



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ -ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΙΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ**  
**ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ**

**ΤΟΥ ΦΟΙΤΗΤΗ: ΙΩΑΝΝΗ ΧΡΙΣΤΟΓΙΑΝΝΗ**

**ΘΕΜΑ: «ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ**  
**ΜΕΤΩΠΙΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ VCR»**

Επιβλέπων: Καθηγητής Γ. Παναγιώτου

Εξεταστική Επιτροπή:

Γ. Παναγιώτου

Θ. Μιχαλακόπουλος

Αικ. Αδάμ

**ΑΘΗΝΑ 2010**



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	6
Εισαγωγή	7
Κεφάλαιο I:Περιγραφή της μεθόδου εκμετάλλευσης V.C.R.	9
1. Ιστορική ανδρομή	9
2. Υπόγειες εκμεταλλεύσεις □ Μέθοδοι	10
3. Γενική μεθοδολογία	11
4. Πλεονεκτήματα □ Μειονεκτήματα	14
5. Θεωρία του κρατήρα	15
6. Φλεβικά κοιτάσματα και ανάκτηση στύλων	17
7. Προσπέλαση □ Προπαρασκευή	20
8. Έλεγχος βραχομάζας στη V.C.R.	24
9. Μεταλλευτικός κύκλος □ Κύκλος εκμετάλλευσης	27
9.1 Διάτρηση	27
9.1.1 Γενικά στοιχεία □ Ενδοδιατρηματικές σφύρες	27
9.1.2 Πλεονεκτήματα των ενδοδιατρηματικών σφυρών	30
9.1.3 Διάτρηση στη V.C.R.	31
9.2 Γόμωση και ανατίναξη	34
9.2.1 Γενικά στοιχεία	34
9.2.2 Ιδιότητες των εκρηκτικών	35
9.2.3 Είδη εκρηκτικών	37
9.2.4 Κριτήρια επιλογής	40

9.2.5 Ανατίναξη στη V.C.R.	43
9.3 Φόρτωση □ μεταφορά	47
9.3.1 Γενικά στοιχεία	47
9.3.2 Φόρτωση □ μεταφορά στη V.C.R.	48
9.3.3 Μηχανικός Εξοπλισμός	50
9.3.4 Τυπικές διαστάσεις εκμετάλλευσης με V.C.R.	52
9.4 Λιθογώμωση	52
10. Παραγωγικότητα και Κόστος	
54	
11. Ασφάλεια στη V.C.R.	55
Κεφάλαιο II: Διαδικασία παραγωγής στη μέθοδο εκμετάλλευσης	
V.C.R.	57
A: Εισαγωγή	57
1. Ιστορική αναδρομή	57
2. Γενικά στοιχεία	57
3. Από την μέθοδο διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα στη V.C.R	61
B: Η θεωρία του κρατήρα	66
1. Γενικά στοιχεία	66
2. Χρονικά τμήματα της διαδικασίας ανατίναξης	68
3. Καμπτική ρήξη	78
4. Θεωρίες ανατινάξεων	81
Γ: Η μέθοδος του κρατήρα και η εφαρμογή στη V.C.R.	86
1. Γενικά στοιχεία	86
2. Μέθοδοι με downward drilling	87

3. Μέθοδος του κρατήρα και V.C.R.	92
4. Η μέθοδος του ανάστροφου κρατήρα και η εφαρμογή στην V.C.R	95
Δ: Γαλακτώματα	97
1. Γενικά στοιχεία	97
2. Διαδικασία ανατίναξης	97
3. Γαλακτώματα	99
Κεφάλαιο III: Σχεδιασμός της παραγωγής στη V.C.R.	103
1. Εισαγωγή	103
2. Περιγραφή κοιτάσματος	103
3. Γεωτεχνικές συνθήκες	104
4. Ανάλυση της θραύσης	106
5. Υπόγεια εκμετάλλευση □ Μέθοδος	106
6. Σφαιρικές Γομώσεις	107
7. Παράγοντες που επηρεάζουν τις ανατινάξεις σε υπόγειες εκμεταλλεύσεις	107
8. Υπολογισμός των απαιτήσεων των διατρημάτων στο μέτωπο παραγωγής	109
Κεφάλαιο IV: Συμπεράσματα	110
Περίληψη	113
Thesis summary	114
Βιβλιογραφία	115

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος «Μέθοδοι Υπόγειας Ειμετάλλευσης» και αναφέρεται στη μέθοδο **Vertical Crater Retreat (V.C.R.** ή μέθοδος του υποχωρούντος μετώπου κατακορύφου κρατήρα) και στο σχεδιασμό της παραγωγής αυτής σε υπόγειο μέτωπο. Ιδιαίτερες ευχαριστίες προς τον επιβλέποντα καθηγητή κ. παναγιώτου αλλά και τον επίκουρο καθηγητή κ. Μιχαλακίόπουλο για τις χρήσιμες συμβουλές του. Επίσης, στην οικογένειά μου, για την αγάπη τους και την στήριξη των προσπαθειών μου όλα αυτά τα χρόνια με κάθε τρόπο.

Αθήνα 2010

Ι. Χριστογιάννης

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη διπλωματική αυτή εργασία εξετάζεται και αναλύεται η υπόγεια μέθοδος εκμετάλλευσης V.C.R. (Vertical Crater Retreat) ή V.B.M. (Vertical Block Mining) ελληνιστί μέθοδος του υποχωρούντος μετώπου κατακόρυφου κρατήρα. Μπορεί να μεν να ξεκίνησε ως μέθοδος για την απόληψη μεγάλων στηλών πετρώματος σε σημεία όπου υπήρχε περιορισμένη πρόσβαση, μετέπειτα όμως χρησιμοποιήθηκε και για την εκμετάλλευση όλου του κοιτάσματος. Ουσιαστικά είναι μια τεχνική εξόρυξης με εκρηκτικές ύλες και όχι τόσο μια τεχνική (μέθοδος) εκμετάλλευσης αφού αποτελεί μια παραλλαγή (μετεξέλιξη) της τεχνικής του συμπτυσσόμενου μετώπου.

Η μέθοδος είναι η τελευταία που έχει επινοηθεί και έχει αρκετά πλεονεκτήματα που την καθιστούν μια πολύ δελεαστική επιλογή για τα κοιτάσματα που μπορεί να εφαρμοσθεί. Τέτοια είναι στο τομέα της ασφάλειας και στα οικονομικά του μεταλλείου.

Στη V.C.R. το εργατικό προσωπικό δεν εκτίθεται καθόλου στο μέτωπο παραγωγής παρά μόνο σε ασφαλείς και με ικανοποιητική υποστήριξη θέσεις εντός του κοιτάσματος. Κάτι τέτοιο αποτελεί ένα μεγάλο συγκριτικό αποτέλεσμα έναντι των άλλων μεθόδων.

Στον οικονομικό τομέα η V.C.R. έχοντας λίγα έργα προσπέλασης και μεγάλο ποσοστό εκμηχάνισης, άρα μεγάλη παραγωγικότητα, είναι μια οικονομική μέθοδος που αποφέρει κέρδη γρήγορα στην εκάστοτε μεταλλευτική εταιρεία. Αν και είναι πατενταρισμένη, συνήθως χρησιμοποιούνται παραλλαγές της για να αποφεύγεται το κόστος χρήσης της ευρεσιτεχνίας.

Παρόλο που δεν υπάρχουν πάρα πολλές εμπειρίες από την μέχρι τώρα εφαρμογή της, μελλοντικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι λόγω των θετικών εντυπώσεων που έχει αφήσει θα αντικαταστήσει κάποιες παλαιότερες μεθόδους εκμεταλλεύσεις.

Το πιο σημαντικό στάδιο, όσο αφορά τις υπογείους μεθόδους εκμετάλλευσης αποτελεί η παραγωγική διαδικασία. Η παραγωγή και πιο συγκεκριμένα η εξόρυξη αποτελεί την καρδιά του μεταλλευτικού κύκλου. Με λίγα λόγια αφορά, τη διαδικασία εκείνη που θα καθορίσει τον γενικό σχεδιασμό και είναι ουσιαστικά εκείνη που διαχωρίζει τις μεθόδους μεταξύ τους. Τέλος, μέσω αυτής της διαδικασίας και των παραμέτρων που την περιβάλλουν θα καθοριστεί εάν η εκμετάλλευση θα είναι κερδοφόρα ή όχι.

Στη διπλωματική εργασία αυτή γίνεται προσπάθεια ώστε να εξηγηθεί η παραγωγική διαδικασία της υπόγειας μεθόδου V.C.R. καθώς και των διαφόρων ιδιαιτεροτήτων και προτύπων που την αποτελούν. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται ανάλυση των βασικών παραμέτρων που διαχωρίζουν την V.C.R. από τις άλλες μεθόδους και αφορούν το κομμάτι της ανατίναξης. Αυτές είναι, η μέθοδος του ανάστροφου κρατήρα και οι

σφαιρικές γομώσεις. Η ανατίναξη και γενικότερα το φυσικό και τεχνικό πεδίο που περιβάλλουν τη θεωρία της ανατίναξης αποτελεί το βαρόμετρο στην παραγωγική διαδικασία. Η θεωρία-τεχνική ανατίναξης του κρατήρα οφείλει την ανάπτυξή της στις έρευνες του **C.W. Livingston**. Επίσης αποτελεί απόρροια της εισαγωγής των μεγάλου μήκους διατρημάτων. Τα μεγίστης σημασίας πλεονεκτήματα που την περιβάλλουν και έχουν να κάνουν με τη μέγιστη μηχανοποίηση και την ελάχιστη μόλυνση του πετρώματος, έχουν καταστήσει την τεχνική ανατίναξης του κρατήρα σε μία ευρέως διαδεδομένη τεχνική.

Από την άλλη πλευρά όμως, υπάρχουν πολύ συγκεκριμένες καταστάσεις οι οποίες θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και να ικανοποιηθούν ώστε η ανατίναξη με την τεχνική του κρατήρα να καταστεί δυνατή. Η πιο σημαντική από αυτές έχει να κάνει με τον τομέα της γόμωσης . Δεδομένων των συνθηκών, η σφαιρική γόμωση είναι αυτή που θα καθορίσει αν μία ανατίναξη θα λειτουργήσει με την τεχνική του κρατήρα ή όχι.

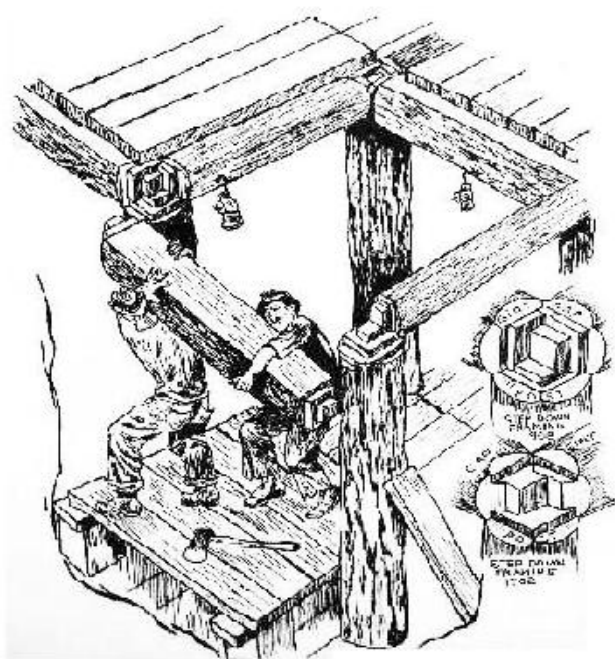
Τελειώνοντας η εισαγωγή νέου τύπου εκρηκτικών της κατηγορίας των **slurries** και των γαλακτωμάτων, με πλεονεκτήματα όπως η αυξημένη αντίσταση στο νερό, το χαμηλό κόστος παρασκευής και τα υψηλά επίπεδα ασφάλειας στη διαχείριση, έθεσαν τις βάσεις στη χρησιμοποίησή σε ευρύ βαθμό, εκρηκτικών υγρής μορφής στις σύγχρονες μεθόδους ανατίναξης.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ VCR

## 1. Ιστορική αναδρομή

Η μέθοδος του υποχωρούντος μετώπου κατακόρυφου κρατήρα (VCR) βασίστηκε στην θεωρία του ανάστροφου κρατήρα, μια θεωρία που αναπτύχθηκε από τον καθηγητή μηχανικό C. W. Livingston μετά από μια πολυετή έρευνα και οδήγησε στη κατοχύρωση με ευρεσιτεχνία το 1973 (United States Patent 3762771). Η πρώτη εταιρία που ανέπτυξε την συγκεκριμένη μέθοδο ήταν η εταιρία INCO και CIL (Canadian Industries Ltd) και απέκτησε τα δικαιώματα της πατέντας. Πρωτοεφαρμόστηκε το 1974 στο Levack Mine και στην συνέχεια στα μεταλλεία της περιοχής Sudbury και το 1977 στις Η.Π.Α. στο Homestake Mine. Το 1976 έχουμε την πρώτη αναλυτική περιγραφή της μεθόδου από τον συγγραφέα L. C. Lang. Η εφαρμογή της VCR στη μεταλλευτική έχει αναφερθεί μετά από την πρωτοποριακή μελέτη του Lang [1976, 1977, 1978, 1981] από πολλούς ακόμα συγγραφείς όπως οι Almgren et al. [1978], Crocker [1979], Monahan [1979], Mitchell [1980], Mileer [1979], Rowlandson [1980], Holmberg et al. [1980], και Niklasson [1979, 1984] οι οποίοι συνέβαλαν μέχρι την σημερινή διαμόρφωση της μεθόδου. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αρχική χρήση της μεθόδου ήταν για την απόληψη μεγάλων σύλων μεταλλεύματος που είχαν αφεθεί ως υποστήριξη σε παλαιότερες εκμεταλλεύσεις. Ενώ συνέχεια εξελίχθηκε σε μια ολοκληρωμένη μέθοδο για την απόληψη κοιτάσματος.



Εικόνα 1: Ξύλινη υποστήριξη

Σήμερα, η VCR είναι μια καθιερωμένη μέθοδος υπογείων εκμεταλλεύσεων που χρησιμοποιείται από μεταλλεία σε όλο τον κόσμο εδώ και αρκετές δεκαετίες με χαρακτηριστικά παραδείγματα το Homestake Mine στην Νότια Ντακότα των Η.Π.Α., Strathcona Mine, Levack West Mine, Birchtree Mine, Centennial Mine, Pamour Porcupine Mine στην περιοχή Οντάριο του Καναδά, Rubiales Mine στην νοτιοδυτική Ισπανία και τέλος στο Abminco N. L. της Αυστραλίας.

## 2. Υπόγειες Εκμεταλλεύσεις □ Μέθοδοι

Γενικά οι υπόγειες εκμεταλλεύσεις παρουσιάζουν μεγάλη πολυμορφία. Αυτό πρέπει να αποδοθεί στην προσπάθεια της προσαρμογής στις εκάστοτε τοπικές συνθήκες, με στόχο την επίτευξη των καλύτερων δυνατών οικονομικών αποτελεσμάτων. Παρά την εκ πρώτης όψεως εντυπωσιακή πολυμορφία, οι σύγχρονες υπόγειες εκμεταλλεύσεις παρουσιάζουν μερικά βασικά γνωρίσματα, όπως είναι η κατάσταση που διαμορφώνεται στο κενό που δημιουργείται από την εξόρυξη. Με βάση αυτή την κατάσταση, μπορούν να χωριστούν σε τρεις περιπτώσεις:

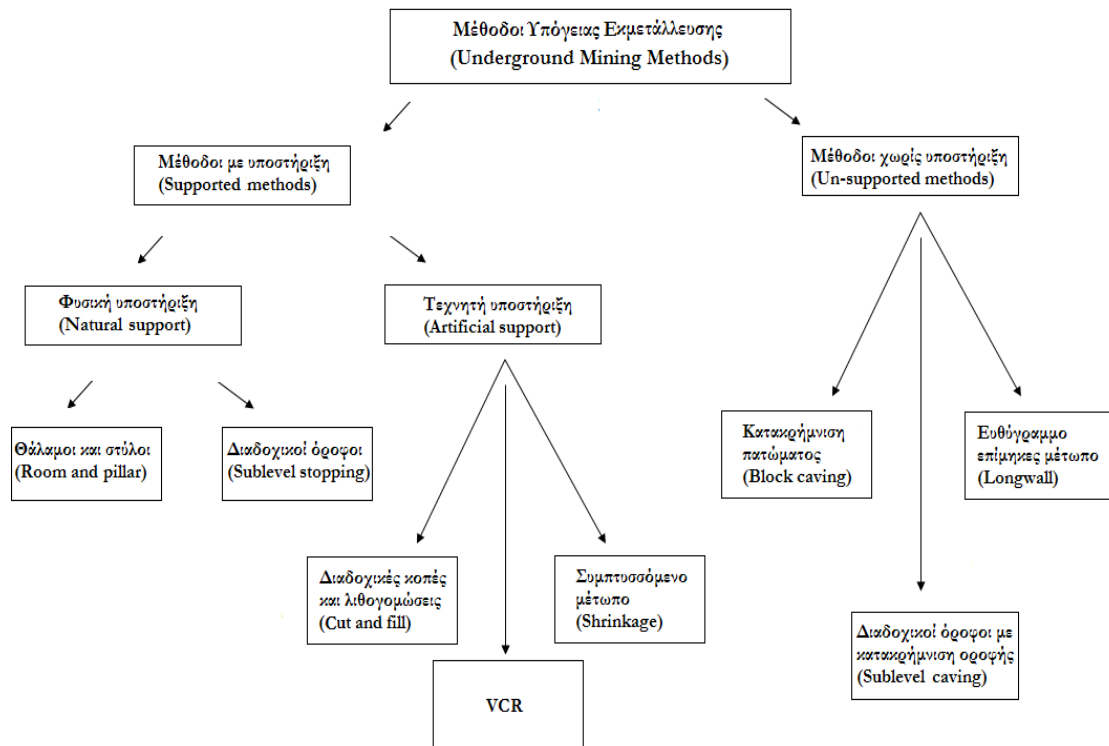
- ❖ Εκμεταλλεύσεις με ανοιχτά μέτωπα
- ❖ Εκμεταλλεύσεις με γομούμενα μέτωπα
- ❖ Εκμεταλλεύσεις με κατακρημιζόμενα μέτωπα

Εξαιτίας της μεγάλης σπουδαιότητας που έχει η δυνατότητα ελέγχου της συμπεριφοράς των περιβαλλόντων του πετρώματος, οι υπόγειες μέθοδοι εκμετάλλευσης ταξινομούνται και με βάση το είδος της υποστήριξης που χρησιμοποιούν, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Σε πρώτο επίπεδο η ταξινόμηση γίνεται με μεθόδους με υποστήριξη και σε μεθόδους χωρίς υποστήριξη. Οι μέθοδοι με υποστήριξη διαιρούνται σε δεύτερο επίπεδο σε μεθόδους με φυσική και σε μεθόδους με τεχνητή υποστήριξη.

Αξίζει σε αυτό το σημείο να σημειωθεί ότι με αυτόν τον τρόπο κατατάσσουν τις μεθόδους και οι Brady & Brown (1985) σε:

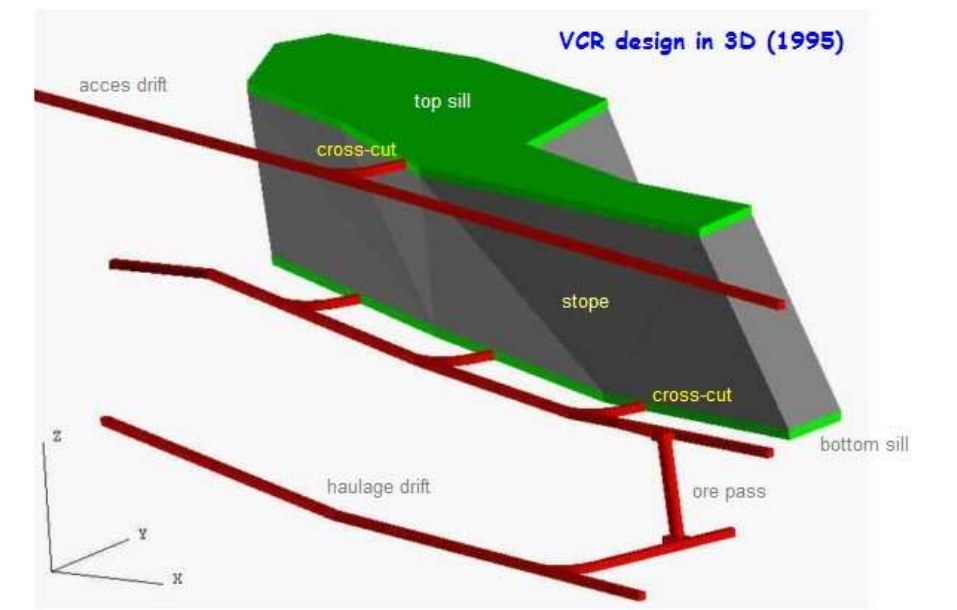
- ❖ φυσικά υποστηριζόμενες
- ❖ τεχνητά υποστηριζόμενες
- ❖ χωρίς υποστήριξη

Η μέθοδος VCR ή μέθοδος του υποχωρόντος μετώπου κατακόρυφου κρατήρα, σύμφωνα με την παραπάνω κατάταξη, ανήκει στην δεύτερη κατηγορία δηλαδή στις τεχνητά υποστηριζόμενες μεθόδους εκμετάλλευσης. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι μετά την φόρτωση και αφού έχει εξορυχτεί ένα ολόκληρο μπλοκ ακολουθεί λιθογόμωση του κενού τμήματος. Επίσης τεχνητά υποστηριζόμενες είναι και οι στοές που χρησιμοποιούνται για τα έργα ανάπτυξης.



