



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

**Συγκριτική Αξιολόγηση Ζελατοδυναμίτιδας και Γαλακτώματος σε
Ασβεστολιθικά και Βωξιτικά Πετρώματα**

Διπλωματική Εργασία

Λουκάς Ε. Στυλιάρης

Εξεταστική Επιτροπή:

Ζαχαρίας Αγιουτάντης, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Γεώργιος Εξαδάκτυλος, Καθηγητής

Δρ. Κωνσταντίνος Κακλής, ΙΔΑΧ

Χανιά

Σεπτέμβριος 2015

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο, εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις των εξεταστών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην διπλωματική αυτή εργασία πραγματοποιείται μια σύγκριση της απόδοσης δύο εκρηκτικών, της ζελατοδυναμίτιδας και του γαλακτώματος όταν αυτά χρησιμοποιούνται για την εξόρυξη ασβεστολίθου και βωξίτη σε υπόγειες εκμεταλλεύσεις. Η σύγκριση γίνεται για να προσδιοριστεί πιο εκρηκτικό μπορεί να θεωρηθεί πιο αποδοτικό κατά την εξόρυξη των δύο αυτών πετρωμάτων.

Για την μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις από ανατινάξεις από μία παραγωγική στοά βωξίτη. Το μετρούμενο μέγεθος ήταν ο παραγόμενος όγκος, η προχώρηση σε μέτρα αλλά και η ποσότητα των εκρηκτικών. Η ποιότητα της κάθε ανατίναξης αξιολογήθηκε σε κλίμακα από 1-10.

Από την επεξεργασία των δεδομένων προκύπτουν ενδιαφέροντα συμπεράσματα σχετικά με την απόδοση του κάθε εκρηκτικού ενώ προτείνονται μέτρα για την βελτιστοποίηση της διαδικασίας.

ABSTRACT

The effectiveness and the selection of explosives for an underground mining project is always a major dilemma for mining companies. Economic, environmental, health and safety criteria are always under investigation in order to define the best choice in every situation. In this thesis, a comparison between two explosives used for blasting two different rock types was undertaken to determine the effectiveness of the explosives. In particular, at the underground construction site 595-610 of Delphi-Distomo AME at Gravia in Boetia, Greece blasting gelatin and blasting emulsion were compared when used to mine bauxite and limestone. Data that were collected and analyzed include the volume of the excavated rock, adit advance, the total amount of explosives used, etc. In addition the blasts were evaluated using a scale of 1-10 to assess the effectiveness of the explosive materials.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

<<...ο εχθρός του καλού είναι ο καλύτερος...>>

Βολταίρος

Στην καθημερινότητα μας επαληθεύεται ο Βολταίρος. Κάθε απόφαση που παίρνουμε έχει σαν σκοπό να προχωρήσουμε από το “καλό” στο “καλύτερο”. Το ποιο είναι αυτό και με ποια κριτήρια το ξεχωρίζουμε δεν είναι πάντα αντικειμενικό αλλά διαφοροποιείται ανάλογα με τι αφορά το καθένα. Στην περίπτωση ενός μηχανικού η βέλτιστη λύση είναι το καλύτερο αποτέλεσμα.

Στην προσπάθεια να αναβαθμίσουν τις εργασίες τους οι εταιρείες εφαρμόζουν μελέτες και δοκιμές ψάχνοντας να βρουν την βέλτιστη λύση για κάποιο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν. Στη συγκεκριμένη περίπτωση την εταιρεία με την οποία συνεργαστήκαμε απασχολούσε το θέμα της επιλογής της εκρηκτικής ύλης. Αυτό το πρόβλημα καλείται να διερευνήσει αυτή η διπλωματική εργασία.

Το αντικείμενο αυτής της εργασίας είχε σαν απώτερο σκοπό την δημιουργία ενός σχεδίου ανατίναξης όπου λαμβάνοντας υπόψιν τις αποδόσεις των εκρηκτικών θα μπορούσε να φέρει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα με χαμηλό κόστος κάνοντας χρήση μόνο γαλακτώματος λόγω της σταδιακής κατάργησης της ζελατοδυναμίτιδας.

Μετά από μια πολυετούς θητείας πίσω από τα έδρανα του πολυτεχνείου μας θα ήθελα να εκφράσω την αγάπη μου και τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου Στάθη Στυλιάρη και Καλλιόπη Σιώπη και στην αδερφή μου Ιωάννα-Δανάη Στυλιάρη για την συμπαράσταση, βοήθεια και στήριξη που μου έδωσαν όλα αυτά τα χρόνια

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Ζαχαρία Αγιουτάντη, για τον χρόνο που αφιέρωσε την υπομονή που έδειξε και τις γνώσεις που μου μετάδωσε ώστε να θελήσω να γίνω Μηχανικός Ορυκτών Πόρων.

Τέλος να εκφράσω και τις ευχαριστίες μου στους μηχανικούς της εταιρείας Δελφοί-Δίστομο ΑΜΕ κ. Ιωάννη Παπανικολάου και κ. Γιαννακόπουλο Δημήτριο, για την υποστήριξη και την βοήθεια τους στη συλλογή δεδομένων, στη ξενάγηση των

στοών αλλά και τις συμβουλές τους οι οποίες συνέβαλαν σημαντικά στο τελικό αποτέλεσμα.

Πίνακας Περιεχομένων

| | |
|--|-----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ..... | iii |
| ABSTRACT..... | iv |
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ | v |
| Κατάλογος Σχημάτων..... | ix |
| Κατάλογος Πινάκων..... | ix |
| Κατάλογος Διαγραμμάτων | x |
| Κατάλογος Εικόνων..... | x |
| 1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή | 1 |
| 2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Υπόγειες εκμεταλλεύσεις βωξίτη στην περιοχή Παρνασσού – Γκιώνας | 3 |
| 2.1 Γενικά στοιχεία..... | 3 |
| 2.2 Χαρακτηριστικά βωξιτικού κοιτάσματος..... | 4 |
| 2.2.1 Γένεση | 5 |
| 2.2.2 Ιδιότητες | 5 |
| 2.2.3 Χρήσεις..... | 6 |
| 2.2.4 Κοιτάσματα βωξίτη ανά γεωλογικές ζώνες..... | 8 |
| 2.2.5 Αποθέματα..... | 10 |
| 2.2.6 Παραγωγή στα τέλη του 20 ^{ου} αιώνα στον Ελλαδικό χώρο | 10 |
| 2.3 Μέθοδοι εκμετάλλευσης κοιτάσματος βωξίτη | 11 |
| 2.3.2 Εφαρμογή μεθόδου θαλάμων και στύλων στην περιοχή Παρνασσού- Γκιώνας 15 | |
| 2.3.3 Διαδικασίες ανατίναξης..... | 16 |
| 2.4 Διαδικασία Διάτρησης | 17 |
| 2.4.2 Διαδικασία Γόμωσης..... | 20 |
| 3. Κεφάλαιο 3: Υπόγειες ανατινάξεις | 27 |
| 3.1 Εισαγωγή..... | 27 |
| 3.2 Μηχανική των εκρήξεων σε υπόγεια..... | 28 |
| 3.2.1 Διάδοση και απόσβεση του κρουστικού κύματος | 28 |
| 3.2.2 Ανάκλαση και διάθλαση του κρουστικού παλμού..... | 29 |
| 3.2.3 Ωστική φάση | 30 |
| 3.2.4 Δημιουργία κρατήρα | 31 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.2.5 | Παράμετροι σχεδιασμού ανατίναξης..... | 32 |
| 3.3 | Υπόγειες Ανατινάξεις | 34 |
| 3.4 | Αρχική κοπή υπόγειων ανατινάξεων | 38 |
| 4. | ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Συγκριτική αξιολόγηση εκρηκτικών ζελατοδυναμίτιδας και γαλακτώματος | 41 |
| 4.1 | Εισαγωγή..... | 41 |
| 4.2 | Κάναβοι ανατινάξεων στην ΔΕΛΦΟΙ ΔΙΣΤΟΜΟ ΑΜΕ | 41 |
| 4.2.1 | Διάταξη διατρημάτων..... | 41 |
| 4.2.2 | Διάταξη διατρημάτων σε ασβεστόλιθο..... | 41 |
| 4.2.3 | Διάταξη διατρημάτων σε βωξίτη..... | 42 |
| 4.2.4 | Κλίση διατρημάτων..... | 43 |
| 4.2.5 | Έναυση διατρημάτων σε μέτωπο ασβεστολίθου..... | 44 |
| 4.3 | Διαδικασία γόμωσης ανατίναξης στην ΔΕΛΦΟΙ ΔΙΣΤΟΜΟ ΑΜΕ..... | 44 |
| 4.4 | Επί τόπου μετρήσεις | 48 |
| 4.4.1 | Συλλογή μετρήσεων..... | 48 |
| 4.5 | Αποτελέσματα ανατινάξεων με γαλάκτωμα | 50 |
| 4.6 | Αποτελέσματα ανατινάξεων με ζελατοδυναμίτιδα | 52 |
| 4.7 | Σύγκριση Ανατινάξεων με γαλάκτωμα και ζελατινοδυναμίτιδα..... | 54 |
| 4.7.1 | Σύγκριση σε Βωξίτη | 54 |
| 4.7.2 | Σύγκριση σε Ασβεστόλιθο | 56 |
| 4.8 | Οικονομική σύγκριση..... | 58 |
| 5. | Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα-Προτάσεις | 59 |
| 5.1 | Συμπεράσματα..... | 59 |
| 5.2 | Προτάσεις..... | 60 |
| | Βιβλιογραφία | 61 |

Κατάλογος Σχημάτων

| | |
|---|----|
| Σχήμα 2.1 Ιστογράμμα με τις περιεκτικότητες των στοιχείων του κοιτάσματος βωξίτη της περιοχής Παρνασσού-Γκιώνας (Ιωαννίδου και Πολυχρονιάδης, 2004) | 4 |
| Σχήμα 2.2 Περιοχές της Ελλάδος που διαθέτουν κοιτάσματα βωξίτη (Ιωαννίδου και Πολυχρονιάδης, 2004) | 9 |
| Σχήμα 2.3 Κάτοψη της μεθόδου Θαλάμων και Στύλων για περίπτωση οριζόντιου κοιτάσματος (Θ = Θάλαμος, Σ = Στύλος, A,B = Στοές) (Εξαδάκτυλος, 2005) | 13 |
| Σχήμα 2.4(α, β): (α): Τρισδιάστατη απεικόνιση της τυπικής μορφής μεθόδου Θαλάμων και Στύλων και εξόρυξη με ασυνεχή μέθοδο στη μέθοδο Θαλάμων και Στύλων. (β) Κάτοψη και πλάγια όψη της παραπάνω μορφής (Εξαδάκτυλος, 2005) .. | 14 |
| Σχήμα 2.5 Κατακόρυφη τομή κατά την κλίση του κοιτάσματος που παρουσιάζει τυπική μορφή κοιτάσματος βωξίτη (Εξαδάκτυλος, 2005) | 15 |
| Σχήμα 2.6 Σχέδια ανατίναξης για βωξιτικά και ασβεστολιθικά πετρώματα | 18 |
| Σχήμα 2.7 Χρόνοι επιβράδυνσης ηλεκτρικών καψυλλίων (ΔΕΛΦΟΙ-ΔΙΣΤΟΜΟ ΑΜΕ) .. | 22 |
| Σχήμα 3.1 Διαίρεση των διατρημάτων του μετώπου σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την σειρά έκρηξης τους (Jimeno et al,1995) | 34 |
| Σχήμα 3.2 Πυραμιδοειδής κοπή (πάνω) και Σφηνοειδής κοπή (κάτω) (Gregory, 1984). | 39 |
| Σχήμα 3.3 Διατάξεις παράλληλων αρχικών κοπών (Bhandari, 1997). | 40 |
| Σχήμα 4.1 Διάταξη διατρημάτων για πέτρωμα ασβεστολίθου (κίτρινα: μπουσόν, μπλέ: αρχική κοπή, πράσινα: κύρια ανατίναξη) | 42 |
| Σχήμα 4.2 Διάταξη διατρημάτων για πέτρωμα βωξίτη (κίτρινα: μπουσόν, μπλέ: αρχική κοπή, πράσινα: κύρια ανατίναξη) | 43 |
| Σχήμα 4.3 Κλίση των διατρημάτων. | 43 |
| Σχήμα 4.4 Χρόνοι καθυστέρησης σε μέτωπο ασβεστολίθου..... | 44 |

Κατάλογος Πινάκων

| | |
|--|----|
| Πίνακας 2-1 Αποθέματα ελληνικού χώρου (Ιωαννίδου και Πολυχρονιάδης, 2004) .. | 10 |
| Πίνακας 3-1 Υπολογισμός φορτίου και πλευράς τετραγώνου (Τσουτρέλης, 2001)... | 35 |
| Πίνακας 4-1 Αποτελέσματα ανατινάξεων με χρήση γαλακτώματος σε βωξίτη | 50 |
| Πίνακας 4-2 Αποτελέσματα ανατινάξεων με χρήση γαλακτώματος σε ασβεστόλιθο | 51 |
| Πίνακας 4-3 Κλίμακα αξιολόγησης γαλακτώματος με βάση την προχώρηση σε μέτρα | 51 |
| Πίνακας 4-4 Αποτελέσματα ανατινάξεων με χρήση ζελατοδυναμίτιδας σε βωξίτη .. | 52 |
| Πίνακας 4-5 Αποτελέσματα ανατινάξεων με χρήση ζελατοδυναμίτιδας σε ασβεστόλιθο | 53 |

| | |
|---|----|
| Πίνακας 0-6 Κλίμακα αξιολόγησης ζελατοδυναμίδας με βάση την προχώρηση σε μέτρα..... | 53 |
|---|----|

Κατάλογος Διαγραμμάτων

| | |
|--|----|
| Διάγραμμα 4-1 Προχώρηση εκρηκτικών σε βωξίτη | 54 |
| Διάγραμμα 4-2 Παραγόμενος βωξίτης σε τόνους..... | 55 |
| Διάγραμμα 4-3 Προχώρηση εκρηκτικών σε ασβεστόλιθο..... | 56 |
| Διάγραμμα 4-4 Παραγόμενος ασβεστόλιθος σε τόνους..... | 57 |

Κατάλογος Εικόνων

| | |
|---|----|
| Εικόνα 2-1 (Διατρητικό Jumbo SECOMA τύπου PEC 22) | 19 |
| Εικόνα 2-2 Αποτέλεσμα διαδικασίας διάτρησης | 20 |
| Εικόνα 2-3 Πλατφόρμα γόμωσης | 21 |
| Εικόνα 4-1 Αποστασιόμετρο τύπου BOSCH(GLM 50) | 48 |

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

Με τον όρο εξόρυξη πετρώματος ή άλλου φυσικού σχηματισμού (πχ. έδαφος) εννοείται η απόσπαση τεμαχίων πετρώματος από τη φυσική θέση τους. Οι διαδικασίες εξόρυξης αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα κάθε σύγχρονου τεχνικού έργου. Τα τεχνικά έργα περιλαμβάνουν αφ' ενός μεν τα μεταλλευτικά έργα, όπως τις επιφανειακές και υπόγειες εκμεταλλεύσεις, όσο και τις διάφορες κατασκευαστικές δραστηριότητες σε πετρώματα ή εδαφικά υλικά, όπως ορύξεις σηράγγων, διαμόρφωση πρανών, εκσκαφές για θεμελιώσεις, κλπ. Η φάση της εξόρυξης ακολουθείται στις περισσότερες περιπτώσεις από τη φάση της αποκομιδής (φόρτωσης, μεταφοράς και απόθεσης του εξορυσσόμενου υλικού).

Η εξόρυξη των πετρωμάτων και άλλων φυσικών υλικών επιτυγχάνεται σήμερα με δύο κυρίως τρόπους (Αγιουτάντης, 2009):

- χωρίς τη χρήση εκρηκτικών υλών αλλά με την άσκηση κατάλληλων μηχανικών, θερμικών, και άλλου τύπου δυνάμεων, και
- με την χρήση εκρηκτικών υλών, δηλαδή με τη δυναμική φόρτιση και θραύση των υλικών.

Πολλές τεχνικές και μεταλλευτικές εταιρείες αλλά και υπεργολάβοι τεχνικών έργων χρησιμοποιούν εκρηκτικά λόγω του χαμηλού κόστους ανά μονάδα εξορυσσόμενου όγκου, αλλά και λόγω της ευκολίας προμήθειας των υλικών αυτών. Για την σωστή επιλογή αυτών των εκρηκτικών για κάθε εφαρμογή είναι απαραίτητη η πραγματοποίηση σχετικών μελετών. Αυτές είναι συνήθως τεχνικές αλλά και οικονομικές. Κατά την εκπόνηση των μελετών αυτών καταγράφονται τα δεδομένα σειράς ανατινάξεων ώστε να είναι δυνατή η εκτίμηση του κύκλου εργασιών, της αποδοτικότητας αλλά και του κόστους.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μια προσπάθεια σύγκρισης των εκρηκτικών που χρησιμοποιεί η εταιρεία ΔΕΛΦΟΙ-ΔΙΣΤΟΜΟ ΑΜΕ για την εξόρυξη βωξίτη.

Πιο συγκεκριμένα, αρχικά γίνεται μία ανάλυση του βωξίτη, των μεθόδων εκμετάλλευσης του όπως πραγματοποιούνται στη ΔΕΛΦΟΙ-ΔΙΣΤΟΜΟ ΑΜΕ καθώς και των εκρηκτικών που χρησιμοποιούνται κατά τις ως άνω εργασίες.

Επιπλέον γίνεται μία αναφορά για τις υπόγειες ανατινάξεις και τον τρόπο (μέθοδος και σχήμα καννάβου), που χρησιμοποιήθηκε κατά την εκτέλεση των μετρήσεων.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων με την μορφή γραφημάτων. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζοντας τις διαστάσεις του μετώπου πριν την ανατίναξη καθώς και την προχώρηση προσδιορίζεται ο συνολικός εξορύξιμος όγκος, ο ειδικός συντελεστής κατανάλωσης και δημιουργείται μία οικονομική εικόνα για το κόστος της κάθε ανατίναξης.

Τέλος, γίνονται παρατηρήσεις αλλά και προκύπτουν τα συμπεράσματα για το πιο εκρηκτικό αποδίδει καλύτερα πάνω σε αυτά τα πετρώματα, όπως επίσης προτάσεις για την βέλτιστη απόδοση των εκρηκτικών.

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Υπόγειες εκμεταλλεύσεις βωξίτη στην περιοχή Παρνασσού – Γκιώνας

2.1 Γενικά στοιχεία

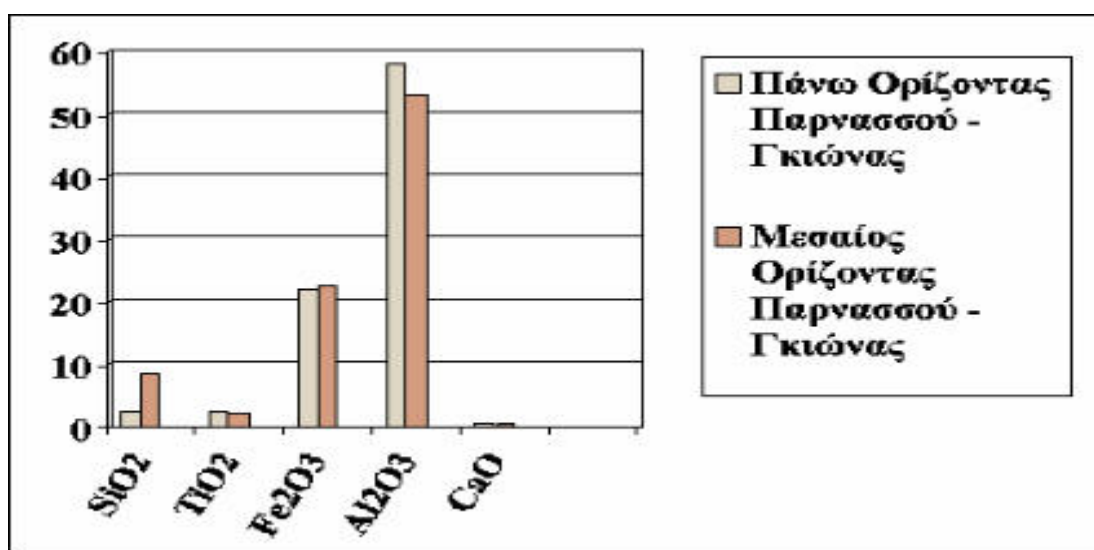
Η ΔΕΛΦΟΙ ΔΙΣΤΟΜΟΝ (θυγατρική της «Αλουμίνιο της Ελλάδος» - ΑτΕ) είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός βωξίτη στην Ελλάδα και κατ' επέκταση στην Ευρώπη, με ετήσια παραγωγή που ανέρχεται σε 650.000 τόνους βωξίτη, από υπόγεια εργοτάξια και μόνο. Τα βωξιτικά κοιτάσματα με δυνατότητα οικονομικής εκμετάλλευσης στη χώρα μας βρίσκονται στη Στερεά Ελλάδα και ιδιαίτερα στην περιοχή μεταξύ Λαμίας και Αθήνας και η εκμετάλλευση τους έχει αρχίσει από το 1930 στην περιοχή του Διστόμου Βοιωτίας. Μέχρι το 1961, έτος ίδρυσης του Εργοστασίου παραγωγής Αλουμίνας και Αλουμινίου, το σύνολο της παραγόμενης ποσότητας του Βωξίτη προορίζονταν για εξαγωγή. Σήμερα, το μεγαλύτερο μέρος της εγχώριας παραγωγής (1,5 εκατομμύρια τόνοι) αξιοποιείται στη χώρα μας, παράγοντας 165.000 τόνους αλουμίνιο και 810.000 τόνους Αλουμίνας (alhellas 2012).

