότητας, ώστε η απαιτούμενη υποστήριξη της οροφής του οροφής του μετώπου εξόρυξης να περιορίζεται σε σχετικά μικρό αριθμό στύλων από στρογγυλή ξυλεία, που στηρίζονται πάνω στη λιθογόμωση.

#### **Πλεονεκτήματα:**

1. Υψηλός βαθμός απόληξης του μεταλλεύματος, συνήθως άνω του 95%.
2. Συνεχής και εκτεταμένη δειγματοληψία του όγκου του μεταλλεύματος καθώς αυτό εξορύσσεται.
3. Ελάχιστη ανάπτυξη πριν από την έναρξη της εκμετάλλευσης.
4. Εκλεκτική εκμετάλλευση, που μπορεί να εφαρμοσθεί για τη μείωση της πρόσμιξης στείρων.
5. Προσαρμοστικότητα που καθιστά δυνατή την εκμετάλλευση σε έντονα βυθιζόμενα κοιτάσματα.
6. Μικρά ανοίγματα που ελαχιστοποιούν την πρόσμιξη και τα τοιχώματα.
7. Άμεση μετάβαση σε οποιαδήποτε άλλη μέθοδο εκμετάλλευσης.
8. Σχετικά μικρό κόστος επένδυσης σε μηχανικό εξοπλισμό.
9. Ελάχιστη διατάραξη της ισορροπία του πετρώματος της οροφής και περιορισμός των καθιζήσεων στο ελάχιστο.
10. Υψηλή παραγωγικότητα ανά μονάδα επιφάνειας του κοιτάσματος.

### Μειονεκτήματα:

1. Κυκλική παραγωγή του μεταλλεύματος.
2. Προϋποθέτει μεγάλης εντάσεως εργασία και εξειδικευμένο προσωπικό.
3. Μικρής έκτασης μηχανοποίηση, σε σύγκριση με άλλες μεθόδους.
4. Το προσωπικό πρέπει να εργάζεται σε πρόσφατα ανατιναγμένο και διαταραγμένο πέτρωμα, με κάποια προβλήματα ασφάλειας.
5. Υψηλό κόστος παραγωγής, που να αντισταθμίζεται μόνο από υψηλής αξίας μετάλλευμα.
6. Απαιτείται υψηλός βαθμός ελέγχου της οροφής.
7. Ο αερισμός είναι δύσκολος και δαπανηρός.



Source: Hamrin 1980. © Atlas Copco.

*Εικόνα 5: Μέθοδος των εναλλασσόμενων κοπών και λιθογομώσεων*

### 3.2.5. Longwall mining (Επίμηκες ευθύγραμμο μέτωπο)

#### Γενικά:

Μετά από την ανάπτυξη του τμήματος εκμετάλλευσης, εγκαθίσταται ο μηχανικός εξοπλισμός εκμετάλλευσης και ξεκινά η λειτουργία του. Καθώς το μέτωπο προχωρεί,



η οροφή αφήνεται να κατακρημνιστεί πίσω από τις μονάδες υποστήριξης. Σε περιοχές όπου απαιτείται η ελαχιστοποίηση του φαινομένου της κατακρήμνισης, ο κενός χώρος πίσω από την υποστήριξη λιθογομώνεται.

Γενικά τα τμήματα της εκμετάλλευσης έχουν πλάτος 100-300 μέτρα και μήκος 300-1500 μέτρα. Τα μεγέθη αυτά καθορίζονται από τη διάρκεια της παραγωγικής ζωής το μηχανικού εξοπλισμού, τις γεωλογικές συνθήκες και τη σχεδιασθείσα διάταξη της εκμετάλλευσης. Το πλήθος των διευθυντικών στοών που ορύσσονται και από τις δύο πλευρές εγκάρσια στο επίμηκες μέτωπο καθορίζονται από τη νομοθεσία και ο τύπος του χρησιμοποιούμενου μηχανικού εξοπλισμού εξαρτάται από το αν το μέτωπο προχωρεί ταυτόχρονα με τις πλευρικές διευθυντικές στοές ή οπισθοχωρεί. Ο τύπος της παραλλαγής της μεθόδου επιμήκους μετώπου που θα εφαρμοστεί εξαρτάται από το πάχος του στρώματος. Σε πάχη μεγαλύτερα των 4,5 μέτρων, εφαρμόζεται συνήθως οπισθοχώρηση με κατακρήμνιση.

Η μέθοδος του επιμήκους μετώπου χρησιμοποιείται εκτός από την εκμετάλλευση κοιτασμάτων άνθρακα, και για την εκμετάλλευση περισσότερο ανθεκτικών μεταλλευμάτων όπως σιδήρου, χαλκού και ουρανίου. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται είναι συνήθως απλές, χρησιμοποιώντας χαλύβδινα υποστυλώματα και ήλους τριβής, ενώ η εξόρυξη του μετώπου πραγματοποιείται με διάτρηση και ανατίναξη. Πολλές όμως εκμεταλλεύσεις χρησιμοποιούν τον συμβατικό μηχανικό εξοπλισμό των επιμηκών μετώπων.

Η ανάπτυξη του μετώπου και η αλληλουχία των μεταλλευτικών εργασιών είναι κοινές με τις εκμεταλλεύσεις άνθρακα. Η βασική διαφορά εντοπίζεται στην αυξημένη σκληρότητα και φθοροποιό δράση του μεταλλεύματος, συγκριτικά με τις αντίστοιχες ιδιότητες του άνθρακα. Αν και αυτό έχει ως συνέπεια την υπέρμετρη αύξηση του κόστους συντήρησης του εξοπλισμού, τελικά το οικονομικό αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικό, αφού επιτυγχάνεται καλύτερη απόληψη και ασφάλεια, ενώ απαιτείται λιγότερο έμπειρο εργατικό προσωπικό.

### **Πλεονεκτήματα:**

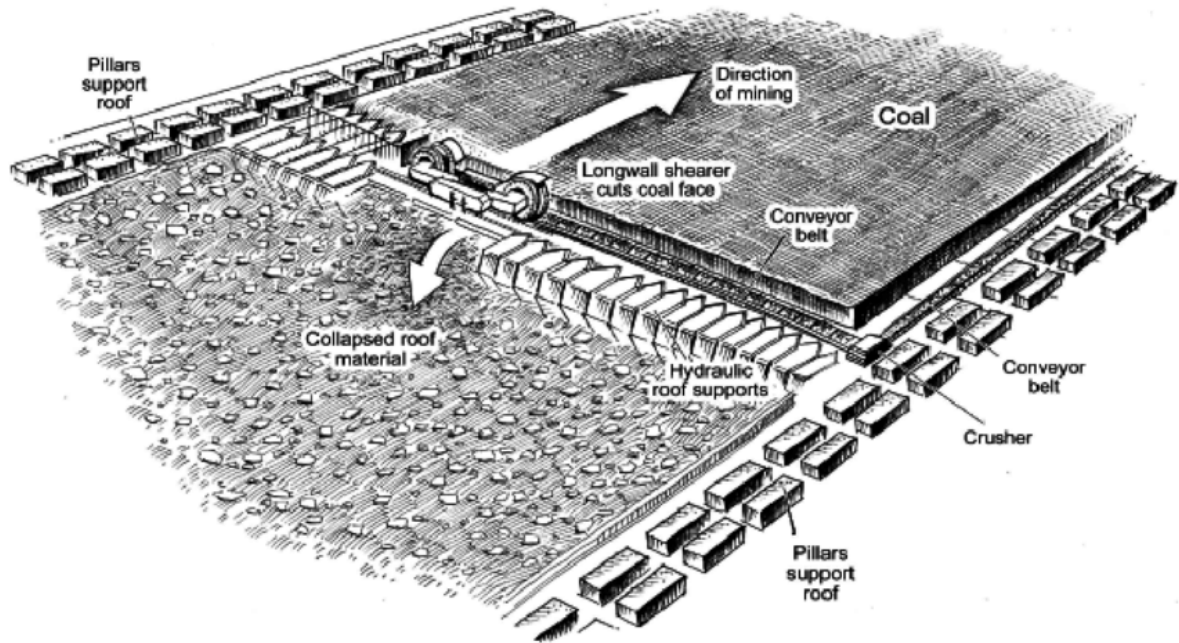
1. Μόνιμες υποστηρίξεις χρειάζονται μόνο στο πρώτο τμήμα λειτουργίας και κατά τις εργασίες εγκατάστασης και ανάκτησης. Άλλα υποστηρίγματα οροφής μετακινούνται και επανατοποθετούνται με τον μηχανικό εξοπλισμό.
2. Η ανάκτηση πόρων είναι πολύ υψηλή - θεωρητικά το 100% του όγκου του άνθρακα που εξάγεται, αν και στην πράξη υπάρχει πάντα κάποια διαρροή

άνθρακα ή διαρροή από το σύστημα μεταφοράς του μεταλλεύματος που χάνεται, ειδικά εάν υπάρχει πολύ νερό στο μέτωπο.

3. Τα συστήματα εξόρυξης με τη μέθοδο επιμήκους μετώπου είναι ικανά να παράγουν σημαντικές ποσότητες από μια επιφάνεια του μετώπου - 8 εκατομμύρια τόνους ετησίως ή και περισσότερο.
4. Όταν η μέθοδος λειτουργεί σωστά, ο άνθρακας εξορύσσεται με συστηματική, σχετικά συνεχή και επαναλαμβανόμενη διαδικασία, η οποία είναι ιδανική για τον έλεγχο των στρωμάτων και για τις συναφείς εργασίες εξόρυξης
5. Το κόστος εργασίας/τόνο που παράγεται είναι σχετικά χαμηλό

**Μειονεκτήματα:**

1. Υπάρχει ένα υψηλό κόστος κεφαλαίου για τον εξοπλισμό, αν και μάλλον δεν είναι τόσο υψηλό όσο αρχικά φαίνεται, σε σύγκριση με τον αριθμό των μεταλλωρύχων που θα έπρεπε να εργάζονται για να παραχθεί αντίστοιχο μέγεθος παραγωγής.
2. Οι λειτουργίες είναι πολύ συγκεντρωμένες.
3. Τα επιμήκη μέτωπα δεν είναι πολύ ευέλικτα -δεν χειρίζονται καλά τις ασυνέχειες των στρώσεων. Το σύστημα μεταφοράς θα πρέπει να αντιστοιχεί σε υψηλά πρότυπα ειδάλλως ενδέχεται να δημιουργούνται προβλήματα. Οι καλές συνθήκες στο μέτωπο καθιστούν συχνά την παραγωγή να είναι περισσότερο ή λιγότερο συνεχής, επομένως προβλήματα που προκαλούν καθυστερήσεις μπορούν να έχουν πιο σοβαρές συνέπειες.
4. Λόγω της φύσης των επιμηκών μετώπων, η έμπειρη όσον αφορά την εργασία είναι απαραίτητη για την επιτυχή λειτουργία.



Εικόνα 6: Η διαδικασία της μεθόδου του επιμήκους μετώπου

### 3.2.6. Shrinkage stoping method (Μέθοδος του συμπυκνόμενου μετώπου)

#### Γενικά:

Η μέθοδος του συμπυκνόμενου μετώπου είναι μία κατακόρυφα επεκτεινόμενη μέθοδος εκμετάλλευσης με ανερχόμενη φορά, όπου το μεγαλύτερο ποσοστό του εξορυγμένου μεταλλεύματος παραμένει στο μέτωπο σχηματίζοντας το δάπεδο εργασίας. Ένας άλλος λόγος για να παραμείνει το εξορυγμένο μέταλλευμα μέσα στο μέτωπο είναι η εξασφάλιση πρόσθετης υποστήριξης των τοιχωμάτων, μέχρι να ολοκληρωθεί η εκμετάλλευση του μετώπου.

Τα μέτωπα εκμεταλλεύονται με ανερχόμενη φορά με διαδοχικές οριζόντιες κοπές. Συνήθως, μόνο το 35% του εξορυσσόμενου μεταλλεύματος (το επίπλησμα) αποκομίζεται κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσης. Συνέπεια αυτού είναι να μην είναι δυνατόν η εκμετάλλευση να αποφέρει κέρδη, πριν την ολοκλήρωση της εξόρυξης του συνόλου του μεταλλεύματος.

Η μέθοδος έχει υψηλό κόστος εργατικού προσωπικού και δεν μπορεί να εκμηχανιστεί σε μεγάλο ποσοστό. Εφαρμόζεται κυρίως σε φλεβικές μεταλλοφορίες μικρού πλάτους και σε κοιτάσματα που δεν μπορεί να εφαρμοστεί με ευνοϊκό οικονομικό αποτέλεσμα καμία άλλη μέθοδος εκμετάλλευσης. Εφαρμόζεται εύκολα σε κοιτάσματα πλάτους 1 μέτρου, αλλά μπορεί επίσης να είναι επιτυχής και σε κοιτάσματα πλάτους μέχρι και 30 μέτρων.

Το εξορυγμένο μέταλλευμα πρέπει να ρέει ανεμπόδιστα, χωρίς να παρουσιάζει προβλήματα συσσωματώσεων και εμπλοκών. Για το λόγο αυτό, ούτε το μέταλλευμα, αλλά ούτε και το περιβάλλον πέτρωμα δεν πρέπει να περιέχουν ενστρώσεις αργίλου ή άλλων κολλωδών υλικών. Επιπλέον, το μέταλλευμα δεν θα πρέπει να υπόκειται σε ταχεία οξειδωση, η οποία προκαλεί στερεοποίηση του, η οποία προκαλεί στερεοποίηση του εξορυγμένου σωρού. Η μεταλλοφορία πρέπει να είναι συνεχής κατά μήκος της φλέβας ή της κλίσης του κοιτάσματος, ώστε να αποφεύγεται πρόσμιξη του μεταλλεύματος με στείρα από το πέτρωμα της οροφής. Μεγάλη προσοχή πρέπει επίσης να δοθεί στην κλίση του κοιτάσματος, ειδικά όταν πρόκειται να εκμεταλλευτεί με ένα συμπτυσσόμενο μέτωπο. Κοιτάσματα μικρής κλίσης ( $<50^\circ$ ) είναι δύσκολο να εκμεταλλευτούν με συμπτυσσόμενο μέτωπο, καθώς το μέταλλευμα απομακρύνεται γρήγορα από τα σημεία απόληψης. Επίσης, κοιτάσματα μεγάλης εξάπλωσης απαιτούν την κατασκευή μεγάλου πλήθους έργων του συστήματος αποκομιδής, τα οποία καθιστούν την εκμετάλλευση οικονομικά ασύμφορη.

#### **Προϋποθέσεις και πεδίο εφαρμογής:**

Χαρακτηριστικά κοιτάσματος: Απαιτείται ανθεκτικό μέταλλευμα, που δεν οξειδώνεται, δεν συσσωματώνεται και δεν αυταναφλέγεται.

Χαρακτηριστικά μητρικού πετρώματος: Απαιτούνται ανθεκτικά ή μετρίως ανθεκτικά τοιχώματα.

Σχήμα κοιτάσματος: Δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός στο σχήμα, αρκεί η κλίση να είναι σταθερή και οι επαφές με τα περιβάλλοντα πετρώματα ομαλές.

Κλίση κοιτάσματος: Πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη γωνία φυσικού πρηνούς ( $<45^\circ$ ) και κατά προτίμηση μεγαλύτερη των  $60^\circ$ .

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κοιτάσματος: Μικρό έως μέτριο πλάτος (1-30μ.), ελάχιστο μήκος 15 μέτρα μέχρι και απεριόριστο στην περίπτωση που η εκμετάλλευση πραγματοποιηθεί με πολλαπλά μέτωπα ή με διατρήματα μεγάλου μήκους.

Περιεκτικότητα μεταλλεύματος: Μέτρια έως υψηλή.

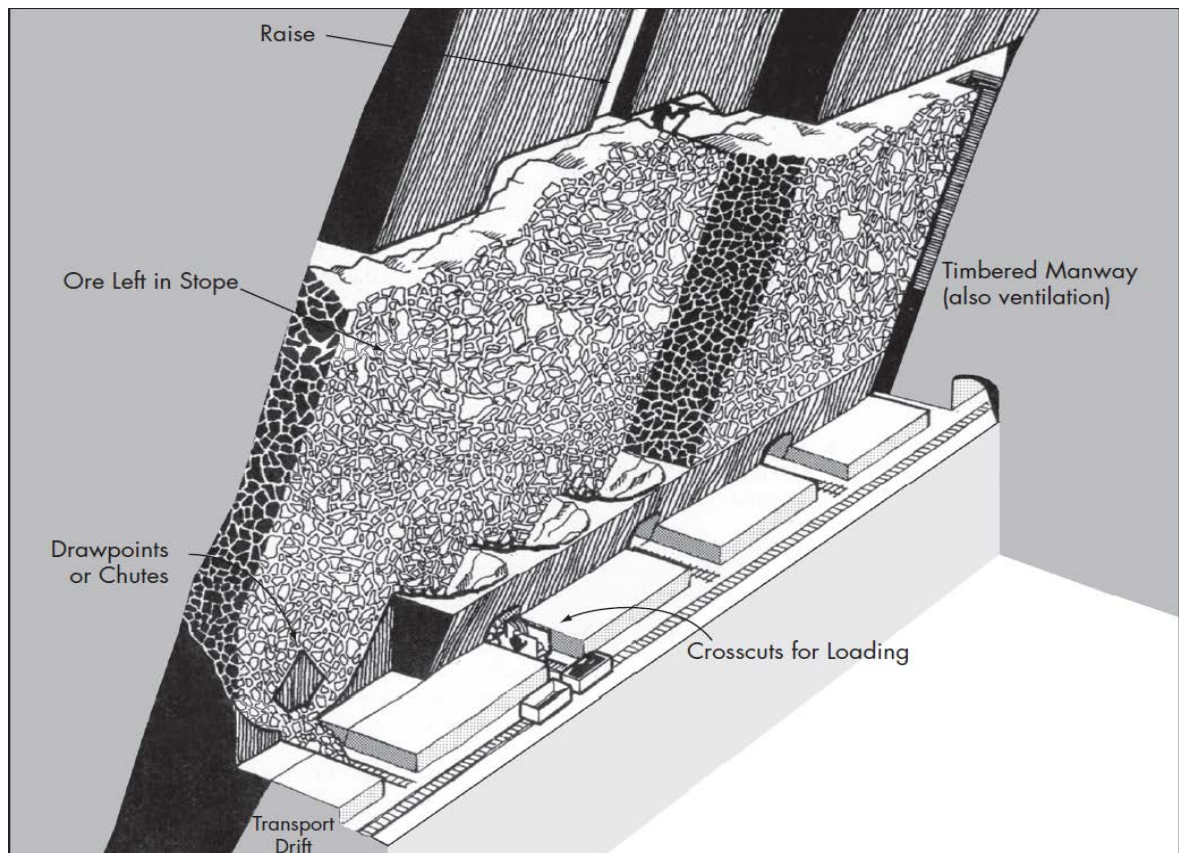
#### **Πλεονεκτήματα:**

1. Απόληψη του εξορυγμένου μεταλλεύματος με τη βαρύτητα.
2. Απλή μέθοδος, ειδικά για μικρά μεταλλεία.
3. Χαμηλή επένδυση κεφαλαίου και δυνατότητα εκμηχάνισης μέχρι κάποιο βαθμό.
4. Ελάχιστη υποστήριξη του μεταλλεύματος και των τοιχωμάτων.

5. Μέτριας κλίμακας έργα ανάπτυξης του μετώπου.
6. Ικανοποιητικό ποσοστό απόληψης μεταλλεύματος (75-100%), χαμηλά επίπεδα πρόσμιξης στείρου (10-25%).

**Μειονεκτήματα:**

1. Χαμηλή έως μέτρια παραγωγικότητα, 3-10 τόνοι ανά βάρδια και εργαζόμενο στο μέτωπο.
2. Μέτριο έως υψηλό κόστος εκμετάλλευσης.
3. Υψηλή ένταση χειρωνακτικής εργασίας και περιορισμένος βαθμός εκμηχάνισης.
4. Δύσκολες συνθήκες εργασίας, ιδίως σε μέτωπα μικρού ύψους και πλάτους.
5. Το 60-70% περίπου του εξορυσσόμενου μεταλλεύματος παραμένει δεσμευμένο στο μέτωπο μέχρι την ολοκλήρωση της εξόρυξης.
6. Κίνδυνος να απολεσθεί το μέτωπο κατά την αποκόμιση του, εάν η διαδικασία απόληψης δεν ελέγχεται αποτελεσματικά
7. Αδυναμία εκλεκτικής εκμετάλλευσης.



Source: Hamrin 1998. © Atlas Copco.

*Εικόνα 7: Η μέθοδος του συμπτυσσόμενου μετώπου*

### 3.2.7. Top-slicing (Μέθοδος των οριζόντιων διαδοχικών κοπών με κατερχόμενη φορά εκμετάλλευσης)

#### Γενικά:

Ο όρος “top slicing”, αναφέρεται στη μέθοδο εκμετάλλευσης που το μέταλλευμα εξορύσσεται από μία σειρά λωρίδων επενδυμένων με ξύλινα πλαίσια. Η εκμετάλλευση ξεκινά από την οροφή της μεταλλοφορίας με την όρυξη μιας στοάς η οποία υποστηρίζεται με ξύλινα πλαίσια και το δάπεδο της επενδύεται. Στη συνέχεια τα πλαίσια απομακρύνονται και η οροφή κατακρημνίζεται πάνω στο επενδυμένο δάπεδο της στοάς. Η εκμετάλλευση συνεχίζεται με τον ίδιο τρόπο στα υποκείμενα επίπεδα. Ο ίδιος όρος χρησιμοποιείται για την περιγραφή της μεθόδου εκμετάλλευσης κοιτασμάτων μικρού πάχους, για τα οποία αρκεί ένα επίπεδο εκμετάλλευσης για να αποληφθούν πλήρως. Η εκμετάλλευση σε αυτήν την περίπτωση πραγματοποιείται με διαδοχικές οριζόντιες κοπές, με τις στοές να ορύσσονται παράλληλα στις ήδη κατακρημνισμένες.