Εικόνα 2: Μέθοδοι υπόγειας εκμετάλλευσης

### 3. Γενική μεθοδολογία



Εικόνα 3: Τρισδιάστατη απεικόνιση της εκμετάλλευσης με VCR

Το πρώτο βήμα στη μέθοδο VCR είναι να καθοριστεί εάν το υπόψη κοιτάσμα πληροί τις προϋποθέσεις γι' αυτό το είδος της εκμετάλλευσης. Συγκεκριμένα θα πρέπει να βρεθεί κοιτάσμα με ικανοποιητική κλίση και βύθισμα έτσι ώστε το θραυσμένο μέταλλευμα να οδηγείται υπό την επίδραση της βαρύτητας στα σημεία απόληψης. Άρα γίνεται κατανοητό ότι η χρήση της βαρυτικής δύναμης παίζει πρωταρχικό ρόλο στην εφαρμογή αυτής της μεθόδου και για τον λόγο αυτό δεν είναι κατάλληλη για οριζόντια και μικρής κλίσης κοιτάσματα. Έπειτα, σημαντικός παράγοντας είναι η γεωμετρία καθώς και η συνοχή του κοιτάσματος. Το μπλοκ μεταλλεύματος που θα ορυχθεί θα πρέπει να έχει ένα σχήμα με αποσαφηνισμένα όρια κατά τον κατακόρυφο άξονα, έτσι ώστε να έχουμε επιτυχημένη ανατίναξη και ελάχιστες επιμολύνσεις.

Συνεπώς, εκτός από τα παραπάνω, το κοιτάσμα θα πρέπει να έχει και κάποια ακόμη γεωτεχνικά χαρακτηριστικά όπως σαφή διαχωρισμό μεταξύ των επαφών του με τα περιβάλλοντα πετρώματα, να είναι ικανοποιητικής αντοχής αυτό και τα υπερκείμενά του σε μικρότερο ωστόσο βαθμό από τις άλλες μεθόδους που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν αντίστοιχα (διαδοχικών υποορόφων, συμπτυσσόμενου μετώπου) λόγω του ότι το ορυγμένο πέτρωμα παραμένει στο χώρο εκσκαφής βοηθώντας στην υποστήριξη των παρειών.

Η συμπεριφορά του πετρώματος στην ανατίναξη μπορεί να αποτιμηθεί αφού το μπλοκ έχει καθοριστεί. Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει είτε θεωρητικά είτε πειραματικά επάνω σε πετρώματα με παρόμοια μηχανικά χαρακτηριστικά. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα γίνεται και η επιλογή της διαμέτρου και του καννάβου των διατρημάτων.

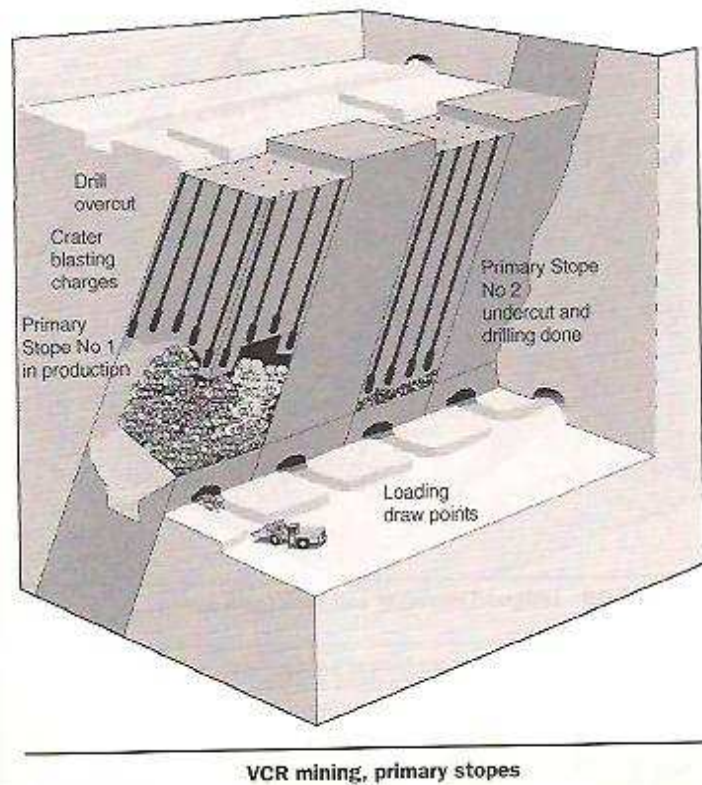
Τα έργα προσπέλασης και το σύστημα εξόρυξης συχνά προκαθορίζονται από τις υπάρχουσες συνθήκες του μεταλλείου. Σε αντίθετη περίπτωση ο έλεγχος ευστάθειας των περιβαλλόντων πετρωμάτων, το μέγεθος του υπό όρυξη μπλοκ, η παραγωγικότητα και η διαθεσιμότητα του εξοπλισμού θα καθορίσουν το μέγεθος και τη διάταξη των σημείων απόληψης και των διόδων μεταφοράς (ράμπες, στοές, φρέατα κ.τ.λ.)

Ειδικότερα τα έργα προσπέλασης αποτελούνται από ράμπες μεταφοράς περιμετρικά του κοιτάσματος και καταλήγουν μέχρι τα σημεία απόληψης, από στοές φόρτωσης και στοές για πρόσβαση στο άνω μέρος του μπλοκ για διάτρηση και ανατίναξη

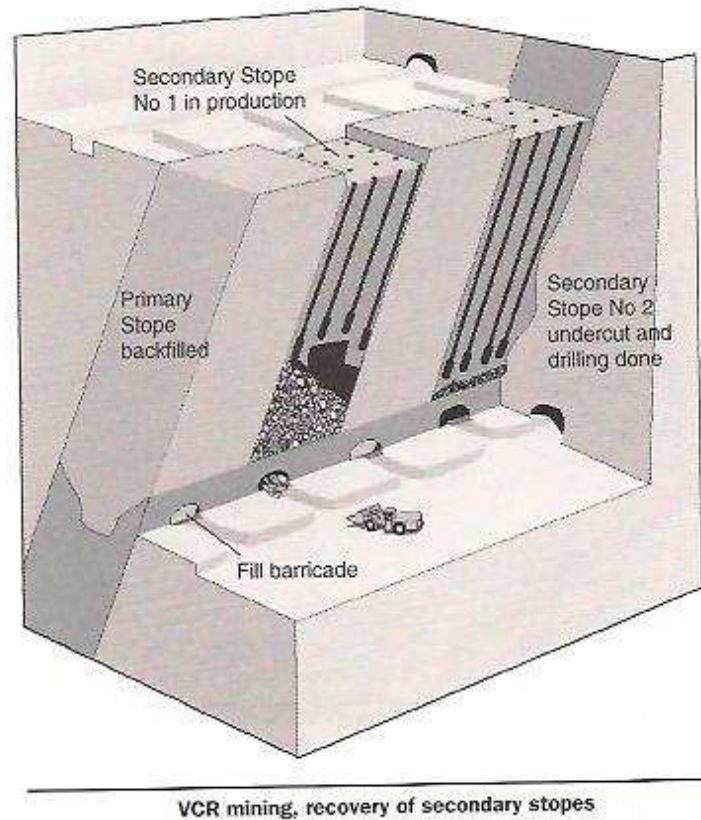
Όσον αφορά την παραγωγή, αυτή ξεκινά με τη διάτρηση μεγάλου μήκους διατρημάτων με ειδικές ενδοδιατρηματικές σφύρες σε καθορισμένα σημεία. Ακολουθεί η γόμωση με κατάλληλα εκρηκτικά τα οποία τοποθετούνται πάνω σε σφήνες οι οποίες λειτουργούν σαν διάφραγμα με σκοπό να τα κρατήσουν στη σωστή θέση. Η ανατίναξη γίνεται σύμφωνα με τη θεωρία του κρατήρα στους καταλλήλους χρόνους, για να καταλήξουμε στο θραυσμένο μέταλλευμα που με την μορφή

οριζόντιων φετών αποκολλάται από το μπλοκ καταλήγοντας στην υποσκαφή. Στη συνέχεια, με **LHD** γίνεται η μεταφορά για να ακολουθήσει η λιθογόμωση του κενού τμήματος μέσω του δικτύου λιθογόμωσης.

Γενικά, πρόκειται για μια σχετικά εξειδικευμένη μέθοδο, η οποία εφαρμόζεται με αρκετές παραλλαγές στο είδος των διατρημάτων, των εκρηκτικών και όχι μόνο, σε πολλά διαφορετικά μεταλλεία καθιστώντας την έτσι παράλληλα μια ευέλικτη μέθοδο.



Εικόνα 4: Ανατίναξη και εξόρυξη σε πρώτο στάδιο



Εικόνα 5: Ανατίναξη και εξόρυξη σε δεύτερο στάδιο

#### 4. Πλεονεκτήματα □ Μειονεκτήματα

Παρακάτω παρατίθενται επιγραμματικά τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου

Πλεονεκτήματα:

- Υψηλή παραγωγικότητα με μεγάλο βαθμό απόληψης
- Μεγάλη εκμηχάνιση
- Ελαχιστοποίηση των νεκρών χρόνων στο μεταλλευτικό κύκλο (πάντα υπάρχει η δυνατότητα να εκτελούνται εργασίες ανεξάρτητα η μια από την άλλη).
- Ασφαλείς συνθήκες εργασίας διότι δεν υπάρχει ανάγκη εισόδου του προσωπικού στο μέτωπο
- Μικρό συνολικό κόστος με περιορισμένο ανθρώπινο δυναμικό
- Καλός έλεγχος του εδάφους
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν μοναδική μέθοδος εκμετάλλευσης σε κάποιο μεταλλείο
- Λιγότερη δευτερογενής εξόρυξη και καλύτερη θραύση του πετρώματος

- Δεν απαιτείται η κατασκευή φρεάτων
- Μικρότερο φορτίο ανά ανατίναξη άρα χαμηλά επίπεδα δονήσεων.
- Ελαχιστοποίηση των επιμολύνσεων από στείρα και άμμους.
- Δυνατότητα ευελιξίας και προσαρμογής σε ήδη υπάρχουσες εκμεταλλεύσεις

Μειονεκτήματα:

- Πολλά έργα ανάπτυξης με υψηλό κόστος
- Απαιτεί καλά σχεδιασμένη, πολύπλοκη και ακριβή διάτρηση, (χρήση διαμαντιών) ακριβή σχεδιασμό της ανατίναξης δίνοντας έμφαση στους χρόνους ανατίναξης
- Ανάγκη για εξειδικευμένο προσωπικό
- Εφαρμόζεται σε συγκεκριμένο τύπο κοιτασμάτων
- Το μέταλλευμα δεσμεύεται στον κενό χώρο της εικασφής για μεγάλο χρονικό διάστημα και μέχρι να ολοκληρωθεί η απόληψή του, έχουμε μειωμένα έσοδα.
- Κίνδυνος για ασταθή μπλοκ τα οποία σε περίπτωση αστοχίας καθυστερούν τον ολικό σχεδιασμό

Συνοψίζοντας, παρατηρούμε ότι τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι σαφώς περισσότερα από τα μειονεκτήματά της καθιστώντας την μια αρκετά συμφέρουσα και χρηστική μέθοδο. Απεναντίας τα μειονεκτήματα είναι αυτά που έχουν περιορίσει τις χρήσεις που θα μπορούσε να έχει δεδομένο του ότι δεν εφαρμόζεται σε όλα τα είδη κοιτασμάτων και δεν υπάρχουν αρκετές εμπειρίες από την εφαρμογή της. Τα έως τώρα όμως μηνύματα είναι ενθαρρυντικά και εκτιμάται ότι μελλοντικά θα αυξήσει το ποσοστό της σε σχέση με τις άλλες μεθόδους.

## **5. Θεωρία του κρατήρα**

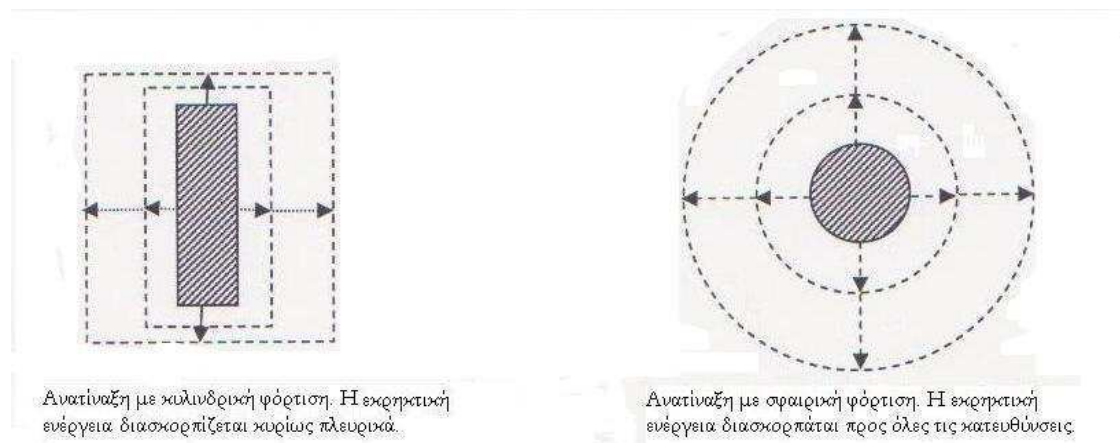
Η θεωρία του κρατήρα (**Cratering theory**) είναι η θεμελιώδης αρχή της μεθόδου VCR. Ανακαλύφθηκε το 1973 από το **Livingston** και σαν κύριο χαρακτηριστικό έχει την δημιουργία ενός ανάστροφου κρατήρα μετά από μια σφαιρική ανατίναξη κατά την οποία τα κρουστικά κύματα διασκορπίζονται προς όλες τις κατευθύνσεις σχηματίζοντάς τον. Ουσιαστικά η θεωρία αυτή διατυπώνει ότι όταν μια σφαιρική ανατίναξη γίνεται σε ένα βέλτιστο βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους θα έχουμε την καλύτερη δυνατή θραύση σε σχήμα ανάστροφου κρατήρα. Αυτή η τεχνική ανατίναξης αρχικά χρησιμοποιήθηκε σαν εργαλείο εκτίμησης της ισχύος των εκρηκτικών, παρολαυτά μεταγενέστερα εφαρμόστηκε στις επιφανειακές εκρήξεις και σε μικρότερο βαθμό στις υπόγειες.



Συνδέεται άμεσα με την τεχνική των σφαιρικών ανατινάξεων, μια τεχνική που προβλέπει σφαιρική φόρτιση του πετρώματος και καθορισμένη αναλογία γόμωσης. Πιο συγκεκριμένα ο λόγος μήκους προς διάμετρο γόμωσης θα πρέπει να είναι περίπου 4:1 αλλά σε καμία περίπτωση να μην ξεπερνάει το 6:1. Οι αναλογίες αυτές έχουν υπολογιστεί εμπειρικά και έπειτα από εκτεταμένες επί τόπου έρευνες και σχεδιάστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουμε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα δηλαδή την καλύτερη θραύση και απόληψη.

Ο μηχανισμός θραύσης μίας σφαιρικής ανατίναξης διαφέρει πολύ από τον αντίστοιχο της κυλινδρικής που χρησιμοποιείται παραδοσιακά στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις. Έχουν σαν κύρια διαφορά τις εντάσεις με τις οποίες μεταδίδονται τα κρουστικά κύματα. Ειδικότερα, στην σφαιρική φόρτιση τα κύματα μεταδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις με την ίδια ένταση ενώ στην κυλινδρική έχουμε διαφοροποίηση της έντασης σε κάθε κατεύθυνση. Γίνεται έτσι κατανοητό ότι η διαφορά τους έγκειται στο μήκος και στο σχήμα της γόμωσης.

Στο παρακάτω σχήμα παρατίθενται οι διαφορές στις κινήσεις των κρουστικών κυμάτων στους διαφορετικούς μηχανισμούς θραύσης.

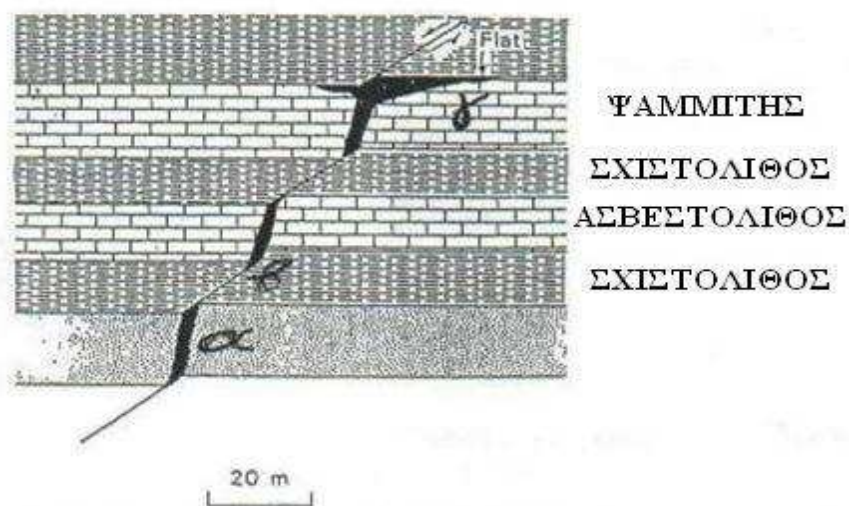


Εικόνα 6: Τρόπος μετάδοσης των κρουστικών κυμάτων



## 6. Φλεβικά κοιτάσματα και ανάκτηση στύλων

Πολλά κοιτάσματα απαντώνται συχνά υπό μορφή φλεβών. Στις περιπτώσεις αυτές, και αν το πέτρωμα είναι σκληρό, τότε δεν είναι ευνοϊκή η εφαρμογή μεθόδων κατακρήμνισης. Ένας ακόμη παράγοντας μπορεί να είναι ότι η επιμόλυνση του πετρώματος δεν είναι επιθυμητή για οικονομικούς και τεχνικούς λόγους. Η μορφή ενός φλεβικού κοιτάσματος φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 7: Μεταλλοφόρες φλέβες που διασχίζουν διαφόρους σχηματισμούς (Evans, 1993)

### Υποχώρηση κρατήρα

Μια τυπική μορφή φλεβικού κοιτάσματος φαίνεται στις εικόνες Α και Β, όπου το κοιτάσμα εξορύσσεται από τα μέτωπα με διάφορες μεθόδους. Μια δημοφιλής μέθοδος είναι αυτή των εναλλασσόμενων κοπών και λιθογομών αλλά και άλλες μέθοδοι όπως αυτή των διαδοχικών υποορόφων χρησιμοποιούνται. Μια καινοτομία είναι η χρήση της VCR και της θεωρίας του κρατήρα, όπως φαίνεται στην εικόνα F.

Η μέθοδος φαίνεται ότι είναι για την απόληψη στύλων, ωστόσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκμετάλλευση ολόκληρου του κοιτάσματος. Μεγάλης διαμέτρου και σχεδόν κατακόρυφα διατρήματα, διατρέιονται από το επίπεδο πάνω από το κοιτάσμα (άνω διευθυντική στοά) μέχρι το επίπεδο της κάτω διευθυντικής στοάς και με καθορισμένο πλάνο (κάνναβο). Είναι σημαντικό να έχουμε ένα άνοιγμα στο δάπεδο του κοιτάσματος ώστε το θραυσμένο πέτρωμα να έχει έναν χώρο να συσσωρευθεί και να φορτωθεί. Τα εκρηκτικά τοποθετούνται και ανατινάσσονται στα διατρήματα στην υπολογισμένη βέλτιστη απόσταση πάνω από την διευθυντική στοά (ελεύθερη επιφάνεια). Τα ίδια διατρήματα χρησιμοποιούνται και πάλι, δηλαδή ξαναγομώνονται σε διαφορετικό όμως ύψος και σίγουρα πιο ψηλά από εκεί που έγινε

η προηγούμενη ανατίναξη. Η όλη διαδικασία, όπως έχει προαναφερθεί, βασίζεται στην σφαιρική φόρτιση και στη θεωρία του κρατήρα.