Η ΔΕΛΦΟΙ-ΔΙΣΤΟΜΟ ΑΜΕ έχει ιδιόκτητα και μισθωμένα μεταλλεία βωξίτη κυρίως στις ορεινές περιοχές του Παρνασσού και της Γκιώνας, στην Κεντρική Ελλάδα. Η εταιρία ελέγχει τα πιο σημαντικά κοιτάσματα βωξίτη στην Ευρώπη. Η εξόρυξη γίνεται σχεδόν αποκλειστικά σε υπόγεια μεταλλεία. Ο εξοριζόμενος βωξίτης μεταφέρεται στην περιοχή των Άσπρων Σπιτιών όπου βρίσκεται το εργοστάσιο παραγωγής της Αλουμίνας και του Αλουμινίου για περαιτέρω επεξεργασία.

2.2 Χαρακτηριστικά βωξιτικού κοιτάσματος

Ο βωξίτης, που πήρε την ονομασία του από την Γαλλική πόλη Μπω, είναι προϊόν έντονης αποσάθρωσης γάββρων, γρανιτών, γνευσίων και άλλων, σε τροπικά μέχρι εύκρατα κλίματα. Από χημικής πλευράς, είναι πλούσιος σε άμορφα ή κρυσταλλικά αργιλούχα οξείδια και υδροξείδια. Οι βωξίτες που απαντώνται στην αρχική τους θέση ονομάζονται αυτόχθονοι ενώ, αντίθετα, αυτοί που έχουν μεταφερθεί ονομάζονται ετερόχθονοι (Ιωαννίδου και Πολυχρονιάδης, 2004).

Στο ιστόγραμμα του Σχήματος 2.1 παρουσιάζονται οι περιεκτικότητες των στοιχείων του κοιτάσματος βωξίτη της περιοχής Παρνασσού- Γκιώνας.



Σχήμα 2.1 Ιστόγραμμα με τις περιεκτικότητες των στοιχείων του κοιτάσματος βωξίτη της περιοχής Παρνασσού-Γκιώνας (Ιωαννίδου και Πολυχρονιάδης, 2004)

Ένας οικονομικά εκμεταλλεύσιμος βωξίτης είναι αυτός που περιέχει περισσότερο από 45-50% Al_2O_3 , λιγότερο από 20% Fe_2O_3 και περίπου 3-5% ενωμένο πυρίτιο. Τα ελληνικά κοιτάσματα του βωξίτη παρεμβάλλονται με μορφή φακών, κοιτών, θυλάκων η και ακανόνιστων μαζών μέσα σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς.

Τα υδροξείδια του αργιλίου που μπορεί να περιέχονται μέσα σε ένα κοίτασμα βωξίτη είναι τα εξής: μπαγερίτης, υδραργιλίτης, βαιμίτης και διάσπορο. Είναι δυνατόν ένα από αυτά τα υδροξείδια να βρίσκεται σε καθαρή μορφή ή να συνυπάρχουν σε διάφορους συνδυασμούς.

Υδροξείδια ή οξείδια του σιδήρου που απαντώνται είναι ο αιματίτης, ο γκαιτίτης και ο λειμονίτης. Τα διάφορα χρώματα με τα οποία εμφανίζεται ο βωξίτης οφείλονται στα παραπάνω οξείδια. Έτσι, όταν περιέχεται αιματίτης το χρώμα του βωξίτη είναι ερυθρό κίτρινο όταν περιέχεται γκαιτίτης και γκρίζο όταν υπάρχει μικρό ποσοστό οξειδίου του σιδήρου.

Τέλος, τα αργιλοπυριτικά ορυκτά είναι ο καολινίτης και ο αλοϋσίτης (Ιωαννίδου και Πολυχρονιάδης, 2004).

2.2.1 Γένεση

Για την γένεση των βωξιτικών κοιτασμάτων επικρατούν σήμερα δύο θεωρίες (Ιωαννίδου και Πολυχρονιάδης, 2004):

1. Θεωρία της αλλόχθονης γένεσης. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, το βωξιτικό κοίτασμα σχηματίστηκε σε κάποιο άλλο σημείο από αυτό που βρίσκεται σήμερα με τη βοήθεια της λατεριτικής αποσάθρωσης. Στη συνέχεια διαβρώθηκε, μεταφέρθηκε και αποτέθηκε στη σημερινή του θέση με αλλουβιακή μορφή. Από την παραπάνω διαδικασία ο βωξίτης που σχηματίζεται είναι ίζημα λατεριτικό και αλλόχθονο. Τέτοια κοιτάσματα χαρακτηρίζονται ως λατεριτικά.
2. Θεωρία της αυτόχθονης γένεσης. Με βάση αυτή τη θεωρία, ο βωξίτης προήλθε από την επί τόπου (in situ) αποσάθρωση των ανθρακικών πετρωμάτων και ειδικότερα των ασβεστολίθων. Από την αποσάθρωση αυτή, που είχε σαν αποτέλεσμα την διαλυτοποίηση και απομάκρυνση των ανθρακικών ορυκτών, παρέμειναν, σαν υπόλειμμα, τα αδιάλυτα αργιλοπυριτικά ορυκτά. Στη συνέχεια, τα αργιλοπυριτικά αυτά ορυκτά υπέστησαν λατεριτίωση στον τόπο τους με αποτέλεσμα τον σχηματισμό των βωξιτικών κοιτασμάτων. Συνεπώς πρόκειται για έναν αλλουβιακό σχηματισμό σε συνθήκες τροπικού κλίματος.

2.2.2 Ιδιότητες

Το ειδικό βάρος του βωξίτη κυμαίνεται από $2,7\text{g/cm}^3$ μέχρι $3,5\text{g/cm}^3$ ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε οξείδια του σιδήρου. Το χρώμα του είναι συνήθως κόκκινο ως καστανοκόκκινο, ενώ μπορεί να εμφανιστεί και με γκρίζο ως κίτρινο. Πολύ

σπάνια απαντάται με λευκό χρώμα. Ο ιστός του είναι τις περισσότερες φορές πισσολιθικός, άλλες φορές ωολιθικός ή στιφρός.

Η διαλυτότητα του βωξίτη σε οξέα ή αλκάλια ποικίλει ανάλογα με την ορυκτολογική σύνθεση σε σχέση με τα ένυδρα οξείδια του αργιλίου. Είναι ανθεκτικός σε υψηλές θερμοκρασίες και για αυτό το λόγο χαρακτηρίζεται ως πυρίμαχος. Όταν θερμανθεί μέχρι την θερμοκρασία που πλησιάζει το σημείο τήξης του, παίρνει κρυσταλλική μορφή αποκτώντας συγχρόνως υψηλή σκληρότητα που του δίνει και λειαντικές ιδιότητες (Ιωαννίδου και Πολυχρονιάδης, 2004).

2.2.3 Χρήσεις

Η κυριότερη χρήση του βωξίτη είναι η παραγωγή αλουμινίου. Το 85% της παγκόσμιας παραγωγής απορροφάται από την βιομηχανία αλουμινίου. Τα κοιτάσματα που εξορύσσονται στην περιοχή Παρνασσού-Γκιώνας είναι διασπορικού και βαιμιτικού τύπου και επομένως απαιτούν ειδικές συνθήκες θραύσης και διαλυτοποίησης. Τα κοιτάσματα αυτής την περιοχής παρέχουν μοναδικά πλεονεκτήματα, όπως είναι η υψηλή περιεκτικότητα σε Al_2O_3 και η χαμηλή περιεκτικότητα σε SiO_2 και CaO . Άλλα πλεονεκτήματα είναι η χαμηλή απώλεια πύρωσης και η χαμηλή περιεκτικότητα του βωξίτη σε υγρασία.

Ο βωξίτης χρησιμοποιείται και στην παραγωγή αλουμινούχων τσιμέντων. Ένας σκληρός βωξίτης, συνήθως διασπορικός, όταν τήκεται σε ειδικές καμίνους μαζί με κωκ και ασβεστόλιθο, μετατρέπεται σε αργιλική τηκτή κονία η οποία αποτελεί τσιμέντο ταχείας πήξεως. Ο βωξίτης της περιοχής Παρνασσού χρησιμοποιείται στην παραγωγή αλουμινούχων τσιμέντων λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε σίδηρο. Τα αλουμινούχα τσιμέντα επιτυγχάνουν υψηλή αντοχή σε αρχικό στάδιο, σε συνδυασμό με πυρίμαχες ιδιότητες και αντοχή στα οξέα. Παρέχουν καλύτερη ανθεκτικότητα σε θεϊκό, έντονα χημικό και λειαντικό περιβάλλον. Χρησιμοποιούνται επίσης σε σκυρόδεμα με πυρίμαχες ιδιότητες όπου συνδυάζουν το πλεονέκτημα χύτευσης σύνθετων σχημάτων σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, με απόδοση σε θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους 1600° (Ιωαννίδου και Πολυχρονιάδης, 2004)

Άλλη χρήση του βωξίτη είναι στην χαλυβουργία. Χρησιμοποιείται ως ρευστό υλικό στην υψικάμινο, παρέχοντας έτσι σημαντικά λειτουργικά πλεονεκτήματα.

Συνεισφέρει στη μείωση του κόστους, κατά την λειτουργία της υψικαμίνου και στην βελτίωση των υδραυλικών ιδιοτήτων της κοκκοποιημένης σκωρίας, η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή τσιμέντου σκωρίας.

Στα τσιμέντα τύπου Portland χρησιμοποιείται ο βωξίτης ως μια πλούσια πηγή οξειδίου του αργιλίου για την ρύθμιση της τροφοδοσίας στην παραγωγή Clinker. Απαιτείται όταν η τροφοδοσία της αργίλου ή του αργλικού σχιστόλιθου έχει πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε οξείδιο του αργιλίου για την δημιουργία των απαιτούμενων σχέσεων των οξειδίων για την παραγωγή του Clinker. Στα πλεονεκτήματα του βωξίτη που παρουσιάζεται στην περιοχή Παρνασσού-Γκιώνας συγκαταλέγονται η χαμηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο και σε ιχνοστοιχεία, η υψηλή περιεκτικότητα σε Fe_2O_3 και χαμηλή περιεκτικότητα σε αλκάλια και MgO .

Λόγω του ότι ο βωξίτης είναι μια πλούσια πηγή Al_2O_3 χρησιμοποιείται για την παραγωγή ορυκτών ινών. Σε περίπτωση όπου η περιεκτικότητα της τροφοδοσίας της καμίνου σε Al_2O_3 δεν είναι επαρκής, προστίθεται βωξίτης. Οι ορυκτές ίνες με υψηλή περιεκτικότητα σε αλουμίνα παρουσιάζουν βελτιωμένη βιοδιαλυτότητα και καλύτερες πυρίμαχες ιδιότητες. Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα του βωξίτη της περιοχής Παρνασσού-Γκιώνας για την παραγωγή ορυκτών ινών συγκαταλέγονται η χονδρόκοκκη μορφή, η υψηλή αντοχή σε καταπόνηση βάρους και η ποικιλία της κοκκομετρίας σύμφωνα με τις προδιαγραφές των πελατών. Ο βωξίτης συμμετέχει στην παραγωγή λειαντικών, γαιών διήθησης και πυρίμαχων. Τέλος, χρησιμοποιείται στην μεταλλουργία σιδήρου, σαν λίπασμα (Flux), σαν καταλύτης πυρόλυσης πετρελαίου και για επίστρωση οδοστρωμάτων και διαδρόμων αεροδρομίων (Ιωαννίδου και Πολυχρονιάδης, 2004).

2.2.4 Κοιτάσματα βωξίτη ανά γεωλογικές ζώνες

Υπάρχουν τρεις γεωλογικές ζώνες στον ελλαδικό χώρο που περιέχουν κοιτάσματα βωξίτη. Αυτές είναι οι ακόλουθες (Ιωαννίδου και Πολυχρονιάδης, 2004)

Α) Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας

- 1^{ος} Βωξιτικός ορίζοντας ηλικίας Μ.Ιουρασικό-Α.Ιουρασικό με *Cladocoropsis*
- 2^{ος} Βωξιτικός ορίζοντας ηλικίας Α. Ιουρασικό με *Nerinea*- Κ.Κρητιδικό
- 3^{ος} Βωξιτικός ορίζοντας ηλικίας Κενομάνιο-Τουρώνιο

Ο 3ος βωξιτικός ορίζοντας είναι και ο μεγαλύτερος σε ποσότητα κοιτάσματος. Μεταξύ 2ου και 3ου (100 m από τον 3ο) εντοπίζεται κατά θέσεις η παρουσία του ενδιάμεσου ορίζοντα. Από τους 3 ορίζοντες, ο 2ος και 3ος είναι υπό εκμετάλλευση.

Β) Ζώνη Ανατολικής Ελλάδας (Πελαγονική και Υποπελαγονική)

- 1^{ος} βωξιτικός ορίζοντας, όπως και ο παλιότερος στη ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας, ηλικίας Α. Ιουρασικό – Κ.Κρητιδικό
- 2^{ος} βωξιτικός ορίζοντας ηλικίας Τριαδικό – Κενομάνιο

Σε αυτή τη ζώνη περιλαμβάνονται τα κοιτάσματα

- Του Καλλιδρόμου
- Της Λοκρίδας
- Του Δομοκού
- Της Νοτιοανατολικής Θεσσαλίας
- Της Βορείου και Κεντρικής Ευβοίας
- Της Σκοπέλου
- Της περιοχής Μάνδρας – Ελευσίνας

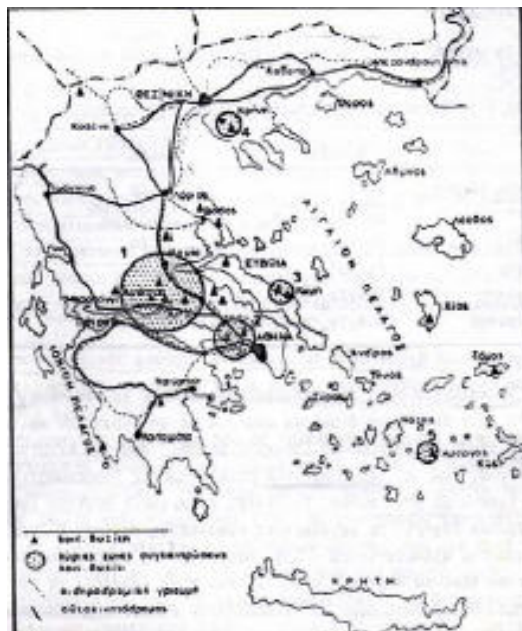
Γ) Υπόλοιπος Ελλαδικός χώρος

Τα παρακάτω κοιτάσματα βρίσκονται σε άλλες γεωλογικές ζώνες που σχηματίστηκαν κυρίως λόγω τεκτονικών φαινομένων:

- Όρος Κατσίκια Χαλκιδικής
- Νότιο τμήμα της Χίου
- Ναύπακτος – Πύλος και Ανατολική Πελοπόννησος (όρη Αρτεμίσιο, Παρθένιο)
- Βροντερό της περιοχής Πρεσπών

Τα περισσότερα από τα παραπάνω κοιτάσματα βρίσκονται μέσα σε ασβεστόλιθους της κάθε περιοχής.

Στο χάρτη του σχήματος 2.2 διακρίνονται οι περιοχές της Ελλάδας που διαθέτουν κοιτάσματα βωξίτη. Αξίζει να σημειωθεί ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των κοιτασμάτων βρίσκονται στην περιοχή Παρνασσού-Γκιώνας.



Σχήμα 2.2 Περιοχές της Ελλάδος που διαθέτουν κοιτάσματα βωξίτη (Ιωαννίδου και Πολυχρονιάδης, 2004)

2.2.5 Αποθέματα

Η Ελλάδα, με αποθέματα 120 εκατ. Τόνων, κατέχει παγκοσμίως την 8η θέση των περιοχών με τα μεγαλύτερα αποθέματα βωξίτη και είναι η μόνη βωξιτοπαραγωγός χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα κύρια χαρακτηριστικά του ελληνικού βωξίτη είναι τα εξής:

1. Μεγάλη περιεκτικότητα αλουμίνας
2. Υψηλή σκληρότητα
3. Μικρά και διασκορπισμένα κοιτάσματα
4. Υψηλότερο κόστος εξόρυξης από αυτό άλλων παραγωγών χωρών (Αυστραλίας, Βραζιλίας, Ινδιών, Τζαμάικας), όπου το βάθος εξόρυξης ξεκινά πολλές φορές, στο ένα μέτρο του υπεδάφους.

Τα αποθέματα των ελληνικών βωξιτών δεν έχουν πλήρως προσδιοριστεί. Ωστόσο, μια προσέγγιση που θα μπορούσε να γίνει παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2-1 Αποθέματα ελληνικού χώρου (Ιωαννίδου και Πολυχρονιάδης, 2004)

| ΠΕΡΙΟΧΗ | ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΣΕ ΤΟΝΟΥΣ |
|-------------------------------|-----------------------|
| Παρνασσός - Γκιώνα - Ελικώνας | 45.000.000-50.000.000 |
| Ελευσίνα | 2.000.000-2.500.000 |
| Εύβοια | 700.000 |
| Σκόπελος | 1.000.000 |
| Χαλκιδική | 600.000 |
| Αμοργός | 300.000 |

2.2.6 Παραγωγή στα τέλη του 20^{ου} αιώνα στον Ελλαδικό χώρο

Η εξόρυξη του βωξίτη στη χώρα μας γίνεται κατά 65% με υπόγειες και 35% με υπαίθριες εκμεταλλεύσεις. Τα βέβαια αποθέματα βωξίτη της Ελλάδας ανέρχονται περίπου σε 130.000.000 τόνους και η ετήσια παραγωγή ξεπερνά τους 2.400.000 τόνους

2.3 Μέθοδοι εκμετάλλευσης κοιτάσματος βωξίτη

Στη μέθοδο Θαλάμων και Στύλων οι εγκαταλελειμμένοι στύλοι κατανέμονται με συμμετρική διάταξη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ομαλή κατανομή των τάσεων και κατά συνέπεια καλύτερο έλεγχο της οροφής και μεγαλύτερη ασφάλεια. Το μέταλλευμα εξορύσσεται όσο το δυνατόν περισσότερο αφήνοντας συγχρόνως τμήματά του υπό μορφή στύλων για την υποστήριξη της οροφής. Οι διαστάσεις των ανοιγμάτων και των στύλων εξαρτώνται από τις εξής παραμέτρους (Εξαδάκτυλος, 2005):

- Το πάχος του κοιτάσματος
- Τις μηχανικές ιδιότητες του υπερκείμενου σχηματισμού (οροφής)
- Τις μηχανικές ιδιότητες του μεταλλεύματος
- Το εντατικό πεδίο στην ευρύτερη περιοχή

Οι απαραίτητες προϋποθέσεις για την εφαρμογή της μεθόδου είναι (Εξαδάκτυλος, 2005):

- Σχετικά υψηλή αντοχή του μεταλλεύματος
- Σχετικά υψηλή αντοχή του περιβάλλοντος πετρώματος (οροφής – δαπέδου)
- Ομαλό γεωμετρικό σχήμα του κοιτάσματος
- Κοίτασμα παράλληλο με την στρώση των σχηματισμών που έχει αρκετά μεγάλη οριζόντια ανάπτυξη αλλά μικρό σχετικά πάχος, όπως για παράδειγμα κοιτάσματα λιθάνθρακα και λατερίτη.
- Μέταλλευμα μικρής σχετικά αξίας ώστε να είναι παραδεκτό το όχι ιδιαίτερα υψηλό ποσοστό ανάκτησης (<70%) σε σχέση με άλλες μεθόδους

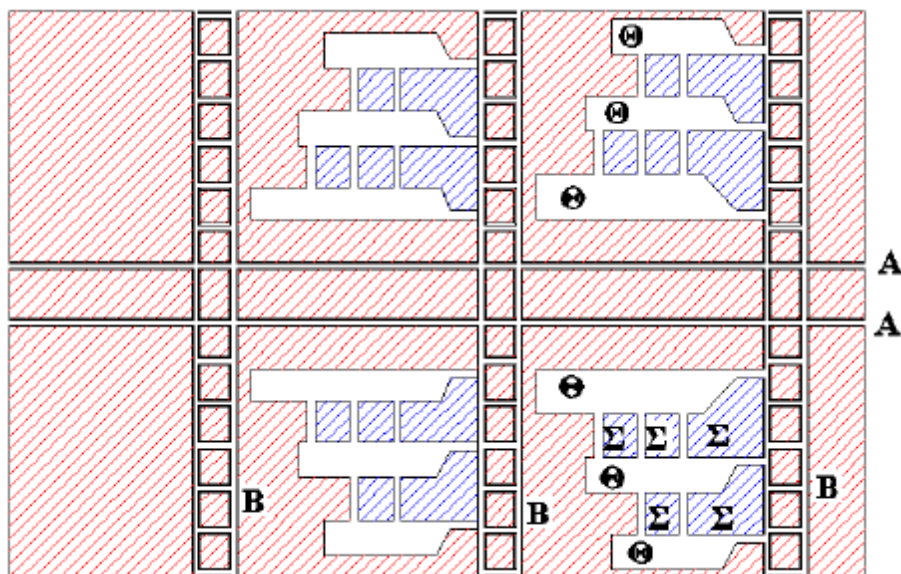
Οι στύλοι μεταλλεύματος τοποθετούνται γενικά όσο το δυνατόν σε κανονικό σχέδιο και η διατομή τους μπορεί να είναι κυκλικού ή τετραγωνικού σχήματος ή να είναι μορφής τοίχων μεγάλου πάχους (rib pillars) οι οποίοι διαχωρίζουν τα μέτωπα παραγωγής. Το μέταλλευμα που εγκαταλείπεται στους στύλους μπορεί να απολειφθεί κατά ένα ποσοστό, κατά το τελευταίο στάδιο της εξόφλησης, γενικά όμως θεωρείται απολεσθέν μέταλλευμα. Οι παραπάνω προϋποθέσεις απαντώνται συχνά σε βωξιτικά κοιτάσματα τα οποία βρίσκονται ανάμεσα σε στρώματα ασβεστόλιθων. Τα βωξιτικά κοιτάσματα της περιοχής Παρνασσού – Γκιώνας είναι το πιο

χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου στον ελληνικό χώρο. Βάσει των παραπάνω προϋποθέσεων και κυρίως λόγω της κλίσης του υπό μελέτη κοιτάσματος διακρίνονται τρία διαφορετικά συστήματα της μεθόδου των θαλάμων και στύλων (Εξαδάκτυλος, 2005):

- Η εκμετάλλευση σε οριζόντιο ή σχεδόν οριζόντιο κοίτασμα
- Η εκμετάλλευση σε κεκλιμένο κοίτασμα (20° - 30°) χωρίς αυτοκινούμενο εξοπλισμό
- Η εκμετάλλευση σε κεκλιμένο κοίτασμα με αυτοκινούμενο εξοπλισμό

A) Εκμετάλλευση σε οριζόντιο κοίτασμα

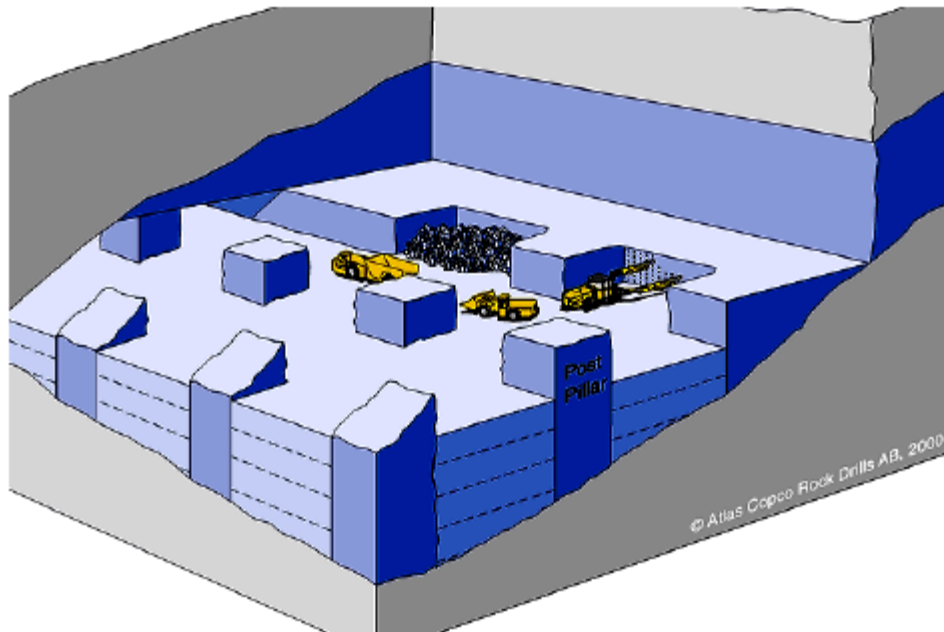
Στην εκμετάλλευση οριζόντιων ή παραοριζόντιων κοιτασμάτων δεν απαιτούνται πολλά προπαρασκευαστικά έργα. Αρχικά, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.3, η προσπέλαση του κοιτάσματος γίνεται μέσω δύο τουλάχιστον στοών ή δύο φρεάτων ή οποιουδήποτε συνδυασμού αυτών, με σκοπό τόσο την εξυπηρέτηση της μεταφοράς του μεταλλεύματος όσο και την δημιουργία κατάλληλου κυκλώματος αερισμού. Για την περιχάραξη και την ανάπτυξη της εκμετάλλευσης, αρχικά ορύσσονται Ορισμένες στοές (Στοές Β του Σχήματος 2.3) για την επικοινωνία του τμήματος εκμετάλλευσης με τις στοές βάσης με σκοπό την εξυπηρέτηση στην μεταφορά του μεταλλεύματος, αλλά στην συνέχεια τον ρόλο αυτό εξυπηρετούν οι θάλαμοι που ορύσσονται κατά την εκμετάλλευση (Θ, Σχήμα 2.3).



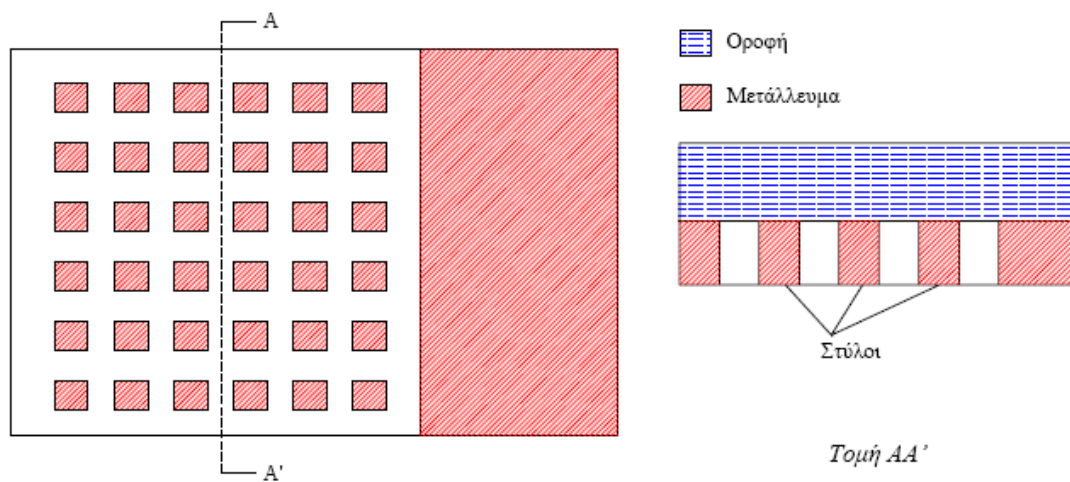
Σχήμα 2.3 Κάτοψη της μεθόδου Θαλάμων και Στύλων για περίπτωση οριζόντιου κοιτάσματος (Θ = Θάλαμος, Σ= Στύλος, Α,Β = Στοές) (Εξαδάκτυλος, 2005)

Η εξόρυξη είτε ακολουθεί συμβατικό κύκλο διάτρησης, ανατίναξης, φόρτωσης, μεταφοράς (Σχήμα 2.4 α, β) και τοπική υποστήριξη με κοχλίες και πλέγματα, είτε πραγματοποιείται με μηχανικά μέσα συνεχούς εξόρυξης και αποκομιδής. Στην περίπτωση που το πάχος του κοιτάσματος ξεπερνά τα 8 m, κατά την εξέλιξη των εργασιών εγκαταλείπονται αρχικά "κουβέρτες προστασίας" του μεταλλεύματος. Στην συνέχεια μέσω της διάνοιξης εγκάρσιων αφήνονται στύλοι αρχικά μεγάλης διαμέτρου. Κατά το στάδιο της εξόφλησης γίνεται μερική εξόφληση των στύλων με σκοπό την αύξηση του ποσοστού ανάκτησης.

Η διάταξη των στύλων γίνεται με κανονικό τρόπο και το σχήμα τους δύναται να είναι τετραγωνικό, ορθογώνιο ή και κυκλικό. Το "μέτωπο" της εξόφλησης σχηματίζει συνήθως γωνία 45° με την κύρια στοά μεταφοράς, για λόγους πρόληψης και ελέγχου της ευστάθειας της οροφής (Εξαδάκτυλος, 2005).



(α)

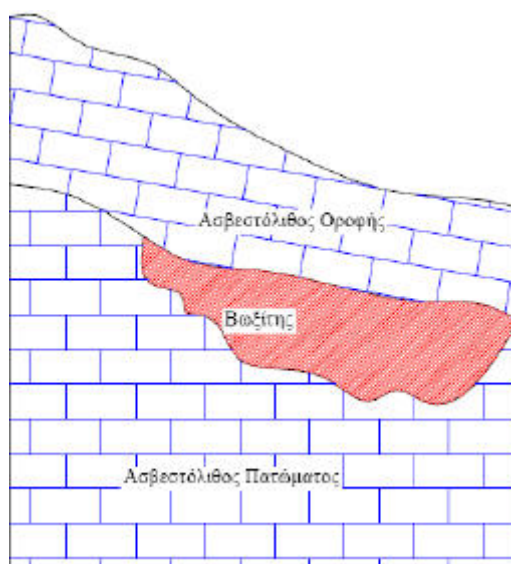


Σχήμα 2.4(α, β): (α): Τρισδιάστατη απεικόνιση της τυπικής μορφής μεθόδου Θαλάμων και Στύλων και εξόρυξη με ασυνεχή μέθοδο στη μέθοδο Θαλάμων και Στύλων. (β) Κάτοψη και πλάγια όψη της παραπάνω μορφής (Εξαδάκτυλος, 2005)

2.3.2 Εφαρμογή μεθόδου θαλάμων και στύλων στην περιοχή Παρνασσού-Γκιώνας

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται στην περιοχή των μεταλλείων των ΑΕΜ βωξιτών Παρνασσού – Γκιώνας είναι από πάνω προς τα κάτω, φλύσσης, συμπαγείς ως και κρυσταλλικοί βιτουμενιούχοι ασβεστόλιθοι του Σενωνίου και Τουρωνίου, ενδιάμεσοι ασβεστόλιθοι του Κενομάνιου και Τιθωνίου, σκοτεινόχρωμοι ασβεστόλιθοι του Κενομάνιου και Τιθωνίου και σκοτεινόχρωμοι ασβεστόλιθοι του Κιμεριδίου (Εξαδάκτυλος, 2005).

Το Σχήμα 2.5 παρουσιάζει μια κατακόρυφη τομή κατά την κλίση του κοιτάσματος που παρουσιάζει τυπική μορφή κοιτάσματος βωξίτη



Σχήμα 2.5 Κατακόρυφη τομή κατά την κλίση του κοιτάσματος που παρουσιάζει τυπική μορφή κοιτάσματος βωξίτη (Εξαδάκτυλος, 2005)

Στην περιοχή συναντώνται κοιτάσματα που ανήκουν σε δύο διαφορετικούς ορίζοντες, αποτέλεσμα της διαφορετικής χρονικής περιόδου κοιτασματογένεσης που συνοδεύονται κι από ορισμένες διαφοροποιήσεις στην υφή και την ποιότητα του μεταλλεύματος. Η περιοχή είναι έντονα πτυχωμένη και τεκτονισμένη, με σύγκλινα, αντίκλινα, επιπλεύσεις και ρήγματα που έχουν σαν αποτέλεσμα την διαφοροποίηση της κλίσης και της παράταξης των κοιτασμάτων ιδιαίτερα στις νοτιοδυτικές περιοχές.

Τα κοιτάσματα βωξίτη ανώτερου και μεσαίου ορίζοντα είναι συνήθως της τάξης μεγέθους από 5.000 ως 500.000 τόνων το καθένα (Εξαδάκτυλος, 2005). Η τοπική μορφή ενός κοιτάσματος είναι μερικές δεκάδες ως εκατοντάδες μέτρα μήκος και πλάτος, πάχος από 1 m μέχρι 30 m και κλίση 15–30°, εκτός από μερικές περιπτώσεις όπου η κλίση υπερβαίνει τις 70°. Η ασβεστολιθική οροφή των κοιτασμάτων (ταβάνι) είναι επίπεδη και διαταράσσεται μόνο από τεκτονικές ανωμαλίες. Αντίθετα το ασβεστολιθικό δάπεδο (πάτωμα) είναι πολύ ανώμαλο και παρουσιάζονται σημαντικές εξάρσεις των πατωμάτων εντός του βωξίτη λόγω των καρστικών σχηματισμών. Η μορφή που απαντάται συχνότερα είναι αυτή της δολίνας. Το σχήμα της είναι οβάλ ως κυκλικό, σπανιότερα με ακανόνιστη περίμετρο. Το μέγεθος (επιφάνεια) κυμαίνεται από 0,1 μέχρι 1 εκτάριο και η διάμετρος από 50 ως 200 m (τυπικές διαστάσεις). Τα τοιχώματα της δολίνας είναι συνήθως μεγάλης κλίσης (πάνω από 50°) ενώ συχνά εμφανίζονται και κατακόρυφα. Ο πυθμένας της δολίνας είναι ανώμαλος, με τυπικά καρστικά "δόντια" που δίνουν την εντύπωση καναλιών. Σε πολλές περιπτώσεις η μετάβαση από τον βωξίτη στον ασβεστόλιθο της οροφής, γίνεται σταδιακά με την παρεμβολή στρωμάτων μικρού συνήθως πάχους "γκρι βωξίτη" που είναι καλής ποιότητας με μεγάλη περιεκτικότητα σε Al_2O_3 και πολύ μικρή περιεκτικότητα σε Fe_2O_3 . Οι ποσότητες τέτοιου βωξίτη είναι πολύ μικρές, αλλά λόγω της εξαιρετικής ποιότητας δεν αφήνονται ανεκμετάλλευτες. Ένα σημαντικό στοιχείο είναι το γεγονός ότι τόσο οι υπερκείμενοι όσο και οι υποκείμενοι ασβεστόλιθοι παρουσιάζονται καρστικοποιημένοι. Το υπόβαθρο του καρστ δε εμφανίζεται στην επιφάνεια και βρίσκεται σε άγνωστο βάθος (Εξαδάκτυλος, 2005).

Τα ρήγματα της περιοχής έχουν διεύθυνση BBD-NNA ως A-Δ, ενώ οι δολίνες του καρστ είναι διατεταγμένες κατά μήκος αυτών.

2.3.3 Διαδικασίες ανατίναξης

Τρεις ξεχωριστές διαδικασίες συνιστούν ένα σχέδιο έκρηξης (Εξαδάκτυλος, 2005):

1. Διάντρωση των απαραίτητων διατρημάτων στο μέτωπο για την τοποθέτηση των εκρηκτικών υλών
2. Γόμωση των διατρημάτων με εκρηκτικές ύλες κατάλληλες για τις απαιτήσεις των υπόγειων εργασιών

3. Πυροδότηση των διατρημάτων σύμφωνα με προδιαγεγραμμένους χρόνους πυροδότησής του, ώστε να επιτυγχάνεται η όσο το δυνατόν καλύτερη συνεργασία μεταξύ των διατρημάτων κατά την θραύση του πετρώματος αλλά και την εκτίναξη του πετρώματος από τη φυσική του θέση.

Στις επόμενες ενότητες θα αναλυθούν λεπτομερώς οι διαδικασίες διάτρησης και γόμωσης όπως αυτές παρατηρήθηκαν στην στοά παραγωγής.

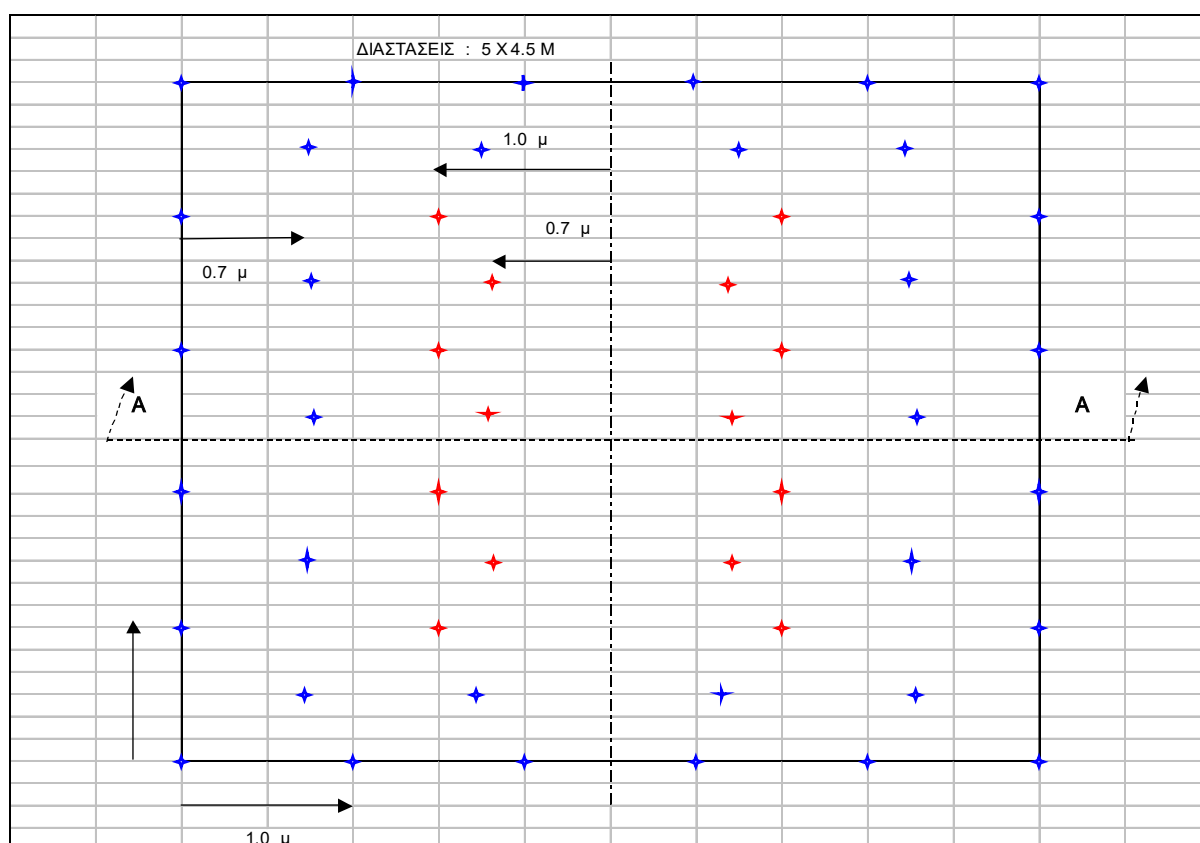
2.4 Διαδικασία Διάτρησης

Διάτρηση ονομάζεται η εργασία όρυξης διατρημάτων στο πέτρωμα. Στα διατρήματα αυτά τοποθετείται στη συνέχεια η εκρηκτική ύλη. Η διάτρηση στα βωξιτικά κοιτάσματα της περιοχής Παρνασσού – Γκιώνας γίνεται κυρίως με ντιζελοϋδραυλικά φορεία (Jumbo). Σε περιπτώσεις που είναι δύσκολη ή τεχνικά και οικονομικά ασύμφορη η μηχανοποιημένη διάτρηση, όπως για παράδειγμα σε σημεία με μικρό πάχος κοιτάσματος ή την όρυξη καμινέτων και κεκλιμένων στοών μεγάλης κλίσης, χρησιμοποιείται η ελαφρά διατρητική σφύρα πεπιεσμένου αέρα (αερόσφυρα). Η διάτρηση του πετρώματος ακολουθεί ορισμένα πρότυπα σχέδια διάτρησης (Drill Patterns). Τα σχέδια που χρησιμοποιούνται για την περίπτωση του βωξιτικού και ασβεστολιθικού κοιτάσματος της περιοχής Παρνασσού – Γκιώνας φαίνονται στο Σχήμα 2.6. Η μηχανική διάτρηση είναι ο πιο διαδεδομένος τρόπος διάτρησης και βασίζεται στην εφαρμογή καταστροφικών τάσεων στο πέτρωμα (τάσεων που προκαλούν την λύση της συνοχής του υλικού) που προέρχονται από διαδικασίες κρούσης, απόξεσης, διείσδυσης, διάβρωσης, ή και συνδυασμό αυτών. Η διαδικασία της μηχανικής διάτρησης περιλαμβάνει τα ακόλουθα βασικά στάδια (Αγιουτάντης, 2009):

1. Παραγωγή μηχανικής ενέργειας είτε άμεσα είτε από μετατροπή άλλης μορφής ενέργειας
2. Μεταφορά της μηχανικής ενέργειας στο κοπτικό άκρο με την βοήθεια των διατρητικών στελεχών
3. Μεταφορά ενέργεια από το κοπτικό άκρο στο πέτρωμα
4. Αποκομιδή των θρυμμάτων και σύγχρονη ψύξη και λίπανση των διαφόρων μηχανισμών με την βοήθεια κάποιου ρευστού

Ο μηχανισμός που απαιτείται για την όρυξη των διατρημάτων εξαρτάται από την γεωμετρία του διατρήματος, την σκληρότητα του πετρώματος και τις ιδιαίτερες συνθήκες όρυξης, όπως για παράδειγμα τον ελάχιστο επιθυμητό ρυθμό διάτρησης, την υπάρχουσα παροχή ενέργειας και την επιθυμητή ευελιξία (Αγιουτάντης, 2009).

Τα υπόγεια διατρητικά συγκροτήματα (Jumbo) αποτελούνται από αυτόνομες μονάδες αεροκίνητες ή συνηθέστερα ηλεκτρο-υδραυλικές ή ντιζελοϋδραυλικές. Τα συστήματα αυτά φέρουν συνήθως από έναν ως τρεις βραχίονες οι οποίοι μπορούν να προσβάλλουν τα μέτωπα εξόρυξης με ένα ευρύ φάσμα γωνιών. Για πλήρως κατακόρυφες διατρήσεις σε στοές μικρής διατομής (π.χ. για κοχλίωση της οροφής) είναι δυνατόν να απαιτείται διαφορετική διάταξη των φορέων διάτρησης (βραχίονες) λόγω των ειδικών απαιτήσεων του έργου (Αγιουτάντης, 2009).



