



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

**«ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΒΩΞΙΤΙΚΩΝ
ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΝ»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μαντζαρέα Μαρία

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

Αθήνα, Μάρτιος 2018



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μαντζαρέα Μαρία

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

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή της 15/03/2018

Μπενάρδος Ανδρέας, Επίκουρος Καθηγητής

Μιχαλακόπουλος Θεόδωρος, Αναπληρωτής Καθηγητής.....

Δαμίγος Δημήτριος, Αναπληρωτής Καθηγητής.....

Αθήνα, Μάρτιος 2018

Copyright ©, Μαντζαρέα Μαρία

Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ABSTRACT.....	9
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	11
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1.1 Η έννοια της κοστολόγησης.....	13
1.2 Σκοπός και σημασία της κοστολόγησης.....	14
1.3 Γενικές αρχές κοστολόγησης.....	15
1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την κοστολογική διαδικασία.....	15
1.5 Στάδια κοστολογικής διαδικασίας.....	16
1.6 Έννοια και κατηγοριοποίηση μεθόδων κοστολόγησης.....	16
1.7 Τεχνικές κοστολόγησης.....	18
2. ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ.....	21
2.1 Ανάλυση κόστους.....	22
2.2 Μοντέλα κόστους για τον υπολογισμό του κόστους εκμετάλλευσης.....	24
2.3 Παραμετρικός υπολογισμός του κόστους εκμετάλλευσης.....	25
2.4 Επιλογή μεθόδου υπόγειας εκμετάλλευσης – παράμετροι που την καθορίζουν.....	27
2.5 Παραγωγικότητα των διαφόρων μεθόδων υπόγειας εκμετάλλευσης.....	28
2.6 Εκτιμώμενο κόστος εκμετάλλευσης ανάλογα με τη μέθοδο.....	39
2.7 Σύγκριση ρυθμού παραγωγής και κόστους υπόγειας εκμετάλλευσης ανά μέθοδο.....	31
2.8 Σχετικό κόστος των μεθόδων υπόγειας εκμετάλλευσης.....	32
3. ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣΕΙΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΒΩΞΙΤΙΚΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ.....	34
4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΒΩΞΙΤΙΚΟΥ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ	36
4.1 Παραγωγικές εργασίες/ Κύκλος εργασιών	40

5. ΧΡΟΝΟΙ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	48
5.1 Χρονική διάρκεια διάτρησης.....	48
5.2 Χρονική διάρκεια γόμωσης.....	49
5.3 Χρονική διάρκεια ανατίναξης και αερισμού.....	50
5.4 Χρονική διάρκεια φόρτωσης και μεταφοράς.....	50
5.5 Χρονική διάρκεια ξεσκαρώματος.....	52
5.6 Χρονική διάρκεια υποστήριξης.....	52
6. ΧΡΟΝΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	54
6.1 Προσομοίωση χρονικού προγραμματισμού.....	54
7. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ.....	62
8. ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ.....	63
8.1 Κοστολόγηση λειτουργικών δαπανών.....	63
8.2 Κοστολόγηση δαπανών προσωπικού.....	81
8.3 Κοστολόγηση αποσβέσεων κεφαλαίων.....	82
8.4 Συνολικό κόστος εξόρυξης.....	84
9. ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	86
9.1 Προσβολή σε 2 μέτωπα.....	86
9.2 Προσβολή σε 6 μέτωπα.....	95
9.3 Σύγκριση μεθόδων.....	102
10. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	104
10.1 Βραχομάζα κακής ποιότητας.....	104
10.2 Χρήση Διαφορετικού Μηχανολογικού Εξοπλισμού.....	110
11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	115
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	120
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	126

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική πραγματεύεται την αναλυτική εκτίμηση του κόστους υπόγειας βωξιτικής εκμετάλλευσης. Για το σκοπό αυτό σχεδιάζεται και αναπτύσσεται μία πρότυπη υπόγεια εκμετάλλευση βάσει της οποίας αναλύονται οι διάφορες φάσεις εργασίας, εκτιμώνται οι πόροι που απαιτούνται για την εκτέλεση τους και πραγματοποιείται η εκτίμηση του σχετικού τους κόστους. Βασικός σκοπός της εργασίας είναι η αξιολόγηση βέλτιστων πρακτικών με την υιοθέτηση των οποίων θα υπάρξει η μείωση του κόστους του τελικού εξορυχθέντος προϊόντος. Έτσι, αναλύονται και παρουσιάζονται διάφορες εναλλακτικές λύσεις και περιπτώσεις σχεδιασμού και υπολογίζεται ο αντίκτυπος που έχει η κάθε μία από αυτές στο τελικό συνολικό κόστος.

Η διαδικασία προσδιορισμού των βέλτιστων πρακτικών περιλαμβάνει τον υπολογισμό της διάρκειας των εργασιών, το χρονικό προγραμματισμό αυτών και εν συνεχεία την αξιολόγηση του κόστους παραγωγής. Το κόστος παραγωγής υποδιαιρείται σε 4 κατηγορίες:

- Λειτουργικές δαπάνες
- Δαπάνες προσωπικού
- Δαπάνες αποσβέσεων
- Απρόβλεπτα έξοδα

Ο συνδυασμός όλων των παραπάνω οδηγεί στη βέλτιστη λύση, με την κύρια πηγή κόστους να αποτελούν οι λειτουργικές δαπάνες της εκμετάλλευσης που αφορούν το 40% του συνόλου.

Πέραν της βέλτιστης λύσης μελετούνται οι περιπτώσεις μείωσης της ημερήσιας δυναμικότητας της παραγωγής και της αύξησης αντίστοιχα. Με υποδιπλασιασμό της ημερήσιας παραγωγικότητας παρατηρείται 20% αύξηση του συνολικού κόστους εκμετάλλευσης, με το μεγαλύτερο τμήμα του οποίου να καταλαμβάνουν οι δαπάνες για τη μισθοδοσία του προσωπικού. Αντίστοιχα με αύξηση κατά 3/2 της ημερήσιας δυναμικότητας, το συνολικό κόστος εκμετάλλευσης αυξάνεται κατά 29%, όπου οι λειτουργικές δαπάνες θεωρούνται υψηλότερες. Όλα τα παραπάνω οδηγούν σε μια σχετική σχέση κόστους εκμετάλλευσης – ημερήσιας παραγωγής.

Καθοριστικής σημασίας για το κόστος παραγωγής είναι η ποιότητα της βραχομάζας του κοιτάσματος όπως φάνηκε από την αντίστοιχη ανάλυση. Σε περιπτώσεις όπου παρατηρείται μειωμένο RMR είναι αναγκαία η μείωση της μέσης προχώρησης ανά ανατίναξη και η πύκνωση

της ήλωσης της οροφής. Έτσι το συνολικό κόστος εκμετάλλευσης εμφανίζεται αυξημένο κατά 93% από την βέλτιστη λύση, λόγω του υψηλού κόστους υποστήριξης.

Τέλος, μελετάται η περίπτωση χρήση διαφορετικού μηχανολογικού εξοπλισμού και συγκεκριμένα η χρήση του μηχανήματος χύδην γόμωσης εκρηκτικού γαλακτώματος (Mobile Unit Pumping), μια νέα τάση στο χώρο της μεταλλευτικής. Η αισθητή μείωση του χρόνου γόμωσης σχεδόν στο 1/3, επιφέρει πτώση του γενικού κόστους εκμετάλλευσης κατά 2%.

ABSTRACT

The major issue of this diploma thesis is the analytical estimation of an underground bauxite mining cost. For this reason, it is planned and developed a standard underground mining, based on which we examine the various procedural stages, we estimate the resources needed for their execution and finally, we make the relevant cost estimation. The primary scope of this thesis constitutes the evaluation of different optimal practices, with the affiliation of which it will be achieved a significant cost reduction of mined product. Thus, various alternative solutions and planning cases are analyzed and presented and, subsequently, we estimate the level of impact of each one to the final total cost.

The procedure of determining the optimal processes includes also an estimation of the duration calculation of tasks, their time management and programming, and after that the evaluation of production cost. The production cost can be divided into four categories:

- Operating costs
- Labor costs
- Depreciation
- Unpredictable costs

The combination of the above-mentioned costs, leads to the optimal solution, with the operating costs to be considered as the main source of cost for the mining and they are estimated to be 41% of total cost.

Apart from the optimal solution, cases of daily increase or decrease in production's capacity are also studied in this thesis. Subtracting the average daily productivity, it is observed that the total cost of yielding rises by 20%, with wages to be the largest part of this proportion. Similarly, increasing the daily productivity by 3/2, total daily capacity's cost increases by 29%, while considering the operating costs to be the highest ones. All the above lead to a relative connection between mining costs - daily production.

The determinant variable in production's cost calculation is the quality of rock mass of ore, as it was founded by the relevant analysis. In cases where reduced RMR is observed, it is necessary to reduce of the average progression by explosion and the thickening of nailing of ceiling. Thus, the total cost of mining, seems to be rising by 93% in comparison to the optimal solution due to the high support cost.

Finally, we examine the case of different mechanical equipment usage and, more specifically, the use of the machinery of Mobile Unit Pumping emulsion explosive which constitutes the upcoming trend in the area of mining. The significant reduction in time of pumping, approximately at 1/3, will cause the general mining cost to drop by 2%.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναλύει τα χαρακτηριστικά του κόστους παραγωγής υπόγειας εκμετάλλευσης βωξιτικού κοιτάσματος. Διακρίνεται σε 8 κεφάλαια:

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται γενικά στοιχεία για τη διαδικασία κοστολόγησης, τις αρχές στις οποίες βασίζεται, καθώς και τις διάφορες μεθόδους και τεχνικές που ως επί των πλείστων εφαρμόζονται ευρέως.

Το δεύτερο κεφάλαιο επικεντρώνεται στην κοστολόγηση στη μεταλλευτική βιομηχανία. Γίνεται αναφορά σε παράγοντες και συντελεστές που διαμορφώνουν το τελικό κοστολόγιο του εξορυσσόμενου προϊόντος, καθώς και σε στατιστικές αναφορές από ανάλογες μελέτες.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στις εκμεταλλεύσεις ελληνικών βωξιτικών κοιτασμάτων και στα χαρακτηριστικά αυτών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του βωξιτικού κοιτάσματος και αναλύεται εκτενώς η μέθοδος της υπόγειας εκμετάλλευσης που έχει επιλεγεί. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται ο αναλυτικός σχεδιασμός της εκμετάλλευσης και περιγράφονται εκτενώς όλες οι φάσεις της εξορυκτικής διαδικασίας όπως εκτελούνται υπό πραγματικές συνθήκες.

Στο πέμπτο κεφάλαιο υπολογίζονται οι χρόνοι διεξαγωγής όλων των φάσεων που περιλαμβάνει ο καθημερινός κύκλος εργασιών.

Το έκτο κεφάλαιο αφιερώνεται στο χρονικό προγραμματισμό της εκμετάλλευσης που πραγματοποιείται με τη χρήση διαγραμμάτων Gantt και αναφέρεται αναλυτικά κάθε στάδιο αυτού.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται ο υπολογισμός της παραγωγής του μεταλλείου βάσει των δεδομένων που προέκυψαν.

Στο όγδοο κεφάλαιο περιγράφεται η μέθοδος κοστολόγησης που εφαρμόστηκε ώστε να εξαχθούν τα ανάλογα συμπεράσματα. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται διάκριση των συνολικών δαπανών της εκμετάλλευσης σε λειτουργικές δαπάνες, δαπάνες προσωπικού και δαπάνες αποσβέσεων κεφαλαίων. Το άθροισμα τους σε συνδυασμό με την ημερήσια παραγωγή του μεταλλείου δίνουν το κόστος εξόρυξης του βωξίτη σε €/tn.

Στο ένατο κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά διαφορετικές εναλλακτικές λύσεις σχεδιασμού του παρόντος έργου, σε σχέση με τη διαφοροποίηση των συνθηκών παραγωγής, από τις οποίες εξάγονται τα αντίστοιχα κοστολογικά συμπεράσματα. Αρχικά, αναλύεται η προσβολή

του κοιτάσματος σε δύο μέτωπα και στη συνέχεια σε έξι. Ακολουθεί η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τη βέλτιστη λύση σχεδιασμού που προέκυψε προηγουμένως και εξάγεται μια σχετική σχέση κόστους εκμετάλλευσης και ημερήσιας παραγωγής.

Στο δέκατο κεφάλαιο γίνεται εκτίμηση του κόστους της εκμετάλλευσης για εναλλακτικά σενάρια κοστολόγησης στα οποία εξετάζεται η περίπτωση συνάντησης βραχομάζα κακής ποιότητας και εν συνεχεία η επιλογή και χρήση διαφορετικού μηχανολογικού εξοπλισμού.

Στο παράρτημα I της παρούσας εργασίας υπάρχει ένα μοντέλο υπολογισμού κόστους εκμετάλλευσης με τη μέθοδο θαλάμων και στύλων σύμφωνα με τον Scott A. Stebbins/

Το παράρτημα II περιλαμβάνει έναν πίνακα τιμών αγοράς όλων των αναλώσιμων υλικών και μηχανημάτων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκμετάλλευση του παρόντος κοιτάσματος βωξίτη. Επίσης αναφέρονται τα ωρομίθια του ανθρώπινου δυναμικού που απασχολήθηκε κατά την υλοποίηση του έργου.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έγινε κάτω από την επίβλεψη του κ. Ανδρέα Μπενάρδου, Επίκουρου Καθηγητή του Ε.Μ.Π, τον οποίο και ευχαριστώ πολύ για την σημαντική βοήθεια που μου παρείχε στην εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας.

Ευχαριστίες επίσης οφείλω στο κ. Γρηγόρη Μπράχο, Μεταλλειολόγο Μηχανικό της εταιρίας «ΑΦΟΙ ΠΑΠΑΙΩΑΝΝΟΥ Α.Ε.», για τις πολύτιμες συμβουλές του και τα απαραίτητα στοιχεία που έδωσε στα θέματα κόστους των διαφόρων αναλώσιμων υλικών και μηχανημάτων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη μεταλλευτική και στη βιομηχανία γενικότερα, η επιδίωξη και η επίτευξη του μέγιστου δυνατού κέρδους αποτελεί μία από τις βασικότερες αρχές, σύμφωνα πάντα υπό την εφαρμογή ορθολογικών τακτικών τόσο ως προς την ασφάλεια του εργατικού δυναμικού όσο και των επιπτώσεων στο περιβάλλον. Προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η οικονομικότητα της εκμετάλλευσης, στα πλαίσια της αξιολόγησης του επενδυτικού σχεδίου, πραγματοποιείται συνήθως η αναλυτική εκτίμηση του κόστους.

Καθότι δεν υπάρχει μία πρότυπη κατοχυρωμένη διαδικασία εκτίμηση του κόστους στη μεταλλευτική, στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μια προσπάθεια συλλογής πληροφοριών σχετικά με την εξορυκτική διαδικασία στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις βωξίτη για τα ελληνικά δεδομένα.

Η βασική υπόθεση είναι ότι οτιδήποτε μπορεί να εκτιμηθεί και υπολογιστεί το κόστος του. Η προσέγγιση που γίνεται εδώ βασίζεται σε δεδομένα σχετικά με τις εργασιακές απαιτήσεις, τις προμήθειες, τον εξοπλισμό και σε γενικότερες πληροφορίες που αφορούν το συγκεκριμένο ορυχείο. Ο συνδυασμός όλων των παραπάνω οδηγεί σε μία αναλυτική εκτίμηση του γενικού κόστους καθώς και των επιμέρους τμημάτων του.

Αν και υπάρχουν αρκετές άλλες διαθέσιμες μέθοδοι, όπως οι παραμετρικές εξισώσεις και τα μοντέλα κόστους, οι αναλυτικές εκτιμήσεις έχουν το πλεονέκτημα ότι παρέχουν λεπτομερή τεκμηρίωση για όλες παραδοχές και τους υπολογισμούς πάνω στους οποίους βασίζονται. Συνεπώς τα αποτελέσματα που εξάγονται είναι ασφαλέστερα, πολύ πιο εύκολο να εκτιμηθούν και γενικώς πιο χρήσιμα.

1.1 Η έννοια της κοστολόγησης

Ως κοστολόγηση θεωρείται το σύνολο των συστηματικών ενεργειών που αποβλέπουν στη συγκέντρωση, κατάταξη, καταγραφή και κατάλληλο επιμερισμό των δαπανών, ώστε να προσδιοριστεί το κόστος παραγωγής ενός προϊόντος ή το κόστος παροχής μιας υπηρεσίας (Τριάρχης, 2011).

Σύμφωνα με το Ελληνικό Γενικό Λογιστικό Σχέδιο (Προεδρικό Διάταγμα 1123/1980, Νόμος 1041/1980) η κοστολόγηση, σαν διαδικασία προσδιορισμού του κόστους, αναφέρεται στα αγαθά και στις υπηρεσίες που αγοράζονται, παράγονται και πωλούνται, στις επιχειρηματικές ή μη

δραστηριότητες που αναπτύσσονται και γενικά στη λειτουργία οποιασδήποτε οργανωτικής υποδιαίρεσης της οικονομικής μονάδος.

Γενικότερα, η κοστολόγηση σαν διαδικασία προσδιορισμού του κόστους αναφέρεται:

- ο στα αγαθά και στις υπηρεσίες που αγοράζονται,
- ο στα αγαθά και στις υπηρεσίες που παράγονται,
- ο στις δραστηριότητες που αναπτύσσονται από την οικονομική μονάδα και γενικά σε οποιαδήποτε οργανωτική υποδιαίρεση αυτής.

Βασικά, οι κοστολογικές πληροφορίες είναι απαραίτητες για:

- ο την κατανομή των γενικών εξόδων,
- ο την κοστολόγηση προϊόντος – έργου – υπηρεσίας,
- ο τη μείωση του κόστους,
- ο τον προσδιορισμό κερδοφόρων πελατών, τη λήψη αποφάσεων και
- ο την αποτελεσματικότητα στη διοίκηση και για άλλους λόγους.

Η κοστολόγηση κατάλληλα διαρθρωμένη έχει τη δυνατότητα να εφοδιάζει τη διευθύνουσα αρχή με πλήθος πληροφοριών πάνω στις οποίες θα στηριχθεί ένας καλά θεμελιωμένος προγραμματισμός και μια ουσιαστική καθοδήγηση της επιχειρηματικής δράσης σε όλους τους τομείς της. Οι πληροφορίες αυτές αναφέρονται σε μεγέθη κόστους (αναλύσεις μικροοικονομικών αξιών) και αποτελεσμάτων. Ειδικότερα, με την επεξεργασία των πληροφοριών αυτών επιτυγχάνεται η απεικόνιση του προϋπολογιστικού κόστους, που αποτελεί τη βάση για την αποκάλυψη των διαφορών μεταξύ των προϋπολογισθέντων και πραγματοποιηθέντων αναλύσεων μικροοικονομικών αξιών. Με την αξιολόγηση των δεδομένων αυτών, προκύπτει η λήψη μέτρων για τη διάρθρωση της οικονομικής πορείας της επιχείρησης, που στοχεύει στην ελαχιστοποίηση του κόστους και στη μεγιστοποίηση του αποτελέσματος.

1.2 Σκοπός και σημασία της κοστολόγησης

Σκοπός της κοστολόγησης είναι να δώσει στους αρμόδιους υπεύθυνους και ενδιαφερόμενους τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με το κόστος. Άρα η χρησιμότητα της κοστολόγησης εξαρτάται από την ανάγκη για πληροφόρηση, καθώς πολλές αποφάσεις στα πλαίσια του επιχειρηματικού ρίσκου είναι άμεσα συνδεδεμένες με την κοστολόγηση. Με τα στοιχεία που παρέχονται σ' αυτή θα μπορέσει η διοίκηση, να διαπιστώσει τυχόν υπεξαιρέσεις ή κλοπές ή σπατάλες, ποια τμήματα (κέντρα κόστους) της επιχείρησης είναι κερδοφόρα και ποια ζημιογόνα, ποια κατώτατα όρια τιμών πωλήσεων και άλλα. Δείχνει δηλαδή τις απώλειες που τυχόν

υπάρχουν έτσι ώστε η επιχείρηση να πάρει μέτρα για να τις αποφύγει και επομένως να γίνει πιο αποδοτική η παραγωγική διαδικασία (Μπέλλας, 2010).

Πιο συγκεκριμένα, με τη συστηματική κοστολόγηση επιδιώκεται:

- η εξεύρεση του, κατά το δυνατό, ακριβέστερου αποτελέσματος της επιχειρήσεως,
- η άσκηση τιμολογιακής πολιτικής,
- ο έλεγχος της αποτελεσματικότητας της παραγωγικής διαδικασίας και
- η εξεύρεση του βαθμού της παραγωγικής δραστηριότητας στον οποίο η επιχείρηση επιτυγχάνει τον ευνοϊκότερο κόστος.

1.3 Γενικές αρχές κοστολόγησης

Κάθε σύστημα κοστολόγησης πρέπει να ακολουθεί τις παρακάτω Γενικές Αρχές :

- Το κόστος πρέπει να συσχετίζεται όσο το δυνατόν περισσότερο με τις αιτίες που το δημιουργούν.
- Μια δαπάνη καταλογίζεται μόνο όταν έχει συμβεί.
- Όλα τα κόστη τα οποία συμβαίνουν πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, όσο μικρά και επουσιώδη και αν φαίνονται.
- Το έκτακτο ή μη κανονικό κόστος δεν πρέπει να συμπεριλαμβάνεται στην κοστολόγηση. Αυτό γιατί δεν σχετίζεται με την κανονική και ομαλή λειτουργία της επιχείρησης αλλά με τυχαία γεγονότα τα οποία είναι ανεξέλεγκτα από αυτή.
- Ένα παρελθόν κόστος δεν πρέπει να επιβαρύνει ποτέ μία μελλοντική περίοδο. Μία τέτοια ενέργεια έχει ως αποτέλεσμα να αλλοιώνουν την εικόνα της επιχείρησης. Όμως χρειάζεται προσοχή στον χαρακτηρισμό ενός κόστους σαν παρελθόντος. Ένα κόστος είναι παρελθόν όταν η επιχείρηση δεν έχει πια να περιμένει κανένα όφελος από την πραγματοποίησή του.

1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την κοστολογική διαδικασία

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία της κοστολόγησης είναι:

- Το μέγεθος της εταιρίας.
- Το είδος της παραγωγής.
- Ο αριθμός των διαφορετικών προϊόντων που παράγει η επιχείρηση.
- Η διάθεση των στελεχών έναντι του κόστους της πληροφόρησης.

- ο Εξωτερικές μεταβλητές π.χ. νόμοι και ρυθμίσεις.
(Πάγγειος, 1993)

1.5 Στάδια κοστολογικής διαδικασίας

Η κοστολογική διαδικασία έχει τα εξής στάδια (Βενιέρης, 1998):

Στο πρώτο στάδιο, προσδιορίζεται το κόστος στο τέλος της διαχειριστικής περιόδου και αποσκοπεί στην εύρεση του αποτελέσματος που έχει επιτευχθεί. Στο τέλος της χρήσης εμπειρικά προσδιορίζεται το κόστος των ημιτελών ή των ετοιμών προϊόντων και της παραγωγής σε εξέλιξη. Τα στοιχεία αυτά δεν υφίστανται επεξεργασία για σχηματισμό λειτουργικού κόστους ή του μικτού κατά προϊόν αποτελέσματος.

Στο δεύτερο στάδιο, τα στοιχεία κόστους προσδιορίζονται κατά είδος και καταχωρούνται στους αντίστοιχους λογαριασμούς. Στη συνέχεια διαχωρίζονται στις βασικές λειτουργίες της εκμετάλλευσης και έτσι σχηματίζουν το λειτουργικό κόστος. Τέλος, το λειτουργικό κόστος επιβαρύνει το κόστος παραγωγής ετοιμών και ημιτελών προϊόντων , το οποίο επιβαρύνεται και με το κόστος παραγωγής των πωληθέντων.

Στο τρίτο στάδιο, το κόστος αλλάζει λειτουργία και χρησιμοποιείται στην κατάρτιση των προγραμμάτων δράσης και την τεχνική του προϋπολογιστικού ελέγχου. Αποτελεί το βασικό στοιχείο πάνω στο οποίο στηρίζεται η λειτουργία του σύγχρονου κλάδου της λογιστικής ευθύνης. Επίσης, χρησιμοποιείται από την διεύθυνση και τα διευθυντικά στελέχη των επιχειρήσεων για τη διαδικασία λήψης των επιχειρηματικών αποφάσεων.

1.6 Έννοια και κατηγοριοποίηση μεθόδων κοστολόγησης

Μέθοδος κοστολόγησης είναι η εφαρμογή συγκεκριμένων πρακτικών με μοναδικά χαρακτηριστικά για τον υπολογισμό του κόστους μίας επιχείρησης. Οι διάφορες μέθοδοι κοστολόγησης είναι σχεδιασμένες να ανταποκρίνονται στον τρόπο παραγωγής των προϊόντων ή της παροχής των υπηρεσιών μίας επιχείρησης. Έτσι, επιχειρήσεις με διαφορετικό παραγωγικό προφίλ έχουν διαφορετικές κοστολογικές ανάγκες. Κάθε κοστολογική μέθοδος θα πρέπει να είναι επιστημονικά επαρκής και πλήρης, βάσει των αρχών που περιγράφηκαν προηγουμένως (Ενότητα 1.3.).

Διακρίνουμε δύο μεγάλες κατηγορίες μεθόδων κοστολόγησης προϊόντων:

- κοστολόγηση εξατομικευμένης παραγωγής ή κοστολόγηση κατά παραγγελία και
- κοστολόγηση κατά λειτουργία ή διαδικασία ή συνεχής κοστολόγηση.

Η κοστολόγηση εξατομικευμένης παραγωγής ή κοστολόγηση κατά παραγγελία έχει το χαρακτηριστικό ότι το εργοστάσιο αναλαμβάνει την παραγωγή συγκεκριμένης παραγγελίας, το περιεχόμενο της οποίας εξαρτάται ή από τον πελάτη ή από το τι θέλει να παράγει η επιχείρηση για λογαριασμό της. Ο υπολογισμός του κόστους θα γίνει σε όλη την παραγγελία και στην συνέχεια θα διαιρεθεί με το αριθμό των μονάδων προϊόντος που είχε η παραγγελία για να βρεθεί το ανά μονάδα κόστος. Συνήθως, αυτή την μέθοδο παραγωγής την χρησιμοποιούν οι βιομηχανίες μηχανολογικού εξοπλισμού, επίπλων, πλοίων κ.τ.λ. καθώς και κατασκευαστικές επιχειρήσεις (Βενιέρης, 1998). Ακόμα, εφαρμόζεται εκεί όπου η φύση της παραγωγικής διαδικασίας είναι τέτοια, ώστε, ουσιαστικά, η επιχείρηση να δουλεύει με εξατομικευμένες παραγγελίες οι οποίες εξασφαλίζονται από ανάληψη ιδιωτικών και δημοσίων έργων και διαγωνισμών, παραγγελίες πελατών ή παρτίδες παραγωγής κατά παραγγελία. Έτσι, η κοστολόγηση κατά παραγγελία περιλαμβάνει κοστολογήσεις έργου, σύμβασης και παρτίδας.

Η κοστολόγηση κατά λειτουργία ή διαδικασία ή συνεχής κοστολόγηση έχει το χαρακτηριστικό ότι από αυτήν παράγονται μεγάλες ποσότητες μονάδων προϊόντων που είναι όμοιες μεταξύ τους ως προς τον τρόπο, τη διάρκεια ή τα υλικά που απαιτούνται για την παραγωγή τους. Για τον λόγο αυτό η συνεχής παραγωγή πολλές φορές ονομάζεται μαζική παραγωγή (Βενιέρης, 1998). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται εκεί όπου υπάρχει επαναλαμβανόμενη παραγωγή προϊόντων ή τέλεση συγκεκριμένης διαδικασίας για την παροχή μίας υπηρεσίας. Τα κόστη σε αυτή την περίπτωση κατανέμονται στο μέσο όρο των μονάδων προϊόντος που έχουν παραχθεί κατά τη διάρκεια της περιόδου που γίνεται η μέτρηση.

1.7 Τεχνικές κοστολόγησης

Για τον προσδιορισμό του κόστους παραγωγής ενός προϊόντος υπάρχουν τέσσερις βασικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα. Τα βασικά χαρακτηριστικά των τεχνικών αυτών (PMI, 2004) δίνονται ως ακολούθως:

○ Αναλογική εκτίμηση – εκτίμηση από πάνω προς τα κάτω (top – down estimating):

Στη συγκεκριμένη μέθοδο το πραγματικό κόστος ενός προηγούμενου, παρεμφερούς έργου χρησιμοποιείται ως βάση για την εκτίμηση του κόστους του τρέχοντος έργου. Αφορά κυρίως στην εκτίμηση του συνολικού κόστους του έργου όταν υπάρχει περιορισμένη ποσότητα λεπτομερούς πληροφορίας σχετικά με αυτό, όπως συμβαίνει αρκετά συχνά στις αρχικές φάσεις ενός έργου. Πρόκειται για τη τεχνική με το μικρότερο κόστος υλοποίησης αλλά και τη μικρότερη ακρίβεια εκτίμησης σε σχέση με τις υπόλοιπες. Μπορεί να αποδειχτεί αξιόπιστη όταν:

(α) τα προηγούμενα έργα είναι ίδια κατ' ουσία και όχι μόνο κατά τη γενική εμφάνιση και

(β) όταν τα άτομα ή οι ομάδες που μετέχουν στην εκτίμηση του κόστους έχουν την κατάλληλη εμπειρία και εξοικείωση με το αντικείμενο.

Για παράδειγμα, η συγκεκριμένη τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κοστολόγηση δύο σηράγγων ίδιας διατομής σε σχηματισμούς με πανομοιότυπα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά, όχι όμως και για δύο σήραγγες χωρίς περαιτέρω πληροφορίες.

○ Παραμετρική μοντελοποίηση (parametric modeling):

Η συγκεκριμένη τεχνική εμπλέκει τη χρήση χαρακτηριστικών του έργου (παραμέτρους) σε ένα μαθηματικό μοντέλο ώστε μέσω αυτού να προβλέψει τα κόστη του έργου. Τα μοντέλα μπορεί να είναι απλά (παραδείγματος χάριν η κατασκευή μίας κατοικίας θα κοστίσει ένα συγκεκριμένο ποσό ανά m^2) ή πολύπλοκα (παραδείγματος χάριν η ανάπτυξη ενός λογισμικού θα κοστίσει ένα συγκεκριμένο ποσό ανά τομέα εργασίας, καθένας εκ των οποίων έχει το δικό του κόστος ανά μονάδα). Τόσο το κόστος όσο και η ακρίβεια των παραμετρικών μοντέλων ποικίλει. Είναι περισσότερο πιθανό να είναι αξιόπιστα όταν:

(α) οι πληροφορίες που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο ήταν ακριβείς

(β) οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν μπορούν να ποσοτικοποιηθούν εύκολα και

(γ) το μοντέλο μπορεί να λειτουργήσει για διάφορες κλίμακες έργων, δηλαδή αν λειτουργεί εξίσου καλά για μεγάλα και για μικρά έργα.

Στην μεταλλευτική επιστήμη η παραμετρική μοντελοποίηση μπορεί να εφαρμοσθεί για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους κατασκευής μιας σήραγγας με την κοστολόγηση ανά τμήματα των 100 m ή 200 m και τα λοιπά, όπου τα γενικά χαρακτηριστικά της κατασκευής παραμένουν όμοια.

ο Ανιούσα εκτίμηση – εκτίμηση από κάτω προς τα πάνω (bottom – up estimating):

Η συγκεκριμένη τεχνική αφορά την εκτίμηση κόστους των ανεξάρτητων δραστηριοτήτων ή πακέτων εργασίας και κατόπιν την άθροιση ή σύμπτυξη των ξεχωριστών εκτιμήσεων για την απόκτηση του συνολικού κόστους του έργου. Το κόστος και η ακρίβεια της μεθόδου εξαρτάται από το μέγεθος των μοναδιαίων εργασιών / δραστηριοτήτων. Πιο συγκεκριμένα, όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των εργασιών τόσο αυξάνει το κόστος και η ακρίβεια. Η ομάδα διαχείρισης έργου θα πρέπει να είναι σε θέση να αξιολογήσει την ακρίβεια εκτίμησης έναντι του κόστους εφαρμογής της μεθόδου.

Η συγκεκριμένη μέθοδος συνήθως χρησιμοποιείται για την κοστολόγηση εργασιών διάτρησης, αερισμού, υποστήριξης και γενικά μεμονωμένων πακέτων εργασίας, ο συνδυασμός των οποίων δίνει το τελικό κοστολόγιο του έργου.

ο Εκτίμηση μέσω υπολογιστικών εργαλείων:

Τα υπολογιστικά εργαλεία, όπως το λογισμικό διαχείρισης έργου, χρησιμοποιούνται ευρέως για να βοηθήσουν στην εκτίμησης κόστους. Τέτοιο λογισμικό μπορεί να απλουστεύσει τη χρήση των τεχνικών που αναφέρθηκαν παραπάνω και συνεπώς να βοηθήσει στην επιτάχυνση των διαδικασιών εκτίμησης κόστους. Παράλληλα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συγκρίνει γρήγορα και αναλυτικά τις εναλλακτικές λύσεις που μπορεί να προτείνονται από τις διάφορες τεχνικές και να υποβοηθήσει τη λήψη απόφασης.

Τα υπολογιστικά εργαλεία έχουν γενική χρήση καθώς εφαρμόζονται σε κάθε είδους έργο. Συνήθως λαμβάνουν ένα βοηθητικό ρόλο στην κοστολόγηση εφόσον δεν χρησιμοποιούνται μεμονωμένα.

2. ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ

Η εκμετάλλευση των μεταλλείων είναι μία βιομηχανική επιχείρηση και συνεπώς επιδιώκει την επίτευξη του μέγιστου δυνατού κέρδους. Παρόλα αυτά, οι θεμελιώδεις αρχές της

εκμετάλλευσης όπως η ασφάλεια του προσωπικού και η οικονομία του κοιτάσματος, επηρεάζουν σημαντικά τον τελικό προγραμματισμό του έργου. Ο προγραμματισμός αυτός στοχεύει στη βέλτιστη λειτουργία του μεταλλείου, η οποία αφορά τη μέθοδο εκμετάλλευσης, τη δυναμικότητα και το χρονικό προγραμματισμό της παραγωγής, τα έργα ανάπτυξης, την παραγωγικότητα και το κόστος της εκμετάλλευσης. Βασιζόμενοι σε όλα τα παραπάνω, εξάγουμε το τελικό οικονομικό αποτέλεσμα με το οποίο λαμβάνονται και οι τελικές αποφάσεις για την εκμετάλλευση του μεταλλείου. Στόχος του στρατηγικού προγραμματισμού του έργου αποτελεί η βελτιστοποίηση της παραγωγής με ταυτόχρονη διατήρηση ενός λειτουργικά εφικτού πρότυπου εκμετάλλευσης.