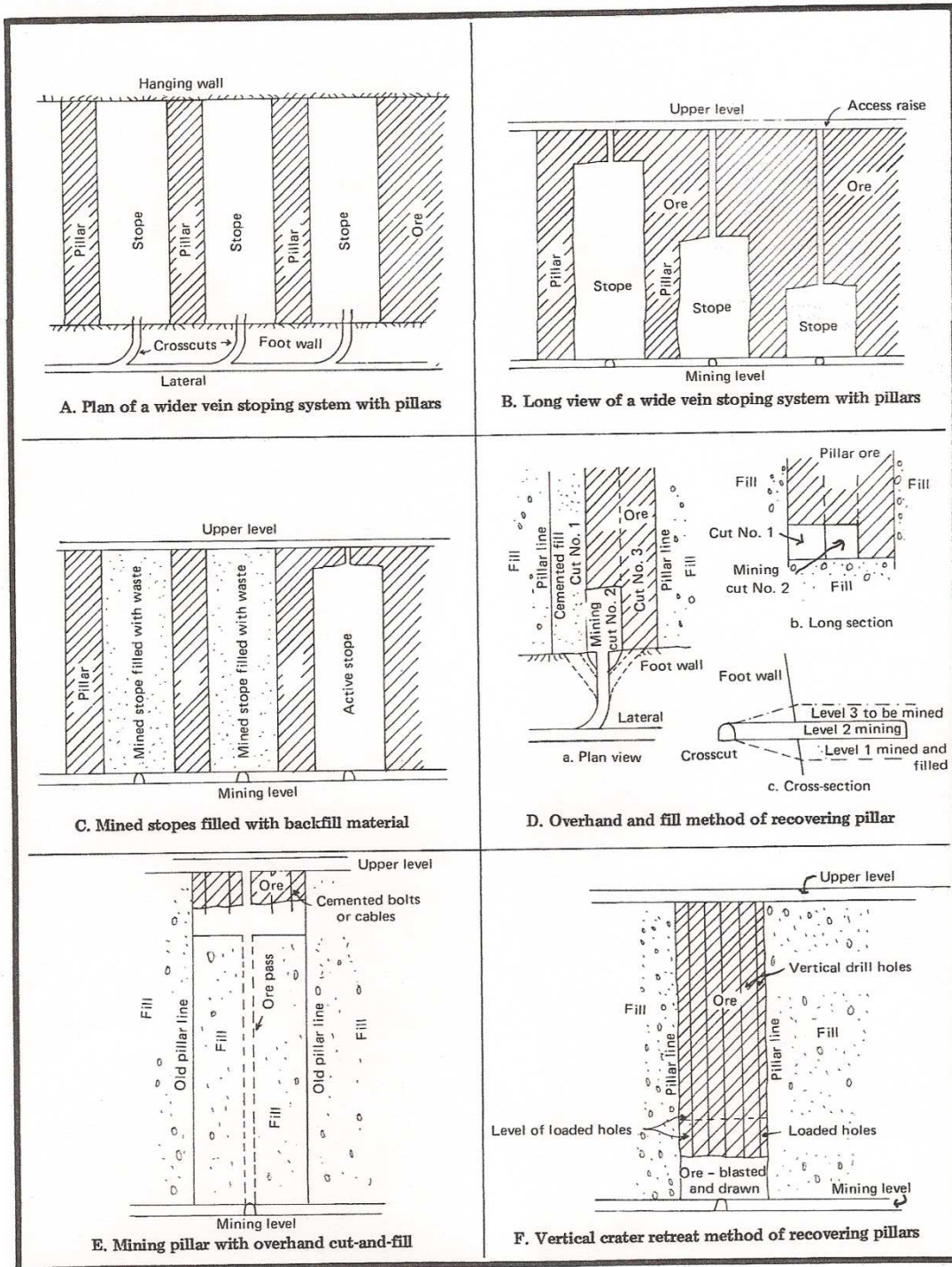
### Απόληψη στύλων

Οι στύλοι χρειάζονται για να υποστηρίξουν τους τοίχους και την οροφή ενώ λειτουργούν και σαν όριο ανάμεσα στα μέτωπα. Περιέχουν σημαντική ποσότητα μεταλλεύματος, ωστόσο η απόληψή τους δεν είναι πάντοτε συμφέρουσα. Πριν ξεκινήσει η διαδικασία απόληψής τους, είναι απαραίτητο να γεμίσουν με υλικό λιθογόμωσης τα μέτωπα όπου έχει τελειώσει η εκμετάλλευση. Έτσι ο χώρος αυτός πλέον θα υποστηρίξει την οροφή και τα τοιχώματα. Εάν γίνεται χρήση της μεθόδου εναλλασσόμενων κοπών και λιθογομώσεων, τότε το υλικό λιθογόμωσης εισάγεται άμεσα και η εκμετάλλευση συνεχίζει. Εάν όμως έχουμε μια μέθοδο εκμετάλλευσης με ανοιχτά μέτωπα, είναι απαραίτητο να γεμίσουν τα κενά, όπως φαίνεται στην εικόνα C. Χρησιμοποιούνται απορρίμματα του εργοστασίου εμπλουτισμού, εάν υπάρχουν διαθέσιμα, αλλά και αμμοχάλικα, άμμοι ή θραυσμένο πέτρωμα. Τέλος μίγματα αδρομερών και λεπτομερών τεμαχίων χρησιμοποιούνται ενώ για την αύξηση της αντοχής τους συνήθως πρακτική είναι η προσθήκη τσιμέντου.

Η απόληψη των στύλων είναι μια δύσκολη εργασία, επειδή συχνά δέχονται τάσεις από τα τοιχώματα και την οροφή, η οποία υποχωρεί και μερικές φορές παραμορφώνει το υπόλοιπο κοίτασμα. Αυτό το κατακερματισμένο πέτρωμα που εκτοπίστηκε είναι σπανίως αρκετά σκληρό. Στην εικόνα D φαίνεται μια εκμετάλλευση όπου, αφού γίνει η εξόρυξη ενός τμήματος, ακολουθεί η λιθογόμωσή του. Η επόμενη κοπή γίνεται πλευρικά του λιθογωμομένου μετώπου όπως φαίνεται στις εικόνες D a και b. Στην εικόνα D το σχήμα c μας δείχνει ότι το πρώτο επίπεδο βρίσκεται κάτω από την υποεσκαφή. Όταν το συγκεκριμένο επίπεδο έχει ειδή εκσκαφτεί και λιθογομωθεί συνεχίζεται η εκμετάλλευση στο δεύτερο επίπεδο με τον ίδιο τρόπο για να ακολουθήσει και το τρίτο επίπεδο. Η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται ανά τρία επίπεδα πιο πάνω.

Η μέθοδος εναλλασσόμενων κοπών και λιθογομώσεων συχνά χρησιμοποιείται για την απόληψη στήλων. Σε μερικές περιπτώσεις γίνεται ενίσχυση του πετρώματος με αγκυρώσεις, όπως φαίνεται στην εικόνα E, και με διατρήματα γίνεται η εκμετάλλευση. Όπως προαναφέρθηκε, η μέθοδος VCR χρησιμοποιείται για απόληψη στύλων με μεγάλη επιτυχία. Παρόλαυτα, το υλικό λιθογόμωσης σε κάθε πλευρά του στύλου πρέπει να είναι σταθερό ώστε να μην υποχωρεί μέσα στο μέτωπο.

WIDE VEINS AND PILLAR RECOVERY



Εικόνα 8: Απόληψη στύλων

## 7. Προσπέλαση - Προπαρασκευή

### A. Γενικά στοιχεία:

Με τον όρο προσπέλαση ή έργα προσπέλασης εννοούμε τις ενέργειες που γίνονται για να προσεγγίσουμε την θέση στην οποία βρίσκεται το κοιτάσμα. Εκτελούνται μέσα στα άγονα πετρώματα που περιβάλλουν το κοιτάσμα. Επίσης συνθέτουν μαζί με τα έργα προπαρασκευής και τις βοηθητικές εγκαταστάσεις της επιφάνειας την εικόνα του μεταλλείου. Η διάνοιξη των κατάλληλων προσπελάσεων και η αρμόζουσα προπαρασκευή του κοιτάσματος είναι οι δύο από τους σημαντικότερους παράγοντες που θα μας εξασφαλίσουν την απρόσκοπτη πορεία της εκμετάλλευσης στο χώρο και στο χρόνο.

Στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις, τα έργα προσπέλασης αντίθετα με τις επιφανειακές, που περιορίζονται σε οδικές και σιδηροδρομικές αρτηρίες, παρουσιάζουν διάφορες δυσκολίες όσον αφορά την εκλογή του τρόπου και της θέσης κατασκευής. Οι διάφοροι τρόποι υπόγειας προσπέλασης είναι: τα φρέατα, τα κεκλιμένα, οι ράμπες και οι στοές.

Οι στοές αποτελούν υπόγειες διεισδύσεις, που η εγκάρσια διατομή τους, τραπεζοειδούς συνήθως μορφής είναι της τάξεως των 10 με 15 m<sup>2</sup>. Στις στοές δίνεται κάποια ελαφριά κλίση 0,5 έως 1% προς την κατεύθυνση της κίνησης των προϊόντων που μεταφέρονται, καθώς και ιδιαίτερη ονομασία ανάλογα με την θέση τους και τον προσορισμό τους. Διαχωρίζονται, σε διευθυντικές (**drifts**) όταν ορύσσονται μέσα στο κοιτάσμα και ακολουθούν τη διεύθυνση του και εγκάρσιες (**crosscuts**) όταν ορύσσονται κάθετα προς αυτό. Χαρακτηρίζονται ως στοές αερισμού, αποστράγγισης, μεταφοράς κ.τ.λ. προκειμένου να προσδιορισθεί η κύρια χρήση τους.

Με τον όρο φρέατα εννοούμε τις διεισδύσεις κλίσεως από 55° έως 90°. Διαφέρουν από τις στοές ως προς την διατομή και το μήκος το οποίο δεν ξεπερνά τα 50m. Χρησιμοποιούνται για μεταφορά υλικού, εξοπλισμού και προσωπικού για αερισμό και για αποστράγγιση. Είναι πιο πολύπλοκα από τις στοές και κατασκευάζονται σε θέσεις όπου θα χρησιμοποιηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Διακρίνονται σε ανιόντα και κατιόντα, ανάλογα με την φορά διάτρησής τους. Συγκεκριμένα, τα ανιόντα ορύσσονται από πάνω προς τα κάτω ενώ τα κατιόντα από κάτω προς τα πάνω.

Τα κεκλιμένα είναι διεισδύσεις ανάλογες προς τα φρέατα, που σχηματίζουν κάποια γωνία ως προς την κατακόρυφο. Ανάλογα με την κλίση τους χαρακτηρίζονται μερικές φορές ως κεκλιμένα φρέατα ή κεκλιμένες στοές. Τα πρώτα πλησιάζουν προς την κατακόρυφο, τα άλλα προς την οριζόντιο. Η κυριότερη χρήση των κεκλιμένων είναι για την προπαρασκευή της εκμετάλλευσης του κοιτάσματος και για το λόγο

αυτό ορύσσονται μέσα στο μετάλλευμα με κλίσεις που φτάνουν μέχρι την κατακόρυφο. Τα κεκλιμένα καλούνται ανιόντα (**Raises**) και κατιόντα (**Winzes**), ανάλογα με τη φορά που ορύσσονται. Γενικά, η παραγωγικότητα τους είναι μικρότερη από τα φρέατα και για το λόγο αυτό στα σύγχρονα μεταλλεία έχουν περιορισμένες εφαρμογές.

Τέλος, ως ράμπες ορίζονται συνήθως σπειροειδής διεισδύσεις που συνδέουν δυο στοές μεταξύ τους και μπορεί να συνεχίζουν μέχρι την επιφάνεια. Αποτελούν ουσιαστικά μια ειδική μορφή κεκλιμένων με μικρή σχετικά κλίση που δεν υπερβαίνει τις 12%, και ορίζεται από το είδος του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται. Λειτουργούν κυρίως ως δρόμοι μεταφοράς εξοπλισμού και μεταλλεύματος και αποτελούν οικονομικότερη και παραγωγικότερη λύση από τα φρέατα όταν πρόκειται για σχετικά μικρά βάθη.

Προπαρασκευαστικά έργα είναι αυτά που κατά κανόνα λαμβάνουν χώρα μέσα στο κοίτασμα. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχουμε στείρα άρα παίρνουμε μετάλλευμα κατά την όρυξή τους. Ουσιαστικά αποτελούν τα έργα τα οποία προηγούνται της διαδικασίας εξόρυξης ανάλογα με τη μέθοδο της εμετάλλευσης. Συνεπώς, γίνεται κατανοητό ότι διαφέρουν από μέθοδο σε μέθοδο. Τα κύρια έργα προπαρασκευής είναι οι διευθυντικές στοές, η υποσκαφή και τα κεκλιμένα.

## **B. Έργα προσπέλασης □ προπαρασκευής στη VCR**

Ξεκινώντας το σχεδιασμό της εμετάλλευσης στο αρχικό στάδιο όλα τα στοιχεία που αφορούν την εικασφή, συλλέγονται και μελετούνται έτσι ώστε να έχουμε αρκετά δεδομένα που θα μας επιτρέψουν τη χρήση της VCR. Αυτό το στάδιο καλείται αρχικός σχεδιασμός επειδή όλα τα στοιχεία αξιολογούνται και συνεχώς τροποποιούνται καθώς νέες πληροφορίες εμφανίζονται από την όρυξη των έργων προσπέλασης. Κάτι τέτοιο αποτελεί κομβικό σημείο στο να λειτουργήσει η VCR παραγωγικά, ειδικότερα σε ακανόνιστα κοιτάσματα.

Γενικά τα έργα ανάπτυξης στη VCR αποτελούνται από:

- Άνω και κάτω διευθυντικές στοές
- Τα σημεία απόληψης και φόρτωσης του πετρώματος
- Η ράμπα που συνδέει την κάτω διευθυντική στοά με την άνω και ενδεχομένως την επιφάνεια

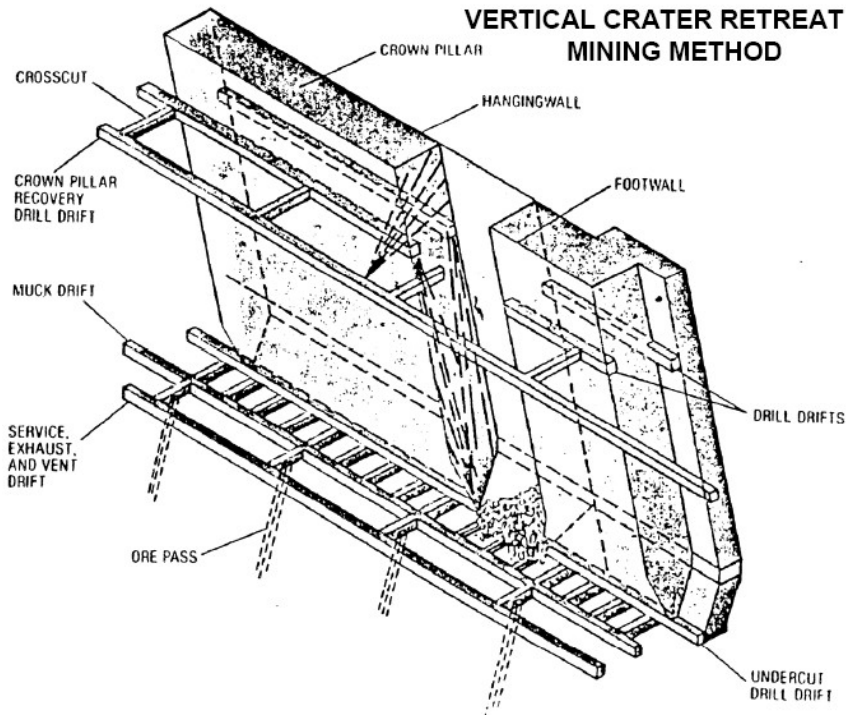
Εφ' όσον αποφασιστεί ότι ένα κοίτασμα θα εξορυχθεί με την μέθοδο της VCR, τα γεωλογικά δεδομένα χρησιμοποιούνται για να γίνει το πλάνο και ο σχεδιασμός της άνω και κάτω διευθυντικής στοάς. Αυτές σχεδιάζονται έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται τα έργα ανάπτυξης και να βελτιστοποιείται η διάτρηση και η ανατίναξη.

Η άνω διευθυντική στοά αποτελεί ουσιαστικά το δάπεδο εργασίας για τις διαδικασίες της διάτρησης και της γόμωσης. Αυτό έχει σαν συνέπεια να ορύσσεται ανάλογα με τις διαστάσεις του διαθέσιμου εξοπλισμού διάτρησης και εκσκαφής. Σχεδιάζεται έτσι ώστε να έχει το ελάχιστο δυνατό μήκος από την ράμπα μέχρις ότου φτάσει στο κοίτασμα, με τυπικές διαστάσεις της τάξεως των 2,7m επί 2,7m έως 3m επί 3m ανάλογα πάντα με το μέγεθος των μηχανημάτων. Πρόκειται για την κατ' εξοχήν στοά που δουλεύει το προσωπικό και έτσι είναι καλά υποστηριζόμενη, με ικανοποιητικό αερισμό, με τοίχους βαμμένους άσπρους με σκοπό την αύξηση της ανάκλασης και τέλος συνήθως είναι εφοδιασμένη με μόνιμο φωτισμό.

Αντιστοίχως, η κάτω διευθυντική αποτελεί την στοά παραγωγής που σημαίνει ότι εκεί καταλήγει το θραυσμένο μέταλλευμα και στη συνέχεια από εκεί γίνεται η φόρτωσή του. Το ύψος που επιλέγεται είναι συνήθως 3m κάτι που δικαιολογείται από το μέγεθος του εξοπλισμού ο οποίος θα πρέπει να κινείται άνετα μέσα σε αυτήν. Σε αυτήν διασταυρώνονται και οι εγκάρσιες στοές από τις οποίες ξεκινά η μεταφορά του ορυγμένου πετρώματος από τα σημεία απόληψης.

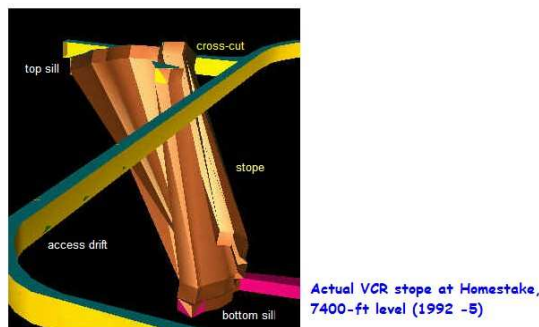
Με τον όρο σημεία απόληψης και φόρτωσης του πετρώματος (**draw points**) εννοούμε τις θέσεις εκείνες στις οποίες γίνεται η συσσώρευση του θραυσμένου πετρώματος. Πρόκειται για τον χώρο στον οποίο θα συγκεντρωθεί το μέταλλευμα αμέσως μετά την ανατίναξη. Εν συνεχεία, τα μηχανήματα φόρτωσης προσεγγίζουν μέσω των εγκάρσιων στοών τα σημεία αυτά παραλαμβάνοντας το μέταλλευμα. Η όλη φιλοσοφία των σημείων απόληψης και φόρτωσης στηρίζεται στο ότι συλλέγουμε το μέταλλευμα από το χαμηλότερο σημείο του σωρού και η βαρύτητα λειτουργεί έτσι ώστε να παρασέρνει το σωρό προς τα κάτω φέρνοντας το σύστημα εκ' νέου σε ισορροπία.





Εικόνα 9: Άνω και κάτω διευθυντική στοά

Η ράμπα χρησιμοποιείται για τη σύνδεση της κάτω διευθυντικής στοάς με την άνω διευθυντική στοά και σε ορισμένες περιπτώσεις μέχρι την επιφάνεια. Σκοπός της είναι η μεταφορά μηχανημάτων και εξορυγμένου μεταλλεύματος. Οι τεχνικές λεπτομέρειες είναι σημαντικές καθώς η ράμπα πρέπει να έχει συγκεκριμένη κλίση έτσι ώστε να κυκλοφορεί ο τροχοφόρος εξοπλισμός χωρίς δυσκολίες και κατάλληλη θέση μέσα στην εκμετάλλευση για λόγους σταθερότητας και οικονομίας. Θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως αρτηρίες του μεταλλείου και για αυτόν τον λόγο πιθανή αστοχία τους οδηγεί σε σημαντικές επιπτώσεις από τραυματισμούς μέχρι μειωμένη παραγωγή και αυξημένο κόστος.



Εικόνα 10: Ράμπα προσπέλασης

Ένας μεγάλος αριθμός παραγόντων επηρεάζει τη σταθερότητα της ράμπας. Τέτοιοι είναι η ποιότητα του πετρώματος, το βάθος της στο οποίο έχει προχωρήσει η εκμετάλλευση, η απόσταση μεταξύ ράμπας και μετώπου και η αλληλουχία της εκμετάλλευσης. Πιο συγκεκριμένα, η ανθεκτικότητα του πετρώματος και η μη παρουσία ασυνεχειών αυξάνουν τη σταθερότητα της ράμπας. Επίσης, όσο το μεταλλείο συνεχίζει τις εσικαφές σε μεγαλύτερα βάθη, τόσο περισσότερο η ράμπα αναμένεται να υποστεί μεγαλύτερες φορτίσεις από τα περιβάλλοντα πετρώματα. Αυτό οφείλεται στο ότι η εντατική κατάσταση των πετρωμάτων αλλάζει και οι τάσεις μεγαλώνουν όσο προχωράει η εσικαφή. Επιπλέον, γίνεται κατανοητό ότι πρέπει η ράμπα να βρίσκεται σε απόσταση τέτοια από το μέτωπο ώστε και να έχουμε τη μικρότερη διαδρομή στη μεταφορά, άρα και οικονομία, αλλά και σταθερότητα έναντι όλων των διεργασιών που γίνονται στο μέτωπο. Τέλος, δευτερεύοντα ρόλο παίζουν επίσης το πάχος και η κλίση του κοιτάσματος καθώς και η γεωμετρία του κοιτάσματος.

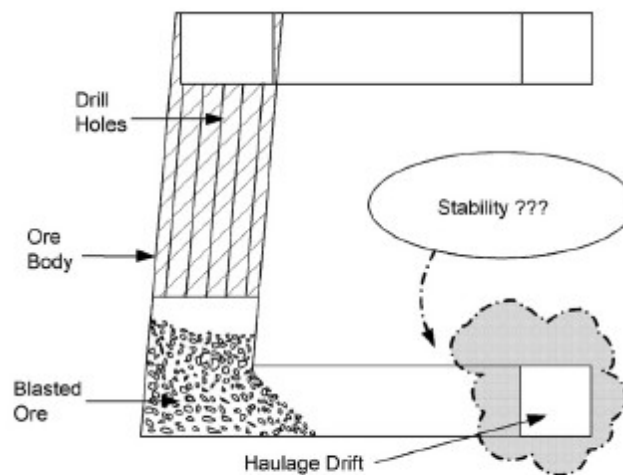


Fig. 6. Illustration of study problem.