Σχήμα 2.6 Σχέδια ανατίναξης για βωξιτικά και ασβεστολιθικά πετρώματα

Η εικόνα 2.1 παρουσιάζει ένα υπόγειο διατρητικό Jumbo που χρησιμοποιείται για την διάτρηση και γόμωση των διατρημάτων στα μέτωπα εργασίας.



Εικόνα 2-1 (Διατρητικό Jumbo SECOMA τύπου PEC 22)

Στην εικόνα 2.2 φαίνονται κάποια διατρήματα σε μέτωπο βωξίτη όπως αυτά δημιουργήθηκαν από το Διατρητικό Jumbo.



Εικόνα 2-2 Αποτέλεσμα διαδικασίας διάτρησης

2.4.2 Διαδικασία Γόμωσης

Γόμωση ονομάζεται η εισαγωγή των εκρηκτικών υλών και των καψυλλίων στα διατρήματα, προκειμένου με την πυροδότησή τους να επιτευχθεί η διάρρηξη και η απόσπαση του πετρώματος από την φυσική του θέση. Στη ΔΕΛΦΟΙ – ΔΙΣΤΟΜΟ ΑΜΕ η γόμωση των διατρημάτων στην υπόγεια εκμετάλλευση γίνεται κυρίως με χρήση γαλακτώματος σαν ενισχυτικό έναυσμα και ANFO. Η καθολική χρήση φυσιγγίων γαλακτώματος γίνεται μόνο στις περιπτώσεις όπου συναντώνται νερά η αυξημένη υγρασία. Η εργασία της γόμωσης γίνεται με μηχανοποιημένο τρόπο με την βοήθεια ειδικής πλατφόρμας που φέρει ενσωματωμένο αερογομωτήρα μέσω του οποίου επιτυγχάνονται τα επιθυμητά αποτελέσματα τόσο από άποψη πυκνότητας γομώσεως όσο και από άποψη ασφάλειας (ΔΕΛΦΟΙ – ΔΙΣΤΟΜΟ ΑΜΕ, 2013).

Στην εικόνα 2.3 φαίνεται η πλατφόρμα γόμωσης.



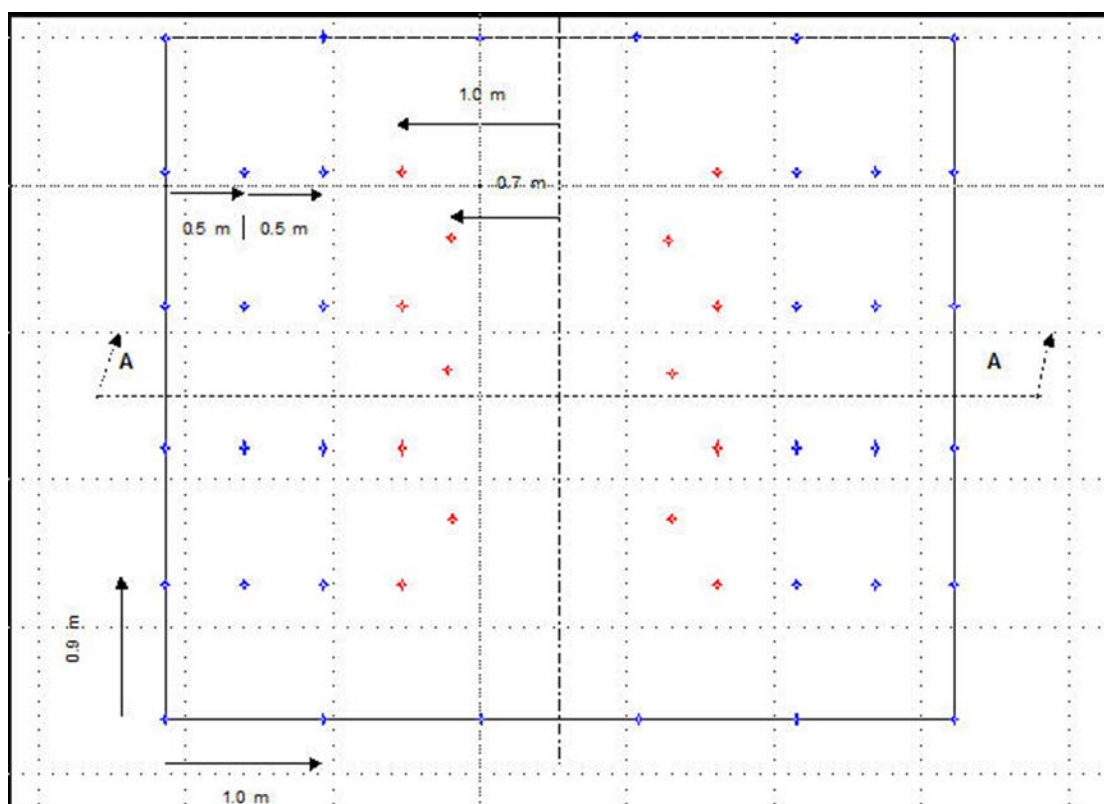
Εικόνα 2-3 Πλατφόρμα γόμωσης

A) Ηλεκτρικά καψύλλια

Η διαδοχή με την οποία πυροδοτούνται τα διατρήματα εξαρτάται από το είδος και την αρίθμηση των καψυλλίων που περιέχουν. Τα ηλεκτρικά καψύλλια διακρίνονται σε ακαριαία καψύλλια και σε καψύλλια επιβράδυνσης ανάλογα με το αν η γόμωση του καψυλλίου εναύεται άμεσα από την κεφαλή έναυσης ή έμμεσα μέσω μιας γόμωσης επιβράδυνσης. Οι επιβραδύνσεις διακρίνονται βάσει του χρόνου διάρκειας καύσης της γόμωσης επιβράδυνσης σε επιβραδύνσεις μισού δευτερολέπτου (half second) και σε επιβραδύνσεις χιλιοστού δευτερολέπτου (milli second). Όταν χρησιμοποιούνται ακαριαία καψύλλια, οι γομώσεις της εκρηκτικής ύλης εκρήγνυνται την στιγμή ακριβώς της πυροδότησης. Στα καψύλλια επιβράδυνσης, οι γομώσεις της εκρηκτικής ύλης εκρήγνυνται διαδοχικά σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα .

Στο μεταλλείο όπου εκπονήθηκε η διπλωματική εργασία γίνεται η χρήση ηλεκτρικών καψυλλίων MS (χιλιοστό του δευτερολέπτου) και HS (μισού δευτερολέπτου) πολύ χαμηλής ηλεκτρικής ευαισθησίας για ασφάλεια από την περίπτωση ύπαρξης παρασίτων ρευμάτων. Το ρεύμα πυροδότησης δίνεται με δυναμοεκρηκτικές πυκνωτού και είναι υψηλής τάσεως (ΔΕΛΦΟΙ – ΔΙΣΤΟΜΟ ΑΜΕ).

Στο σχήμα 2.7 παρουσιάζονται οι χρόνοι επιβράδυνσης (με κόκκινο τα MS και μπλε τα HS).



Σχήμα 2.7 Χρόνοι επιβράδυνσης ηλεκτρικών καψυλλίων (ΔΕΛΦΟΙ-ΔΙΣΤΟΜΟ ΑΜΕ)

B) Εκρηκτικές ύλες

Ως εκρηκτική ύλη χαρακτηρίζεται οποιαδήποτε χημική ένωση από την οποία εκλύονται μεγάλες ποσότητας αερίων και ενέργειας ως συνέπεια της ακαριαίας αποσύνθεσής της. Το φαινόμενο της ακαριαίας αποσύνθεσης τέτοιων υλικών ονομάζεται έκρηξη (Αγιουτάντης, 2009).

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες εκρηκτικών υλών, οι μηχανικές, οι χημικές και οι πυρηνικές. Θα ακολουθήσει σύντομη περιγραφή των χημικών εκρηκτικών υλών, οι οποίες χρησιμοποιούνται στην εξόρυξη των πετρωμάτων. Η διάκριση των χημικών εκρηκτικών υλών βασίζεται στην χημική τους σύνθεση και στην ταχύτητα έκρηξής τους. Ανάλογα με την χημική τους σύνθεση οι εκρηκτικές ύλες κατατάσσονται σε I) απλές και II) εκρηκτικές ύλες μειγμάτων.

- I. Οι απλές εκρηκτικές ύλες. Εξαιτίας της καταστροφικής τους ενέργειας, του μεγάλου κινδύνου κατά την χρήση τους καθώς και του μεγάλου κόστους το οποίο παρουσιάζουν, χρησιμοποιούνται μόνο ως ενισχυτικά μέσα στα μείγματα των εκρηκτικών υλών για την αύξηση της θραυστότητας και της ικανότητας έκρηξής τους. Στις απλές εκρηκτικές ύλες ανήκουν (Πολυχρονόπουλος, 1979):
 - a. Η νιτρογλυκερίνη (νιτρογλυκόλη)
 - b. Οι πολύ ισχυρές εκρηκτικές ύλες (τρινιτροτολουένιο, νιτροκυτταρίνη, πενταερυθρίτης ή PENT και τετρύλη)
 - c. Οι πρωτογενούς έκρηξης εκρηκτικές ύλες (βροντώδης υδράργυρος, υδροζωτικός μόλυβδος και στυγνικός μόλυβδος)
- II. Οι εκρηκτικές ύλες μειγμάτων συνίστανται από ένα μείγμα ουσιών από τις οποίες η μία προσλαμβάνει οξυγόνο (αρνητικό ισοζύγιο) και η άλλη δίνει οξυγόνο (θετικό ισοζύγιο). Η κάθε μία από αυτές χωριστά δεν είναι δυνατόν να εκραγεί. Στο ένα μέρος του μείγματος ανήκουν κυρίως οι οργανικές ουσίες και η σκόνη μετάλλων, ενώ στο δεύτερο ανήκουν ανόργανες νιτρικές, χλωρικές και άλλες ενώσεις. Στις εκρηκτικές ύλες μειγμάτων ανήκουν οι πυρίτιδες και οι εκρηκτικές ύλες με βάση το νιτρικό αμμώνιο (Πολυχρονόπουλος, 1979, Τσουτρέλης, 1997).

Ανάλογα με την ταχύτητα έκρηξης οι εκρηκτικές ύλες μειγμάτων διακρίνονται σε βραδυδραστικές εκρηκτικές ύλες ανήκουν:

- Οι πυρίτιδες
- Οι διαρρηκτικές ή ισχυρές εκρηκτικές ύλες στις οποίες ανήκουν
 - i) Δυναμίτιδες

- α) Δυναμίτιδες με ενεργό βάση (Ζελατοδυναμίτιδες)
- β) Δυναμίτιδες με αδρανή βάση (Gurdynamit)
- ii) Αμμωνίτιδες
- iii) Πετραμμωνίτιδα (ANFO)
- iv) Πολτώδη μείγματα
- v) Εκρηκτικές ύλες ανθρακωρυχείων
 - α) Σεισμογραφικός
 - β) Gaswell
 - γ) Cardox
 - δ) Hydrox

Στο εργοτάξιο 595-610 στην περιοχή της Γραβιάς όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν οι εκρηκτικές ύλες ANFO, ζελατοδυναμίτιδα και γαλάκτωμα.

ANFO (Ammonium Nitrate and Fuel Oil)

Η εκρηκτική ύλη ANFO παρουσίασε μεγάλη χρήση κατά τα τελευταία χρόνια στην τεχνική της εξόρυξης. Η αυξημένη ασφάλεια και η σημαντική οικονομία, η οποία επιτεύχθηκε με την χρήση της, αποτέλεσαν τους κύριους συντελεστές για την απότομη αύξηση της κατανάλωσης του ANFO στις υπόγειες και επιφανειακές εξορύξεις.

Αποτελεί μίγμα πορώδους νιτρικού αμμωνίου και καυσίμου υδρογονάνθρακα. Συνήθως το καύσιμο αποτελείται από πετρέλαιο Νο. 2, αλλά είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί πετρέλαιο θέρμανσης ή ακόμη και πολύ λεπτομερής άνθρακας. Η συνήθης αναλογία (κατά βάρος) νιτρικού αμμωνίου και πετρελαίου είναι περίπου 94:6. Η προηγούμενη σχέση αναλογίας προκύπτει από την παρατήρηση ότι το ποσό του καυσίμου που προστίθεται πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να μπορεί να καταναλώσει όλο το οξυγόνο που εκλύεται από τη διάσπαση του νιτρικού αμμωνίου (Αγιουτάντης, 2009).

Ζελατοδυναμίτιδα

Η ζελατοδυναμίτιδα είναι ισχυρή εκρηκτική ύλη προσρόφησης που περιέχει ως μόνη εκρηκτική ύλη την νιτρογλυκερίνη, η οποία απορροφάται από ενεργό βάση. Η ενεργός βάση είναι μείγμα οξειδωτικών και οξειδώσιμων μέσων αποτελούμενο από νιτρικό νάτριο οργανικής καύσιμης ύλης, καμιά φορά θείου, και ενός μέσου δέσμευσης οξέων. Η καύσιμη ύλη είναι συνήθως ξυλοπολτός (Πολυχρονόπουλος, 1979, Τσουτρέλης, 1997). Η περιεχόμενη νιτρογλυκερίνη βρίσκεται ζελατινοποιημένη με νιτροκυτταρίνη. ανάλογα με την περιεκτικότητα σε νιτροκυτταρίνη (νιτροβάμβακα) διακρίνονται σε κυρίως ζελατοδυναμίτιδες (4% ως 8% νιτροκυτταρίνη) και σε ημιζελατοδυναμίτιδες (2% ως 3% νιτροκυτταρίνη). Οι πρώτες έχουν πλαστική μορφή, οι δεύτερες ημιπλαστική ενώ οι άλλες ιδιότητες είναι σχεδόν οι ίδιες και για τους δύο τύπους. Η ανθεκτικότητα στο νερό είναι καλή για την ζελατοδυναμίτιδα 20% και εξαιρετική για την ζελατοδυναμίτιδα 60%. Έχουν καλή πυκνότητα (1,25 ως 1,55 kg/L), θετικό ισοζύγιο οξυγόνου σχετικά υψηλό και ταχύτητα έκρηξης 4800 ως 6700 m/s. Οι ζελατοδυναμίτιδες κατασκευάζονται σε 5 τύπους με ισχύ κυμαινόμενη από 20 ως 60%. Όσο μικρότερη είναι η περιεκτικότητα της νιτρογλυκερίνης σε μια δυναμίτιδα, τόσο μειώνεται η πυκνότητα, η ταχύτητα έκρηξης, η ανθεκτικότητα στην υγρασία, το κόστος ανά μονάδα βάρους της εκρηκτικής ύλης και το ωφέλιμο έργο, αυξάνει όμως η περιεκτικότητα σε νιτρικά άλατα (Πολυχρονόπουλος, 1979, Τσουτρέλης, 1997).

Γαλάκτωμα

Τα γαλακτώματα αποτελούνται από μικρά σταγονίδια υδατικού διαλύματος νιτρικού αμμωνίου τα οποία συγκρατούνται σε παραφίνη, ή ελαιώδη παράγωγα σε υγρή ή στερεή φάση. Τα σταγονίδια αυτά διαχωρίζονται από μια λεπτή μεμβράνη από ελαιώδη ουσίες πάχους μικρότερου από 1 μm , δημιουργώντας έτσι μεγάλη ελεύθερη επιφάνεια και τις προϋποθέσεις για ακαριαία αντίδραση. Συγχρόνως η μεμβράνη αυτή καθιστά το υλικό ανθεκτικό σε νερό. Η ένταση του κρουστικού κύματος μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη στο μίγμα μικροφουσαλλίδων αέρα 100 μm (Αγιουτάντης 2009).

Οι βασικές διαφορές ανάμεσα στα πολτώδη μίγματα και στα γαλακτώματα είναι οι ακόλουθες (Dick et al., 1983)

- Τα γαλακτώματα έχουν υψηλότερες ταχύτητες έκρηξης
- Τα γαλακτώματα έχουν μία τάση προσρόφησης στα τοιχώματα των διατρημάτων που μπορεί να επηρεάσει τα χαρακτηριστικά της χύδην γόμωσης.

3. Κεφάλαιο 3: Υπόγειες ανατινάξεις

3.1 Εισαγωγή

Οι υπόγειες εκμεταλλεύσεις σε βραχομάζα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την επιτυχή εκτέλεση των διαδικασιών ανατίναξης. Το μέταλλευμα αποσπάται από το φυσικό περιβάλλον του και κατακερματίζεται από την πρωτογενή ανατίναξη. Η ποσότητα των εκρηκτικών που απαιτούνται ανά μονάδα όγκου του εξορυσσόμενου πετρώματος, λόγω του περιορισμού της έκρηξης, είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι στην περίπτωση των υπαίθριων εκμεταλλεύσεων. Ο συντελεστής κατανάλωσης εκρηκτικών κυμαίνεται από 0.9-6 kg/m³. (Αγιουτάντης, 2009)

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές μέθοδοι εξόρυξης μεταλλεύματος των οποίων η επιλογή εξαρτάται από το πάχος των κοιτασμάτων, τη γωνία κλίσης, τα χαρακτηριστικά των μεταλλευμάτων και πετρωμάτων κλπ. Πολλά μεταλλοφόρα κοιτάσματα ορυκτών βρίσκονται σε φλέβες ή σε ανωμαλίες βραχομάζας, συχνά σε απότομη κλίση. Οι υπόγειες ανατινάξεις είναι δυνατόν να διαιρεθούν σε δύο βασικές κατηγορίες:

- τις ανατινάξεις για την προχώρηση στοών, σηράγγων, κλπ., όπου η μοναδική ελεύθερη επιφάνεια είναι η επιφάνεια διάτρησης, και
- τις ανατινάξεις σε υπόγειες βαθμίδες ή θαλάμους όπου υπάρχουν μία ή περισσότερες ελεύθερες επιφάνειες επιπλέον της επιφάνειας διάτρησης των διατρημάτων.

Συνήθως στις υπόγειες ανατινάξεις χρησιμοποιούνται μεγαλύτεροι χρόνοι επιβραδύνσεων (της τάξης των 500ms) και για λόγους ασφαλείας και για να δώσουν περισσότερο χρόνο στο πέτρωμα να μετακινηθεί (Jimeno, 1995).

3.2 Μηχανική των εκρήξεων σε υπόγεια

Η έκρηξη είναι η πλέον βίαια και ταχεία χημική αντίδραση, που μπορεί να συμβεί. πραγματοποιείται με την διάδοση ενός κρουστικού κύματος μέσα στην μάζα της εκρηκτικής ύλης, το οποίο προκαλεί κατά την πορεία του την διέγερσή της. Η διέγερση αυτή δεν είναι τίποτα άλλο παρά μια εξώθερμη χημική αντίδραση (οξειδωση), που εκλύει με πάρα πολύ υψηλούς ρυθμούς ενέργεια της τάξης του 1 cal/g. Μέρος της ενέργειας αυτής αυτοκαταναλίσκεται για να διατηρήσει σταθερά τα χαρακτηριστικά του αντιδρώντος κρουστικού κύματος (reactive wave), που διεγείρει την εκρηκτική ύλη και εξασφαλίζει την αυτοδιάδοση της αντίδρασης (Τσουτρέλης, 1997).

3.2.1 Διάδοση και απόσβεση του κρουστικού κύματος

Η διάδοση του κρουστικού παλμού και η γεωμετρία του εξαρτάται από την ταχύτητα έναυσης, την ταχύτητα έκρηξης, την ταχύτητα διάδοσης ελαστικών κυμάτων στο πέτρωμα, από την θέση του σημείου έναυσης και από την γεωμετρία της εκρηκτικής στήλης. Σε περίπτωση που ο λόγος του μήκους της εκρηκτικής στήλης και της διαμέτρου της είναι μικρότερος από 6:1 τότε το μέτωπο του κύματος και η γόμωση είναι σφαιρικού σχήματος. Αλλά εάν η ταχύτητα έκρηξης είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα διάδοσης των ελαστικών κυμάτων τότε το σχήμα στο μέτωπο κύματος θα είναι κυλινδρικό. Στην πράξη, το μέτωπο αυτό έχει μια κωνική μορφή που τείνει στην μία ή στην άλλη θεώρηση ανάλογα με τις παραμέτρους έκρηξης.

Ο διαθέσιμος χώρος για την αρχική εκτόνωση των θερμών αερίων προϊόντων έκρηξης είναι σημαντικός παράγοντας για την μέγιστη πίεση του κρουστικού κύματος. Ο χώρος αυτός υπολογίζεται από τον συντελεστή γόμωσης, ο λόγος του όγκου του εκρηκτικού προς τον όγκο του διατρήματος ή σε περίπτωση φυσιγγίων, ο λόγος της διαμέτρου του εκρηκτικού προς την διάμετρο του διατρήματος. Έτσι, όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής γόμωσης τόσο λιγότερος είναι ο κενός χώρος άρα

και μεγαλύτερη η μέγιστη πίεση αερίων που δέχεται το πέτρωμα. Η πίεση αυτή οφείλεται στην σταδιακή εκτόνωση των αερίων που δημιουργούνται στο χώρο της έκρηξης κατά την ωστική φάση. Η ωστική φάση διαρκεί μέχρι μερικές εκατοντάδες μς και προκαλεί την θραύση των πετρωμάτων (Αγιουτάντης, 2009).

3.2.2 Ανάκλαση και διάθλαση του κρουστικού παλμού

Όταν το κρουστικό κύμα συναντήσει υλικό με διαφορετικές ελαστικές και φυσικές ιδιότητες από το αρχικό, δηλαδή ελεύθερη επιφάνεια ή διεπιφάνεια, τότε μέρος του προσπίπτοντος κύματος θα ανακλαστεί και το υπόλοιπο θα διαθλαστεί. Τα ποσοστά ανάκλασης και διάθλασης του κύματος υπολογίζονται από την σύνθετη αντίσταση το υλικού, που δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$Z = \rho * V$$

όπου:

Z = η σύνθετη αντίσταση του υλικού,

ρ = η πυκνότητα του υλικού,

V = η ταχύτητα διάδοσης του κύματος.