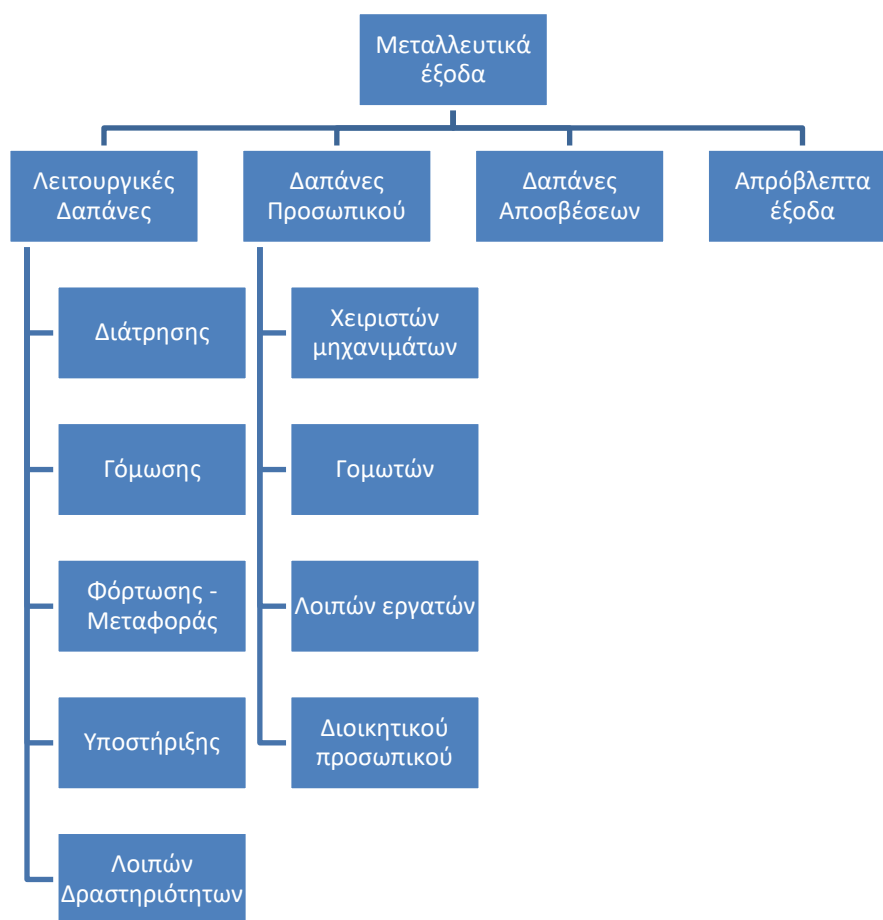
Η εύρεση της βέλτιστης λύσης κατά την παραγωγική φάση του μεταλλείου βασίζεται κυρίως στην χάραξη μιας στρατηγικής κοστολόγησης των εκάστοτε δραστηριοτήτων, υπό της υπάρχουσας τιμολογιακής πολιτικής της αγοράς σήμερα. Η λογιστική αυτή διαδικασία που χρησιμοποιείται, περιλαμβάνει την ανάπτυξη του πιθανότερου ποσοτικού αποτελέσματος με τον υπολογισμό κάθε κέντρο κόστους. Ως κέντρο κόστος του έργου ορίζεται κάθε αυτοτελές τμήμα δραστηριότητας ευθύνης, το οποίο δημιουργεί κόστος, δηλαδή ανάλωση χρήματος ή άλλων πόρων του οργανισμού ή της επιχείρησης (Μπενάρδος, Καλιαμπάκος 2010).

Η εκτίμηση του κόστους παρουσιάζει συχνά αρκετές δυσκολίες καθώς δεν υπάρχει μια πρωτότυπη κατοχυρωμένη διαδικασία προσέγγισης της. Εν αντιθέσει με άλλους τομείς, όπως στην οικοδομική βιομηχανία, στη μεταλλευτική βιομηχανία η διαδικασία αυτή ποικίλει αισθητά, όχι μόνο κατά τον τρόπο προσέγγισης της αλλά και στο πεδίο εφαρμογής της.

Οι αναλυτές που ασχολούνται με το συγκεκριμένο αντικείμενο χρησιμοποιούν θεμελιώδεις σχέσεις μηχανικής οι οποίες παραμετροποιούνται σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος, όπως γεωλογικά, γεωμετρικά και άλλα χαρακτηριστικά. Η διαδικασία της εκτίμησης κόστους στη μεταλλευτική επιστήμη διευκολύνεται με την πάροδο των χρόνων λόγω της αλματώδους ανάπτυξης των τεχνολογιών αιχμής, όπως cloudbased βάσεις δεδομένων, λογισμικό εφαρμογών διαχείρισης έργων και πόρων και άλλα υπολογιστικά εργαλεία.

2.1 Ανάλυση κόστους

Γενικά, οι δαπάνες στα υπόγεια μεταλλευτικά έργα δύναται να κατηγοριοποιηθούν σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες, όπως απεικονίζεται και στο ακόλουθο διάγραμμα (Διάγραμμα 2.1).



Διάγραμμα 2.1.: Κατανομή εξόδων κατά την μεταλλευτική δραστηριότητα

Λειτουργικές δαπάνες της επιχείρησης θεωρούνται όλες οι δαπάνες που σχετίζονται με τη διαχείριση και τη συντήρηση μιας επιχείρησης σε καθημερινή βάση και προορίζονται για τις κυρίως λειτουργίες της, δηλαδή την παραγωγή, τη διοίκηση, τη διάθεση (marketing), την έρευνα και ανάπτυξη, και τη χρηματοδότηση. Τα λειτουργικά έξοδα είναι έξοδα σταθερά ή μεταβλητά που ποικίλλουν ανάλογα με την εξορυσσόμενο όγκο μεταλλεύματος και αφορούν τις εκρηκτικές ύλες, τα καύσιμα, την ηλεκτρική ενέργεια και τα λοιπά. Δεν περιλαμβάνουν κεφαλαιουχικές δαπάνες ή το κόστος που προκύπτει από τη φάση του σχεδιασμού ή την υλοποίηση μίας νέας διαδικασίας, όπως την διερεύνηση ενός νέου τμήματος του κοιτάσματος. Στην περίπτωση της υπόγειας εκμετάλλευσης κοιτάσματος, τα λειτουργικά έξοδα διαιρούνται σε έξοδα για τη

διάτρηση του μετώπου, τη γόμωση των διατρημάτων, τη φόρτωση και μεταφορά του εξορυγμένου μεταλλεύματος, την υποστήριξη νέου υπόγειου τμήματος καθώς και για λοιπές δραστηριότητες όπως ξεσκάρωμα και αερισμό του χώρου.

Δαπάνες προσωπικού είναι οι επιλέξιμες δαπάνες που αφορούν μισθούς και κοινωνικές επιβαρύνσεις του προσωπικού, του υπευθύνου του έργου και των συνεργαζόμενων εταιρειών. Τα έξοδα αυτά, που προορίζονται για εργαζομένους με πλήρη απασχόληση, με μερική απασχόληση ή για χρονική περίοδο περιορισμένη, θεωρούνται αναγκαία για την εκτέλεση των καθηκόντων ώστε να υπάρξει ικανοποιητική λειτουργία του έργου. Για την κοστολόγηση των δαπανών προσωπικού υπάρχουν δύο βασικές προϋποθέσεις. Αρχικά, πρέπει να διευκρινιστούν σαφώς οι κατηγορίες των καθηκόντων που εκτελούνται από τον εν λόγω προσωπικό. Κατά δεύτερον, πρέπει να εξασφαλίζεται η συστηματική καταγραφή του χρόνου που αφιερώνουν στο έργο, για παράδειγμα κάθε εβδομάδα, σε εργατοώρες, με αναφορά των εργασιών που εκτελέστηκαν κατά την υπόψη περίοδο.

Το κόστος απόσβεσης συνδέεται με τη μείωση της αξίας ενός παγίου καθώς η ηλικία του αυξάνεται. Η απόσβεση είναι ένα λογιστικό εργαλείο που χρησιμοποιείται για να κατανείμει τη δαπάνη για ένα κεφαλαιουχικό πάγιο σε ολόκληρη τη διάρκεια ζωής του ανάλογα με το κόστος κτήσης του. Με τη λογιστική έννοια με τον όρο απόσβεση εννοούμε τη μείωση της αξίας ενός παγίου περιουσιακού στοιχείου από τη φθορά που υπέστη αυτό, είτε λόγω της παρόδου του χρόνου (χρονική φθορά), είτε λόγω της χρήσεως (λειτουργική φθορά), είτε όταν οφείλεται σε επιστημονικές και τεχνικές ανακαλύψεις και εφευρέσεις (τεχνολογική απαξίωση). Εναλλακτικά θεωρείται η συστηματική κατανομή της αποσβεστέας αξίας ενός περιουσιακού στοιχείου στην ωφέλιμη ζωή του. Με τον όρο περιουσιακό στοιχείο χαρακτηρίζεται κάθε ιδιόκτητο αγαθό οπουδήποτε παγίου πέραν της γης. Ο υπολογισμός των αποσβέσεων κεφαλαίου γίνεται με διάφορες μεθόδους με κυριότερες αυτές που αναφέρονται ακολούθως:

- Μέθοδος της σταθερής αποσβέσεως
- Μέθοδος της φθίνουσας αποσβέσεως με σταθερό συντελεστή
- Μέθοδος φθίνουσας αποσβέσεως με μειωμένο συντελεστή
- Μέθοδος της αύξουσας αποσβέσεως
- Μέθοδος αύξουσας αποσβέσεως με συντελεστή τα έτη ζωής

2.2 Μοντέλα κόστους για τον υπολογισμό του κόστους εκμετάλλευσης

Τα μοντέλα κόστους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκπόνηση προκαταρκτικών εκτιμήσεων κόστους για κοιτάσματα με περιορισμένο αριθμό πληροφοριών όπως γεωγραφικά και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά. Είναι ουσιαστικά μια παράσταση ενός υποθετικού συνόλου παραμέτρων και δεν αντιπροσωπεύουν το κόστος εκμετάλλευσης ενός συγκεκριμένου κοιτάσματος. Για το λόγο αυτό οι αναλυτές δεν βασίζονται εξ' ολοκλήρου σε αυτά αλλά τα χρησιμοποιούν ως συγκριτικά εργαλεία για τις προκαταρκτικές εκτιμήσεις.

Ένα τέτοιο μοντέλο για την εκμετάλλευση κοιτάσματος με τη μέθοδο θαλάμων και στύλων δίνεται από το Scott A. Stebbins για το SME Mining Engineering Handbook 2011 (Παράρτημα I).

Μια διαφορετική προσέγγιση είναι αυτή που δίνεται από το U. S. Bureau of Mines με την εγκύκλιο του 1991 (IC 9298). Για την υπόγεια εκμετάλλευση κοιτάσματος με τη μέθοδο θαλάμων και στύλων παρουσιάζεται το ακόλουθο μοντέλο.

Πίνακας 2.2: Μοντέλο κόστους για τη μέθοδο θαλάμων και στύλων
(capacity range 200-8,000 st/d)

Category	Capital cost, \$	Operating cost, \$/st
Labor	16,700(X) ^{0.673}	158(X) ^{-0.295}
Equipment . .	1,317,000(X) ^{0.423}	44.7(X) ^{-0.499}
Steel	2,680(X) ^{0.781}	57.8(X) ^{-0.474}
Lumber	652(X) ^{0.532}	2.81(X) ^{-0.037}
Fuel	145(X) ^{0.792}	20.3(X) ^{-0.604}
Lube	26.1(X) ^{0.779}	9.33(X) ^{-0.539}
Explosives . .	2,220(X) ^{0.793}	4.72(X) ^{-0.136}
Tires	247(X) ^{0.834}	1.16(X) ^{-0.269}
Construction		
material . . .	18,400(X) ^{0.561}	9.87(X) ^{-0.151}
Electricity . . .	25.3(X) ^{0.843}	94.6(X) ^{-0.483}
Sales tax . . .	73,400(X) ^{0.446}	3.38(X) ^{-0.230}
Total	1,250,000(X) ^{0.461}	279(X) ^{-0.294}

X = Capacity of mine in short tons per day.

(capacity range 500-40,000 st/d)

Category	Capital cost, \$	Operating cost, \$/st
Labor	13,800(X) ^{0.604}	25.9(X) ^{-0.216}
Equipment . .	55,800(X) ^{0.004}	1.49(X) ^{-0.117}
Steel	9,350(X) ^{0.599}	1.94(X) ^{-0.099}
Lumber	55.2(X) ^{0.669}	NAp
Fuel	1,280(X) ^{0.561}	0.984(X) ^{-0.108}
Lube	354(X) ^{0.561}	0.541(X) ^{-0.173}

Πηγή: U.S. Bureau of Mines, IC 9298, στοιχεία 1991

2.3 Παραμετρικός υπολογισμός του κόστους εκμετάλλευσης

Αν και στη διαθέσιμη βιβλιογραφία αναφέρονται αρκετές μέθοδοι προσέγγισης του κόστους εκμετάλλευσης κοιτασμάτων, όπως μοντέλα κόστους, αναλυτικές εκτιμήσεις και άλλα, οι παραμετρικές εξισώσεις αποτελούν μια συντομευμένη λεπτομερή διαδικασία υπολογισμού.

Γενικά, οι εκτιμητές που αναλαμβάνουν να βγάλουν τη διαδικασία αυτή εις πέρας και να αξιολογήσουν την οικονομική αξία μιας εκμετάλλευσης θα πρέπει να προσδιορίσουν τον αρχικό ρυθμό παραγωγής του έργου και να ακολουθήσουν τέσσερα βασικά βήματα σύμφωνα με το Scott A. Stebbins (2011):

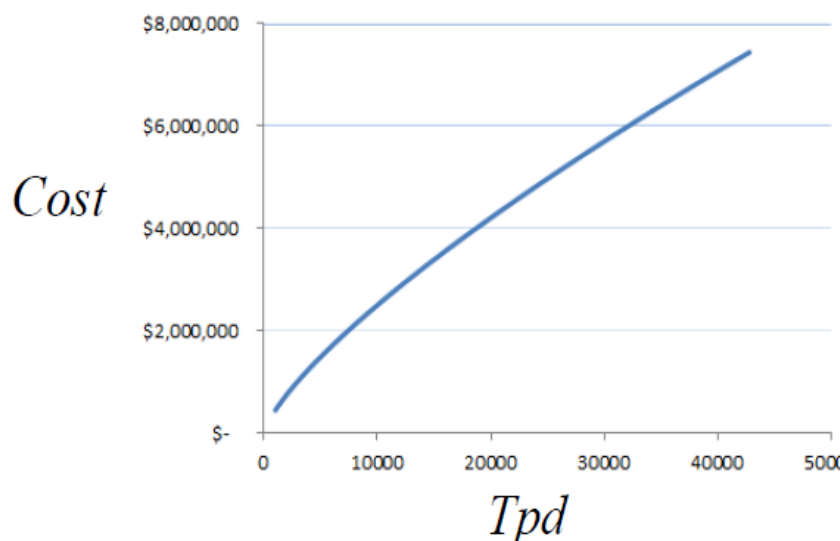
- 1.** Αρχικός σχεδιασμός των απαραίτητων υπόγειων εργασιών, στο βαθμό που είναι επιτρεπτό.
- 2.** Υπολογισμός των παραμέτρων εξοπλισμού, αναλώσιμων υλικών και εργατικού δυναμικού που σχετίζονται τόσο με την ανάπτυξη των προπαρασκευαστικών έργων όσο και με τις καθημερινές λειτουργίες.
- 3.** Εφαρμογή του εξοπλιστικού κόστους, των τιμών των αναλώσιμων υλικών και των φορομισθίων στις αντίστοιχες παραμετρικές εξισώσεις για τον υπολογισμό των λειτουργικών και κεφαλαιακών εξόδων.

4. Σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αναμενόμενα έσοδα υπό οικονομικές συνθήκες σχετικές με το σχέδιο, για τον προσδιορισμό της βιωσιμότητας του έργου.

Τέλος, αφού ο εκτιμητής αξιολογήσει τα αποτελέσματα θα πρέπει να προσαρμοστεί ο ρυθμός παραγωγής εκ νέου και να επαναληφθεί η παραπάνω διαδικασία προς βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων.

Ακολουθεί παράδειγμα παραμετρικής μεθόδου εκτίμησης, όπου οι δαπάνες υπολογίζονται με γενικούς αλγορίθμους με την ακόλουθη σχέση.

$$\text{Cost} = \text{const} \times (\text{Tpd})^y$$



Διάγραμμα 2.3: Παράδειγμα χρήσης παραμετρικών εξισώσεων

Πηγή: Brazilian Mining Association (2016)

Η παραπάνω σχέση είναι της μορφής "Κόστος = x (παράμετρος) y", όπου η παράμετρος στο παρόν παράδειγμα είναι η συνολική παραγωγή.

2.4 Επιλογή μεθόδου υπόγειας εκμετάλλευσης – παράμετροι που την καθορίζουν

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 κοιτάσμα, 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 κοιτάσμα 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 υπόψη, ανεξάρτητα από το είδος του εξορυσσόμενου μεταλλεύματος, η ασφάλεια και η υγιεινή των εργαζομένων. Οι κατάλληλες συνθήκες εργασίας του εργατικού δυναμικού περιλαμβάνουν το σωστό αερισμό και κλιματισμό του ορυχείου, την επαρκή υποστήριξη της οροφής και των παρειών, τη μείωση εκπομπής επικινδύνων αερίων σκόνης και θορύβου και τον αρκούντα βαθμό μηχανοποίησης του έργου. Ένας ακόμα καθοριστικός παράγοντας επιλογής της κατάλληλης μεθόδου εκμετάλλευσης αποτελεί η ενδεχόμενη περιβαλλοντική όχληση. Τέλος, ιδιαίτερη και βαρύνουσα σημασία δίνεται οικονομικότητα του κοιτάσματος.

Η εκμεταλλευσσιμότητα ενός κοιτάσματος από οικονομική άποψη εξαρτάται από τους παρακάτω βασικούς παράγοντες:

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

2.5 Παραγωγικότητα των διαφόρων μεθόδων υπόγειας εκμετάλλευσης

Όπως σε όλες τις επιχειρηματικές δραστηριότητες, έτσι και στη μεταλλευτική, η παραγωγικότητα, δηλαδή το μέτρο της παραγωγικής ικανότητας, είναι άμεσα συνυφασμένη με το κόστος εκμετάλλευσης. Ο Νικόλαος Γ. Τερεζόπουλος (2003) αναφέρει ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος της παραγωγής ενός μεταλλείου είναι:

- i. Οι συνθήκες της αγοράς και η τιμή του προϊόντος.
- ii. Η περιεκτικότητα του μεταλλεύματος σε χρήσιμο συστατικό και η ποσότητα των αντίστοιχων αποθεμάτων.
- iii. Ο χρόνος που θα διαρρεύσει έως την έναρξη της παραγωγής.
- iv. Η στάση και οι πολιτικές κατευθύνσεις της τοπικής αυτοδιοίκησης και της κυβέρνησης, το επίπεδο φορολογίας και οι νόμοι που επηρεάζουν την εκμετάλλευση.
- v. Η διαθεσιμότητα των απαραίτητων πηγών ενέργειας και το αντίστοιχο κόστος καθώς και η διαθεσιμότητα νερού.
- vi. Οι φυσικές ιδιότητες των περιβαλλόντων πετρωμάτων και του μεταλλεύματος.
- vii. Το σύνολο των έργων ανάπτυξης που απαιτείται, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή παραγωγή, συσχετιζόμενο με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος,
- viii. Το μέγεθος και η διαθεσιμότητα του εργατικού δυναμικού που πρέπει να προσληφθεί και να εκπαιδευτεί.

Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 2.4.) παρουσιάζεται μια σύγκριση του ημερήσιου ρυθμού παραγωγής για τις διάφορες μεθόδους υπόγειας εκμετάλλευσης.

Πίνακας 2.4.: Ρυθμός παραγωγής ανάλογα με τη μέθοδο εκμετάλλευσης

Μέθοδος Εκμετάλλευσης	Ρυθμός Παραγωγής (tn/ημέρα)
Θαλάμων και στύλων	500 – 35.000
Κατακρήμνιση πατώματος	>7.500
Επίμηκες μέτωπο	500 – 5.000
Διαδοχικών υποορόφων με κατακρήμνιση οροφής	500 – 5.000
Κοπής και λιθογόμωσης	200 – 2.000
Συμπτυσσόμενου μετώπου	100 – 2.000

Πηγή: Τερζόπουλος Ν. (2003), Μέθοδοι Υπόγειων Εκμεταλλεύσεων

Σύμφωνα με το CostMine, τμήμα του InfoMine, η ημερήσια παραγωγικότητα κάθε μεθόδου υπόγειας εκμετάλλευσης μεταβάλλεται σύμφωνα με τα παρακάτω στοιχεία.

Πίνακας 2.5.: Ρυθμός παραγωγής ανάλογα με τη μέθοδο υπόγειας εκμετάλλευσης

Μέθοδος Εκμετάλλευσης	Ρυθμός Παραγωγής (tn/ημέρα)
Κοπή και Λιθογόμωση (συμβατική μέθοδος)	1.000
Εναλλακτικών Κοπών και λιθογομώσεων (με μηχανικά μέσα)	1.000
Συμπτυσσόμενου μετώπου	1.000
Υποχωρούντος μετώπου κατακόρυφου κρατήρα	2.000
Διαδοχικών ορόφων με κενά	4.000
Θάλαμοι και στύλοι	8.000
Διαδοχικών υποορόφων με κατακρήμνιση οροφής	8.000
Κατακρήμνιση πατώματος	30.000

Πηγή: CostMine (InfoMine.com), στοιχεία 2010

2.6 Εκτιμώμενο κόστος εκμετάλλευσης ανάλογα με τη μέθοδο

Η εκτίμηση του αναμενόμενου κόστους εκμετάλλευσης κατά τα πρώτα στάδια του μεταλλευτικού σχεδιασμού αποτελεί τη βασική παράμετρο για τη λήψη αποφάσεων. Είναι γνωστό άλλωστε ότι οι οικονομικές απολαβές μιας εξόρυξης είναι αυτές που καθορίζουν αν πρόκειται για εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα ή απλά για μία εμφάνιση ορυκτών, πετρωμάτων ή ενεργειακών πρώτων υλών. Έτσι, η βιωσιμότητα του έργου κρίνεται από τις αναμενόμενες ταμειακές ροές που προκύπτουν από τη σύγκριση των εκτιμωμένων εξόδων και εσόδων. Θετικές ταμειακές ροές καθιστούν βιώσιμο το έργο.

Στον πίνακα 2.6 δίνεται το εκτιμώμενο κόστος εκμετάλλευσης, ανά τόνο εξορυσσόμενου προϊόντος για τις βασικές μεθόδους υπόγειας εκμετάλλευσης.

Πίνακας 2.6: Εκτιμώμενο κόστος υπόγειων εκμεταλλεύσεων ανά μέθοδο

Μέθοδος Εκμετάλλευσης	Κόστος (€/tn)
------------------------------	----------------------

Θαλάμων και στύλων	9-26
Κατακρήμιση πατώματος	7-13
Επίμηκες μέτωπο	130
Διαδοχικών υποορόφων με κατακρήμιση οροφής	35 – 130
Κοπής και λιθογόμωσης	85 – 170
Συμπτυσσόμενου μετώπου	105 – 170

Πηγή: Τερζόπουλος Ν. (2003), Μέθοδοι Υπόγειων Εκμεταλλεύσεων

Μια διαφορετική προσέγγιση δίνεται από τα ευρήματα της μελέτης του CostMine, τμήμα του InfoMine σύμφωνα με τα στοιχεία του 2010.

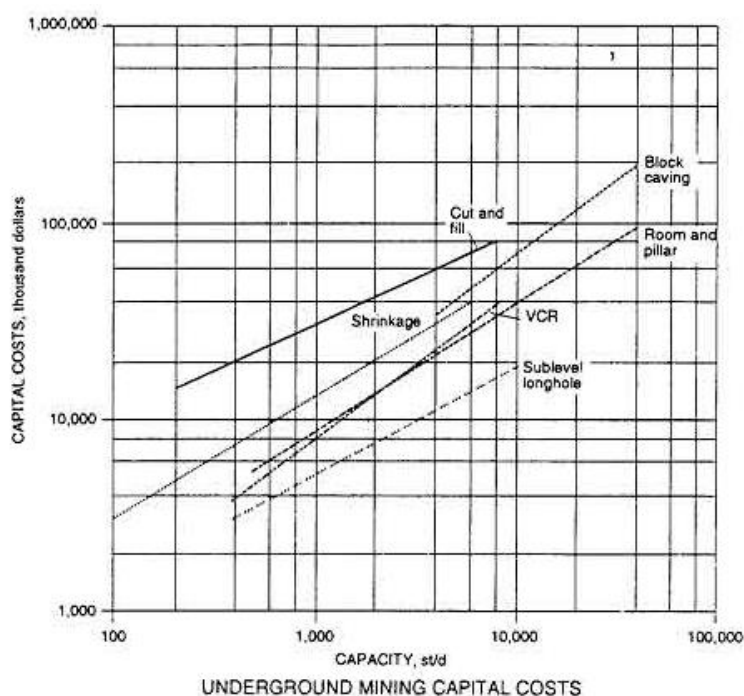
Πίνακας 2.7: Εκτιμώμενο κόστος υπόγειων εκμεταλλεύσεων ανά μέθοδο

Μέθοδος Εκμετάλλευσης	Κόστος (€/tn)
Κοπή και Λιθογόμωση (συμβατική μέθοδος)	55
Εναλλακτικών Κοπών και λιθογομώσεων (με μηχανικά μέσα)	42
Συμπτυσσόμενου μετώπου	41
Υποχωρόντος μετώπου κατακόρυφου κρατήρα	33
Διαδοχικών ορόφων με κενά	15
Θάλαμοι και στύλοι	17
Διαδοχικών υποορόφων με κατακρήμιση οροφής	18
Κατακρήμιση πατώματος	7

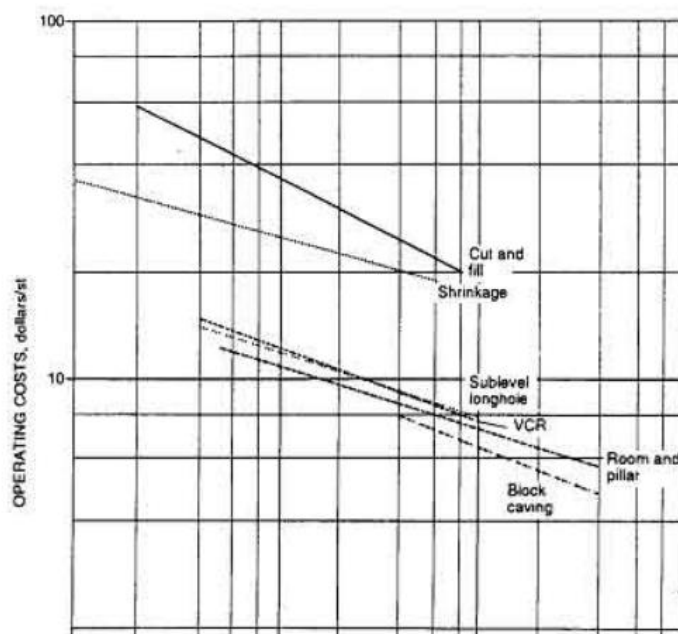
Πηγή: CostMine (InfoMine.com), στοιχεία 2010

2.7 Σύγκριση ρυθμού παραγωγής και κόστους υπόγειας εκμετάλλευσης ανά μέθοδο

Θεμελιώδης στρατηγική κατά το μεταλλευτικό σχεδιασμό αποτελεί πάντα ο επίτευξη του συνδυασμού υψηλού ρυθμού παραγωγής με μειωμένο κόστος. Άλλωστε αυτός είναι και ένας από τους κυριότερους παράγοντες επιλογής της κατάλληλης μεθόδου εκμετάλλευσης ενός κοιτάσματος. Στα διαγράμματα 2.8 και 2.9 διακρίνεται μία σειρά καμπυλών που αφορούν το συνολικό κόστος εκμετάλλευσης για κάθε μέθοδο υπόγειας εξόρυξης εν συναρτήσει της παραγωγικότητας αυτής.



Διάγραμμα 2.8: Κόστος εκμετάλλευσης συναρτήσει της παραγωγής για κάθε μέθοδο(Πηγή: U.S. Bureau of Mines)



Διάγραμμα 2.9: Κόστος εκμετάλλευσης συναρτήσει της παραγωγής για κάθε μέθοδο (Πηγή: U.S. Bureau of Mines)

2.8 Σχετικό κόστος των μεθόδων υπόγειας εκμετάλλευσης

Ως σχετικό κόστος ορίζεται το αναμενόμενο μελλοντικό κόστος που διαφέρει μεταξύ εναλλακτικών ενεργειών ή αποφάσεων που θα λάβει η διοίκηση της επιχείρησης (Παυλάτος, 2006). Έτσι, στη μεταλλευτική οι διαφορετικές αποφάσεις αφορούν τη μέθοδο εκμετάλλευσης που επιλέγεται. Στον πίνακα 2.10. παρουσιάζεται μία σύγκριση του άμεσου κόστους για τις διάφορες μεθόδους υπόγειας εκμετάλλευσης.

Πίνακας 2.10: Σχετικό κόστος των διαφόρων μεθόδων υπόγειας εκμετάλλευσης

Μέθοδος Εκμετάλλευσης	Σχετικό Κόστος
Θαλάμων και στύλων	1,2
Κατακρήμνισης προκαθορισμένου όγκου	1,0
Διαδοχικών ορόφων με κενά	1,3

Διαδοχικών ορόφων με κατακρήμνιση οροφής	1,5
Υποχωρόντος μετώπου κατακόρυφου κρατήρα	4,3
Εναλλακτικών κοπών και λιθογομώσεων (με μηχανικά μέσα)	4,5
Εναλλακτικών κοπών και λιθογομώσεων (με εκρηκτικά)	9,7
Συμπτυσσόμενου μετώπου	6,7

Πηγή: Τερζόπουλος Ν. (2003), Μέθοδοι Υπόγειων Εκμεταλλεύσεων

Όπως παρουσιάζεται και στον ανώτερο πίνακα, τα σχετικά κόστη, τα οποία δημιουργούνται ως αποτέλεσμα της εξορυκτικής διαδικασίας, σε φυσιολογικές συνθήκες, είναι ως και δεκαπλάσια ανάλογα με τη μέθοδο που επιλέγεται. Βάσει αυτών καθορίζεται και η τελική τιμή πώλησης του προϊόντος. Συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεθόδους, το μεγαλύτερο σχετικό κόστος παρουσιάζει η μέθοδος εναλλακτικών κοπών και λιθογομώσεων με εκρηκτικές ύλες – συμβατική μέθοδος. Γενικά, το υψηλό κόστος της κοπής και λιθογόμωσης έγκειται στις απαιτήσεις για υλικά γόμωσης και στη δημιουργία κεκλιμένων για τη μεταφορά του μεταλλεύματος. Οι δυσκολίες που παρουσιάζονται στον αερισμό και στις απαιτήσεις σε εξειδικευμένο προσωπικό δικαιολογούν την εκτίμηση αυτή. Ειδικότερα, η συμβατική μέθοδος στερείται της εκμηχανισμένης καθότι δεν χρησιμοποιούνται αυτοματοποιημένες τεχνολογίες όπως ασύρματος εξοπλισμός, συστήματα μεταφορών (μεταφορικές ταινίες και άλλα) και νεότερες τεχνικές. Έτσι, η μηχανοποιημένη μέθοδος κοπής και λιθογόμωσης κοστίζει έως και 40% λιγότερο από τη συμβατική μέθοδο εξόρυξης.

3. ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΒΩΞΙΤΙΚΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ

Τα μεγαλύτερα κοιτάσματα βωξίτη στην Ελλάδα απαντώνται στη ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας (Γκιώνα – Ελικώνας – Οίτη, Παρνασσός). Μικρότερα κοιτάσματα απαντώνται στη Χαλκιδική, Εύβοια, Σκόπελο, Γκλόκοβα, Αρτεμίσιο, Αμοργό κ.λπ.. Πρόκειται για κοιτάσματα

φακοειδούς μορφής με καλή ποιότητα μεταλλεύματος (56 – 60% Al_2O_3) και εύκολη προσπέλαση. Αντίθετα, στους αρνητικούς συντελεστές συγκαταλέγονται το κυμαινόμενο μέγεθος των φακών και η έντονη τεκτονική. Όσον αφορά την αντοχή του βωξίτη σε μονοαξονική θλίψη είναι της τάξης των 65 MPa.

Η περιοχή Παρνασσού – Γκιώνας είναι ένα σημαντικό μεταλλευτικό κέντρο της χώρας καθώς εκεί δραστηριοποιούνται 2 εταιρίες για την εξόρυξη βωξίτη (Ευρωπαϊκοί Βωξίτες Α.Ε. και Δελφοί – Δίστομο Α.Μ.Ε.).

Η συνολική ετήσια παραγωγή βωξίτη αγγίζει τους 2 εκατομμύρια tn. Από αυτούς, το 75% τροφοδοτεί την ελληνική αγορά για την παραγωγή αλουμίνας ενώ το υπόλοιπο 25% διοχετεύεται στη διεθνή αγορά για χρήσεις όπως την παραγωγή αλουμινούχων τσιμέντων, τις μεταλλουργίες σιδήρου (ως συλλίπασμα), την παραγωγή πετροβάμβακα και την παραγωγή λειαντικών μέσων. Η ελληνική παραγωγή βωξίτη αντιστοιχεί στο ~2% της παγκόσμιας παραγωγής και σήμερα το μεγαλύτερο μέρος της εξορύσσεται από υπόγεια εργοτάξια με παραγωγή 1,0 – 1,5 εκατομμύρια tn.

Οι υπόγειες μέθοδοι εκμετάλλευσης που χρησιμοποιούνται στα βωξιτικά κοιτάσματα του ελλαδικού χώρου, είναι κατά κύριο λόγο η μέθοδος «θαλάμων και στύλων» (room - and - pillar method) με διάφορες παραλλαγές καθώς και η μέθοδος «κατακρήμνισης οροφής με διαδοχικούς υποορόφους» (sublevel caving).

Για βωξιτικά κοιτάσματα με οριζόντια έως μέτρια κλίση, με ικανοποιητική αντοχή, μικρού ή μεγάλου πάχους και με ανθεκτική οροφή τα οποία εντοπίζονται σε μικρό έως μέσο βάθος εφαρμόζεται η μέθοδος θαλάμων και στύλων. Συγκεκριμένα, η κλίση των στρωμάτων πρέπει να είναι μικρότερη των 30°, ενώ το δε πάχος να φθάνει έως τα 10 m περίπου. Σε περίπτωση που το πάχος του βωξίτη είναι μεγαλύτερο των 10 m τότε χρησιμοποιείται η μέθοδος θαλάμων και στύλων σε συνδυασμό με ξηρή λιθογόμωση. Κυρίως εφαρμόζεται σε βωξιτικά κοιτάσματα του γ' βωξικού ορίζοντα.