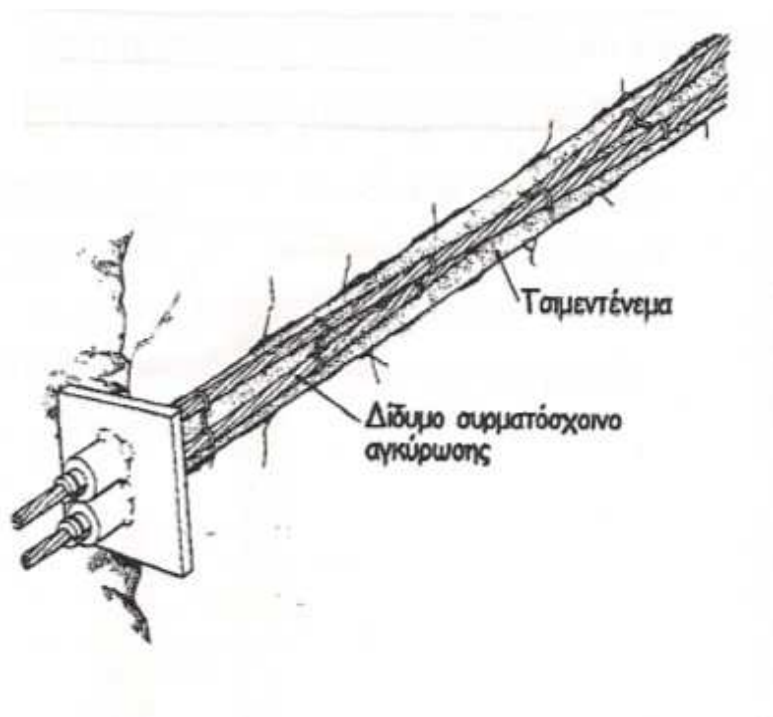
Εικόνα 11: Εντατική κατάσταση γύρω από την ράμπα και απόστασή της από το μέτωπο.

## 8. Έλεγχος βραχομάζας στη VCR

Υπάρχουν πολλά στάδια για τον αποτελεσματικό έλεγχο του εδάφους στην ανάπτυξη και την εκμετάλλευση με τη μέθοδο της VCR. Αρχικά, πρέπει να σχεδιαστούν οι στύλοι, που θα έχουν ως ρόλο να περιορίζουν τις πλευρικές συγκλίσεις και να κρατούν σταθερά την οροφή. Σε δεύτερη φάση, είναι και η υποστήριξη που ακολουθεί άμεσα μετά από κάθε κύκλο ανατίναξης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ήλοι μήκους 1,5m και 2,4m (5-8 ft) συνήθως χρησιμοποιούνται. Οι ηλώσεις με χρήση



ενέματος είναι οι πιο κοινές μορφές διότι εξασφαλίζουν άμεση συγκράτηση της οροφής και των παρειών. Για την υποστήριξη της άνω διευθυντικής στοάς επίσης χρησιμοποιούνται τέτοιου είδους ηλώσεις. Αυτό βοηθά στην μείωση της επιμόλυνσης αλλά και εξασφαλίζει την ασφάλεια του προσωπικού. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το μήκος των αγκυριών ποικίλει από τα 9 έως 18m (30-60 ft). Αυτό καθορίζεται από το μέγεθος του κοιτάσματος και του μετώπου, από τις συνθήκες του εδάφους (ποιότητα βραχομάζας) αλλά και από τον εν γένει σχεδιασμό της εκμετάλλευσης, δηλαδή από το είδος των έργων και την απόσταση που αυτά θα γίνουν γύρω από την περιοχή όπου γίνονται οι αγκυρώσεις. Οι ήλοι αυτοί αποτελούνται από δύο όμοια χαλύβδινα καλώδια που έχουν συνήθως διάμετρο 16 mm (5/8 in.). Αυτά τοποθετούνται παράλληλα σε ένα διάτρημα διαμέτρου 57 mm (2 1/4 in.) και εδραιώνονται στη θέση αυτή με τσιμέντου. Ένας πολύ συνηθισμένος κάναβος διατρημάτων είναι 3x3 m (10x10 ft). Τέλος δεν αποκλείεται και η χρήση ηλώσεων τριβής ή αγκυριών για την επίτευξη της υποστήριξης. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα τέτοιο αγκύριο, με δύο κλώνους και χαλύβδινο καλώδιο.



Εικόνα 12: Ήλος με δυο κλώνους και χρήση ενέματος

Η διαδικασία της εκμετάλλευσης με τον σχεδιασμό σχετικά μεγάλων μπλοκ μεταλλεύματος που εξορύσσονται κάθε φορά σε μια δεδομένη στιγμή, ελαχιστοποιεί τη συνολική επιφάνεια των τοιχωμάτων που παραμένουν ανυποστήρικτα. Ο σχεδιασμός αυτός έχει αποδειχθεί ότι ελαχιστοποιεί την ανάγκη για δευτερογενή εξόρυξη (ξεσκαρτάρωμα). Βέβαια απαιτεί περισσότερο χρόνο στην παραγωγή του μετώπου διότι βραδυπορεί η λιθογόμωση του κενού χώρου. Έρευνα στο μεταλλείο

**Homestake** οδήγησε σε ένα συμπέρασμα για το βέλτιστο κλάσμα μήκος προς πλάτος του μπλοκ που πρόκειται να εξορυχθεί και η τιμή του είναι  $4/1$ . Βέβαια το εμπειρικό αυτό αποτέλεσμα αφορά το συγκεκριμένο μεταλλείο και τις συγκεκριμένες γεωτεχνικές συνθήκες τις περιοχής.

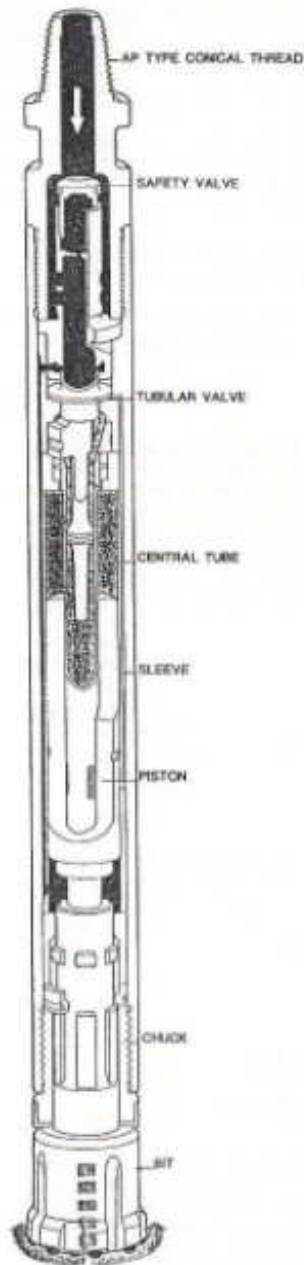
Κατά τη διάρκεια του μεταλλευτικού κύκλου, αρκετά πράγματα μπορούν να γίνουν για την υποστήριξη του εδάφους. Η χρήση τεχνικών ελεγχόμενης ανατίναξης κατά μήκος του κοιτάσματος βοηθά στην ελαχιστοποίηση των ρωγμών του. Επίσης, στη μέθοδο της **VCR** υπάρχει η δυνατότητα παραμονής του θραυσμένου πετρώματος μέσα στο μέτωπο. Όσο περισσότερο υλικό παραμένει στη θέση του μετά την ανατίναξη, έχει αποδειχθεί ότι προσφέρει και αποτελεσματικότερη υποστήριξη των τοιχωμάτων του κοιτάσματος.

Ο εξειδικευμένος μηχανικός εξοπλισμός για την εκτέλεση των παραπάνω εργασιών περιορίζεται στα μηχανήματα για την εκτέλεση των αγκυρώσεων. Αυτά είναι ένα διατρητικό αγκυρώων και μια αντλία, μικρής σχετικά δυναμικότητας, που εισπιέζει το τσιμεντένεμα στο διάτρημα, αφού πρώτα έχει μπει το αγκύριο.

## 9. Μεταλλευτικός κύκλος □ Κύκλος εκμετάλλευσης

### 9.1 Διάτρηση

#### 9.1.1 Γενικά στοιχεία - Ενδοδιατρηματικές αερόσφυρες



A typical down the hole hammer (Atlas Copco).

Εικόνα 13: Ενδοδιατρηματική αερόσφουρα

Ο όρος διάτρηση περιλαμβάνει τις διεργασίες εκείνες που εκτελούνται με σκοπό την διάνοιξη και όρυξη των διατρημάτων ώστε να είναι έτοιμα για γόμωση. Μετά από έρευνα και μελέτη τα διατρήματα εκτελούνται σε συγκεκριμένες θέσεις βάση ενός σχεδίου το οποίο ονομάζεται κάρναβος. Υπάρχουν πολλά μηχανήματα διάτρησης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με το μήκος και τη διάμετρο των διατρημάτων καθώς επίσης και τους ειδικούς περιορισμούς της εκάστοτε εκμετάλλευσης.

Πιο συγκεκριμένα στη **V.C.R.** έχουμε διατρήματα μεγάλου μήκους τα οποία κατά κανόνα γίνονται με σφύρες τύπου **Down The Hole** (ενδοδιατρηματικές αερόσφυρες). Πρόκειται για έναν τύπο σφύρας που πρωτοχρησιμοποιήθηκε το 1951 από το **Stenuick** και από τότε εφαρμόζεται ευρέως σε επιφανειακές και υπόγειες εκμεταλλεύσεις, σε πετρώματα μέσης σκληρότητας και για διαμέτρους από 105 έως 200 mm, εάν και υπάρχουν μοντέλα που φτάνουν μέχρι και τα 915 mm.

Η διάδοση αυτού του συστήματος στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις έγινε σχετικά πρόσφατα και ιδιαίτερα μετά το 1975 με την πρωτοεμφανιζόμενη τότε μέθοδο της **V.C.R.** Αυτή τη στιγμή η τεχνική διάτρησης **Down The Hole** στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις χρησιμοποιείται σε σκληρά πετρώματα για διαμέτρους μεγαλύτερες από 150 mm.

Η λειτουργία των σφυρών **Down The Hole** βασίζεται στο γεγονός ότι το πιστόνι μεταφέρει όλη την δυναμική ενέργεια κατ' ευθείαν στο κοπτικό άκρο. Όσον αφορά τα απορρίμματα που παράγονται, χρησιμοποιείται πεπιεσμένος αέρας που παρέχεται μέσω ενός σωλήνα ο οποίος λειτουργεί υποστηρικτικά και δίνει ροπή στη σφύρα. Η περιστροφή γίνεται μέσω ενός πνευματικού ή υδραυλικού κινητήρα ο οποίος είναι εδραιωμένος πάνω στο διατρητικό μηχανήμα, γίνεται δηλαδή έξω από τη γεώτρηση. Η συχνότητα των κρούσεων της σφύρας κυμαίνεται μεταξύ 600 και 1600 ανά λεπτό.

Τα σύγχρονα **Down The Hole** σφυριά έχουν απλούστερο σχεδιασμό από ότι τα πρωτότυπα, τα οποία διέθεταν μια βαλβίδα η οποία διοχέτευε τον αέρα στο πάνω μέρος του πιστονιού. Έτσι, έχουν πιο μεγάλη συχνότητα χτύπων και μικρότερη κατανάλωση αέρα.

Για να αποφευχθεί η είσοδος νερού στη γεώτρηση, σαν αποτέλεσμα υδραυλικής πίεσης, οι σφύρες μπορούν να έχουν μια ανεπίστρεπτη βαλβίδα εκεί όπου γίνεται η εισαγωγή του αέρα στη σφύρα.

Εάν γίνεται διάτρηση σε βραχώδεις σχηματισμούς παρουσία νερού, τότε απαιτείται μεγάλη ποσότητα αέρα για να γίνει εκκένωσή του, σε διαφορετική περίπτωση θα έχουμε μειωμένη απόδοση, δηλαδή πιο αργή προχώρηση της διάτρησης. Ως προς την κάθετη δύναμη που ασκείται στο κοπτικό, αυτή πρέπει να είναι 85 kg περίπου, για κάθε εκατοστό της διαμέτρου του διατρήματος. Η ταχύτητα περιστροφής που

ενδείνεται είναι ανάλογη με την ποιότητα του πετρώματος , και παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Τύπος πετρώματος	Ταχύτητα περιστροφής (r/min)
Πολύ μαλακό	40-60
Μαλακό	30-50
Μεσαίας σκληρότητας	20-40
Σκληρό	10-30

Πίνακας 1: Ταχύτητα περιστροφής σε σχέση με τον τύπο πετρώματος

Ένας εμπειρικός κανόνας, για την επιλογή της βέλτιστης ταχύτητας περιστροφής είναι: ταχύτητα περιστροφής (r/min)=1,66\*προχώρηση (m/h). Βέβαια ο χειριστής του μηχανήματος πρέπει να ελέγχει την πίεση και την περιστροφή για την επίτευξη της καλύτερης θραύσης.

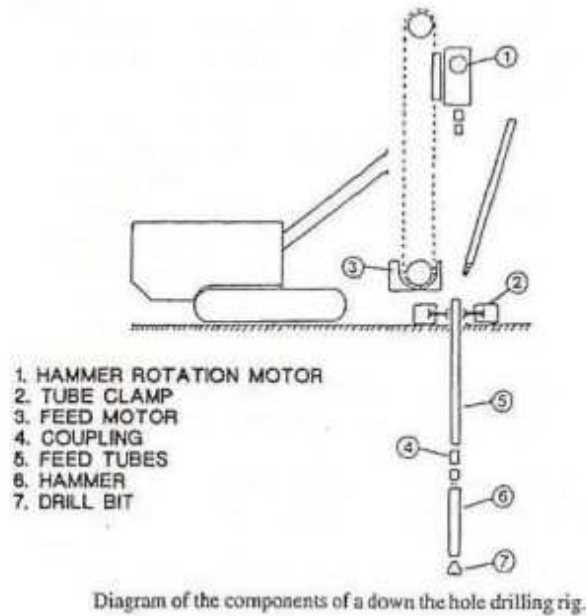
Εκτός από τον αέρα, νερό ή ακόμη και αφρός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθαρισμό των θρυμμάτων. Ο τελευταίος έχει πολλά πλεονεκτήματα γιατί έχει καλά αποτελέσματα σε μεγάλες διαμέτρους ενώ προσφέρει ικανοποιητική στήριξη σε μαλακούς σχηματισμούς.

Η λίπανση της σφύρας είναι ζωτικής σημασίας. Η κατανάλωση λιπαντικών διαφέρει ανάλογα με το μοντέλο αλλά σαν γενικός κανόνας ισχύει ότι καταναλώνεται ένα λίτρο λιπαντικού ανά ώρα για κάθε 17 κυβικά μέτρα αέρα ανά λεπτό. Όταν γίνεται διάτρηση με μέγιστη πίεση μια ελάχιστη κατανάλωση λιπαντικού ενός λίτρου ανά ώρα συνιστάται. Εάν χρησιμοποιείται νερό ή αφρός για την απομάκρυνση των απορριμμάτων η ποσότητα του λιπαντικού πρέπει να αυξηθεί.

Όσον' αφορά τις διαστάσεις των σωληνώσεων (στελεχών) του διατρητικού, αυτές θα πρέπει να έχουν ένα τέτοιο μέγεθος ώστε να επιτρέπουν την απρόσκοπτη ροή της λάσπης με τα απορρίμματα. Πιο συγκεκριμένα θα πρέπει να υπάρχει κατάλληλη απόσταση μεταξύ των στελεχών και των τοιχωμάτων του διατρήματος. Ενδεικτικά, στο παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι συνιστώμενες διαστάσεις των σωληνώσεων για κάθε διάμετρο διατρήματος.

Διάμετρος διατρήματος (mm)	Διάμετρος στελεχών (mm)
102-115	76
127-140	102
152-165	114
200	152

Πίνακας 2: Διάμετρος στελεχών σε σχέση με την διάμετρο του διατρήματος



Εικόνα 14: Επιμέρους μέρη του μηχανήματος διάτρησης



ITH drilling, 165 mm blast holes, INCO, Canada

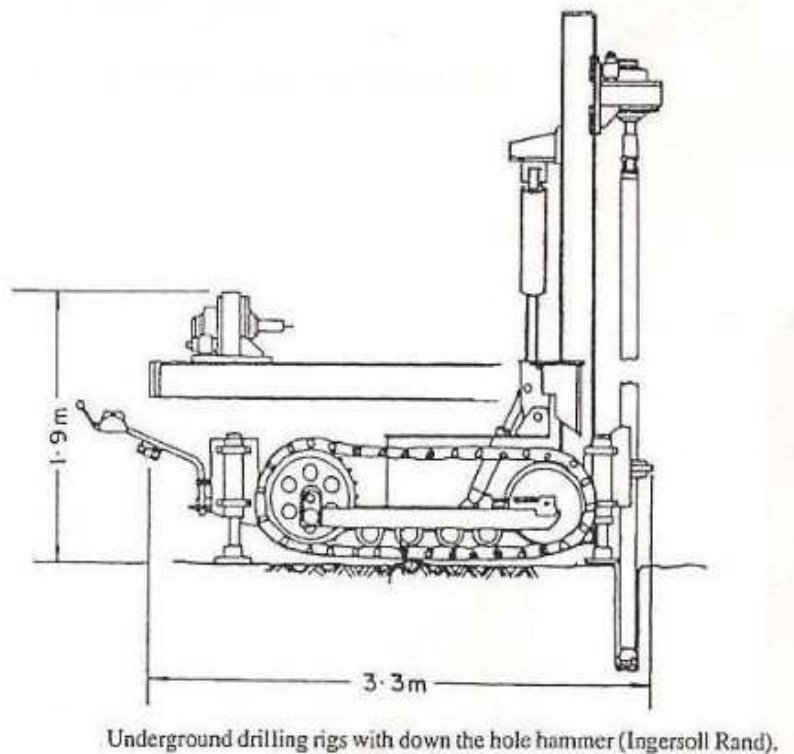
Εικόνα 15: Κορώνα του μηχανήματος διάτρησης με διάμετρο 165 mm

### 9.1.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα των ενδοδιατρηματικών σφύρων

Τα πλεονεκτήματα της διάτρησης με Down The Hole σφύρες σε σχέση με άλλα συστήματα διάνοιξης διατρημάτων είναι:

- Ο ρυθμός προχώρησης παραμένει πρακτικά σταθερός όσο προχωρά η διάνοιξη.

- Υπάρχει λιγότερη φθορά του κοπτικού σε σχέση με τα κοινά διατρητικά λόγω του αέρα που εισπνέζεται απ' ευθείας στο κοπτικό, καθαρίζοντας στον πυθμένα του διατρήματος αποτελεσματικά.
- Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των σωληνώσεων
- Μικρή απόκλιση του διατρήματος, κάνοντας το έτσι ιδανικό για μεγάλου μήκους διατρήματα.
- Η χαμηλότερη ενέργεια ανά κρούση σε συνδυασμό με την μεγάλη συχνότητα κρούσεων ευνοεί την χρήση του σε αποσαρωμένους σχηματισμούς ή με δυσμενή στρώση.
- Απαιτείται λιγότερη ροπή σε σχέση με άλλες μεθόδους διάτρησης
- Το κόστος ανά μέτρο, σε μεγάλες διαμέτρους και σκληρά πετρώματα, είναι μικρότερο από την περιστροφική διάτρηση.
- Η κατανάλωση αέρα είναι μικρότερη.
- Το επίπεδο θορύβου στην περιοχή είναι χαμηλότερο διότι οι κρούσεις της σφύρας γίνονται μέσα στο διάτρημα.



Εικόνα 16: Διαστάσεις ενδοδιατρηματικής σφύρας

### 9.1.3 Διάτρηση στη VCR

Η πιο σημαντική παράμετρος όσον αφορά την διάτρηση στην VCR είναι η σωστή τοποθέτηση των διατρημάτων στο χώρο. Η ακρίβεια αποτελεί ένα απαραίτητο

κομμάτι της διάτρησης. Μετά από εκτεταμένη έρευνα, μαριάρρονται τα σημεία από όπου ξεκινά η διάτρηση στην άνω διευθυντική στοά και στην συνέχεια το προσωπικό εκτελεί την διάτρηση στα σημεία αυτά.

Επειδή το μέγεθος και το σχήμα των κοιτασμάτων ποικίλει, ο κάρναβος των διατρημάτων προσαρμόζεται ανάλογα. Ωστόσο υπάρχουν γενικές κατευθύνσεις σύμφωνα με τις οποίες η απόσταση των διατρημάτων κυμαίνεται από 2,4 x 2,4 έως 3 x 3 μέτρα σε τετραγωνικό κάρναβο. Η παραπάνω μεθοδολογία αποσκοπεί στο να μην υπάρχει διάρρηξη των περιβαλλόντων πετρωμάτων, άρα και επιμόλυνση, και στο να ελαχιστοποιήσουμε τα συνολικά μέτρα διάτρησης. Τα διατρήματα τα οποία ξεκινούν από την άνω διευθυντική στοά και καταλήγουν στην κάτω, είναι απαραίτητα σε κάποιο ελάχιστο βαθμό (3 ανά σειρά), ώστε να ξεκινάει σωστά η ανατίναξη.