Το μέγεθος των τάσεων που διαθλώνται ή και ανακλώνται συναρτήσει του αρχικού τασικού παλμού δίνεται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\sigma_t = \sigma_i \frac{2}{1 + n}$$

$$\sigma_r = \sigma_i \frac{1 - n}{1 + n}$$

όπου:

σ_i = η τάση που οφείλεται στο προσπίπτον κύμα,

σ_t = η τάση που οφείλεται στο διαθλώμενο κύμα,

σ_r = η τάση που οφείλεται στο ανακλώμενο κύμα,

n = ο λόγος των σύνθετων αντιστάσεων του πρώτου και δεύτερου υλικού,

$$n = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{\rho_1 v_1}{\rho_2 v_2}$$

Στην συνέχεια θα αναφερθούν οι περιπτώσεις όπου η πρόσπτωση του κρουστικού κύματος γίνεται σε ελεύθερη επιφάνεια και σε ανοιχτή ρωγμή (Αγιουτάντης, 2009).

Σε περίπτωση που το κρουστικό κύμα προσπίπτει σε ελεύθερη επιφάνεια τότε το ανακλώμενο κύμα θα είναι πάντα εφελκυστικό, με αποτέλεσμα το πέτρωμα μεταξύ του σημείου έκρηξης και της ελεύθερης επιφάνειας να δέχεται θλιπτικές και εφελκυστικές ακτινικές τάσεις με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο θρυμματισμός του. Όταν η διεύθυνση του προσπίπτοντος κύματος δεν είναι κάθετη στην ελεύθερη επιφάνεια, τότε η ανάκλαση γίνεται με πιο σύνθετο τρόπο και έτσι να δημιουργείται μικρότερης έντασης εφελκυστικός παλμός. Όμως στην περίπτωση που η πρόσπτωση του κρουστικού κύματος γίνεται σε ανοιχτή ρωγμή τότε το θλιπτικό κύμα την συναντάει και το κύμα ανακλάται μέχρι το ένα τοίχωμα του ανοίγματος λόγω του προσπίπτοντος κύματος κινηθεί και φτάσει το άλλο τοίχωμα. Έτσι όταν το αρχικό άνοιγμα κλείσει τότε μέρος του κύματος αρχίζει να διαδίδεται προς την νέα επιφάνεια (Αγιουτάντης, 2009).

3.2.3 Ωστική φάση

Η εκλυόμενη ενέργεια κατά την χημική αντίδραση μιας εκρηκτικής ύλης κατανέμεται σε εκείνη που περιέχεται στο κρουστικό κύμα και σε εκείνη που περιέχεται στα υπό υψηλή ακόμα πίεση αέρια προϊόντα έκρηξης μέσα στο θάλαμο. Υπολογίζεται ότι μόνο το 10 – 20% της συνολικής ενέργειας περιέχεται στο κρουστικό κύμα και η υπόλοιπη συνδέεται με τα αέρια έκρηξης. Θεωρείται ότι η μέγιστη πίεση των αερίων έκρηξης για πλήρη ζεύξη της εκρηκτικής ύλης με το διάτρημα είναι της τάξης του 10% έως του 20% της πίεσης έκρηξης, που μεταδόθηκε στο τοίχωμα και σημειώνεται σε ελάχιστο χρόνο μετά την στιγμή διέλευσης του κρουστικού κύματος. Υπό την πίεση αυτή οι υφιστάμενες ρωγμές επεκτείνονται με την συγκέντρωση τάσεων στην άκρη τους και παράλληλα διευρύνονται με αποτέλεσμα οι μικρορωγμές να μετατρέπονται σε μεγαλωρωγμές. Μέρος της ενέργειας καταναλώνεται για την εκτόξευση του ήδη θραυσμένου πετρώματος. Η έκταση της θραύσης εξαρτάται από την πίεση των αερίων, την ικανοποιητική επιγόμωση του διατρήματος, την ύπαρξη ασυνεχειών στο πέτρωμα και τον προσανατολισμό τους, ο οποίος μπορεί να

διοχετεύει τα αέρια της έκρηξης γρήγορα στην επιφάνεια μειώνοντας την απόδοση τους (Τσουτρέλης, 2001).

Όπως αναφέρει ο Roberts (1981) το πλάτος της θρυμματισμένης ζώνης εξαρτάται από την αντοχή σε εφελκυσμό, την ταχύτητα διάδοσης των κρουστικών κυμάτων, την πίεση και την ταχύτητα έκρηξης αλλά και το ποσοστό απορρόφησης ενέργειας από το πέτρωμα (Αγιουτάντης, 2009).

3.2.4 Δημιουργία κρατήρα

Τα χαρακτηριστικά της δημιουργίας κρατήρα από εκρήξεις περιγράφονται με την βοήθεια της θεωρίας μεταφοράς ενέργειας. Ο ρυθμός απόδοσης μιας ενέργειας ενός εκρηκτικού είναι ανάλογος με την ταχύτητα έκρηξης, ενώ η ενέργεια είναι ανάλογη με την ποσότητα του εκρηκτικού. Η ενέργεια που μεταφέρεται στο πέτρωμα μεταβάλλεται με τον ίδιο τρόπο όταν:

- αυξάνεται το βάρος του εκρηκτικού για σταθερό βάθος, ή/και
- μειώνεται το βάθος για σταθερό βάρος εκρηκτικού.

Το βάθος για το οποίο μόλις παρατηρείται αστοχία στην επιφάνεια ονομάζεται κρίσιμο βάθος και η ποσότητα εκρηκτικού αντίστοιχα κρίσιμο βάρος. Η παρακάτω σχέση συνδέει το κρίσιμο βάθος και το κρίσιμο βάρος:

$$d_c = E \sqrt[3]{W_c}$$

όπου:

d_c = το κρίσιμο βάθος,

E = ο συντελεστής ενέργειας παραμόρφωσης,

W_c = το κρίσιμο βάρος.

Στην περίπτωση που το βάρος του εκρηκτικού αυξηθεί μέχρι την δημιουργία κρατήρα τότε παρατηρείται θραύση. Ο μέγιστος αποχωρισμός του θραυσμένου πετρώματος από το αρχικό αντιστοιχεί με το βέλτιστο βάρος εκρηκτικού, που υπολογίζεται το βέλτιστο βάθος από την επόμενη εξίσωση:

$$d_0 = \Delta E \sqrt[3]{W_0} \rightarrow d_0 = \frac{B}{d_c} E \sqrt[3]{W_0}$$

όπου

d_0 = το βέλτιστο βάθος,

Δ = ο λόγος του φορτίου προς το κρίσιμο βάθος,

W_0 = το βέλτιστο βάρος,

E = ο συντελεστής ενέργειας παραμόρφωσης,

B = το φορτίο,

d_c = το κρίσιμο βάθος.

Όταν το βάρος ξεπεράσει την βέλτιστη τιμή τότε είναι πιθανή η εκτόξευση τεμαχίων από το πέτρωμα με αποτέλεσμα την απώλεια ενέργειας (Αγιουτάντης, 2009).

3.2.5 Παράμετροι σχεδιασμού ανατίναξης

Για τον επιτυχή σχεδιασμό μιας ανατίναξης απαιτούνται γνώσεις για τις ιδιότητες των εκρηκτικών υλών, των μηχανισμό θραύσης και θρυμματισμού του πετρώματος, των περιορισμών των συστημάτων που θα χρησιμοποιηθούν και των επιπτώσεων μη βέλτιστου σχεδιασμού ανατινάξεων.

Μετά τον καθορισμό της γεωμετρίας του μετώπου οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό μιας ανατίναξης είναι (Αγιουτάντης, 2009):

- η επιλογή του κατάλληλου εκρηκτικού και η ποσότητα του σε κάθε διάτρημα,
- η επιλογή της διάταξης και των αντίστοιχων χρόνων επιβράδυνσης των διατρημάτων,
- η επιλογή του συστήματος έναυσης, ο τρόπος γόμωσης και πυροδότησης των υπονόμων,
- οι επιτόπου συνθήκες, όπως η μεταβολή των χαρακτηριστικών και των μηχανικών ιδιοτήτων του πετρώματος κλπ,
- η ταχύτητα διάδοσης διαμήκων κυμάτων στα πετρώματα και η σχέση της με την ταχύτητα έκρηξης,
- και η βασικότερη που είναι ο προσδιορισμός του φορτίου που αντιστοιχεί σε κάθε διάτρημα.

- Ακόμα γεωλογικοί παράγοντες που επηρεάζουν τον σχεδιασμό μιας ανατίναξης είναι η διάταξη και ο τύπος των ασυνεχειών και η ύπαρξη ζωνών αδυναμίας.

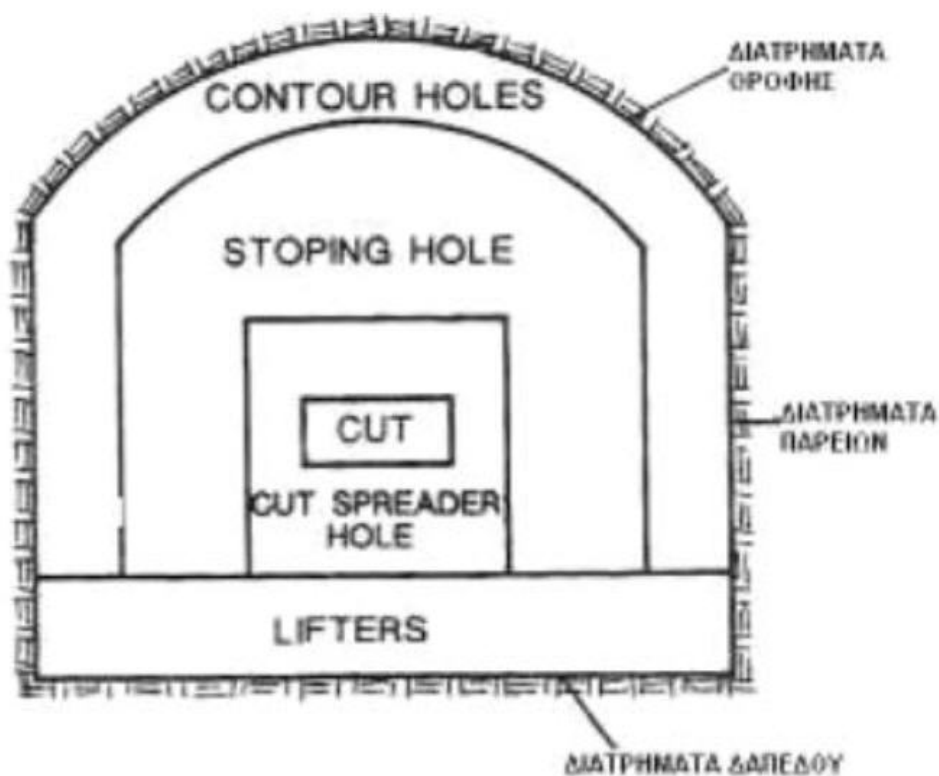
Οι ασυνέχειες επηρεάζουν τα όρια μιας εκσκαφής και την σταθερότητα τους. Η δυναμική θραύση του πετρώματος έχει σαν αποτέλεσμα τον διαχωρισμό του σε τμήματα ανάλογα με τα συστήματα των επιπέδων αδυναμίας. Όταν τα επίπεδα αδυναμίας χαρακτηρίζονται από οξείες γωνίες τότε αναμένεται υπερεκσκαφή, ενώ όταν τα επίπεδα απέχουν μεταξύ τους τότε θα είναι μέτριος ο θρυμματισμός του πετρώματος. Στην περίπτωση όμως που η διεύθυνση των ασυνεχειών είναι παράλληλη με το μέτωπο τότε η επίδραση τους εξαρτάται από την κλίση τους.

Η ύπαρξη τυχόν ζωνών αδυναμίας θα πρέπει να είναι γνωστή γιατί αλλιώς η ενέργεια έκρηξης διαδίδεται από την οδό με την μικρότερη αντίσταση, δηλαδή μέσα από τις ζώνες αυτές με αποτέλεσμα τον ανεπαρκή θρυμματισμό του πετρώματος. Για την αποφυγή ενός τέτοιου λάθους θα πρέπει οι ζώνες αδυναμίας να προσδιορίζονται με ακρίβεια και στην συνέχεια να πληρώνονται με αδρανές υλικό (Αγιουτάντης, 2009).

Επιπρόσθετα, πετρώματα με μεγάλο ειδικό βάρος απαιτούν μεγαλύτερες ποσότητες εκρηκτικών ή ισχυρότερα για τον θρυμματισμό τους. Η ψαθυρότητα και η σκληρότητα ενός πετρώματος μπορεί να επηρεάσει σημαντικά μια ανατίναξη. Ένα πέτρωμα χαμηλής συνεκτικότητας έχει περισσότερες πιθανότητες να επιφέρει λάθη από ότι ένα σκληρό πέτρωμα (Dick et al, 1973).

3.3 Υπόγειες Ανατινάξεις

Τα διατρήματα σε ένα μέτωπο σήραγγας διαιρούνται σε κατηγορίες ανάλογα με την σειρά έναυσης τους όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1 Διαίρεση των διατρημάτων του μετώπου σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την σειρά έκρηξής τους (Jimeno et al,1995)

Στις υπόγειες ανατινάξεις η γραμμική γόμωση στήλης κατά κύριο λόγο προκύπτει από εμπειρικά διαγράμματα με γνώμονα την διάμετρο του διατρήματος d , το φορτίο B κ.α.

Διατρήματα προεκσκαφής: Ο σκοπός τους είναι η δημιουργία κατά την ανατίναξη μιας κατάλληλης σε γεωμετρική μορφή και όγκο εκσκαφής, που θα χρησιμεύει ως ελεύθερη επιφάνεια ανάκλασης του προερχόμενου κρουστικού παλμού από τις επόμενες εκρήξεις κρουστικού κύματος. Ανάλογα με την γεωμετρική διάταξη των διατρημάτων χωρίζονται σε παράλληλες διατάξεις προεκσκαφής και σε διατάξεις προεκσκαφής υπό γωνία.

Οι παράλληλες διατάξεις προεκσκαφής χωρίζονται σε κυλινδρικές (τυπική, σπειροειδής κ.α.) και σε διάταξη πυκνής διάτρησης. Η τυπική κυλινδρική διάταξη είναι η πιο διαδεδομένη σε μέτωπα μορφής σήραγγας όπου συνιστάται ένα ή περισσότερα διατρήματα μεγάλης διαμέτρου στο κέντρο της προεκσκαφής και από μια σειρά κανονικής διαμέτρου γύρω από αυτά, τα οποία σχηματίζουν μέχρι τέσσερα τετράγωνα. Το φορτίο στο πρώτο τετράγωνο υπολογίζεται από τις εξής σχέσεις υπόλοιπα (Τσουτρέλης, 2001):

- $B_1 = (1,5 \sim 1,7) \cdot D_0 \text{ (m)}$ για ένα διάτρημα στο κέντρο της προεκσκαφής
- $B_1 = (1,5 \sim 1,7) \cdot D'_0 \text{ (m)}$ για περισσότερα από ένα διατρήματα στο κέντρο της προεκσκαφής

Όπου

D_0 = διάμετρος του κενού διατρήματος (m),

D'_0 = ισοδύναμη διάμετρος (m),

n = ο αριθμός των κενών διατρημάτων ίδιας διαμέτρου d .

Όσον αφορά το φορτίο των υπόλοιπων τετραγώνων και το μήκος της πλευράς των τεσσάρων τετραγώνων προκύπτουν βάσει γεωμετρίας όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.1.

Πίνακας 3-1 Υπολογισμός φορτίου και πλευράς τετραγώνου (Τσουτρέλης, 2001).

| ΤΕΤΡΑΓΩΝΟ | ΦΟΡΤΙΟ B | ΠΛΕΥΡΑ A |
|-----------|------------------------|------------------------|
| ΠΡΩΤΟ | $B_1 = 1,5D_0$ | $A_1 = B_1\sqrt{2}$ |
| ΔΕΥΤΕΡΟ | $B_2 = B_1\sqrt{2}$ | $A_2 = 1,5B_2\sqrt{2}$ |
| ΤΡΙΤΟ | $B_3 = 1,5B_2\sqrt{2}$ | $A_3 = 1,5B_3\sqrt{2}$ |
| ΤΕΤΑΡΤΟ | $B_4 = 1,5B_3\sqrt{2}$ | $A_4 = 1,5B_4\sqrt{2}$ |

Οι διατάξεις διατρημάτων προεκσκαφής υπό γωνία χωρίζεται σε σφηνοειδή ή V- διάταξη, σε πυραμιδοειδή και σε διάταξη ριπιδίου. Στην σφηνοειδή προκύπτει (Τσουτρέλης, 2001):

$$q_c = (30 \sim 50\%) \cdot q_b$$

Όπου

q_c = γραμμική πυκνότητα γόμωσης στήλης διατρημάτων (kg/m),

q_b = γραμμική πυκνότητα γόμωσης πυθμένα (kg/m).

Διατρήματα κύριας εκσκαφής: πρόκειται για την κατηγορία διατρημάτων που απεικονίζονται στο σχήμα 3.1. Όπως αναφέρουν ο Bhandari (1997) και ο Olofsson (1988), για να δώσουν εμπειρικούς κανόνες για τον σχεδιασμό αυτών των διατρημάτων, τα διακρίνουν σε δύο κατηγορίες στα διατρήματα ανιούσα ή οριζόντιας φοράς και στα διατρήματα κατιούσας φοράς. Ο Konya (1985) όμως δίνει τις παρακάτω σχέσεις για τον υπολογισμό του φορτίου B , της απόστασης S μεταξύ των διατρημάτων και το μήκος επιγόμεσης h_s χωρίς να κάνει κάποιο διαχωρισμό των διατρημάτων:

$$B = 0,012 \cdot \left(\frac{2p_e}{p} + 1,5 \right) \cdot d$$

Όπου

B : φορτίο (m),

p_e : η πυκνότητα της εκρηκτικής ύλης (g/cm³),

p : η πυκνότητα του πετρώματος (g/cm³),

d : η διάμετρος των διατρημάτων (mm).

$$S = 1.1 \cdot B \text{ και } h_{s=0.5 \cdot B}$$

όπου:

S : η απόσταση μεταξύ των διατρημάτων (m),

h_s : το μήκος επιγόμεσης (m).

Διατρήματα οροφής και πλευρών: Κατά τον σχεδιασμό των περιμετρικών διατρημάτων της οροφής και των πλευρών πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι σε κάθε περίπτωση επιβάλλεται ο περιορισμός της θραύσης και ρωγμάτωσης του πέρα της διατομής της σήραγγας πετρώματος. Για το σχέδιο ανατίναξης που θα χρησιμοποιηθεί στην συγκεκριμένη περίπτωση, διακρίνεται σε δύο περιπτώσεις:

- Κανονική ή συνήθης τεχνική ανατίναξης (normal blasting)

- Ήπια ή ελεγχόμενη ανατίναξη (smooth wall ή controlled blasting). Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται ειδικές τεχνικές ανατίναξης με τις οποίες επιτυγχάνεται περιορισμός της υπέρθραυσης και της σε βάθος ρωγμάτωσης του πετρώματος.

Διατρήματα δαπέδου: Τα διατρήματα δαπέδου είναι αυτά που διανοίγονται στο δάπεδο της σήραγγας όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.1. Το φορτίο B για τα διατρήματα αυτά (Persson et al 1994, Lopez Jimeno et al 1995) από την παρακάτω σχέση, η οποία χρησιμοποιείται στις επιφανειακές ανατινάξεις μορφής ορθής βαθμίδας θεωρώντας ότι το ύψος της βαθμίδας αντιστοιχεί προς την προχώρηση της σήραγγας. Παράλληλα λαμβάνεται υπόψη ότι πρέπει να χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερη γραμμική πυκνότητα γόμωσης, διότι από τη μια η δύναμη της βαρύτητας ενεργεί αντίθετα από την κατεύθυνση εξόρυξης και από την άλλη υπάρχει μεγαλύτερη χρονική επιβράδυνση μεταξύ των διατρημάτων.

$$B = 0,9 \cdot \sqrt{\frac{q_t \cdot RWS_{anfo}}{c \cdot f \cdot S/B}}$$

Όπου:

q_t η γραμμική πυκνότητα γόμωσης των διατρημάτων

RWS_{ANFO} κατά βάρος ισχύς της εκρηκτικής ύλης σε σχέση με το ANFO

F: συντελεστής πάκτωσης. Λαμβάνεται συνήθως 1,45 λόγω της δυσμενούς επίδρασης της δύναμης της βαρύτητας και των χρησιμοποιούμενων χρόνων επιβράδυνσης,

c: διορθωτικός συντελεστής υπολογιζόμενος από διάφορες σχέσεις.

Η παραπάνω σχέση ισχύει για τετραγωνική διάταξη διατρημάτων. Κατά την τοποθέτηση των διατρημάτων θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η γωνία εκτροπής των διατρημάτων, η οποία εξαρτάται από τον διατιθέμενο διατρητικό εξοπλισμό και το μήκος των διατρημάτων. Η απόσταση S μεταξύ των διατρημάτων του δαπέδου υπολογίζεται από την σχέση (Τσουτρέλης, 2001):

$$S = \frac{T_w + 2 \cdot l \cdot \sin \gamma}{N - 1}$$

Όπου:

Tw: πλάτος σήραγγας

γ: γωνία εκτροπής

l: μήκος διάτρησης (m)

N: ο μέγιστος αριθμός διατρημάτων.