Για την υλοποίηση της μεθόδου των θαλάμων και στύλων στα βωξιτικά κοιτάσματα διακρίνονται τρία διαφορετικά συστήματα ανάπτυξης:

1. Εκμετάλλευση σε οριζόντιο ή σχεδόν οριζόντιο κοίτασμα
2. Εκμετάλλευση σε κεκλιμένα κοιτάσματα (20° - 30°)
3. Εκμετάλλευση κοιτάσματος μεγάλου πάχους

Για τα κοιτάσματα βωξίτη των οποίων η κλίση υπερβαίνει τις 60°, εφαρμόζεται η μέθοδος των διαδοχικών υποορόφων με κατακρήμνιση οροφής, που αφορά όμως πολύ μικρό

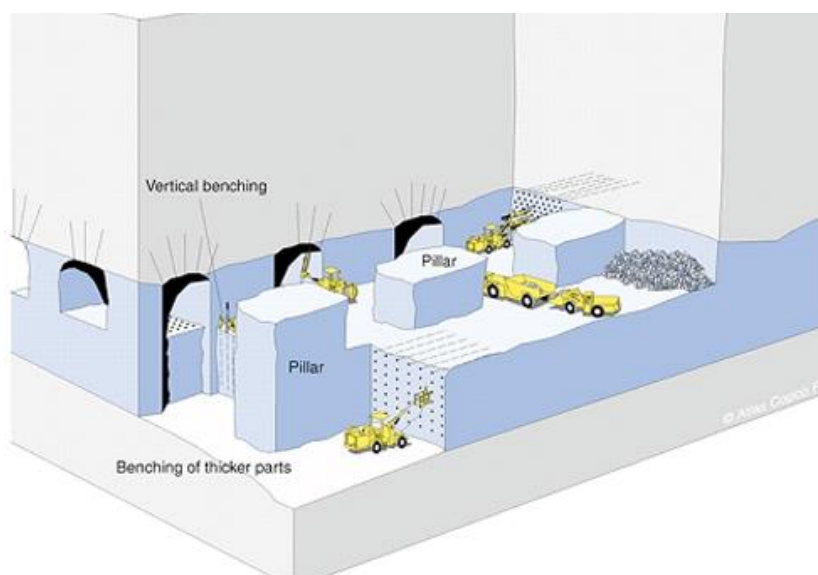
αριθμό εκμεταλλεύσεων. Συνήθως η μέθοδος βρίσκει εφαρμογή σε κοιτάσματα του β' βωξιτικού ορίζοντα (ενδιάμεσου) (Μπενάρδος, 2014).

4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΒΩΞΙΤΙΚΟΥ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την αναλυτική εκτίμηση κόστους παραγωγής του εξορυσσόμενου μεταλλεύματος σε υπόγεια εκμετάλλευση βωξίτη. Ταυτόχρονα, γίνεται μια προσπάθεια ανάπτυξης μιας βέλτιστης λύσης βάσει της οποίας αναλύονται οι διάφορες φάσεις εργασίας, εκτιμώνται οι πόροι που απαιτούνται για την εκτέλεσή τους και πραγματοποιείται η εκτίμηση του σχετικού τους κόστους

Πιο συγκεκριμένα, προκειμένου να γίνει μία ολοκληρωμένη εκτίμηση του κόστους, γίνεται η παραγωγή σε μία υπόγεια εκμετάλλευση βωξίτη με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά. Το υπό μελέτη κοίτασμα βωξίτη είναι φακοειδούς μορφής με μηδενική κλίση. Εντοπίζεται σε βάθος 150 m και διαθέτει πλάτος 100 m, μήκος 100 m και ύψος 5 m. Οι παρούσες διαστάσεις οδηγούν σε ένα έργο όγκου 50.000 m³. Δεδομένου ότι το ειδικό βάρος του βωξιτικού μεταλλεύματος είναι 3,3 tn/m³, τα συνολικά αποθέματα του κοιτάσματος ανέρχονται στους 165.000 tn.

Κατά κοινή ομολογία, οι υπόγειες εκμεταλλεύσεις είναι πολύπλοκες εργασίες που εκφράζουν δυναμικές καταστάσεις. Για το λόγο αυτό, για το συγκεκριμένο κοίτασμα η μέθοδος εκμετάλλευσης έχει επιλεγεί με βάση τόσο διάφορα κριτήρια σχεδιασμού και παραγωγής όσο και οικονομικά κριτήρια. Η ελάχιστη, ως και μηδενική κλίση του παρόντος βωξιτικού κοιτάσματος, σε συνδυασμό με την ισχυρή ανθεκτικότητα του μεταλλεύματος και των περιβαλλόντων ασβεστολιθικών πετρωμάτων σε σχετικά μικρό βάθος οδήγησαν στην επιλογή της μεθόδου θαλάμων και στύλων (room – and – pillar method).



Σχήμα 4.1. Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου θαλάμων και στύλων (πηγή: Atlas Copco).

Η μέθοδος θαλάμων και στύλων ανήκει στην κατηγορία υπόγειων εκμεταλλεύσεων με φυσική υποστήριξη. 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 σύνολο του ή εν μέρει (Τερεζόπουλος, 2003). Ο βωξίτης θεωρείται μέταλλευμα μικρής οικονομική αξίας γι αυτό και είναι αποδεκτή η απώλεια μεταλλεύματος που προκύπτει από την εγκατάλειψη των στύλων.

Οι διαστάσεις των στύλων επιλέχθηκαν με βάση τα μηχανικά χαρακτηριστικά του βωξίτη και τις ασκούμενες τάσεις από τα υπερκείμενα στρώματα δεδομένου ότι το κοίτασμα έχει εντοπιστεί σε βάθος 150 m. Οι θάλαμοι έχουν σχεδιαστεί με βάση τη θεωρία της συνεισφέρουσας επιφάνειας κατά την οποία κάθε στύλος φέρει το φορτίο του πετρώματος που βρίσκεται μέσα στο κατακόρυφο ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο, του οποίου γενέτειρα είναι οι άξονες που χωρίζουν στη μέση τους διαδρόμους που περιβάλλουν το στύλο. Η οριζόντια αυτή επιφάνεια θεωρείται ως συνεισφέρουσα.

Προκειμένου να διαπιστωθεί κατά πόσον είναι ασφαλείς οι διαστάσεις των θαλάμων και των στύλων που επιλέχθηκαν, ώστε να μην υπάρξουν διαρρήξεις πετρωμάτων, κατολισθήσεις και γενικά αστοχίες, διενεργήθηκαν δόκιμες με διάφορες τιμές. Επιλέχθηκε η δημιουργία στύλων τετραγωνικής μορφής 6 m πλάτους, και θαλάμων 8 m πλάτους κανονικής διάταξης. Οι συγκεκριμένες διαστάσεις αφορούν τη τελευταία φάση της εξόρυξης, δηλαδή την εξόφληση του μεταλλεύματος, όπου φυσικοί αυτοί στύλοι έχουν υποστεί ήδη μείωση των διαστάσεων τους και δίνουν αποδεχτές τιμές συντελεστή ασφαλείας. Επομένως, υπό της δεδομένες συνθήκες η απόληψη του μεταλλεύματος υπολογίζεται ως:

$$R = 1 - \frac{W_p^2}{(W_p + W_R)^2} = 0.82 \text{ ή } 82 \%$$

Όπου:

R	ο συντελεστής απόληψης του μεταλλεύματος
---	--

W_P	το πλάτος των στύλων (m)
W_R	το πλάτος των θαλάμων (m)

Οι τοπικές συνθήκες του κοιτάσματος, η αντοχή του ασβεστόλιθου της οροφής, καθώς και η ύπαρξη τεκτονικών φαινομένων μπορεί να διαφοροποιήσουν τις διαστάσεις των στύλων του βωξίτη και συνεπώς το συντελεστή αποληψιμότητας του μεταλλεύματος.

Με μία πρώτη εκτίμηση, η τελική ποσότητα του πετρώματος που τελικά θα εξορυχθεί, βάσει του συντελεστή απόληψης, είναι της τάξης των 134.694 tn βωξίτη. Οι τόνοι που υπολείπονται (30.306 tn) από τα συνολικά αποθέματα του κοιτάσματος, θα παραμείνουν στη φυσική τους θέση, υπό μορφή στύλων για να υποστηρίζουν τα υπερκείμενα πετρώματα.

Όσον αφορά τη μέση ορθή τάση που αναπτύσσεται στους στύλους τετραγωνικής διατομής, δεδομένου ότι ακολουθούν συγκεκριμένο κάρναβο έτσι ώστε τα κέντρα τους να απέχουν συγκεκριμένες αποστάσεις σε σχέση με τους γειτονικούς στύλους, υπολογίζεται ως:

$$\sigma_p = \gamma \cdot h \left(1 + \frac{W_R}{W_P}\right)^2 = 26,41 \text{ MPa}$$

Όπου:

σ_p	η μέση ορθή τάση που αναπτύσσεται σε κάθε στύλο (MPa)
γ	το ειδικό βάρος του πετρώματος (tn/m ³)
H	το βάθος στο οποίο έχει εντοπιστεί το κοίτασμα (m)

Οι συνθήκες ευστάθειας ελέγχονται μέσω ορισμένων από τα βασικότερα κριτήρια αστοχίας των στύλων. Σύμφωνα με το κριτήριο των Obert και Duvall η αντοχή των στύλων σε θλίψη εκτιμάται σε:

$$C_p = C_1 \left(0,778 + 0,222 \frac{W_P}{H_P}\right) = 67,89 \text{ MPa}$$

Όπου

C_p	η αντοχή των στύλων σε θλίψη (MPa)
C_1	η αντοχή δοκιμίων βωξίτη με λόγο πλάτους προς ύψος $D/H=1$ σε μονοαξονική θλίψη (MPa)
H_p	το ύψος των στύλων (m)

Από τη συγκεκριμένη τιμή προκύπτει ότι ο συντελεστής ασφαλείας για τις συνθήκες αυτές είναι:

$$SF = \frac{C_p}{\sigma_p} = 2,57$$

Θεωρείται αποδεκτός καθώς από τους Obert και Duvall η προτεινόμενη τιμή συντελεστή ασφαλείας είναι μεγαλύτερη από 2. Σύμφωνα με το κριτήριο του Bieniawski η αντοχή των στύλων σε θλίψη εκτιμάται σε:

$$C_p = C_1 \left(0,64 + 0,36 \frac{W_p}{H_p} \right) = 69,98 \text{ MPa}$$

με συντελεστή ασφαλείας 2,64. Βάσει και του κριτηρίου αστοχίας του Bieniawski οι διαστάσεις που επιλέχθηκαν θεωρούνται ασφαλείς αφού το κριτήριο προτείνει συντελεστή ασφαλείας μεγαλύτερο του 2. Τέλος, σύμφωνα με το κριτήριο των Hedley και Grant, η αντοχή των στύλων σε θλίψη εκτιμάται σε:

$$C_p = C_1 \left(\frac{W_p^{0.75}}{H_p^{0.75}} \right) = 47,62 \text{ MPa}$$

Αντίστοιχα, ο συντελεστής ασφαλείας που προκύπτει από τα κριτήρια ασφαλείας που είναι χαρακτηριστικά του σχεδιασμού είναι ικανοποιητικά βάσει και αυτού του κριτηρίου αστοχίας καθώς ορίζει συντελεστή ασφαλείας μεγαλύτερο του 1,6.

4.1 Παραγωγικές εργασίες / Κύκλος εργασιών

Στα υπόγεια μέτωπα εργασίας η εφαρμοζόμενη μέθοδος εξόρυξης είναι αυτή της διάτρησης – ανατίναξης (drill and blast). Ο πλέον διαδεδομένος τρόπος διάτρησης είναι αυτός της μηχανικής διάτρησης. Βασίζεται στην εφαρμογή καταστροφικών τάσεων στο πέτρωμα που προέρχονται από διαδικασία κρούσης, απόξεσης, διείσδυσης, διάβρωσης ή και συνδυασμό αυτών, με σκοπό τη δημιουργία ορυγμάτων για την τοποθέτηση των εκρηκτικών υλών. Ο εξοπλισμός που απαιτείται για την όρυξη των διατρημάτων εξαρτάται από τη γεωμετρία του διατρήματος, τη σκληρότητα του πετρώματος και τις ιδιαίτερες συνθήκες όρυξης όπως για παράδειγμα τον ελάχιστο επιθυμητό ρυθμό διάτρησης, την υπάρχουσα παροχή ενέργειας, την επιθυμητή ευελιξία κ.λπ. (Αγιουτάντης, 2009). Με την ανατίναξη επιτυγχάνεται η λύση της συνέχειας του πετρώματος. Αυτό γίνεται είτε μέσω της διάδοσης του κρουστικού παλμού που παράγεται από την έκρηξη, είτε από την εκτόνωση του ωστικού κύματος των αερίων που παράγονται κατά την έκρηξη.

Η διάτρηση και η ανατίναξη γίνεται με προσβολή του πετρώματος είτε στο σύνολο του μετώπου ταυτόχρονα (full face excavation), είτε αρχικά στο άνω μέρος του μετώπου και στη συνέχεια στο κάτω υπό μορφή βαθμίδας (top heading & bench blasting). Η επιλογή μεταξύ των δύο μεθόδων καθορίζεται κυρίως από τις διαστάσεις του μετώπου, αλλά και από την ανθεκτικότητα του πετρώματος καθώς και από το διαθέσιμο εξοπλισμό διάτρησης, φόρτωσης και μεταφοράς των υλικών εκσκαφής. Η πρώτη μέθοδος (full face excavation) αφορά κοιτάσματα πάχους 5 έως 7 m και εφαρμόζεται για μέτωπα διατομής έως και 60 m², ενώ υπό προϋποθέσεις μπορεί να επεκταθεί και σε μέτωπα διατομής έως και 80 m². Σε κοιτάσματα μέτριου πάχους 5 έως 10 m εφαρμόζεται η μέθοδος με βαθμίδες, ενώ για μεγαλύτερα πάχη άνω των 15 m προτείνεται λιθογόμωση. Για μεγαλύτερες διατομές της τάξης μεγέθους άνω των 90 έως 100 m², εφαρμόζεται η δεύτερη μέθοδος (top heading & bench blasting).

Για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας γίνεται η παραδοχή ότι τα παραγωγικά μέτωπα διανοίγονται σε μία φάση με την προσβολή του συνόλου της διατομής τους, καθώς αφορούν σε μια μικρή σχετικά επιφάνεια περί των 22,5 m² (5 m x 4.5 m περίπου).

Όσων αφορά τον πυρήνα του έργου, αποτελείται από ένα σύνολο επαναλαμβανόμενων εργασιών που περιλαμβάνουν διάτρηση, γόμωση, ανατίναξη, αερισμό, φόρτωση και μεταφορά του μεταλλεύματος, ξεσκάρωμα και τέλος υποστήριξη του υπόγειου χώρου που δημιουργείται.

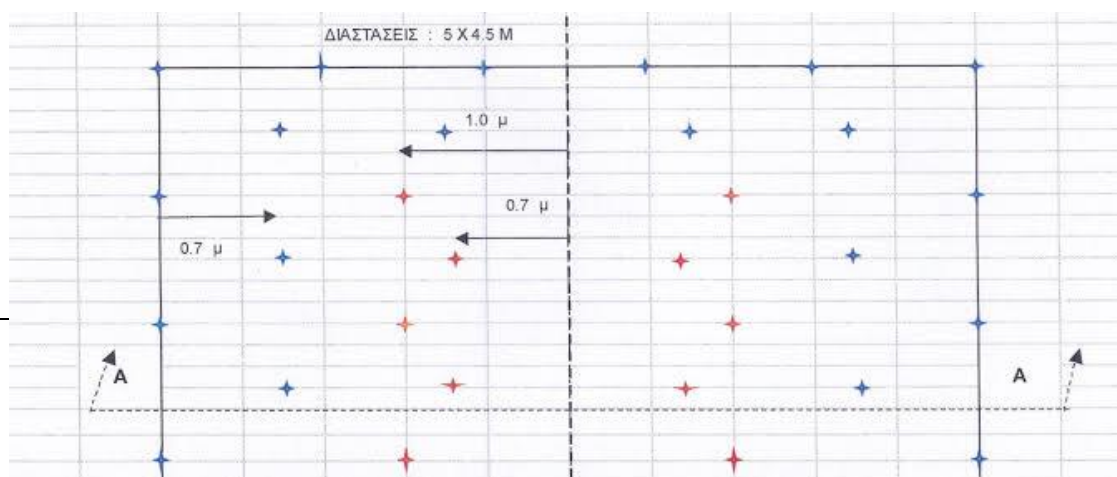
- Διάτρηση

Στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις η όρυξη των διατρημάτων πραγματοποιείται με τη χρήση φορείων διάτρησης (jumbo drills) αποτελούμενα από σφύρες συνηθέστερα ηλεκτρο –

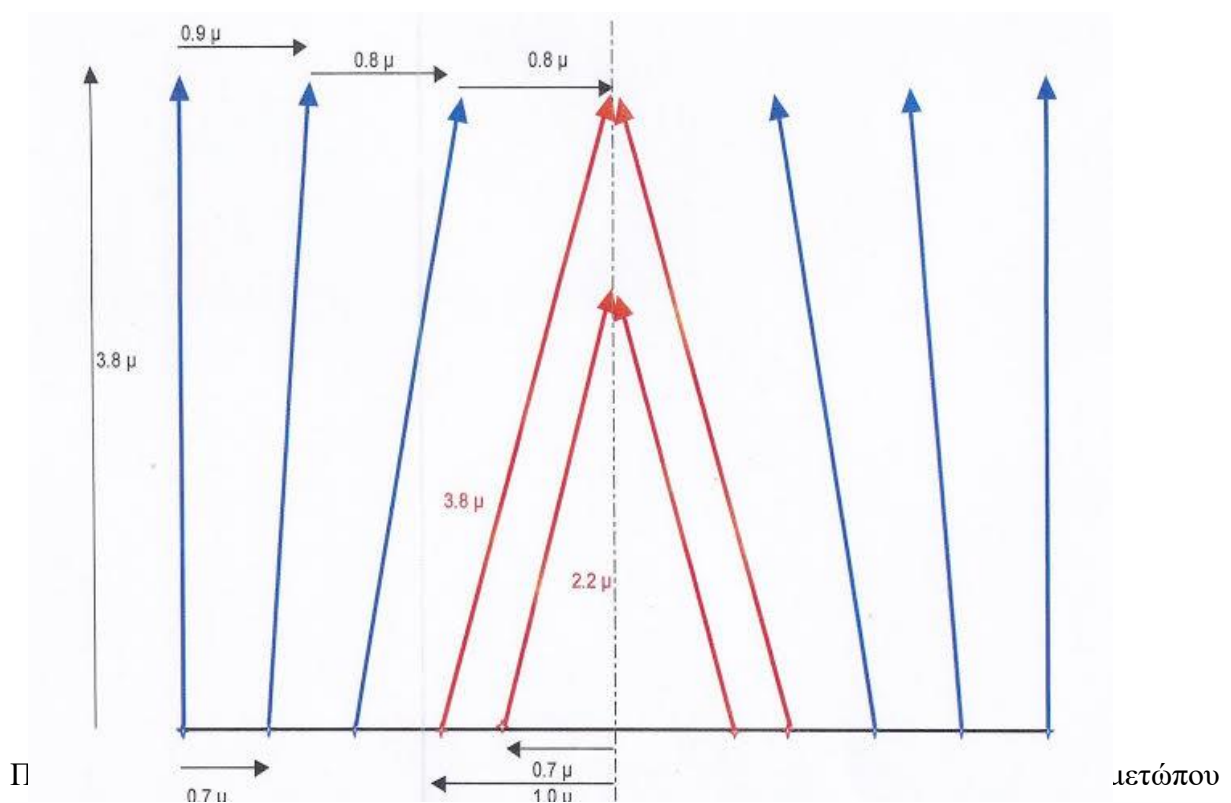
υδραυλικές ή δηζελο – υδραυλικές. «Τα συστήματα αυτά φέρουν συνήθως από έναν έως τρεις βραχίονες, οι οποίοι μπορούν να προσβάλλουν τα μέτωπα εξόρυξης με ένα ευρύ φάσμα γωνιών.» (Αγιουτάντης, 2009). Συνηθέστερα χρησιμοποιούνται τα ηλεκτροκίνητα συστήματα διάτρησης ώστε να εξασφαλίζεται καθαρό περιβάλλον εργασίας στο υπόγειο μέτωπο, αφού δεν παράγονται καυσαέρια κατά τη λειτουργία του κινητήρα εσωτερικής καύσης.

Η διάνοιξη των διατρημάτων των παραγωγικών μετώπων διενεργείται με σχέδιο διάτρησης, διάταξης μπουσόν τύπου V – cut. Συνολικά, ορύσσονται 48 διατρήματα μήκους 3,30 m και διαμέτρου 45 mm (Σχήμα 4.1). Η μικρότερη απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών διατρημάτων ορίζεται στα 1,4 m ενώ η μεγαλύτερη στα 2 m. Τα 6 κεντρικά διατρήματα αποτελούν τα διατρήματα προεκσκαφής (cut holes). Πυροδοτούνται πρώτα κατά την ανατίναξη και δημιουργούν την ελεύθερη επιφάνεια μέσω της οποίας θα ανακλαστεί το κρουστικό κύμα της έκρηξης των υπόλοιπων διατρημάτων. Τα 22 διατρήματα που διατάσσονται γύρω από τα διατρήματα προεκσκαφής αποτελούν τα διατρήματα της κύρια εκσκαφής (stopping holes). Τέλος, τα υπόλοιπα 20 διατρήματα αποτελούν τα περιμετρικά ή περιφερειακά (perimeter ή contour holes) τα οποία υποδιαιρούνται σε οροφής, παρειών και δαπέδου. Τα διατρήματα αυτά διανοίγονται με μικρή κλίση προς τα έξω, ώστε να δημιουργείται μετά από κάθε ο αναγκαίος χώρος για την τοποθέτηση της κεφαλής του διατρητικού μηχανήματος. Ακολουθεί το σχέδιο διάτρησης βάση του οποίου εργάζεται ο χειριστής κάθε διατρητικού συγκροτήματος (jumbo drill).

Σχήμα 4.1: Σχέδιο διάτρησης (πηγή: Δελφοί – Δίστομον Α.Μ.Ε.)



Σχήμα 4.2: Τομή σχεδίου διάτρησης V – cut με μπουσόν (πηγή: Δελφοί – Δίστομον Α.Μ.Ε.)



δεν ανέρχεται στα 3,80 m αλλά στα 3,50 m λόγω αδυναμίας της εκρηκτικής ύλης. Η απόκλιση αυτή θεωρείται αποδεκτή καθώς δεν υπερβαίνει το γενικό όριο του 10% του φορτίου. Με την παραπάνω παραδοχή, ο όγκος του εξορυσσόμενου υλικού ανά ανατίναξη και ανά μέτωπο ανέρχεται στα 78,75 bm^3 (in situ). Επί προσθέτως, κρίσιμος παράγοντας αποτελεί ο συντελεστής

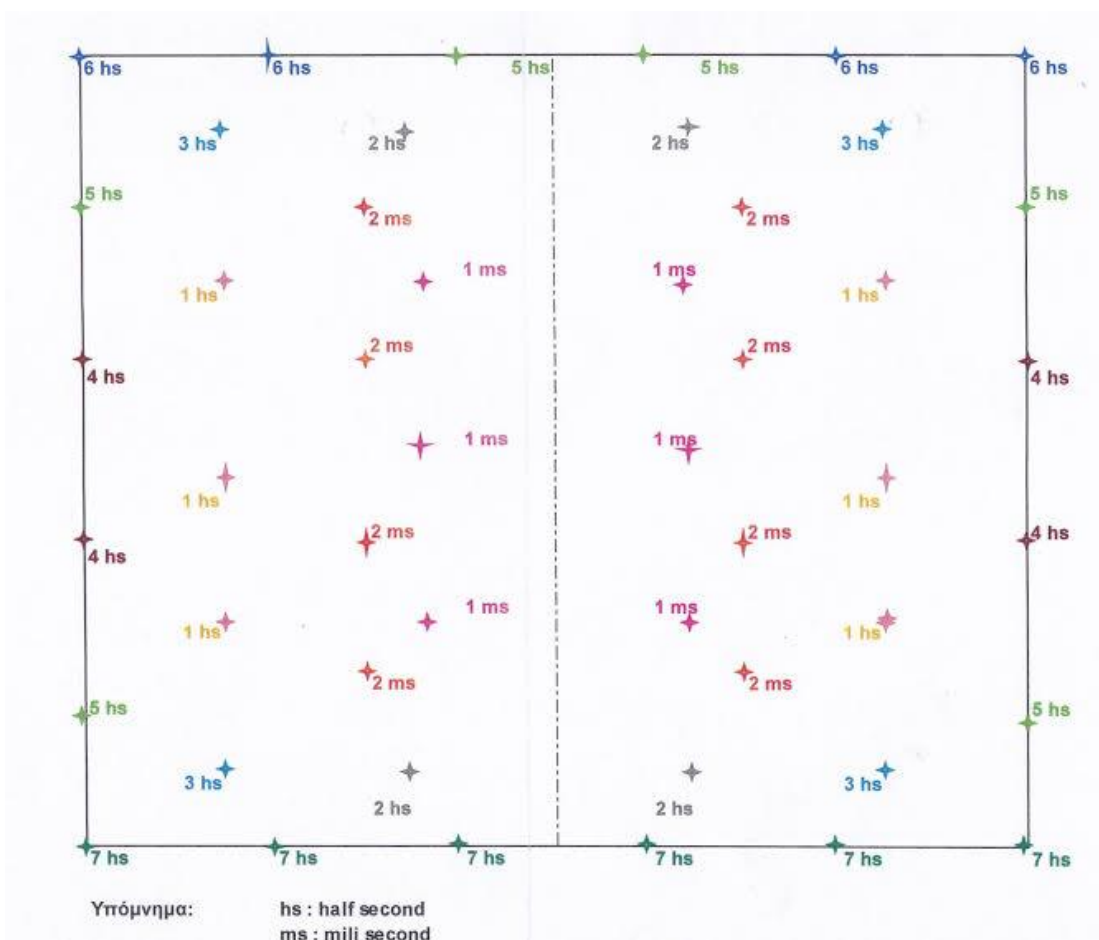
επιπλήσματος που για το βωξίτη ανέρχεται στο 1,3. Σύμφωνα με αυτόν ο όγκος του εξορυσσόμενου θραυσμένου υλικού ανά ανατίναξη και ανά μέτωπο ισοδυναμεί με 102,375 Im^3 .

- Γόμωση

Μετά το τέλος της διάτρησης ακολουθεί η διαδικασία της γόμωσης. Μία ομάδα εξειδικευμένων τεχνιτών που αποτελείται από γομωτές και πυροδότες, χρησιμοποιώντας την ειδική ανυψωτική πλατφόρμα, προχωρά στο γέμισμα των διατρημάτων. Σε κάθε διάτρημα τοποθετούνται δύο φυσιγγια εκρηκτικού γαλακτώματος κυκλικής διατομής και διαστάσεων 38 cm x 385 mm. Το βάρος κάθε φυσιγγίου ανέρχεται στα 0,51 kg σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές του κατασκευαστή. Προκειμένου να μπορέσει να γίνει η πυροδότηση, το πρώτο φυσιγγίου εκρηκτικού γαλακτώματος αρματώνεται με έναν ηλεκτρικό πυροκροτητή, ή όπως αλλιώς συνηθίζεται να λέγεται, «καψύλλιο». Τα καψύλλια εξυπηρετούν την έναυση της εκρηκτικής ύλης που περικλείεται στο διάτρημα. Πρόκειται για μικρά κυάθια αλουμινίου που περικλείουν ένα συνδυασμό εκρηκτικών υλικών, το στοιχείο επιβράδυνσης και την κεφαλή έναυσης. Περιέχουν επίσης δύο μονωμένους αγωγούς που μεταφέρουν την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για την έναυση του πυροκροτητή με σκοπό να μετατραπεί σε άλλη μορφή ενέργειας. Στις υπόγειες ανατινάξεις η χρήση των ηλεκτρικών καψυλλίων θεωρείται αρκετά διαδεδομένη λόγω της ευκολίας σύνδεσης και ελέγχου των κυκλωμάτων. Κάθε καψύλλιο έχει ένα διαφορετικό χρόνο έναυσης και ανατίναξης σε μια προσπάθεια να διαμορφωθούν ελεύθερες επιφάνειες ανά χρόνο ώστε να ανακλαστεί πάνω της το εκρηκτικό κύμα και να προκληθεί η μεγαλύτερη δυνατή ζημιά στο πέτρωμα. Διατίθενται καψύλλια με επιβράδυνση μισού δευτερολέπτου (hs – half second delay caps) ή χιλιοστού του δευτερολέπτου (ms – millisecond delay caps). Σε υπόγειες ανατινάξεις, όπου απαιτείται αρκετός χρόνος μεταξύ διαδοχικών εκρήξεων για τη μετατόπιση του θρυμματισμένου πετρώματος, συνηθίζεται η χρήση πυροκροτητών ημίσεως δευτερολέπτου που έχουν επιβράδυνση 500 ms μεταξύ των διαδοχικών περιόδων.

Το αρμάτωμα ξεκινά από τα εσωτερικά διατρήματα προεκκαφής αρχικής διάνοιξης (μικρό μπουσόν) και προχωρά προς τα εξωτερικά διατρήματα (μεγάλο μπουσόν). Στο λεγόμενο μικρό μπουσόν των έξι διατρημάτων τοποθετούνται ηλεκτρικά καψύλλια του μικρότερου δυνατού χρόνου έναυσης, δηλαδή N°1 έως N°3 millisecond. Στο μεγάλο μπουσόν των οκτώ διατρημάτων τοποθετούνται τα καψύλλια της αμέσως επόμενης διαβάθμισης, δηλαδή N° 4 έως N° 8 millisecond. Για τα υπόλοιπα διατρήματα, βοηθητικά (ή αλλιώς διατρήματα ανακούφισης) και

περιφερειακά, χρησιμοποιούνται ηλεκτρικά καψύλλια από N°1 έως N° 8 halfsecond. Τα τελευταία διατρήματα που εκτονώνονται διαμορφώνουν τις ελεύθερες επιφάνειες. Αν δεν χρησιμοποιούνται ειδικές τεχνικές ελεγχόμενων ανατινάξεων για τα διατρήματα αυτά, τότε η απόσταση μεταξύ τους είναι 20 έως 25 φορές τη διάμετρο των διατρημάτων (Dick et al., 1983).



Σχήμα 4.3: Χρόνοι πυροδότησης καψυλλίων στο σχέδιο γόμωσης (πηγή: Δελφοί – Δίστομον Α.Μ.Ε.)

Το υπόλοιπο διάτρημα πληρώνεται με χύδην μίγμα πορώδους νιτρικού αμμωνίου με καύσιμη ύλη, πυκνότητας $\rho = 0,8 \text{ g/cm}^3$. Το μίγμα αυτό είναι γνωστό ως πετραμμωνίτης αλλά συνήθως αποκαλείται με την εμπορική ονομασία A.N.F.O.. Το A.N.F.O. ανήκει στην κατηγορία των εκρηκτικών χαμηλής ευαισθησίας για αυτό και είναι απαραίτητη η έναυση του με ηλεκτρικό καψύλλιο. Ένας εμπειρικός κανόνας που συχνά εφαρμόζεται, ανάλογα βέβαια και με τη γεωλογία της περιοχής, είναι ότι το κάθε διάτρημα γομώνεται έως τα δύο τρίτα του μήκους του με το μίγμα νιτρικού αμμωνίου. Δεδομένου ότι τοποθετούνται 2 φυσίγγια εκρηκτικού

γαλακτώματος σε κάθε διάτρημα, καταλαμβάνουν μήκος 0,77 m μέσα στο διάτρημα. Με την ίδια λογική, το A.N.F.O. καταλαμβάνει 1,43 m μέσα στο διάτρημα, δηλαδή βάσει της προαναφερθείσας πυκνότητας του υλικού, ο όγκος του εκτιμάται στα $V_{ANFO, \text{διατρήματος}} = 0,0016 \text{ m}^3$. Αφού ολοκληρωθεί και η διαδικασία πλήρωσης των διατρημάτων με το A.N.F.O. οι γομωτές προχωρούν στη συνένωση των ηλεκτρικών καψυλλίων εν σειρά. Η εργασία ξεκινά από τη μία κάτω άκρη και τελειώνει στην απέναντι κάτω άκρη του μετώπου. Όπως αναφέρεται στο άρθρο 59: «Ειδικά μέτρα για την πυροδότηση με ηλεκτρικά καψύλλια» του Κανονισμού Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών, η πυροδότηση του ηλεκτρικού κυκλώματος πρέπει να γίνεται από ασφαλή θέση από τον εξειδικευμένο εργάτη. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται το καλώδιο σύνδεσης που ουσιαστικά είναι η επιμήκυνση του αγωγού του καψυλλίου έως ότου αυτό συνδεθεί με τον κεντρικό ηλεκτρικό αγωγό. Οι μονόκλωνοι αυτοί αγωγοί διατίθενται σε μήκη από 25 έως 300 m ή ακόμα και περισσότερο για ειδικές περιπτώσεις. Σε κάθε μέτωπο παραγωγής η απόσταση αυτή ορίζεται στα 15 m, ενώ το μήκος των καλωδίων των ηλεκτρικών καψυλλίων ανέρχεται στα 5 m. Εξέχουν δηλαδή περίπου 1,7 m καλωδίου από κάθε διάτρημα δεδομένου ότι τα διατρήματα έχουν μήκος 3,3 m. Επομένως πριν από κάθε ανατίναξη προστίθενται επιπλέον 13,3 m μονόκλωνου αγωγού τα οποία και συνδέονται με τον κεντρικό αγωγό (δίκλωνο καλώδιο). Από εκεί ξεκινά η πυροδότηση μέσω ενός πυροκροτητή. Θεωρούμε ότι η ανατίναξη πραγματοποιείται σε ιδανικές συνθήκες ομογενούς πετρώματος. Υπάρχει δηλαδή μια σχεδόν γραμμική σχέση ανάμεσα στο μέσο μέγεθος τεμαχίων που προκύπτουν από τη θραύση του πετρώματος και στην κατανάλωση ανά μέτρο εκρηκτικής στήλης.

- Ανατίναξη – Αερισμός

Με την ανατίναξη των διατρημάτων πέρα από την απόσπαση του πετρώματος παράγεται μεγάλος όγκος σκόνης αλλά και τοξικών αερίων, όπως NO_x , CO, CO_2 και άλλα. Ο καθαρισμός του μετώπου, η αραίωση και η απαγωγή των συγκεκριμένων ρύπων επιτυγχάνεται με τη βοήθεια κατάλληλων ηλεκτροκίνητων, αυτόματης λειτουργίας, ανεμιστήρων. Ο παραγόμενος αέρας διοχετεύεται στο τελικό προορισμό μέσω εύκαμπτων σωλήνων μεγάλης διατομής, γνωστά ως «πανιά αερισμού», που αναρτώνται από την οροφή της υπόγειας εκσκαφής.