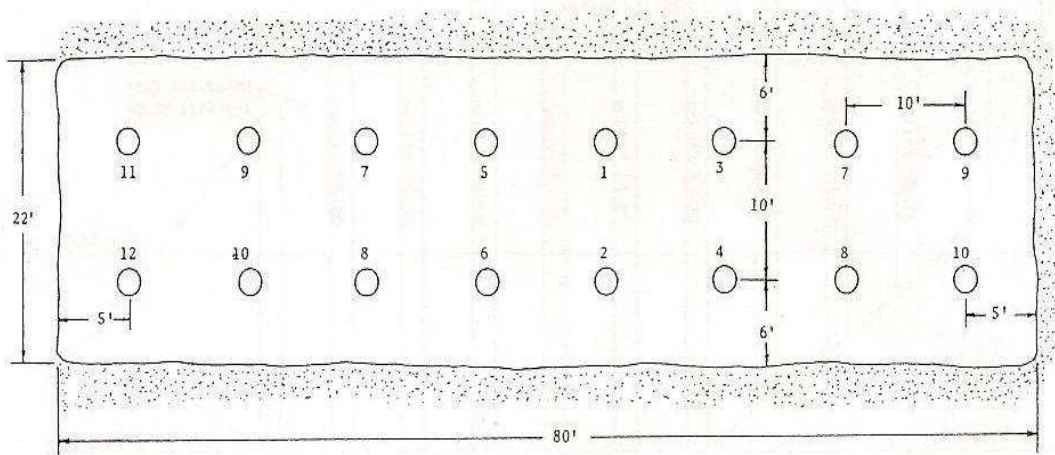
Η ακρίβεια αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι της διάτρησης. Όταν το τρυπάνι τοποθετείται στο σημείο που θα γίνει η διάτρηση εδραιώνεται πάνω του και το αποκλισίόμετρο, ένα όργανο που μετρά την γωνία του διατρήματος και εν συνεχεία επισημαίνει της οποιοσδήποτε αποκλίσεις από την καθορισμένη από το σχεδιασμό γωνία.

Μόλις η διάτρηση πλησιάζει στην ολοκλήρωσή της, ελέγχεται η περιοχή που θα ξετρυπίσουν τα διατρήματα στην κάτω διευθυντική στοά. Εάν εμφανίζεται κάποιο πρόβλημα, ζητείται από τους χειριστές να τσεκάρουν τις πραγματικές θέσεις των διατρημάτων ως προς τις προβλεπόμενες. Στην περίπτωση που υπάρχει μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους τότε επιρόσθετα διατρήματα μπορεί να χρειαστούν για να καλύψουν όλο το μέτωπο σωστά.

Αφού ξεκινήσει η διάτρηση, στη συνέχεια προχωράει αρκετά γρήγορα. Κατά μέσο όρο αρκετά συνεργεία μπορούν να διατρήσουν μέχρι και 60 μέτρα ανά βάρδια, ενώ τόννοι που εξορύσσονται ανέρχονται σε περίπου 11,5 ανά μέτρο διάτρησης.

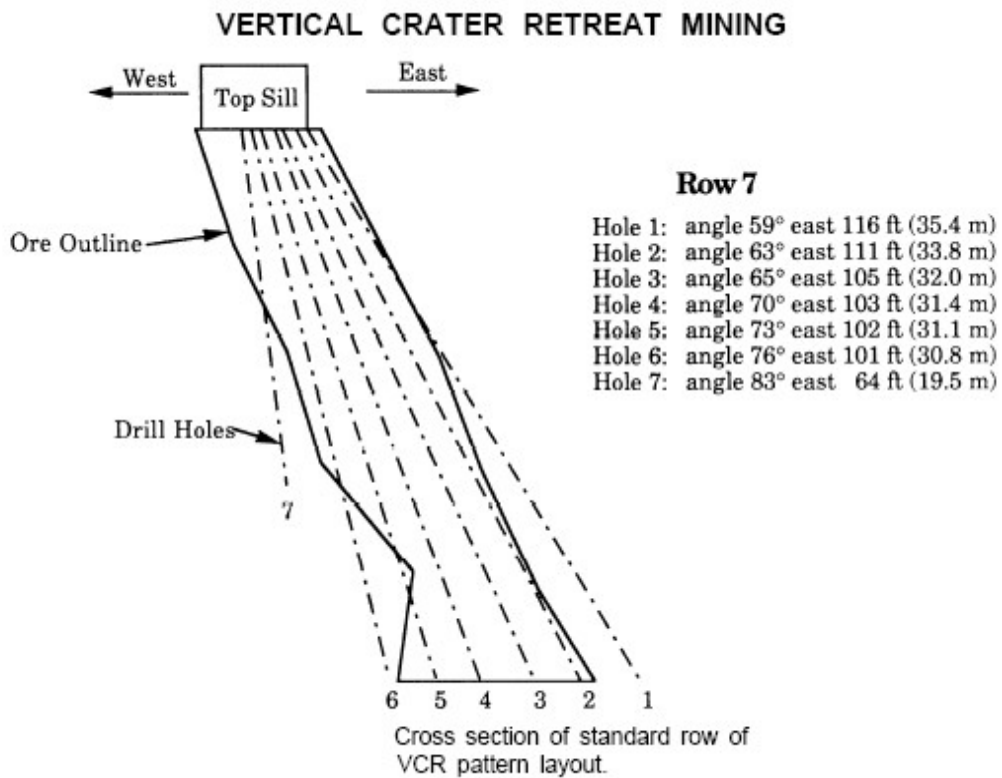
Συνοψίζοντας, η διάτρηση στη V.C.R. αποτελεί ίσως το πιο σημαντικό κομμάτι της μεθόδου καθώς από εκεί θα καθοριστούν πολλοί σημαντικοί παράγοντες που αφορούν τη διαδικασία της εξόρυξης όπως η ποσότητα της παραγωγής, ο βαθμός θραύσης του πετρώματος, η ποσότητα των εκρηκτικών που θα χρησιμοποιηθούν και εν γένει η οικονομικότητα της όλης εκμετάλλευσης.





Plan of the rib pillar panel showing the blasthole pattern and order of firing. Metric equivalent:  $\text{ft} \times 0.3048 = \text{m}$ .

Εικόνα 17: Κάνναβος διατρημάτων στη VCR



Εικόνα 18: Σχέση γωνίας και μήκους των διατρημάτων

## 9.2 Γόμωση και Ανατίναξη

### 9.2.1 Γενικά στοιχεία

Ο καλός σχεδιασμός της ανατίναξης και η σωστή εκτέλεσή της παίζουν πρωτεύοντα ρόλο στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις. Αποτυχημένες ανατινάξεις μπορεί να επιφέρουν αρνητικές συνέπειες στο κόστος παραγωγής. Η υπερβολική γόμωση σε σχέση με την απαιτούμενη μπορεί να οδηγήσει σε υπερεκσκαφή και επιμόλυνση κοιτασμάτων με μεγάλη κλίση. Επίσης μπορεί να βλάψει μικρής αντοχής περιοχές του κοιτάσματος και των περιβαλλόντων πετρωμάτων, να δημιουργήσει ανεπιθύμητες σπηλαιώσεις με πιθανότητα απώλειας ή επιμόλυνσης του μεταλλεύματος. Κακός σχεδιασμός και εκτέλεση της ανατίναξης μπορεί να προκαλέσει ζημιά σε παρακείμενα διατρήματα κάνοντας ακόμα και αδύνατη την γόμωσή τους. Οι συνέπειες όλων των παραπάνω είναι λιγότερα έσοδα και επιπρόσθετα κόστη.

Η σωστή διάτρηση και ανατίναξη είναι άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους. Εάν η διάτρηση είναι αποτυχημένη, υπάρχει περιορισμένη δυνατότητα διόρθωσή της. Πριν σχεδιαστεί η ανατίναξη θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η ικανότητα και η γνώση του προσωπικού αλλά και η διαθεσιμότητα του εξοπλισμού διάτρησης και γόμωσης. Σήμερα, έχει γίνει μεγάλη πρόοδος στον τομέα της διάτρησης βελτιώνοντας έτσι και την αποτελεσματικότητα των ανατινάξεων.

Όσον αφορά την θραύση, τα βέλτιστα αποτελέσματα δεν συμβαδίζουν με το ελάχιστο δυνατό κόστος της διάτρησης και της ανατίναξης. Αυτό σημαίνει ότι εάν αυξήσουμε το κόστος της διάτρησης-ανατίναξης και έχουμε μια καλύτερη πρωτογενή θραύση, το κόστος αυτό θα αποσβεσθεί στη συνέχεια καθώς στο κύκλο παραγωγής που είναι ο συνδυασμός διάτρησης, ανατίναξης, φόρτωσης, μεταφοράς, δευτερογενούς θραύσης και λείανσης θα έχουμε μειωμένο συνολικό κόστος.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν τις υπόγειες ανατινάξεις και πρέπει να ελέγχονται είναι οι εξής :

1. Γεωμετρία: Περιγράφει την γνώση της ακριβής θέσης και των διαστάσεων του φορτίου και των ελεύθερων επιφανειών. Επίσης, παίζει σημαντικό ρόλο στην επιλογή της ποσότητας των εκρηκτικών που θα χρησιμοποιήσουμε. Τέλος, πρέπει να ελέγχεται και το ενδεχόμενο το διάτρημα να είναι κοντά σε περιοχές χαμηλής αντοχής.
2. Έναυση: Αναφέρεται στην εναυσματική γόμωση που ο ρόλος της είναι να διεγείρει τα εκρηκτικά. Ελέγχεται μέσω οργάνων που μετρούν την επιτάχυνση των δονήσεων του εδάφους. Τέλος ελέγχονται και οι χρόνοι επιβράδυνσης.
3. Ανατίναξη: Πρόκειται για την έκρηξη της κύριας εκρηκτικής ύλης και ελέγχεται ως προς την ταχύτητα έκρηξης και την ασκούμενη πίεση των αερίων.

Επιπρόσθετα, ελέγχεται και η ένταση της έκρηξης ώστε να μην προκαλούνται φθορές στα διπλανά διατρήματα.

4. Σπάσιμο πετρώματος: Ουσιαστικά πρέπει να ελέγχεται μετά από κάθε κύκλο. Αυτή η πληροφορία μαζί με την επίδοση της ανατίναξης και τα τεχνιολογικά στοιχεία του πετρώματος μπορούν να οδηγήσουν σε άμεσες αλλαγές του σχεδιασμού της ανατίναξης στον επόμενο κύκλο, με σκοπό να βελτιώσει τα υπάρχοντα αποτελέσματα.
5. Θραύση: Εάν είναι εφικτό από την μέθοδο ελέγχεται και αυτή μετά από κάθε ανατίναξη και περιλαμβάνει τις μετρήσεις για το μέγεθος και το σχήμα των θραυσμένων τεμαχίων, για το πώς έχει σχηματισθεί ο σωρός, για το πώς θα γίνει και σε πόσο χρόνο η φόρτωση και τέλος ενδείξεις για την ύπαρξη τυχόν μη θραυσμένων τεμαχίων τα οποία απαιτούν δευτερογενή θραύση (ξεσκάρωμα).
6. Φθορές λόγω ανατίναξης: Ο εν λόγω έλεγχος αποτελείται από παρατηρήσεις των περιοχών περιμετρικά της εκμετάλλευσης και αναφέρεται σε τυχόν φθορές που μπορούν να προκύψουν από την ανατίναξη στα γειτονικά διατρήματα, στον υδροφόρο ορίζοντα, στην περατότητα των πετρωμάτων, την πίεση του νερού και στην φθορά των γειτονικών πετρωμάτων που προκαλεί επιμόλυνση.

### 9.2.2 Ιδιότητες των εκρηκτικών

Τα διάφορα είδη εκρηκτικών έχουν και ξεχωριστές ιδιότητες που τα χαρακτηρίζουν. Το είδος της ανατίναξης που απαιτείται και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες αυτή θα γίνει, μαζί με τις ιδιότητες των εκρηκτικών, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τη σωστή επιλογή σε κάθε περίπτωση.

Οι ιδιότητες κάθε είδους εκρηκτικής ύλης δίνουν επίσης πρόβλεψη για πιθανά αποτελέσματα για τη θραύση του πετρώματος, τη μετακίνησή του και τις δονήσεις στην περιοχή. Έτσι, κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια συνοπτική αναφορά των πιο σημαντικών ιδιοτήτων των εκρηκτικών.

#### 1. Δύναμη και ενέργεια

Η δύναμη του εκρηκτικού είναι μια από τις πιο σημαντικές ιδιότητές του, καθότι προσδιορίζει τη διαθέσιμη ενέργεια για να γίνει η θραύση. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τη μέτρηση της δύναμης ενός εκρηκτικού, μια από αυτές είναι και η ανατίναξη με τη φόρτιση του κρατήρα (**crater charges test**). Στην ιδέα αυτή βασίζεται και η μέθοδος της **VCR**, με τη διαφορά ότι εδώ έχουμε την διαδικασία αυτή να εκτελείται αντίστροφα.

## **2. Ταχύτητα έκρηξης**

Η ταχύτητα της έκρηξης αναφέρεται στην ταχύτητα του κρουστικού κύματος που διασπείρεται μέσα στο εκρηκτικό και κατά συνέπεια είναι ο παράγοντας που καθορίζει το ρυθμό της απελευθέρωσης της ενέργειας. Παράγοντες που την επηρεάζουν είναι η πυκνότητα της γόμωσης, η διάμετρος και η έναυση.

## **3. Πυκνότητα**

Η πυκνότητα των περισσότερων εκρηκτικών κυμαίνεται από 0,8 έως 1,6 g/cm<sup>3</sup> και όπως συμβαίνει με την ταχύτητα έκρηξης, όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο μεγαλύτερη θραύση έχουμε.

Η πυκνότητα ενός εκρηκτικού είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τον υπολογισμό της απαραίτητης ποσότητας της γόμωσης που θα χρησιμοποιηθεί. Σαν γενικός κανόνας ισχύει ότι στον πυθμένα του διατρήματος, όπου περισσότερη ενέργεια χρειάζεται, μεγαλύτερης πυκνότητας εκρηκτικά χρησιμοποιούνται. Τέτοια είναι οι υγρές γέλες, τα γαλακτώματα, οι ζελατοδυναμίτιδες κ.ά. Για τη γόμωση της στήλης, κατάλληλα εκρηκτικά είναι αυτά με μικρότερο ειδικό βάρος και πιο συνηθισμένο είναι το ANFO.

## **4. Πίεση έκρηξης**

Η πίεση της έκρηξης είναι συνάρτηση της πυκνότητας και του τετραγώνου της ταχύτητας έκρηξης του εκρηκτικού. Τυπικές τιμές είναι από 500-1500 MPa. Γενικά, στις σκληρές και συνεκτικές βραχώμαζες η θραύση γίνεται πιο εύκολα με εκρηκτικά υψηλής πίεσης, διότι υπάρχει στενή σχέση μεταξύ αυτής της παραμέτρου και του μηχανισμού θραύσης των πετρωμάτων.

## **5. Σταθερότητα**

Τα εκρηκτικά πρέπει να είναι χημικά σταθερά και να μην υφίστανται αποσύνθεση υπό τυπικές συνθήκες περιβάλλοντος. Η σταθερότητά τους είναι μια ιδιότητα που συνδέεται άμεσα με το μέγιστο χρόνο αποθήκευσης, έτσι ώστε η δράση τους να μην επηρεάζεται αρνητικά.

## **6. Αντοχή στο νερό**

Είναι η ικανότητα να αντέχει της έκθεση σε υγρασία για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να επηρεάζονται τα χαρακτηριστικά του. Ποικίλει ανάλογα με τη σύνθεση του εκρηκτικού και γενικά συνδέεται με την ποσότητα της νιτρογλυκερίνης ή άλλων πρόσθετων που περιέχει. Ανθεκτικά είναι τα γαλακτώματα, οι ζελατοδυναμίτιδες και η υγρή γέλη ενώ το νιτρικό αμμώνιο, που περιέχεται στο ANFO, μειώνει κατά πολύ την ανθεκτικότητα στο νερό.

## **7. Ευαισθησία**

Αυτό το χαρακτηριστικό περιλαμβάνει διάφορες έννοιες και εξαρτάται από τον τύπο της εξωτερικής δράσης που τυχόν θα επηρεάσει το εκρηκτικό.

Έτσι, η ευαισθησία είναι ισοδύναμη με την έναυση από το εναυσματικό μέσο ενώ είναι και μέτρο της ευκολίας με την οποία μπορεί να γίνει η έναυση από παράγοντες όμως η αυξημένη θερμοκρασία, η τριβή, η κρούση ή η δόνηση.

## **8. Αντοχή στις χαμηλές θερμοκρασίες**

Όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος πέσει κάτω από τους  $8^{\circ}\text{C}$ , τα εκρηκτικά που περιέχουν νιτρογλυκερίνη τείνουν να παγώνουν. Με προσθήκη κατάλληλων ουσιών, η θερμοκρασία αυτή μπορεί να μειωθεί στους  $-20^{\circ}\text{C}$ .

## **9. Παραγόμενα αέρια**

Η ανατίναξη κάθε εκρηκτικού παράγει αέρια (καπνός), διοξείδιο του άνθρακα κλπ. Ανάμεσα στα ακίνδυνα αέρια, υπάρχουν και τοξικά, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα και τα οξείδια του αζώτου. Όλα αυτά ονομάζονται και απαέρια.

Ανάλογα με το ποσοστό του ποσοστό του επιβλαβούς αερίου, κατατάσσονται σε 3 βαθμούς τοξικότητας, στον πρώτο είναι κατάλληλα για οποιαδήποτε υπόγεια εργασία, στο δεύτερο για καλά αεριζόμενες περιοχές και στον τρίτο μόνο για υπαίθριες εκμεταλλεύσεις.

### **9.3.3 Είδη εκρηκτικών - Κριτήρια επιλογής**

Εκρηκτικά είναι ουσίες ή μίγματα ουσιών τα οποία με την εφαρμογή μιας κατάλληλης διέγερσης όπως κρούση, δόνηση, τριβή, έναυση κλπ υπόκεινται σε μία αιμαρρία χημική μεταβολή παράγοντας μεγάλο όγκο αερίων που έχουν υψηλή θερμοκρασία και πίεση. Αυτό με την σειρά του προκαλεί διαταραχή στον περιβάλλοντα χώρο τους που μπορεί να είναι στερεό, υγρό, αέριο ή συνδυασμός τους. Η διαταραχή όταν συμβαίνει σε αέριο περιβάλλον προκαλεί έκρηξη συνοδευόμενη από δυνατό θόρυβο, αντίθετα σε στερεά καταλήγει σε κατακερματισμό και θραύση. Κατά την διάρκεια του πολέμου τα εκρηκτικά χρησιμοποιήθηκαν για καταστροφικούς σκοπούς αλλά και από την άλλη πλευρά χρησιμοποιούνται για αποκόλληση, θραύση και ρωγμάτωση των πετρωμάτων στην μεταλλευτική, στην σηραγγοποιία, εισκαφές και στην λατόμευση. Η ενέργεια που απελευθερώνεται από τα εκρηκτικά έχει τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Ρωγμάτωση του πετρώματος
- Μετακίνηση του πετρώματος
- Σεισμικές δονήσεις
- Αέρια έκρηξη (ακούγεται σαν δυνατός κρότος)

Όσον αφορά τα είδη των εκρηκτικών αυτά χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την χρήση, τη σύσταση, την μορφή τους καθώς και την δυναμικότητα τους.

Τα χημικά εκρηκτικά που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με την ταχύτητα διάδοσης του κρουστικού κύματος:

- Μεγάλης ταχύτητας ανατίναξης, με ταχύτητες ανάμεσα σε 2000 και 7000 m/s, και
- Μικρής ταχύτητας ανατίναξης, με ταχύτητες μικρότερες των 2000 m/s.

Τα δεύτερα, δηλαδή αυτά με μικρή ταχύτητα ανατίναξης, δεν έχουν εφαρμογή στη μεταλλευτική και σε έργα πολιτικού μηχανικού, αφού είναι κατάλληλα μόνο για την κατασκευή πυροτεχνημάτων και βεγγαλικών.

Τα εκρηκτικά μεγάλης ταχύτητας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στα **πρωτογενούς** και στα **δευτερογενούς** εκρήξεως (**Primary** και **Secondary**). Τα πρωτογενή, και λόγω της ακριβειάς τους, χρησιμοποιούνται για την έναυση των δευτερογενών. Αυτά είναι που με τη σειρά τους θα θραύσουν το πέτρωμα, και παρόλο που είναι λιγότερο ευαίσθητα, είναι πιο χρήσιμα για τη θραύση.

Τα **πρωτογενούς** εκρήξεως ισχυρά εκρηκτικά, εκρήγνυνται με απλή διέγερση, δηλαδή με τριβή, κρούση και φλόγα. Σε καθαρή κατάσταση χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εναυσματικών μέσων. Οι κυριότερες από τις χρησιμοποιούμενες ισχυρές εκρηκτικές ύλες πρωτογενούς εκρήξεως είναι ο βροντώδης υδράργυρος, ο υδραζωτικός και ο στυφνικός μόλυβδος.

Ο βροντώδης υδράργυρος, ή κροτιόν άλας, έχει πυκνότητα 3 g/cm<sup>3</sup>, ταχύτητα έκρηξης 4000 m/s και κυρίως χρησιμοποιείται για κατασκευή μέσων έναυσης. Ο υδραζωτικός μόλυβδος, ή αζίδιο του μολύβδου, είναι ελάχιστα διαλυτός, μόνο σε θερμό νερό και στο υδάτινο διάλυμα οξικού αμμωνίου. Διατηρεί όμως την ευαισθησία του και με υγρασία 5%. Ο στυφνικός μόλυβδος είναι σχετικά ασθενές μέσο διεγέρσεως, αλλά λόγω της καλής του ευαισθησίας σε ανάφλεξη, χρησιμοποιείται στην γόμωση των καψυλλίων, για την κάλυψη του υδραζωτικού μολύβδου. Έχει σταθερότητά του είναι αξιοσημείωτη και είναι λιγότερο ευαίσθητος σε κρούση και τριβή σε σχέση με τον βροντώδη υδράργυρο.