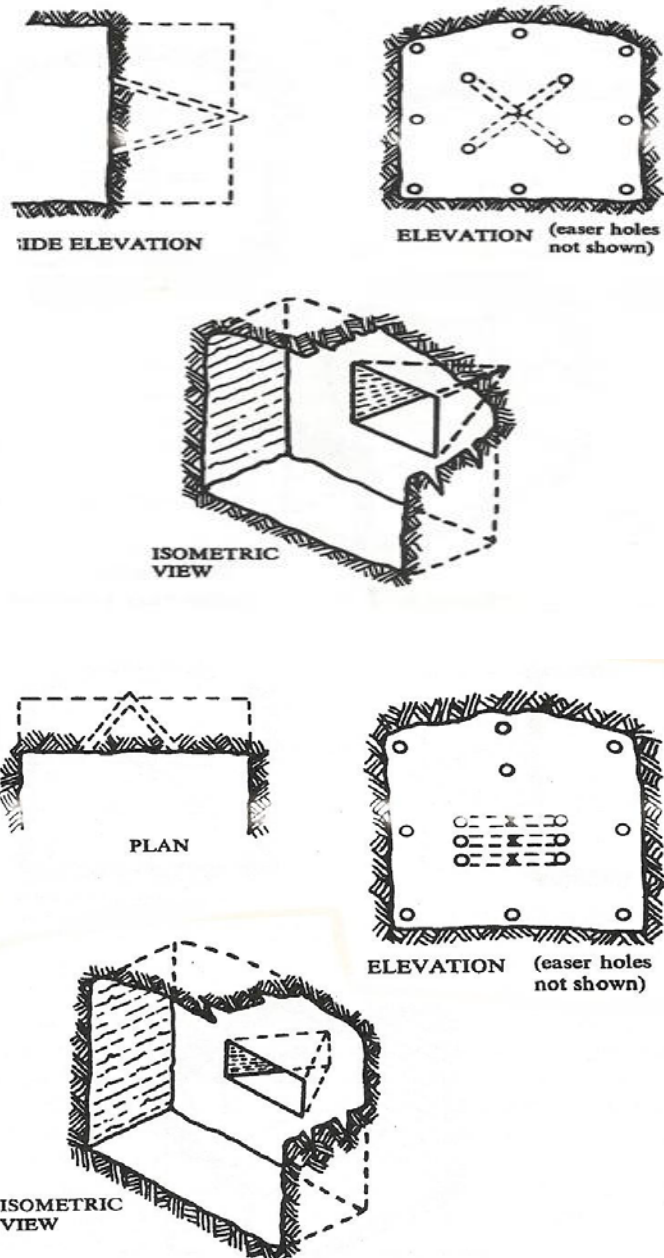
3.4 Αρχική κοπή υπόγειων ανατινάξεων

Το πιο σημαντικό τμήμα μίας υπόγειας ανατίναξης είναι η αρχική διάνοιξη (αρχική κοπή) ή προεκσκαφή (opening cut). Η βασική λειτουργία της αρχικής κοπής είναι να δημιουργήσει ελεύθερες επιφάνειες για την βελτίωση του μηχανισμού θραύσης του πετρώματος από την ανατίναξη των υπόλοιπων διατρημάτων. Αν και υπάρχουν πολλοί τύποι αρχικής διάνοιξης, όλοι είναι δυνατόν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες (Dick et.al., 1983):

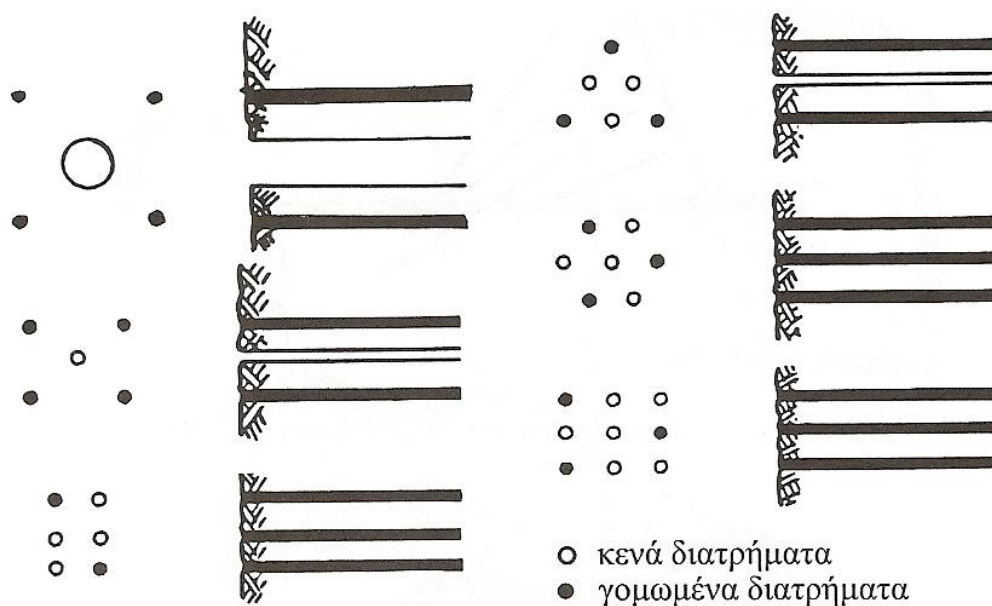
- οι κοπές υπό γωνία (angled cuts) Διακρίνονται σε πυραμιδοειδή κοπή (pyramid cut, center cut) και σε σφηνοειδή κοπή (V cut, wedge cut), όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2.
- οι παράλληλες κοπές (parallel cuts).

Οι βασικές διατάξεις των παράλληλων κοπών είναι (Σχήμα 3.3):

1. η κοπή τύπου burn (burn cut),
2. η κοπή τύπου burn με μεγάλο ελεύθερο διάτρημα (ή διάτρημα ανακούφισης) (large burn cut),
3. η κοπή τύπου coromant (coromant cut).



Σχήμα 3.2 Πυραμιδοειδής κοπή (πάνω) και Σφηνοειδής κοπή (κάτω) (Gregory, 1984).



Σχήμα 3.3 Διατάξεις παράλληλων αρχικών κοπών (Bhandari, 1997).

Στις παράλληλες κοπές δημιουργούνται πρόσθετες ελεύθερες επιφάνειες από τα διατρήματα που ορύσσονται και στα οποία δεν τοποθετείται εκρηκτική γόμωση. Τα διατρήματα αυτά ονομάζονται ελεύθερα και είναι δυνατόν να έχουν είτε ίδια διάμετρο όπως τα γομωμένα είτε μεγαλύτερη διάμετρο. Τα διατρήματα αυτά είναι γνωστά στα Ελληνικά μεταλλεία ως «μπουσόν».

Το πλεονέκτημα των κοπών με μεγαλύτερη διάμετρο ελεύθερων διατρημάτων είναι ότι προσφέρουν περισσότερες ελεύθερες επιφάνειες και μεγαλύτερο κενό ανάμεσα στο οποίο μπορεί να διογκωθεί το φορτίο των παρακείμενων διατρημάτων έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η προχώρηση εκσκαφής.

Το μειονέκτημα των κοπών που έχουν διαφορετική διάμετρο ελεύθερων διατρημάτων είναι η ανάγκη αλλαγής του κοπτικού που αφενός απαιτεί πρόσθετο εξοπλισμό αφετέρου καθυστερεί τη διαδικασία της διάτρησης.

4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Συγκριτική αξιολόγηση εκρηκτικών ζελατοδυναμίτιδας και γαλακτώματος

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει η παρουσίαση της σύγκρισης των δυο εκρηκτικών με κριτήριο την προχώρηση σε μέτρα (m) όπως φάνηκε μετά από μετρήσεις στην στοά 595-610 στην περιοχή της Γραβιάς Φωκίδας σε εκμετάλλευση που ανήκει στην εταιρεία ΔΕΛΦΟΙ-ΔΙΣΤΟΜΟ ΑΜΕ. Η σύγκριση θα γίνει σε κλίμακα 10 βαθμών που εξαρτάται από την προχώρηση όπως μετρήθηκε πριν και μετά από την ανατίναξη των μετώπων. Το σύνολο των διατρημάτων αλλά και ο σχεδιασμός της ανατίναξης παραμένει ίδιος για κάθε εκρηκτικό και τύπο εξορυσσόμενου πετρώματος.

4.2 Κάναβοι ανατινάξεων στην ΔΕΛΦΟΙ ΔΙΣΤΟΜΟ ΑΜΕ

4.2.1 Διάταξη διατρημάτων

Ανάλογα με το εξορυσσόμενο υλικό (ασβεστόλιθος ή βωξίτης) αλλάζει ο αριθμός των διατρημάτων. Ο αριθμός αυτός εξαρτάται από την σκληρότητα του πετρώματος. Ανεξάρτητα με το πέτρωμα η αρχική κοπή παραμένει η ίδια και είναι και στις δύο περιπτώσεις διπλό V Cut με τρία κενά διατρήματα ίδιας διαμέτρου (μπουσόν) με τα υπόλοιπα. Στο διπλό V-Cut τα διατρήματα του εσωτερικού V (μικρό V) εναύονται πριν τα διατρήματα του εξωτερικού V (μεγάλο V).

4.2.2 Διάταξη διατρημάτων σε ασβεστόλιθο

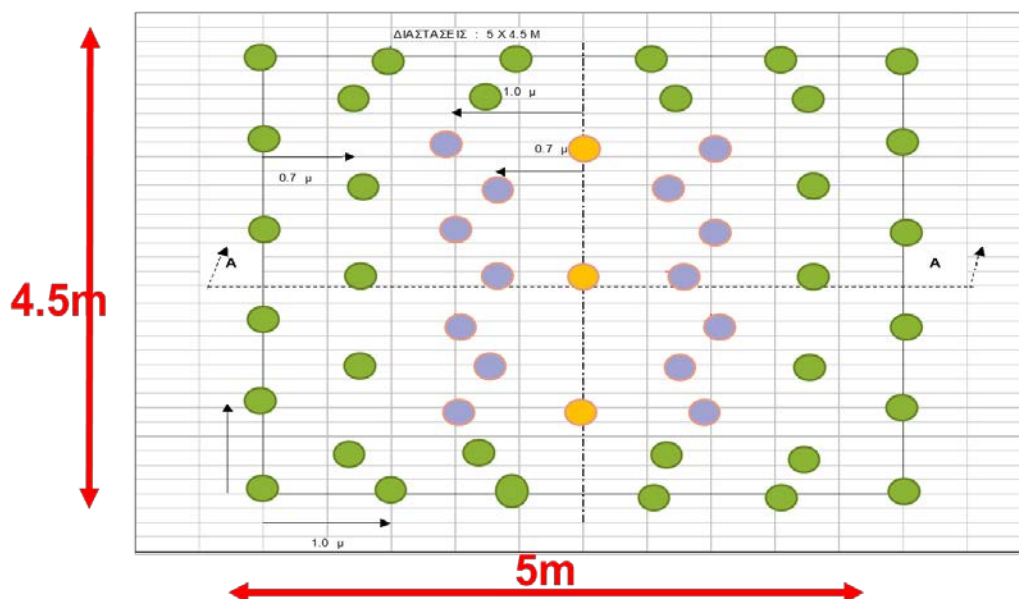
Για την διάτρηση σε ασβεστόλιθο ορύσσονται συνολικά 51 διατρήματα των 45 mm τα οποία περιλαμβάνουν:

- 14 διατρήματα αρχικής κοπής σε διπλό V cut (6 και 8 διατρήματα στο μικρό και στο μεγάλο V αντίστοιχα)
- 34 διατρήματα της κύριας ανατίναξης
- 3 κενά διατρήματα

Οι εξωτερικές διαστάσεις του κανάβου διάτρησης είναι ίσες με τις διαστάσεις του εξορυσσόμενου ανοίγματος:

- Πλάτος 5m
- Ύψος 4.5 m

Ο σχεδιασμός ανατίναξης για την εξόρυξη του ασβεστόλιθου φαίνεται στο σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1 Διάταξη διατρημάτων για πέτρωμα ασβεστόλιθου (κίτρινα: μπουσόν, μπλέ: αρχική κοπή, πράσινα: κύρια ανατίναξη)

4.2.3 Διάταξη διατρημάτων σε βωξίτη

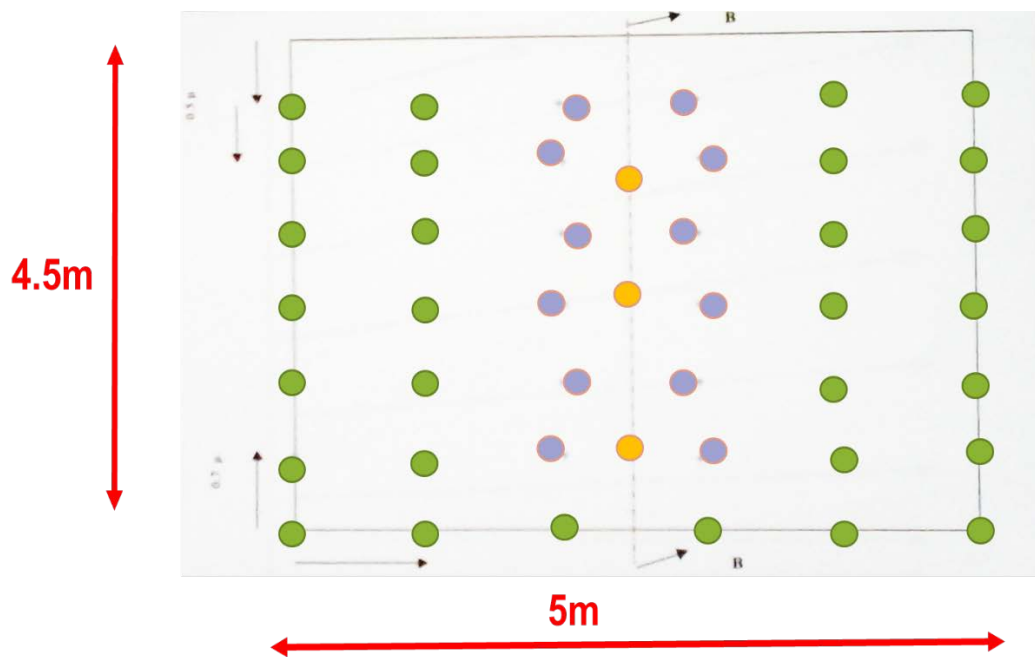
Για την διάτρηση σε ασβεστόλιθο ορύσσονται συνολικά 45 διατρήματα των 45 mm τα οποία περιλαμβάνουν:

- 12 διατρήματα αρχικής κοπής σε διπλό V cut (6 και 6 διατρήματα στο μικρό και στο μεγάλο V αντίστοιχα)
- 30 Τα διατρήματα της κύριας ανατίναξης
- 3 Κενά διατρήματα

Οι εξωτερικές διαστάσεις του κανάβου διάτρησης είναι μικρότερες από τις διαστάσεις του εξορυσσόμενου ανοίγματος. Το άνοιγμα μετά την ανατίναξη προβλέπεται να έχει διαστάσεις όπως παρακάτω::

- Πλάτος 5m
- Ύψος 4.5 m

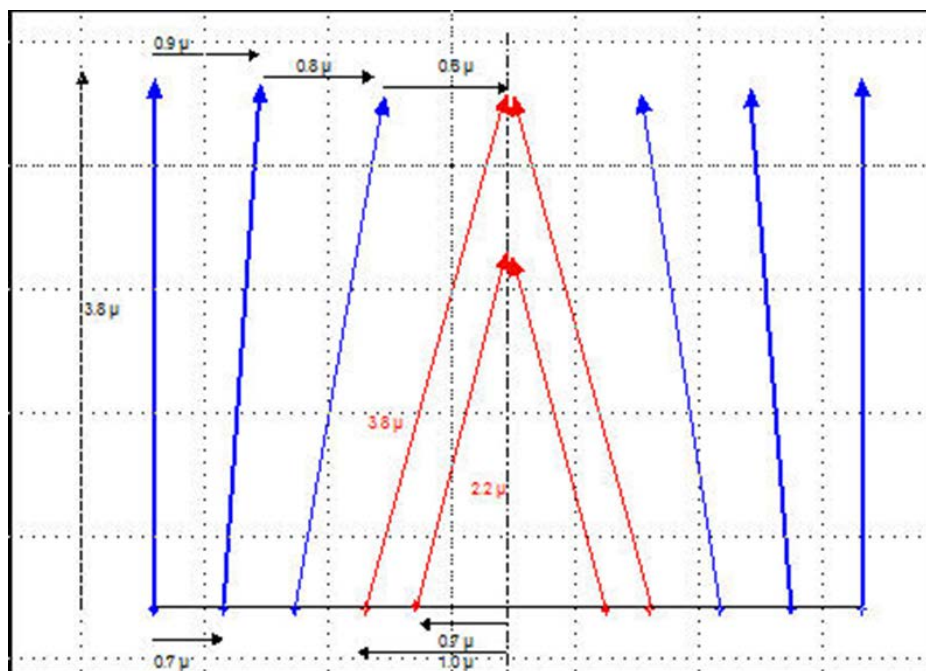
Ο σχεδιασμός ανατίναξης για την εξόρυξη του βωξίτη φαίνεται στο σχήμα 4.2.



Σχήμα 4 2 Διάταξη διατρημάτων για πέτρωμα βωξίτη (κίτρινα: μπουσόν, μπλέ: αρχική κοπή, πράσινα: κύρια ανατίναξη)

4.2.4 Κλίση διατρημάτων

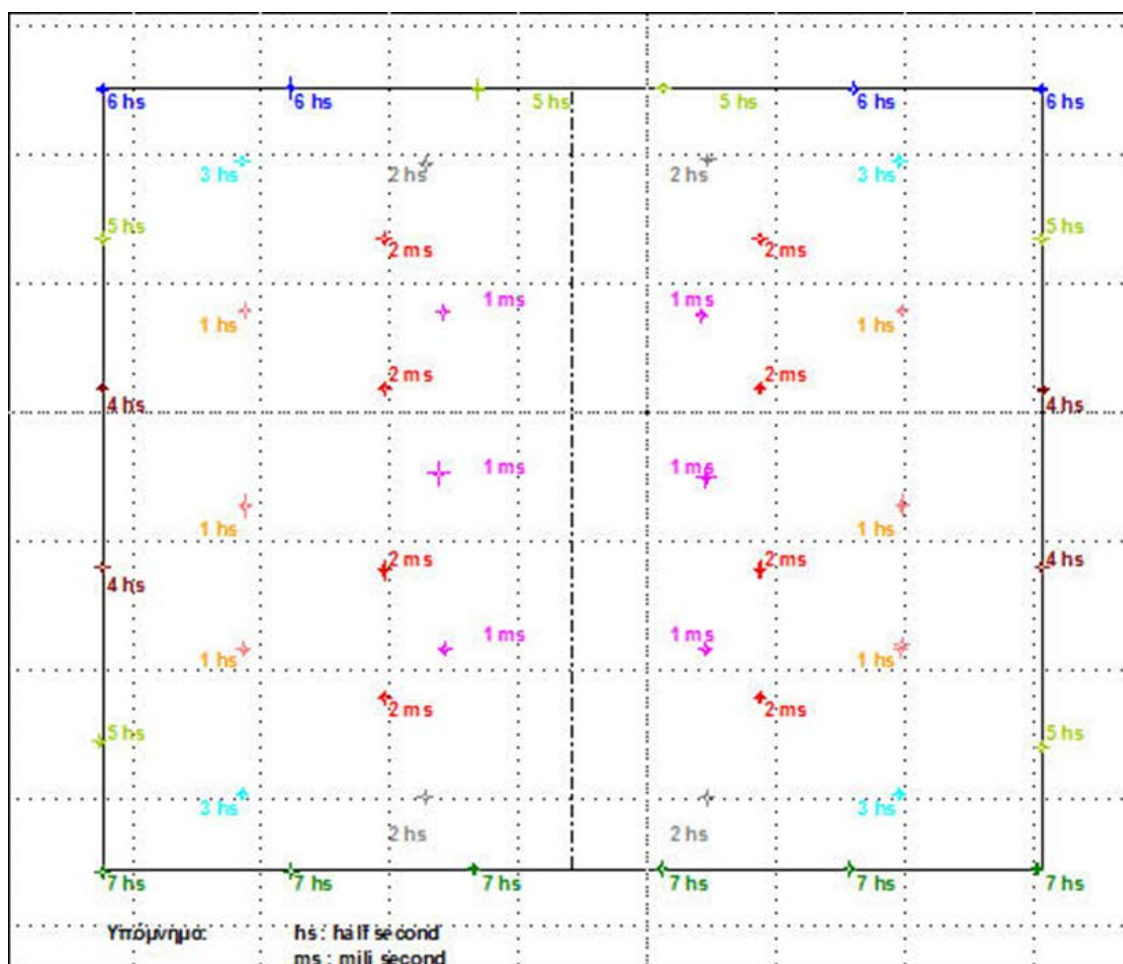
Οι κλίσεις των διατρημάτων για την περίπτωση της εξόρυξης σε ασβεστόλιθο φαίνονται στο σχήμα 4.3. Φαίνονται καθαρά τα δύο V της αρχικής κοπής καθώς και τα διατρήματα της κύριας ανατίναξης. Τα διατρήματα μπουσόν δεν παρουσιάζονται στο σχήμα. Το μήκος διάτρησης είναι 3.80 m για όλα τα διατρήματα.



Σχήμα 4.3 Κλίση των διατρημάτων.

4.2.5 Έναυση διατρημάτων σε μέτωπο ασβεστολίθου

Στο σχήμα 4.4 παρουσιάζεται η διάταξη των διατρημάτων για εξόρυξη μετώπου ασβεστολίθου μαζί με τους χρόνους έναυσης.