- Φόρτωση – Μεταφορά

Η επόμενη φάση που ακολουθεί είναι αυτή της αποκομιδής του θραυσμένου μεταλλεύματος προς την επιφάνεια ή κάποια άλλη ενδιάμεση θέση απόθεσης. Για την εργασία αυτή

χρησιμοποιούνται ειδικά ντιζελοκίνητα μηχανήματα φόρτωσης και μεταφοράς υλικών (LHD – Load Haul Dump). Οι φορτωτές αυτοί είναι παρόμοιοι με τους συμβατικούς εμπρόσθιους φορτωτές, με τη διαφορά ότι διαθέτουν αρθρωτό σύστημα διεύθυνσης που τους κάνει κατάλληλους για την εκσκαφή υπόγειων χώρων όπου το ύψος και το πλάτος είναι περιορισμένα. Οι υπόγειοι φορτωτές που χρησιμοποιούνται, διαθέτουν κάδο χωρητικότητας 7 κυβικών γιαρδών ($7 \text{ yd}^3 = 5,35 \text{ m}^3$) και πληρότητας 75%. Γίνεται η παραδοχή ότι οι χώροι απόθεσης έχουν δημιουργηθεί σε απόσταση περίπου 500 m από τα παραγωγικά μέτωπα. Η μέση ταχύτητα κινήσεως του έμφορτου οχήματος αγγίζει τα 10 km/h, ενώ η μέση ταχύτητα κινήσεως του κενού οχήματος αγγίζει τα 15 km/h.

Συνήθως, τα μηχανήματα LHD χρησιμοποιούνται όταν η απόσταση μεταφοράς δεν ξεπερνά τα 500 m. Σε αντίθετη περίπτωση συνδυάζονται με φορτηγά υπογείων που εκτελούν το βασικό μεταφορικό έργο. Έτσι, πέραν των σημείων απόθεσης, την μεταφορά του μεταλλεύματος αναλαμβάνουν φορτωτές υπαίθρου. Μακριά από τα μέτωπα παραγωγής επικρατούν πιο ευνοϊκές συνθήκες για τη φόρτωση και τη μεταφορά, καθώς οι διαστάσεις των στοών αυξάνονται. Έτσι επιλέγεται η φόρτωση και η μεταφορά με υπαίθριους φορτωτές που έχουν μικρότερο κόστος λειτουργίας σε σχέση με τους φορτωτές υπογείων. Επί προσθέτως, αν και η χρήση μεταφορικής ταινίας είναι αρκετά συνηθισμένη, δεν επιλέγεται για τις παρούσες συνθήκες εξόρυξης

- **Ξεσκάρωμα**

Μετά την απομάκρυνση του εξορυγμένου βωξίτη, επιβάλλεται να γίνει αφαίρεση των επισφαλών όγκων πετρώματος που τυχόν βρίσκονται στην οροφή και στις παρειές της εκσκαφής, όπως προβλέπει ο Κανονισμός Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών. Τούτο γίνεται συνήθως είτε μηχανικά με τη χρήση ειδικού οχήματος (ξεσκαρωτής) με «νύχι» ή «σφυρί», είτε χειρονακτικά με εργαλεία μεγάλου μήκους, από εξειδικευμένους εργάτες.

- **Υποστήριξη**

Εν συνεχεία, οφείλεται να εξασφαλιστεί ότι δεν θα υπάρξει αστοχία της οροφής και πιο συγκεκριμένα πτώση τεμαχών της χαλαρωμένης ζώνης πετρώματος που δημιουργείται περιμετρικά της εκσκαφής λόγω των ανατινάξεων αλλά και προϋπαρχόντων συστημάτων ασυνεχειών ή σφηνών πετρώματος. Οι συνηθέστερες τεχνικές που εφαρμόζονται περιλαμβάνουν επένδυση από σκυρόδεμα, χαλύβδινα πλαίσια, ξύλινα υποστρώματα, κοχλίες, αγκύρια, καλώδια και άλλα. Η τεχνική οπλισμού του μετώπου που έχει υιοθετηθεί περιλαμβάνει την εισπίεση 2

φυσιγγίων θερμοσκληρόμενης πολυεστερικής ρητίνης και τη χρήση ομοιόμορφα κατανεμημένων αγκυρίων μήκους 2 m, ύστερα από ξηρή διάτρηση. Τα φυσίγγια έχουν μήκος 30 έως 120 cm και διάμετρο 2,5 έως 3,5 cm. Η συνήθης πρακτική στις υπόγειες βωξιτικές εκμεταλλεύσεις στον ελλαδικό χώρο, ορίζει την εγκάρσια απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κοχλιών στα 1,5 m όπως και τη διαμήκη απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κοχλιών εξίσου στα 1,5 m. Δηλαδή, η επιφάνεια που υποστηρίζει κάθε κοχλίας αντιστοιχεί σε 2,25 m². Σε δεύτερο χρόνο τοποθετείται μεταλλικό πλέγμα τύπου T188 σε όλη την επιφάνεια των παρυφών του μετώπου προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανότητες ολίσθησης και καταπτώσεων τεμαχών. Η τοποθέτηση του θεωρείται δυνατή καθώς η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κοχλιών δεν είναι μεγαλύτερη από 2 m και μπορεί έτσι να στηριχθεί το πλέγμα.

- Βοηθητικές εργασίες

Για την εκτέλεση των παραπάνω εργασιών είναι προφανές πως απαιτείται ηλεκτρικό ρεύμα, νερό και «φρέσκος αέρας» για τον αερισμό του υπό διάνοιξη υπόγειου χώρου. Αυτό συνεπάγεται την επέκταση των σχετικών δικτύων προκειμένου να ξεκινήσει ένας νέος κύκλος εργασιών. Παράλληλα, επιθυμητή είναι και η σχετική τοπογραφική αποτύπωση του φακού του εκμεταλλευόμενου κοιτάσματος.

5. ΧΡΟΝΟΙ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Στοχεύοντας στη βελτιστοποίηση της παραγωγής με ταυτόχρονη διατήρηση ενός λειτουργικά εφικτού πρότυπου εκμετάλλευσης, το πρώτο βήμα για το χρονικό προγραμματισμό αποτελεί η πρόβλεψη των τιμών ορισμένων μεταβλητών της εκμετάλλευσης με αποδεκτή ακρίβεια. Ως τέτοιες μεταβλητές ορίζονται οι χρόνοι διεξαγωγής των εκάστοτε δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα στα μέτωπα παραγωγής. Όπως αναφέρεται και στη διαθέσιμη

βιβλιογραφία οφείλεται να γίνεται διαχωρισμός μεταξύ του πραγματικού χρόνου και του συνολικού χρόνου των εργασιών προκειμένου να εξαχθούν αξιόπιστα αποτελέσματα.

5.1 Χρονική διάρκεια διάτρησης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, σε κάθε μέτωπο διανοίγονται 48 διατρήματα μήκους 3,30 m. Συνεπώς το συνολικό μήκος της ημερήσιας διάτρησης ανά μέτωπο ισοδυναμεί με 182,4 m. Για τις ανάγκες της εργασίας λαμβάνεται μέση ταχύτητα διάτρησης ίση με 1,5 m/min και 1 min/διάτρημα για την επανατοποθέτηση του βραχίονα στη θέση για την όρυξη του επόμενου διατρήματος. Όλα τα παραπάνω υποδηλώνουν ότι ο συνολικός χρόνος λειτουργίας του διατρητικού συστήματος jumbo με ένα βραχίονα ανά παραγωγικό μέτωπο είναι:

$$T_{\text{διάτρησης}} = \frac{L}{U_{\text{όρυξης}}} + t_{\text{επανατοποθέτησης}} \times \delta = 153,6 \text{ min}$$

Δηλαδή περί των 2,56 hr.

Όπου:

$T_{\text{διάτρησης}}$	ο συνολικός χρόνος λειτουργίας του διατρητικού συστήματος jumbo (min)
L	το μήκος της ημερήσιας διάτρησης ανά μέτωπο (m)
$U_{\text{όρυξης}}$	η ταχύτητα όρυξης διατρήματος (m/min)
$t_{\text{επανατοποθέτησης}}$	ο χρόνος επανατοποθέτησης του βραχίονα (min/διάτρημα)
Δ	ο αριθμός των διατρημάτων

Λόγω της αυξημένης διάρκειας της διαδικασίας της διάτρησης, είναι αναγκαία η χρήση διατρητικού συστήματος jumbo με δύο βραχίονες, δηλαδή δύο μπούμες, ώστε ο συνολικός χρόνος διεξαγωγής της παρούσας εργασίας να μειωθεί στις 1,27 hr.

5.2 Χρονική διάρκεια γόμωσης

Η δεύτερη φάση του καθημερινού και επαναλαμβανόμενου κύκλου εργασιών αφορά την γόμωση των διατρημάτων που διανοίχθηκαν προηγουμένως. Σε μία τυπική βάρδια για τη

γόμωση των 48 διατρημάτων ανά μέτωπο συνεργάζονται 3 ειδικευμένοι εργάτες, χρησιμοποιώντας τη βοηθητική ανυψωτική πλατφόρμα. Εμπειρικοί υπολογισμοί έχουν δείξει ότι ο χρόνος εργασίας που απαιτείται για την γόμωση ενός διατρήματος ανά ένα εργαζόμενο ισοδυναμεί με 2 min. Παράλληλα οι διάφορες καθυστερήσεις που οφείλονται κυρίως σε μετακινήσεις της βοηθητικής ανυψωτικής πλατφόρμας υπολογίζονται σε 15 min. Βασίζόμενοι στις παραπάνω παραδοχές υπολογίζεται ότι ο συνολικός χρόνος διεξαγωγής της διαδικασίας της γόμωσης σε κάθε μέτωπο παραγωγής είναι:

δηλαδή 0,78 hr.

Όπου:

$T_{\text{γόμωσης}}$	ο συνολικός χρόνος της γόμωσης (min)
n_1	τα διατρήματα ανά μέτωπο
n_2	οι εργαζόμενοι ανά μέτωπο
$t_{\text{εργασίας}}$	ο χρόνος εργασίας που απαιτείται για την γόμωση ενός διατρήματος ανά ένα εργαζόμενο (min)
$t_{\text{καθυστερήσεων}}$	οι διάφορες καθυστερήσεις (min)

5.3 Χρονική διάρκεια ανατίναξης και αερισμού

Ο χρόνος αναμονής από την ανατίναξη έως ότου επιστρέψουν οι εργαζόμενοι στα πόστα εργασίας και να συνεχιστεί ο κύκλος εργασιών, για την εκκαθάριση της ατμόσφαιρας από την σκόνη και τις αναθυμιάσεις εξαρτάται από τη ταχύτητα κινήσεως του αέρα μέσω του φυσικού εξαερισμού και την αποτελεσματικότητα του υπόγειου συστήματος αερισμού. Μια μέση

διάρκεια απομάκρυνσης των τοξικών αερίων και του καπνού που δημιουργείται από την έκρηξη σε υπόγειες εκμεταλλεύσεις βωξίτη ανέρχεται στα 30 min για κάθε παραγωγικό μέτωπο.

5.4 Χρονική διάρκεια φόρτωσης και μεταφοράς

Εν συνεχεία της ανατίναξης και του «ξεκαπνίσματος», ο εξορυσσόμενος όγκος του βωξίτη φορτώνεται και μεταφέρεται στις θέσεις απόθεσης. Προκειμένου να μεταφερθεί ο βωξίτης που εξορύχτηκε ύστερα από ανατίναξη στο μέτωπο παραγωγής, απαιτούνται:

$$z = \frac{V_I}{CxD} \approx 22 \text{ διαδρομές}$$

Όπου:

Z	οι διαδρομές του φορτωτή
V _I	ο όγκος του θραυσμένου υλικού ανά ανατίναξη και ανά μέτωπο (lm ³)
C	η χωρητικότητα του κάδου του φορτωτή (m ³)
D	οι πληρότητα του κάδου του φορτωτή (%)

Η απόσταση μεταξύ των παραγωγικών μετώπων και των σημείων απόθεσης σε συνδυασμό με τις ταχύτητες κινήσεως και τις διάφορες καθυστερήσεις που εκτιμούνται σε 3 min, οδηγούν σε χρόνο κύκλου φορτωτή:

$$t_{\text{φορτωτή}} = \frac{S}{U_{\text{έμφορτου}}} + \frac{S}{U_{\text{κενού}}} + t_{\text{ελιγ.}} = 8 \text{ min}$$

Όπου:

$t_{\text{φορτωτή}}$	ο χρόνος κύκλου κάθε φορτωτή (min)
S	η απόσταση του μετώπου από τους χώρους απόθεσης του μεταλλεύματος (m)
$U_{\text{έμφορτου}}$	η μέση ταχύτητα κινήσεως του έμφορτου οχήματος (km/h)
$U_{\text{κενού}}$	η μέση ταχύτητα κινήσεως του κενού οχήματος (km/h)
$t_{\text{ελιγμών}}$	ο χρόνος ελιγμών (min)

Δηλαδή, βάση του χρόνου κύκλου, ο συνολικός χρόνος μεταφοράς του εξορυσσόμενου βωξίτη ανά ανατίναξη και ανά μέτωπο με ένα φορτωτή υπογείων αντιστοιχεί σε:

$$T_{\text{φ-μ}} = z \times t_{\text{φορτωτή}} = 176 \text{ min}$$

Δηλαδή περί των 2,93 hr.

Επειδή ο συνολικός χρόνος φόρτωσης με ένα μηχάνημα εμφανίζεται αρκετά αυξημένος, προκειμένου να βελτιστοποιηθούν οι χρόνοι εκτέλεσης των εργασιών άρα και ημερήσια παραγωγή, έχει επιλεγεί η χρήση τριών υπόγειων φορτωτών ανά μέτωπο. Αποτέλεσμα αυτού είναι ο χρόνος φόρτωσης και μεταφοράς του πετρώματος με τους φορτωτές υπογείων να υποτριπλασιαστεί στα 58 min, δηλαδή 0,97 hr.

Καθότι οι φορτωτές υπαίθρου δεν εργάζονται κοντά στα μέτωπα παραγωγής, ο χρόνος λειτουργίας τους δεν περιλαμβάνεται στον ημερήσιο κύκλο εργασιών.

5.5 Χρονική διάρκεια ξεσκαρώματος

Η αφαίρεση των επισφαλών όγκων από την οροφή και τις παρειές του μετώπου είναι μία διαδικασία που δύναται να διαρκέσει από μηδενικό χρόνο έως και αρκετές ώρες ανάλογα με τις απαιτήσεις σε ξεσκάρωμα. Σε ένα τυπικό κύκλο εργασιών, για υπόγειες εκμεταλλεύσεις βωξίτη, το ξεσκάρωμα διαρκεί περίπου $T_{\text{ξεσκαρώματος}} = 30 \text{ min}$.

5.6 Χρονική διάρκεια υποστήριξης

Ο καθημερινός κύκλος εργασιών ολοκληρώνεται με την υποστήριξη του νέου υπόγειου χώρου που δημιουργήθηκε από τις εργασίες που προηγήθηκαν. Σε κάθε παραγωγικό μέτωπο το μέγεθος του υπόγειου αυτού χώρου ανέρχεται σε 13,5 m². Κατά το πρώτο στάδιο της υποστήριξης πραγματοποιείται η όρυξη των διατρημάτων για την τοποθέτηση των κοχλιών και των φυσίγγων ρητίνης. Όπως έχει ήδη αναφερθεί η επιφάνεια της οροφής που υποστηρίζει κάθε κοχλίας αντιστοιχεί σε 2,25 m². Συνεπώς, σε κάθε μέτωπο τοποθετούνται:

$$κ = \frac{E}{\varepsilon} \approx 6 \text{ κοχλίες}$$

Όπου:

Κ	ο αριθμός κοχλιών ανά μέτωπο
Ε	η έκταση του υπόγειου χώρου που δημιουργείται (m ²)
ε	η επιφάνεια που υποστηρίζει κάθε κοχλίας (m ²)

Τα διατρήματα που διανοίγονται έχουν μήκος 2 m, δηλαδή συνολικά ορύσσονται 14 m. Η ταχύτητα όρυξης κάθε διατρήματος εκτιμάται στα 1,6 m/min και ο χρόνος επανατοποθέτησης του βραχίονα σε 1 min/ διάτρημα. Ακολούθως, γίνεται η τοποθέτηση κάθε κοχλίας σε χρόνο 2 min. Κατά το δεύτερο στάδιο το προστατευτικό μεταλλικό πλέγμα, που αγκυρώνεται σε όλη την έκταση του νέου υπόγειου χώρου, τοποθετείται με ταχύτητα 1 min/ m². Οι παραπάνω παραδοχές μας υποδεικνύουν ότι ο συνολικός χρόνος υποστήριξης της οροφής ανέρχεται σε:

$$T_{\text{υποστήριξης}} = \frac{L}{V_{\text{όρυξης}}} + t_{\text{επανατοποθέτησης}} \times \delta + (t_{\text{κοχλίας}} \times \kappa) + (V_{\text{πλέγματος}} \times E) = 39 \text{ min}$$

δηλαδή 0,65 hr.

Όπου:

$T_{\text{υποστήριξης}}$	ο συνολικός χρόνος της υποστήριξης (min)
L	το συνολικό μήκος διάτρησης ανά μέτωπο (m)
$V_{\text{όρυξης}}$	η ταχύτητα όρυξης κάθε διατρήματος (m/min)
$t_{\text{επανατοθέτησης}}$	ο χρόνος επανατοποθέτησης του βραχίονα (min/διάτρημα)
Δ	ο αριθμός των διατρημάτων
$t_{\text{κοχλία}}$	ο απαιτούμενος χρόνος τοποθέτησης κάθε κοχλία
$V_{\text{πλέγματος}}$	η ταχύτητα τοποθέτησης του μεταλλικού πλέγματος (min/m ²)
$t_{\text{καθυστερήσεων}}$	οι διάφορες καθυστερήσεις (min)

6. ΧΡΟΝΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Στόχος του χρονικού προγραμματισμού του έργου είναι η εύρεση μιας βέλτιστης λύσης εκμετάλλευσης του υπάρχοντος κοιτάσματος βωξίτη σύμφωνα με τις θεμελιώδεις αρχές εκμετάλλευσης. Αντικείμενο της μελέτης αυτής αποτελούν ο έλεγχος του χρόνου, του κόστους και της ποιότητας του έργου σε όλα τα επίπεδα ανάπτυξης του. Με άλλα λόγια γίνεται μία

προσπάθεια ανάπτυξης ενός μεταλλευτικού προτύπου εκμετάλλευσης που θα ακολουθεί έναν επιθυμητό ρυθμό παραγωγής χωρίς να υπολειπεται ή να υπολειπεται το όλο σύστημα.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν όλα τα παραπάνω, εκτιμάται ότι βέλτιστη λύση αποτελεί η εκμετάλλευση σε $\mu = 4$ παραγωγικά μέτωπα και σε 2 βάρδιες ανά ημέρα. Η πρώτη βάρδια ξεκινά στις 6:00 π.μ., διαρκεί 8 ώρες και ολοκληρώνεται στις 14:00 μ.μ.. Η δεύτερη βάρδια ξεκινά στις 14:00 μ.μ., διαρκεί εξίσου 8 ώρες και ολοκληρώνεται στις 22:00 μ.μ..

6.1 Προσομοίωση του χρονικού προγραμματισμού

Ο χρονικός προγραμματισμός των εργασιών κάθε παραγωγικού μετώπου πραγματοποιείται με τη απεικόνιση του σε διάγραμμα Gantt. Κάθε διάγραμμα Gantt συμβολίζει με ράβδους τις χρονικές στιγμές έναρξης και λήξης των επιμέρους εργασιών που απαρτίζουν κάθε έργο μέχρι την ολοκλήρωσή του. Παρουσιάζει δηλαδή όλο τον κύκλο των εργασιών όπου η θέση και το μήκος κάθε ράβδου, με την κατάλληλη κλίμακα, αντικατοπτρίζει την ώρα έναρξης, τη χρονική διάρκεια και την ώρα λήξης κάθε δραστηριότητας. Τέτοιου είδους διαγράμματα, όπως αυτά που ακολουθούν, δείχνουν και τις σχέσεις εξάρτησης μεταξύ των εργασιών, δηλαδή είναι φανερό ποιες αλληλεξαρτούνται, ποιες αλληλεπικαλύπτονται και για πόσο χρονικό διάστημα ή ακόμα και ποιες δύναται να πραγματοποιηθούν την ίδια χρονική στιγμή.

Στη συνέχεια στα διαγράμματα δίνεται ο καθημερινός κύκλος εργασιών στο πρώτο μέτωπο παραγωγής που ξεκινά με τη διάτρηση και συνεχίζεται με τη γόμωση των διατρημάτων που ορύχθηκαν, την ανατίναξη και το ξεκάπνισμα του μετώπου, τη φόρτωση και τη μεταφορά του εξορυσσόμενου βωξίτη και ολοκληρώνεται με την υποστήριξη του νέου υπόγειου χώρου που δημιουργήθηκε. Η διάτρηση, η γόμωση και η ανατίναξη εκτελούνται κατά την πρώτη βάρδια, ενώ οι υπόλοιπες εργασίες που περιλαμβάνουν τη φόρτωση και τη μεταφορά, το ξεσκάρωμα και την υποστήριξη εκτελούνται κατά τη δεύτερη βάρδια. Καμία από τις παραπάνω εργασίες δεν αλληλεπικαλύπτει την άλλη, αλλά εκτελούνται διαδοχικά. Γίνεται η παραδοχή ότι ο χρόνος μετακίνησης των μηχανημάτων μεταξύ των μετώπων αντιστοιχεί σε 10 min για κάθε περίπτωση.

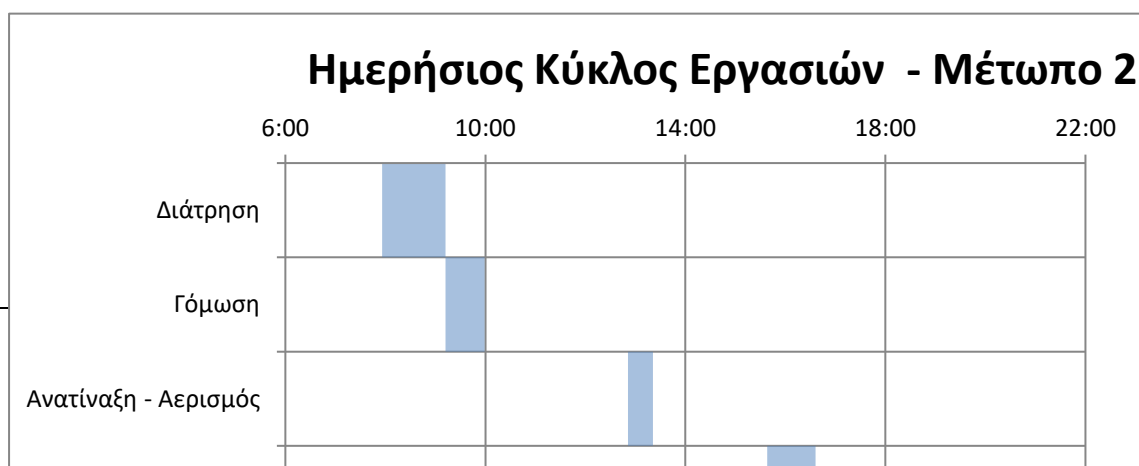
➤ 1^ο μέτωπο παραγωγής



Διάγραμμα 6.1: Ημερήσιος κύκλος εργασιών στο πρώτο μέτωπο

Στο πρώτο μέτωπο παραγωγής οι εργασίες ξεκινούν στις 6:30 π.μ. προκειμένου να ετοιμαστούν και να μεταβούν οι εργάτες στο μέτωπο, διαρκεί 10:07 ώρες και ολοκληρώνεται στις 16:37 μ.μ.. Από τις 16:37 μ.μ. έως τη λήξη της βάρδιας στις 22:00 μ.μ. δεν πραγματοποιούνται περεταίρω εργασίες στο μέτωπο 1.

➤ 2^ο μέτωπο παραγωγής



Διάγραμμα 6.2: Ημερήσιος κύκλος εργασιών στο δεύτερο μέτωπο

Στο δεύτερο παραγωγικό μέτωπο οι εργασίες ξεκινούν στις 7:56 π.μ., δηλαδή όταν ολοκληρωθεί η διάτρηση στο πρώτο μέτωπο και μετακινηθεί το σύστημα διάτρησης στο δεύτερο μέτωπο. Ο κύκλος όλων αυτών των δραστηριοτήτων διαρκεί 09:49 ώρες και ολοκληρώνεται στις 17:45 μ.μ.. Από τις 17:45 μ.μ. έως τη λήξη της βάρδιας στις 22:00 μ.μ. δεν πραγματοποιούνται περαιτέρω εργασίες στο μέτωπο 2.

➤ 3^ο μέτωπο παραγωγής



Διάγραμμα 6.3: Ημερήσιος κύκλος εργασιών στο τρίτο μέτωπο

Στο τρίτο μέτωπο παραγωγής οι εργασίες ξεκινούν στις 9:22 π.μ., δηλαδή όταν ολοκληρωθεί η διάτρηση και στο δεύτερο μέτωπο και μετακινηθεί το σύστημα διάτρησης στο τρίτο. Ο κύκλος όλων αυτών των δραστηριοτήτων διαρκεί 09:31 ώρες και ολοκληρώνεται στις 18:53 μ.μ.. Από τις 18:53 μ.μ. έως τη λήξη της βάρδιας στις 22:00 μ.μ. δεν πραγματοποιούνται περαιτέρω εργασίες στο μέτωπο 3.

➤ 4^ο μέτωπο παραγωγής



Διάγραμμα 6.4: Ημερήσιος κύκλος εργασιών στο τέταρτο μέτωπο

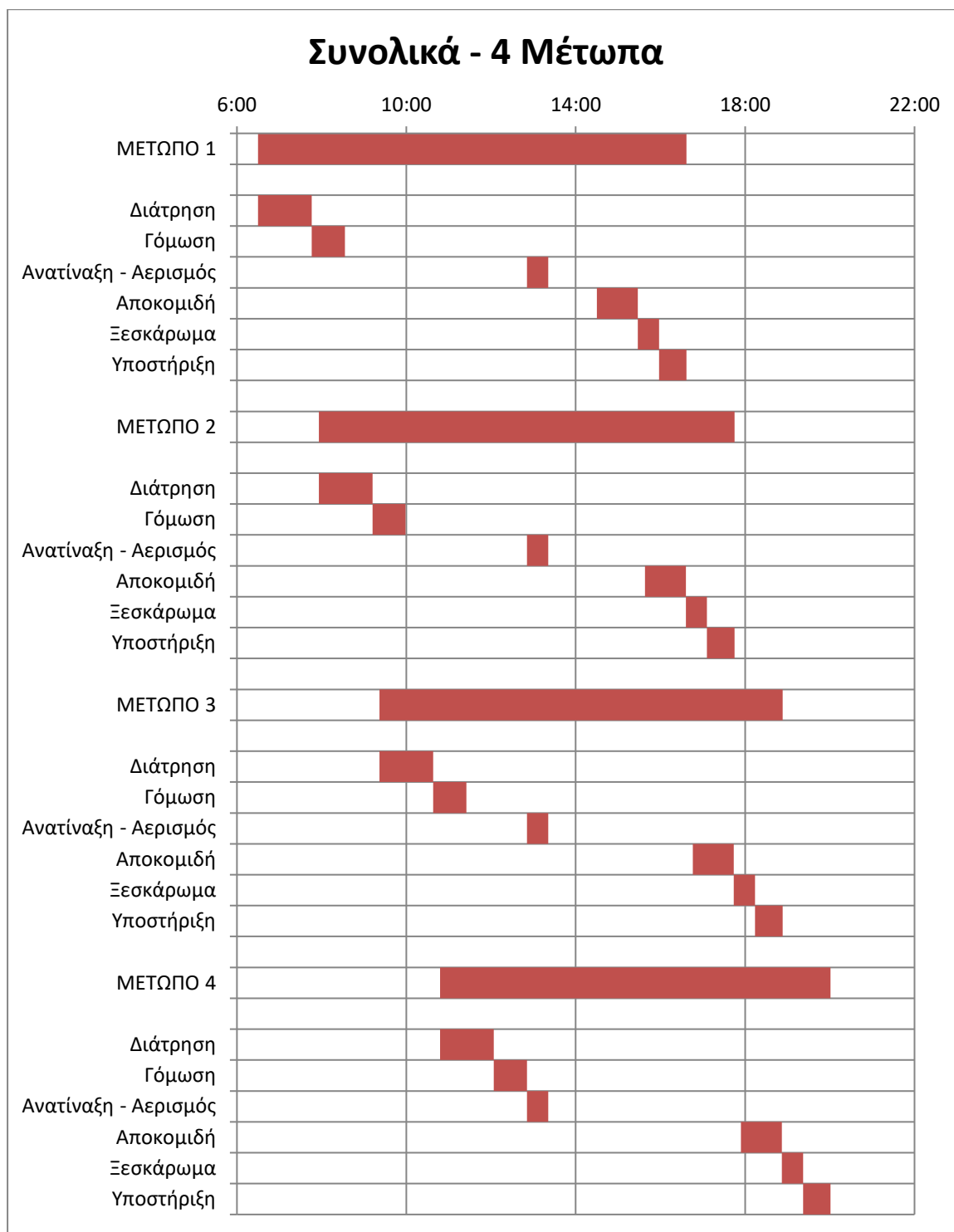
Ο κύκλος των εργασιών ξεκινά στις 11:48 π.μ., δηλαδή όταν ολοκληρωθεί η διάτρηση στο και στο τρίτο μέτωπο και μετακινηθεί το σύστημα διάτρησης στο τέταρτο. Ο κύκλος όλων αυτών των δραστηριοτήτων διαρκεί 9:13 ώρες και ολοκληρώνεται στις 20:01 μ.μ.. Από τις 20:01 μ.μ. έως τη λήξη της βάρδιας στις 22:00 μ.μ. δεν πραγματοποιούνται περεταίρω εργασίες στο μέτωπο 4.

➤ Συνολικός χρονικός προγραμματισμός

Όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως συνοψίζονται στον πίνακα 6.5 και απεικονίζονται στο διάγραμμα 6.6.

Πίνακας 6.5: Ημερήσιος χρονικός προγραμματισμός των εργασιών για τα τέσσερα μέτωπα

		ΜΕΤΩΠΟ 1		ΜΕΤΩΠΟ 2		ΜΕΤΩΠΟ 3		ΜΕΤΩΠΟ 4	
		Έναρξη	Λήξη	Έναρξη	Λήξη	Έναρξη	Λήξη	Έναρξη	Λήξη
01:16	Διάτρηση	06:30	07:46	07:56	09:12	09:22	10:38	10:48	12:04
00:47	Γόμωση	07:46	08:33	09:12	09:59	10:38	11:49	12:04	12:51
	Ανατίναξη	-	-	-	-	-	-	-	-
00:30	Αερισμός	13:21							
00:58	Αποκομιδή	14:30	15:28	15:38	16:36	16:46	17:44	17:54	18:52
00:30	Ξεσκάρωμα	15:28	15:58	16:36	17:06	17:44	18:14	18:52	19:22
00:39	Υποστήριξη	15:58	16:37	17:06	17:45	18:14	18:53	19:22	20:01
00:10	Μετακινήσεις								



Διάγραμμα 6.6: Ημερήσιος χρονικός προγραμματισμός των εργασιών για τα τέσσερα μέτωπα

Όπως φαίνεται η παραγωγή έχει διαρθρωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε οι εργασίες του κύκλου να χωρίζονται σε δύο βάρδιες . Η επιλογή εξυπηρετεί κυρίως την ασφάλεια του

προσωπικού. Μετά το πέρας της διάτρησης και της γόμωσης σε κάθε μέτωπο και τη λήψη όλων των απαραίτητων μέτρων ασφαλείας από τους εντεταλμένους εργαζόμενους, όπως αναφέρετε στις σχετικές διατάξεις του Κανονισμού Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών. (Άρθρο 57: Προετοιμασία πυροδότησης των υπονόμων – Εκκένωση περιοχής), πραγματοποιείται η ανατίναξη ταυτόχρονα και στα τέσσερα μέτωπα στο τέλος της βάρδιας. Έτσι, και δεν υπάρχουν εργαζόμενοι σε κοντινές αποστάσεις και εκμεταλλεύεται ο νεκρός χρόνος μεταξύ της αλλαγής των βαρδιών. Επιπλέον έχει επιλεχθεί η δεύτερη βάρδια να ολοκληρώνεται με τη φάση της υποστήριξης ώστε στο τέλος της ημέρας να μην μένει ανυποστήρικτο το μέτωπο, όπως άλλωστε συνηθίζεται στις ελληνικές υπόγειες βωξιτικές εκμεταλλεύσεις.

7. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ

Όπως είναι φυσικό, η επιλογή του βέλτιστου ρυθμού παραγωγής του μεταλλείου αποφέρει και τη μεγαλύτερη απόδοση και στη μεταλλευτική βιομηχανία. Συνεπώς, καθοριστικής σημασίας είναι ο ακριβής υπολογισμός της παραγωγής, βάσει των εκτιμώμενων αποθεμάτων του κοιτάσματος, προκειμένου να εκτιμηθεί η βιωσιμότητα της εκμετάλλευσης και να βελτιστοποιηθούν τα οικονομικά κριτήρια της εκάστοτε επένδυσης.

Λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος της παραγωγής του μεταλλείου, στο βαθμό που είναι επιτρεπτό, η ετήσια παραγωγή υπολογίζεται σε 236.115 tn βωξίτη. Η επιλογή των τεσσάρων μετώπων ως βέλτιστη λύση, σε συνδυασμό με τον όγκο του εξορυσσόμενου υλικού ανά μέτωπο και ανατίναξη και το ειδικό βάρος του βωξίτη, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η ημερήσια δυναμικότητα του μεταλλείου ανέρχεται στους 891 tn. Έτσι, καθότι καθημερινά εργάζονται δύο οκτάωρες βάρδιες και συνολικά το μεταλλείο λειτουργεί 265 μέρες ετησίως, η ετήσια δυναμικότητά του αντιστοιχεί σε 236.115 tn, γεγονός που ισοδυναμεί σχεδόν με $\Delta = 151$ ημέρες εργασίας.

8. ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

Δεδομένου ότι η παραγωγή αποτελείται από μία σειρά συνεχόμενων και επαναλαμβανόμενων εργασιών και με την προϋπόθεση ότι το προϊόν που παράγεται είναι ομοιογενές, η εκτίμηση του κόστους του συγκεκριμένου υπόγειου βωξιτικού μεταλλείου γίνεται με τη μέθοδο της ανιούσας εκτίμησης ή εκτίμησης από κάτω προς τα πάνω (bottom up estimating). Η υπό εξέταση μέθοδος δύναται να εξάγει μία αξιόπιστη εκτίμηση του συνολικού κόστους του έργου βασιζόμενη στα επιμέρους κέντρα κόστους που την απαρτίζουν. Πιο συγκεκριμένα, το τελικό κοστολόγιο προκύπτει κατόπιν συνάθροισης των λειτουργικών δαπανών, των δαπανών προσωπικού και των αποσβέσεων κεφαλαίου κάθε ανεξάρτητης δραστηριότητας.