Οι συνηθέστεροι τύποι εκρηκτικών **δευτερογενούς** εκρήξεως, που χρησιμοποιούνται στην εξόρυξη των πετρωμάτων, είναι οι δυναμίτιδες και οι αμμωνίτιδες. Η κατάταξη

των εκρηκτικών σε τύπους βασίζεται στο κυριότερο συστατικό από το οποίο αποτελούνται.

Ως δυναμίτιδες χαρακτηρίζονται οι εκρηκτικές ύλες που έχουν ως κύριο συστατικό του το εκρηκτικό έλαιο (νιτρογλυκερίνη). Με προσθήκη μικρής ποσότητας κολλωδιοβάμβακος στο έλαιο, λαμβάνουμε νέο εκρηκτικό μείγμα ζελατινοειδούς μορφής. Σύθεση 92% εκρηκτικό έλαιο και 8% κολλωδιοβάμβακας σχηματίζουν ένα ζελατινοειδές μείγμα σχεδόν στερεής μορφής, το οποίο χαρακτηρίζεται ως εκρηκτική ζελατίνη ή γομμωδυναμίτης (**Gome A, Blasting Gelatin**).

Εκτός από τα κύρια συστατικά των δυναμίτιδων, υπάρχουν και τα δευτερεύοντα, καθένα από τα οποία εξυπηρετεί έναν ορισμένο σκοπό που μπορεί να είναι η διατήρηση της πλαστικότητάς τους ή να προμηθεύουν το αναγκαίο για την αντίδραση οξυγόνο.

Για τις εκρήξεις διατρημάτων μεγάλου μήκους, όπως στην περίπτωση της εκμετάλλευσης κοιτάσματος με τη **VCR**, χρησιμοποιούνται φυσίγγια με μήκος **500 mm** και διάμετρο **50, 65** ή έως **85 mm**.

Οι αμμωνίτιδες είναι κατά βάση ελεύθερες από νιτρογλυκερίνη, περιέχουν μόνο μικρή ποσότητα αυτής, **2** έως **6%** για αύξηση της ταχύτητας εκρήξεως. Έχουν ως βάση το νιτρικό αμμώνιο με μικρή πρόσμειξη δευτερευόντων συστατικών. Χαρακτηρίζονται από μικρή ευαισθησία σε κρούση και τριβή, και κατά συνέπεια είναι λιγότερο επικίνδυνες κατά τη χρήση και μεταφορά τους. Έχουν μικρή ταχύτητα έκρηξης, μεταξύ **2000** και **4000 m/sec**, μεγάλο όγκο εκλυόμενων αερίων, μικρή ευφλεκτότητα, καλή σχετικά ποιότητα καπνών ενώ είναι και οικονομικές.

Έχουν χαμηλή έως σχεδόν μέτρια ανθεκτικότητα στο νερό. Για το λόγο αυτό πρέπει να ληφθεί ιδιαίτερη φροντίδα για το χάρτινο περίβλημα και για τις συνθήκες αποθηκείωσης. Η πυκνοτήτά τους είναι **1,2 g/cm<sup>3</sup>**, παρουσιάζουν θετικό ισοζύγιο οξυγόνου και χρησιμοποιούνται στις επιφανειακές και υπόγειες εξορύξεις πετρωμάτων. Ενδείνεται η χρήση τους για ρωγματομένα ή μαλακά πετρώματα λόγω του μεγάλου όγκου των αερίων που εκλύονται.

Το πιο κοινό εκρηκτικό αυτής της κατηγορίας είναι το **ANFO**, (πετραμμωνίτης). Παρουσίασε μεγάλη χρήση τα τελευταία χρόνια στην εξόρυξη των πετρωμάτων λόγω της αυξημένης ασφαλείας και της σημαντικής οικονομίας που προσφέρει.

Αποτελείται από μείγμα νιτρικού αμμωνίου **95%** και καυσίμου πετρελαίου (**Diesel Oil**) **5%**. Οι κόκκοι του νιτρικού αμμωνίου πρέπει να είναι πορώδεις για την πλήρη απορρόφηση του καυσίμου και το μείγμα να βρίσκεται στην κατάλληλη αναλογία. Τέλος, ουσιαστική σημασία έχει η στήλη του **ANFO** να είναι συνεχής εντός του διατρηματος. Ένα διάκενο της τάξης των **2,5 cm** είναι αρκετό να σταματήσει τη μετάδοση του εκρηκτικού κύματος.

Βέβαια, εκτός από τις παραπάνω, υπάρχουν κι άλλες κατηγορίες και είδη εκρηκτικών, όπως οι πολύ ισχυρές εκρηκτικές ύλες (πχ TNT και DNT), οι εκρηκτικές ύλες μειγμάτων, οι ασθενείς εκρηκτικές ύλες κ.ά.

#### **9.2.4 Κριτήρια επιλογής**

Μια από τις παραμέτρους που ελέγχεται από τους τεχνικούς της ανατίναξης είναι και αυτή που έχει να κάνει με το είδος των εκρηκτικών. Έτσι, γίνεται κατανοητό ότι κάτι τέτοιο είναι σημαντικό κομμάτι του σχεδιασμού της ανατίναξης που επηρεάζει τελικά αποτελέσματα.

Όσοι χρησιμοποιούν πολύ συχνά τα εκρηκτικά, συνήθως ακολουθούν την πεπατημένη οδό της επιλογής εκρηκτικού με βάση το κόστος και τη θραύση που προκαλούν, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη μια σειρά από πολλούς ακόμα παράγοντες που πρέπει να συνυπολογίζονται για την κατάλληλη επιλογή. Συνολικά, οι παράγοντες αυτοί είναι:

##### **1. Κόστος**

Το κόστος του εκρηκτικού είναι προφανώς ένας πολύ σημαντικός παράγοντας. Πρέπει κανείς να επιλέγει το εκρηκτικό με το χαμηλότερο κόστος που θα κάνει αποτελεσματικά την ανατίναξη. Ένα από τα πιο οικονομικά εκρηκτικά είναι το ANFO. Έχει επικρατήσει ακόμη λόγω της ευκολίας στη μεταφορά και αποθήκευσή του. Μεγάλο πρόβλημα όμως που έχει να κάνει με αυτό είναι μικρή ανθεκτικότητα στο νερό.

Ωστόσο, όταν αναφέρεται κανείς στο κόστος, είναι πιο σωστό αυτό να εκφράζεται ανά μονάδα εκλυόμενης ενέργειας, δηλαδή €/kcal, παρά ανά μονάδα βάρους, €/kg. Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι το καλύτερο εκρηκτικό δεν είναι πάντα το φθηνότερο αλλά αυτό που θα επιτύχει το χαμηλότερο συνολικό κόστος ανατίναξης.

##### **2. Η διάμετρος του διατρήματος**

Όταν γίνεται χρήση εκρηκτικών των οποίων η ταχύτητα έκρηξης εξαρτάται από τη διάμετρο του διατρήματος, όπως γίνεται στο ANFO, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η διάμετρος αυτή.

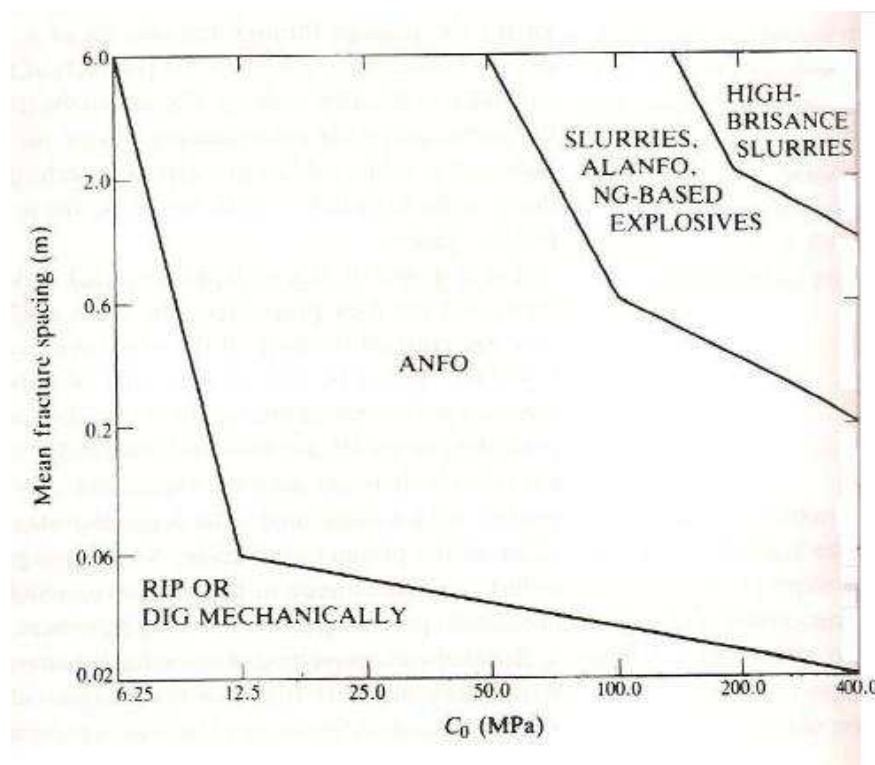
Αν η διάμετρος είναι μικρότερη των 50 mm, τότε είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούνται εκρηκτικά τύπου slurry ή σε φυσίγγια, ακόμη και αν είναι πιο



ακριβά. Από 50 έως 100 mm μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπό κάποιες προϋποθέσεις ενώ για πάνω από 100 mm δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα.

### 3. Χαρακτηριστικά του πετρώματος

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του πετρώματος παίζουν σημαντικό ρόλο διότι είναι άμεσα συνδεδεμένα με τα αποτελέσματα της ανατίναξης αλλά και γιατί συσχετίζονται με το σχεδιασμό της. Ανάλογα με τη σκληρότητα και τις ασυνέχειες του πετρώματος επιλέγεται και το κατάλληλο εκρηκτικό, όπως φαίνεται παρακάτω:



Διάγραμμα 1: Επιλογή εκρηκτικού σε συνάρτηση των μηχανικών χαρακτηριστικών του πετρώματος (Brady Brown, 2004)

### 4. Όγκος του πετρώματος που θα ανατιναχθεί

Ο όγκος της εσκαφής και το πρόγραμμα εργασιών καθορίζουν την απαραίτητη ποσότητα των εκρηκτικών που απαιτούνται για τη διεργασία της θραύσης. Σε μια μεγάλης έκτασης εξόρυξη με εκρηκτικά, ενδεχομένως να συμφέρει η προμήθειά τους σε μεγάλες ποσότητες, αφού μπορεί να είναι δυνατή η γόμωση απευθείας από το φορτηγό που τα μεταφέρει κι έτσι η ανατίναξη να γίνεται οικονομικότερη.

## 5. Καιρικές συνθήκες

Ο ρόλος της θερμοκρασίας αναλύθηκε και πιο πάνω, στις ιδιότητες των εκρηκτικών, για την περίπτωση της νιτρογλυκερίνης. Επίσης, οι υψηλές θερμοκρασίες κάνουν την αποθήκευση των εκρηκτικών επικίνδυνη.

## 6. Παρουσία νερού

Όταν το ANFO βρίσκεται σε ατμόσφαιρα με υγρασία πάνω από 10%, τότε δεν είναι ικανό να ανατιναχθεί. Εάν υπάρχει νερό μέσα στο διάτρημα, πρέπει αυτό να υπολογιστεί και αν δεν είναι δυνατή η αφαίρεσή του, εκρηκτικά ανθεκτικά στο νερό πρέπει να προτιμηθούν (water gel).

## 7. Περιβαλλοντολογικά προβλήματα

Τα κυριότερα προβλήματα που σχετίζονται με τις ανατινάξεις έχουν να κάνουν με το επίπεδο των δονήσεων και του θορύβου. Τα εκρηκτικά με μεγάλη δύναμη, έχουν και μεγαλύτερα επίπεδα δονήσεων, έτσι το ANFO προκαλεί μικρότερες δονήσεις. Για το θόρυβο, συνίσταται η επιλογή κατάλληλου εκρηκτικού για την αντίστοιχη γεωμετρία της ανατινάξης.

## 8. Απαέρια

Παρά το γεγονός ότι τα εκρηκτικά είναι κατασκευασμένα έτσι ώστε να το οξυγόνο που περιέχουν να δίνει μέγιστη ενέργεια και ελάχιστα τοξικά αέρια, η παραγωγή ορισμένων από αυτά αλλά και CO είναι αναπόφευκτη. Τα απαέρια είναι κριτήριο επιλογής για τις υπόγειες εξορύξεις, ειδικά στις περιπτώσεις όπου ο αερισμός είναι δύσκολος.

## 9. Ασφάλεια

Η ισορροπία μεταξύ ασφάλειας και ευαισθησίας δεν είναι πάντα εύκολο να επιτευχθεί. Εκρηκτικά που αφήνουν υπολείμματα μπορεί να αποτελούν κίνδυνο για τους χειριστές των μηχανημάτων φόρτωσης του θραυσμένου πετρώματος.

## 10. Η ατμόσφαιρα της περιοχής

Εξορύξεις που γίνονται σε περιοχές με εύφλεκτα αέρια, όπως στην περίπτωση ανθρακωρυχείων, απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή. Έτσι, πρέπει να γίνεται έρευνα και μελέτη των συνθηκών αυτών για να εξακριβωθεί εάν επιτρέπεται η χρήση εκρηκτικών.

## 11. Προμήθεια

Ένας άλλος τελευταίος παράγοντας που πρέπει να συνυπολογίζεται έχει να κάνει με την διαθεσιμότητα των εκρηκτικών και των μέσων έναυσης σε σχέση με την τοποθεσία της εργασίας.

### 9.2.5 Ανατίναξη στη VCR

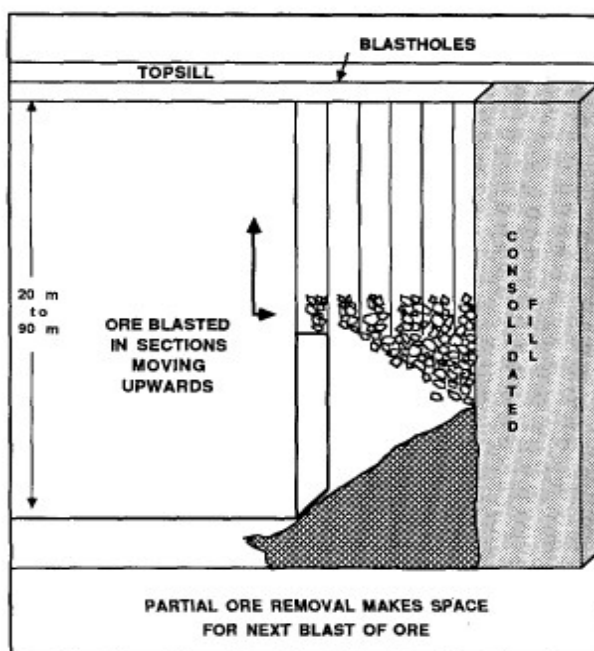
Αυτή η φάση της μεθόδου διεξάγεται από την άνω διευθυντική στοά. Οριζόντιες φέτες μεταλλεύματος θραύονται και καταλήγουν στην κάτω διευθυντική στοά που χρησιμοποιείται και σαν ελεύθερη επιφάνεια για την ανατίναξη. Η διαδικασία της γόμωσης περιλαμβάνει την προσεχτική μέτρηση του μήκους και της διαμέτρου των διατρημάτων, την τοποθέτηση των σφηνών και τέλος την τοποθέτηση αρχικά της εναυσματικής και στην συνέχεια της γόμωσης στήλης. Η εμπειρία έχει δείξει ότι ο προσεχτικός τεχνικός και επί τόπου έλεγχος όλων των παραμέτρων της διεργασίας απαιτείται για την επιτυχία της. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι σημαντικές μετρήσεις που αφορούν την τοποθέτηση του εκρηκτικού, της κατάλληλης ποσότητάς του, τους καταλλήλους χρόνους επιβράδυνσης και τα εναυσματικά μέσα παίζουν πρωτεύοντα ρόλο στην επιτυχία της τεχνικής ανατίναξης του κρατήρα.

Η διαδικασία πραγματοποιείται από 2 δύο εργάτες και έναν επιβλέποντα τεχνικό. Αυτοί είναι υπεύθυνοι ώστε να παραγγέλνουν τις απαραίτητες ποσότητες εκρηκτικών και να σχεδιάζουν την ανατίναξη. Τα εκρηκτικά συνήθως μεταφέρονται στην άνω διευθυντική στοά με LHD και στην συνέχεια διανέμονται με τα χέρια. Ορισμένες φορές ένα Bobcat χρησιμοποιείται από τους γομωτές για το σκοπό αυτό.

Πριν την ανατίναξη κάθε διάτρημα μετρείται και καταγράφεται. Αυτό γίνεται με τρόπο διαφορετικό σε κάθε εκμετάλλευση αλλά συνήθως χρησιμοποιούνται καλώδια μεγάλου μήκους τα οποία είναι διαβαθμισμένα περίπου ανά ενάμισι μέτρο. Στόχος τους είναι να φτάσουν μέχρι το πάτωμα ή το σωρό στην κάτω διευθυντική στοά.

Μόλις τα διατρήματα μετρηθούν, είναι απαραίτητο να υπολογιστεί ο όγκος του κενού που είναι διαθέσιμος μεταξύ της κάτω διευθυντικής στοάς και του μπλοκ που πρόκειται να ορυχθεί. Στη συνέχεια αποφασίζεται εάν ο χώρος αυτός είναι επαρκής ώστε να δεχτεί το θραυσμένο μέταλλευμα. Η παραπάνω παράμετρος είναι σημαντική

διότι με τη θραύση το πέτρωμα, λόγω του συντελεστή επιπλήσματος, αυξάνει τον όγκο του. Η σωστή θραύση απαιτεί ικανοποιητικό κενό χώρο, πράγμα που διευκολύνει ακόμα και την φόρτωση.



Section through a VCR stope.

Εικόνα 19: Θραύση και απομάκρυνση του μεταλλεύματος για την ομαλή συνέχιση της ανατίναξης.

Το πρώτο βήμα για την ανατίναξη μετά από τους ελέγχους και τις μετρήσεις, είναι ο υπολογισμός του όγκου του μετώπου που θα εξορυχθεί πρώτος. Το κομμάτι αυτό πρέπει να έχει τουλάχιστον το ένα τρίτο του ολικού όγκου του μετώπου. Για να έχουμε βέλτιστα αποτελέσματα ως προς την εξόρυξη του πρώτου αυτού κομματιού, θα πρέπει η κάτω διεθυντική στοά να απέχει κατά μέσο όρο τουλάχιστον 7 ft (2.1m) από το μέτωπο.

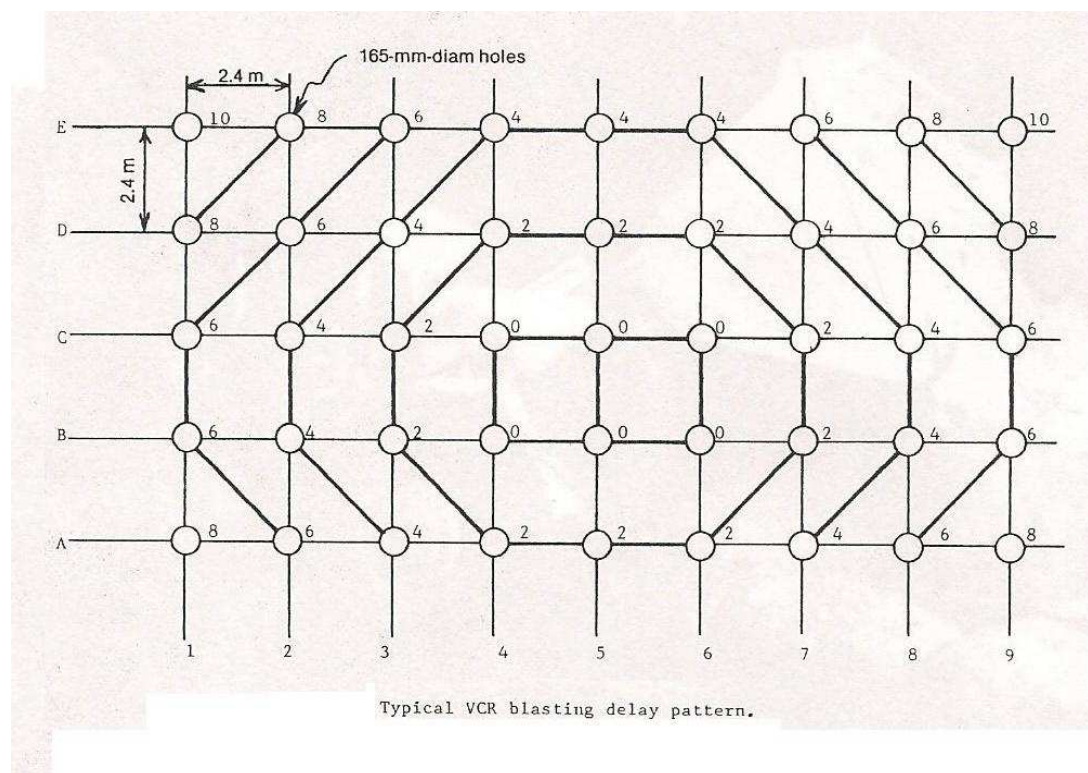
Στο επόμενο βήμα καθορίζεται που πρέπει να τοποθετηθούν οι σφήνες ώστε σφραγιστεί το διάτρημα. Οι σφήνες που χρησιμοποιούνται είναι δύο και τοποθετούνται αντισυμβατικά η μια από την άλλη με αποτέλεσμα να μην επιτρέπουν στο εκρηκτικό να διαφύγει. Η κλίση των διατρημάτων είναι αυτή που θα προσδιορίσει σε πιο ύψος μέσα στο διάτρημα θα τοποθετηθούν οι σφήνες.. Στο παρακάτω πίνακα παρατίθενται γενικά αποδοκίματες τιμές της σχέσης μήκους τοποθέτησης και γωνίας διατρήματος :

Γωνία διατρήματος	Μήκος τοποθέτησης (πάνω από το
-------------------	--------------------------------

	πάτωμα)
80-90°	1,2m (4 ft)
57-79°	1.5m (5 ft)
50-56°	1.8m (6 ft)
Λιγότερο από 50°	2.1m (7 ft)

Πίνακας 3: Σχέση θέσης τοποθέτησης σφηνών και γωνίας διατρήματος  
(Andrews, 1988)

Η γόμωση του διατρήματος μπορεί τώρα να ξεκινήσει εφόσον είναι αποφασισμένο το ύψος στο οποίο θα τοποθετηθεί η σφήνα. Αρχικά τοποθετούνται στο υπολογισμένο ύψος η μια μετά την άλλη οι σφήνες και στη συνέχεια ρίχνονται μικρές πέτρες και θρύμματα που προέρχονται από τα διατρήματα με σκοπό να στεγανώσουν την περιοχή γύρω από τα διατρήματα. Εν συνεχεία συνήθως τοποθετούνται φυσιγγία υγρής γέλης ως εναυσματική γόμωση σε ποσότητα περίπου 27,2 kg. Τα φυσιγγία αυτά κόβονται κατά μήκος πρώτου τοποθετηθούν, έτσι ώστε με την πτώση τους να καταλάβουν όλο τον χώρο μέσα στο διάτρημα. Η έναυση γίνεται μέσω ακαριαίας θρυαλλίδας. Για την γόμωση της στήλης χρησιμοποιείται ANFO σε ποσότητα όπως περιγράφεται παρακάτω και για την επιγόμωση, υπάρχουν διάφορες επιλογές με τις συνηθέστερες να είναι τα θρύμματα που προέρχονται από την διάτρηση ή απλά με νερό.