Σχήμα 4.4 Χρόνοι καθυστέρησης σε μέτωπο ασβεστολίθου

4.3 Διαδικασία γόμωσης ανατίναξης στην ΔΕΛΦΟΙ ΔΙΣΤΟΜΟ ΑΜΕ

Προκειμένου να γίνει με επιτυχία η διαδικασία της γόμωσης – πυροδότησης ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία προετοιμασίας:

1. Το μέτωπο διατρήθηκε με την μέθοδο που εφαρμόζεται στην υπόγεια εκμετάλλευση των κοιτασμάτων βωξίτη η οποία προϋποθέτει όλα τα διατρήματα να έχουν μήκος 3,8 m και η διάταξη τους να είναι V Cut (βλέπε σχέδια ανατίναξης στην προηγούμενη ενότητα).

2. Η οροφή και τα παραμέντα του μετώπου έχουν επαρκώς ξεσκαρωθεί χειρονακτικά από τους γομωτές για την ασφαλή συνέχιση της εργασίας τους.
3. Το δάπεδο του μετώπου είναι επαρκώς καθαρό και έχει απομακρυνθεί, με τον φορτωτή, τυχόν σαθρό πέτρωμα που έχει προκύψει από την διάτρηση
4. Σε κατηφορικές θέσεις έχουν απομακρυνθεί (από τους γομωτές) τα νερά με την χρήση αεραντλιών ή και φορτωτών. Επίσης έχουν απομακρυνθεί και φυλαχτεί σε παρακείμενο εγκάρσιο τα λάστιχα σήμανσης των διατρημάτων δαπέδου
5. Για λόγους ασφαλείας δεν επιτρέπεται να προχωράει η διαδικασία γόμωσης όταν υπάρχουν ενδείξεις αναμενόμενης καταιγίδας στην επιφάνεια.
6. Οι γομωτές έχουν προμηθευτεί όλα τα αναγκαία υλικά για την γόμωση και διαθέτουν και ανυψωτική πλατφόρμα. Νοείται ότι κατά την φόρτωση και μεταφορά των εκρηκτικών υλών και των καψυλλίων από τις αποθήκες των εκρηκτικών έως το μέτωπο, με την βοήθεια της ανυψωτικής πλατφόρμας, τηρούνται όλοι οι κανόνες που ορίζει ο Κ.Μ.Λ.Ε.
7. Η πίεση του δικτύου αέρα είναι 7 bar και τα δίκτυα νερού και αέρα είναι κοντά στο μέτωπο δηλαδή σε απόσταση το πολύ 100-150 m.

Στη συνέχεια και αφού έχουν γίνει οι απαραίτητες προετοιμασίες οι γομωτές περνάνε στην διαδικασία της γόμωσης κατά την οποία:

1. Οι γομωτές ξεκινάνε την εργασία τους στο μέτωπο με τον καθαρισμό των διατρημάτων. Χρησιμοποιούν για τον σκοπό αυτό σωλήνα (ξεφουσητήρες) μήκους 4.5 m και διατομής 2 cm, ώστε να μπορούν να καθαριστούν τα διατρήματα μήκους 3,8 m. Η σωλήνα αυτή φέρει στρόφιγγα διοχέτευσης του αέρα από το κεντρικό δίκτυο του αέρα στον ξεφουσητήρα και ανοιγοκλείνει κατά την βούληση του γομωτή.
2. Οι γομωτές αφού φέρουν στο μέτωπο 2-3 κάσες φυσιγγίων ζελατοδυναμίτιδας καθώς και 40-50 καψύλλια ξεκινούν την διαδικασία “αρμάτωσης” των διατρημάτων. Τα κυλινδρικής διατομής φυσίγγια ζελατοδυναμίτιδας είναι διαστάσεων 38 cm X 400 cm. Νοείται ότι αυτά πληρούν τις τεχνικές προδιαγραφές που έχουν οριστεί και μετά τον οπτικό τους έλεγχο, για τυχόν σπασίματα ή εκτός των επιτρεπόμενων ορίων σκληρότητα, είναι έτοιμα προς χρήση. Το αρμάτωμα ξεκινά από τα εσωτερικά διατρήματα προεκσκαφής και

προχωρά προς τα εξωτερικά διατρήματα. Σε κάθε διάτρημα του μικρού και του μεγάλου V (εξωτερικά διατρήματα προεκσκαφής) τοποθετούνται 2 φυσίγγια ζελατοδυναμίτιδας. Στο μικρό V (6 διατρήματα) τοποθετούνται καψύλλια του μικρότερου δυνατού χρόνου έναυσης (1-3 millisecond). Στο μεγάλο V (8 διατρήματα) τοποθετούνται τα καψύλλια της αμέσως επόμενης διαβάθμισης (4-8 millisecond). Για τα υπόλοιπα διατρήματα (βοηθητικά και περιφερειακά) χρησιμοποιούνται καψύλλια από 1-8 halfsecond. Όλα τα καλώδια πρέπει να είναι ξεχωριστά βραχυκυκλωμένα.

3. Στο κάθε διάτρημα τοποθετούνται τα φυσίγγια της ζελατοδυναμίτιδας με την βοήθεια ξύλινου κυλινδρικού βοηθήματος (τακαδόρος: διάμετρος 25-30 mm και μήκος 4 m) που φέρει στη μία άκρη ειδική βελόνα από μπρούτζο. Τα φυσίγγια εισάγονται στο διάτρημα. Αφού φθάσουν στον πάτο του διατρήματος ασκείται πίεση μέσω του τακαδόρου σε αυτά με την μορφή διαδοχικών παλινδρομικών κινήσεων και χτυπημάτων, ώστε τα φυσίγγια να αποκτήσουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής με τα τοιχώματα του διατρήματος.
4. Αφού εισαχθούν όλα τα φυσίγγια στα διατρήματα με τα ανάλογα νούμερα καψυλλίων για κάθε διάτρημα ξεκινά η διαδικασία πλήρωσης των διατρημάτων με A.N.F.O. Για την διαδικασία αυτή τοποθετείται από τους γομωτές στη δεξαμενή A.N.F.O ποσότητα περίπου ίση με 100 kg (4 σακιά). Οι γομωτές πρέπει να προσέξουν ώστε τα συστήματα συμπίεσης και αποσυμπίεσης της μηχανής αυτής να λειτουργούν σωστά ώστε να μπορέσει το A.N.F.O να διοχετευθεί υπό την σωστή πίεση (2-3 bar) μέσω του σωλήνα διοχέτευσης A.N.F.O στο διάτρημα. Κάθε διάτρημα πρέπει να φέρει χαρακτηριστικό σημάδι του 1 m από το άκρο του
5. Αφού ολοκληρωθεί και η διαδικασία πλήρωσης των διατρημάτων με το A.N.F.O. οι γομωτές προχωρούν στην συνένωση των καλωδίων των καψυλλίων εν σειρά (που εξέχουν των διατρημάτων κατά 1,2 m περίπου). Η εργασία ξεκινά από την μία κάτω άκρη και τελειώνει στην απέναντι κάτω άκρη του μετώπου. Τα καλώδια θα πρέπει να κόβονται ή να διπλώνονται στο μέτωπο χωρίς οι επαφές στα άκρα τους να ακουμπούν στο πέτρωμα, ώστε αφενός μεν να μην κρέμονται τα καλώδια ελεύθερα και αφετέρου να αποκλείεται η περίπτωση βραχυκυκλώματος ή μεταφοράς παράσιτου ρεύματος στο κύκλωμα που δημιουργείται. Στο τέλος οι δύο γειτονικές κάτω άκρες των καλωδίων βραχυκυκλώνονται 'ώστε το κύκλωμα

να παραμείνει κλειστό καθ' όλη την διάρκεια της απομένουσας εργασίας και συνδέεται στους κεντρικούς αγωγούς πυροδότησης μόνο όταν το γομωμένο μέτωπο (μπαταριά) είναι έτοιμο για πυροδότηση.

6. Όταν ο επιστάτης του εργοταξίου επιβεβαιώσει ότι όλοι οι εργαζόμενοι έχουν τελειώσει την εργασία και έχουν παρουσιαστεί στον εξωτερικό χώρο του υπογείου εργοταξίου, δίνει τη εντολή στους γομωτές για σύνδεση και πυροδότηση της μπαταριάς. Ο γομωτής με κάποιο μεταφορικό μέσο πηγαίνει στο μέτωπο και συνδέει τα καλώδια της μπαταριάς. Στον κεντρικό αγωγό πυροδότησης. Στη συνέχεια από ασφαλή θέση (μεγαλύτερη από 500 m) με το ωμόμετρο τύπου SCHAFFLER βλέπει αν η αντίσταση του κυκλώματος είναι κοντά στην θεωρητική (120-150 Ω). Αν κάτι τέτοιο δεν ισχύει τότε πρέπει να ειδοποιήσει τον επιστάτη και μαζί του, να εντοπίσουν το πρόβλημα. Αν το κύκλωμα έχει την σωστή αντίσταση τότε συνδέεται ο κεντρικός αγωγός στην μηχανή πυροδότησης και πυροδοτείται η μπαταριά.

4.4 Επί τόπου μετρήσεις

4.4.1 Συλλογή μετρήσεων

Για την συλλογή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ένας μετρητής αποστάσεων με λέιζερ (αποστασιόμετρο) που ανήκει στην εταιρεία Δελφοί Δίστομο όπως φαίνεται στην εικόνα 4.1



Εικόνα 4-1 Αποστασιόμετρο τύπου BOSCH(GLM 50)

Με τη συνοδεία του επιβλέπων μηχανικού και το ξεκίνημα της βάρδιας του ξεκίναγε και η συλλογή των μετρήσεων από την στοά 595-610 της Γραβιάς. Η στοά αυτή είχε και παραγωγικά μέτωπα (βωξιτικά) αλλά και μέτωπα προχώρησης (ασβεστολιθικά). Η εργασίες στην βάρδια περιλάμβαναν όλη τη διαδικασία της διάτρησης-ανατίναξης όπως επίσης και την φόρτωση των υλικών και την κοχλίωση για την ασφάλεια του μετώπου. Σε κάθε ενεργό μέτωπο και ύστερα από τις οδηγίες του μηχανικού γινόντουσαν οι μετρήσεις.

Οι μετρήσεις έγιναν σε δύο φάσεις:

- A. Πρώτα πριν την ανατίναξη γίνεται μία μέτρηση, από σταθερό σημείο γνωστών συντεταγμένων που παραμένει αναλλοίωτο κατά την διάρκεια της ανατίναξης, της απόστασης του σημείου από το μέτωπο μαζί με ύψος και πλάτος του.
- B. Την επόμενη μέρα μετά την ανατίναξη από το ίδιο σημείο ξαναγίνεται η μέτρηση της απόστασης και αφού το μέτωπο ξεσκαρωθεί-καθαριστεί, από το υλικό και τοποθετηθούν οι κοχλίες, το ύψος και το πλάτος.

Για να υπολογιστεί η προχώρηση αφαιρείται η απόσταση που αντιστοιχεί στην Β φάση από την απόσταση που αντιστοιχεί στην Α φάση.

Με την βοήθεια της προχώρησης αλλά και του πλάτους και ύψους υπολογίστηκε και ο συνολικός όγκος του υλικού που εξορύχθηκε κατά την διάρκεια της ανατίναξης. Επιπλέον καταγράφηκε η ποσότητα των εκρηκτικών που χρησιμοποιούνται σε κάθε ανατίναξη. Οι ποσότητες αυτές είναι είναι:

- A. Για το γαλάκτωμα των 42 διατρήματων χρησιμοποιήθηκαν 42 kg γαλακτώματος (1 kg στο κάθε διάτρημα)
- B. Και για την ζελατοδυναμίτιδα των 42 διατρημάτων χρησιμοποιήθηκαν 28,8 kg ζελατοδυναμίτιδας (0.7 kg στο κάθε διάτρημα)

Και για τις δύο περιπτώσεις η ποσότητα του ANFO, που λειτουργεί ως υλικό πλήρωσης του διατρήματος είναι 100 kg (4 σακιά των 25 kg)

Μετά το πέρας όλων των μετρήσεων που έγιναν και στα δύο πετρώματα και με τα δύο υλικά ακολούθησε η επεξεργασία τους που είχε σαν σκοπό να ομαδοποιηθούν οι μετρήσεις αλλά και να ενταχθούν στην κλίμακα που δημιουργήθηκε. Παρατηρήθηκε ότι υπήρχαν κάποια αποτελέσματα που δεν ακολουθούσαν τα υπόλοιπα και αυτό οφειλόταν στην ύπαρξη μικρών σπηλαίων πίσω από το μέτωπο πράγμα που φαινόταν στις μετρήσεις ότι η προχώρηση ήταν μεγαλύτερη από το μήκος του διατρήματος. Για την αντικατάσταση αυτών των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκαν άλλες μετρήσεις.

Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται οι μετρήσεις μετά την ομαδοποίηση τους όπως επίσης και τα διαγράμματα που χρησιμοποιούνται για να γίνει η σύγκριση τους.

4.5 Αποτελέσματα ανατινάξεων με γαλάκτωμα

Με το τέλος της καταγραφής των μετρήσεων ακολούθησε η επεξεργασία τους και η μεταφορά τους σε λογισμικό φύλλο Excel. Πολύ σημαντικό ρόλο έπαιξε η βοήθεια του μηχανικού όπου, λόγω εμπειρίας μπορούσε να ερμηνεύσει κάποιες τιμές που ξέφευγαν από το εύρος τιμών. Στα παρακάτω διαγράμματα εκτός από τις μετρούμενες ποσότητες έχουν προστεθεί και η ειδική κατανάλωση, που είναι η ποσότητα των εκρηκτικών για την παραγωγή ενός τόνου μεταλλεύματος, αλλά και η παραγωγή σε τόνους ώστε να είναι εύκολα συγκρίσιμη η αποδοτικότητα τους.

Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ανατινάξεων με χρήση γαλακτώματος σε βωξίτη

Πίνακας 4-1 Αποτελέσματα ανατινάξεων με χρήση γαλακτώματος σε βωξίτη

| Γαλάκτωμα σε Βωξίτη (περιχάραξη) 42 διατρήματα | | | | | | | | | | | |
|--|------------|----------|---------------------------|---------------|--------------------------------|--------------------|----------------|-----------|------------------------|----------------------------|------------|
| A/A | ΠΛΑΤΟΣ (m) | ΥΨΟΣ (m) | ΔΙΑΤΟΜΗ (m ²) | ΠΡΟΧΩΡΗΣΗ (m) | ΟΓΚΟΣ ΒΩΞΙΤΗ (m ³) | ΒΑΡΟΣ ΒΩΞΙΤΗ (ton) | ΓΑΛΑΚΤΩΜΑ (kg) | ANFO (kg) | ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ (kg) | ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (kg/ton) | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ |
| 1 | 5,1 | 4,9 | 24,99 | 3,29 | 82,2 | 246,6 | 42 | 100 | 142 | 0,576 | 8 |
| 2 | 5,0 | 4,8 | 24,00 | 3,03 | 72,7 | 218,1 | 42 | 100 | 142 | 0,651 | 8 |
| 3 | 4,9 | 5,1 | 24,99 | 3,22 | 80,5 | 241,5 | 42 | 100 | 142 | 0,588 | 8 |
| 4 | 5,1 | 4,9 | 24,99 | 2,96 | 74,0 | 222,0 | 42 | 100 | 142 | 0,640 | 6 |
| 5 | 5,0 | 4,9 | 24,50 | 3,11 | 76,2 | 228,6 | 42 | 100 | 142 | 0,621 | 8 |
| 6 | 5,2 | 5,0 | 26,00 | 2,93 | 76,2 | 228,6 | 42 | 100 | 142 | 0,621 | 6 |
| 7 | 5,3 | 5,0 | 26,50 | 2,98 | 79,0 | 237,0 | 42 | 100 | 142 | 0,599 | 6 |
| 8 | 5,1 | 4,7 | 23,97 | 3,39 | 81,3 | 243,9 | 42 | 100 | 142 | 0,583 | 8 |
| 9 | 5,0 | 5,2 | 26,00 | 2,90 | 75,4 | 226,2 | 42 | 100 | 142 | 0,628 | 6 |
| 10 | 5,3 | 5,3 | 28,09 | 3,55 | 99,7 | 299,1 | 42 | 100 | 142 | 0,475 | 7 |
| M.O | 5,1 | 5,0 | 25,40 | 3,14 | 79,7 | 239,2 | 42 | 100 | 142 | 0,594 | 7 |
| ΔΙΑΜΕΣΟΣ | 5,1 | 4,95 | 24,99 | 3,07 | 77,6 | 232,8 | 42 | 100 | 142 | 0,610 | 8 |

Στον πίνακα 4.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ανατινάξεων με χρήση γαλακτώματος πάνω σε ασβεστόλιθο και στον πίνακα 4.3 φαίνεται η κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε για την βαθμολογία τους.

Πίνακας 4-2 Αποτελέσματα ανατινάξεων με χρήση γαλακτώματος σε ασβεστόλιθο

| Γαλάκτωμα σε Ασβεστόλιθο (προσπέλαση) 48 διατρήματα | | | | | | | | | | | |
|---|------------|----------|---------------------------|---------------|--------------------------------|--------------------|----------------|-----------|------------------------|----------------------------|------------|
| A/A | ΠΛΑΤΟΣ (m) | ΥΨΟΣ (m) | ΔΙΑΤΟΜΗ (m ²) | ΠΡΟΧΩΡΗΣΗ (m) | ΟΓΚΟΣ ΒΩΞΙΤΗ (m ³) | ΒΑΡΟΣ ΒΩΞΙΤΗ (ton) | ΓΑΛΑΚΤΩΜΑ (kg) | ANFO (kg) | ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ (kg) | ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (kg/ton) | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ |
| 1 | 4,6 | 4,8 | 22,08 | 2,54 | 56,1 | 168,3 | 48 | 100 | 148 | 1,056 | 6 |
| 2 | 4,7 | 5,1 | 23,97 | 2,80 | 67,1 | 201,3 | 48 | 100 | 148 | 0,882 | 6 |
| 3 | 4,3 | 5,3 | 22,79 | 2,50 | 57,0 | 171,0 | 48 | 100 | 148 | 1,039 | 6 |
| 4 | 4,5 | 5,1 | 22,95 | 2,40 | 55,1 | 165,3 | 48 | 100 | 148 | 1,075 | 4 |
| 5 | 4,9 | 5 | 24,50 | 2,60 | 63,7 | 191,1 | 48 | 100 | 148 | 0,929 | 6 |
| 6 | 4,8 | 5 | 24,00 | 2,57 | 61,7 | 185,1 | 48 | 100 | 148 | 0,960 | 6 |
| 7 | 4,8 | 5,1 | 24,48 | 2,60 | 63,6 | 190,8 | 48 | 100 | 148 | 0,930 | 6 |
| 8 | 4,6 | 4,9 | 22,54 | 2,70 | 60,9 | 182,7 | 48 | 100 | 148 | 0,973 | 6 |
| 9 | 4,8 | 4,8 | 23,04 | 3,04 | 70,0 | 210,0 | 48 | 100 | 148 | 0,845 | 8 |
| 10 | 4,7 | 5,2 | 24,44 | 2,91 | 71,1 | 213,3 | 48 | 100 | 148 | 0,832 | 6 |
| M.O | 4,7 | 5,0 | 23,48 | 2,67 | 62,6 | 187,9 | 48 | 100 | 148 | 0,945 | 6 |
| ΔΙΑΜΕΣΟΣ | 4,7 | 5,05 | 23,51 | 2,60 | 62,7 | 188,0 | 48 | 100 | 148 | 0,945 | 6 |

Πίνακας 4-3 Κλίμακα αξιολόγησης γαλακτώματος με βάση την προχώρηση σε μέτρα

| ΠΡΟΧΩΡΗΣΗ (m) | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ |
|---------------|------------|--------------------|
| 4-3,5 | 10 | ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΗ |
| 3,49-3 | 8 | ΠΟΛΥ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ |
| 2,99-2,5 | 6 | ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ |
| 2,49-2 | 4 | ΜΕΤΡΙΑ |
| 1,99- | 2 | ΚΑΚΗ |

4.6 Αποτελέσματα ανατινάξεων με ζελατοδυναμίτιδα

Η ίδια διαδικασία που πραγματοποιήθηκε για το γαλάκτωμα έγινε και την ζελατοδυναμίτιδα. Τα αποτελέσματα ανατινάξεων με χρήση ζελατοδυναμίτιδας σε βωξίτη φαίνονται στον πίνακα 4.4.