Προκειμένου να εξαχθεί ένα αξιόπιστο αποτέλεσμα η τιμολόγηση των αναλώσιμων υλικών, των μηχανημάτων και των εργασιών που διεκπεραιώνονται καθημερινά έγινε σε συνεργασία με το Μεταλλειολόγο Μηχανικό της εταιρίας «ΑΦΟΙ ΠΑΠΑΙΩΑΝΝΟΥ Α.Ε.» Γρηγόρη Μπράχο. Οι τιμές που δίνονται παρακάτω αναφέρονται στις παρούσες συνθήκες της αγοράς και ενδέχεται να παρουσιάζουν κάποια διαφοροποίηση από την πραγματικότητα. Επίσης, δεν συμπεριλαμβάνεται ο Φόρος Προστιθέμενης Αξίας (Φ.Π.Α.) στην τιμολόγηση των δαπανών.

Για να υπάρξει μια καλύτερη εικόνα της οικονομικότητας της εκμετάλλευσης, υπολογίζεται αρχικά το συνολικό κόστος και στη συνέχεια εκφράζεται ανά μονάδα προϊόντος, όπως και συνηθίζεται. Στην παρούσα περίπτωση εκφράζεται σε €/tn.

8.1 Κοστολόγηση λειτουργικών δαπανών

- Κοστολόγηση διάτρησης

Σε κάθε μέτωπο εργασίας ο ημερήσιος και επαναλαμβανόμενος κύκλος εργασιών ξεκινά με τη φάση της διάτρησης που πραγματοποιείται με συγκροτήματα (jumbo drills) αποτελούμενα από αυτόνομες δηζελο – υδραυλικές μονάδες οι οποίες φέρουν δύο βραχίονες, για να προσβάλλουν τα μέτωπα εξόρυξης στο βέλτιστο χρόνο. Συνεπώς, όσων αφορά τα αναλώσιμα υλικά του διατρητικού συστήματος, χρησιμοποιούνται 2 κοπτικά άκρα (κορώνες) και 2 κύρια στελέχη ανά μηχανήμα.

Το κόστος της φάσης της διάτρησης περιλαμβάνει:

1. Κόστος κοπτικών άκρων
2. Κόστος στελεχών

3. Κόστος λειτουργίας διατηρητικού μηχανήματος

- ο Κόστος κοπτικών άκρων

Κάθε κοπτικό άκρο έχει τη δυνατότητα να ορύσσει ημερήσια:

$$\delta 1 = \frac{x \times \mu}{\alpha 1} = 316,8 \text{ m}$$

Όπου:

X	το συνολικό μήκος διάτρησης ανά μέτωπο (m)
μ	ο αριθμός των μετώπων
α1	ο αριθμός των κορωνών

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή ο συγκεκριμένος τύπος κοπτικού άκρου που χρησιμοποιείται δύναται να ορύσσει έως 500 m στις παρούσες γεωλογικές συνθήκες, ενώ το κόστος αγοράς του ανέρχεται στα 50 € χωρίς Φ.Π.Α..

Συνυπολογίζοντας όλα τα παραπάνω, το συνολικό κόστος αγοράς των κοπτικών άκρων που απαιτούνται για την υπόγεια εκμετάλλευση του βωξιτικού κοιτάσματος εκτιμάται στα:

$$\text{Κκ. άκρων} = \left(\frac{\alpha 1 \times \text{Τκ. άκρων} \times \delta 1}{\delta 1'} \right) \times \Delta = 9.567 \text{ €}$$

Όπου:

$T_{κ.άκρων}$	η τιμή πώλησης κάθε κορώνας (€)
$\delta 1'$	η διάρκεια ζωής κάθε κορώνας (m)
Δ	οι συνολικές ημέρες λειτουργίας του έργου

ο Κόστος στελεχών

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία υπολογίζεται και το συνολικό κόστος κτήσης των κυρίως στελεχών των βραχιόνων του υπόγειου διατρητικού συστήματος jumbo. Έχοντας επιλέξει διατρητικό μηχάνημα δύο βραχιόνων ως βέλτιστη λύση, απαιτούνται 2 κυρίως στελέχη, ενώ κάθε στέλεχος ορύσσει ημερήσια $\delta 2 = \delta 1 = 316,8$ m. Κατά την αγορά των στελεχών, κόστους 245 €, οι προδιαγραφές που δόθηκαν από τον κατασκευαστή ορίζουν ότι κάθε στέλεχος έχει διάρκεια ζωής 5.000 m. Συμπερασματικά, το συνολικό κόστος αγοράς όλων των στελεχών ανέρχεται στα:

$$Κ_{\text{στελεχών}} = \left(\frac{\alpha 2 \times T_{\text{στελεχών}} \times \delta 2}{\delta 2'} \right) \times \Delta = 4.688 \text{ €}$$

Όπου:

$\alpha 2$	ο αριθμός των στελεχών
$T_{\text{στελεχών}}$	το κόστος αγοράς κάθε στελέχους (€)
$\delta 2$	η ημερήσια διάτρηση κάθε (m/ημ.)
$\delta 2'$	η διάρκεια ζωής κάθε στελέχους (m)

ο Κόστος λειτουργίας διατρητικού μηχανήματος

Εκτός από τα αναλώσιμα υλικά, βασικό στοιχείο για τον ακριβή υπολογισμό του γενικού κόστους της φάσης της διάτρησης αποτελεί το κόστος λειτουργίας του εξοπλισμού. Οι τεχνικές προδιαγραφές του υπόγειου διατρητικού συστήματος jumbo που παρέχονται από τον κατασκευαστή, σε συνδυασμό με τη προϋπάρχουσα εμπειρία σε εργασίες τέτοιου είδους έχουν δείξει ότι το κόστος λειτουργίας υπόγειων διατρητικών μηχανημάτων jumbo ανέρχεται στα $T_{\text{διατρητικού}} = 35 \text{ €/h}$. Σε κάθε παραγωγικό μέτωπο το διατρητικό σύστημα παραμένει 76 min έως ότου ολοκληρώσει τις προγραμματισμένες εργασίες, δηλαδή συνολικά και για τα 4 μέτωπα λειτουργεί $h_{\delta} = 5,08 \text{ h}$ ημερησίως. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, το κόστος λειτουργίας του μηχανήματος για το σύνολο των ημερών λειτουργίας του μεταλλείου υπολογίζεται στα:

$$K_{\text{διατρητικού}} = T_{\delta} \times h_{\delta} \times \Delta = 26.848 \text{ €}$$

Όπου:

$T_{\text{διατρητικού}}$	το κόστος λειτουργίας του jumbo διάτρησης (€/h)
h_{δ}	ο ημερήσιος χρόνος λειτουργίας (h)

Συναθροίζοντας τα κόστη κτήσης των αναλώσιμων υλικών κορωνών και στελεχών, καθώς και το κόστος λειτουργίας του υπόγειου διατρητικού συστήματος jumbo για το σύνολο των εργάσιμων ημερών του μεταλλείου, το συνολικό κόστος της φάσης της διάτρησης ανέρχεται στα:

$$K_{\text{ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ}} = K_{\text{κ.άκρων}} + K_{\text{στελεχών}} + K_{\text{διατρητικού}} = 41.103 \text{ €}$$

○ **Κοστολόγηση γόμωσης**

Ο παραπάνω σχεδιασμός των ανατινάξεων στοχεύει τόσο στη διατήρηση του μικρότερου δυνατού αριθμού διατρημάτων, όσο και στη μικρότερη ειδική κατανάλωση εκρηκτικών προς ελαχιστοποίηση του κόστους ημερήσιας προχώρησης. Ταυτόχρονα, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η επιτυχία της ανατίναξης, δηλαδή να εκτονωθούν όλα τα γομωμένα διατρήματα, να δημιουργηθούν όλες οι απαιτούμενες ελεύθερες επιφάνειες και να υπάρξει ο επιθυμητός θρυμματισμός του πετρώματος. Για το λόγο αυτό, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η γόμωση των διατρημάτων περιλαμβάνει δύο φυσίγγια εκρηκτικού γαλακτώματος και την πλήρωση του εκάστοτε διατρήματος με A.N.F.O., ως τα 2/3 του μήκους του, σύμφωνα με τον εμπειρικό κανόνα.

Το κόστος της φάσης της γόμωσης περιλαμβάνει:

1. Κόστος εκρηκτικού γαλακτώματος
2. Κόστος A.N.F.O.
3. Κόστος ηλεκτρικών καψυλλίων
4. Κόστος καλωδίου σύνδεσης
5. Κόστος λειτουργίας ανυψωτικής πλατφόρμας

- ο Κόστος εκρηκτικού γαλακτώματος

Παρότι τα διατρήματα που ορύσσονται έχουν μήκος 3,30 m, η αδυναμία πλήρους κοπής της εκρηκτικής ύλης οδηγεί σε μέση προχώρηση 3,00 m. Διαθέτοντας σε παράλληλη λειτουργία και τα τέσσερα παραγωγικά μέτωπα που έχουν επιλεγεί, για όλο τον όγκο του έργου, ορύσσονται ουσιαστικά 29.025 διατρήματα. Σύμφωνα με πρόσφατα οικονομικά στοιχεία, η τιμή του εκρηκτικού γαλακτώματος, για φυσίγγια διαστάσεων 38 x 385 mm και βάρους 0,51 kg, ανέρχεται στα $T_{\text{γαλακτώματος}} = 1,4 \text{ €/kg}$. Υπάρχει δηλαδή κατανάλωση 29.605,5 kg εκρηκτικού γαλακτώματος που αντιστοιχεί σε κόστος $K_{\text{γαλακτώματος}} = 41.448 \text{ €}$.

- ο Κόστος A.N.F.O

Εν συνεχεία, κάθε διάτρημα πληρώνεται με την εκρηκτική ύλη A.N.F.O., πυκνότητας $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$. Προηγούμενοι υπολογισμοί έδειξαν ότι ο όγκος που καταλαμβάνει το A.N.F.O. μέσα σε κάθε διάτρημα είναι $V_{\text{ANFO, διατρήματος}} = 0,0016 \text{ m}^3$. Συνεπώς για την ολοκλήρωση του παρόντος έργου χρειάζονται $V_{\text{ANFO, συνολικά}} = 46,44 \text{ m}^3$. Η αντιστοιχία του όγκου αυτού σε μάζα βάσει της πυκνότητας της εκρηκτικής ύλης, όπως αναφέρεται στις τεχνικές προδιαγραφές του προϊόντος,

είναι $M_{ANFO, \text{συνολικά}} = 37.152 \text{ kg}$. Όσον αφορά το οικονομικό μέρος, μια μέση τιμή αγοράς του A.N.F.O. είναι τα $T_{ANFO} = 0,62 \text{ €}$. Επομένως το συνολικό κόστος του A.N.F.O. υπολογίζεται στα $K_{ANFO} = 23.336 \text{ €}$.

ο Κόστος ηλεκτρικών καψυλλίων

Με παρόμοια λογική σκέψη με αυτή του κόστους του εκρηκτικού γαλακτώματος υπολογίζεται και το κόστος των ηλεκτρικών πυροκροτητών, ή όπως αλλιώς συνηθίζεται να λέγονται ηλεκτρικών καψυλλίων. Κάθε φυσίγγιο εκρηκτικού γαλακτώματος αρματώνεται με ένα ηλεκτρικό καψύλλιο προκειμένου να γίνει η πυροδότηση και ακολούθως η ανατίναξη των γομωμένων διατρημάτων. Η τιμή των ηλεκτρικών καψυλλίων ανέρχεται $T_{\text{καψυλλίων}} = 0,80 \text{ €}$ ανά τεμάχιο. Το κόστος δηλαδή της πυροδότησης των συνολικά 343 διατρημάτων που ορύχθηκαν και γομώθηκαν υπολογίζεται στα $K_{\text{καψυλλίων}} = 23.220 \text{ €}$.

ο Κόστος καλωδίου σύνδεσης

Δεδομένου του πλήθους των ανατινάξεων που πρέπει να γίνουν, για όλο τον όγκο του έργου, απαιτείται η χρήση καλωδίου σύνδεσης μήκους 8.042,3 m. Γνωρίζοντας ότι διατίθεται στην αγορά με κόστος 0,12 €/m, το συνολικό κόστος αγοράς του καλωδίου σύνδεσης ανέρχεται σε:

$$K_{\text{καλωδίου}} = L_{\text{καλωδίου}} \times T_{\text{καλωδίου}} = 965 \text{ €}$$

Όπου:

$L_{\text{καλωδίου}}$	το συνολικό μήκος του μονόκλωνου καλωδίου σύνδεσης (m)
$T_{\text{καλωδίου}}$	η τιμή πώλησης του καλωδίου σύνδεσης (€/m)

ο Κόστος λειτουργίας ανυψωτικής πλατφόρμας

Παρότι το ύψος της στοάς δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλο, για την γόμωση των διατρημάτων της οροφής, οι εξειδικευμένοι εργάτες χρησιμοποιούν όχι μόνο τακαδόρους αλλά και την ανυψωτική πλατφόρμα. Όπως στη διάτρηση έτσι και στη γόμωση, εκτός από τα αναλώσιμα υλικά, βασικό στοιχείο για τον ακριβή υπολογισμό γενικού κόστους της φάσης αυτής αποτελεί το κόστος

λειτουργίας του εξοπλισμού. Οι τεχνικές προδιαγραφές του μηχανήματος και η προϋπάρχουσα εμπειρία σε εργασίες τέτοιου είδους έχουν δείξει ότι το κόστος λειτουργίας της ανυψωτικής πλατφόρμας στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις ανέρχεται στα 35 €/h. Σε κάθε παραγωγικό μέτωπο η ανυψωτική πλατφόρμα παραμένει 47 min έως ότου ολοκληρωθούν οι προγραμματισμένες εργασίες γόμωσης, δηλαδή συνολικά λειτουργεί 3,12 h ημερησίως. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, το κόστος λειτουργίας του μηχανήματος για το σύνολο της εκμετάλλευσης υπολογίζεται στα:

$$K_{\text{πλατφόρμας}} = T_{\text{πλατφόρμας}} \times h_{\pi} \times \Delta = 16.489 \text{ €}$$

Όπου:

$T_{\text{πλατφόρμας}}$	το κόστος λειτουργίας της ανυψωτικής πλατφόρμας (€/h)
h_{π}	ο ημερήσιος χρόνος λειτουργίας (h)
Δ	οι συνολικές ημέρες λειτουργίας του έργου

Συναθροίζοντας τα κόστη αγοράς των αναλώσιμων υλικών (εκρηκτικό γαλάκτωμα, A.N.F.O., ηλεκτρικά καψύλλια καλώδιο σύνδεσης), καθώς και το κόστος λειτουργίας της ανυψωτικής πλατφόρμας, το συνολικό κόστος της φάσης της γόμωσης του μεταλλείου ανέρχεται στα:

$$K_{\text{ΓΟΜΩΣΗΣ}} = K_{\text{γαλακτώματος}} + K_{\text{ANFO}} + K_{\text{καψυλλίων}} + K_{\text{καλωδίου}} + K_{\text{πλατφόρμας}} = 105.458 \text{ €}$$

- **Κοστολόγηση φόρτωσης – μεταφοράς**

Το κόστος της φόρτωσης και μεταφοράς του εξορυγμένου πετρώματος περιλαμβάνει:

1. Κόστος λειτουργίας των φορτωτών υπογείων
 2. Κόστος λειτουργίας των φορτωτών υπαίθρου
- Κόστος λειτουργίας των φορτωτών υπογείων

Όσον αφορά τους φορτωτές υπογείων, οι τεχνικές προδιαγραφές του μηχανήματος και η προϋπάρχουσα εμπειρία σε εργασίες τέτοιου είδους έχουν δείξει ότι κόστος λειτουργίας τους, συμπεριλαμβανομένου και του κόστους των ελαστικών, ανέρχεται σε 50 €/h. Σε κάθε παραγωγικό μέτωπο λειτουργούν 3 φορτωτές υπογείων οι οποίοι παραμένουν συνολικά 58 min έως ότου ολοκληρωθούν οι προγραμματισμένες εργασίες. Δηλαδή συνολικά και για τα 4 μέτωπα λειτουργούν 3,88 h ημερησίως. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, το κόστος λειτουργίας των φορτωτών υπογείων υπολογίζεται στα:

$$K_{\varphi.\text{υπογείων}} = \varphi \times T_{\varphi.\text{υπογείων}} \times h_{\varphi.\text{υ.}} \times \Delta = 87.882 \text{ €}$$

Όπου:

φ	ο αριθμός των απαιτούμενων φορτωτών
$T_{\varphi.\text{υπογείων}}$	το κόστος λειτουργίας του φορτωτή υπογείων (€/h)
$h_{\varphi.\text{υ.}}$	ο ημερήσιος χρόνος λειτουργίας (h)
Δ	οι συνολικές ημέρες λειτουργίας του έργου

- Κόστος λειτουργίας των φορτωτών υπαίθρου

Αντίστοιχα υπολογίζεται και το κόστος των υπαίθριων φορτωτών που αναλαμβάνουν τη φόρτωση και τη μεταφορά του εξορυγμένου πετρώματος πέραν των σημείων απόθεσης. Για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας λειτουργούν 2 φορτωτές υπαίθρου για 1,5 ώρα για κάθε μέτωπο, δηλαδή βρίσκονται σε λειτουργία 6,00 h ημερησίως. Το κόστος λειτουργία τέτοιων

μηχανημάτων εκτιμάται στα 35 €/h . Συνεπώς το κόστος λειτουργίας των φορτωτών υπαίθρου υπολογίζεται στα:

$$K_{\text{φ.υπαίθρου}} = \varphi \times T_{\text{φ.υπαίθρου}} \times h_{\text{φ.υ.}} \times \Delta = 63.420 \text{ €}$$

Όπου:

φ	ο αριθμός των απαιτούμενων φορτωτών
T _{φ.υπαίθρου}	το κόστος λειτουργίας του φορτωτή υπαίθρου (€/h)
h _{φ.υ.}	ο ημερήσιος χρόνος λειτουργίας (h)
Δ	οι συνολικές ημέρες λειτουργίας του έργου

Συναθροίζοντας τα κόστη λειτουργίας των φορτωτών υπόγειων και υπαίθρου για το σύνολο των εργασιμών ημερών του μεταλλείου, το συνολικό κόστος της φάσης της αποκομιδής του εξορυγμένου πετρώματος και για τα 4 παραγωγικά μέτωπα ανέρχεται στα:

$$K_{\text{ΦΟΡΤΩΣΗΣ-ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ}} = K_{\text{φ.υπαίθρου}} + K_{\text{φ.υπαίθρου}} = 151.302 \text{ €}$$

- **Κοστολόγηση υποστήριξης**

Οι καθημερινές δραστηριότητες ολοκληρώνονται με την υποστήριξη του νέου υπόγειου χώρου που δημιουργήθηκε από τις εργασίες που προηγήθηκαν. Κατά το πρώτο στάδιο της υποστήριξης ορύσσονται 6 διατρήματα σε παρειές και οροφή, μήκους 2 m, και τοποθετούνται φυσίγγια ρητίνης και κοχλίες από ειδικά με συγκροτήματα που εκτελούν διάτρηση και κοχλίωση (jumbo boulonneuse). Δεδομένου ότι η επιχείρηση διαθέτει ένα φορείο διάτρησης - κοχλίωσης και για τα τέσσερα μέτωπα, ημερήσια ορύσσονται:

$$\delta 1 = L \times \mu = 48 \text{ m}$$

Όπου:

L	το συνολικό μήκος διάτρησης ανά μέτωπο (m)
μ	ο αριθμός των μετώπων

Το κόστος της φάσης της υποστήριξης περιλαμβάνει:

1. Κόστος κοπτικών άκρων
 2. Κόστος στελεχών
 3. Κόστος ρητίνης
 4. Κόστος κοχλιών
 5. Κόστος μεταλλικών πλακιδίων
 6. Κόστος μεταλλικού πλέγματος
 7. Κόστος λειτουργίας φορείου κοχλίωσης - διάτρησης
- Κόστος κοπτικών άκρων

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή ο συγκεκριμένος τύπος κοπτικού άκρου που χρησιμοποιείται δύναται να ορύσσει έως 500 m στις παρούσες γεωλογικές συνθήκες, ενώ το κόστος αγοράς του ανέρχεται στα 50 €, χωρίς Φ.Π.Α.. Συνυπολογίζοντας όλα τα παραπάνω, το συνολικό κόστος αγοράς των κορωνών για την εκμετάλλευση του αυτού του υπόγειου βωξιτικού κοιτάσματος, εκτιμάται στα:

$$\text{Κκ. άκρων} = \left(\frac{\alpha 1 \times \text{Τκ.άκρων} \times \delta 1}{\delta 1'} \right) \times \Delta = 724 \text{ €}$$

Όπου:

α1	ο αριθμός των κορωνών
T _{κορωνών}	το κόστος αγοράς των κορωνών (€)
δ1	η ημερήσια διάτρηση κάθε κορώνας (m/ημ.)
δ1'	η διάρκεια ζωής κάθε κορώνας (m)
Δ	οι συνολικές ημέρες λειτουργίας του έργου

ο Κόστος στελεχών

Ακολουθώντας ουσιαστικά την ίδια διαδικασία υπολογίζεται και το συνολικό κόστος αγοράς των κυρίως στελεχών των βραχιόνων του υπόγειου συστήματος jumbo διάτρησης - κοχλίωσης. Το στέλεχος του βραχίονα του μηχανήματος ορύσσει ημερήσια 48 m. Κατά την αγορά των στελεχών, κόστους 245 €, οι προδιαγραφές που δόθηκαν από τον κατασκευαστή ορίζουν ότι κάθε στέλεχος έχει διάρκεια ζωής 5.000 m. Συμπερασματικά, το συνολικό κόστος αγοράς όλων των στελεχών ανέρχεται στα:

$$\text{Κστελεχών} = \left(\frac{\alpha 2 \times \text{Τστελεχών} \times \delta 2}{\delta 2'} \right) \times \Delta = 355 \text{ €}$$

Όπου:

$\alpha 2$	ο αριθμός των στελεχών
$\text{T}_{\text{στελεχών}}$	το κόστος αγοράς των στελεχών (€)
$\delta 2$	η ημερήσια διάτρηση κάθε στελέχους (m/ημ)
$\delta 2'$	η διάρκεια ζωής κάθε στελέχους (m)
Δ	οι συνολικές ημέρες λειτουργίας του έργου

ο Κόστος ρητίνης

Σε κάθε διάτρημα που δημιουργήθηκε εισπνέζονται 2 φυσίγγια ρητίνης όπως επιβάλλεται από μεταλλευτικό σχεδιασμό για τις δεδομένες συνθήκες εξόρυξης. Βάσει της συνολικής επιφάνειας κοχλίωσης που ανέρχεται στα 7.500 m² και της επιφάνειας που υποστηρίζει κάθε κοχλίας, 2,25 m², τοποθετούνται ουσιαστικά 3.628 κοχλίες. Συνεπώς για την ολοκλήρωση του έργου πρόκειται να χρησιμοποιηθούν 7.256 φυσίγγια ρητίνης, με τιμή αγοράς 6,00 € ανά τεμάχιο. Συνυπολογίζοντας όλα τα παραπάνω, οι δαπάνες για την αγορά των φυσιγγίων ρητίνης εκτιμώνται στα:

$$\text{Κ}_{\text{ρητίνης}} = \text{T}_{\text{ρητίνης}} \times \Phi = 43.536 \text{ €}$$

Όπου:

$\text{T}_{\text{ρητίνης}}$	η τιμή αγοράς ενός φυσιγγίου ρητίνης (€)
Φ	τα απαιτούμενα φυσίγγια ρητίνης

ο Κόστος κοχλιών

Ακολουθως, γίνεται η τοποθέτηση του κοχλία και του πλακιδίου υποστήριξης στη βάση του. Η απαιτούμενη ποσότητα των κοχλιών ισοδυναμεί με την ποσότητα των πλακιδίων και είναι 3.628 τεμάχια, όσοι δηλαδή και τα διατρήματα. Η τιμή αγοράς των κοχλιών ανέρχεται στα 10,00 € και των πλακιδίων 5,50 € ανά τεμάχιο. Συμπαραστατικά, το κόστος κτήσης των κοχλιών για το πέρας του έργου όσες μέρες θα βρίσκεται σε λειτουργία είναι:

$$K_{\text{κοχλιών}} = T_{\text{κοχλία}} \times \kappa = 36.280 \text{ €}$$

Όπου:

$T_{\text{κοχλία}}$	η τιμή αγοράς κάθε κοχλία (€)
κ	ο απαιτούμενος αριθμός κοχλιών

ο Κόστος μεταλλικών πλακιδίων

Αντίστοιχα το κόστος αγοράς των μεταλλικών πλακιδίων ανέρχεται στα:

$$K_{\text{πλακιδίων}} = T_{\text{πλακιδίων}} \times \pi = 19.954 \text{ €}$$

Όπου:

$T_{\text{πλακιδίων}}$	η τιμή αγοράς κάθε μεταλλικού πλακιδίου (€)
π	ο απαιτούμενος αριθμός πλακιδίων

ο Κόστος μεταλλικού πλέγματος

Κατά τη δεύτερη φάση της υποστήριξης παρειών και οροφής τοποθετείται το μεταλλικό πλέγμα, τύπου T188, ώστε να μην υπάρξει η παραμικρή κατάπτωση λίθων από τη χαλαρωμένη

ζώνη του πετρώματος. Η τοποθέτηση του γίνεται σε όλη την επιφάνεια που κοχλιώθηκε, δηλαδή στα 7.500 m². Το κόστος αγοράς του μεταλλικού πλέγματος είναι 2,5 €/m². Δηλαδή για την απόκτηση του απαιτούνται συνολικά:

$$K_{\text{πλέγματος}} = T_{\text{πλέγματος}} \times E = 20.408 \text{ €}$$

Όπου:

T _{πλέγματος}	η τιμή αγοράς μεταλλικού πλέγματος (€/m ²)
E	η συνολική έκταση εγκατάστασης του πλέγματος (m ²)

- Κόστος λειτουργίας φορείου κοχλίωσης - διάτρησης

Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, έτσι και εδώ εκτός από τα αναλώσιμα υλικά, βασικό στοιχείο για τον ακριβή υπολογισμό γενικού κόστους της φάσης της υποστήριξης αποτελεί το κόστος λειτουργίας του εξοπλισμού. Οι τεχνικές προδιαγραφές του φορείου διάτρησης – κοχλίωσης που παρέχονται από τον κατασκευαστή, σε συνδυασμό με τη προϋπάρχουσα εμπειρία σε εργασίες τέτοιου έχουν δείξει ότι το κόστος λειτουργίας υπόγειων διατρητικών μηχανημάτων jumbo ανέρχεται στα 45 €/h. Σε κάθε παραγωγικό μέτωπο το διατρητικό σύστημα παραμένει 39 min έως ότου ολοκληρώσει τις προγραμματισμένες εργασίες, δηλαδή συνολικά και για τα 4 μέτωπα λειτουργεί 2,6 h ημερησίως. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, το κόστος λειτουργίας του μηχανήματος υπολογίζεται στα:

$$K_{\text{boulonneuse}} = T_{\text{boulonneuse}} \times h_b \times \Delta = 17.667 \text{ €}$$

Όπου:

$T_{\text{boulonneuse}}$	το κόστος λειτουργίας του jumbo κοχλίωσης (€/h)
h_b	ο ημερήσιος χρόνος λειτουργίας του μηχανήματος (h)
Δ	οι συνολικές ημέρες λειτουργίας του έργου

Συναθροίζοντας τα κόστη κτήσης των αναλώσιμων υλικών κορωνών και στελεχών, καθώς και το κόστος λειτουργίας του φορείου διάτρησης - κοχλίωσης για το σύνολο των εργάσιμων ημερών της εκμετάλλευσης, το συνολικό κόστος της φάσης της διάτρησης και για τα 4 παραγωγικά μέτωπα ανέρχεται στα:

$$K_{\text{ΚΟΧΛΙΩΣΗΣ}} = K_{\text{κορωνών}} + K_{\text{στελεχών}} + K_{\text{ρητινών}} + K_{\text{κοχλίων}} + K_{\text{πλακιδίων}} + K_{\text{boulonneuse}} = 138.925 \text{ €}$$

- **Κοστολόγηση λοιπών δραστηριοτήτων**

Οι λοιπές δραστηριότητες περιλαμβάνουν την αφαίρεση των επισφαλών όγκων πετρώματος που τυχόν βρίσκονται στην οροφή και στις παρειές της εκσκαφής με το ξεσκαρωτή και τον αερισμό των μετωπών παραγωγής με τους ανεμιστήρες. Συνεπώς το κόστος των λοιπών δραστηριοτήτων αποτελείται από:

1. Κόστος λειτουργίας ξεσκαρωτή
2. Κόστος λειτουργίας ανεμιστήρα

- Κόστος λειτουργίας ξεσκαρωτή

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το ξεσκάρωμα πρόκειται για μία διαδικασία που δύναται να διαρκέσει από μηδενικό χρόνο έως και αρκετές ώρες ανάλογα με τις απαιτήσεις σε ξεσκάρωμα. Σε ένα τυπικό κύκλο εργασιών, για υπόγειες εκμεταλλεύσεις βωξίτη, το ξεσκάρωμα διαρκεί περίπου 30 min. Δεδομένου ότι σε κάθε παραγωγικό μέτωπο το μηχάνημα παραμένει 30 min έως ότου ολοκληρώσει τις προγραμματισμένες εργασίες, συνολικά και για τα 4 μέτωπα λειτουργεί 2,0 h ημερησίως. Οι τεχνικές προδιαγραφές που παρέχονται από τον κατασκευαστή για το συγκεκριμένο τύπο ξεσκαρωτή, σε συνδυασμό με τη προϋπάρχουσα εμπειρία σε εργασίες τέτοιου έχουν δείξει ότι το κόστος λειτουργίας του ανέρχεται στα 35 €/h. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, το κόστος λειτουργίας του μηχανήματος για το σύνολο του έργου υπολογίζεται στα:

$$K_{\text{ξεσκαρωτή}} = T_{\text{ξεσκαρωτή}} \times h_{\xi} \times \Delta = 10.570 \text{ €}$$

Όπου:

$T_{\text{ξεσκαρωτή}}$	το κόστος λειτουργίας του ξεσκαρωτή (€/h)
h_{ξ}	ο ημερήσιος χρόνος λειτουργίας του μηχανήματος (h)
Δ	οι συνολικές ημέρες λειτουργίας του έργου

- Κόστος λειτουργίας ανεμιστήρα

Το κόστος χρήσης του ανεμιστήρα, πέραν των ωρών λειτουργίας του βασίζεται και στην ισχύ του. Βάσει του αρχικού μεταλλευτικού σχεδίου για την παροχή της απαραίτητης ποσότητας καθαρού αέρα στα τέσσερα μέτωπα παραγωγής, απαιτείται 1 ανεμιστήρας ισχύος 37 kW. Η διαφορά των ανεμιστήρων σε σχέση με τα υπόλοιπα μηχανήματα είναι ότι λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια της βάρδιας με συνεχή ρυθμό, δηλαδή για 16,0 h ημερησίως. Συνεπώς, το κόστος λειτουργίας του ανεμιστήρα ανέρχεται στα:

$$K_{\text{ανεμιστήρα}} = \alpha \times h_{\alpha} \times N \times T_{kwh} \times \Delta = 4.470 \text{ €}$$

Όπου:

α	ο αριθμός των ανεμιστήρων
h_{α}	ο ημερήσιος χρόνος λειτουργίας κάθε ανεμιστήρα (h)
N	η ισχύς κάθε μηχανήματος (kW)
T_{kwh}	η τιμή της κιλοβατώρας βάση του επαγγελματικού τιμολογίου (€)
Δ	οι συνολικές ημέρες λειτουργίας του έργου

- **Σύνολο λειτουργικών δαπανών**

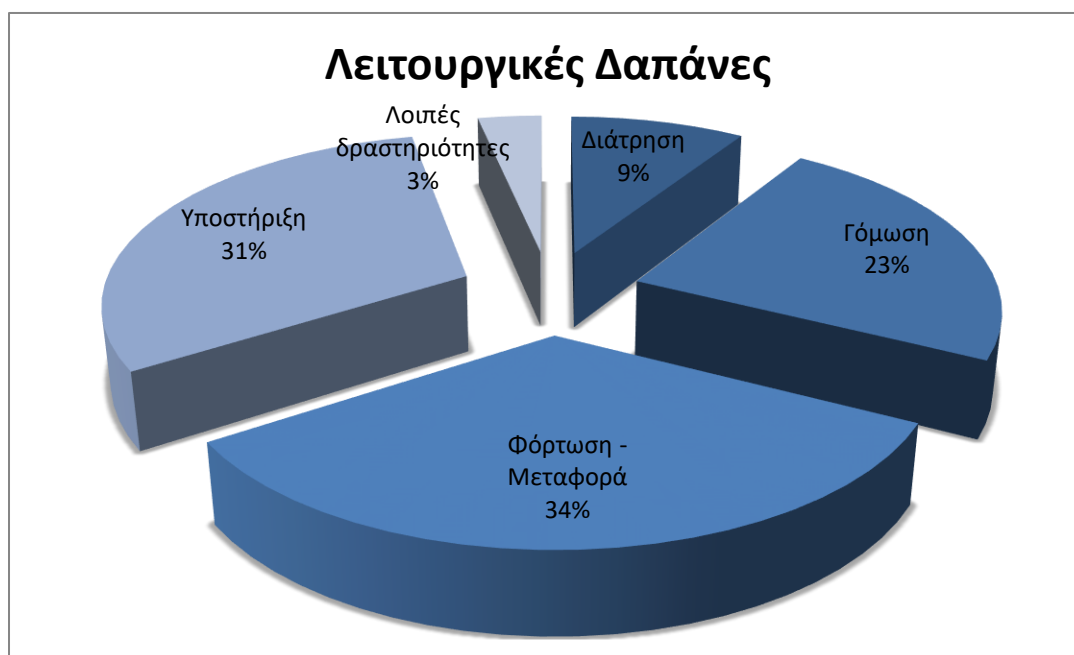
Συγκεντρώνοντας και προσθέτοντας δαπάνες που απορρέουν από τις δραστηριότητες της διάτρησης, της γόμωσης, της φόρτωσης και μεταφοράς, του ξεσκαρώματος, της υποστήριξης και του αερισμού του υπόγειου χώρου, προκύπτει το σύνολο του κόστους για την εκμετάλλευση του κοιτάσματος σε λειτουργικό επίπεδο. Επομένως, το σύνολο των λειτουργικών δαπανών, υπολογίζεται σε:

$$\text{ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ} = K_{\text{ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ}} + K_{\text{ΓΟΜΩΣΗΣ}} + K_{\text{Φ-Μ}} + K_{\text{ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ}} + K_{\text{ΛΟΙΠΩΝ ΔΡΑΣΤ.}} = 451.864 \text{ €}$$

Στον ακόλουθο πίνακα (πίνακας 8.1) συνοψίζεται το συνολικό λειτουργικό κόστος της εκμετάλλευσης και κατανέμεται ποσοστιαία στις διάφορες δραστηριότητες που το απαρτίζουν.