#### Πεδίο εφαρμογής:

Η μέθοδος των οριζόντιων διαδοχικών πλακών εφαρμόζεται σε κοιτάσματα τα οποία είναι αρκετά ασθενή ώστε να σταθούν χωρίς υποστήριξη και με την οροφή τους να μπορεί να κατακρημνίζεται με ευκολία όταν αφαιρεθεί η υποστήριξη, γεμίζοντας τον κενό χώρο που δημιουργήσει η εκμετάλλευση. Στην περίπτωση που η οροφή κατακρημνίζεται σε μεγάλα τεμάχια, υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας μεγάλων κενών χώρων, οι οποίοι καθιστούν αρκετά επισφαλή την παραπάνω μέθοδο.

Τα περιβάλλοντα πετρώματα του κοιτάσματος μπορεί να είναι, είτε ανθεκτικά, είτε ασθενή. Στην περίπτωση ενός κοιτάσματος μικρού πάχους με μεγάλη κλίση, χαμηλής ανθεκτικότητας περιβάλλοντα πετρώματα προϋποθέτουν καλές συνθήκες κατακρήμνισης του υπερκείμενου καλύμματος.

Καθώς η εκμετάλλευση απαιτεί μεγάλες ποσότητες ξυλείας, πρέπει αυτή να υπάρχει άφθονη και διαθέσιμη σε κόστος που να δικαιολογείται από την αξία του μεταλλεύματος. Τα χαρακτηριστικά της χρησιμοποιούμενης ξυλείας δεν είναι απαραίτητο να είναι άριστα, καθώς η υποστήριξη έχει προσωρινό χαρακτήρα.

Προφανώς, μια τρίτη απαραίτητη συνθήκη για την εφαρμογή της μεθόδου είναι να επιτρέπεται η οποιαδήποτε καθίζηση και γενικότερη εκδήλωση των φαινομένων της κατακρήμνισης στην επιφάνεια.

Εκτός από την εφαρμογή της μεθόδου για την απόληψη του συνόλου ενός κοιτάσματος, η εκμετάλλευση με οριζόντιες πλάκες εφαρμόζεται σε συνδυασμό με οποιαδήποτε άλλη μέθοδο εκμετάλλευσης για την απόληψη των στύλων μεταλλεύματος.

Όπου η κατάσταση του πετρώματος είναι τόσο άσχημη που να κρίνεται επισφαλής και επικίνδυνη η εκμετάλλευση του κοιτάσματος με ανερχόμενη φορά, χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε από τις μεθόδους εκμετάλλευσης, μπορεί συνήθως να εφαρμοστεί με ασφάλεια η μέθοδος των διαδοχικών πλακών.

### **Πλεονεκτήματα:**

1. Η μέθοδος των οριζόντιων διαδοχικών πλακών είναι μια αρκετά ασφαλής μέθοδος εκμετάλλευσης, που εφαρμόζεται σε δύσκολες συνθήκες υπεδάφους, όπου άλλες μέθοδοι ανερχόμενης φοράς εκμετάλλευσης είτε είναι λιγότερο ασφαλείς, είτε έχουν υψηλό κόστος.
2. Το κόστος της είναι σχετικά χαμηλό, όταν η προμήθεια με ξυλεία είναι επαρκής και σε χαμηλό κόστος.
3. Το ποσοστό απόληψης του μεταλλεύματος είναι αρκετά υψηλό, με χαμηλό ποσοστό πρόσμιξης με στείρο, προερχόμενο κυρίως από την κατακρήμιση των παρυφών και του υπερκείμενου πετρώματος.
4. Παρά το σχετικά υψηλό αρχικό κεφάλαιο για την ανάπτυξη της εκμετάλλευσης που απαιτεί η μέθοδος των οριζόντιων διαδοχικών πλακών, με την ολοκλήρωση της κατασκευής των προπαρασκευαστικών έργων, επιτυγχάνεται ικανοποιητικό ύψος παραγωγής.
5. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία ακόμη και κάτω από αμμώδες έδαφος και άλλα ακόμη πιο χαλαρά υλικά, ενώ δεν παρουσιάζει προβλήματα πρόσμιξης στείρου στο μέταλλευμα, τουλάχιστον της τάξης μεγέθους που αυτά προκύπτουν στις άλλες μεθόδους με κατακρήμιση.

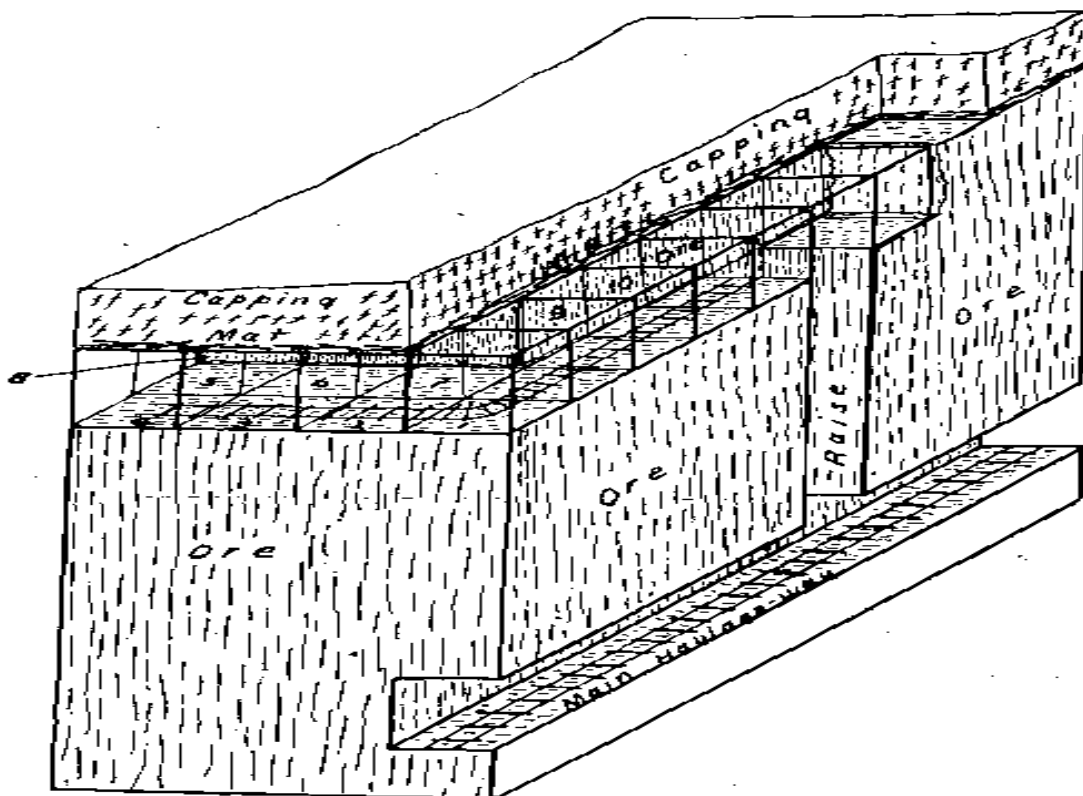
### **Μειονεκτήματα:**

1. Το κόστος εκμετάλλευσης αυξάνεται σημαντικά στις περιπτώσεις όπου η τροφοδοσία σε ξυλεία δεν είναι επαρκής και το κόστος προμήθειας της είναι υψηλό. Σε ορισμένες περιπτώσεις κρίνεται πιο δαπανηρή και από μεθόδους οι οποίες λειτουργούν με παρόμοιες συνθήκες και εμφανίζουν σχετικά υψηλό βαθμό πρόσμιξης στείρου και χαμηλή απόληψη μεταλλεύματος.

2. Σε περιπτώσεις που πρέπει να αποφεύγονται φαινόμενα καθίζησης στην υπερκείμενη περιοχή της ζώνης εκμετάλλευσης η μέθοδος καθίσταται μη εφαρμόσιμη, με εξαίρεση κοιτάσματα μικρού πάχους σε μεγάλο βάθος. Η ύπαρξη ασυνεχειών, ρηγμάτων και διακλάσεων στο υπερκείμενο πέτρωμα έχει ως αποτέλεσμα την καθίζηση του εδάφους σε σημαντικά μεγαλύτερη έκταση από την περιοχή που καλύπτουν τα μέτωπα εξόρυξης.
3. Ο αερισμός των μετώπων εργασίας είναι γενικά δύσκολος και δαπανηρός. Σε ακραίες περιπτώσεις, η μοναδική λύση στο πρόβλημα είναι η εγκατάσταση ξεχωριστού συστήματος αερισμού για την κάθε πλάκα εκμετάλλευσης, συνήθως με φυσητικό ανεμιστήρα.
4. Λόγω της σημαντικής συσσώρευσης ξυλείας υπάρχει αυξημένος κίνδυνος ανάφλεξης. Το πρόβλημα οξύνεται σε μεταλλεία θειούχου μεταλλοφορίας λόγω της οξειδωσης και της ανάπτυξης υψηλών θερμοκρασιών στην ξυλεία. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος, η υγρασία της ατμόσφαιρας στα μέτωπα διατηρείται σε υψηλά επίπεδα.
5. Για να επιτευχθούν υψηλοί παραγωγικοί ρυθμοί, πρέπει να λειτουργούν ταυτόχρονα πολλά μέτωπα. Εκτός ελάχιστων εξαιρέσεων, αυτό προϋποθέτει την εξάπλωση πολλών μετώπων σε μεγάλο εύρος εκμετάλλευσης, τα οποία υποχρεωτικά να συνδεθούν μεταξύ τους με μεγάλο δίκτυο προσπελαστικών έργων.
6. Η περίοδος προπαρασκευής και ανάπτυξης πριν από την έναρξη της παραγωγικής διαδικασίας είναι σχετικά μεγάλη. Ταυτόχρονα, οι ρυθμοί παραγωγής δεν μπορούν να αυξηθούν και να προσαρμοστούν εύκολα σε μια ενδεχόμενη αλλαγή της ζήτησης σε μετάλλευμα, εκτός και αν ταυτόχρονα με την παραγωγή αναπτύσσονται συνεχώς νέα μέτωπα.
7. Η μεταφορά και εγκατάσταση των ξύλινων πλαισίων απασχολεί σημαντικό αριθμό εργαζομένων, περιορίζοντας με αυτό τον τρόπο άλλες εργασίες όπως, η εξόρυξη και η αποκομιδή. Για αυτό το λόγο, το μεγαλύτερο μέρος του μηχανικού εξοπλισμού διάτρησης και ανατίναξης είναι ανενεργό σε μεγάλο ποσοστό του χρόνου εργασίας.
8. Αν το υπερκείμενο πέτρωμα θραύεται σε μεγάλα τεμάχια, τα οποία ενσφηνώνονται μεταξύ τους και δημιουργούν μεγάλα κενά μεταξύ των υπερκειμένων και της εκμετάλλευσης, υπάρχει σημαντικός κίνδυνος ξαφνικής



κατάπτωσης τους και πρόκλησης σημαντικών ζημιών στα υποκείμενα προπαρασκευαστικά έργα.



Εικόνα 8: Η μέθοδος των οριζόντιων διαδοχικών κοπών με κατερχόμενη φορά εκμετάλλευσης

### 3.2.8. Sublevel caving (Μέθοδος των διαδοχικών ορόφων με κατακρήμνιση οροφής)

#### Γενικά:

Αρχικά η μέθοδος των διαδοχικών ορόφων με κατακρημιζόμενα μέτωπα χρησιμοποιήθηκε σε πετρώματα, τα οποία θα μπορούσαν να κατακρημνιστούν ακόμη και με μικρά σχετικά ανοίγματα, μετά την απομάκρυνση της υποστήριξης. Ισχυρά υποστηριζόμενες στοές διανοίγονταν κατά μήκος του μεταλλεύματος και μετά την αφαίρεση της ξύλινης υποστήριξης στο τέλος της στοάς, το μέταλλευμα κατακρημιζόταν. Όταν η πρόσμιξη του μεταλλεύματος με στείρο υπερέβαινε τα επιτρεπτά όρια, γινόταν η αφαίρεση του επόμενου στοιχείου της υποστήριξης και το μέτωπο της εκμετάλλευσης οπισθοχωρούσε. Η τεχνική αυτή επέφερε υψηλά ποσοστά πρόσμιξης στείρου στο μέταλλευμα και ήταν σχετικά αργή, αλλά ήταν η μοναδική μέχρι τότε διαθέσιμη μέθοδος για την εκμετάλλευση αυτού του τύπου κοιτασμάτων.

Η μέθοδος πλέον εφαρμόζεται και σε ανθεκτικότερα κοιτάσματα τα οποία εξορύσσονται με εκρηκτικές ύλες, οπότε δεν ανταποκρίνεται απόλυτα σε διαδικασία κατακρήμνιση. Παρόλα αυτά η μέθοδος βασίζεται σε κατακρήμνιση των τοιχωμάτων των μετώπων, οπότε και διατηρήθηκε ο όρος «κατακρήμνιση».

Οι κατακόρυφες αποστάσεις μεταξύ των υποορόφων κυμαίνονται κατά προσέγγιση από 8 έως 12 μέτρα και συνήθως η πρόσβαση επιτυγχάνεται με σύστημα ράμπας. Η στοά μεταφοράς ορύσσεται κατά μήκος της διεύθυνσης κλίσης του κοιτάσματος και πάντα μέσα στο στείρο πέτρωμα του δαπέδου. Οι στοές παραγωγής έχουν ως αφετηρία τη στοά μεταφοράς και ορύσσονται εγκάρσια στο κοίτασμα σε οριζόντιες αποστάσεις των 10 μέτρων. Με τον τρόπο αυτό το κοίτασμα διαιρείται σε τμήματα εκμετάλλευσης και διαμορφώνεται μια κανονική γεωμετρική μορφή.

Τα κεκλιμένα δημιουργίας του μετώπου ορύσσονται στο άκρο των στοών παραγωγής και κοντά στην επαφή μεταλλεύματος-στεύρου, εγκάρσια στο κοίτασμα, και στη συνέχεια επεκτείνονται εντός του κοιτάσματος με ακτινικά διατρήματα. Τα διατρήματα ορύσσονται σε αποστάσεις που κυμαίνονται από 1 έως 2 μέτρα και το μήκος είναι τέτοιο που να φτάνουν μέχρι το επίπεδο της στοάς παραγωγής του ανώτερου ορόφου. Όταν έχει ορυχθεί ένας σχετικά ικανοποιητικός αριθμός διατρημάτων, μπορεί να αρχίσει η παραγωγή με τη γόμωση και ανατίναξη μίας ή δύο σειρών ακτινικών διατρημάτων. Για την αποκομιδή του εξορυγμένου μεταλλεύματος χρησιμοποιούνται μονάδες LHD.

Αρχικά, όταν έχει εξορυχθεί ένα μικρό μόνο μέρος του κοιτάσματος, είναι πιθανόν να μην έχει εκδηλωθεί η κατακρήμνιση των υπερκειμένων και των τοιχωμάτων, οπότε η εκμετάλλευση εμφανίζει πολλά κοινά χαρακτηριστικά με τη μέθοδο των ανοικτών μετώπων. Με την πάροδο του χρόνου, η χαλάρωση των τοιχωμάτων καλύπτει τους κενούς χώρους και το μέταλλευμα κατακρημνίζεται και με τη βαρύτητα κατέρχεται προς τα σημεία απόληψης,

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται σε όλες τις παραγωγικές στοές, καθώς το μέτωπο εκμετάλλευσης οπισθοχωρεί σταδιακά προς τη στοά μεταφοράς. Από τη στιγμή όπου έχει αποληφθεί ο ανώτατος όροφος σε μία απόσταση ασφαλείας, η παραγωγή συνεχίζεται με τον ίδιο τρόπο στο αμέσως επόμενο υποκείμενο επίπεδο, έως ότου αποληφθεί πλήρως το μέταλλευμα.

### Πεδίο εφαρμογής:

Τα κυριότερα προβλήματα που παρουσιάζονται στη μέθοδο των διαδοχικών ορόφων με κατακρήμνιση είναι ο έλεγχος και η ελαχιστοποίηση της πρόσμιξης στείρου στο μετάλλευμα. Από την προηγούμενη περιγραφή, καταδεικνύεται ότι το θραυσμένο μετάλλευμα περικλείεται από τρεις πλευρές που δρουν ως πηγές πρόσμιξης με στείρο υλικό. Ισχυρά και ομαλά μέτωπα, όπως αυτά δημιουργούνται μετά την ανατίναξη των διατρημάτων είναι απαραίτητα για τον έλεγχο της πρόσμιξης.

Το μετάλλευμα θα πρέπει να είναι αρκετά συνεκτικό ώστε να μπορεί να αυτοϋποστηρίζεται χωρίς μεγάλες επεμβάσεις, να σχηματίζει ισχυρά και ομαλά μέτωπα κατακρήμνισης και να μπορεί να διατηρήσει ανοικτά ανιόντα διατρήματα μήκους έως και 15 μέτρων μέχρι να ολοκληρωθεί η διαδικασία της γόμωσης. Το στείρο θα πρέπει να είναι αρκετά χαλαρό ώστε να κατακρημνίζεται εύκολα και να πληρώνει τους κενούς χώρους.

Επίσης, το μέγεθος, το σχήμα και η κλίση του κοιτάσματος επηρεάζουν σημαντικά την εφαρμογή της μεθόδου. Η κατακόρυφη κλίση θεωρείται ως η πλέον κατάλληλη, κλίση μέχρι και  $60^\circ$  κρίνεται ικανοποιητική και τέλος μηδενική κλίση είναι απαγορευτική για την εφαρμογή της μεθόδου, εκτός εάν το πάχος του κοιτάσματος είναι σημαντικά μεγάλο.

Στην περίπτωση που το κοίτασμα είναι επίπεδο θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα παρακάτω αρνητικά ενδεχόμενα.

- ανεπαρκής ανάπτυξη και όρυξη των διατρημάτων στα μέτωπα παραγωγής λόγω του μικρού ύψους του μεταλλεύματος.
- στον ανώτερο όροφο μόνο το 50% του μεταλλεύματος απολαμβάνεται τελικά, γιατί το μετάλλευμα σχηματίζοντας σωρό σύμφωνα με τη γωνία απόθεσής του δυσχεραίνει την απόληψή του από τους φορτωτές.

Στην περίπτωση που το κοίτασμα είναι κατακόρυφο, πάντα υπάρχει ένα κατώτερο επίπεδο για την απόληψη του εναπομείναντος μεταλλεύματος (εκτός από το κατώτερο επίπεδο της εκμετάλλευσης), γεγονός που οδηγεί σε ικανοποιητικό βαθμό απόληψης. Στην περίπτωση, όμως, επίπεδου κοιτάσματος, μόνο μια μικρή ποσότητα μεταλλεύματος αποκομίζεται από τα κατώτερα επίπεδα, αποτέλεσμα να παραμένουν στο μέτωπο σημαντικές ποσότητες μεταλλεύματος που δεν είναι απολήψιμες. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε υψηλό κόστος ανάπτυξης ανά τόνο παραγόμενου μεταλλεύματος και χαμηλό βαθμό απόληψης. Στην περίπτωση κοιτάσματος με μέση

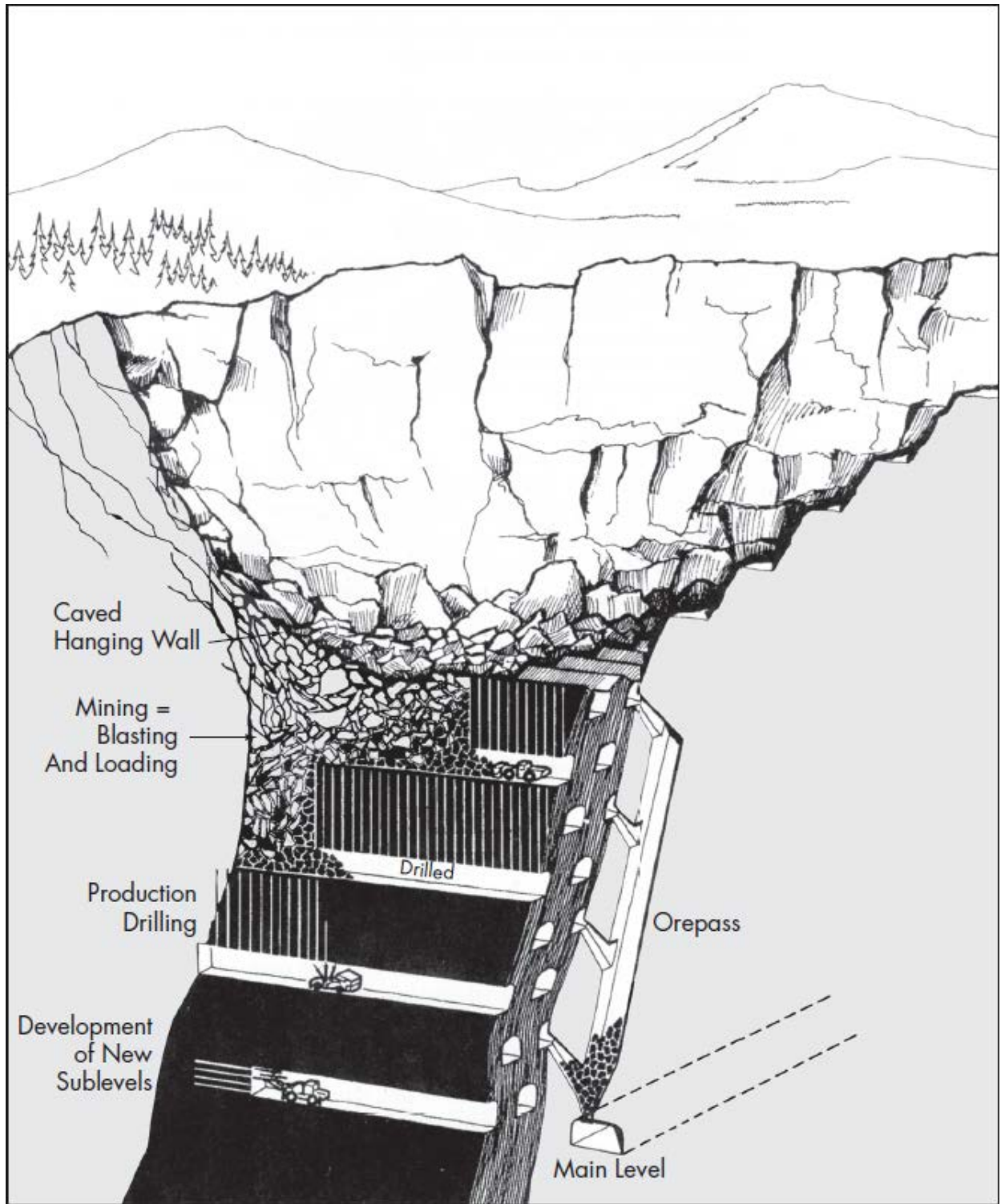
κλίση, η γεωμετρία του κοιτάσματος είναι αρκετά καλή και παρά το γεγονός ότι μικρή ποσότητα μεταλλεύματος παραμένει στα μέτωπα, απόληψη είναι σχετικά καλή. Από την παραπάνω εξήγηση γίνεται προφανές ότι επιθυμούμε να έχουμε μέτρια συνεκτικό μέταλλευμα, ασθενή τοιχώματα και μεγάλη κλίση κοιτάσματος.