## Εικόνα 20: Χρόνοι ανατίναξης στη VCR

### Πολλαπλή ανατίναξη

Συνήθως, το πρώτο κομμάτι του μετώπου που θα ανατιναχθεί, με την μέθοδο της VCR, αποτελεί το ένα τρίτο του ολικού όγκου του μετώπου. Όταν αυτό το κομμάτι ανατιναχθεί, το επόμενο βήμα για την συνέχιση της εκμετάλλευσης του μετώπου είναι να προετοιμαστεί το έδαφος για τις επόμενες ανατινάξεις.

Όλα τα διαθέσιμα διατρήματα για την πολλαπλή ανατίναξη πρέπει πρώτα να καταμετρηθούν. Αυτό θα βοηθήσει τον ειδικό στις γομώσεις ώστε να αποφασίσει πόσους χρόνους ανατίναξης θα έχουμε για κάθε διάτρημα. Στο παρακάτω πίνακα παρατίθενται η σχέση ανάμεσα στο ύψος των διατρημάτων και στον αριθμό των φετών που απαιτούνται αντίστοιχα (χρόνοι ανατίναξης):

Αριθμός χωρισμάτων	Ύψος διατρήματος
1	9m ή λιγότερο (30ft)
2	9.3-16.5m (31-55ft)
3	16.8-39m (56-130ft)
4	39.3m ή παραπάνω (39.3ft)

Πίνακας 4: Σχέση ανάμεσα στο ύψος των διατρημάτων και τον αριθμό των φετών (Homestate mine Andrews, 1988)

Με σκοπό να παραμείνουμε μέσα στην μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα εκρηκτικών ανά χρόνο επιβράδυνσης, η οποία ανέρχεται σε 226kg (500lb), η στήλη του ANFO δεν μπορεί να ξεπερνάει σε ύψος τα 12m (40ft). Εκρηκτικά με μεγαλύτερο ειδικό βάρος από το ANFO προσαρμόζονται ανάλογα. Σε όλα τα διατρήματα χρησιμοποιείται ANFO εκτός εάν το νερό προκαλεί προβλήματα στα διατρήματα που δεν έχουν ξετρυπήσει στην κάτω διευθυντική στοά.

Αφού καθοριστεί ο αριθμός των χωρισμάτων και το ύψος της στήλης των εκρηκτικών, κατάλληλοι χρόνοι επιβράδυνσης πρέπει να σχεδιαστούν. Όλα τα καψύλλια, είτε είναι επιφανειακά είτε ενδοδιατρηματικά, είναι μη ηλεκτρικά (nonelectric). Στα διατρήματα, στα οποία θα έχουμε πολλούς χρόνους επιβράδυνσης, ο συνήθης χρόνος επιβράδυνσης ανέρχεται στα 50 msec. Εάν έχουμε διάτρημα με ένα μόνο χώρισμα, άρα και ένα χρόνο επιβράδυνσης, τότε αυτός θα είναι 500 msec. Εν συνέχεια, για κάθε επιπλέον χρόνο, η επιβράδυνση θα είναι 50

msec. Αυτός ο τύπος σχεδιασμού των χρόνων επιβράδυνσης, διασφαλίζει ότι κάθε ανατίναξη θα βρίσκει ελεύθερη επιφάνεια για να εκτελεστεί με επιτυχία. Όλα τα διατρήματα του μετώπου που θα γίνει η ανατίναξη, θα επιβραδυνθούν βάση αυτού του σχεδίου.

Κατάλληλη επιλογή και κατασκευή του χωρίσματος της γόμωσης μέσα στο διάτρημα είναι σημαντική έτσι ώστε να περιορίζουν στο ελάχιστο την ταυτόχρονη έναυση των διαφορετικών επιπέδων και να μειώσουν τις δονήσεις. Σε ιδανική περίπτωση, τα επιφανειακά καψύλλια πρέπει να ενεργοποιηθούν μετά από την ανατίναξη των διατρημάτων. Τέλος, για να ελαχιστοποιηθεί το ρίσκο ξεσκαραμάτων, είναι συνήθως η χρήση επιγόμεσης με άμμο.

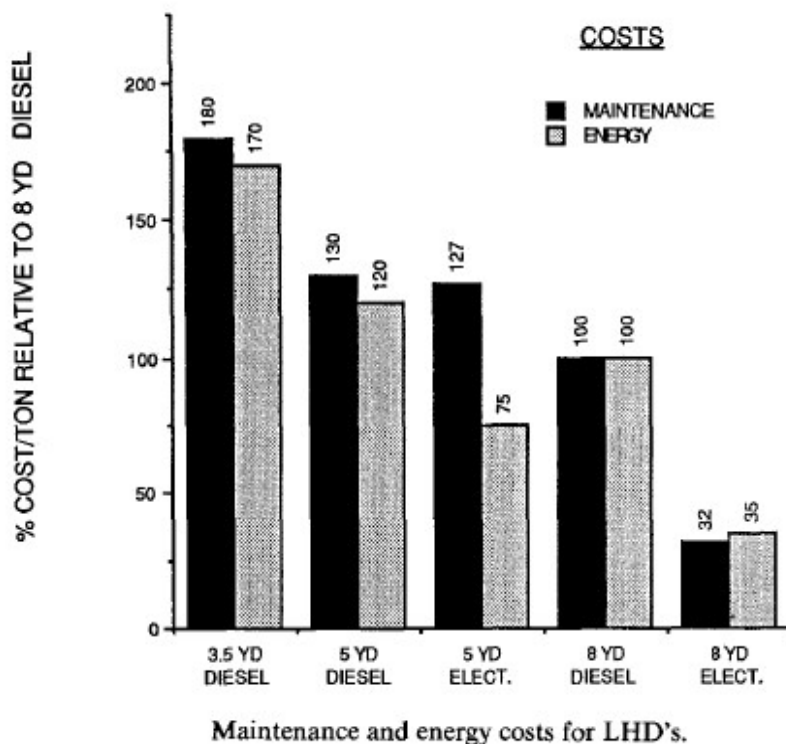
Συνοψίζοντας, η εμπειρία έχει δείξει ότι αυστηρός έλεγχος σε συνδυασμό με την τεχνική επίβλεψη σε όλους τους τομείς της ανατίναξης χρειάζεται για την επιτυχία της. Αυτό συμβαίνει κυρίως γιατί τα στοιχεία που αφορούν τη θέση του διατρήματος, το σωστό βάρος των εκρηκτικών, τους σωστούς χρόνους επιβράδυνσης και τους σωστούς εναυσματικούς μηχανισμούς αποτελούν σημαντικούς και εγγενείς παράγοντες στην επιτυχία της ανατίναξης με τη μέθοδο του κρατήρα.

### **3. Φόρτωση-Μεταφορά**

#### **9.3.1 Γενικά στοιχεία**

Ο μηχανικός εξοπλισμός της φόρτωσης περιλαμβάνει πετρελαιοκίνητα και ηλεκτροκίνητα LHD, τα οποία μπορεί και να ελέγχονται από απόσταση χωρίς χειριστή μέσα σε αυτά. Τα LHD ή load-haul-dump αποτελούν ειδικές μηχανές φόρτωσης και μεταφοράς σε υπόγειες εκμεταλλεύσεις αφού είναι ειδικά σχεδιασμένες γι' αυτό το σκοπό. Μπορούν εύκολα να κάνουν μανούβρες, να φορτώσουν και να μεταφέρουν μεγάλα φορτία. Περαιτέρω, είναι ικανά στο να ανεβαίνουν μεγάλες κλίσεις, και λόγω ειδικής κατασκευής στο κέντρο τους με άρθρωση μπορούν να στρίβουν σε πολύ κλειστές στροφές. Η θέση οδήγησης συνήθως είναι τοποθετημένη στο πλάι σε τέτοιο σημείο ώστε ο οδηγός να έχει τη καλύτερη δυνατή ορατότητα. Τέλος, τα περισσότερα από αυτά είναι τετρακίνητα και έτσι παρέχουν μεγαλύτερες δυνατότητες φόρτωσης.

Ειδικότερα, τα ηλεκτροκίνητα LHD που πρωτοεμφανίστηκαν το 1975 έχουν πλέον εξελιχθεί και ο κάδος τους μπορεί να μεταφέρει έως 8 κυβικές yd μεταλλεύματος. Κινούνται με εναλλασσόμενο (AC) ρεύμα, και έτσι αυξάνεται η παραγωγικότητα και μειώνεται το κόστος συντήρησης. Η εμπειρία έχει δείξει με την αύξηση του μεγέθους των LHD, το κόστος ανά τόνο παραγωγής μειώνεται. Ενδεικτικά, στο παρακάτω διάγραμμα παρατίθενται στοιχεία για τα διάφορα μεγέθη των LHD και φαίνεται ξεκάθαρα η μείωση που επιφέρεται στο κόστος.



Διάγραμμα 2: Σχέση κόστους και μεγέθους LHD

Η χρήση του ηλεκτρισμού είναι πιο διαδεδομένη διότι έχουμε καλύτερες επιδόσεις στην απόδοση στο τομέα της φόρτωσης λόγω μεγαλύτερης ροπής του κινητήρα. Ένα ακόμη μεγάλο πλεονέκτημα της χρήσης ηλεκτροκίνητου εξοπλισμού είναι ότι προσφέρει καλλίτερες συνθήκες εργασίας για τους εργαζόμενους αφού δεν υπάρχουν καυσαέρια, όπως στους ντιζελοκινητήρες, μειώνεται σημαντικά τα επίπεδα θορύβου και την παραγόμενη θερμότητα.

### 9.3.2 Φόρτωση - Μεταφορά στη VCR

Ο μηχανικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι τα LHD, τα οποία φορτώνουν το θραυσμένο μέταλλευμα και το skip το οποίο μεταφέρει το μέταλλευμα στην επιφάνεια. Τα LHD μεταφέρουν το μέταλλευμα μέχρι το διάτρημα εναπόθεσης (dump point), το οποίο είναι ένα διάτρημα που οδηγεί στο χώρο προσωρινής αποθήκευσής του, και από όπου παραλαμβάνεται από το skip για να οδηγηθεί στην επιφάνεια. Επάνω στο διάτρημα εναπόθεσης τοποθετείται κόσκινο, με σκοπό να μην αφήσει να περάσουν τα υπερμεγέθη κομμάτια τα οποία στην συνέχεια υπόκεινται σε

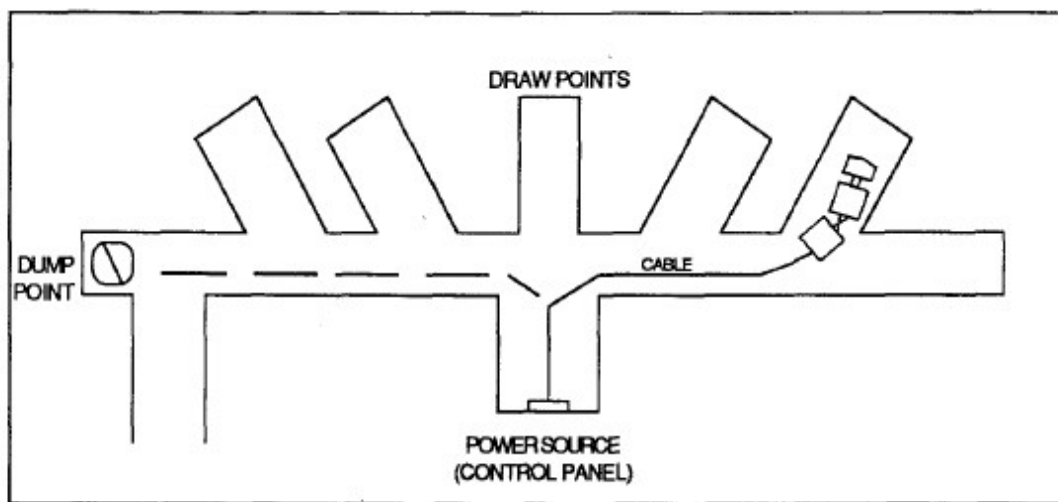


περαιτέρω θραύση. Συνήθως τα LHD στην VCR έχουν μέγεθος κάδου της τάξης των 3,5 κυβικών yd, ενώ το skip είναι ανάλογο του μεγέθους της εκμετάλλευσης.

Αφού πραγματοποιηθεί η πρώτη ανατίναξη, επιλεκτική φόρτωση γίνεται έτσι ώστε να υπάρχει κατάλληλος ελεύθερος χώρος για τις επόμενες ανατινάξεις. Μαζί με την διαδικασία της φόρτωσης γίνεται και δειγματοληψία από την οποία προκύπτουν πληροφορίες για το μέγεθος των θραυσμένων και έτσι εξετάζεται εάν το μέτωπο έχει φτάσει το οικονομικό του όριο και το κόστος ανά τόνο εξορυσμένου μεταλλεύματος.

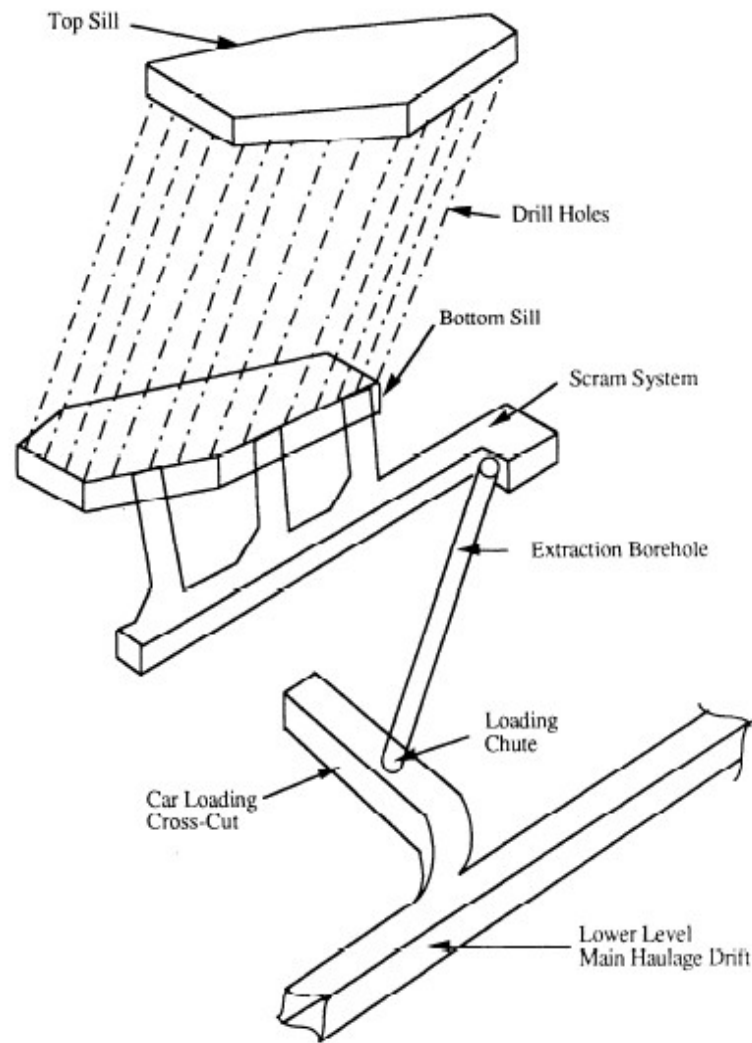
Για να κρατηθεί η παραγωγικότητα της μεθόδου σε ψηλά επίπεδα κατά τη διάρκεια του κύκλου φόρτωσης, σε δύο κυρίως σημεία πρέπει να δοθεί έμφαση: Στη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού και στο συνεχές προγραμματισμό της φόρτωσης. Σε μεγάλα κοιτάσματα, η διαθεσιμότητα του εμπλουτισμού αυξάνει με τη κατασκευή εκτεταμένου συστήματος ραμπών.

Τέλος, ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται όταν η εκμετάλλευση βρίσκεται στο τελικό στάδιο φόρτωσης. Στη φάση αυτή το μέτωπο είναι εκτεθειμένο στο μέγιστο βαθμό και υπάρχει κίνδυνος αστοχίας των τοιχωμάτων. Κάτι τέτοιο εγκυμονεί κίνδυνο και για τον χειριστή του LHD καθότι ογκώδη τεμάχια (σφήνες) μπορεί να αποκολληθούν.



Layout for electric LHD application (after [7]).

Εικόνα 21: Τυπικό σχέδιο χάραξης στοών μεταφοράς



Generalized schematic of VCR mining method.

Εικόνα 22: Σύνδεση κάτω διευθυντικής στοάς με την ράμπα

### 9.3.3 Μηχανικός Εξοπλισμός

Στη VCR ο κατά κόρον χρησιμοποιούμενος μηχανικός εξοπλισμός παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Ανάπτυξη	Παραγωγή
Gardner Denver 2 Boom Electric Jumbo	Mission ITH Drill
Atlas Copco 3 Boom Jumbo	Ingersoll-Rand ITH Drill
Jackleg/Stoper	GO-60 ITH Drill
Gardner Denver DH-123 LCD Drills	R.C. Scooptrams

Boart Cable Bolting Drill Carrier	L.H.D. R.C. Drill
Scooptrams	
Anfo Loader	

Πίνακας 5: Μηχανικός εξοπλισμός για ανάπτυξη και παραγωγή



Εικόνα 23: Φορτωτής υπογείων (LHD)



Εικόνα 24: Φορτωτής υπογείων (LHD)

### 9.3.4 Τυπικές Διαστάσεις Εκμετάλλευσης με VCR

Μια εκμετάλλευση κοιτάσματος με VCR έχει συνήθως τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- ❖ Το κοιτάσμα χωρίζεται σε ορόφους, σε ύψος από 50-90 m, που είναι και το ύψος του μετώπου που θα γίνει η εκμετάλλευση.
  - ❖ Το άνοιγμα της κύριας και της κάτω διευθυντικής στοάς είναι από 3-7 m.
  - ❖ Το ύψος των στοών αυτών είναι από 2.7 - 4 m, ανάλογα με το ύψος του εξοπλισμού που έχει επιλεγθεί.
  - ❖ Ελάχιστο πλάτος των στύλων που αφήνονται ανάμεσα στα μέτωπα: 10 m
- Μήκος μετώπου από 50-90 m και πλάτος 25-40 m.

### 9.4 Λιθογώμωση

Όταν όλο το μετάλλευμα έχει εξορυχθεί και φορτωθεί, με συνέπεια το μέτωπο να μείνει κενό, η διαδικασία της λιθογώμωσης ξεκινά. Αρκετοί παράγοντες επηρεάζουν αυτή τη διαδικασία όπως η διαθεσιμότητα των απορριμμάτων, αν αυτά προέρχονται από εργοστάσιο εμπλουτισμού και η κοκκομετρία τους, ο διαθέσιμος χρόνος για να γίνει η λιθογώμωση και τέλος η διαθεσιμότητα εξειδικευμένου προσωπικού για την εκτέλεση της εργασίας.

Τα φράγματα κατασκευάζονται στο επίπεδο της κάτω διευθυντικής στοάς, στα σημεία όπου γίνεται η φόρτωση (**drawpoints**). Ρόλος τους είναι να συγκρατήσουν το υλικό λιθογώμωσης εκτός του χώρου όπου εκτελούνται οι υπόλοιπες εργασίες της εκμετάλλευσης. Μπορεί να κατασκευάζονται είτε από μπετόν, δηλαδή να είναι ένας τοίχος πάχους 457-610 mm (18-24 in.), είτε από ξύλο.