Πίνακας 8.1: Συγκεντρωτικός πίνακας λειτουργικών δαπανών

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ		
	Κόστος (€)	%
Διάτρηση	41.103	9
Γόμωση	105.458	23
Φόρτωση – Μεταφορά	151.302	34
Υποστήριξη	138.925	31
Λοιπές δραστηριότητες	15.040	3
ΣΥΝΟΛΟ	451.828	100



Διάγραμμα 8.2: Λειτουργικές Δαπάνες

Την μεγαλύτερη επιβάρυνση στο τελικό κοστολόγιο, από μεριάς λειτουργικών δαπανών, έχει η αποκομιδή του εξορυγμένου μεταλλεύματος. Εξίσου υψηλή δαπάνη θεωρείται και αυτή της υποστήριξης του υπόγειου χώρου.

8.2 Κοστολόγηση δαπανών προσωπικού

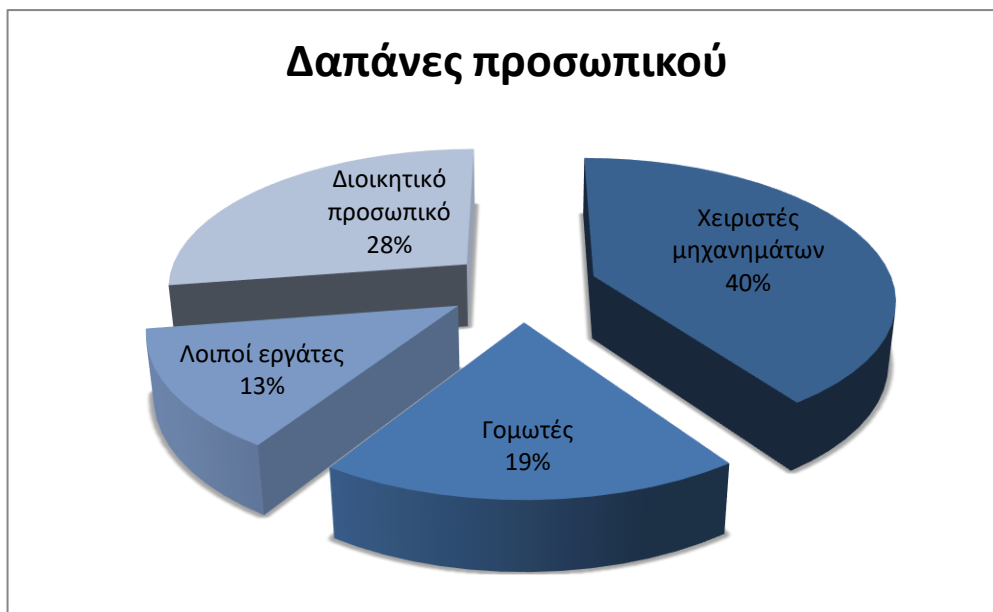
Οι δαπάνες προσωπικού αφορούν τη μισθοδοσία τόσο των χειριστών μηχανημάτων, των εργατών και τεχνικών όσο και των μηχανικών και του διοικητικού προσωπικού. Στην παρούσα περίπτωση της υπόγειας εκμετάλλευσης του βωξιτικού κοιτάσματος, το προσωπικό για την ικανοποιητική εκτέλεση του έργου, συνιστάται σε χειριστές μηχανημάτων (διατηρητικών φορέων jumbo, υπόγειων και υπαίθριων φορτωτών, φορέων διάτρησης - κοχλίωσης και ξεσκαρωτών), γομωτές, λοιπούς εργάτες και διοικητικό προσωπικό (μηχανικοί και εργοδηγοί). Σε κάθε περίπτωση η εργασία αφορά οκτάωρη απασχόληση του προσωπικού τόσο στην πρώτη βάρδια (06:00 πμ – 14:00 μμ) όσο και στη δεύτερη (14:00 μμ – 22:00 μμ).

Οι δαπάνες για το προσωπικό εξαρτώνται από το ωρομίσθιο κάθε υπαλλήλου που απασχολείται στο παρόν έργο, το οποίο κυμαίνεται από 15,00 € έως 23,00 €, ανάλογα με το είδος της εργασίας που προσφέρει. Παρουσιάζονται στον πίνακα 8.3.

Πίνακας 8.3: Αμοιβές εργαζομένων

ΔΑΠΑΝΕΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ			
	Αριθμός εργαζομένων	Ωρομίσθιο (€)	Συνολικές δαπάνες (€)
Χειριστές μηχανημάτων	8	18	163.080
Γομωτές	3	21	76.104
Λοιποί εργάτες	3	15	54.360
Διοικητικό προσωπικό	4	23	111.136
ΣΥΝΟΛΟ			404.680

Η στελέχωση της επιχείρησης με εργατικό δυναμικό για τις ανάγκες εκτέλεσης του έργου είναι ένα επιπλέον βάρος στον τελικό προϋπολογισμό. Οι δαπάνες αυτές στο σύνολο τους εκτιμούνται στα 404.680 €. Όπως φαίνεται και στο σχετικό διάγραμμα (διάγραμμα 7.4), η πλειοψηφία των εξόδων αφορά τις δαπάνες για τη μισθοδοσία των χειριστών των διάφορων μηχανημάτων, που καταλαμβάνουν σχεδόν το 40% του συνόλου. Στη συνέχεια ακολουθούν οι δαπάνες για τη μισθοδοσία του προσωπικού της διοίκησης του έργου, οι δαπάνες που αφορούν τους γομωτές και οι δαπάνες για τους λοιπούς βοηθητικούς εργάτες.



Διάγραμμα 8.4: Δαπάνες προσωπικού

8.3 Κοστολόγηση αποσβέσεων κεφαλαίων

Η απόσβεση είναι το λογιστικό εργαλείο που χρησιμοποιείται για να κατανείμει τη δαπάνη ενός κεφαλαιουχικού παγίου σε ολόκληρη τη διάρκεια ζωής του, ανάλογα με το κόστος κτήσης του. Έτσι, το κόστος απόσβεσης συνδέεται με τη μείωση της αξίας ενός παγίου καθώς η ηλικία του αυξάνεται.

Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 8.5) παρουσιάζονται τα κόστη κτήσης των διαφόρων περιουσιακών στοιχείων που έχει στη διάθεση της η επιχείρηση για την υλοποίηση του παρόντος έργου, καθώς και οι ποσότητες αυτών.

Πίνακας 8.5: Ποσότητες και κόστος περιουσιακών στοιχείων

Περιουσιακά Στοιχεία	Ποσότητες	Κόστος αγοράς/μονάδα (€)
Φορείο διάτρησης	1	330.000
Ανυψωτική πλατφόρμα	1	200.000
Φορτωτής υπογείων	3	840.000
Φορτωτής υπαίθρου	2	600.000
Ξεσκαρωτής	1	550.000
Φορείο διάτρησης - κοχλίωσης	1	500.000
Ανεμιστήρας	1	80.000

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές των κατασκευαστών ο χρόνος ζωής του φορείου διάτρησης, της ανυψωτικής πλατφόρμας, του φορτωτή υπογείων και υπαίθρου, του ξεσκαρωτή και του φορείου διάτρησης - κοχλίωσης ανέρχεται στις 25.000 hr, ενώ για τον ανεμιστήρα στις 40.000 hr.

Εν συνεχεία ακολουθεί ο πίνακας 8.6 όπου εμφανίζεται το ποσό και το ποσοστό της δαπάνης που αφορά στην απόσβεσή των περιουσιακών στοιχείων βάσει του χρόνου λειτουργίας τους κατά την παρούσα εκμετάλλευση.

Πίνακας 8.6: Δαπάνες αποσβέσεων

ΔΑΠΑΝΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΝ		
	Κόστος (€)	%
Φορείο διάτρησης	10.125	6
Ανυψωτική πλατφόρμα	3.769	3
Φορτωτές υπογείων	59.057	44
Φορτωτές υπαίθρου	43.488	32
Ξεσκαρωτής	6.644	5
Φορείο διάτρησης – κοχλίωσης	7.852	7
Ανεμιστήρας	4.564	3
ΣΥΝΟΛΟ	135.499	100

Στο σύνολο του οι δαπάνες αποσβέσεων ανέρχονται 135.499 €. Υψηλότερο κόστος εμφανίζουν οι δαπάνες για την απόσβεση των υπόγειων φορτωτών που είναι λογικό καθώς έχουν αρκετά αυξημένο κόστος κτήσης. Αντίθετα, οι χαμηλότερες δαπάνες απόσβεσης αφορούν τον ανεμιστήρα, αφού κοστολογείται αρκετά χαμηλά. Όλα αυτά εικονίζονται και στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 8.7),



Διάγραμμα 8.7: Δαπάνες αποσβέσεων

8.4 Συνολικό κόστος εξόρυξης

Το συνολικό κόστος εξόρυξης του πετρώματος από τις εργασίες εξόρυξης προκύπτει από το άθροισμα των λειτουργικών δαπανών της εκμετάλλευσης, των δαπανών προσωπικού και των αποσβέσεων κεφαλαίου. Στο σύνολο αυτό συνήθως προστίθεται και το κόστος των απρόβλεπτων εξόδων που αφορά γενικά έξοδα που τυχόν δεν έχουν συμπεριληφθεί ή δεν έχουν εκτιμηθεί σωστά. Το κόστος αυτό υπολογίζεται ως ποσοστό 15% των συνολικών δαπανών. Στην παρούσα περίπτωση τα απόβλεπα έξοδα ισοδυναμούν με 157.451 €, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 8.8).

Πίνακας 8.8: Συνολικό κόστος εκμετάλλευσης

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ	
	Κόστος (€)
Λειτουργικές Δαπάνες	451.828
Δαπάνες Προσωπικού	404.680
Δαπάνες Αποσβέσεων	135.499
Απρόβλεπτα Έξοδα	148.801
ΣΥΝΟΛΟ	1.140.808

Όπως έχει αναφερθεί για να υπάρξει μια καλύτερη εικόνα της οικονομικότητας της εκμετάλλευσης το κόστος αυτό συνηθίζεται να εκφράζεται ανά μονάδα προϊόντος. Λαμβάνοντας υπόψη την ποσότητα του βωξίτη που τελικά εξορύχθηκε (134.694 tn), το συνολικό κόστος εξόρυξης προκύπτει στα 8,47 €/tn.

9. ΔΙΑΔΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η πολυπλοκότητα των υπόγειων εκμεταλλεύσεων δημιουργεί συνεχώς τη βάση για την αναζήτηση της καταλληλότερης λύσης σχεδιασμού. Κάθε προσπάθεια που γίνεται στοχεύει στην βέλτιστη αξιοποίηση των μεταλλευτικών κοιτασμάτων έτσι ώστε να υπάρξει το μέγιστο δυνατό οικονομικό κέρδος, τηρώντας πάντα τις θεμελιώδεις αρχές της εκμετάλλευσης.

Ο προκαταρκτικός σχεδιασμός της εκμετάλλευσης ενός μεταλλείου περιλαμβάνει ένα πλήθος τεχνικών πληροφοριών και παραμέτρων που αφορούν τόσο περιβαλλοντικές όσο και κοινωνικοπολιτικές συνθήκες. Τέτοιες πληροφορίες είναι:

- Η γεωλογία του προς εκμετάλλευση πετρώματος και των γύρο σχηματισμών
- Η ποιότητα και η ποσότητα των αποθεμάτων
- Ο ρυθμός παραγωγής του μεταλλείου
- Το ανθρώπινο δυναμικό και ο διαθέσιμος εξοπλισμός
- Τα ισχύοντα οικονομικά δεδομένα
- Η ζήτηση της αγοράς
- Η επίδραση πολιτικών παραγόντων
- Τεχνολογικοί και περιβαλλοντικοί περιορισμοί

Οι παράμετροι αυτοί αρκετά συχνά παρουσιάζουν μεγάλη αβεβαιότητα, με συνέπεια να απαιτούνται αρκετές αναθεωρήσεις στον αρχικό σχεδιασμό, βάσει των νεότερων δεδομένων. Στην παρούσα φάση μελετάται η επίδραση του ημερήσιου ρυθμού παραγωγής στο τελικό κόστος εξόρυξης του βωξίτη. Πέραν της βέλτιστης λύσης των τεσσάρων μετώπων παραγωγής διερευνώνται και οι περιπτώσεις των δύο και των έξι μετώπων.

9.1 Προσβολή σε 2 μέτωπα

Η προσβολή του κοιτάσματος με δύο παραγωγικά μέτωπα να βρίσκονται λειτουργία επηρεάζει πρώτα από όλα τη δυναμικότητα του έργου. Είναι εμφανές ότι η μείωση των μετώπων παραγωγής έχει σαν αποτελέσματα εξίσου τη μείωση της ημερήσιας δυναμικότητας του έργου. Πιο συγκεκριμένα, ο υποδιπλασιασμός των μετώπων προκαλεί και τον υποδιπλασιασμό της ημερήσιας παραγωγής που πλέον ανέρχεται στους 445,5 tn. Αντίστοιχα, υποδιπλασιάζεται και η ετήσια δυναμικότητα που αγγίζει τους 118.057,5 tn. Όσον αφορά τη διάρκεια ζωής του έργου και τις συνολικές ημέρες εργασίες ανέρχονται σε 302 ημέρες.

Εν συνεχεία, η αλλαγή στον αριθμό των παραγωγικών μετώπων, από τους χρόνους εκτέλεσης των προγραμματισμένων εργασιών επηρεάζει μόνο το χρόνο της φόρτωσης και

$$z = \frac{v_l}{c \times d} \approx 22 \text{ διαδρομές}$$

μεταφοράς του εξορυγμένου πετρώματος στις θέσεις απόθεσης. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, προκειμένου να μεταφερθεί ο βωξίτης που εξορύχτηκε ύστερα από την ανατίναξη στο μέτωπο παραγωγής, απαιτούνται:

Όπου:

Z	ο αριθμός των διαδρομών του φορτωτή
V _I	ο όγκος του θραυσμένου υλικού ανά μέτωπο και ανατίναξη (lm ³)
c	η χωρητικότητα του κάδου (m ³)
d	ο συντελεστής πληρότητας του κάδου

Δηλαδή, βάσει του χρόνου κύκλου του φορτωτή, ο συνολικός χρόνος φόρτωσης και μεταφοράς του εξορυσσόμενου βωξίτη ανά ανατίναξη και ανά μέτωπο με ένα φορτωτή υπογείων αντιστοιχεί σε:

$$T_{\varphi-\mu} = Z \times t_{\text{φορτωτή}} = 176 \text{ min}$$

Δηλαδή 2,93 hr.

Όπου:

Z	ο αριθμός των διαδρομών του φορτωτή
t _{φορτωτή}	ο χρόνος κύκλου του φορτωτή υπογείων (min)

Ο χρονικός προγραμματισμός των εργασιών που εκτελούνται σε κάθε παραγωγικό μέτωπο αποτυπώνεται στον πίνακα 9.1.

Πίνακας 9.1: Ημερήσιος χρονικός προγραμματισμός των εργασιών για τα δύο μέτωπα

		ΜΕΤΩΠΟ 1		ΜΕΤΩΠΟ 2	
		Έναρξη	Λήξη	Έναρξη	Λήξη
01:16	Διάτρηση	06:30	07:46	07:56	09:12
00:47	Γόμωση	07:46	08:33	09:12	09:59
	Ανατίναξη	-	-	-	-
00:30	Αερισμός	10:29			
02:56	Αποκομιδή	14:30	17:26	17:36	20:32
00:30	Ξεσκάρωμα	17:26	17:56	20:32	21:02
00:39	Υποστήριξη	17:56	18:35	21:02	21:41
00:10	Μετακινήσεις				

Ο καθημερινός κύκλος εργασιών δεν παρουσιάζει διαφοροποιήσεις με την περίπτωση της βέλτιστης όσον αφορά τη διαδοχή των εργασιών. Ομοίως, η εκσκαφή ξεκινά με τη διάτρηση και συνεχίζεται με τη γόμωση των διατρημάτων που ορύχθηκαν, την ανατίναξη και το ξεκάπνισμα του μετώπου, τη φόρτωση και τη μεταφορά του εξορυσσόμενου βωξίτη και ολοκληρώνεται με την υποστήριξη του νέου υπόγειου χώρου που δημιουργήθηκε. Η διάτρηση, η γόμωση και η ανατίναξη εκτελούνται κατά την πρώτη βάρδια, ενώ οι υπόλοιπες εργασίες που περιλαμβάνουν τη φόρτωση και τη μεταφορά, το ξεσκάρωμα και την υποστήριξη εκτελούνται κατά τη δεύτερη βάρδια. Διαπιστώνεται όμως ότι υπάρχουν αρκετοί νεκροί χρόνοι, όπου δεν εκτελούνται εργασίες τα μέτωπα. Τα κενά αυτά είναι πηγές κόστους για την επιχείρηση καθώς δεν υπάρχει ουσιαστική παραγωγή μεταλλεύματος.

Από την οπτική της κοστολόγησης, η μείωση των παραγωγικών μετώπων άρα και της ημερήσιας παραγωγικότητας του έργου είναι προφανές ότι προκαλεί αύξηση του γενικού κόστους εξόρυξης. Πιο συγκεκριμένα, σημαντικές αυξήσεις εμφανίζονται στις δαπάνες προσωπικού.

Όπως ήδη διαπιστώθηκε, λόγω τη μείωσης της ημερήσιας παραγωγής μεταβάλλεται ο αριθμός των υπόγειων φορτωτών που απαιτούνται για τη μεταφορά του εξορυγμένου

μεταλλεύματος και συνεπώς η χρονική διάρκεια της φάσης αυτής. Όσον αφορά τους φορτωτές υπογείων, σε κάθε παραγωγικό μέτωπο λειτουργούν 1 φορτωτής υπογείων ο οποίος παραμένει συνολικά 176 min έως ότου ολοκληρωθούν οι προγραμματισμένες εργασίες. Δηλαδή συνολικά και για τα 2 μέτωπα λειτουργούν 11,72 h ημερησίως. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, το κόστος λειτουργίας των φορτωτών υπογείων για όλο το πλήθος των εργάσιμων ημερών υπολογίζεται σε:

$$K_{\text{φ.υπογείων}} = T_{\text{φ.υπογείων}} \times h_{\text{φ.υπογ.}} \times \Delta = 44.243 \text{ €}$$

Όπου:

φ	ο αριθμός των απαιτούμενων φορτωτών
$T_{\text{φ.υπογείων}}$	το κόστος λειτουργίας του φορτωτή υπογείων (€/h)
$h_{\text{φ.υ.}}$	ο ημερήσιος χρόνος λειτουργίας (h)
Δ	οι συνολικές ημέρες λειτουργίας του έργου

Αντίστοιχα υπολογίζεται και το κόστος λειτουργίας των υπαίθριων φορτωτών που αναλαμβάνουν τη φόρτωση και τη μεταφορά του εξορυγμένου πετρώματος πέραν των σημείων απόθεσης. Για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας λειτουργεί 1 υπαίθριος φορτωτής εξίσου για περίπου 1,5 ώρα για κάθε μέτωπο. Συνεπώς το κόστος λειτουργίας των φορτωτών υπαίθρου υπολογίζεται σε:

$$K_{\text{φ.υπαίθρου}} = T_{\text{φ.υπαίθρου}} \times h_{\text{φ.υπαίθ.}} \times \Delta = 15.855 \text{ €}$$

Όπου:

φ	ο αριθμός των απαιτούμενων φορτωτών
T _{φ.υπαίθρου}	το κόστος λειτουργίας του φορτωτή υπαίθρου (€/h)
h _{φ.υ.}	ο ημερήσιος χρόνος λειτουργίας (h)
Δ	οι συνολικές ημέρες λειτουργίας του έργου

Συναθροίζοντας τα κόστη λειτουργίας των φορτωτών υπόγειων και υπαίθρου για το σύνολο των εργάσιμων ημερών του παρόντος βωξιτικού μεταλλείου, το συνολικό κόστος της αποκομιδής του μεταλλεύματος ανέρχεται σε:

$$K_{\text{ΦΟΡΤΩΣΗΣ-ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ}} = K_{\text{φ.υπαγείων}} + K_{\text{φ.υπαίθρου}} = 60.098 \text{ €}$$

Συναθροίζοντας τις δαπάνες που απορρέουν από τις δραστηριότητες της διάτρησης, της γόμωσης, της φόρτωσης και μεταφοράς, του ξεσκαρώματος, της υποστήριξης και του αερισμού του υπόγειου χώρου, προκύπτει το σύνολο του κόστους για την εκμετάλλευση του κοιτάσματος σε λειτουργικό επίπεδο με δύο μέτωπα παραγωγής. Επομένως, το σύνολο των λειτουργικών δαπανών είναι:

$$\text{ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ} = K_{\text{ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ}} + K_{\text{ΓΟΜΩΣΗΣ}} + K_{\text{Φ-Μ}} + K_{\text{ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ}} + K_{\text{ΛΟΙΠΩΝ ΔΡΑΣΤ}} = 365.094 \text{ €}$$

Στο ακόλουθο διάγραμμα (διάγραμμα 9.1) παρουσιάζεται η κατανομή του λειτουργικού κόστους στις διάφορες δραστηριότητες που το απαρτίζουν.



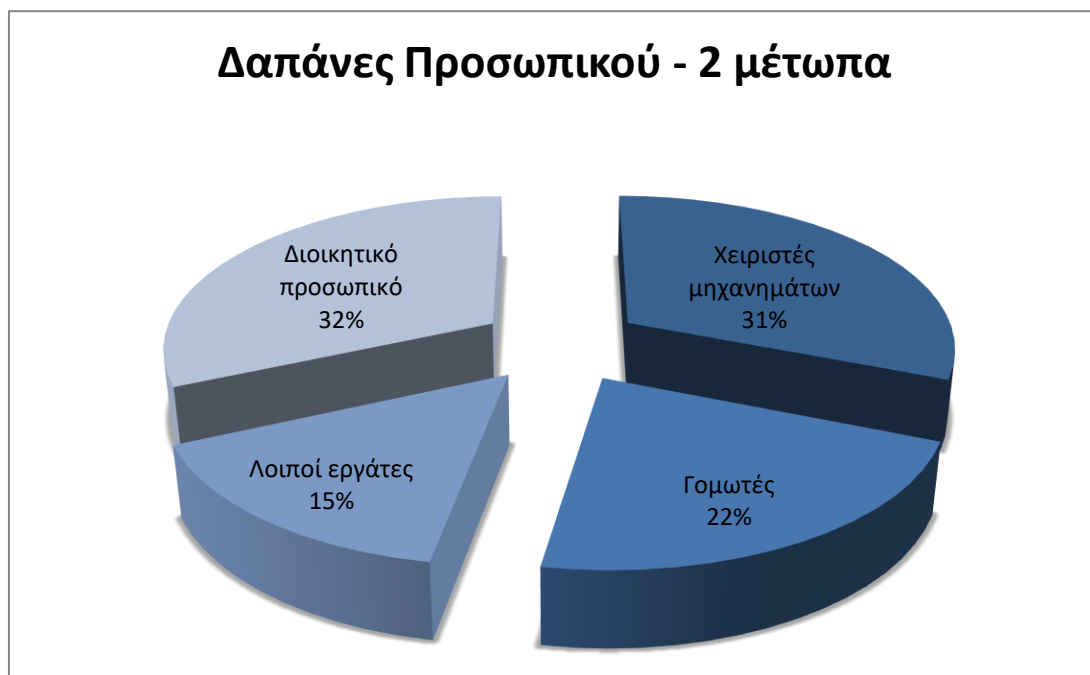
Διάγραμμα 9.1: Λειτουργικές Δαπάνες για την προσβολή σε 2 μέτωπα

Καθότι οι δαπάνες για το προσωπικό είναι άμεσα συνυφασμένες με τη διάρκεια ζωής της εκμετάλλευσης, αυξάνονται αυτόματα με την αύξηση των ημερών λειτουργίας που πλέον ανέρχονται σε 302. Στον πίνακα 9.2 που ακολουθεί παρουσιάζεται η μισθοδοσία των εργαζομένων καθ' όλη τη λειτουργία του έργου, βάσει του είδους της εργασίας που προσφέρουν.

Πίνακας 9.2: Αμοιβές εργαζομένων – 2 μέτωπα

ΔΑΠΑΝΕΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ			
	Αριθμός εργαζομένων	Ωρομίσθιο (€)	Συνολικές δαπάνες (€)
Χειριστές μηχανημάτων	5	18	214.440
Γομωτές	3	21	152.208
Λοιποί εργάτες	3	15	108.720
Διοικητικό προσωπικό	4	23	222.272
ΣΥΝΟΛΟ			700.640

Η στελέχωση της επιχείρησης με εργατικό δυναμικό για τις ανάγκες εκτέλεσης του έργου επιβαρύνει το τελικό προϋπολογισμό με 700.640 €. Όπως φαίνεται και στο σχετικό διάγραμμα (Διάγραμμα 9.3), η πλειοψηφία των εξόδων αφορά τις δαπάνες για τη μισθοδοσία του διοικητικού προσωπικού μηχανικών, εργοδηγών και τα λοιπά.



Διάγραμμα 9.3: Δαπάνες προσωπικού για την προσβολή σε 2 μέτωπα

Αντίστοιχες διαφοροποιήσεις παρουσιάζονται και στις αποσβέσεις κεφαλαίου των διαφόρων περιουσιακών στοιχείων της επιχείρησης. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση της ταυτόχρονης προσβολής των τεσσάρων μετώπων, ο υπολογισμός των αποσβέσεων κεφαλαίου γίνεται βάσει του συνολικού χρόνου λειτουργίας των μηχανημάτων.

Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 9.4) παρουσιάζονται τα κόστη κτήσης των διαφόρων περιουσιακών στοιχείων που χρειάζεται η επιχείρηση για την υλοποίηση του παρόντος έργου, καθώς και οι ποσότητες αυτών.

Πίνακας 9.4: Ποσότητες και κόστος περιουσιακών στοιχείων – 2 μέτωπα

Περιουσιακά Στοιχεία	ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ	Κόστος αγοράς/μονάδα (€)
Φορείο διάτρησης	1	330.000

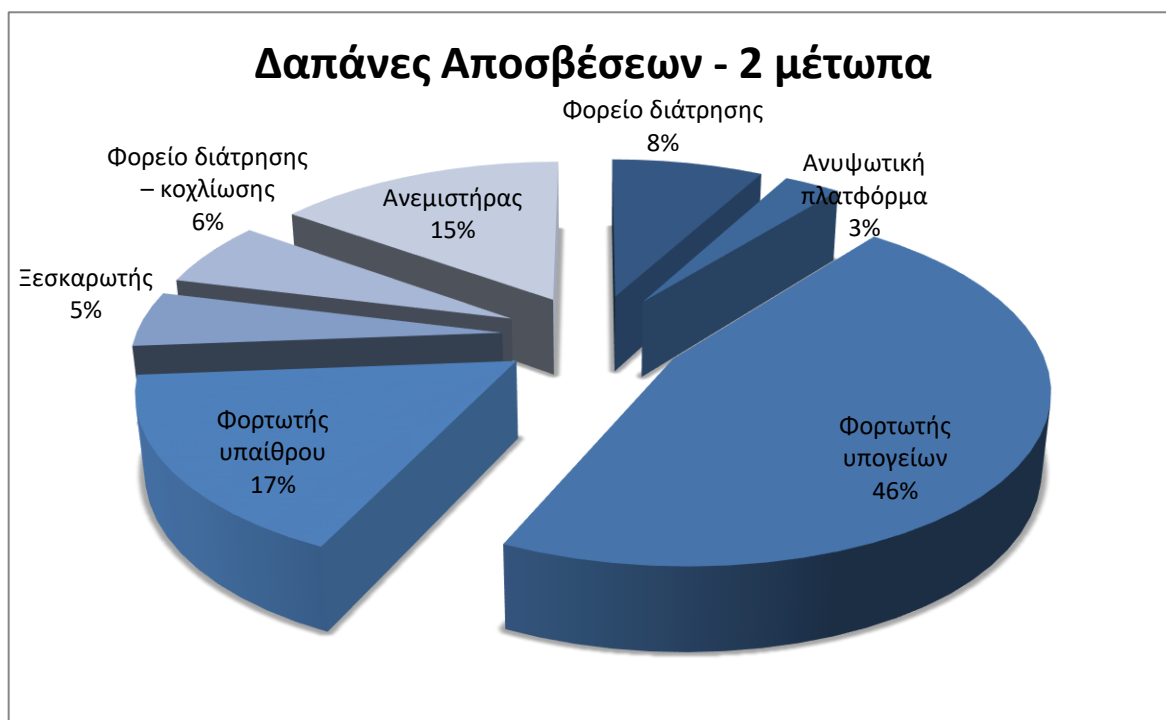
Ανυψωτική πλατφόρμα	1	200.000
Φορτωτής υπογείων	1	840.000
Φορτωτής υπαίθρου	1	600.000
Ξεσκαρωτής	1	550.000
Φορείο διάτρησης – κοχλίωσης	1	500.000
Ανεμιστήρας	1	80.000

Στη συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας 9.5 όπου εμφανίζεται το ποσό της δαπάνης που αφορά στην απόσβεσή των περιουσιακών στοιχείων.

Πίνακας 9.5: Δαπάνες αποσβέσεων – 2 μέτωπα

ΔΑΠΑΝΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΝ		
	Κόστος (€)	%
Φορείο διάτρησης	10.125	8
Ανυψωτική πλατφόρμα	3.769	3
Φορτωτής υπογείων	59.463	46
Φορτωτής υπαίθρου	21.744	17
Ξεσκαρωτής	6.644	5
Φορείο διάτρησης – κοχλίωσης	7.852	6
Ανεμιστήρας	19.328	15
ΣΥΝΟΛΟ	128.925	100

Στο σύνολο τους οι δαπάνες αποσβέσεων ανέρχονται σε 128.925 €. Υψηλότερο κόστος εμφανίζουν οι δαπάνες για την απόσβεση των φορτωτών υπογείων που είναι λογικό καθώς έχουν αρκετά αυξημένο κόστος κτήσης και πολλές ώρες λειτουργίας. Αντίθετα, οι χαμηλότερες δαπάνες απόσβεσης αφορούν την απόσβεση της ανυψωτικής πλατφόρμας, αφού κοστολογείται αρκετά χαμηλά. Όλα αυτά εικονίζονται και στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 9.6).



Διάγραμμα 9.6: Δαπάνες αποσβέσεων για την προσβολή σε 2 μέτωπα

Πλέον το τελικό κόστος της υπόγειας εκμετάλλευσης του παρόντος φακού βωξίτη, συμπεριλαμβανομένου του ποσοστού 15% των απρόβλεπτων εξόδων ανέρχεται στα 1.373.858 €, όπως φαίνεται και στο σχετικό πίνακα (Πίνακας 9.7).

Πίνακας 9.7: Συνολικό κόστος εκμετάλλευσης για την προσβολή σε 2 μέτωπα

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ	
	Κόστος (€)
Λειτουργικές Δαπάνες	365.094

Δαπάνες Προσωπικού	700.640
Δαπάνες Αποσβέσεων	128.925
Απρόβλεπτα Έξοδα	179.199
ΣΥΝΟΛΟ	1.373.858

Λαμβάνοντας υπόψη την ποσότητα του βωξίτη που τελικά εξορύχθηκε (134.694 tn), το συνολικό κόστος εξόρυξης εκφρασμένο ανά τόνο ανέρχεται σε 10,20 €/tn.

9.2 Προσβολή σε 6 μέτωπα

Η προσβολή του κοιτάσματος με έξι παραγωγικά μέτωπα να βρίσκονται λειτουργία, αποτελεί μια ιδιάζουσα περίπτωση καθώς παρουσιάζει αρκετές διαφορές σε σχέση με τις δύο προηγούμενες αναλύσεις. Γενικά, επηρεάζεται πρώτα από όλα τη δυναμικότητα του έργου. Είναι εμφανές ότι η αύξηση των μετώπων παραγωγής έχει σαν αποτελέσματα εξίσου την αύξηση της ημερήσιας δυναμικότητας του έργου. Αναλυτικά, δεδομένου όλων των απαραίτητων παραμέτρων, η ημερήσια παραγωγική με την ταυτόχρονη προσβολή έξι μετώπων ισοδυναμεί με 1336,5 tn και η ετήσια αντίστοιχα με 354.172,5 tn. Όσον αφορά τη διάρκεια ζωής του έργου και τις συνολικές ημέρες εργασίες μειώνονται αισθητά και πλέον ανέρχονται σε 101 ημέρες.

Η αύξηση των παραγωγικών μετώπων έχει μεγάλο αντίκτυπο στο χρονικό προγραμματισμό των εργασιών. Η συνήθης πρακτική στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις είναι να μην αφήνεται ανυποστήρικτη κάποια εκσκαφή στο τέλος της ημέρας, για την αποφυγή πτώσης λίθων. Έτσι, προκειμένου να έχουν ολοκληρωθεί οι εργασίες υποστήριξης μέχρι το τέλος της βάρδιας είναι απαραίτητη η συνδρομή επιπλέον εργατών και εξοπλισμού. Πρακτικά, θα πρέπει να βρίσκονται σε ταυτόχρονη λειτουργία δύο παραγωγικά μέτωπα. Κατά την πρώτη βάρδια (06:00 – 14:00) εκτελείται διάτρηση, γόμωση των διατρημάτων που ορύχθηκαν και ανατίναξη. Κατά τη δεύτερη βάρδια (14:00 – 22:00) εκτελείται αποκομιδή του εξορυγμένου μεταλλεύματος και υποστήριξη της οροφής. Με την έναρξη της πρώτης βάρδιας γίνεται η όρυξη των διατρημάτων στα μέτωπα 1 και 2 με τη χρήση διαφορετικών συστημάτων διάτρησης. Στη συνέχεια ακολουθεί η διάτρηση των μετώπων 3 και 4 με την ίδια λογική και ολοκληρώνεται η διαδικασία με τα μέτωπα 5 και 6. Αντίστοιχα γίνεται η γόμωση, η φόρτωση και μεταφορά με 2 φορτωτές ανά μέτωπο, το ξεσκάρωμα και η υποστήριξη. Για κάθε εργασία δηλαδή, είναι απαραίτητος ο διπλάσιος εξοπλισμός εργατικό δυναμικό σε σχέση με την εκμετάλλευση με την προσβολή τεσσάρων

μετώπων πέραν της φάση της αποκομιδής του μεταλλεύματος όπου ο εξοπλισμός παραμένει ο ίδιος.

Ακολουθεί η σύνοψη όσων αναφέρθηκαν παραπάνω στον πίνακα 9.8.