#### **Πλεονεκτήματα:**

1. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί, τόσο σε ανθεκτικά, όσο και σε σχετικά χαλαρά πετρώματα.
2. Είναι αρκετά ευέλικτη, ώστε να εφαρμόζεται σε ακανονίστου σχήματος κοιτάσματα οποιουδήποτε πάχους, με ελάχιστο τα 4 μέτρα.
3. Το σύνολο των εργασιών εκμετάλλευσης λαμβάνουν χώρα μέσα στις στοές προσβολής και κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες υποστήριξης της οροφής, παρέχοντας ικανοποιητικές συνθήκες ασφάλειας.
4. Η μέθοδος χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό εκμηχάνισης.
5. Δεν εγκαταλείπονται στύλοι, οι οποίοι προσαυξάνουν το κόστος εκμετάλλευσης και ενισχύουν τις απώλειες σε μέταλλευμα.
6. Η μέθοδος έχει εφαρμοστεί με επιτυχία στην απόληψη στύλων προστασίας.

#### **Μειονεκτήματα:**

1. Υψηλό ποσοστό πρόσμιξης στείρου στο μέταλλευμα, αλλά και αδυναμία ελέγχου του συγκεκριμένου προβλήματος. Ο έλεγχος περιλαμβάνει την καλή φυσική υποστήριξη των μετώπων, τον σωστό σχεδιασμό τόσο της διάτρησης όσο και της φάσης της ανατίναξης και τη σωστή οργάνωση του συστήματος μεταφοράς του μεταλλεύματος.
2. Το υψηλό κόστος ανάπτυξης των μεταλλευτικών εργασιών είναι μία ακόμη αρνητική παράμετρος.



Source: Hamrin 1998. © Atlas Copco.

Εικόνα 9: Η μέθοδος των διαδοχικών ορόφων με κατακρήμνιση οροφής

### 3.2.9. Block caving (Μέθοδος της κατακρήμνισης προκαθορισμένου όγκου)

#### Γενικά:

Η μέθοδος κατακρήμνισης προκαθορισμένου όγκου εφαρμόζεται σε ομοιόμορφα κοιτάσματα μεγάλου όγκου, λόγω του χαμηλού κόστους εκμετάλλευσης και της υψηλής της παραγωγικότητας. Περιοχές μεγάλων διαστάσεων υποσκάπτονται και η υπερκείμενη μάζα κατακρημνίζεται με φυσικό τρόπο μόνο με τη δράση της βαρύτητας. Η αποκόμιση του κατακρημνιζόμενου μεταλλεύματος στο κατώτερο σημείο της στήλης του μεταλλεύματος προκαλεί την επέκταση της κατακρήμνισης προς ανώτερα επίπεδα, μέχρι το σύνολο του κοιτάσματος να θραυστεί σε τεμάχια κατάλληλα προς αποκόμιση και μεταφορά. Η σωστή εφαρμογή της μεθόδου καταλήγει στο χαμηλότερο κόστος εκμετάλλευσης από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο υπόγειας εκμετάλλευσης.

Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι εκμετάλλευσης με τη μέθοδο της κατακρήμνισης προκαθορισμένου όγκου:

1. Διαίρεση της επιφάνειας εκμετάλλευσης σε ορθογώνιες ή κατά προτίμηση τετράγωνες περιοχές με ταυτόχρονη αποκόμιση του μεταλλεύματος σε ολόκληρη την περιοχή εκμετάλλευσης, διατηρώντας οριζόντιο επίπεδο επαφής μεταξύ του θραυσμένου μεταλλεύματος και του κατακρημνιζόμενου καλύμματος.
2. Διαίρεση της επιφάνειας εκμετάλλευσης σε παράλληλες περιοχές κατά μήκος του κοιτάσματος και οπισθοχώρηση με υποσκαφή από το ένα άκρο στο άλλο, διατηρώντας ένα κεκλιμένο επίπεδο επαφής μεταξύ του σπασμένου μεταλλεύματος και κατακρημνιζόμενου καλύμματος.
3. Χωρίς διαίρεση της επιφάνειας εκμετάλλευσης σε προκαθορισμένα τμήματα.

Η υποσκαφή λαμβάνει χώρα είτε από παρυφή σε παρυφή είτε με οπισθοχώρηση από τη μία άκρη του κοιτάσματος έως την άλλη. Η συνολική έκταση της εκμεταλλευσόμενης περιοχής καθορίζεται από το μέγεθος των τμημάτων εκμετάλλευσης, τα οποία δεν θα προκαλούν την εμφάνιση υπερβολικών τάσεων στα έργα ανάπτυξης κάτω από τα σημεία εξόρυξης, αλλά και από τις απαιτήσεις παραγωγής.

### **Πεδίο εφαρμογής:**

Η μέθοδος της κατακρήμνισης προκαθορισμένου όγκου εφαρμόζεται σε κοιτάσματα που παρουσιάζουν υψηλό βαθμό ρωγμάτωσης και επίπεδα ασυνεχειών, όπως για παράδειγμα κάποια κοιτάσματα αιματίτη, ώστε να κατακρημνίζεται εύκολα μετά την υποσκαφή. Το υλικό κατακρημνίζεται από το κάτω μέρος του μπλοκ, αποκομίζεται στα σημεία απόληξης και η μέθοδος της κατακρήμνισης επεκτείνεται με ανερχόμενη φορά. Υπάρχει ένα όριο ως προς τον ρυθμό με τον οποίο η διαδικασία της κατακρήμνισης εξελίσσεται και το οποίο συνδέεται άμεσα με τη δομή του κατακρημνιζόμενου υλικού.

### **Πλεονεκτήματα:**

1. Η μέθοδος χαρακτηρίζεται από χαμηλό κόστος παραγωγής, λόγω της περιορισμένης χρήσης διάτρησης και ανατίναξης. Ακόμη και το κόστος ανάπτυξης, λόγω της υψηλής παραγωγικότητας, ανηγμένο στους τόνους παραγόμενου μεταλλεύματος, είναι χαμηλό.
2. Η παραγωγή, αν και υψηλή, προέρχεται από μικρό πλήθος μετώπων, ευνοώντας την επίβλεψη των θέσεων εργασίας και τον απόλυτο έλεγχο της παραγωγής, εξασφαλίζοντας τις ιδανικότερες συνθήκες ασφαλείας.
3. Ο έλεγχος του αερισμού είναι λιγότερο περίπλοκος συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεθόδους εκμετάλλευσης.
4. Η παραγωγή διατηρείται σε υψηλά επίπεδα.
5. Εφαρμόζεται με επιτυχία σε κοιτάσματα χαμηλής περιεκτικότητας.

### **Μειονεκτήματα:**

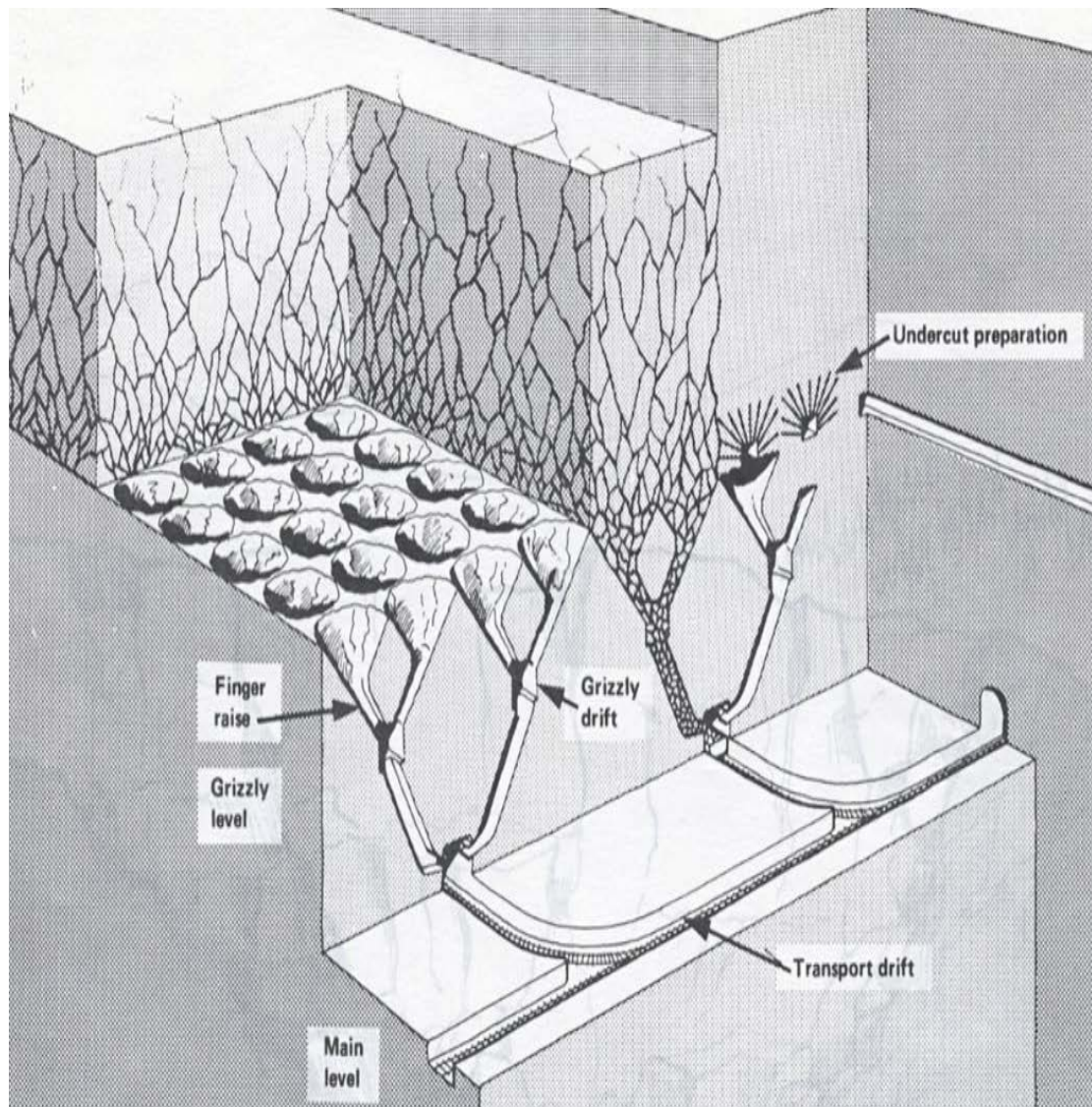
Η προετοιμασία των τμημάτων εκμετάλλευσης απαιτεί μεγαλύτερο χρόνο εργασιών και υψηλότερο κεφάλαιο από άλλες μεθόδους.

Η συντήρηση των στοών στα σημεία απόληξης απαιτεί υψηλό κόστος, παρεμποδίζοντας ταυτόχρονα την παραγωγική διαδικασία.

Η μέθοδος δεν μπορεί να ανταποκριθεί γρήγορα σε περίπτωση αύξησης της απαιτούμενης παραγωγής, καθώς μεσολαβεί μεγάλο χρονικό διάστημα προπαρασκευής επιπλέον τμημάτων εκμετάλλευσης.

Η διακοπή της απόληξης μεταλλεύματος για ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να οδηγήσει στην απώλεια των υποκείμενων στοών μεταφοράς, λόγω της δράσης του βάρους των υπερκειμένων. (Τερεζόπουλος, 2003)

Στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται το κατάλληλο σύστημα αποκομιδής του εξορυσσόμενου υλικού, το ποσοστό απόληψης είναι χαμηλό.



Εικόνα 10: Η μέθοδος της κατακρήμνισης προκαθορισμένου όγκου



### 3.3. Παράγοντες που καθορίζουν την επιλογή μεθόδου εκμετάλλευσης

Η αναζήτηση της καταλληλότερης μεθόδου εκμετάλλευσης αποτελεί ένα από τα βασικά θέματα προς εξέταση για την αξιοποίηση των υπόγειων μεταλλευτικών κοιτασμάτων. Η επιλογή μεταξύ των διαφόρων μεθόδων υπόγειας εκμετάλλευσης λαμβάνει υπόψη πολλές παραμέτρους. Κατά το πρώτο στάδιο της μελέτης λαμβάνονται άποψη τα γενικά φυσικά χαρακτηριστικά. Όσον αφορά τη γεωτεχνολογία, εξετάζεται η λιθολογία της περιοχής που εντοπίστηκε το κοίτασμα, η τυχόν παρουσία υπόγειων υδάτων και διάφορα δεδομένα που προκύπτουν από εργαστηριακές δοκιμές, όπως η εφελκυστική αντοχή, η θλιπτική αντοχή, το μέτρο ελαστικότητας, ο δείκτης Poisson, η γωνία εσωτερικής τριβής και το ειδικό βάρος. Για το κοίτασμα συγκεκριμένα, μελετάται γενικά ο σχηματισμός του (βάθος, κλίση, μέγεθος, σχήμα), καθώς και η κατανομή του μεταλλεύματος σε αυτό, η ύπαρξη ασυνεχειών και άλλα.

Πέρα από τα δεδομένα χαρακτηριστικά του κοιτάσματος πρέπει να λαμβάνονται πολύ σοβαρά υπόψιν επιπλέον, ανεξάρτητα από το είδος του εξορυσσόμενου μεταλλεύματος, η ασφάλεια και η υγιεινή των εργαζομένων. Οι συνθήκες εργασίας του εργατικού δυναμικού που περιλαμβάνουν τον αερισμό και κλιματισμό του ορυχείου, την υποστήριξη, την εκπομπή επικινδύνων αερίων σκόνης και θορύβου και το βαθμό μηχανοποίησης του έργου. Ένας ακόμα καθοριστικός παράγοντας επιλογής της κατάλληλης μεθόδου εκμετάλλευσης αποτελεί η ενδεχόμενη περιβαλλοντική όχληση. Τέλος, ιδιαίτερη και βαρύνουσα σημασία δίνεται στην οικονομικότητα του κοιτάσματος. Η εκμεταλλευσιμότητα ενός κοιτάσματος από οικονομική άποψη εξαρτάται από τους παρακάτω βασικούς παράγοντες:

- ο Παραγωγικότητα
- ο Περιεκτικότητα μεταλλεύματος
- ο Τιμή μεταλλεύματος
- ο Κεφαλαιούχο κόστος
- ο Λειτουργικό κόστος

Συνοπτικά, οι παράγοντες που επηρεάζουν και πρέπει να ληφθούν υπόψη, είναι οι παρακάτω:

- 1) Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κοιτάσματος:
  - i. Διαστάσεις, οριζόντια εξάπλωση και πάχος κοιτάσματος
  - ii. Κλίση του κοιτάσματος
  - iii. Βάθος από επιφάνεια
- 2) Μηχανικά χαρακτηριστικά του μεταλλεύματος και των περιβαλλόντων πετρωμάτων
- 3) Γασικό πεδίο
- 4) Τεκτονική, υδρογεωλογία και υδρολογία της περιοχής
- 5) Περιεκτικότητα, συνέχεια και ομοιομορφία – κατανομή της μεταλλοφορίας
- 6) Μορφολογία περιοχής
- 7) Απαιτούμενος ρυθμός παραγωγής
- 8) Άλλοι παράγοντες:
  - i. Εξωτερικό οικονομικό περιβάλλον
  - ii. Επιφανειακές χρήσεις γης
  - iii. Περιβαλλοντικοί περιορισμοί, κ.ά.

Σύμφωνα με αυτούς τους παράγοντες, θα γίνει προσπάθεια να καθοριστούν τα κριτήρια μας για την επιλογή βέλτιστης μεθόδου εκμετάλλευσης στο κοιτάσμα που θα μας απασχολήσει.

## 4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΑΗΡ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΣΤΑ «ΒΡΥΣΑΚΙΑ» ΕΥΒΟΙΑΣ

### 4.1. Διαδικασία επιλογής μεθόδου εκμετάλλευσης

Η προσπάθεια επιλογής της βέλτιστης μεθόδου εκμετάλλευσης, δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε γενικό πλαίσιο, αλλά απαιτεί αντικείμενο σύγκρισης, που στην περίπτωση μας, είναι το κοιτάσμα Λατερίτη (FeNi), στα «Βρυσάκια» Ευβοίας (για τα χαρακτηριστικά του οποίου, εφαρμόστηκε στο Κεφάλαιο 1, η μέθοδος Nicholas και UBC).

Αποφασίστηκε να εφαρμοστεί η μέθοδος της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεραρχίας (ΑΗΡ), για να επιλέξουμε την βέλτιστη μέθοδο υπόγειας εκμετάλλευσης. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι χρειάζεται να εξετάσουμε όσο το δυνατό σε μεγαλύτερο βάθος, μεγαλύτερο όγκο παραγόντων που θα επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα, αφού απ'ότι φαίνεται, το να αρκεστούμε στην επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου εξόρυξης μόνο βάσει των κριτηρίων της Γεωμετρίας και των Γεωτεχνικών του κοιτάσματος (βλ. Κεφάλαιο 1), δεν αρκεί. Σημαντικότατο ρόλο παίζει και η οικονομικότητα της εξόρυξης, καθώς συνεισφορά έχουν και η ασφάλεια του εγχειρήματος και η μέριμνα για το περιβάλλον.

Το μεταλλείο «Βρυσάκια» βρίσκεται στην Κεντρική Εύβοια, 21km περίπου βορειοανατολικά της Χαλκίδας. Πλησιέστερος οικισμός στο μεταλλείο είναι το Κοντοδεσπότι, σε απόσταση 4km περίπου νοτιοδυτικά του μεταλλείου. Η περιοχή είναι δασική, εν γένει ορεινή, μεταξύ των ορεινών όγκων «Κανδήλι» και «Δίρφυς» και με υψόμετρο που κυμαίνεται από +700m έως +900m περίπου. Οι μορφολογικές κλίσεις των κλιτύων είναι μέτριες έως έντονες, της τάξεως των 15° έως 45°. Αντιστοίχως, η μέση κλίση των πρηνών της υφιστάμενης επιφανειακής εκμετάλλευσης του κοιτάσματος είναι περί τις 45°. Τα γεωμετρικά και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος παρουσιάζονται ολοκληρωμένα στον **Πίνακα 10**.

Το ορυχείο στην παρούσα του μορφή, απεικονίζεται στην φωτογραφία που παρατίθεται παρακάτω (*Εικόνα 11*).



*Εικόνα 11: Πανοραμική φωτογραφία του ορυχείου «Βρυσάκια» Ευβοίας*

Για το κοίτασμα, γίνεται αξιολόγηση για τη συνέχιση της εξόρυξης, με υπόγεια μέθοδο εκμετάλλευσης. Συνεπώς, θα γίνει προσπάθεια κατόπιν αξιολόγησης, να προταθούν οι καταλληλότερες μέθοδοι υπόγειας εκμετάλλευσης για την περίπτωσή μας.