Πίνακας 4-4 Αποτελέσματα ανατινάξεων με χρήση ζελατοδυναμίτιδας σε βωξίτη

| Ζελατοδυναμίτιδα σε Βωξίτη (περιχάραξη) 42 διατρήματα | | | | | | | | | | | |
|---|------------|------------|---------------------------|---------------|--------------------------------|--------------------|-----------------------|------------|------------------------|----------------------------|------------|
| A/A | ΠΛΑΤΟΣ (m) | ΥΨΟΣ (m) | ΔΙΑΤΟΜΗ (m ²) | ΠΡΟΧΩΡΗΣΗ (m) | ΟΓΚΟΣ ΒΩΞΙΤΗ (m ³) | ΒΑΡΟΣ ΒΩΞΙΤΗ (ton) | ΖΕΛΑΤΟΔΥΝΑΜΙΤΙΔΑ (kg) | ΑΝΦΟ (kg) | ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ (kg) | ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (kg/ton) | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ |
| 1 | 5,30 | 5,10 | 27,03 | 3,8 | 102,7 | 308,1 | 28,8 | 100 | 125,2 | 0,406 | 10 |
| 2 | 6,00 | 5,50 | 33,00 | 3,8 | 125,4 | 376,2 | 28,8 | 100 | 125,2 | 0,333 | 10 |
| 3 | 5,93 | 5,67 | 33,62 | 3,7 | 124,4 | 373,2 | 28,8 | 100 | 125,2 | 0,335 | 10 |
| 4 | 4,70 | 4,50 | 21,15 | 3,7 | 78,3 | 234,9 | 28,8 | 100 | 125,2 | 0,533 | 10 |
| 5 | 4,70 | 4,60 | 21,62 | 3,8 | 82,2 | 246,6 | 28,8 | 100 | 125,2 | 0,508 | 10 |
| 6 | 4,80 | 4,40 | 21,12 | 3,7 | 78,1 | 234,3 | 28,8 | 100 | 125,2 | 0,534 | 10 |
| 7 | 5,20 | 5,10 | 26,52 | 3,6 | 94,7 | 284,1 | 28,8 | 100 | 125,2 | 0,441 | 10 |
| 8 | 5,10 | 5,00 | 25,50 | 3,8 | 96,9 | 290,7 | 28,8 | 100 | 125,2 | 0,431 | 10 |
| 9 | 5,00 | 4,90 | 24,50 | 3,8 | 93,1 | 279,3 | 28,8 | 100 | 125,2 | 0,448 | 10 |
| 10 | 5,20 | 5,30 | 27,56 | 3,6 | 97,8 | 293,4 | 28,8 | 100 | 125,2 | 0,427 | 10 |
| Μ.Ο | 5,2 | 5,0 | 26,16 | 3,72 | 97,4 | 292,1 | 28.8 | 100 | 125,2 | 0,429 | 10 |

Στον πίνακα 4.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ανατινάξεων με χρήση ζελατοδυναμίτιδας πάνω σε ασβεστόλιθο και στον πίνακα 4.6 η κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε για την βαθμολόγηση των ανατινάξεων της ζελατοδυναμίτιδας.

Πίνακας 0-5 Αποτελέσματα ανατινάξεων με χρήση ζελατοδυναμίτιδας σε ασβεστόλιθο

| Ζελατοδυναμίτιδα σε Ασβεστόλιθο (προσπέλαση) 48 διατρήματα | | | | | | | | | | | |
|--|------------|----------|---------------------------|---------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------|------------------------|----------------------------|------------|
| A/A | ΠΛΑΤΟΣ (m) | ΥΨΟΣ (m) | ΔΙΑΤΟΜΗ (m ²) | ΠΡΟΧΩΡΗΣΗ (m) | ΟΓΚΟΣ ΒΩΞΕΙΤΗ (m ³) | ΒΑΡΟΣ ΒΩΞΕΙΤΗ (ton) | ΖΕΛΑΤΟΔΥΝΑΜΙΤΙΔΑ (kg) | ANFO (kg) | ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ (kg) | ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (kg/ton) | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ |
| 1 | 4,30 | 4,80 | 20,64 | 2,8 | 57,8 | 173,4 | 25,2 | 100 | 128,8 | 0,891 | 6 |
| 2 | 4,10 | 4,80 | 19,68 | 3,4 | 66,9 | 200,7 | 25,2 | 100 | 128,8 | 0,770 | 8 |
| 3 | 4,10 | 4,80 | 19,68 | 3,05 | 60,0 | 180,0 | 25,2 | 100 | 128,8 | 0,858 | 8 |
| 4 | 4,30 | 4,80 | 20,64 | 2,9 | 59,9 | 179,7 | 25,2 | 100 | 128,8 | 0,861 | 6 |
| 5 | 5,00 | 4,90 | 24,50 | 2,87 | 70,3 | 210,9 | 25,2 | 100 | 128,8 | 0,733 | 6 |
| 6 | 4,90 | 4,90 | 24,01 | 3 | 72,0 | 216,0 | 25,2 | 100 | 128,8 | 0,715 | 8 |
| 7 | 5,10 | 5,00 | 25,50 | 3,1 | 79,1 | 237,3 | 25,2 | 100 | 128,8 | 0,652 | 8 |
| 8 | 4,90 | 4,70 | 23,03 | 2,9 | 66,8 | 200,4 | 25,2 | 100 | 128,8 | 0,771 | 6 |
| 9 | 5,10 | 4,80 | 24,48 | 3,1 | 75,9 | 227,7 | 25,2 | 100 | 128,8 | 0,679 | 8 |
| 10 | 5,00 | 4,90 | 24,50 | 3,3 | 80,8 | 242,4 | 25,2 | 100 | 128,8 | 0,637 | 8 |
| M.O | 4,7 | 4,8 | 22,67 | 3,04 | 69,0 | 206,9 | 25,2 | 100 | 128,8 | 0,747 | 7 |
| ΔΙΑΜΕΣΟΣ | 4,9 | 4,8 | 23,52 | 3,03 | 68,6 | 205,8 | 25,2 | 100 | 128,8 | 0,751 | 8 |

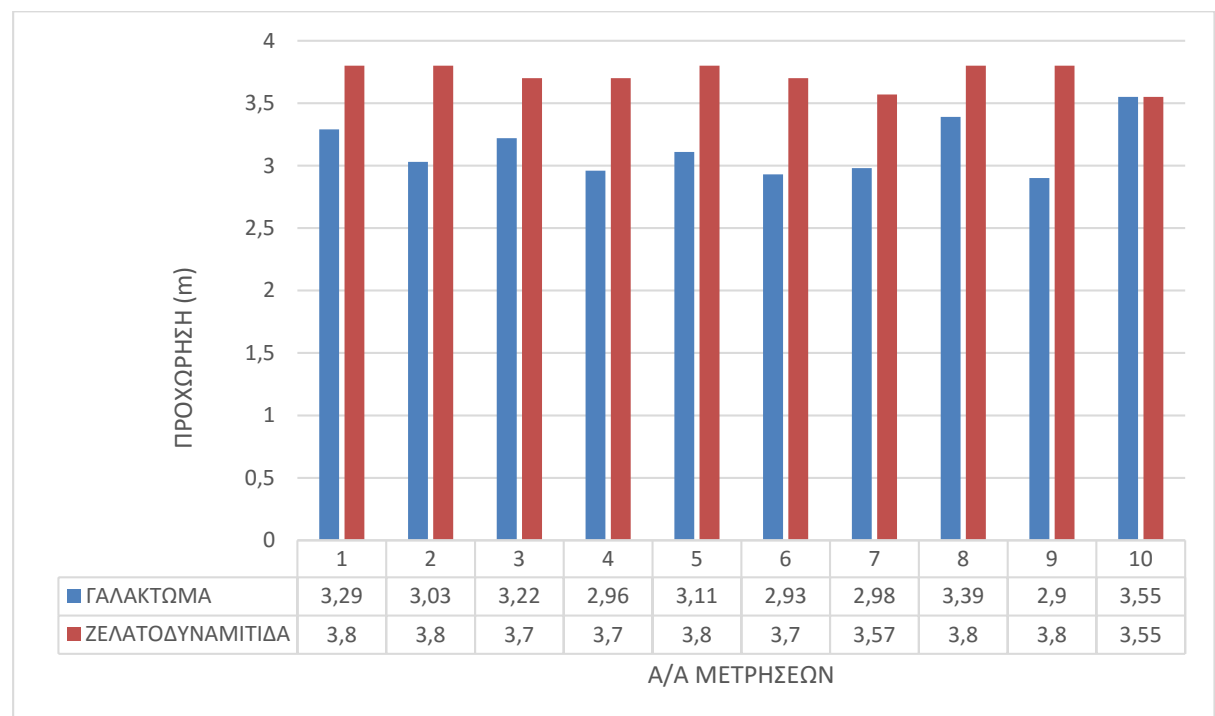
Πίνακας 0-6 Κλίμακα αξιολόγησης ζελατοδυναμίτιδας με βάση την προχώρηση σε μέτρα

| ΠΡΟΧΩΡΗΣΗ (m) | ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ | ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ |
|---------------|------------|--------------------|
| 4-3,5 | 10 | ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΗ |
| 3,49-3 | 8 | ΠΟΛΥ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ |
| 2,99-2,5 | 6 | ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ |
| 2,49-2 | 4 | ΜΕΤΡΙΑ |
| 1,99- | 2 | ΚΑΚΗ |

4.7 Σύγκριση Ανατινάξεων με γαλάκτωμα και ζελατινοδυναμίτιδα

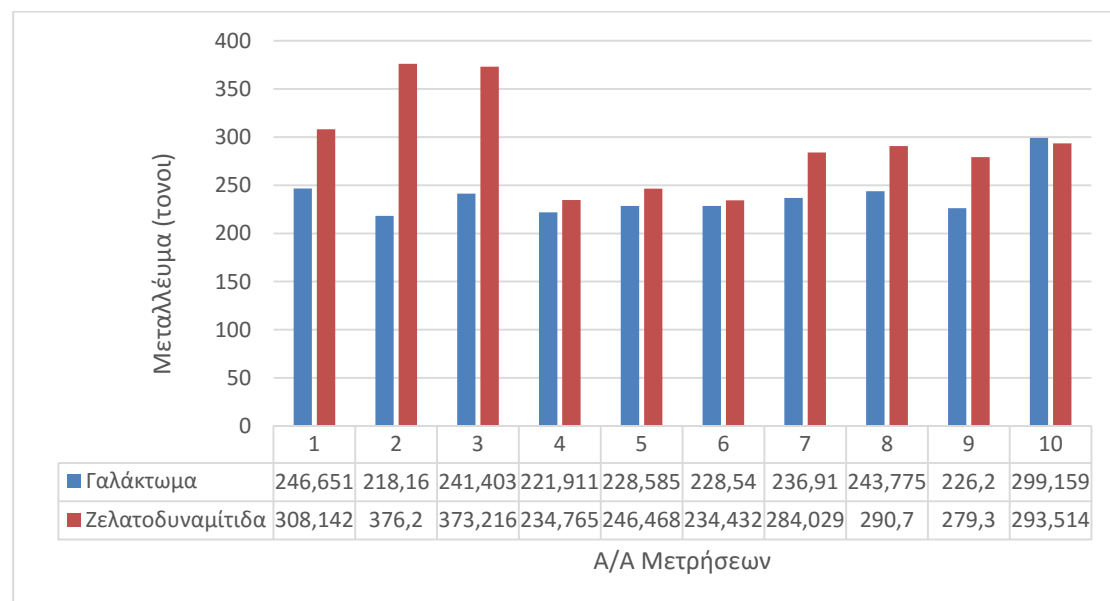
4.7.1 Σύγκριση σε Βωξίτη

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 4.1 η ζελατοδυναμίτιδα επιτυγχάνει πολύ καλή προχώρηση και καλύπτει το μεγαλύτερο μήκος διάτρησης σε αντίθεση με το γαλάκτωμα παρόλο που τα αποτελέσματα του βρίσκονται σε πολύ ικανοποιητικό επίπεδο.



Διάγραμμα 4-1 Προχώρηση εκρηκτικών σε βωξίτη

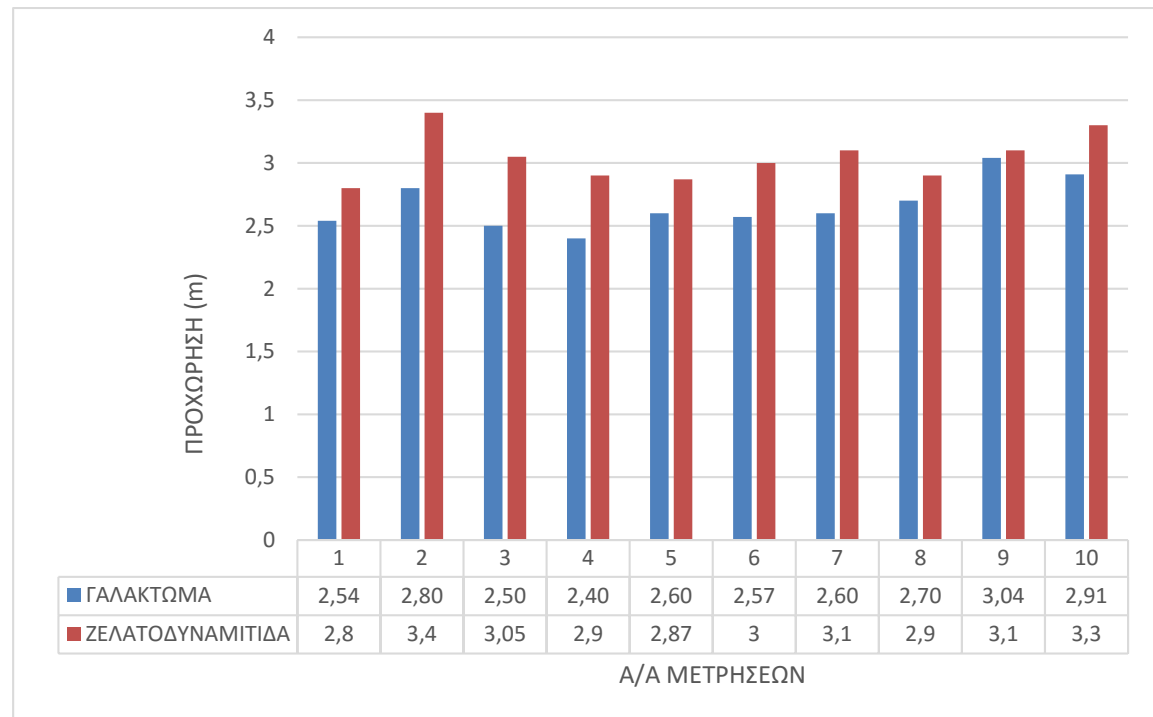
Εκτός από την προχώρηση η ζελατοδυναμίτιδα κατά την παραγωγή βωξίτη και όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 4.2 φαίνεται να αποδίδει περισσότερο από το γαλάκτωμα με μέσο όρο 292 tonnes μεταλλεύματος έναντι 239 tonnes που παράγει το γαλάκτωμα



Διάγραμμα 4-2 Παραγόμενος βωξίτης σε τόνους

4.7.2 σύγκριση σε Ασβεστόλιθο

Όπως και στον βωξίτη έτσι και στον ασβεστόλιθο και όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 4.3 η προχώρηση που επιτυγχάνεται με την ζελατοδυναμίτιδα είναι σαφώς πιο ικανοποιητική από αυτή μέσω του γαλακτώματος.



Διάγραμμα 4-3 Προχώρηση εκρηκτικών σε ασβεστόλιθο

Στο διάγραμμα 4.4 παρουσιάζεται ο παραγόμενος όγκος ασβεστόλιθου σε τόνους. Όπως και στα προηγούμενα διαγράμματα φαίνεται η αποδοτικότητα της ζελατοδυναμίτιδας. Σε σχέση με το αντίστοιχο διάγραμμα του βωξίτη η παραγωγή είναι σχετικά πιο μικρή λόγω της μεγαλύτερης ανθεκτικότητας του ασβεστόλιθου



Διάγραμμα 4-4 Παραγόμενος ασβεστόλιθος σε τόνους

4.8 Οικονομική σύγκριση

Στη συγκριτική αξιολόγηση των εκρηκτικών εκτός από θέματα απόδοσης πραγματοποιείται και μία οικονομική σύγκριση ώστε να εκτιμηθεί το κόστος που απαιτείται. Και στα δύο εκρηκτικά χρησιμοποιήθηκαν 42 διατρήματα και 100 kg ANFO ανά ανατίναξη. Έπειτα από επικοινωνία με εταιρείες παραγωγής εκρηκτικών στην Ελλάδα οι οποίες τροφοδοτούν με εκρηκτικές ύλες και καψύλια την εταιρεία (EXTRACO AE) έγινε γνωστό ότι το γαλάκτωμα κοστίζει περί τα 2.2 ευρώ το κιλό ενώ η ζελατοδυναμίτιδα κοστίζει περί τα 1.6 ευρώ το κιλό. Το ANFO κοστίζει περί τα 0.7 ευρώ το κιλό.

Από αυτά τα δεδομένα μπορεί να υπολογιστεί ότι για μία ανατίναξη με ζελατοδυναμίτιδα με τα χαρακτηριστικά που αναπτύχθηκαν παραπάνω, απαιτείται κόστος 110 ευρώ έναντι 176 ευρώ που απαιτείται για ανατίναξη με γαλάκτωμα.

5. Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα-Προτάσεις

5.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία έγινε συγκριτική αξιολόγηση των δύο εκρηκτικών από δεδομένα των ανατινάξεων που έγιναν στην παραγωγική στοά βωξίτη 595-610 της ΔΕΛΦΟΙ-ΔΙΣΤΟΜΟ ΑΜΕ.

Συνολικά συλλέχθηκαν δεδομένα από 48 ανατινάξεις εκ των οποίων χρησιμοποιήθηκαν οι 40 για την σύγκριση της απόδοσης των δύο εκρηκτικών που μελετήθηκαν. Από την ανάλυση που έγινε προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η χρήση ζελατοδυναμίτιδας στις ανατινάξεις τόσο στον ασβεστόλιθο όσο και στον βωξίτη επιτυγχάνει σχεδόν το μέγιστο της προχώρησης όπως αυτή ορίζεται σε σχέση με το μήκος των διατρημάτων.
- Η χρήση γαλακτώματος τόσο στον ασβεστόλιθο όσο και στον βωξίτη επιτυγχάνει μία ικανοποιητική προχώρηση αλλά και πάλι μικρότερη αυτής της ζελατοδυναμίτιδας.
- Το κόστος για την ανατίναξη με την χρήση της ζελατοδυναμίτιδας είναι λίγο πιο μικρό από αυτό του γαλακτώματος.
- Η ατμόσφαιρα με την χρήση του γαλακτώματος, αμέσως μετά την ανατίναξη, ήταν αρκετά καθαρή και δεν είχε επιβαρυνθεί με καπναέρια που να ενοχλούν όσο αυτά της ζελατοδυναμίτιδας.
- Η κοκκομετρία του προϊόντος με την χρήση του γαλακτώματος δεν ήταν η επιθυμητή, αφού προέκυψαν αρκετά χοντρά κομμάτια πετρώματος.

5.2 Προτάσεις

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα τα οποία αναφέρονται στην ενότητα 5.1 μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες προτάσεις:

Όπως έγινε γνωστό μετά από συζητήσεις με τους μηχανικούς της εταιρείας η ζελατοδυναμίτιδα λόγω της επικινδυνότητας κατά την παρασκευή της οδεύει προς κατάργηση επομένως πρέπει άμεσα να δρομολογηθεί ένα σχέδιο για την αντικατάστασή της χωρίς όμως να θυσιαστεί η παραγωγικότητά της.

Επομένως σύμφωνα με τα παραπάνω σημαντικό είναι να εξεταστούν εναλλακτικές λύσεις όσον αφορά την γεωμετρία αλλά και τις καθυστερήσεις έναυσης του κανάβου ούτως ώστε να αξιοποιούνται πλήρως οι ιδιότητες του γαλακτώματος ώστε να προσφέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα με όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος.

Τέλος προτείνεται να γίνει μια ευρύτερη έρευνα όπου να μελετάται η εξοικονόμηση κόστους από το γεγονός ότι απαιτείται μικρότερος χρόνος για την απομάκρυνση των καπναερίων της ανατίναξης και επομένως, ο ενεργός χρόνος της βάρδιας είναι μεγαλύτερος.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Αγιουτάντης, Ζ., (2009), Στοιχεία Διάτρησης και Ανατίναξης, εκδόσεις Ίων, Αθήνα
2. Εξαδάκτυλος, Γ.Ε., (2005) Σχεδιασμός Συστημάτων Υπογείων Έργων για την εκμετάλλευση Μεταλλευτικών Κοιτασμάτων
3. Ιωαννίδου Ε και Κ. Πολυχρονιάδης, (2004), Ελληνικά Κοιτάσματα Βωξιτών, Εργασία στο Μάθημα «Ορυκτολογικά – Πετρολογικά – Κοιτασματολογικά Θέματα», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
4. Πολυχρονόπουλος, Ι. Γ. (1979), Εκρηκτικές Ύλες – Τεχνική Εξορύξεων των Πετρωμάτων-Καθαίρεση Κατασκευών, Εκδόσεις Σελλούντος, Αθήνα.
5. Τσουτρέλης, Χ. Ε. (1997) Εκρηκτικές ύλες και τεχνική των ανατινάξεων, Τόμος 1, Εκδόσεις Ε.Μ.Π. , Αθήνα.
6. Τσουτρέλης, Χ. Ε. (2001), Εκρηκτικές ύλες και τεχνική των ανατινάξεων, Τόμος 2, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα.
7. Τσουτρέλης, Χ.Ε., (1971), "Μέθοδοι ελεγχόμενης εξορύξεως", Μεταλλειολογικά και Μεταλλουργικά Χρονικά, Τόμος 1, Νο 2, Αθήνα.
8. ΔΕΛΦΟΙ ΔΙΣΤΟΜΟ, ΑΜΕ, Προσωπική επικοινωνία

Διεθνή βιβλιογραφία

1. Jimeno, C.L., E.L. Jimeno and F.J.A. Carcedo, (1995), "Drilling and Blasting of rocks", Balkema.
2. Dick, R.A., L.R. Fletcher and D.V. D' Andrea, (1983) "Explosives and Blasting Manual", Information Circular 8405, US Bureau of Mines, Washington, DC.
3. Roberts, A., (1981), "Applied geotechnology a text for students and engineers on rock excavation and related topics", Mackay School of mines, University of Nevada, Pergamon Press
4. Bhandari, S., (1997), "Engineering rock blasting operations", Balkema
5. Konya, C.J. and E.J. Walter, (1985), "Rock Blasting", Underground Mining Methods Handbook, Editor W.A Hustrulid, New York

6. Gregory, C.E., (1984), "Explosives for North American Engineers", 3rd Edition, Trans Tech Publications
7. Olofsson, S.O., (1988) Applied Explosives Technology for Construction and Mining. Applex Applied Explosives Technology, Ärla, Sweden, 489p.

Άλλες πηγές

1. EXTRACO SA