Πίνακας 9.8: Ημερήσιος χρονικός προγραμματισμός των εργασιών για τα έξι μέτωπα

		ΜΕΤΩΠΟ 1,2		ΜΕΤΩΠΟ 3,4		ΜΕΤΩΠΟ 5,6	
		Έναρξη	Λήξη	Έναρξη	Λήξη	Έναρξη	Λήξη
01:16	Διάτρηση	06:30	07:46	07:56	09:12	09:22	10:38
00:47	Γόμωση	07:46	08:33	09:12	09:59	10:38	11:25
	Ανατίναξη	-	-	-	-	-	-
00:30	Αερισμός	13:30					
01:28	Αποκομιδή	14:30	15:58	16:08	17:36	17:46	19:14
00:30	Ξεσκάρωμα	15:58	16:28	17:36	18:06	19:14	19:44
00:39	Υποστήριξη	16:28	17:07	18:06	18:45	19:44	20:23
00:10	Μετακινήσεις						

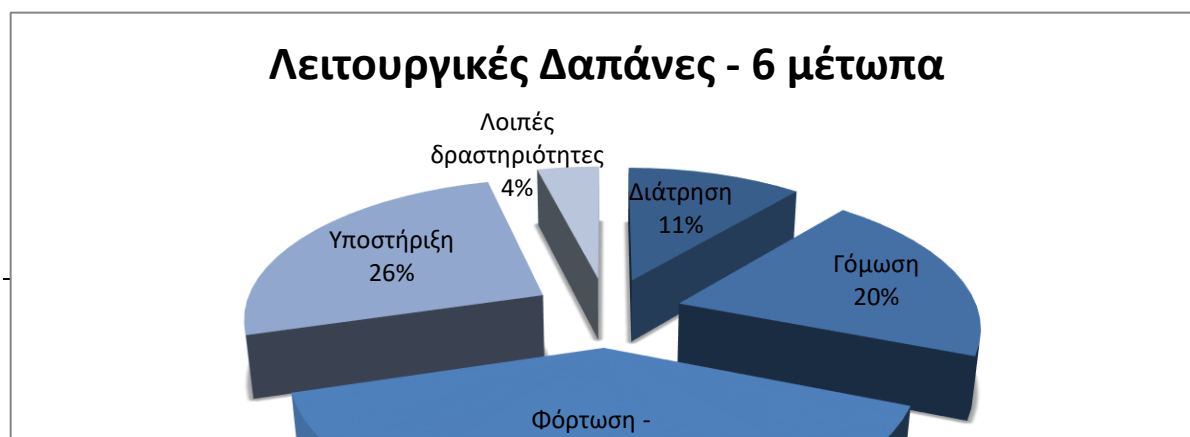
Από την οπτική της κοστολόγησης, η αύξηση των παραγωγικών μετώπων άρα και της ημερήσιας παραγωγικότητας του έργου προκαλεί αύξηση του γενικού κόστους εξόρυξης και αυτό γιατί οι απαιτήσεις σε εργατικό προσωπικό και εξοπλισμό είναι αυξημένες. Η μέθοδος κοστολόγησης που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του συνολικού κόστους εξόρυξης είναι ταυτόσημη με αυτή της βέλτιστης πρακτικής (περίπτωση των τεσσάρων μετώπων). Η ουσιαστική διαφορά που τροποποιεί τα τελικά αποτελέσματα είναι οι διαφοροποιήσεις στον μηχανολογικό εξοπλισμό και στον αριθμό των χειριστών αυτού.

Πιο συγκεκριμένα, δαπάνες που προορίζονται για τη λειτουργία του έργου συνοψίζονται στον πίνακα 9.9.

Πίνακας 9.9: Λειτουργικές δαπάνες για την προσβολή σε 6 μέτωπα

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ		
Είδος Εργασίας		Κόστος (€)
Διάτρηση	κοπτικά άκρα	9.599
	Στελέχη	4.704
	λειτουργία φορείου	53.873
Γόμωση	εκρηκτικό γαλάκτωμα	41.448
	A.N.F.O.	23.336
	ηλεκτρικά καψύλλια	23.336
	καλώδιο σύνδεσης	965
	λειτουργία πλατφόρμας	33.088
Φόρτωση - Μεταφοράς	λειτουργία φ. υπογείων	178.164
	λειτουργία φ. υπαίθρου	63.630
Υποστήριξη	κοπτικά άκρα	1.454
	Στελέχη	713
	Κοχλίες	36.280
	Ρητίνη	43.536
	Πλακίδια	19.954
	μεταλλικό πλέγμα	20.408
	λειτουργία φορείου	35.451
Λοιπές Δραστηριότητες	λειτουργία ξεσκαρωτή	21.210
	λειτουργία ανεμιστήρα	2.990
ΣΥΝΟΛΟ		614.022

Στο ακόλουθο διάγραμμα 9.10 παρουσιάζεται η κατανομή του λειτουργικού κόστους στις διάφορες δραστηριότητες που το απαρτίζουν.



Διάγραμμα 9.10: Λειτουργικές δαπάνες για την προσβολή σε 6 μέτωπα

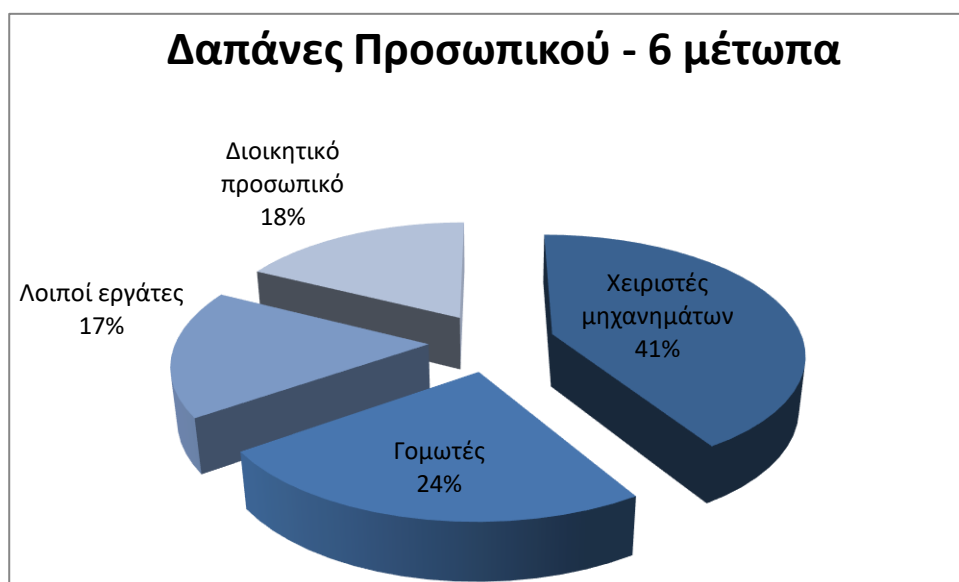
Όπως φάνηκε και από τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις οι δαπάνες προσωπικού είναι άμεσα συνυφασμένες με τη διάρκεια ζωής της εκμετάλλευσης. Καθώς μειώνονται οι ημέρες λειτουργίας του έργου αναμένεται να μειωθεί εξίσου και το κόστος μισθοδοσίας του προσωπικού. Στον πίνακα 9.11 που ακολουθεί παρουσιάζεται η μισθοδοσία των εργαζομένων καθ' όλη τη λειτουργία του έργου, βάσει του είδους της εργασίας που προσφέρουν.

Πίνακας 9.11: Αμοιβές εργαζομένων για την προσβολή του κοιτάσματος σε 6 μέτωπα

ΔΑΠΑΝΕΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ			
	Αριθμός εργαζομένων	Ωρομίσθιο (€)	Συνολικές δαπάνες (€)
Χειριστές μηχανημάτων	12	18	174.528

Γομωτές	6	21	101.808
Λοιποί εργάτες	6	15	72.720
Διοικητικό προσωπικό	4	23	74.336
ΣΥΝΟΛΟ			423.392

Η στελέχωση της επιχείρησης με εργατικό δυναμικό για τις ανάγκες εκτέλεσης του έργου επιβαρύνει το τελικό προϋπολογισμό με 423.392 €. Όπως φαίνεται και στο σχετικό διάγραμμα 9.12, η πλειοψηφία των εξόδων αφορά τις δαπάνες για τη μισθοδοσία των χειριστών των διάφορων μηχανημάτων. Αντίθετα, χαμηλές εμφανίζονται συγκριτικά οι δαπάνες για την μισθοδοσία του λοιπού βοηθητικού προσωπικού.



Διάγραμμα 9.12: Δαπάνες προσωπικού – 6 μέτωπα

Αντίστοιχες διαφοροποιήσεις παρουσιάζονται και στις αποσβέσεις κεφαλαίου των διάφορων περιουσιακών στοιχείων της επιχείρησης. Όπως και στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις της ταυτόχρονης προσβολής των τεσσάρων και των δύο μετώπων, ο υπολογισμός των αποσβέσεων κεφαλαίου γίνεται βάσει του χρόνου λειτουργίας του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στο έργο.

Στον πίνακα 9.13 παρουσιάζονται τα κόστη κτήσης των διάφορων περιουσιακών στοιχείων που χρειάζεται η επιχείρηση για την υλοποίηση του παρόντος έργου, καθώς και ποσότητες αυτών.

Πίνακας 9.13: Ποσότητες και κόστος περιουσιακών στοιχείων – 6 μέτωπα

Περιουσιακά Στοιχεία	ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ	Κόστος αγοράς/μονάδα (€)
Φορείο διάτρησης	2	330.000
Ανυψωτική πλατφόρμα	2	200.000
Φορτωτής υπογείων	4	840.000
Φορτωτής υπαίθρου	2	600.000
Ξεσκαρωτής	2	550.000
Φορείο διάτρησης - κοχλίωσης	2	500.000
Ανεμιστήρας	1	80.000

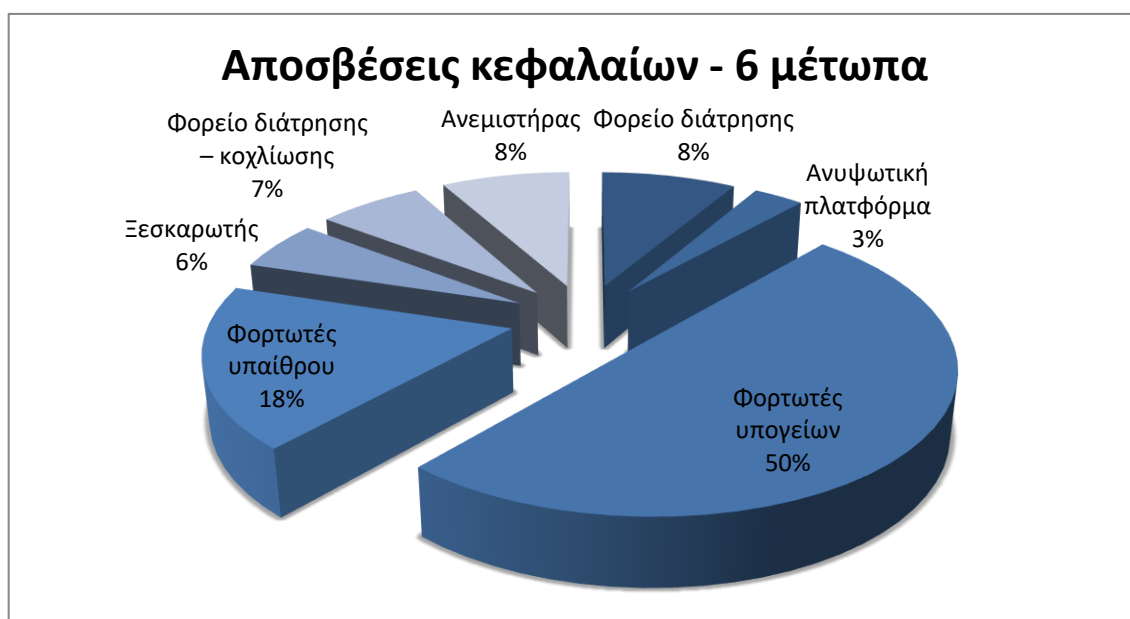
Στη συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας 9.14 όπου εμφανίζεται το ποσό της δαπάνης που αφορά την απόσβεση των περιουσιακών στοιχείων.

Πίνακας 9.14: Δαπάνες αποσβέσεων – 6 μέτωπα

ΔΑΠΑΝΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΝ		
	Κόστος (€)	%
Φορείο διάτρησης	20.318	8
Ανυψωτική πλατφόρμα	7.563	3

Φορτωτές υπογείων	119.726	50
Φορτωτές υπαίθρου	43.632	18
Ξεσκαρωτής	13.332	6
Φορείο διάτρησης – κοχλίωσης	15.756	7
Ανεμιστήρας	19.392	8
ΣΥΝΟΛΟ	239.719	100

Στο σύνολο του οι δαπάνες αποσβέσεων ανέρχονται σε 239.719 €. Υψηλότερο κόστος εμφανίζουν οι δαπάνες για την απόσβεση των υπόγειων φορτωτών που είναι λογικό καθώς έχουν αρκετά αυξημένο κόστος κτήσης και ο αριθμός των μηχανημάτων και ο χρόνος λειτουργίας σε σχέση με τον υπόλοιπο μηχανολογικό εξοπλισμό είναι επίσης αυξημένος. Αντίθετα, οι χαμηλότερες δαπάνες απόσβεσης αφορούν την ανυψωτική πλατφόρμα, αφού κοστολογείται αρκετά χαμηλά. Όλα αυτά εικονίζονται και στο παρακάτω διάγραμμα 9.15.



Διάγραμμα 9.15: Αποσβέσεις κεφαλαίων – 6 μέτωπα

Πλέον το τελικό κόστος της υπόγειας εκμετάλλευσης του παρόντος φακού βωξίτη, συμπεριλαμβανομένου του ποσοστού 15% των απρόβλεπτων εξόδων ανέρχεται στα 1.376.152 €, όπως φαίνεται και στο σχετικό πίνακα (πίνακας 9.16).

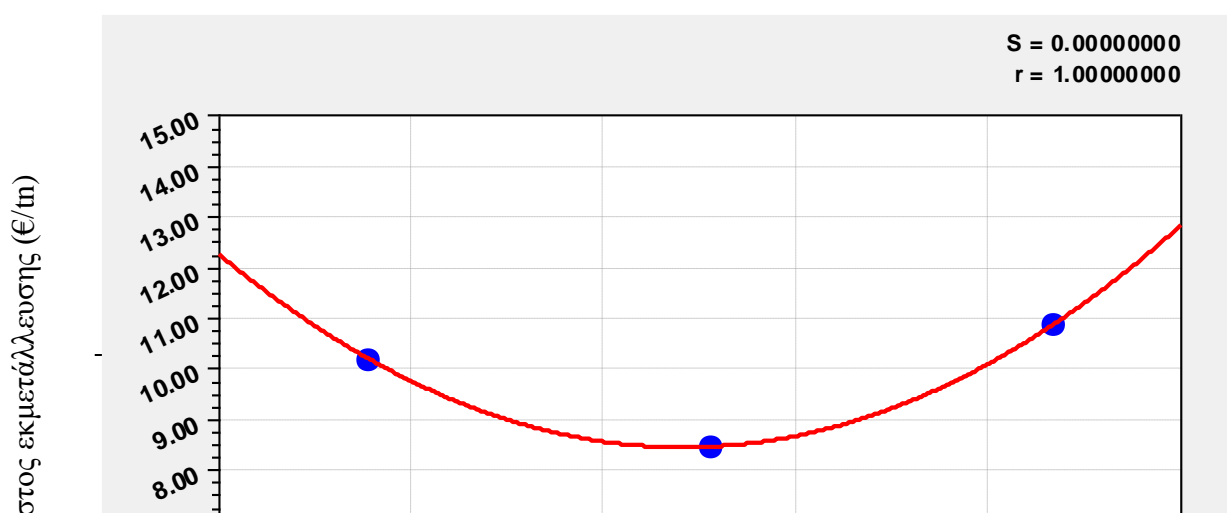
Πίνακας 9.16: Συνολικό κόστος εκμετάλλευσης για την προσβολή σε 6 μέτωπα

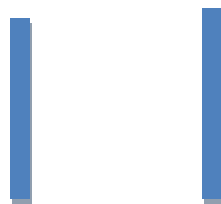
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ	
	Κόστος (€)
Λειτουργικές Δαπάνες	614.022
Δαπάνες Προσωπικού	423.392
Δαπάνες Αποσβέσεων	239.719
Απρόβλεπτα Έξοδα	191.570
ΣΥΝΟΛΟ	1.468.703

Λαμβάνοντας υπόψη την ποσότητα του βωξίτη που τελικά εξορύχθηκε (134.694 tn), το συνολικό κόστος εξόρυξης εκφρασμένο ανά τόνο ανέρχεται στα 10,90 €/tn.

9.3 Σύγκριση μεθόδων

Από την ανάλυση που προηγήθηκε είναι φανερό ότι το συνολικό κόστος της εκμετάλλευσης μεταβάλλεται ανάλογα με τον αριθμό των παραγωγικών μετώπων που λειτουργούν, δηλαδή ανάλογα με την ημερήσια δυναμικότητα του έργου. Παρατηρείται ότι για ένα εύρος τιμών ημερήσιας παραγωγικότητας (tn) το κόστος ελαχιστοποιείται. Με βάση τα σχέδια που εξετάστηκαν φαίνεται ότι οι υπάρχει ένα βέλτιστο εύρος ημερήσιας δυναμικότητας για το οποίο το κόστος εκμετάλλευσης φαίνεται να εμφανίζει τις ελάχιστες τιμές. Το εύρος αυτό κυμαίνεται από τους 750 έως τους 1000 tn, όπως φαίνεται στο σχετικό διάγραμμα 9.17.





Ημερήσια παραγωγή (tn)

Διάγραμμα 9.17: Σχέση Κόστους εξόρυξης και ημερησίας παραγωγικότητας

Από τα δεδομένα της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε μπορεί να παραχθεί μία σχετική σχέση υπολογισμού του κόστους εκμετάλλευσης (€/tn) για τις παρούσες συνθήκες σύμφωνα με την εξίσωση:

$$KE = 1,61 \times 10^1 - 1,79 \times 10^{-2} \pi + 1,05 \times 10^{-5} \pi^2$$

Όπου:

ΚΕ	το κόστος εκμετάλλευσης (€/tn)
π	η ημερήσια παραγωγή του έργου (tn)

10. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗΣ

10.1 Βραχομάζα κακής ποιότητας

Η δομή της βραχομάζας εξαρτάται από τα δομικά της χαρακτηριστικά και διαμορφώνεται κατά τη γεωλογική της ιστορία. Γενικά, με τον όρο κακής ποιότητας βραχομάζα συχνά εννοούμε μια ισχυρά διακλασμένη βραχομάζα με πολύπλευρα γωνιώδη συμπλεγμένα τεμάχια, που συνήθως σχηματίζονται από τέσσερα ή περισσότερα σύνολα ασυνεχειών. Η βραχομάζα διαχωρίζεται σε κατηγορίες ποιότητας με κοινά μηχανικά χαρακτηριστικά βάσει γεωτεχνικών ταξινομήσεων. Οι γεωτεχνικές ταξινομήσεις χρησιμοποιούνται για τον εμπειρικό προσδιορισμό των παραμέτρων αντοχής της βραχομάζας, κυρίως λόγω του κόστους και της δυσκολίας εκτέλεσης επιτόπου δοκιμών προσδιορισμού των μηχανικών ιδιοτήτων της. Συνηθεστέρα, γίνεται χρήση του συστήματος ταξινόμησης RMR (Rock Mass Rating system). Η ταξινόμηση RMR αναπτύχθηκε από τον Bieniawski (1989) και λαμβάνει υπόψη έξι παραμέτρους:

- την αντοχή του άρρηκτου πετρώματος,
- το δείκτη RQD,
- την απόσταση των ασυνεχειών,
- την κατάσταση των επιφανειών των ασυνεχειών,
- τις συνθήκες υπόγειου νερού και
- τον προσανατολισμό των ασυνεχειών.

Η βραχομάζα βαθμονομείται για τις 5 πρώτες παραμέτρους ανάλογα με το εύρος των τιμών τους και τη σημασία της κάθε παραμέτρου για τη συνολική κατάταξη της βραχομάζας. Υψηλότεροι βαθμοί μιας παραμέτρου υποδηλώνουν καλύτερες συνθήκες βραχομάζας. (Νομικός, 2015). Σύμφωνα με το Bieniawski, διακρίνονται πέντε κατηγορίες ποιότητας που αντιστοιχούν σε τιμές RMR: (κατηγορία I) 81 – 100, (κατηγορία II) 61 – 80, (κατηγορία III) 41 – 60, (κατηγορία IV) 21 – 40 και (κατηγορία V) 0 – 20.

Η τιμή RMR που μπορεί να τροποποιηθεί περεταίρω, ώστε να ληφθεί υπόψη η διαταραχή που προκαλείται στη βραχομάζα από τις ανατινάξεις, το τυχόν υψηλό φυσικό εντατικό πεδίο ή την έντονη μεταβολή του κατά την εκσκαφή, καθώς και την παρουσία ρηγμάτων ή θραύσεων μεγάλης κλίμακας (Bieniawski 1989, 2011).

Άλλες σημαντικές γεωτεχνικές ταξινομήσιμες της βραχομάζας που χρησιμοποιούνται συχνά για τον εμπειρικό προσδιορισμό των παραμέτρων αντοχής της είναι το σύστημα ταξινόμησης Q και ο γεωλογικός δείκτης αντοχής GSI.

Το σύστημα ταξινόμησης Q έχει εφαρμογή κυρίως για την κατάταξη της βραχομάζας γύρω από υπόγεια ανοίγματα. Κατά το σύστημα Q η βραχομάζα κατατάσσεται σε κατηγορίες ποιότητας, ανάλογα με την τιμή του δείκτη Q, ο οποίος λαμβάνει τιμές πρακτικά από 0.001, προκειμένου για εξαιρετικά πτωχής ποιότητας βραχομάζα, έως 1000, προκειμένου για εξαιρετικά καλής ποιότητας βραχομάζα. Ο δείκτης Q μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της απαιτούμενης υποστήριξης σηράγγων.

Ο Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής (Geological Strength Index, GSI) αποτελεί έναν ποσοτικό δείκτη χαρακτηρισμού της ποιότητας της βραχομάζας, με βάση τη δομή και την κατάσταση των ασυνεχειών της. Ο δείκτης GSI έχει καθιερωθεί σήμερα διεθνώς για τον ποσοτικό χαρακτηρισμό της βραχομάζας, ειδικότερα κατά την κατασκευή σηράγγων, ενώ έχει επίσης χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα τις δύο τελευταίες δεκαετίες και στην Ελλάδα. Η χρήση του δείκτη συνδυάζεται συνήθως με την εφαρμογή του κριτηρίου Hoek - Brown για τη βραχομάζα, καθώς μπορεί να παράσχει (με αφετηρία τις παραμέτρους αντοχής του άρρηκτου πετρώματος) παραμέτρους αντοχής της βραχομάζας για χρήση σε αναλυτικές λύσεις ή αριθμητικές αναλύσεις (Νομικός, 2015). Το διάγραμμα του GSI δίνεται από τη δημοσίευση των Μαρίνος κ.ά, 2004.

Διάγραμμα 10.1: Διάγραμμα GSI (Marinos & Hoek 2000)

<p>ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΟΥΣ ΒΡΑΧΟΥΣ (Hoek and Marinos, 2000) Βασίζονται στην εμφάνιση της βραχομάζας (περιγραφή δομής και κατάσταση επιφανείας ασυνεχειών) εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI, χωρίς υποχρεωτικά μεγάλη ακρίβεια. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 ως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι GSI=35. Σημειώνεται ότι ο Πίνακας δεν εφαρμόζεται σε κινησιακά ελεγχόμενες αστάθειες. Στην περίπτωση που οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες έχουν μη ευνοϊκό προσανατολισμό σε σχέση με το πρηνές εκσκαφής, τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχομάζας. Η διατμητική αντοχή εμφανίζεται σε βράχους που υπόκεινται σε εξασθένιση λόγω διακύμανσης της περιεκτικότητας σε υγρασία, είναι περαιτέρω μειωμένη όταν υπάρχει νερό. Όταν, οι βραχομάζες ανήκουν στις μέτριες έως πτωχές κατηγορίες και υπάρχει νερό τότε μετακινούμαστε προς τα δεξιά. Η υδροστατική πίεση λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων.</p> <p>ΔΟΜΗ</p>	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ					
	<p>ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, μη αποσπασθριμμένες επιφάνειες</p> <p>ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρά αποσπασθριμμένες και οξείδωμένες επιφάνειες</p> <p>ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετριώς αποσπασθριμμένες και εξολεωμένες επιφάνειες</p> <p>ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολισθητές, πολύ αποσπασθριμμένες με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη βράχια</p> <p>ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολισθητές, πολύ αποσπασθριμμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης</p>	ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
<p>INTACT OR MASSIVE - Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνεχείες σε μεγάλη απόσταση</p> <p>BLOCKY - Αδιεταράκτη βραχομάζα με πολύ καλό αλληλοκλειδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών</p> <p>VERY BLOCKY- Μερικώς διαταραγμένη βραχομάζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών</p> <p>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας</p> <p>DISINTEGRATED - Ισχυρά κερματισμένη βραχομάζα με πτωχό αλληλοκλειδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστρωγυλωμένων τεμαχίων</p> <p>LAMINATED/SHEARED - Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχομάζα. Η σχιστότητα επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιωδών τεμαχίων</p>	ΜΕΙΟΥΜΕΝΟ ΑΛΛΗΛΟΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ					
	90				N/A	N/A
	80					
		70				
		60				
			50			
			40			
				30		
					20	
						10
	N/A	N/A				

Η ανάλυση που προηγήθηκε για το βασικό σενάριο αφορούσε βραχομάζα βωξίτη ποιότητας II με RMR 60 – 65, ενώ στην περίπτωση κακής ποιότητας βραχομάζας επιλέγεται τιμή RMR από 40 – 45, ποιότητας III.

Για την αντιμετώπιση περιπτώσεων εκμετάλλευσης περιοχών όπου η ποιότητα βραχομάζας εμφανίζεται μειωμένη προτείνεται η μείωση του βήματος προχώρησης και η πύκνωση της κοιλώσης της οροφής. Το νέο βήμα προχώρησης ορίζεται στα 2,0 m. Η εγκάρσια απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών κοιλίων ορίζεται στα $y = 0,6$ m και αντίστοιχα η διαμήκης απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών κοιλίων στα $x = 0,6$ m.

Ο όγκος του εξορυσσόμενου υλικού ανά μέτωπο και ανατίναξη και το ειδικό βάρος του βωξίτη, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η ημερήσια δυναμικότητα του μεταλλείου ανέρχεται στους 594 tn. Έτσι, καθότι καθημερινά εργάζονται δύο οκτάωρες βάρδιες και συνολικά το μεταλλείο λειτουργεί 265 μέρες ετησίως, η ετήσια δυναμικότητά του προέκυψε 157.410 tn, γεγονός που ισοδυναμεί σχεδόν με $\Delta = 227$ ημέρες εργασίας.

Οι αλλαγές αυτές αναμένεται να επιφέρουν αύξηση του χρόνου υποστήριξης και μείωση του χρόνου διάτρησης και αποκομιδής καθώς μειώνεται η ποσότητα του εξορυσσόμενου μεταλλεύματος ανά μέτωπο και ανά ανατίναξη που πλέον ανέρχεται σε 148,5 tn. Όπως στην περίπτωση της βέλτιστης λύσης των τεσσάρων παραγωγικών μετώπων υπολογίζονται οι χρόνοι των εργασιών.

Πίνακας 10.2: Χρόνοι εργασιών – περίπτωση κακής βραχομάζας

ΧΡΟΝΟΙ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	
Διάτρηση	1:00
Γόμωση	0:47
Ανατίναξη – Αερισμός	0:30
Αποκομιδή	1:00
Ξεσκάρωμα	0:30
Υποστήριξη	1:55

Ο χρονικός προγραμματισμός των εργασιών στις δύο βάρδιες παραμένει ο ίδιος με την διάτρηση, τη γόμωση και την ανατίναξη να εκτελούνται κατά την πρώτη βάρδια και την αποκομιδή του μεταλλεύματος, το ξεσκάρωμα και την υποστήριξη κατά τη δεύτερη. Σύμφωνα με το βέλτιστο χρονικό προγραμματισμό της εκμετάλλευσης υπό τις παρούσες συνθήκες, για την παραγωγή σε τέσσερα μέτωπα χρησιμοποιείται:

- 1 διατρητικό φορείο
- 1 ανυψωτική πλατφόρμα
- 2 φορτωτές υπογείων
- 1 φορτωτή υπαίθρου
- 1 ξεσκαρωτή

- ο 1 φορείο διάτρησης - κοχλίωσης

Πλέον οι λειτουργικές δαπάνες διαμορφώνονται ως εξής:

Πίνακας 10.3: Λειτουργικές δαπάνες για την περίπτωση κακής βραχομάζας

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ		
Είδος Εργασίας/		Κόστος (€)
Διάτρηση	κοπτικά άκρα	10.024
	Στελέχη	4.912
	λειτουργία φορείου	31.780
Γόμωση	εκρηκτικό γαλάκτωμα	31.085
	A.N.F.O.	28.109
	ηλεκτρικά καψύλλια	34.830
	καλώδιο σύνδεσης	1.339
	λειτουργία πλατφόρμας	24.788
Φόρτωση - Μεταφοράς	λειτουργία φ. υπογείων	90.800
	λειτουργία φ. υπαίθρου	47.670
Υποστήριξη	κοπτικά άκρα	4.540
	Στελέχη	2.225
	Κοχλίες	226.760
	Ρητίνη	272.112
	Πλακίδια	124.718
	μεταλλικό πλέγμα	20.409
	λειτουργία φορείου	78.451
Λοιπές Δραστηριότητες	λειτουργία ξεσκαρωτή	15.890
	λειτουργία ανεμιστήρα	6.719
ΣΥΝΟΛΟ		1.057.161

Οι δαπάνες προσωπικού παρουσιάζονται στον πίνακα 10.4

Πίνακας 10.4: Δαπάνες προσωπικού – περίπτωση κακής βραχομάζας

ΔΑΠΑΝΕΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ			
	Αριθμός εργαζομένων	Ωρομίσθιο (€)	Συνολικές δαπάνες (€)
Χειριστές μηχανημάτων	6	18	196.128
Γομωτές	3	21	114.408
Λοιποί εργάτες	3	15	81.720
Διοικητικό προσωπικό	4	23	181.600
ΣΥΝΟΛΟ			573.856

Οι αποσβέσεις κεφαλαίων παρουσιάζονται στον πίνακα 10.5.

Πίνακας 10.5: Δαπάνες αποσβέσεων – περίπτωση κακής βραχομάζας

ΔΑΠΑΝΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΝ	
	Κόστος (€)
Φορείο διάτρησης	11.986
Ανυψωτική πλατφόρμα	5.666
Φορτωτές υπογείων	61.018
Φορτωτές υπαίθρου	32.688
Ξεσκαρωτής	9.988
Φορείο διάτρησης – κοχλίωσης	34.867
Ανεμιστήρας	29.056
ΣΥΝΟΛΟ	185.269

Πλέον το τελικό κοστολόγιο της υπόγειας εκμετάλλευσης του παρόντος φακού βωξίτη, συμπεριλαμβανομένου του ποσοστού 15% των απρόβλεπτων εξόδων ανέρχεται στα 2.196.855 €, όπως φαίνεται και στο σχετικό πίνακα (πίνακας 10.6).

Πίνακας 10.6: Συνολικό κόστος εκμετάλλευσης – περίπτωση κακής βραχομάζας

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ	
	Κόστος (€)
Λειτουργικές Δαπάνες	1.057.161
Δαπάνες Προσωπικού	573.856
Δαπάνες Αποσβέσεων	185.269
Απρόβλεπτα Έξοδα	286.546
ΣΥΝΟΛΟ	2.088.728

Λαμβάνοντας υπόψη την ποσότητα του βωξίτη που τελικά εξορύχθηκε, το συνολικό κόστος εξόρυξης εκφρασμένο ανά τόνο ανέρχεται στα 15,51 €/tn.

Στην περίπτωση όπου η βραχομάζα θεωρηθεί αρκετά κατακερματισμένη και πρέπει να μείνουν στύλοι πετρώματος μεγαλύτερων διαστάσεων 8 x 8 m με απόληψη 75%, τότε με αντίστοιχη ανάλυση το κόστος εξόρυξης μειώνεται σε 15,48 €/tn.

10.2 Χρήση Διαφορετικού Μηχανολογικού Εξοπλισμού

Μια νέα τάση που κυκλοφορεί στους χώρους των υπόγειων εκμεταλλεύσεων είναι η χρήση μηχανημάτων γόμωσης χύδην εκρηκτικού γαλακτώματος ή όπως συνήθως αποκαλούνται MUP (Mobile Unit Pumping). Τα μηχανήματα MUP είναι ικανά να ειπέσουν χύδην εκρηκτικό γαλάκτωμα σε διάτρημα κάθε κλίσης, ακόμα και κάθετα. Για το λόγο αυτό προτιμούνται στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις όπου οι γομωτές αντιμετωπίζουν δυσκολίες με τη γόμωση με φυσίγγια. Κατά βάση τα μηχανήματα MUP είναι ενσωματωμένα σε αρθρωτά οχήματα υπογείων που αποτελούνται από τρία σιλό, κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα, ένα για κάθε πρώτη ύλη:

- matrix
- ευαισθητοποιητής
- νερό

Επιπλέον διαθέτουν τρεις αντλίες, οι οποίες λειτουργούν με τη βοήθεια τριών υδραυλικών κινητήρων.

Τα γενικά χαρακτηριστικά που αναφέρονται του MUP αναφέρονται στον ακόλουθο πίνακα 10.7.