Για τη διαδικασία επιλογής, επιλέχθηκαν οι εξής μέθοδοι υπόγειας εκμετάλλευσης, βασιζόμενοι στο σύγχρονο του χαρακτήρα τους και στη συχνότητα που χρησιμοποιούνται λόγω των θετικών χαρακτηριστικών τους (και εφόσον γνωρίζουμε σαν επιπλέον στοιχείο και όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στην *Εικόνα 11*, ότι έχει ήδη γίνει υπαίθρια εκμετάλλευση στο κοίτασμα που μας απασχολεί):

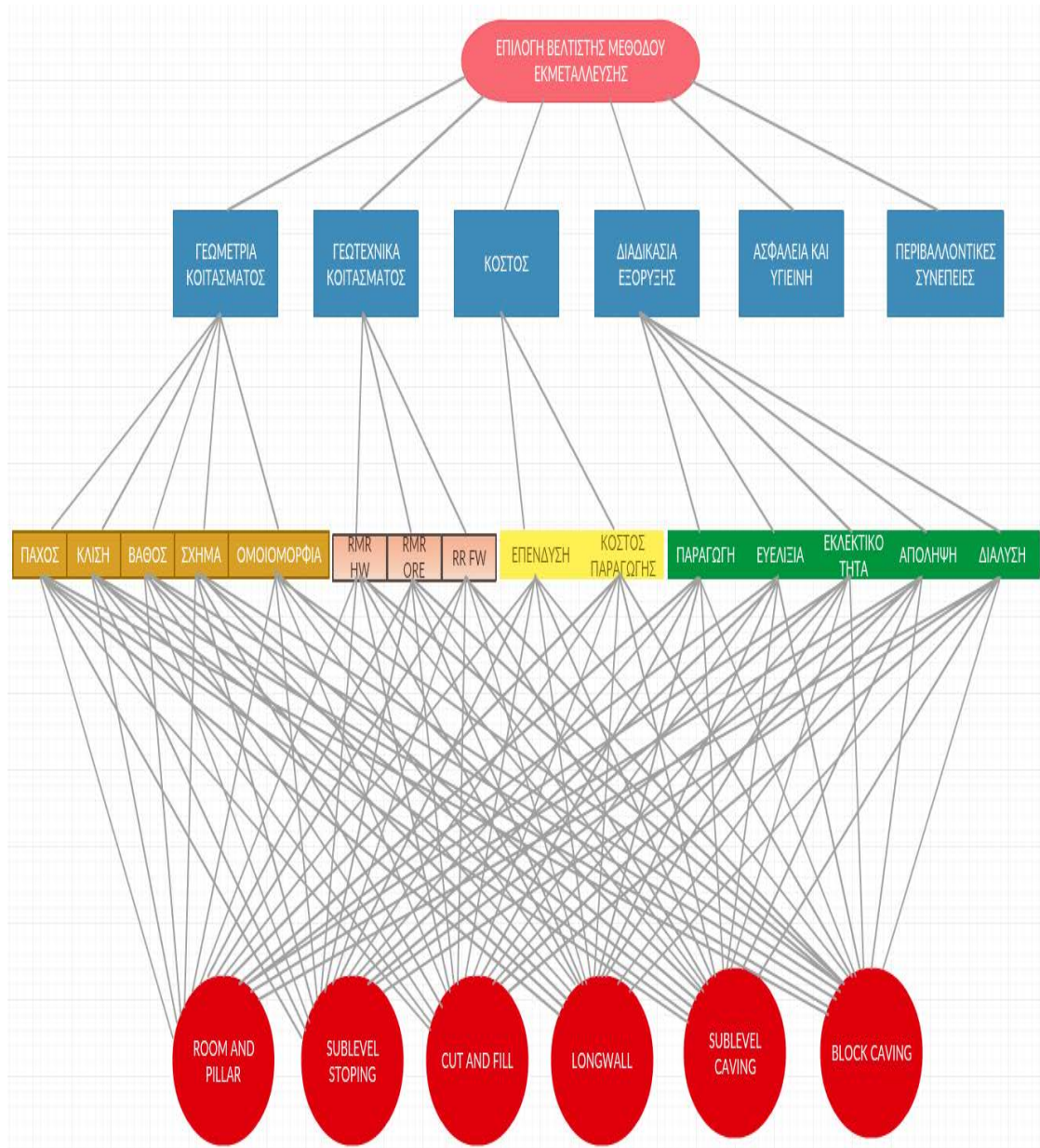
1. Room and pillar (RP)
2. Sublevel stoping (SS)
3. Cut and Fill (CF)
4. Long wall (LW)
5. Sublevel caving (SC)
6. Block caving (BC)

Για την επιλογή ανάμεσα στις παραπάνω εναλλακτικές, θα θέσουμε 6 βασικές κατηγορίες κριτηρίων, οι οποίες αποτελούνται από υποκριτήρια, τα οποία θα κατατάξουμε ως εξής:

1. Γεωμετρία κοιτάσματος (Πάχος, Κλίση, Βάθος, Σχήμα)
2. Γεωτεχνικά (RMR ταβανιών, RMR, μεταλλοφορίας)
3. Κόστος εκμετάλλευσης (Κόστος επένδυσης, Κόστος παραγωγής)
4. Διαδικασία εκμετάλλευσης (Παραγωγή, Ευελιξία, Εκλεκτικότητα, Απόληψη, Διάλυση)
5. Ασφάλεια και υγιεινή
6. Περιβαλλοντικές συνέπειες

Παρακάτω, με αυτό το διάγραμμα ροής διαφαίνεται η ιεράρχηση και η πολυπλοκότητα του προβλήματός μας:

Πίνακας 16: Διάγραμμα ροής του προβλήματος επιλογής βέλτιστης μεθόδου εκμετάλλευσης



Η διαδικασία που θα ακολουθηθεί, είναι να βαθμολογήσουμε μέσω συγκρίσεων κατά ζεύγη, τα κριτήρια και τα υποκριτήρια με τη βοήθεια του **Πίνακα 13**. Ως ένα απλό παράδειγμα μπορεί να θεωρηθεί η περίπτωση τριών επιλογών Α, Β, Γ, με τελικό στόχο την επιλογή της βέλτιστης. Χρειάζεται να πραγματοποιηθούν  $3 \times (3-1)/2 = 3$  συγκρίσεις, τα αποτελέσματα των οποίων δίνονται ως ακολούθως:

- Η επιλογή Α είναι «ισοδύναμα έως ασθενώς» πιο προτιμητέα από την Β.
- Η επιλογή Α είναι «ασθενώς έως αισθητά» πιο προτιμητέα από την Γ.
- Η επιλογή Β είναι «ασθενώς» πιο προτιμητέα από την Γ.

Έτσι, για το παράδειγμά μας, θα προέκυπτε το παρακάτω μάρτιξ συγκρίσεων:

ΚΡΙΤΗΡΙΑ	A	B	Γ
A	1	2	4
B	1/2	1	3
Γ	1/4	1/3	1

Συνεχίζοντας τη διαδικασία, θα χρησιμοποιήσουμε ένα πρόγραμμα Excel για την AHP, του οποίου συντάκτης είναι ο **Klaus D. Goepel** (2018). Η φόρμα του excel που χρησιμοποιήσαμε είναι η παρακάτω:

K. D. Goepel Version 15.09.2018 | Free web based AHP software on: <http://bpmsg.com>  
**Only input data in the light green fields and worksheets!**

n=  Number of criteria (2 to 10)    Scale:     **AHP 1-9**

N=  Number of Participants (1 to 20)    α:     Consensus:

p=  selected Participant (0=consol.)    2    7    **Consolidated**

Objective

Author

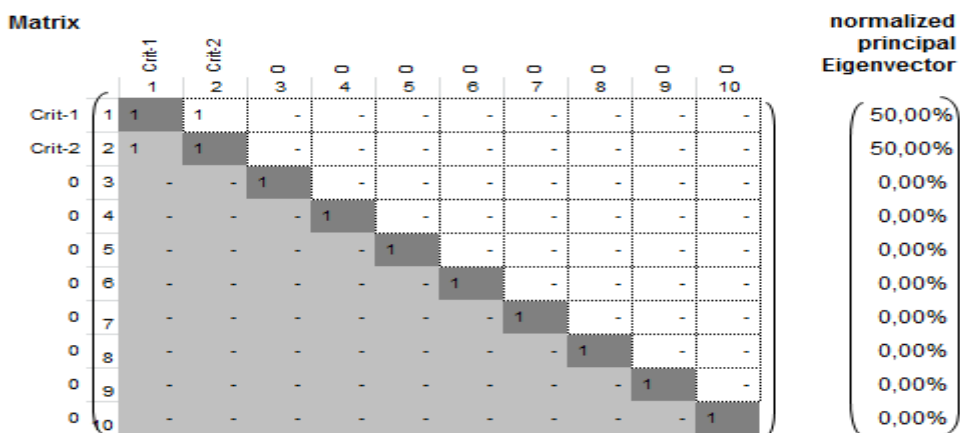
Date     Thresh:     Iterations:     EVM check:

Table	Criterion	Comment	Weights	+/-
1	Crit-1		50,0%	0,0%
2	Crit-2		50,0%	0,0%
3			0,0%	0,0%
4			0,0%	0,0%
5			0,0%	0,0%
6			0,0%	0,0%
7			0,0%	0,0%
8			0,0%	0,0%
9		for 9&10 unprotect the input sheets and expand the question section ("+" in row 66)	0,0%	0,0%
#			0,0%	0,0%

Result

**Eigenvalue**    Lambda:     MRE:

**Consistency Ratio**    0,37    GCI:     Psi:     CR:     0,0%



Εικόνα 12: Excel για την AHP

Κάνοντας χρήση του Excel αυτού για να θεωρήσουμε έγκυρες όλες μας τις συγκρίσεις για όλα τα κριτήρια και τα υποκριτήρια, θα πρέπει να έχουμε βεβαιωθεί ότι όλα μας τα μάλτριξ συγκρίσεων υπακούουν στο **λόγο συνέπειας CR**(που αναφέραμε στην ενότητα 2.5.2), δηλαδή δεν υπερβαίνουν την τιμή 0,10(10%).



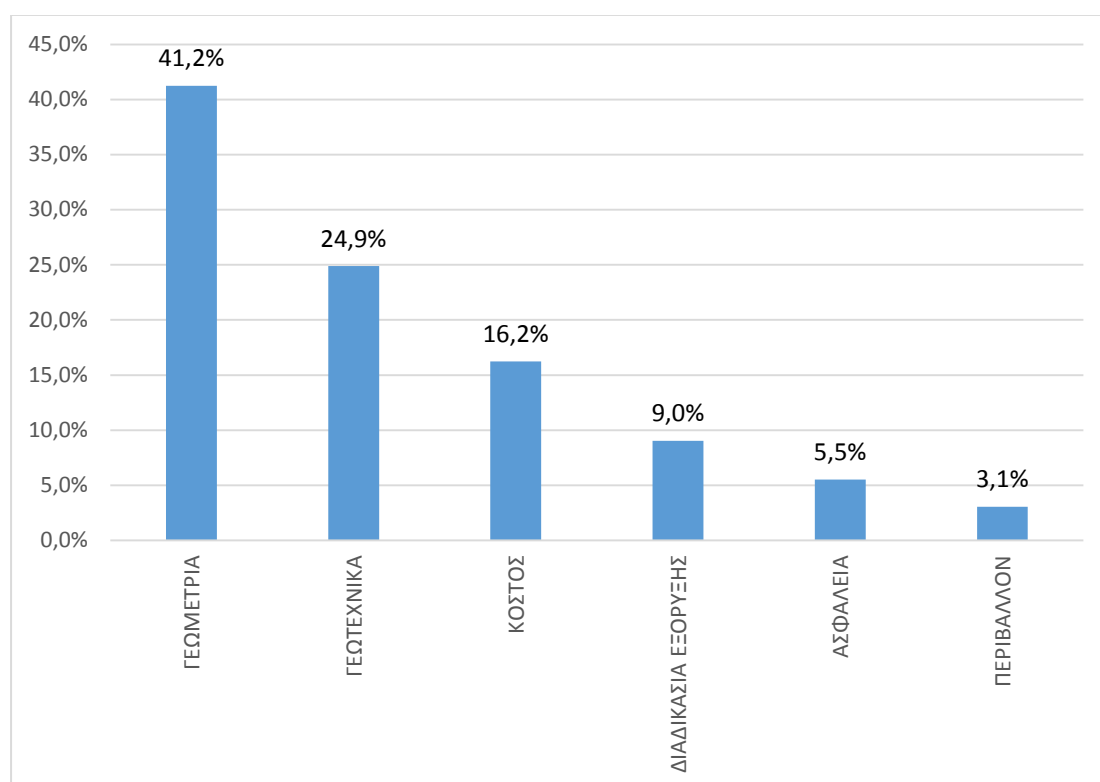
#### 4.1.1. Συγκρίσεις και σχετικά βάρη για τα κριτήρια και τα υποκριτήρια

Ξεκινάμε από τη βαθμολόγηση των έξι κριτηρίων που αναφέρθηκαν παραπάνω:

Πίνακας 17: Σύγκριση των κριτηρίων για την επιλογή μεθόδου εκμετάλλευσης

Κριτήρια	ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ	ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ	ΚΟΣΤΟΣ	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ	ΑΣΦΑΛΕΙΑ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	Βαθμολογία
ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ	1	2	3	4	7	8	0,4124
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ	1/2	1	2	3	5	7	0,2430
ΚΟΣΤΟΣ	1/3	1/2	1	2	4	7	0,1625
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΞΟΡΥΞΗΣ	1/4	1/3	1/2	1	2	3	0,0904
ΑΣΦΑΛΕΙΑ	1/7	1/5	1/4	1/2	1	3	0,0552
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	1/8	1/7	1/7	1/3	1/3	1	0,0306

Λόγος Συνέπειας (CR)=3,0%



Η αριθμητική σύγκριση κατά ζεύγη που έγινε, περιγράφεται όπως στο παράδειγμα που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως:

- Η Γεωμετρία είναι «ισοδύναμα έως ασθενώς προτιμητέα» από τα Γεωτεχνικά.
- Η Γεωμετρία είναι «ασθενώς προτιμητέα» από το Κόστος.
- Η Γεωμετρία είναι «ασθενώς έως αισθητά προτιμητέα» από τη Διαδικασία εκμετάλλευσης.
- Η Γεωμετρία είναι «πολύ δυνατά προτιμητέα» από την Ασφάλεια.
- Η Γεωμετρία είναι «πολύ δυνατά έως απόλυτα προτιμητέα» από το Περιβάλλον.
- Τα Γεωτεχνικά είναι «ισοδύναμα έως ασθενώς προτιμητέα» από το Κόστος.
- Τα Γεωτεχνικά είναι «ασθενώς προτιμητέα» από τη Διαδικασία εκμετάλλευσης.
- Τα Γεωτεχνικά είναι «αισθητά προτιμητέα» από την Ασφάλεια.
- Τα Γεωτεχνικά είναι «πολύ δυνατά προτιμητέα» από το Περιβάλλον.
- Το Κόστος είναι «ισοδύναμα έως ασθενώς προτιμητέο» από τη Διαδικασία εκμετάλλευσης.
- Το Κόστος είναι «ασθενώς έως αισθητά προτιμητέο» από την Ασφάλεια.
- Το Κόστος είναι «πολύ δυνατά προτιμητέο» από το Περιβάλλον.
- Η Διαδικασία εξόρυξης είναι «ισοδύναμα έως ασθενώς προτιμητέα» από την Ασφάλεια.
- Η Διαδικασία εξόρυξης είναι «ασθενώς προτιμητέα» από το Περιβάλλον.
- Η Ασφάλεια είναι «ασθενώς προτιμητέα» από το Περιβάλλον.

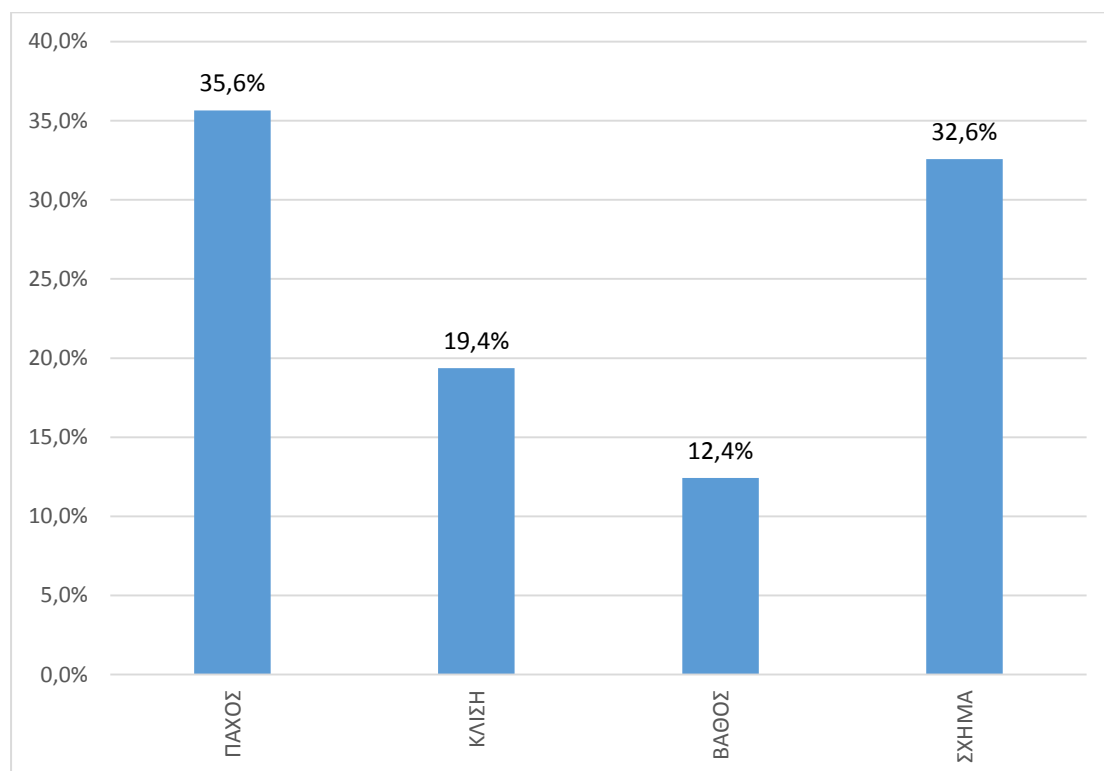
Αντίστοιχα λοιπόν, περιγράφονται και οι συγκρίσεις που γίνονται στη συνέχεια, τόσο για τα κριτήρια, όσο και για τα υποκριτήρια της επιλογής μεθόδου εκμετάλλευσης.

Η διαδικασία προχωράει συγκρίνοντας τα υποκριτήρια: Γεωμετρίας του κοιτάσματος (πάχος, κλίση, βάθος, σχήμα), Γεωτεχνικών (RMR οροφής, RMR κοιτάσματος), Κόστους (επένδυση, κόστος παραγωγής), Διαδικασίας εκμετάλλευσης (παραγωγή, ευελιξία, εκλεκτικότητα, απόληψη, διάλυση). Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

Πίνακας 18: Σύγκριση των υποκριτηρίων της Γεωμετρίας του κοιτάσματος

Κριτήρια	ΠΑΧΟΣ	ΚΛΙΣΗ	ΒΑΘΟΣ	ΣΧΗΜΑ	Βαθμολογία
ΠΑΧΟΣ	1	2	3	2	0,35644
ΚΛΙΣΗ	1/2	1	3	1	0,193576
ΒΑΘΟΣ	1/3	1/3	1	1/2	0,124257
ΣΧΗΜΑ	1/2	1	2	1	0,325727

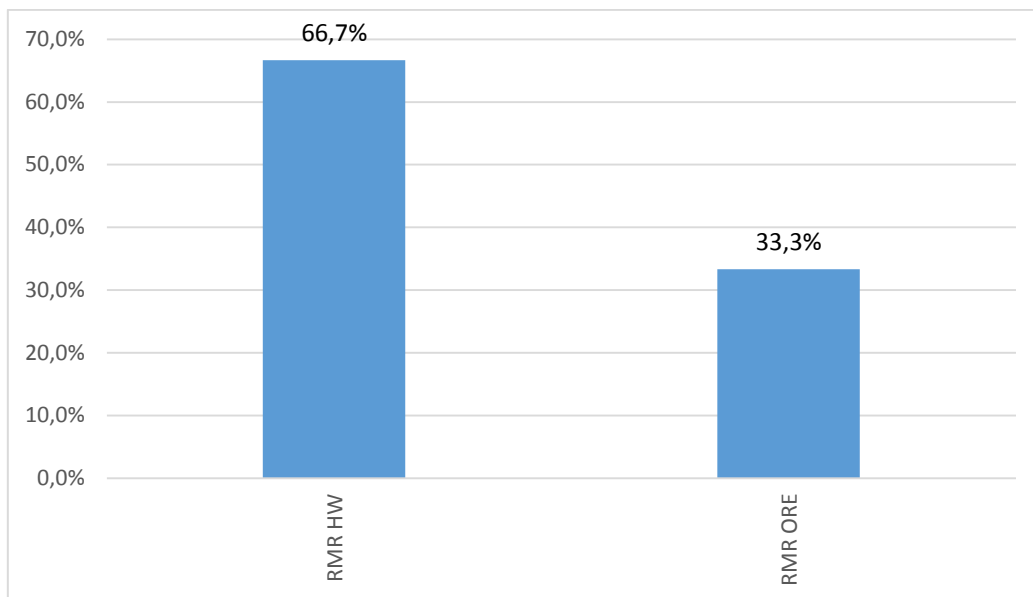
Λόγος Συνέπειας (CR)=1,7%



Πίνακας 19: Σύγκριση των υποκριτηρίων των Γεωτεχνικών χαρακτηριστικών

ΚΡΙΤΗΡΙΑ	RMR HW	RMR ORE	Βαθμολογία
RMR HW	1	2	0,6667
RMR ORE	1/2	1	0,3333

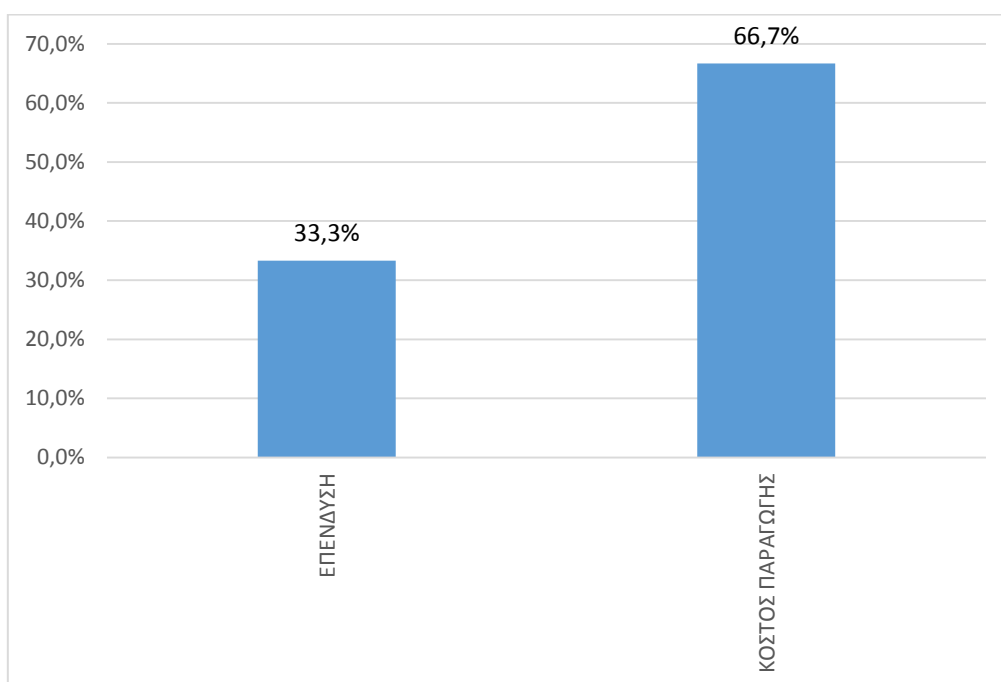
Λόγος Συνέπειας (CR)=0%



Πίνακας 20: Σύγκριση των υποκριτηρίων του **Κόστους**

ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΕΠΕΝΔΥΣΗ	ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	Βαθμολογία
ΕΠΕΝΔΥΣΗ	1	2	0,3333
ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	1/2	1	0,6667

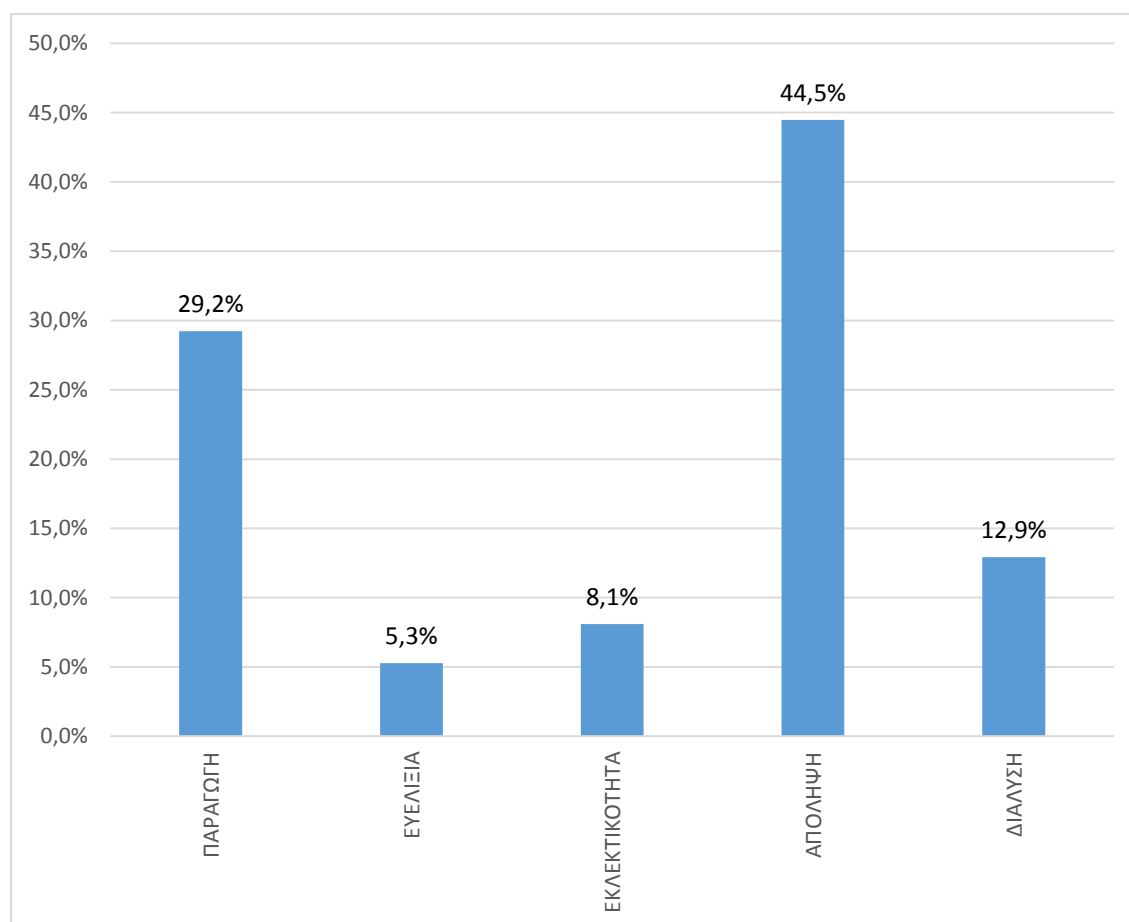
Λόγος Συνέπειας (CR)=0%



Πίνακας 21: Σύγκριση των υποκριτηρίων της Διαδικασίας Εξόρυξης

ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ	ΕΥΕΛΙΞΙΑ	ΕΚΛΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΑΠΟΛΗΨΗ	ΔΙΑΛΥΣΗ	Βαθμολογία
ΠΑΡΑΓΩΓΗ	1	5	4	1/2	3	0,2923
ΕΥΕΛΙΞΙΑ	1/5	1	1/2	1/6	1/3	0,0528
ΕΚΛΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	1/4	2	1	1/5	1/2	0,0810
ΑΠΟΛΗΨΗ	2	6	5	1	4	0,4448
ΔΙΑΛΥΣΗ	1/3	3	2	1/4	1	0,1291

Λόγος Συνέπειας (CR)=2,2%

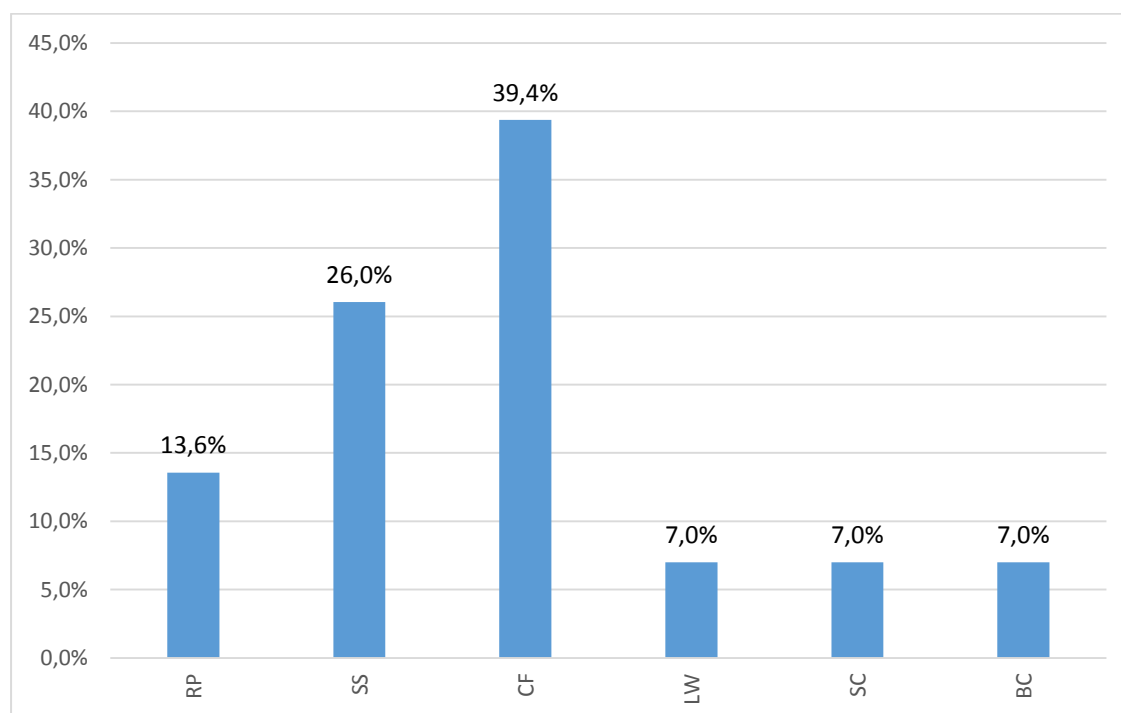


Στη συνέχεια, γίνονται οι συγκρίσεις μεταξύ των μεθόδων εκμετάλλευσης, για το κάθε υποκριτήριο των τεσσάρων κριτηρίων που αναφέρθηκαν παραπάνω και για τα δύο κριτήρια τα οποία δεν έχουν υποκριτήρια (Ασφάλεια και υγιεινή, Περιβαλλοντικές συνέπειες). Αρχικά, συγκρίνονται τα υποκριτήρια της Γεωμετρίας του κοιτάσματος:

Mining Methods	Room and pillar	Sublevel stoping	Cut and fill	Long wall	Sublevel caving	Block caving	Βαθμολογία
Room and pillar	1	1/9	1/5	1/7	1/9	1/9	0,1357
Sublevel stoping	9	1	5	3	1	1	0,2605
Cut and fill	5	1/5	1	1/3	1/5	1/5	0,3938
Long wall	7	1/3	3	1	1/3	1/3	0,07
Sublevel caving	9	1	5	3	1	1	0,07
Block caving	9	1	5	3	1	1	0,07

Πίνακας 22: Σύγκριση των μεθόδων για το Πάχος

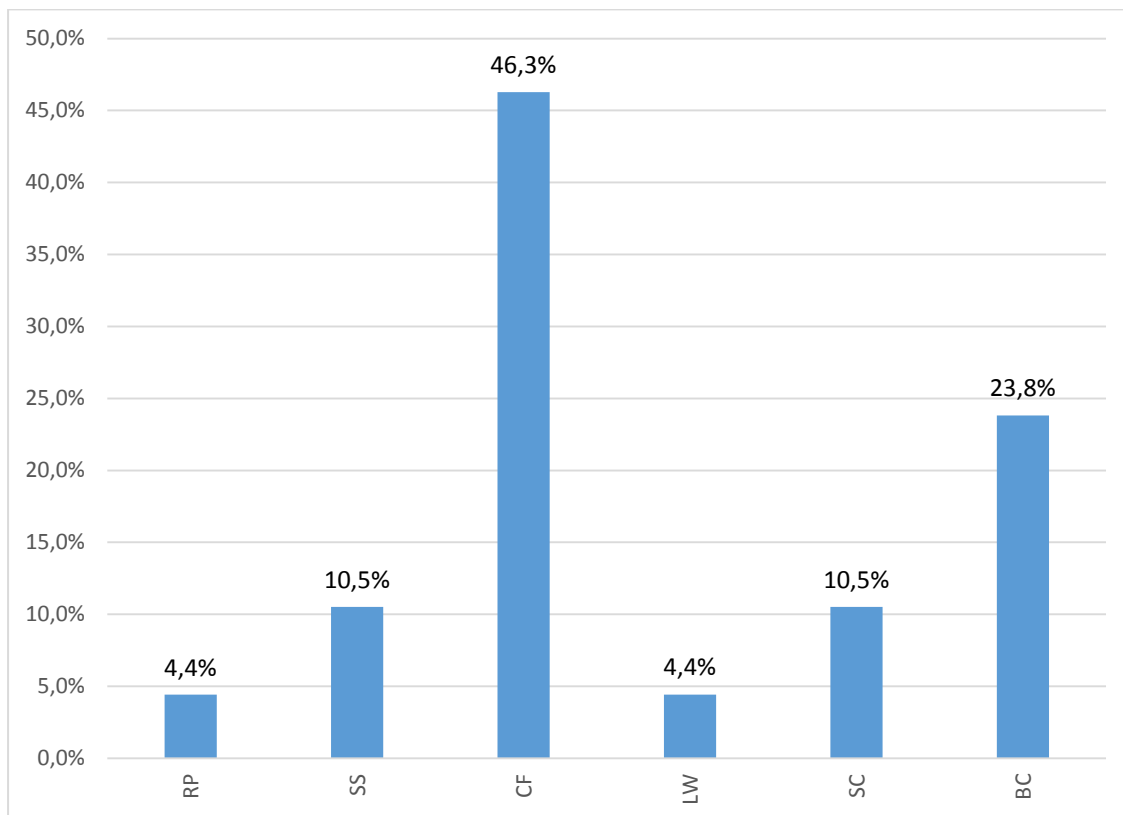
Λόγος Συνέπειας (CR)=0,4%



Πίνακας 23: Σύγκριση των μεθόδων για την **Κλίση**

<b>Mining Methods</b>	Room and pillar	Sublevel stoping	Cut and fill	Long wall	Sublevel caving	Block caving	<b>Βαθμολογία</b>
Room and pillar	1	1/5	1/9	1	1/5	1/7	0,0442
Sublevel stoping	5	1	1/5	5	1	1/3	0,1052
Cut and fill	9	5	1	9	5	3	0,4628
Long wall	1	1/5	1/9	1	1/5	1/7	0,0442
Sublevel caving	5	1	1/5	5	1	1/3	0,1052
Block caving	7	3	1/3	7	3	1	0,2382

Λόγος Συνέπειας (CR)=2,5%

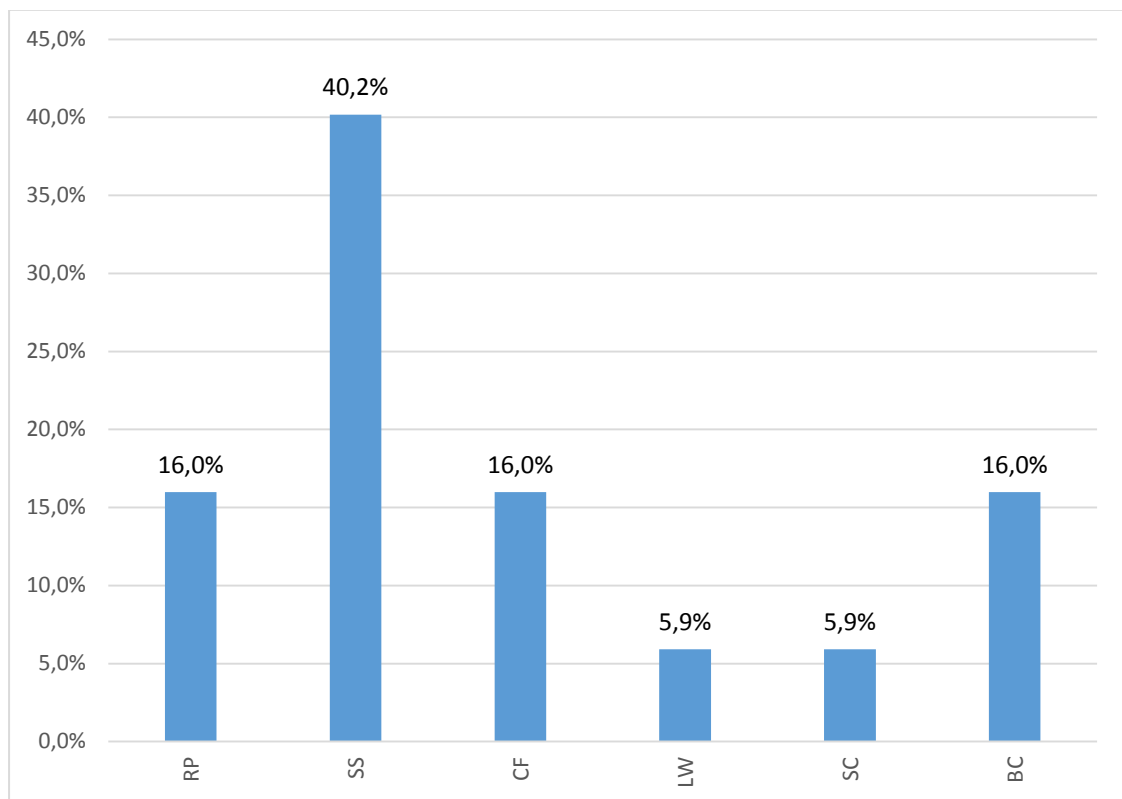




Πίνακας 24: Σύγκριση των μεθόδων για το **Βάθος**

<b>Mining Methods</b>	Room and pillar	Sublevel stoping	Cut and fill	Long wall	Sublevel caving	Block caving	<b>Βαθμολογία</b>
Room and pillar	1	1/3	1	3	3	1	0,16
Sublevel stoping	3	1	3	5	5	3	0,4017
Cut and fill	1	1/3	1	3	3	1	0,16
Long wall	1/3	1/5	1/3	1	1	1/3	0,592
Sublevel caving	1/3	1/5	1/3	1	1	1/3	0,592
Block caving	1	1/3	1	3	3	1	0,16

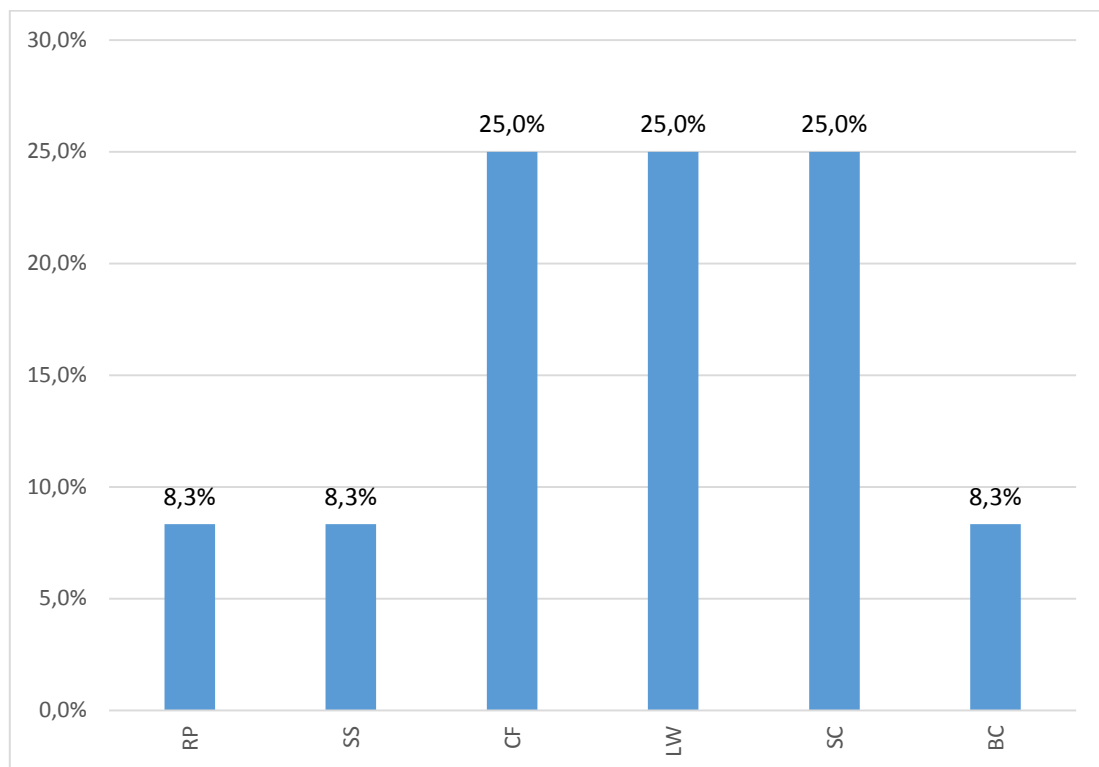
Λόγος Συνέπειας (CR)=0,9%



Πίνακας 25: Σύγκριση των μεθόδων για το Σχήμα

Mining Methods	Room and pillar	Sublevel stoping	Cut and fill	Long wall	Sublevel caving	Block caving	Βαθμολογία
Room and pillar	1	1	1/3	1/3	1/3	1	0,833
Sublevel stoping	1	1	1/3	1/3	1/3	1	0,833
Cut and fill	3	3	1	1	1	3	0,25
Long wall	3	3	1	1	1	3	0,25
Sublevel caving	3	3	1	1	1	3	0,25
Block caving	1	1	1/3	1/3	1/3	1	0,833

Λόγος Συνέπειας (CR)=0%

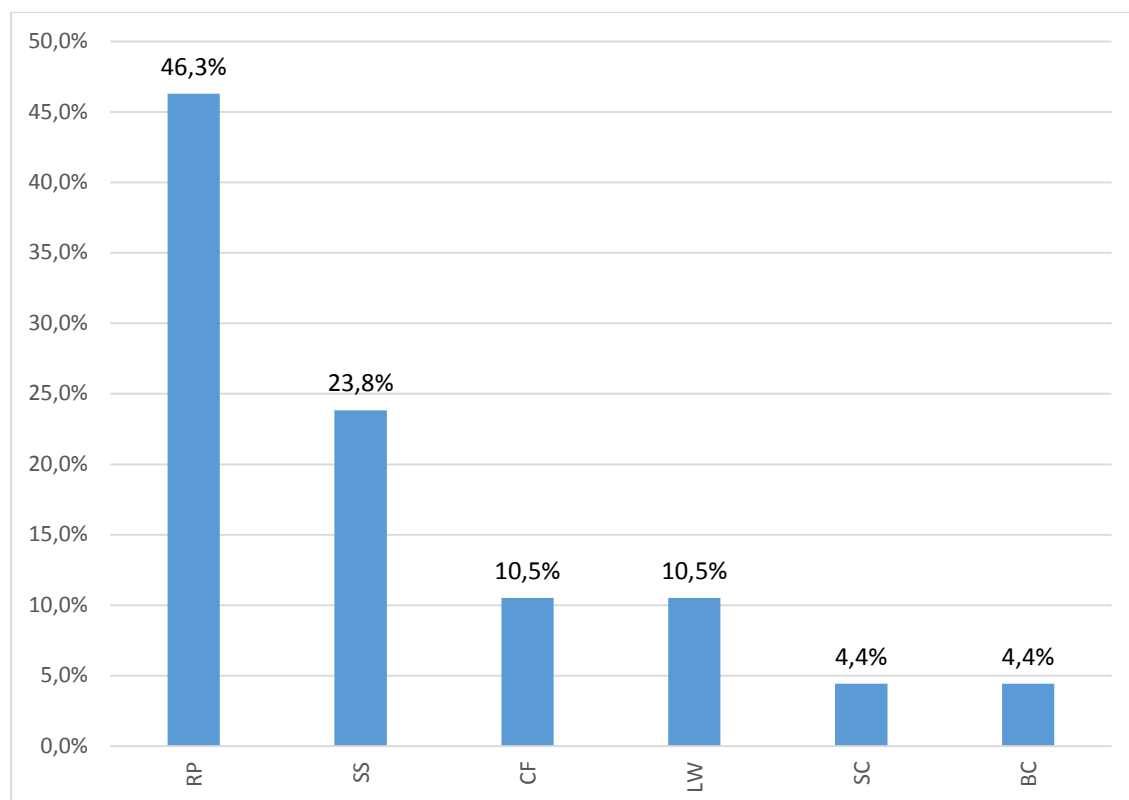


Ακολουθούν οι συγκρίσεις για τα υποκρίτηρια των Γεωτεχνικών χαρακτηριστικών:

Πίνακας 26: Σύγκριση των μεθόδων για το **RMR HW**

<b>Mining Methods</b>	Room and pillar	Sublevel stoping	Cut and fill	Long wall	Sublevel caving	Block caving	<b>Βαθμολογία</b>
Room and pillar	1	3	5	5	7	7	0,4628
Sublevel stoping	1/3	1	3	3	5	5	0,2382
Cut and fill	1/5	1/3	1	1	3	3	0,1052
Long wall	1/5	1/3	1	1	3	3	0,1052
Sublevel caving	1/7	1/5	1/3	1/3	1	1	0,0442
Block caving	1/7	1/5	1/3	1/3	1	1	0,0442

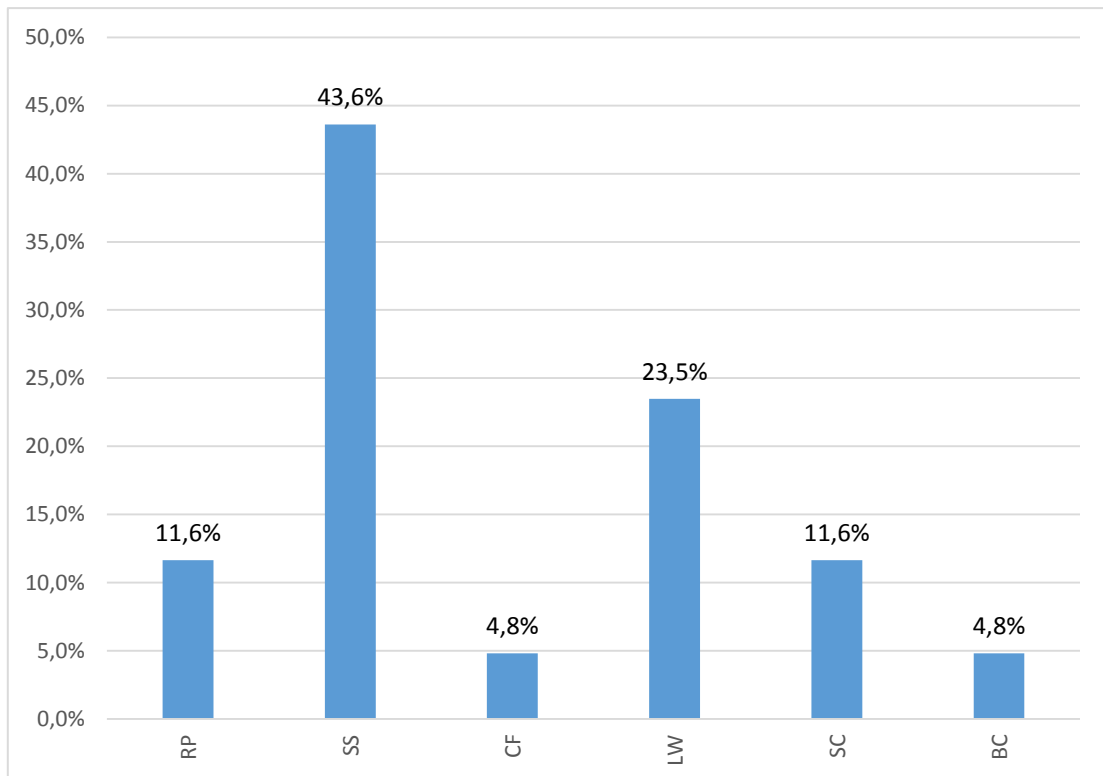
Λόγος Συνέπειας (CR)=2,5%



Πίνακας 27: Σύγκριση των μεθόδων για το **RMR Ore**

Mining Methods	Room and pillar	Sublevel stoping	Cut and fill	Long wall	Sublevel caving	Block caving	Βαθμολογία
Room and pillar	1	1/3	3	1/3	1	3	0,4628
Sublevel stoping	3	1	5	1	3	5	0,2382
Cut and fill	1/3	1/5	1	1/5	1/3	1	0,1052
Long wall	3	1	5	1	3	5	0,1052
Sublevel caving	1	1/3	3	1/3	1	3	0,0442
Block caving	1/3	1/5	1	1/5	1/3	1	0,0442

Λόγος Συνέπειας (CR)=6,4%

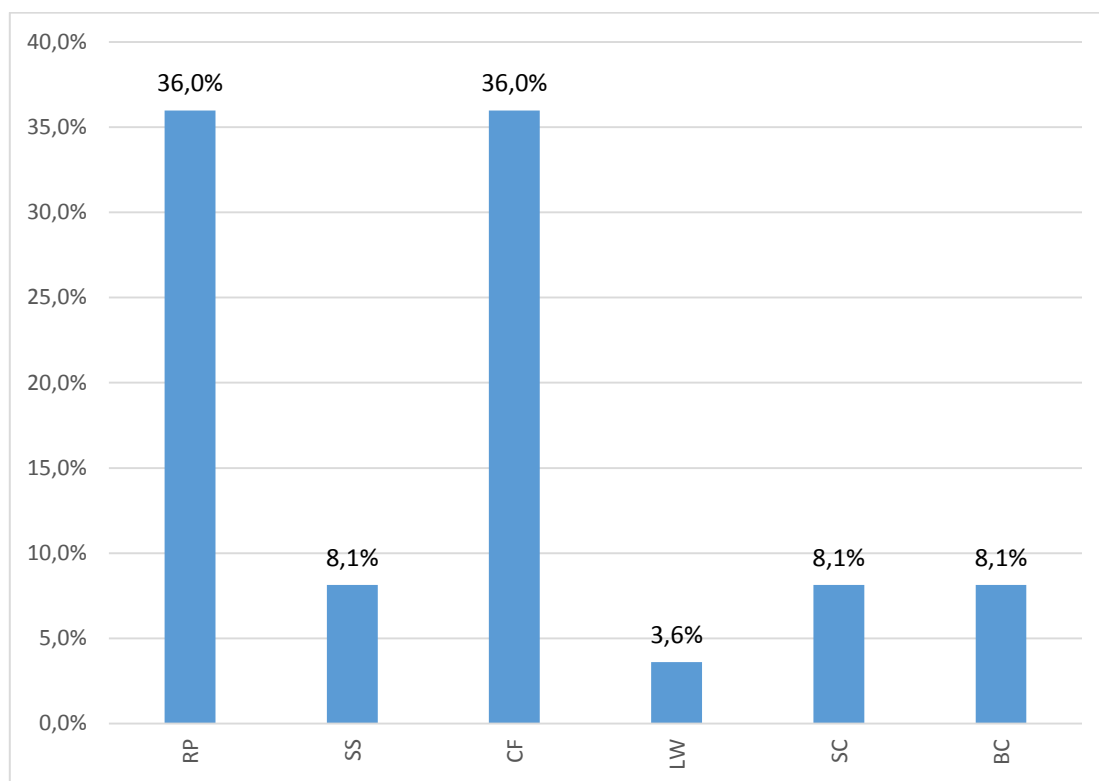


Στη συνέχεια γίνονται οι συγκρίσεις για τα υποκριτήρια για του Κόστους:

Πίνακας 28: Σύγκριση των μεθόδων για την **Επένδυση (αρχικό Κεφάλαιο)**

<b>Mining Methods</b>	Room and pillar	Sublevel stoping	Cut and fill	Long wall	Sublevel caving	Block caving	<b>Βαθμολογία</b>
Room and pillar	1	5	1	7	5	5	0,3598
Sublevel stoping	1/5	1	1/5	3	1	1	0,0814
Cut and fill	1	5	1	7	5	5	0,3598
Long wall	1/7	1/3	1/7	1	1/3	1/3	0,0361
Sublevel caving	1/5	1	1/5	3	1	1	0,0814
Block caving	1/5	1	1/5	3	1	1	0,0814

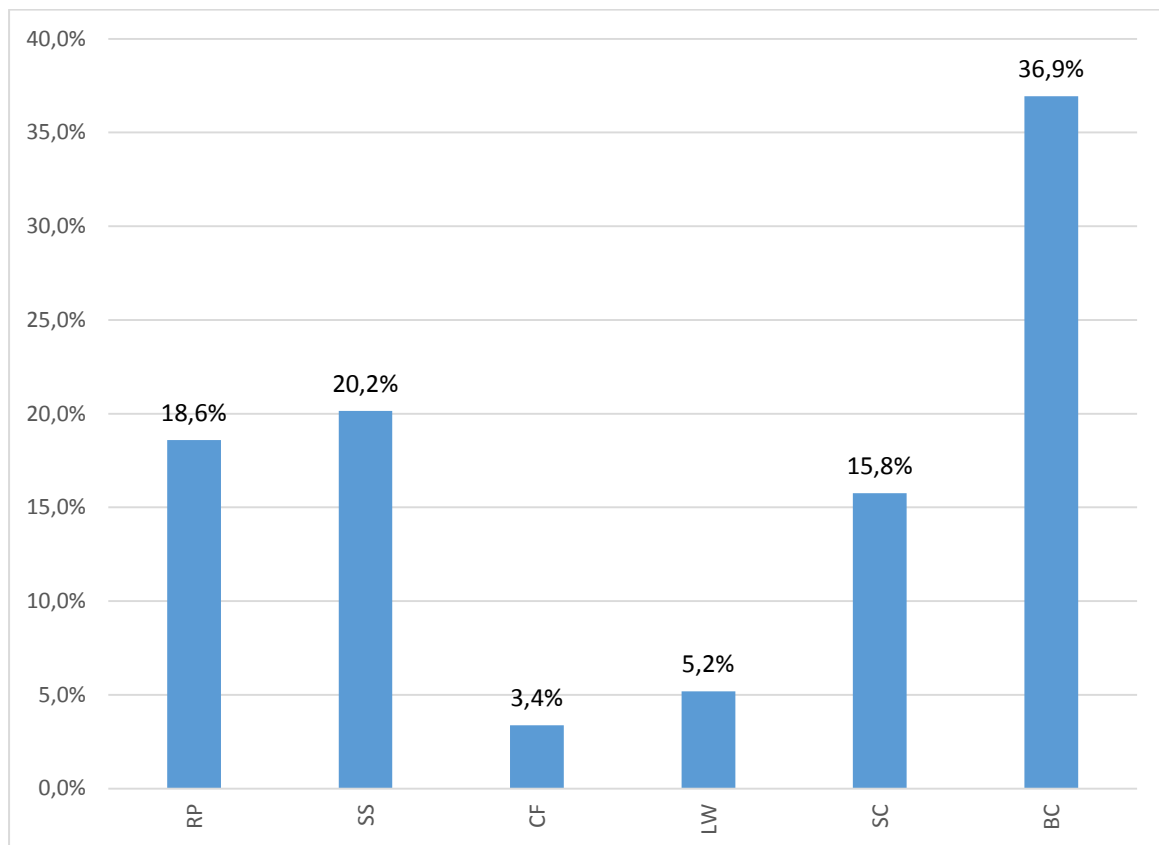
Λόγος Συνέπειας (CR)=1,6%



Πίνακας 29: Σύγκριση των μεθόδων για το **Κόστος Παραγωγής**

<b>Mining Methods</b>	Room and pillar	Sublevel stoping	Cut and fill	Long wall	Sublevel caving	Block caving	<b>Βαθμολογία</b>
Room and pillar	1	1	7	5	1	1/3	0,1859
Sublevel stoping	1	1	5	7	1	1/2	0,2015
Cut and fill	1/7	1/5	1	1/3	1/3	1/9	0,0338
Long wall	1/5	1/7	3	1	1/3	1/7	0,0518
Sublevel caving	1	1	3	3	1	1/2	0,1576
Block caving	3	2	9	7	2	1	0,3694

Λόγος Συνέπειας (CR)=4,1%

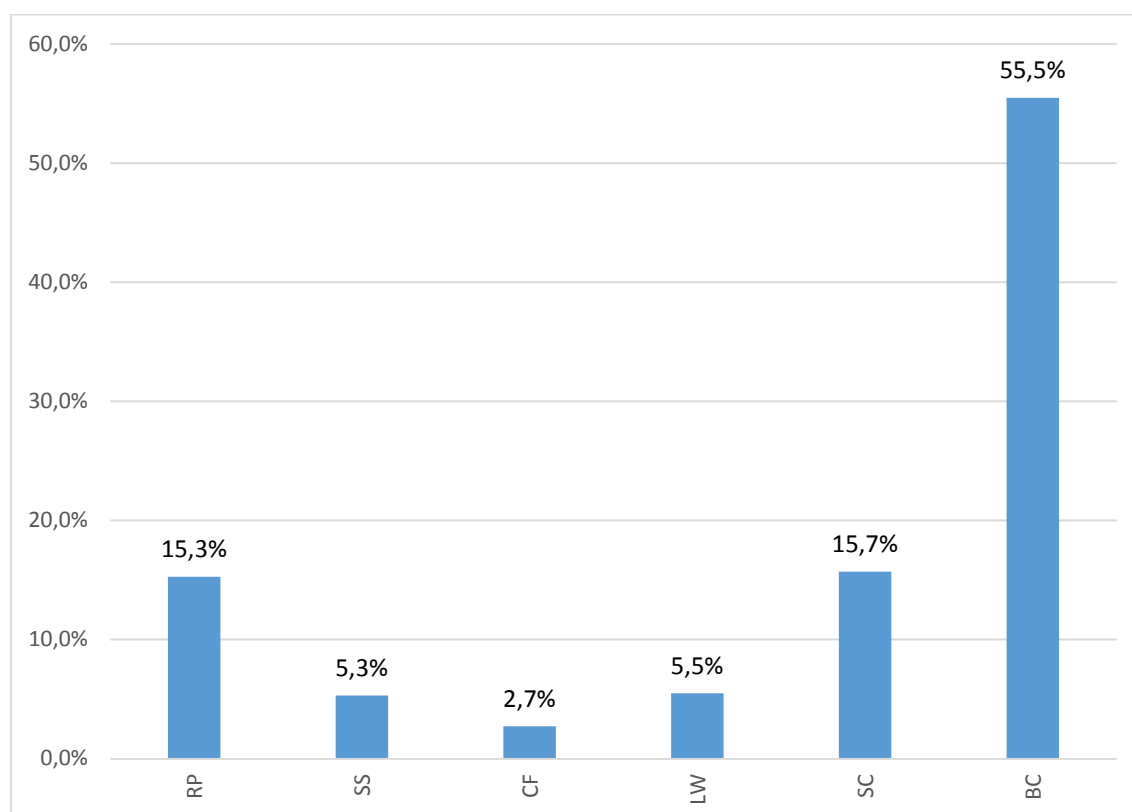


Τα επόμενα υποκριτήρια είναι αυτά του κριτηρίου της Διαδικασίας Εκμετάλλευσης:

Πίνακας 30: Σύγκριση των μεθόδων για την Παραγωγή

Mining Methods	Room and pillar	Sublevel stoping	Cut and fill	Long wall	Sublevel caving	Block caving	Βαθμολογία
Room and pillar	1	4	7	3	1	1/6	0,153
Sublevel stoping	1/4	1	3	1	1/4	1/8	0,053
Cut and fill	1/7	1/3	1	1/3	1/6	1/9	0,027
Long wall	1/3	1	3	1	1/4	1/8	0,055
Sublevel caving	1	4	6	4	1	1/6	0,157
Block caving	6	8	9	8	6	1	0,555

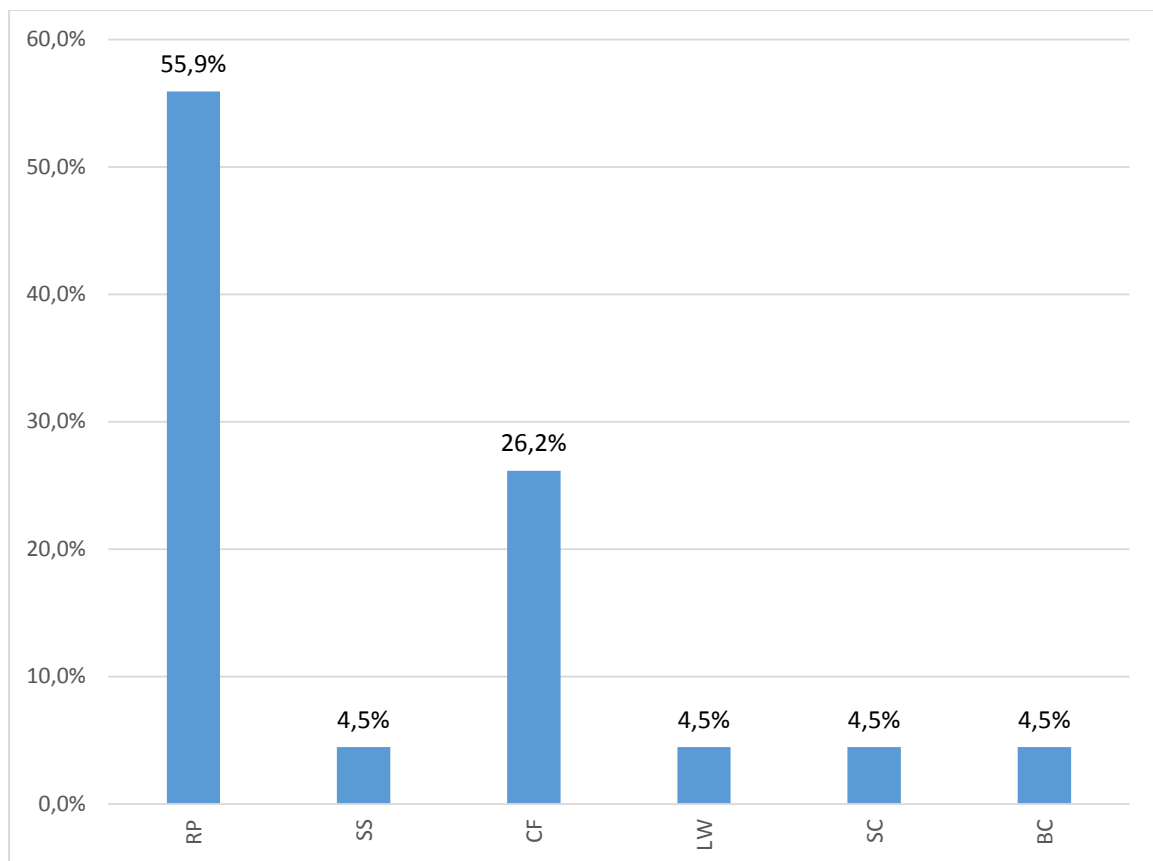
Λόγος Συνέπειας (CR)=5,6%



Πίνακας 31: Σύγκριση των μεθόδων για την **Ευελιξία**

<b>Mining Methods</b>	Room and pillar	Sublevel stoping	Cut and fill	Long wall	Sublevel caving	Block caving	<b>Βαθμολογία</b>
Room and pillar	1	9	5	9	9	9	0,5593
Sublevel stoping	1/9	1	1/7	1	1	1	0,0448
Cut and fill	1/5	7	1	7	7	7	0,2616
Long wall	1/9	1	1/7	1	1	1	0,0448
Sublevel caving	1/9	1	1/7	1	1	1	0,0448
Block caving	1/9	1	1/7	1	1	1	0,0448