Πίνακας 10.7:Χαρακτηριστικά MUP

Διαστάσεις	2540 mm x 1540 mm x 1035 m (ύψος)
Καθαρό βάρος	944 kg
Χωρητικότητα σιλό matrix	800 dm ³
Χωρητικότητα σιλό ευαισθητοποιητή	80 dm ³
Χωρητικότητα σιλό νερού	140 dm ³
Υδραυλική τροφοδοσία	36 l/min στα 35 bar
Ηλεκτρική τροφοδοσία	24 V
Μέγιστος ρυθμός άντλησης	40 kg/min
Μέγιστη πίεση άντλησης	22 bar
Μέγιστη απόσταση άντλησης	15 m



Εικόνα 10.8: Όχημα υπογείων στο οποίο ενσωματώνεται το mup

Η τροφοδοσία των οχημάτων με matrix γίνεται ως εξής. Το matrix φθάνει στο ορυχείο με βυτίο, όπου μεταγγίζεται σε ανοξειδωτες κυλινδρικές (με κωνικό πάτο) δεξαμενές του 1 tn. Οι εν λόγω δεξαμενές, μεταφέρονται με τρενάκι εντός του ορυχείου. Εκεί υπάρχει βάση στην οποία τοποθετείται με κλαρκ μία δεξαμενή τη φορά. Το όχημα που φέρει το MUP οδηγείται κάτω από τη βάση, ώστε με φυσική ροή να καταλήξει το matrix από το τη δεξαμενή στο MUP. Η

διαδικασία αυτή διαρκεί περίπου 5 min. Εν συνεχεία, βάσει του μέγιστου ρυθμού άντλησης η διαδικασία της γόμωσης διαρκεί περί τα 15 sec ανά διάτρημα, ενώ οι διάφορες καθυστερήσεις διαρκούν 5 min. Αποτέλεσμα αυτών είναι η γόμωση των διατρημάτων με το μηχάνημα mup να διαρκεί συνολικά:

$$T_{\text{γόμωσης,mup}} = n1 \times \text{τεργασίας} + \text{τκαθυστερήσεων} = 17 \text{ min}$$

Όπου:

n1	ο αριθμός των διατρημάτων ανά παραγωγικό μέτωπο
τεργασίας	ο χρόνος γόμωσης διατρήματος (min)
τκαθυστερήσεων	ο χρόνος που οφείλεται σε καθυστερήσεις (min)

Η χρήση του μηχανήματος mup εξαλείφει τη γόμωση με ANFO. Έτσι, πέραν του ηλεκτρικού πυροκροτητή κάθε διάτρημα πληρώνεται έως το 1/2 του με εκρηκτικό γαλάκτωμα πυκνότητας $\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$. Οι σχετικοί υπολογισμοί έδειξαν ότι ο όγκος που καταλαμβάνει το γαλάκτωμα μέσα σε κάθε διάτρημα είναι $0,0018 \text{ m}^3$. Συνεπώς για την ολοκλήρωση του παρόντος έργου χρειάζονται $54,29 \text{ m}^3$. Η αντιστοιχία του όγκου αυτού σε μάζα βάσει της πυκνότητας της εκρηκτικής ύλης, όπως αναφέρεται στις τεχνικές προδιαγραφές του προϊόντος, είναι 65.144 kg . Όσον αφορά το οικονομικό μέρος, μια μέση τιμή αγοράς του χύμα εκρηκτικού γαλακτώματος (χωρίς φυσίγγιο) είναι τα $1,10 \text{ €}$. Επομένως το συνολικό κόστος του γαλακτώματος υπολογίζεται στα:

$$K_{\chi.\gammaαλακτώματος} = T_{\chi.\gammaαλακτώματος} \times M_{\gammaαλακτώματος,συνολικά} = 71.658 \text{ €}$$

Όπου:

$T_{\chi.\gammaαλακτώματος}$	η τιμή πώλησης του χύμα εκρηκτικού γαλακτώματος (€/kg)
$M_{\gammaαλακτώματος,συνολικά}$	οι συνολικές απαιτήσεις σε εκρηκτικό γαλάκτωμα (kg)

Εν ακολουθία, οι τεχνικές προδιαγραφές του μηχανήματος και η προϋπάρχουσα εμπειρία σε εργασίες τέτοιου είδους έχουν δείξει ότι το κόστος λειτουργίας του οχήματος που φέρει το μηχανήμα χύδην γόμωσης με εκρηκτικό γαλάκτωμα ανέρχεται στα 40 €/h. Σε κάθε παραγωγικό μέτωπο το όχημα παραμένει 9 min έως ότου ολοκληρωθούν οι προγραμματισμένες εργασίες γόμωσης, δηλαδή συνολικά και για τα 4 μέτωπα λειτουργεί 1,13 h ημερησίως. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, το κόστος λειτουργίας του μηχανήματος για το σύνολο των ημερών εργασίας υπολογίζεται στα:

$$K_{mup} = T_{mup} \times h_{mup} \times \Delta = 6.765 \text{ €}$$

Όπου:

T_{mup}	το κόστος λειτουργίας του MUP (€/h)
h_{mup}	ο ημερήσιος χρόνος λειτουργίας (h)
Δ	οι συνολικές ημέρες λειτουργίας του έργου

Το τελικό κόστος της γόμωσης διαμορφώνεται ως εξής:

Πίνακας 10.8: Κόστος γόμωσης με τη χρήση MUP

ΓΟΜΩΣΗ	
	Κόστος (€)
Εκρηκτικό Γαλάκτωμα	71.658
Ηλεκτρικά Καψύλλια	23.220
Καλώδιο Σύνδεσης	1.001
Λειτουργία MUP	6.756
ΣΥΝΟΛΟ	102.644

Οι συνολικές λειτουργικές δαπάνες διαμορφώνονται ακολούθως σε 449.014 €.

Όσων αφορά τους εργάτες στα παραγωγικά μέτωπα κατά τη γόμωση απαιτείται η συνδρομή δύο εργατών, ένας για τη γόμωση και ένας για το χειρισμό του MUP. Δηλαδή, το κόστος για τη μισθοδοσία του προσωπικού ανέρχεται στα 50.736 €, ενώ οι συνολικές δαπάνες προσωπικού αγγίζουν 390.184 €.

Τέλος, το κόστος κτήσης του μηχανήματος εκτιμάται στα 300.000 €. Για το σύνολο των ημερών λειτουργίας του έργου, η απόσβεση του ανέρχεται στα 14.669 €. Επομένως οι συνολικές δαπάνες αποσβέσεων κεφαλαίου είναι 267.953 €.

Λαμβάνοντας υπόψη την ποσότητα του βωξίτη που τελικά εξορύχθηκε, το συνολικό κόστος εξόρυξης ανέρχεται στα 1.118.901 €, εκφρασμένο ανά τόνο αντιστοιχεί σε 8,31 €/tn που είναι και το πλέον χαμηλότερο ποσό από όσες περιπτώσεις μελετήθηκαν.

11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εκμετάλλευση βωξίτη στην Ελλάδα αποτελεί ένα πολύ σημαντικό κλάδο, τόσο της μεταλλευτικής όσο και της εθνικής οικονομίας, καθώς η περιοχή Παρνασσού – Γκιώνας όπου δραστηριοποιείται αποτελεί το μεγαλύτερο μεταλλευτικό κέντρο της χώρας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την ανάλυση του κόστους εκτέλεσης των υπόγειων μεταλλευτικών εργασιών, καθώς και των παραμέτρων που την διέπουν. Εξετάζονται ορισμένες εναλλακτικές λύσεις και υπολογίζεται αναλυτικά το κόστος εκμετάλλευσης. Βασικός στόχος είναι η βελτιστοποίηση του κόστους παραγωγής διατηρώντας παράλληλα τη μέγιστη δυνατή ασφάλεια για το προσωπικό και τη βέλτιστη απόληψη του κοιτάσματος. Με τα παραπάνω ως γνώμονα γίνεται ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη μιας πρότυπης υπόγειας εκμετάλλευσης βάσει της οποίας αναλύονται οι διάφορες φάσεις εργασίας, εκτιμώνται οι πόροι που απαιτούνται για την εκτέλεσή τους και πραγματοποιείται η εκτίμηση του σχετικού τους κόστους. Στη μεταλλευτική βιομηχανία, η ανάλυση κόστους παραγωγής μέσω ενός αποτελεσματικού συστήματος κοστολόγησης παρέχει σημαντικές ποσοτικές πληροφορίες, αναγκαίες για τη λήψη επιχειρηματικών αποφάσεων. Επιπλέον, η κοστολόγηση αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τον προγραμματισμό της πορείας της εκμετάλλευσης ώστε να προσδιοριστεί ο επιθυμητός όγκος παραγωγής με το ελάχιστο δυνατό κόστος.

Οι βασικές παραδοχές που γίνονται αφορούν το γεγονός ότι η εκμετάλλευση έχει μια συνεχή, απρόσκοπτη ροή όπου δεν παρεμβάλλονται διαστήματα αδράνειας για τυχόν συντηρήσεις του μηχανολογικού εξοπλισμού ή άλλες διαδικασίες. Επιπλέον, το κόστος του εξοπλισμού υπολογίζεται όσον αφορά στα κόστη απόσβεσης που αντιστοιχούν στην περίοδο χρήσης και λειτουργίας του.

Επιλέχθηκε η εκμετάλλευση βωξιτικού φακού όγκου 50.000 m³ και πάχους 5 m να πραγματοποιηθεί με τη μέθοδος θαλάμων και στύλων με την εκσκαφή να ακολουθεί ένα τυπικό κάναβο με στύλους τετραγωνικής διατομής τελικών διατάσεων 6 x 6 m και θαλάμους 8 x 8 m. Η απόληψη του κοιτάσματος αγγίζει το 82%, έχοντας μια συνολική παραγωγή περί των 135.000 tn βωξίτη.

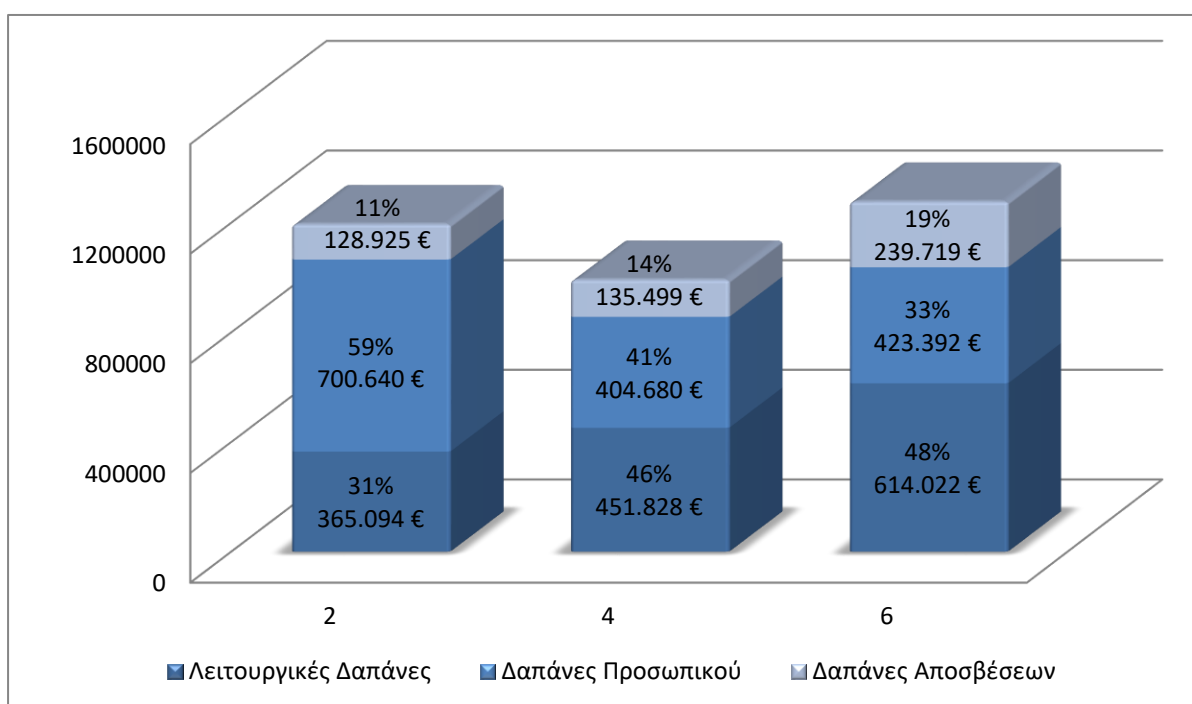
Σύμφωνα με το βέλτιστο χρονικό προγραμματισμό της εκμετάλλευσης, με τη ταυτόχρονη λειτουργία 4 παραγωγικών μετώπων σε 2 οκτάωρες βάρδιες, η ημερήσια δυναμικότητα αγγίζει τους 891 tn, ενώ το έργο αναμένεται να ολοκληρωθεί σε 151 ημέρες (βασικό σενάριο). Το συνολικό κόστος της εν λόγω εκμετάλλευσης, απαρτιζόμενο από τις λειτουργικές δαπάνες, τις δαπάνες προσωπικού και τις δαπάνες αποσβέσεων εκτιμάται στα

1.140.800 €, με το μεγαλύτερο μέρος να καταλαμβάνουν οι λειτουργικές δαπάνες και συγκεκριμένα η φόρτωση και μεταφορά του εξορυγμένου μεταλλεύματος. Η τιμή εξόρυξης του βωξίτη που προκύπτει επομένως υπολογίζεται σε 8,47 €/tn.

Εξετάζοντας διαφορετικές εναλλακτικές λύσεις και περιπτώσεις σχεδιασμού προκύπτει ότι με την προσβολή του κοιτάσματος σε 2 μέτωπα μειώνεται η ημερήσια δυναμικότητα της εκμετάλλευσης σε 445,5 tn ημερησίως, ενώ το συνολικό κόστος ανέρχεται στα 1.373.860 € ή αντίστοιχα σε 10,20 €/tn. Αυξήθηκε δηλαδή κατά 20%, με την κύρια πηγή κόστους να αποτελούν οι δαπάνες προσωπικού λόγω της αυξημένης διάρκειας ζωής του έργου.

Στην περίπτωση αύξησης της ημερήσια δυναμικότητας, με την λειτουργία 6 παραγωγικών μετώπων, σε 1.336,5 tn, το συνολικό κόστος εκμετάλλευσης αγγίζει τα 1.468.700 €, ή κόστος παραγωγής περί τα 10,90 €/tn. Πρόκειται δηλαδή για αύξηση 29% από το πρότυπο σχέδιο κοστολόγησης. Όλα τα στοιχεία κόστους για τα ανώτερα σενάρια συνοψίζονται παραστατικά στο διάγραμμα 11.1.

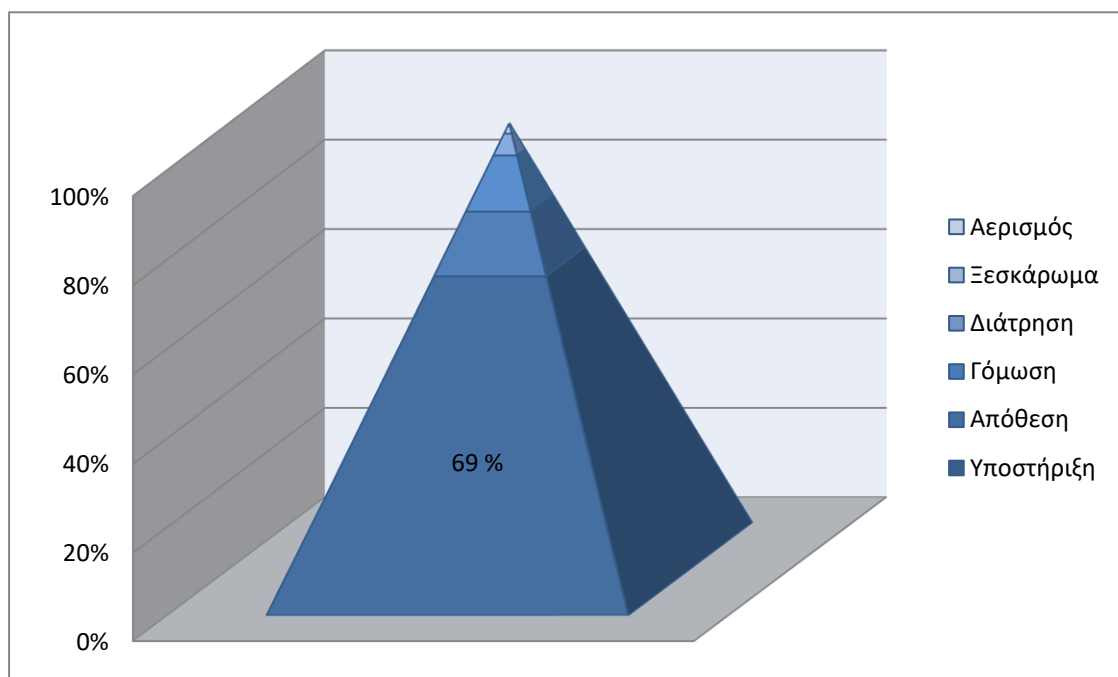
Με βάση τα παραπάνω και για τα σχέδια που εξετάστηκαν προκύπτει η σχετική σχέση υπολογισμού του κόστους εκμετάλλευσης: $KE = 1,61 \times 10^1 - 1,79 \times 10^{-2} \pi + 1,05 \times 10^{-5} \pi^2$, όπου KE το κόστος εκμετάλλευσης (€/tn) και π η ημερήσια παραγωγικότητα του έργου (tn).



Διάγραμμα 11.1: Σύγκριση κόστους εκμετάλλευσης για με βάση τη διαφοροποίηση της δυναμικότητας της εκμετάλλευσης (λειτουργία 2, 4 και 6 παραγωγικών μετώπων)

Παρατείνεται ότι το κεφάλαιο της επένδυσης για τη εκμετάλλευση του κοιτάσματος με 4 παραγωγικά μέτωπα σε παράλληλη λειτουργία είναι σχεδόν 37% μεγαλύτερο από την περίπτωση των 2 μετώπων. Παρόλα αυτά, δεδομένου ότι ο εξοπλισμός επαναχρησιμοποιείται σε βάθος χρόνου και σε άλλα τμήματα του κοιτάσματος, η λύση των 4 μετώπων αξιολογείται ως η πιο συμφέρουσα, με τη διαφορά να φαίνεται μακροπρόθεσμα.

Στην εναλλακτική λύση κατά την οποία τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών που απαντώνται εμφανίζονται μειωμένα σε σχέση με το βασικό σενάριο, η πύκνωση της κοχλίωσης σε συνδυασμό με τη μείωση του βήματος προχώρησης κατά 1 m μετριάξει αισθητά την απόδοση της παραγωγής. Αποτέλεσμα αυτών είναι η ημερήσια δυναμικότητα του έργου να ανέρχεται στους 594 tn, το συνολικό κόστος εξόρυξης στα 2.088.730 € και η τιμή εξόρυξης του μεταλλεύματος στα 15,51 €/tn. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 11.2, κύρια πηγή κόστους σε αυτή την περίπτωση αποτελούν οι λειτουργικές δαπάνες για την υποστήριξη της οροφής.

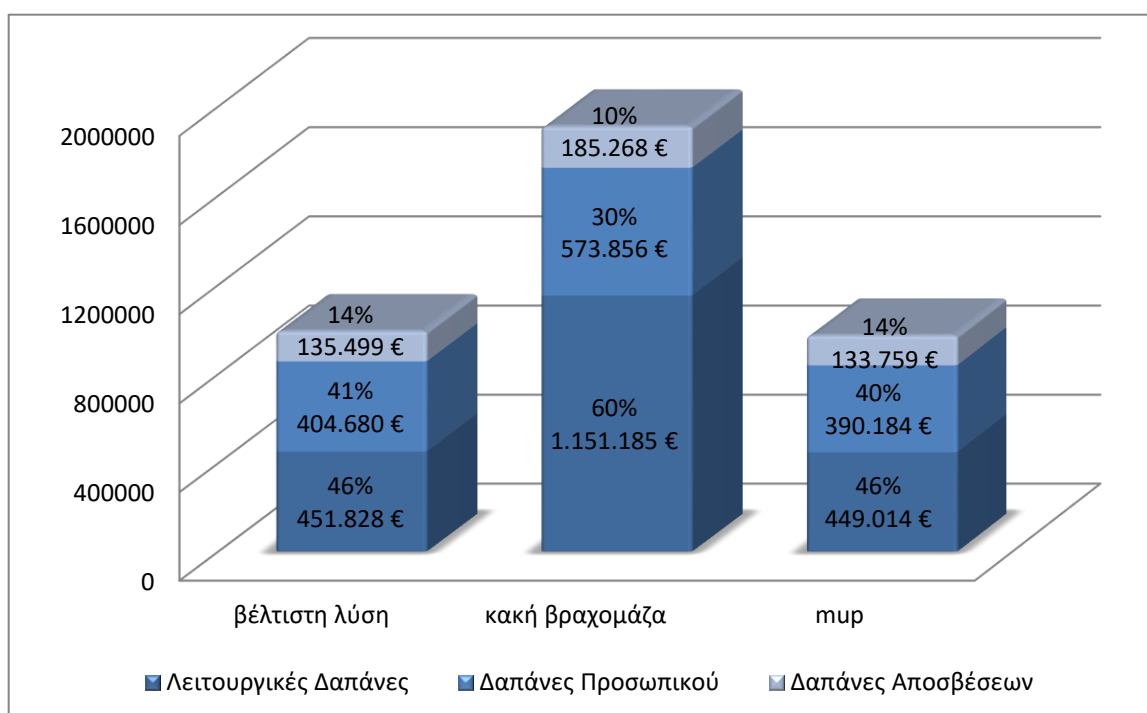


Διάγραμμα 11.2: Πυραμίδα λειτουργικών δαπανών για την περίπτωση κακής βραχομάζας

Για τις περιπτώσεις βραχομάζας ακόμα μικρότερου RMR όπου απαιτείται η αύξηση των διαστάσεων των στύλων σε 8 x 8 m, το κόστος εκμετάλλευσης μειώνεται σε 15,48 €/tn. Συμφέρει δηλαδή σε τέτοιες περιπτώσεις, όπου οι απαιτήσεις σε υποστήριξη είναι αυξημένες, να εγκαταλείπονται στύλοι μεγαλύτερων διαστάσεων ώστε η φυσική υποστήριξη από το πέτρωμα να αναλαμβάνει μεγαλύτερες τάσεις, παρά να γίνεται εκτεταμένη μηχανική υποστήριξη.

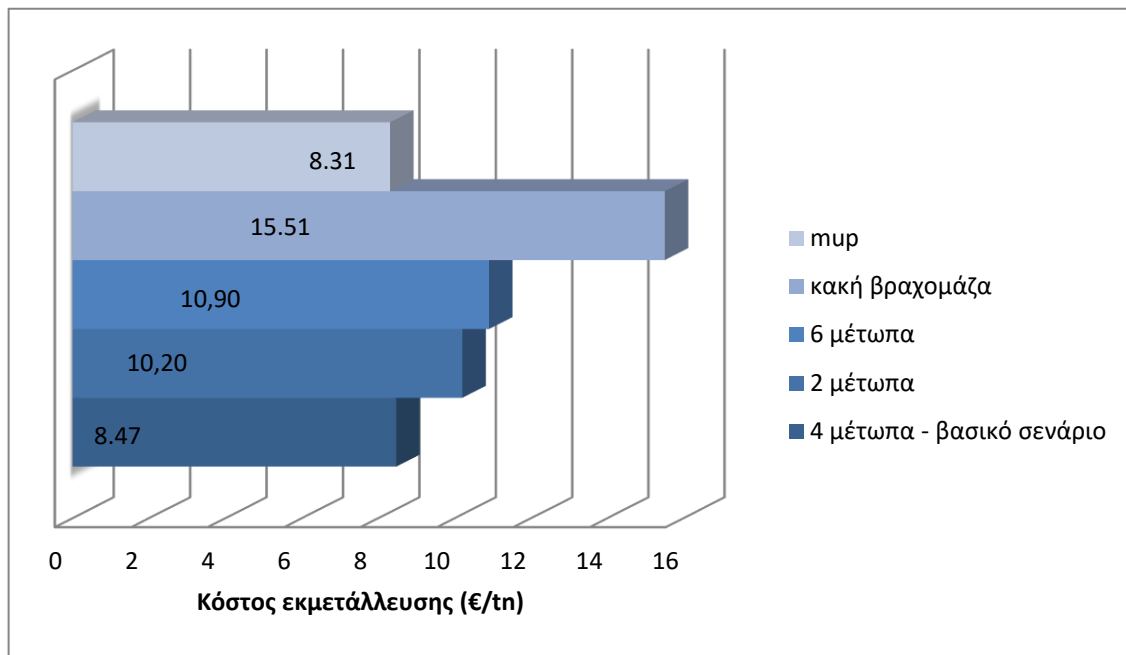
Τέλος, στη τελευταία εναλλακτική λύση εξετάζεται η χρήση μηχανήματος γόμωσης χύδην εκρηκτικού γαλακτώματος (MUP) και αξιολογείται η συνεισφορά του στο τελικό κόστος εκμετάλλευσης. Η αξιοποίηση αυτής της τεχνολογίας προσφέρει σημαντική μείωση στο χρόνο γόμωσης και στις δαπάνες που απαιτούνται για αυτή. Το συνολικό κόστος της εκμετάλλευσης ανέρχεται στα 1.118.901 € και είναι μειωμένο κατά 2% σε σχέση με το βασικό σενάριο.

Συγκριτικά τα χαρακτηριστικά κόστους των δύο τελευταίων εναλλακτικών λύσεων σε σχέση με το βασικό σενάριο των τεσσάρων μετώπων παρουσιάζονται ακολούθως στο διάγραμμα 11.3



Διάγραμμα 11.3: Σύγκριση κόστους εκμετάλλευσης για τις περιπτώσεις κακής βραχομάζας και χρήση διαφορετικού μηχανολογικού εξοπλισμού.

Τέλος, στο διάγραμμα 11.4 παρουσιάζεται συγκεντρωτικά το κόστος εκμετάλλευσης σε €/tn για όλες τις εναλλακτικές λύσεις που εξετάστηκαν στην εργασία.



Διάγραμμα 11.4: Κόστος εκμετάλλευσης σε €/tn για το σύνολο των περιπτώσεων

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Μοντέλο κόστους για τη μέθοδο θαλάμων και στύλων σύμφωνα με το Scott A. Stebbins, SME Mining Engineering Handbook 2011.

Cost Parameters	Daily Ore Production, t		
	1,200	8,000	14,000
Production			
Hours per shift	8	8	8
Shifts per day	3	3	3
Days per year	350	350	350
Deposit			
Total mineable resource, t	5,080,300	43,208,000	86,419,000
Dip, degrees	5	5	5
Average maximum horizontal, m	1,000	2,000	2,400
Average minimum horizontal, m	700	1,500	1,500
Average thickness, m	2.5	5.0	10
Stopes			
Stope length, m	59	59	60
Stope width, m	43.5	44.4	45.3
Stope height, m	2.5	5.0	10.0
Face width, m	4.3	4.4	4.5
Face height, m	2.5	5.0	10.0
Advance per round, m	2.3	3.0	3.9
Pillar length, m	6.9	6.9	7.0
Pillar width, m	5.1	5.2	5.3
Pillar height, m	2.5	5.0	10.0
Development openings			
Shafts			
Face area, m ²	15.1	33.4	39.1
Preproduction advance, m	281	581	781
Cost, shaft 1, \$/m	9,760	15,430	14,520
Cost, shaft 2, \$/m	9,800	15,490	14,570

Drifts			
Face area, m ²	12.5	17.8	19.9
Daily advance, m	6.1	20.0	17.2
Preproduction advance, m	490	1,748	1,501
Cost, \$/m	1,130	1,310	1,410
Crosscuts			
Face area, m ²	12.5	17.8	19.9
Daily advance, m	4.5	15.0	12.9
Preproduction advance, m	360	1,311	1,125
Cost, \$/m	1,060	1,220	1,310
Ventilation raises			
Face area, m ²	3.9	16.3	27.2
Daily advance, m	0.3	1.53	2.19
Preproduction advance, m	250	550	750
Cost, \$/m	880	1,750	1,800
Hourly labor requirements, workers/day			
Stope miners	16	56	96
Development miners	12	24	24
Equipment operators	2	6	14
Hoist operators	8	8	12
Salaried personnel requirements, workers			
Managers	1	1	1
Superintendents	2	4	4
Foremen	4	10	21
Engineers	2	5	7
Geologists	2	6	8
Shift bosses	6	16	27
Technicians	4	10	14
Accountants	2	5	7
Purchasing	3	8	11
Personnel managers	4	10	14
Secretaries	5	14	19
Clerks	6	18	25
Total salaried personnel	41	107	158

Supply requirements, daily

Explosives, kg	959	5,975	10,208
Caps, no.	389	1,591	1,582
Boosters, no.	357	1,497	1,510
Fuse, m	1,529	6,643	7,773
Drill bits, each	8.65	43.59	58.02
Drill steel, each	0.62	3.15	4.19
Freshwater pipe, m	10.6	35.0	30.1

Compressed air pipe, m	10.6	35.0	30.1
Electric cable, m	10.6	35.0	30.1
Ventilation tubing, m	10.6	35.0	30.1
Rock bolts, each	61	309	455

Buildings

Office, m ²	1,047	2,734	4,037
Changehouse, m ²	929	2,230	3,275
Warehouse, m ²	269	657	748
Shop, m ²	536	1,409	1,614

Equipment requirements, number and size

Stope drills, cm	5 each 3.49	17 each 4.13	20 each 5.72
Stope front-end loaders, m ³	5 each 1.1	16 each 1.1	18 each 1.5
Stope rear-dump trucks, t	1 each 15.0	4 each 35.0	6 each 35.0
Development drills, cm	3 each 3.49	6 each 3.81	5 each 4.13
Development front-end loaders, m ³	2 each 1.1	4 each 1.1	3 each 1.5
Development rear-dump trucks, t	2 each 15.0	4 each 35.0	3 each 35.0
Raise borers, m	1 each 2.4	1 each 3.7	1 each 3.7
Production hoists, cm	2 each 152	2 each 203	2 each 305
Rock bolters, cm	1 each 3.81	1 each 3.81	1 each 3.81
Freshwater pumps, hp	4 each 0.5	4 each 0.5	4 each 0.5

Drain pumps, hp	8 each	14 each	18 each
	25	164	288
Service vehicles, hp	7 each	20 each	28 each
	82	210	210
ANFO loaders, kg/min	2 each	5 each	6 each
	272	272	272
Ventilation fans, cm	1 each	1 each	1 each
	122	244	274
Exploration drills, cm	1 each	1 each	1 each
	4.45	4.45	4.45
Equipment costs, \$/unit			
Stope drills	1,041,000	1,041,000	1,043,800
Stope front-end loaders	102,900	102,900	111,200
Stope rear-dump trucks	291,900	548,200	548,200
Development drills	702,000	1,041,000	1,041,000
Development front-end loaders	102,900	102,900	111,200
Development rear-dump trucks	291,900	548,200	548,200
Raise borers	4,180,500	6,737,100	6,737,100
Production hoists	1,171,900	2,047,200	3,508,000
Rock bolters	690,000	690,000	925,000
Freshwater pumps	15,000	59,900	82,500
Drain pumps	7,200	7,200	7,200
Service vehicles	270,000	378,200	293,900
ANFO loaders	41,600	41,600	41,600
Ventilation fans	113,300	184,100	184,100
Exploration drills	72,000	72,000	72,000
Operating costs, \$/t ore			
Equipment operation	2.86	2.74	3.14
Supplies	7.42	4.96	3.47
Hourly labor	14.96	7.32	4.87
Administration	7.70	3.33	2.81
Sundries	3.29	1.83	1.43
Total operating costs	36.23	20.18	15.72

Capital costs, total dollars spent

Equipment purchase	19,759,200	52,562,200	60,707,100
Preproduction underground excavation			
Shaft 1	2,738,000	8,964,200	11,346,600
Shaft 2	2,754,000	9,000,200	11,379,500
Drifts	554,900	2,283,200	2,120,100
Crosscuts	379,500	1,595,400	1,477,900
Ventilation raises	221,100	962,500	1,347,700
Surface facilities	2,463,300	5,336,300	6,986,100
Working capital	2,319,400	9,419,600	12,839,700
Engineering and management	3,753,100	10,491,500	12,397,400
Contingency	2,887,000	8,070,400	9,536,500
Total capital costs	37,829,500	108,685,500	130,138,600

Πηγή: Scott A. Stebbins, SME Mining Engineering Handbook 2011

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Πίνακας Τιμών Αγοράς

ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

i.	Διατηρητικό σύστημα υπογείων	333.000 €
ii.	Ανυψωτική πλατφόρμα γόμωσης	200.000 €
iii.	Φορτωτής υπογείων	840.000 €
iv.	Φορτωτής υπαίθρου	600.000 €
v.	Σύστημα διάτρησης κοχλίωσης	500.000 €
vi.	Ξεσκαρωτής	550.000 €
vii.	Ανεμιστήρας	80.000 €

ΑΝΑΛΩΣΙΜΑ ΥΛΙΚΑ

i.	Κορώνα διατηρητικού συστήματος	50 €
ii.	Στέλεχος διατηρητικού συστήματος	245 €
iii.	Εκρηκτικό γαλάκτωμα	1,4 €/kg
iv.	A.N.F.O.	0,62 €/kg
v.	Ηλεκτρικό καψύλλι	0,8 €
vi.	Μονόκλωνο καλώδιο σύνδεσης	0,12 €/m
vii.	Κοχλίας	10 €
viii.	Πλακίδιο	5,5 €
ix.	Ρητίνη	6 €
x.	Μεταλλικό πλέγμα	2,5 €/m ²
xi.	Κιλοβατώρα	0,65 €

ΩΡΟΜΙΣΘΙΟ ΥΠΑΛΛΗΛΩΝ

i. Χειριστές μηχανημάτων	18 €
ii. Γομωτές	21 €
iii. Μηχανικοί και Διοικητικό προσωπικό	23 €
iv. Λοιποί εργάτες	15 €

Στις προαναφερθείσες τιμές αγοράς δεν συμπεριλαμβάνεται ο Φόρος Προστιθέμενης Αξίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- «Μέθοδοι Υπόγειων Εκμεταλλεύσεων», Νικόλαος Γ. Τερζόπουλος, Αθήνα 2003
- «Υπόγεια Έργα», Ανδρέας Μπενάρδος - Δημήτριος Καλιαμπάκος, Αθήνα 2010
- «Εισαγωγή στη Μηχανική των Πετρωμάτων», Παύλος Π. Νομικός, Αθήνα 2015
- «Γεωλογικός δείκτης GSI. Εφαρμογή, συστάσεις, περιορισμοί και πεδία μεταβολών ανάλογα με τον τύπο του πετρώματος», Μαρίνος Β., Μαρίνος Π., Hoek E., Θεσσαλονίκη 2014
- «Συστήματα Φόρτωσης – Μεταφοράς και Μηχανολογικός Εξοπλισμός Μεταλλείων», Γεώργιος Παναγιώτου - Θεόδωρος Μιχαλακόπουλος, Αθήνα 2004
- «Μέθοδοι υπόγειας εκμετάλλευσης – Ελληνικές εκμεταλλεύσεις», Ανδρέας Μπενάρδος, Αθήνα 2014
- «Στοιχεία Διάτρησης – Ανατίναξης», Ζαχαρίας Αγιουτάντης, Χανιά 2009
- «Η Χρήση των Εκρηκτικών στα Τεχνικά Έργα», Λεωνίδα Καζάκος, Αθήνα 2014
- «Λογιστική Κόστους», Γεώργιος Ι. Βενιέρης, Αθήνα 1998
- «Θεωρία Κόστους», Ιωάννης Κ. Πάγγειος, Αθήνα 1993
- «Κοστολόγηση και Διαχείριση Προϋπολογισμού μικρής επιχείρησης», Αλέξανδρος Λυγγίτσος, Αθήνα 2012
- «Simplified Cost Models for Prefeasibility Mineral Evolutions – IC 9298», Thomas W. Camm, 1991
- «Estimating Average Total Cost for Open Pit Coal Mines in Australia», S. Shafiee, M. Nehring, E. Topal
- «Cost Estimation in Mining: The Evolution of Quick Evaluation Methods», J. Gavronski, C. Petter and B. Escobar¹, R. D'Arrigo, Rio de Janeiro, 2016
- «ISEE Blasters' Handbook, 18th Edition», International Society of Explosives Engineers, 2011

«PMI – Project Management Institute Inc., “A guide to the project management body of knowledge (RMBOK guide)”, 3rd edition», Newtown Square 2004

«An Introduction to Underground Mining», Ron Stewart, 2012

«Cost Trends in Mining», William G. Meister

«GAO Cost Estimating and Assessment Guide, Best Practices for Developing and Managing Capital Program Costs», Government Accountability Office, United States 2009

«SME Mining Engineering Handbook», Scott A. Stebbins, Washington 2011

«Engineering Economic Analysis», Donald G. Newman–Jerome P. Lavelle – Ted G. Eschenbach, 2010

<http://www.infomine.com/>