Λόγος Συνέπειας (CR)=3,5 %

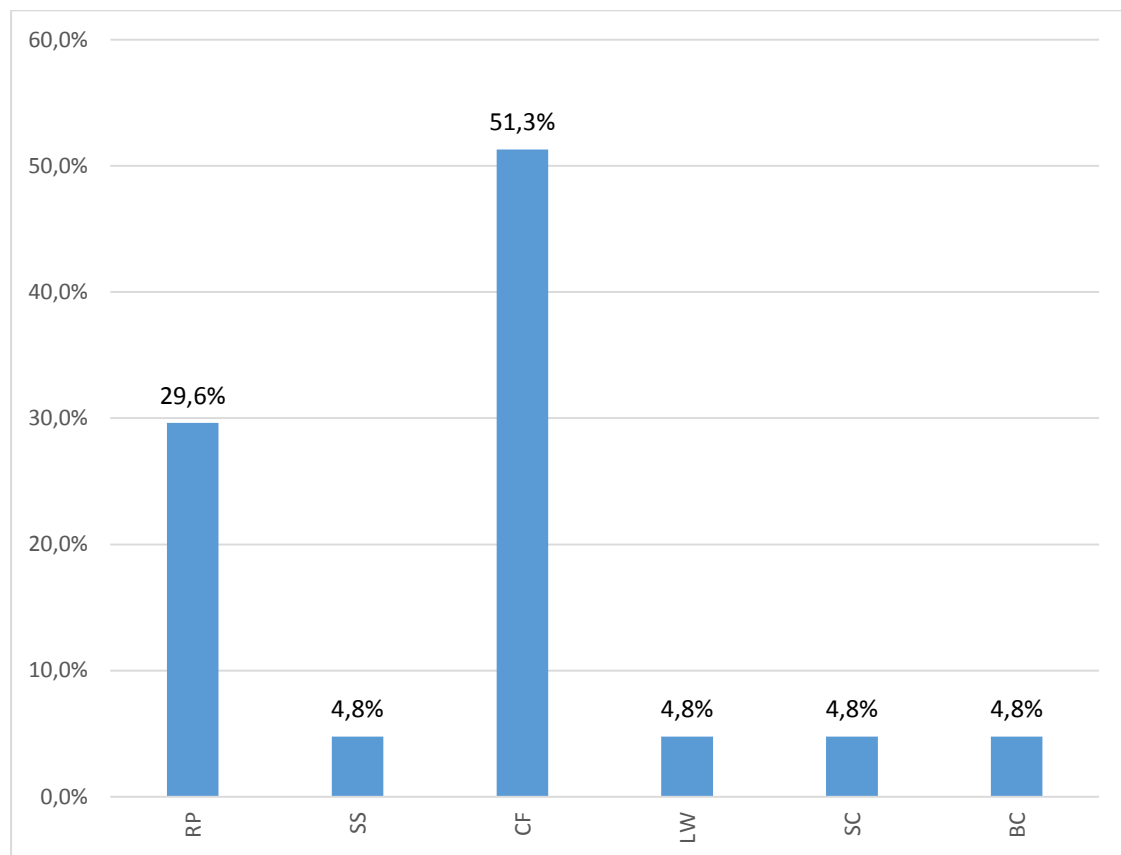




Πίνακας 32: Σύγκριση των μεθόδων για την **Εκλεκτικότητα**

<b>Mining Methods</b>	Room and pillar	Sublevel stoping	Cut and fill	Long wall	Sublevel caving	Block caving	<b>Βαθμολογία</b>
Room and pillar	1	7	1/3	7	7	7	0,2964
Sublevel stoping	1/7	1	1/9	1	1	1	0,0477
Cut and fill	3	9	1	9	9	9	0,5128
Long wall	1/7	1	1/9	1	1	1	0,0477
Sublevel caving	1/7	1	1/9	1	1	1	0,0477
Block caving	1/7	1	1/9	1	1	1	0,0477

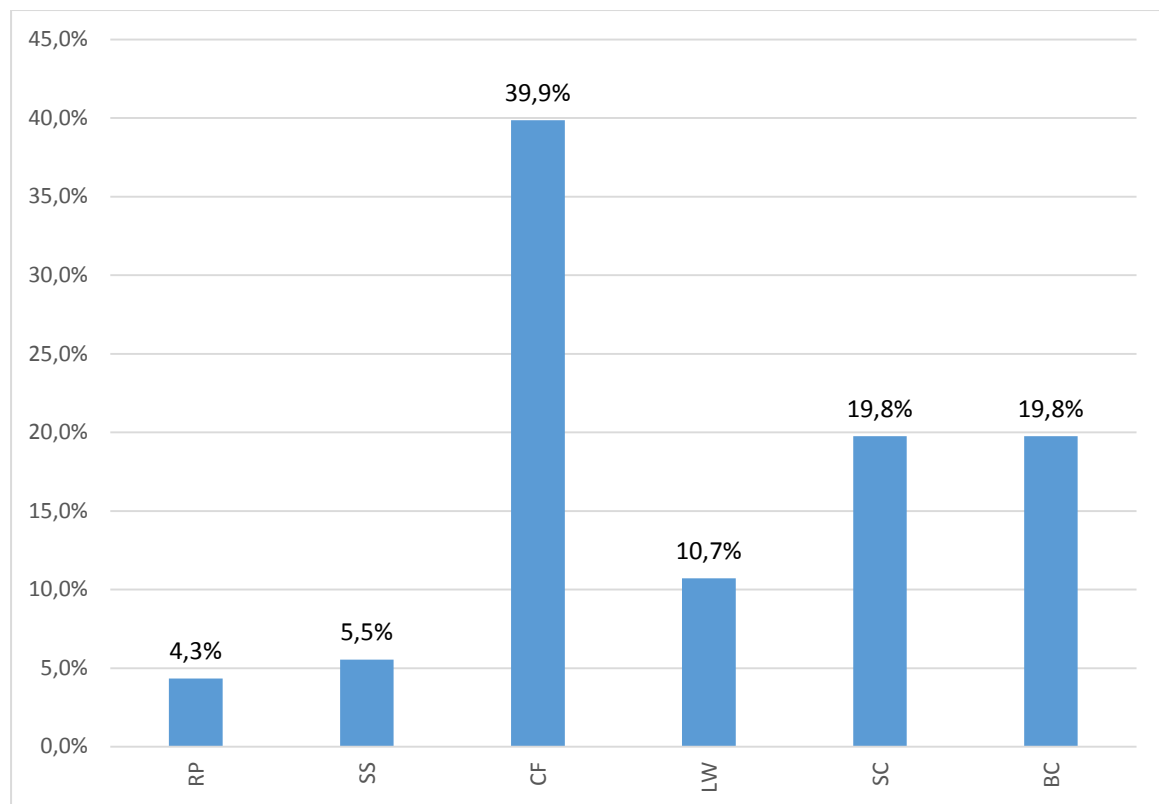
Λόγος Συνέπειας (CR)=1,3 %



Πίνακας 33: Σύγκριση των μεθόδων για την Απόληψη

Mining Methods	Room and pillar	Sublevel stoping	Cut and fill	Long wall	Sublevel caving	Block caving	Βαθμολογία
Room and pillar	1	1	1/7	1/3	1/5	1/5	0,0434
Sublevel stoping	1	1	1/5	1/3	1/3	1/3	0,0555
Cut and fill	7	5	1	3	3	3	0,3987
Long wall	3	3	1/3	1	1/3	1/3	0,1071
Sublevel caving	5	3	1/3	3	1	1	0,1977
Block caving	5	3	1/3	3	1	1	0,1977

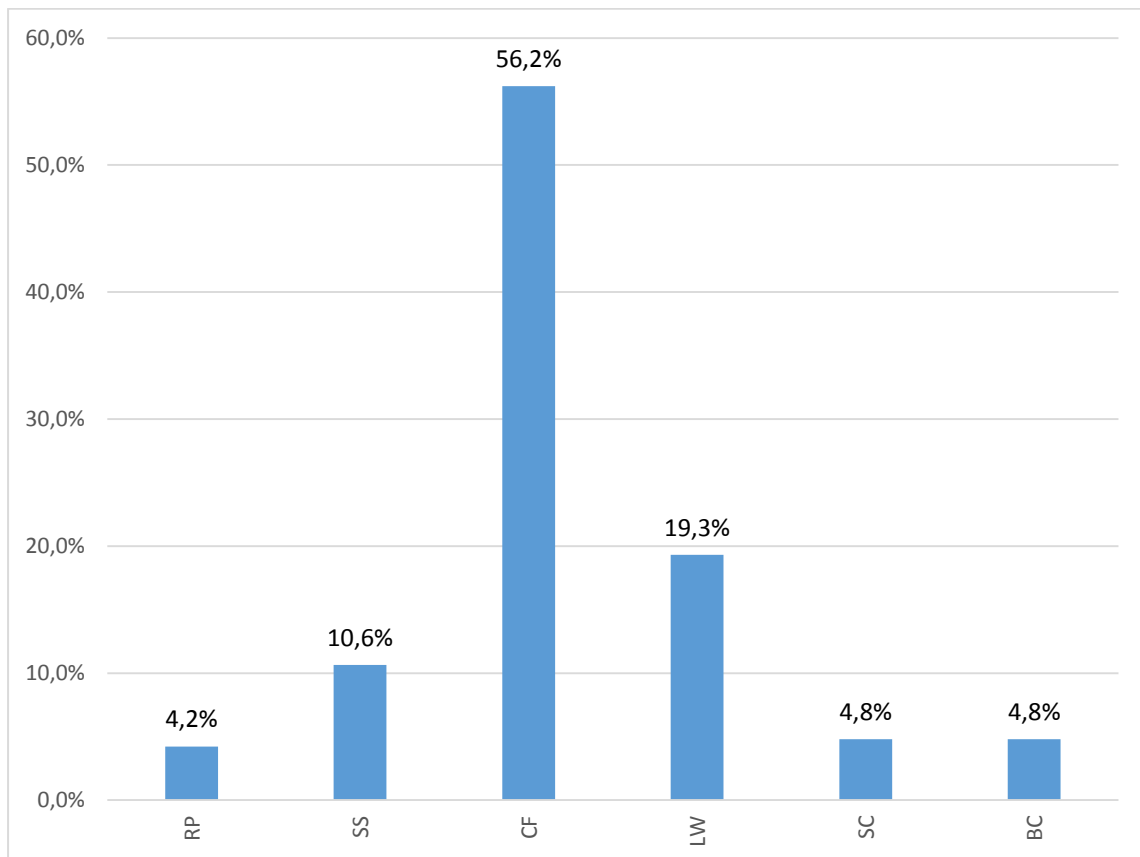
Λόγος Συνέπειας (CR)=3,8 %



Πίνακας 34: Σύγκριση των μεθόδων για την Διάλυση

Mining Methods	Room and pillar	Sublevel stoping	Cut and fill	Long wall	Sublevel caving	Block caving	Βαθμολογία
Room and pillar	1	1/3	1/9	1/7	1	1	0,0422
Sublevel stoping	3	1	1/7	1/3	3	3	0,1064
Cut and fill	9	7	1	5	9	9	0,5622
Long wall	7	3	1/5	1	3	3	0,1931
Sublevel caving	1	1/3	1/9	1/3	1	1	0,048
Block caving	1	1/3	1/9	1/3	1	1	0,048

Λόγος Συνέπειας (CR)=4,1 %

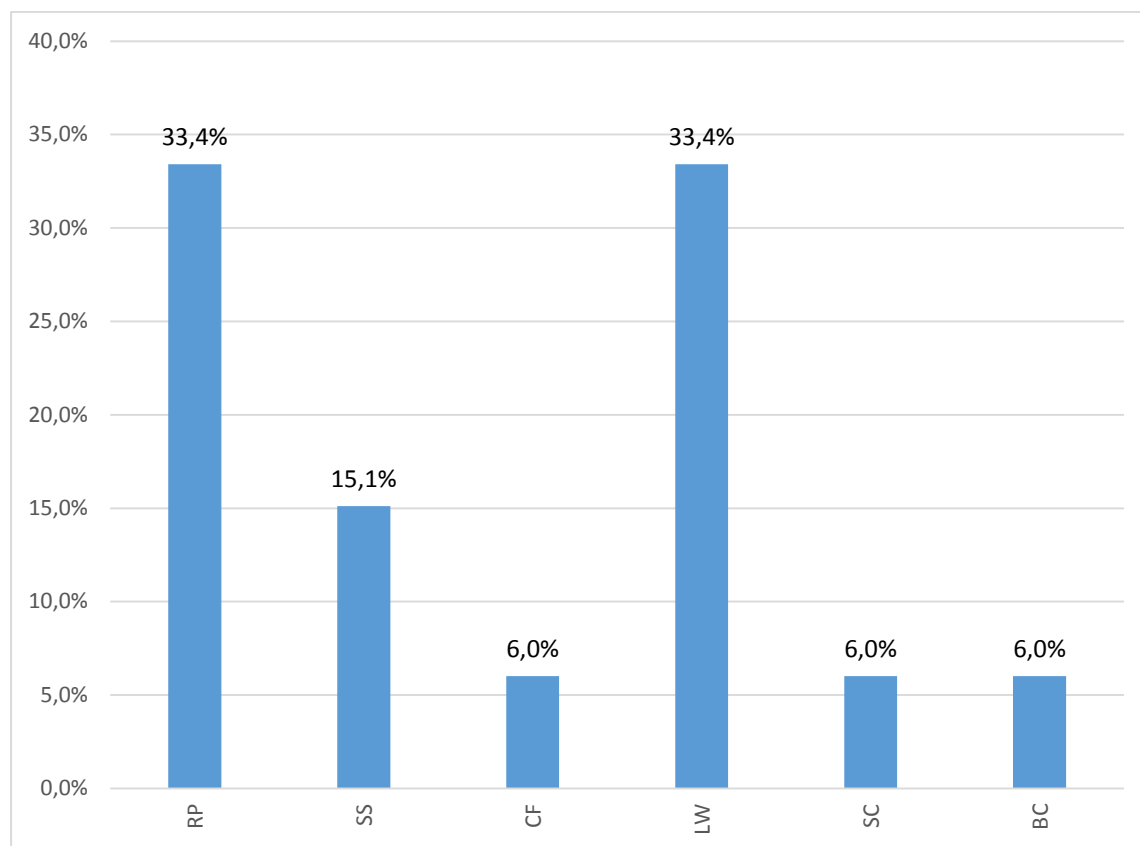


Τέλος, θα γίνουν οι συγκρίσεις των μεθόδων, ως προς τα δύο κριτήρια που απέμειναν τα οποία δεν έχουν υποκριτήρια(Ασφάλεια και υγιεινή, Περιβαλλοντικές συνέπειες):

Πίνακας 35: Σύγκριση των μεθόδων για την Ασφάλεια και υγιεινή

Mining Methods	Room and pillar	Sublevel stoping	Cut and fill	Long wall	Sublevel caving	Block caving	Βαθμολογία
Room and pillar	1	3	5	1	5	5	0,3342
Sublevel stoping	1/3	1	3	1/3	3	3	0,1511
Cut and fill	1/5	1/3	1	1/5	1	1	0,0602
Long wall	1	3	5	1	5	5	0,3342
Sublevel caving	1/5	1/3	1	1/5	1	1	0,0602
Block caving	1/5	1/3	1	1/5	1	1	0,0602

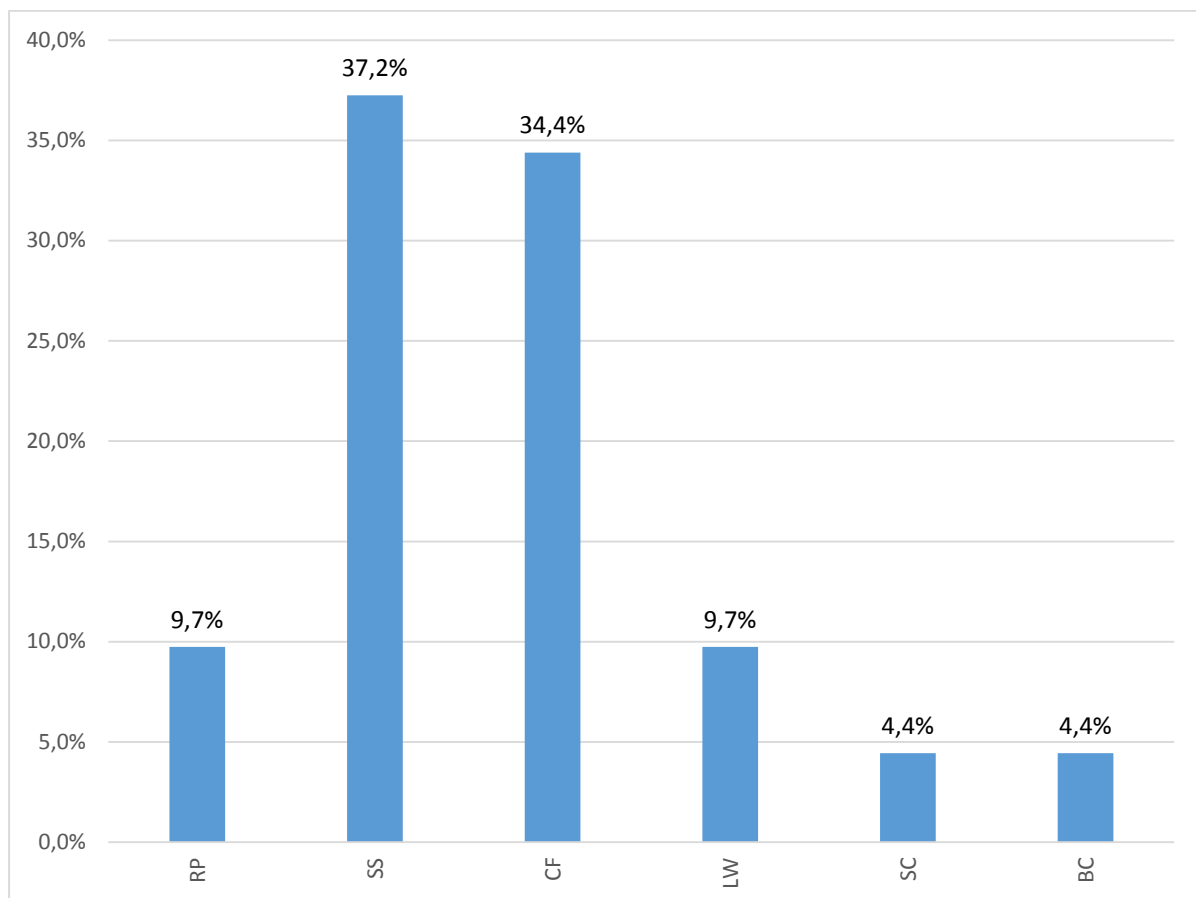
Λόγος Συνέπειας (CR)=0,9 %



Πίνακας 36: Σύγκριση των μεθόδων για την Περιβαλλοντικές συνέπειες

Mining Methods	Room and pillar	Sublevel stoping	Cut and fill	Long wall	Sublevel caving	Block caving	Βαθμολογία
Room and pillar	1	1/5	1/5	1	3	3	0,0974
Sublevel stoping	5	1	1	5	7	7	0,3725
Cut and fill	5	1	1	5	5	5	0,3439
Long wall	1	1/5	1/5	1	3	3	0,0974
Sublevel caving	1/3	1/7	1/5	1/3	1	1	0,0444
Block caving	1/3	1/7	1/5	1/3	1	1	0,0444

Λόγος Συνέπειας (CR)=3,3 %



#### 4.1.2. Αποτελέσματα των συγκρίσεων και υπολογισμός των τελικών ποσοστών των μεθόδων εκμετάλλευσης

Για να αποτυπωθούν τα τελικά βάρη, έτσι όπως αυτά ανάγονται για την επιλογή βέλτιστης μεθόδου εκμετάλλευσης, δημιουργήθηκε ένα υπολογιστικό Excel στο οποίο εισάγαμε όλες τις τιμές των βαθμολογιών που υπολογίστηκαν στην προηγούμενη ενότητα και τελικά προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Πίνακας 37: Βαθμολογία της κάθε μεθόδου εκμετάλλευσης για κάθε κριτήριο και υποκριτήριο

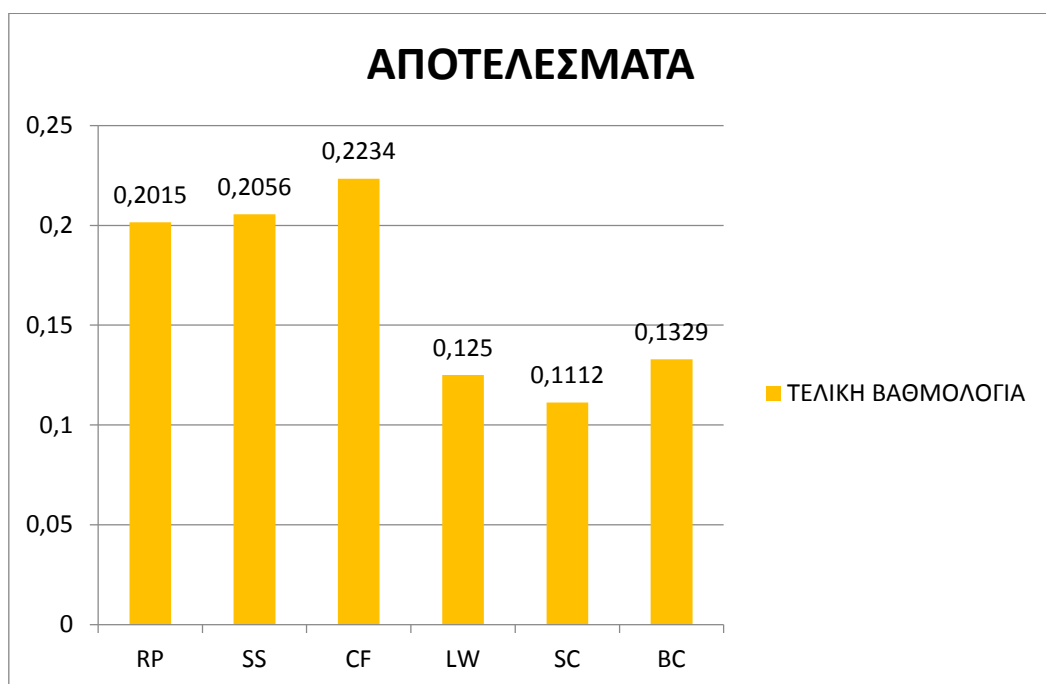
Κριτήρια	Υποκριτήρια	RP	SS	CF	LW	SC	BC
Γεωμετρία	Πάχος	0,01994	0,03828352	0,05788	0,01029	0,01029	0,01029
	Κλίση	0,00353	0,00840098	0,03694	0,00353	0,0084	0,01901
	Βάθος	0,0082	0,02058182	0,0082	0,00303	0,00303	0,0082
	Σχήμα	0,01119	0,01119298	0,03358	0,03358	0,03358	0,01119
	Σύνολο	0,0429	0,0785	0,1366	0,0504	0,0553	0,0487
Γεωτεχνικά	RMR HW	0,07682	0,03953684	0,01747	0,01747	0,00734	0,00734
	RMR Ore	0,00967	0,03618472	0,004	0,01948	0,00967	0,004
	Σύνολο	0,0865	0,0757	0,0215	0,0370	0,0170	0,0113
Κόστος Εκμετάλλευσης	Επένδυση	0,01948	0,00441006	0,01948	0,00196	0,00441	0,00441
	Κόστος Παραγωγής	0,02014	0,02182501	0,00366	0,00561	0,01707	0,04
	Σύνολο	0,0396	0,0262	0,0231	0,0076	0,0215	0,0444
Διαδικασία Εκμετάλλευσης	Παραγωγή	0,00404	0,00140089	0,00072	0,00145	0,00415	0,01467
	Ευελιξία	0,00267	0,00021367	0,00125	0,00021	0,00021	0,00021
	Εκλεκτικότητα	0,00217	0,00034959	0,00376	0,00035	0,00035	0,00035
	Απόληψη	0,00174	0,00223181	0,01604	0,00431	0,00795	0,00795
	Διάλυση	0,00049	0,00124262	0,00656	0,00225	0,00056	0,00056
	Σύνολο	0,0111	0,0054	0,0283	0,0086	0,0132	0,0237
Ασφάλεια	Σύνολο	0,0187	0,0085	0,0034	0,0187	0,0034	0,0034
Περιβάλλον	Σύνολο	0,0030	0,0115	0,0106	0,0030	0,0014	0,0014

Παρατηρώντας τον Πίνακα 37, μπορούν να βγουν συμπεράσματα για την προτίμηση κάθε μεθόδου εκμετάλλευσης ξεχωριστά, σχετικά με τη βαθμολογία της, συγκριτικά πάντα με τις υπόλοιπες μεθόδους για το κάθε υποκριτήριο (κόκκινο χρώμα). Αποτυπώνεται επίσης (πράσινο χρώμα) η συνολική βαθμολογία που συγκέντρωσε κάθε μέθοδος, για κάθε κριτήριο. Για παράδειγμα, η μέθοδος Block caving βαθμολογείται πρώτη ως προς το υποκριτήριο της Παραγωγής, αλλά ως προς το κριτήριο της Διαδικασίας εκμετάλλευσης, καταλαμβάνει τη δεύτερη θέση. Βάση αυτού του πίνακα, γίνεται κατανοητό, το πόσο σημαντικό ρόλο παίζει η βαρύτητα του κάθε κριτηρίου και υποκριτηρίου σε σχέση με τα υπόλοιπα, ως προς την τελική διαμόρφωση αποτελέσματος. Αυτό μπορεί να γίνει κατανοητό παρατηρώντας πως η μέθοδος Cut and Fill, καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη βαθμολογία χωρίς να είναι πρώτη για κάθε κριτήριο και υποκριτήριο για τα οποία συγκρίθηκε. Βασικός λόγος αυτής της βαθμολογίας που λαμβάνει είναι ότι έχει την μεγαλύτερη αθροιστική βαθμολογία

για το κριτήριο της Γεωμετρίας του κοιτάσματος, το οποίο έχει σύμφωνα με τη βαθμολογία που του δόθηκε, τη μεγαλύτερη βαρύτητα. Στον Πίνακα 38, παρουσιάζονται τα αθροίσματα των αποτελεσμάτων για την τελική επιλογή μεθόδου εκμετάλλευσης και παρατίθεται διάγραμμά του:

Πίνακας 38: Αθροίσματα των αποτελεσμάτων των σχετικών βαρών κάθε μεθόδου εκμετάλλευσης ως προς τα κριτήρια και τα υποκριτήρια για την τελική επιλογή βέλτιστης μεθόδου εκμετάλλευσης

		RP	SS	CF	LW	SC	BC
Γεωμετρία	Πάχος	0,0199	0,0383	0,0579	0,0103	0,0103	0,0103
	Κλίση	0,0035	0,0080	0,0369	0,0035	0,0084	0,0190
	Βάθος	0,0082	0,0206	0,0082	0,0030	0,0030	0,0082
	Σχήμα	0,0112	0,0112	0,0336	0,0336	0,0336	0,0112
Γεωτεχνικά	RMR HW	0,0768	0,0395	0,0175	0,0175	0,0074	0,0074
	RMR Ore	0,0097	0,0362	0,004	0,0195	0,0097	0,0040
Κόστος Εκμετάλλευσης	Επένδυση	0,0195	0,0044	0,0195	0,0020	0,0044	0,0044
	Κόστος Παραγωγής	0,0201	0,0218	0,0037	0,0056	0,0171	0,0400
Διαδικασία Εκμετάλλευσης	Παραγωγή	0,0040	0,0014	0,0007	0,0015	0,0042	0,0147
	Ευελιξία	0,0027	0,0002	0,0013	0,0002	0,0002	0,0002
	Εκλεκτικότητα	0,0022	0,0004	0,0038	0,0004	0,0004	0,0004
	Απόληψη	0,0018	0,0023	0,0160	0,0043	0,0080	0,0080
	Διάλυση	0,0005	0,0013	0,0066	0,0023	0,0006	0,0006
Ασφάλεια		0,0187	0,0085	0,0033	0,0184	0,0033	0,0033
Περιβάλλον		0,0030	0,0115	0,0105	0,0030	0,0014	0,0014
Σύνολο		0,2015	0,2056	0,2234	0,1250	0,1112	0,1329



## 4.2 Συμπεράσματα

Η επιλογή της μεθόδου εξόρυξης περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση πολλών αντικειμενικών παραγόντων και κριτηρίων σε συνδυασμό με τον υποκειμενικό παράγοντα κατά τη λήψη των αποφάσεων. Οι αποφάσεις που καλούνται να παρθούν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας συχνά είναι περίπλοκες και η βαθμολόγηση κατά τη διαδικασία των συγκρίσεων πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο επιστημονική και τεκμηριωμένη βάσει των συνθηκών. Στη μελέτη αυτή, βαθμολογήκε η **Γεωμετρία** (προτεραιότητα 0,412) και τα **Γεωτεχνικά** (προτεραιότητα 0,249) του κοιτάσματος ως τα σημαντικότερα ανάμεσα στα κριτήρια που τέθηκαν. Επίσης, βαθμολογήκε το **RMR της οροφής (RMR HW)** (προτεραιότητα = 0,17) εκ των υποκριτηρίων για την επιλογή κατάλληλης δραστηριότητας εκμετάλλευσης, ακολουθούμενο από το **Πάχος** της μεταλλοφορίας (προτεραιότητα = 0,147) και το **Σχήμα** του κοιτάσματος (προτεραιότητα 0,134). Από τις έξι εναλλακτικές λύσεις που μελετήθηκαν, η **μέθοδος κοπής και λιθογόμωσης (CF)** αποτέλεσε την καταλληλότερη (προτεραιότητα = 0,2234), ενώ στη δεύτερη και τρίτη θέση βρίσκεται η **μέθοδος των διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα (SS)** (προτεραιότητα = 0,2056) και η **μέθοδος θαλάμων και στύλων (RP)** (προτεραιότητα = 0,2015) αντίστοιχα. Σε αντίθεση με την παραδοσιακή προσέγγιση, η AHP καθιστά δυνατή την επιλογή της καλύτερης μεθόδου με πιο επιστημονικό τρόπο που διατηρεί την ακεραιότητα και την αντικειμενικότητα. Το μοντέλο είναι διαφανές και εύκολο να κατανοηθεί και να εφαρμοστεί από τον εκάστοτε υπεύθυνο λήψης αποφάσεων. Φυσικά, τα αποτελέσματα που προέκυψαν, είναι προς επανεξέταση όταν κληθούν να εφαρμοστούν σε πραγματικές συνθήκες εξόρυξης. Παρατηρώντας τα, είναι κατανοητό πως οι τελικές βαθμολογίες για τις 3 τουλάχιστον πρώτες μεθόδους εξόρυξης είναι πολύ κοντά. Αυτό σημαίνει πως είναι πιθανόν αναγκαία η επανεξέτασή τους. Η ρεαλιστικότητα της εφαρμογής των επικρατούντων μεθόδων εκμετάλλευσης κρίνεται και από παράγοντες που δεν μπορούμε πολλές φορές να υπολογίσουμε με μια πρώτη ανάγνωση. Η σημαντικότητα ωστόσο μιας αξιολόγησης αυτής της μορφής, η οποία θα είναι αξιόπιστη, θα απαιτεί σχετικά μικρό όγκο πληροφοριών και θα χαρακτηρίζεται από ταχύτητα, είναι ένα ζητούμενο, που απασχολεί κάθε σύγχρονο μεταλλευτικό εγχείρημα.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Κόλλια, Η. (2011-2012): *Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία Ιεραρχική Ανάλυση αποφάσεων (AHP). Ένα Μοντέλο Λήψης Αποφάσεων σε Συνθήκες Πολλαπλών Κριτηρίων*. Πάτρα
- Μπενάρδος, Α. (2014): *Μέθοδοι Υπόγειας Εκμετάλλευσης - Ελληνικές Εκμεταλλεύσεις*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- Τερεζόπουλος, Ν.Γ. (2003): *Μέθοδοι Υπόγειων Εκμεταλλεύσεων*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- Goepel, K.D. (2018). *Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS)*. International Journal of the Analytic Hierarchy Process, Vol. 10 Issue 3 2018, pp 469-487
- Miller-Tait, R. et al (1995): *UBC Mining Method Selection, Mine Planning and Equipment Selection*, 163-168
- Nicholas, D. E (1981): *Method Selection-A Numerical Approach, Design and Operation of Caving and Sublevel Stopping Mines*, 1981, 39-51
- Saaty, T.L. (1980): *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York
- Saaty, T.L. & Vargas, L.G. (1984). Inconsistency and Rank Preservation, *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 28, No. 2, pp. 205-214.
- Saaty, T.L. (1996): *The Analytic Network Process*. RWS Publications, Pittsburgh.
- Steiguer, J. E., Jennifer Duberstein, Vicente Lopes, (2003). *The Analytic Hierarchy Process as a Means for Integrated Watershed Management. USDA database. University of Arizona, Tucson*. Παρουσιάστηκε στο συνέδριο Interagency Conference on Research in the Watersheds (ICRW).

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Μέρος Α΄

Πίνακας 39: Βαθμολόγηση για το πάχος του κοιτάσματος για Nicholas

Μέθοδος	Πάχος κοιτάσματος			
	Μικρό	Ενδιάμεσο	Μεγάλο	Πολύ μεγάλο
Open Pit	2	3	4	4
Block Caving	-49	0	2	4
Sublevel Stopping	1	2	4	3
Sublevel Caving	-49	0	4	4
Longwall	4	0	-49	-49
Room and Pillar	4	2	-49	-49
Shrinkage Stopping	1	2	4	3
Cut and Fill	4	4	0	0
Top Slicing	-49	0	3	4
Square Set	4	4	1	1

Πίνακας 40: Βαθμολόγηση για το βαθμό κατανομής της μεταλλοφορίας του κοιτάσματος για Nicholas

Μέθοδος	Βαθμός κατανομής της μεταλλοφορίας του κοιτάσματος		
	Ομοιόμορφος	Βαθμιαίος	Ασταθής
Open Pit	3	3	3
Block Caving	4	2	0
Sublevel Stopping	3	3	1
Sublevel Caving	4	2	0
Longwall	4	2	0
Room and Pillar	3	3	3
Shrinkage Stopping	3	2	1
Cut and Fill	3	3	3
Top Slicing	4	1	0
Square Set	3	3	3

Πίνακας 41: Βαθμολόγηση για το RSS του κοιτάσματος για Nicholas

Μέθοδος	RSS κοιτάσματος		
	Μικρή	Ενδιάμεση	Μεγάλη
Open Pit	3	3	4
Block Caving	4	1	1
Sublevel Stopping	-49	3	4
Sublevel Caving	0	3	3
Longwall	4	1	0
Room and Pillar	0	3	4
Shrinkage Stopping	1	3	4
Cut and Fill	3	2	2
Top Slicing	2	3	3
Square Set	4	1	1

Πίνακας 42: Βαθμολόγηση για την απόσταση ασυνεχειών του κοιτάσματος για Nicholas

Μέθοδος	Απόσταση ασυνεχειών			
	Μικρή	Ενδιάμεση	Μεγάλη	Πολύ μεγάλη
Open Pit	2	3	4	4
Block Caving	4	4	3	0
Sublevel Stopping	0	0	1	4
Sublevel Caving	0	2	4	4
Longwall	4	4	0	0
Room and Pillar	0	1	2	4
Shrinkage Stopping	0	1	3	4
Cut and Fill	3	3	2	2
Top Slicing	1	1	2	4
Square Set	4	4	2	1

Πίνακας 43: Βαθμολόγηση για τη διατμητική αντοχή ασυνεχειών του κοιτάσματος για Nicholas

Μέθοδος	Διατμητική αντοχή ασυνεχειών		
	Μικρή	Ενδιάμεση	Μεγάλη
Open Pit	2	3	4
Block Caving	4	3	0
Sublevel Stopping	0	2	4
Sublevel Caving	0	2	2
Longwall	4	3	0
Room and Pillar	0	2	4
Shrinkage Stopping	0	2	4
Cut and Fill	3	3	2
Top Slicing	1	2	4
Square Set	4	3	3

Πίνακας 44: Βαθμολόγηση για το RSS οροφής για Nicholas

Μέθοδος	RSS οροφής		
	Μικρή	Ενδιάμεση	Μεγάλη
Open Pit	3	4	4
Block Caving	4	2	1
Sublevel Stopping	-49	3	4
Sublevel Caving	3	2	1
Longwall	4	2	0
Room and Pillar	0	3	4
Shrinkage Stopping	4	2	1
Cut and Fill	3	2	2
Top Slicing	4	2	1
Square Set	3	2	2

Πίνακας 45: Βαθμολόγηση για την απόσταση ασυνεχειών της οροφής για Nicholas

Μέθοδος	Απόσταση ασυνεχειών			
	Πολύ μικρή	Μικρή	Μεγάλη	Πολύ μεγάλη
Open Pit	2	3	4	4
Block Caving	3	4	3	0
Sublevel Stopping	-49	0	1	4
Sublevel Caving	3	4	3	1
Longwall	4	4	3	0
Room and Pillar	0	1	2	4
Shrinkage Stopping	4	4	3	0
Cut and Fill	3	3	2	2
Top Slicing	3	3	3	0
Square Set	3	3	2	2

Πίνακας 46: Βαθμολόγηση για τη διατμητική αντοχή ασυνεχειών οροφής για Nicholas

Μέθοδος	Διατμητική αντοχή ασυνεχειών		
	Μικρή	Ενδιάμεση	Μεγάλη
Open Pit	2	3	4
Block Caving	4	2	0
Sublevel Stopping	0	2	4
Sublevel Caving	4	2	0
Longwall	4	2	0
Room and Pillar	0	2	4
Shrinkage Stopping	4	2	0
Cut and Fill	4	3	2
Top Slicing	4	2	0
Square Set	4	3	2

Πίνακας 47: Βαθμολόγηση για το RSS δαπέδου για Nicholas

Μέθοδος	RSS δαπέδου		
	Μικρή	Ενδιάμεση	Μεγάλη
Open Pit	3	4	4
Block Caving	2	3	3
Sublevel Stopping	0	2	4
Sublevel Caving	0	2	4
Longwall	2	3	3
Room and Pillar	0	2	4
Shrinkage Stopping	2	3	3
Cut and Fill	4	2	2
Top Slicing	2	3	3
Square Set	4	2	2

Πίνακας 48: Βαθμολόγηση για την απόσταση ασυνεχειών του δαπέδου για Nicholas

Μέθοδος	Απόσταση ασυνεχειών			
	Πολύ μικρή	Μικρή	Μεγάλη	Πολύ μεγάλη
Open Pit	2	3	4	4
Block Caving	1	3	3	3
Sublevel Stopping	0	0	2	4
Sublevel Caving	0	1	3	4
Longwall	1	2	4	3
Room and Pillar	0	1	3	3
Shrinkage Stopping	2	3	3	2
Cut and Fill	4	4	2	2
Top Slicing	1	3	3	3
Square Set	4	4	2	2

Πίνακας 49: Βαθμολόγηση για τη διατμητική αντοχή ασυνεχειών δαπέδου για Nicholas

Μέθοδος	Διατμητική αντοχή ασυνεχειών		
	Μικρή	Μέτρια	Μεγάλη
Open Pit	2	3	4
Block Caving	1	3	3
Sublevel Stopping	0	1	4
Sublevel Caving	0	2	4
Longwall	1	3	3
Room and Pillar	0	3	3
Shrinkage Stopping	2	2	3
Cut and Fill	4	4	2
Top Slicing	1	2	3
Square Set	4	4	2

## Μέρος Β΄

Πίνακας 50: Βαθμολόγηση για το πάχος του κοιτάσματος για UBC

Μέθοδος	Πάχος κοιτάσματος				
	Πολύ μικρό	Μικρό	Ενδιάμεσο	Μεγάλο	Πολύ μεγάλο
Open Pit	1	2	3	4	4
Block Caving	-49	-49	0	3	4
Sublevel Stopping	-10	1	3	4	3
Sublevel Caving	-49	-49	0	4	4
Longwall	4	3	0	-49	-49
Room and Pillar	4	3	1	-49	-49
Shrinkage Stopping	4	4	0	-49	-49
Cut and Fill	3	4	4	1	0
Top Slicing	1	1	0	2	1
Square Set	4	3	2	0	0

Πίνακας 51: Βαθμολόγηση για την κατανομή της μεταλλοφορίας του κοιτάσματος για UBC

Μέθοδος	Κατανομή μεταλλοφορίας		
	Χαμηλή	Ενδιάμεση	Υψηλή
Open Pit	3	3	2
Block Caving	3	2	2
Sublevel Stopping	4	4	3
Sublevel Caving	3	2	2
Longwall	4	1	0
Room and Pillar	4	2	0
Shrinkage Stopping	3	2	2
Cut and Fill	2	3	4
Top Slicing	2	1	1
Square Set	0	1	3

Πίνακας 52: Βαθμολόγηση για το βάθος του κοιτάσματος για UBC

Μέθοδος	Βάθος κοιτάσματος		
	<100m	100-600	>600m
Open Pit	4	0	-49
Block Caving	2	3	3
Sublevel Stopping	3	4	2
Sublevel Caving	3	2	2
Longwall	2	2	3
Room and Pillar	3	3	2
Shrinkage Stopping	3	3	2
Cut and Fill	2	3	4
Top Slicing	2	1	1
Square Set	1	1	2

Πίνακας 53: Βαθμολόγηση για το RMR του κοιτάσματος για UBC

Μέθοδος	RMR κοιτάσματος				
	Πολύ μικρή	Μικρή	Ενδιάμεση	Μεγάλη	Πολύ μεγάλη
Open Pit	3	3	3	3	3
Block Caving	4	3	2	0	-49
Sublevel Stopping	1	3	4	4	4
Sublevel Caving	3	4	3	1	0
Longwall	6	6	4	2	2
Room and Pillar	-49	0	3	5	6
Shrinkage Stopping	0	1	3	3	3
Cut and Fill	0	1	2	3	3
Top Slicing	3	2	1	1	0
Square Set	4	4	1	0	0

Πίνακας 54: Βαθμολόγηση για το RMR της οροφής για UBC

Μέθοδος	RMR οροφής				
	Πολύ μικρή	Μικρή	Ενδιάμεση	Μεγάλη	Πολύ μεγάλη
Open Pit	2	3	4	4	4
Block Caving	3	3	3	2	2
Sublevel Stopping	-49	0	3	4	4
Sublevel Caving	4	4	3	2	2
Longwall	6	5	4	3	3
Room and Pillar	-49	0	3	5	6
Shrinkage Stopping	0	0	2	4	4
Cut and Fill	3	5	4	3	3
Top Slicing	0	0	2	3	3
Square Set	4	4	1	0	0

Πίνακας 55: Βαθμολόγηση για το RMR του δαπέδου για UBC

Μέθοδος	RMR δαπέδου				
	Πολύ μικρή	Μικρή	Ενδιάμεση	Μεγάλη	Πολύ μεγάλη
Open Pit	2	3	4	4	4
Block Caving	3	3	3	2	2
Sublevel Stopping	0	0	2	3	3
Sublevel Caving	1	2	3	3	3
Longwall	0	0	0	0	0
Room and Pillar	0	0	0	0	0
Shrinkage Stopping	0	0	2	3	3
Cut and Fill	3	3	2	2	2
Top Slicing	0	0	1	2	2
Square Set	3	1	0	0	0

Πίνακας 56: Βαθμολόγηση για το RSS του κοιτάσματος για UBC

Μέθοδος	RSS κοιτάσματος			
	Πολύ μικρή	Μικρή	Ενδιάμεση	Μεγάλη
Open Pit	4	3	3	3
Block Caving	4	2	1	0
Sublevel Stopping	0	2	4	4
Sublevel Caving	2	3	3	2
Longwall	6	5	2	1
Room and Pillar	0	0	3	6
Shrinkage Stopping	0	1	3	4
Cut and Fill	0	1	3	3
Top Slicing	3	2	1	0
Square Set	4	3	1	0

Πίνακας 57: Βαθμολόγηση για το RSS της οροφής για UBC

Μέθοδος	RSS οροφής			
	Πολύ μικρή	Μικρή	Ενδιάμεση	Μεγάλη
Open Pit	3	3	4	4
Block Caving	4	3	2	0
Sublevel Stopping	0	1	4	5
Sublevel Caving	4	3	2	1
Longwall	6	5	2	2
Room and Pillar	0	0	2	6
Shrinkage Stopping	0	1	3	4
Cut and Fill	3	5	4	2
Top Slicing	3	2	2	2
Square Set	4	2	1	0

Πίνακας 58: Βαθμολόγηση για το RSS του δαπέδου για UBC

Μέθοδος	RSS δαπέδου			
	Πολύ μικρή	Μικρή	Ενδιάμεση	Μεγάλη
Open Pit	3	3	4	4
Block Caving	4	3	2	1
Sublevel Stopping	0	1	3	3
Sublevel Caving	1	2	2	2
Longwall	0	0	0	0
Room and Pillar	0	0	0	0
Shrinkage Stopping	0	2	3	3
Cut and Fill	1	3	3	2
Top Slicing	2	2	1	1
Square Set	3	2	0	0