Άμμος μπορεί να ρίχνεται μέσα στο κενό μέτωπο, αφού έχει κατασκευαστεί το φράγμα στο κάτω μέρος και πριν αρχίσει η λιθογώμωση, έτσι ώστε να προστατεύεται το φράγμα και να μπορεί να γίνεται ελεύθερα η απορροή του πλεονάζοντος νερού. Βέβαια, η διαδικασία αυτή αφορά κυρίως την υγρή λιθογώμωση (πολύφος).

Σε περίπτωση που το μέτωπο είναι δυσπρόσιτο, στείρα της εκμετάλλευσης συνήθως αποθέτονται μέσα σε αυτό. Εάν ικανοποιητικός χρόνος και αρκετά απορρίμματα είναι διαθέσιμα, τότε το μέτωπο μπορεί να γεμίσει πλήρως και άμμος μπορεί να προστεθεί στο τέλος για την πλήρωση των κενών. Εάν ο χρόνος είναι περιορισμένος, η άμμος ρίχνεται κατά την ίδια χρονική στιγμή με τα απορρίμματα, μέχρι και πάλι να γεμίσει το μέτωπο. Βέβαια, στην περίπτωση όπου έχουμε ένα μεγάλο μέτωπο ή μπλοκ μεταλλεύματος που εξορύχθηκε, είναι απαραίτητο να προστεθεί τσιμέντο (τυπική αναλογία είναι 20:1) έτσι ώστε να προκύψει υλικό αρκετά σκληρό για να συνεχιστεί η εκμετάλλευση και στα διπλανά μέτωπα. Για να γίνει η διαδικασία αυτή, δηλαδή η εκμετάλλευση διπλανών μετώπων, απαιτείται χρόνος μέχρι και έξι μήνες

ούτως ώστε να γίνει η απορροή του νερού και η στερεοποίηση του υλικού. Μια τυπική λιθογόμωση θα έχει αντοχή από 400-200 kPa (60-30 psi) για 30:1-50:1 προσθήκη τσιμέντου.

Η λιθογόμωση γίνεται με τα στείρα των εκμεταλλεύσεων αλλά και με τα απορρίμματα του εργοστασίου εμπλουτισμού. Τυπικό σύστημα μεταφοράς είναι με σωληνώσεις 127 mm (5 in.) από το εργοστάσιο μέχρι το μεταλλείο και στη συνέχεια με LHD και με τη βοήθεια διατρημάτων που οδηγούν στο πάνω μέρος του μετώπου.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που συνδέεται με τη συμβατική μέθοδο λιθογόμωσης (πολφός) είναι ότι το νερό πρέπει να απορροεί από τη μάζα του υλικού και στη συνέχεια να απομακρύνεται εκτός της εκμετάλλευσης. Πρόσφατα όμως, η έρευνα επικεντρώνεται στη βελτίωση των χαρακτηριστικών της λιθογόμωσης. Σκοπός είναι η απομάκρυνση του πλεονάζοντος αυτού νερού, πριν γίνει η λιθογόμωση. Τα οφέλη είναι πολλαπλά, όπως περιβαλλοντολογικά και οικονομικά, αφού η παραγωγή προχωρά γρηγορότερα και φθηνότερα.

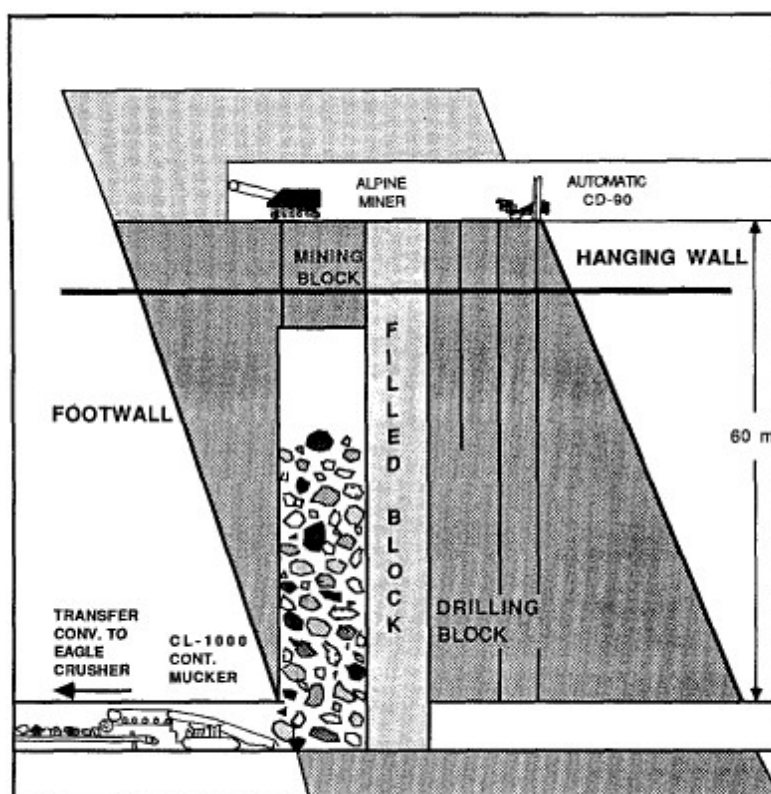


Fig. 6. Mining concept, Creighton Mine.

Εικόνα 25: Συνέχιση της εκμετάλλευσης δίπλα από λιθογομούμενο μέτωπο

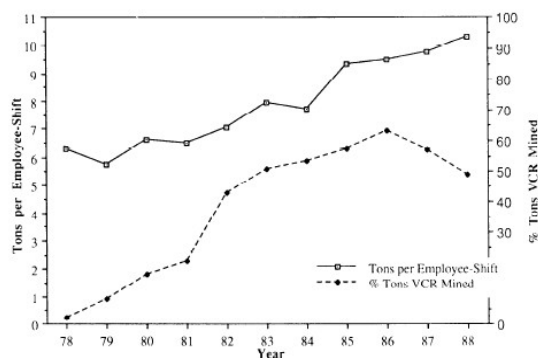
## 10. Παραγωγικότητα και κόστος

Η παραγωγικότητα στην VCR έχει άμεση συσχέτιση με το μέγεθος του μετώπου. Τα μεγάλα μέτωπα έχουν την δυνατότητα και το μέγεθος να υποστηρίξουν μεγάλους ρυθμούς εξόρυξης και φόρτωσης για εκτεταμένο χρονικό διάστημα και γι' αυτό το λόγο είθισται να έχουν υψηλότερους παραγωγικούς ρυθμούς. Μια μικρή εκμετάλλευση με την μέθοδο της VCR ανέρχεται σε 10000 με 50000 τόνους. Αυτά τα μικρότερα μέτωπα της VCR είναι συνήθως οριακά επιτυχής, ωστόσο επιτακτικός έλεγχος σε κάθε φάση είναι απαραίτητος.

Η μεταλλευτική μέθοδος VCR έχει εξελιχθεί στην πιο παραγωγική μέθοδο εξόρυξης που εφαρμόστηκε στο μεταλλείο Homestake. Απευθείας εξόρυξη με την μέθοδο της VCR είχε μια παραγωγικότητα της τάξεως των 35,8 τόνων ανά βάρδια το 1988. Εν σύγκριση, κάτι τέτοιο δείχνει 30,5% υψηλότερη παραγωγικότητα από την προηγούμενη εφαρμοζόμενη μέθοδο των εναλλασσόμενων κοπών και λιθογομώσεων (cut and fill) η οποία έχει μια παραγωγικότητα της τάξεως των 26,9 τόνων ανά βάρδια. Κατά την παρούσα περίοδο 55% της συνολικής μεταλλευτικής παραγωγής γίνεται με την μέθοδο της VCR.

Η παραγωγικότητα τα τελευταία χρόνια στο μεταλλείο Homestake έχει αυξηθεί και σε αυτό έχει παίξει ενεργό ρόλο η μέθοδος VCR. Αξιοσημείωτο είναι το ότι, αυτή η αύξηση στην παραγωγικότητα συνέπεσε με ένα μεγαλύτερο μέσο βάθος εκμετάλλευσης. Παρ' όλα αυτά, η μέθοδος VCR έχει ένα οικονομικό πλεονέκτημα σε σχέση με την μέθοδο των εναλλασσόμενων κοπών και λιθογομώσεων σε ποσοστό περίπου 48% όσον αφορά την απευθείας εξόρυξη. Κάτι τέτοιο αποδίδεται στην υψηλότερη αποδοτικότητα και στον λιγότερο έλεγχο του εδάφους

Στο παρακάτω διάγραμμα αντικατοπτρίζεται η αύξηση αυτή της παραγωγικότητας στο μεταλλείο Homestake, με την είσοδο της μεθόδου VCR.



Productivity per year compared to percentage of tons mined by VCR mining method at Homestake (1986 corresponds with replacement of remaining labor-intensive methods with mechanized cut and fill).

Διάγραμμα 3: Σχέση παραγωγής – μεθόδου εκμετάλλευσης



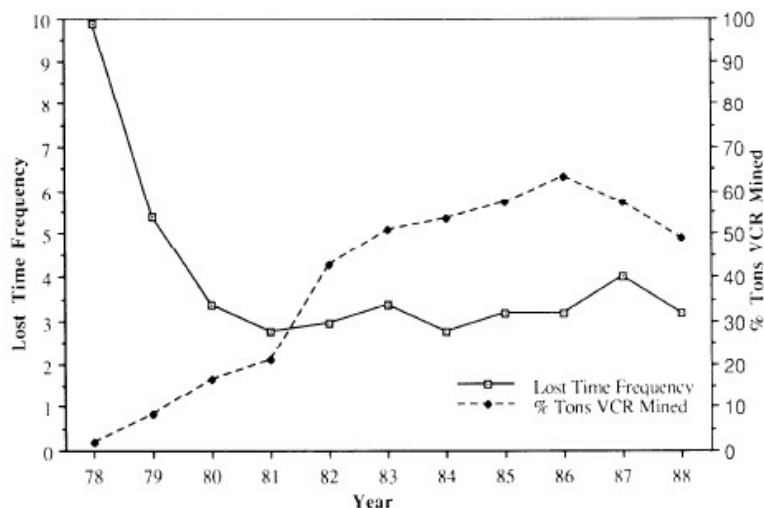
Τέλος, στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται για τις πιο διαδεδομένες μεθόδους υπόγειας εκμετάλλευσης συγκριτικά στοιχεία για την παραγωγικότητα και το κόστος ανά τόνο. Μπορεί η VCR να μην είναι η οικονομικότερη αλλά λόγω όλων των υπόλοιπων πλεονεκτημάτων της να αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή.

Μέθοδοι	Τόνοι/βάρδια/εργαζόμενο	Μέσο κόστος/τόνο
Διαδοχικές κοπές και λιθογομώσεις	12-48	30-45 \$
Θάλαμοι και στύλοι	15-150	12-20 \$
Διαδοχικών ορόφων με κατακρήμνιση οροφής	65-180	15-35 \$
Κατακρήμνιση πατώματος	300-500	8-12 \$
VCR	50-175	10-25 \$

Πίνακας 6: Σύγκριση μεθόδων υπόγειας εκμετάλλευσης

### 11. Ασφάλεια στη VCR

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα στην εκμετάλλευση κοιτασμάτων με τη μέθοδο της VCR είναι η ασφάλεια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ελάχιστα οι εργαζόμενοι εκτίθενται σε χώρο όπου δεν έχει γίνει πρώτα αγκύρωση των βράχων. Στις περισσότερες εκμεταλλεύσεις με VCR, δύο μόνο περιοχές είναι εκείνες που πρέπει να γίνουν συστηματικές ηλώσεις, στην άνω και κάτω διευθυντική στοά. Επίσης, σε σχέση με την μέθοδο διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων (cut and fill) απαιτούνται πολύ λιγότερες ηλώσεις και ο κύκλος της διαδικασίας αυτής μειώνεται μέχρι και 88%. Σε σωστά σχεδιασμένες εκμεταλλεύσεις με τη μέθοδο της VCR έχουμε καλή απορροή των υδάτων, καλή ορατότητα, σταθερό έδαφος, ομαλές γωνίες και καλό αερισμό. Όλα αυτά μαζί οδηγούν σε υψηλότερες παραγωγικότητες αλλά και σε ασφαλέστερες συνθήκες εργασίας.



Frequency of lost-time accidents compared to percentage of tons mined by VCR mining method at Homestake.

Διάγραμμα 4: Ποσότητα των χαμένων εργατωρών σε σχέση με την παραγωγικότητα ανά έτος, (Homestake mine).

Όλα τα περιστατικά όπου έχουμε παροχή ιατρικής φροντίδας και χαμένες εργατώρες λόγω ενός ατυχήματος καταγράφονται και εισάγονται σε βάση δεδομένων. Εφόσον έχουν πια εισαχθεί αρκετές χιλιάδες περιστατικά στο σύστημα, έχει γίνει ένα δυνατό εργαλείο για την παρακολούθηση και έρευνα των ατυχημάτων. Έτσι σύμφωνα με βάση δεδομένων από μεταλλεία του **Ontario** (Καναδάς) είναι σαφές ότι η μετάβαση από μια μέθοδο στη **VCR** μειώνει κατά πολύ τα ατυχήματα που προέρχονταν από εργασίες δευτερογενούς θραύσης, καθότι πολύ λιγότερος χρόνος δαπανάται για μια τέτοια εργασία.

Η μέθοδος είναι πολύ εκμηχανισμένη, γεγονός που συμβάλλει πολύ στο να επιτυγχάνεται μεγάλη παραγωγικότητα και υψηλά επίπεδα ασφάλειας. Αφού οι εργαζόμενοι τον περισσότερο χρόνο της εργασίας τους πρέπει να βρίσκονται στην άνω διεθυντική στοά, η περιοχή αυτή είναι πολύ καλά υποστηριγμένη με αγκύρια, παρακολουθείται, ενώ τα τοιχώματα της στοάς μπορεί και να βάζονται σε λευκό χρώμα για την αύξηση της φωτεινότητας. Μόνιμος φωτισμός τοποθετείται στις θέσεις αυτές και αδιαμφισβήτητα είναι ένας παράγοντας που βοηθά στην αποφυγή των ατυχημάτων.

Τέλος, οι ανατινάξεις γίνονται με τηλεχειρισμό, από μεγάλη απόσταση και πριν συνεχιστούν οι εργασίες στο μεταλλείο γίνεται απαραίτητος έλεγχος της σύστασης των αερίων. Οι μεγάλοι χρόνοι επιβράδυνσης μεταξύ των γομωμένων διατορημάτων αποφεύγονται όπου αυτό είναι δυνατό, καθότι θα είχαμε δυο ξεχωριστές ανατινάξεις να συμβαίνουν πολύ κοντά η μια στην άλλη.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ V.C.R.**

### **A: ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

#### **1. Ιστορική αναδρομή**

Από αρχαιότατων χρόνων η ιστορία της μεταλλευτικής ξεκινά ταυτόχρονα ή σχεδόν ταυτόχρονα με την ιστορία της γεωργίας. Από την στιγμή που ο άνθρωπος χρειάστηκε εργαλεία, στράφηκε προς την γη για να βρει τις κατάλληλες πέτρες που θα χρησιμοποιούσε είτε για μύτες στα βέλη του είτε για να αλέσει το σιτάρι. Με την ανακάλυψη αυτοφυών μετάλλων, όπως ο χαλκός, ο χρυσός και ο άργυρος, ο άνθρωπος πέρασε από την λίθινη εποχή στην εποχή των μετάλλων. Από το 5000 π.Χ. περίπου αρχίζει η Εποχή του Χαλκού και ακολουθεί η Εποχή του Σιδήρου (1500 π.Χ. έως 1780 μ.Χ. περίπου), η Βιομηχανική Επανάσταση (ή «Εποχή του Χάλυβα»: 1780–1945) και η Πυρηνική Εποχή (1945 έως σήμερα).

Πολλά σημαντικά σημεία στην ανθρώπινη ιστορία συνδέονται με την αναζήτηση ορυκτών ή την εύρεση νέων μεθόδων χρήσης αυτών των ορυκτών, από το ταξίδι του Μάρκο Πόλο στην Κίνα και την ανακάλυψη του Νέου Κόσμου τον 16ο αι., έως την εποίκηση της Αυστραλίας και τον Πυρετό του Χρυσού που έφερε χιλιάδες χρυσοθήρες στο Γιούκον του Καναδά.

Από τις πρώτες πέτρες που χρησιμοποιήθηκαν ως σιαπτικά μέσα, έως και μέχρι τις σύγχρονες μεθόδους εκμετάλλευσης, η παραγωγή αποτελούσε και αποτελεί, την πιο σημαντική και ουσιαστική παράμετρο στην εξόρυξη των πετρωμάτων. Η εξέλιξη στον τρόπο αποκομιδής των πετρωμάτων, από το τότε μέχρι το σήμερα αποτέλεσε μια συνεχή προσπάθεια του ανθρώπου ώστε να βελτιστοποιήσει την αποκοπή των πρώτων υλών με το λιγότερο κόστος. Έτσι, η διαδικασία της παραγωγής μέσα στην εκμετάλλευση και γενικότερα στην μεταλλευτική διαδικασία αποτελούσε και αποτελεί το κριτήριο εκείνο το οποίο, θα καθορίσει την βιωσιμότητα μιας εκμετάλλευσης.

#### **2. Γενικά στοιχεία**

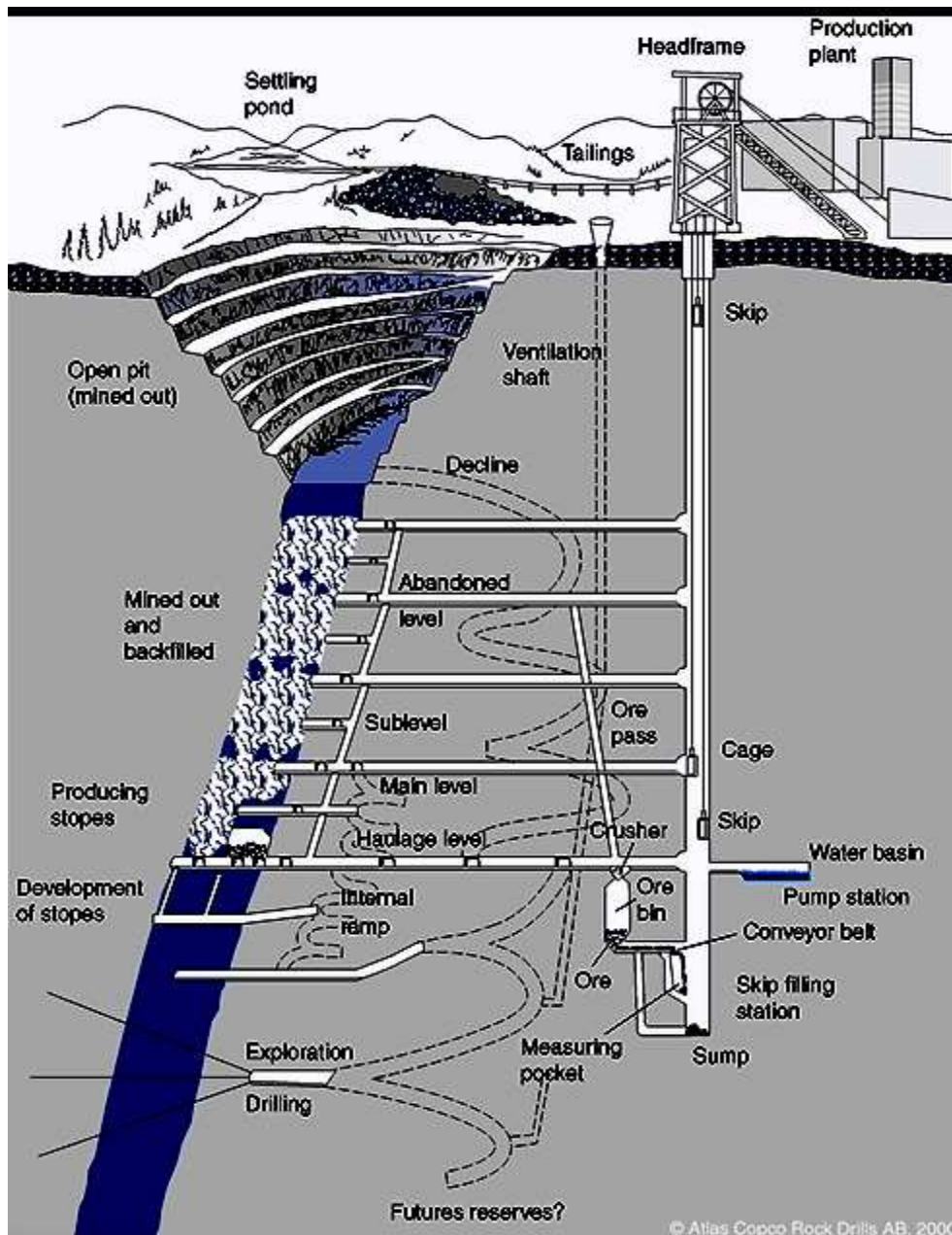
Η Μεταλλεία, μεταλλευτική έρευνα, ξεκινά με την αναζήτηση ενδιαφερόντων γεωλογικών σχηματισμών (πετρωμάτων) που πιθανώς περιέχουν κάποιο οικονομικά εκμεταλλεύσιμο ορυκτό. Για πολλούς αιώνες, η αναζήτηση γίνονταν με απλή παρατήρηση — στο πεδίο ή στον γεωλογικό χάρτη — πετρωμάτων που μοιάζουν να είναι κοιτάσματα ή που μοιάζουν να κρύβουν κάποιο κοιτάσμα.

Σήμερα, η αναζήτηση γίνεται με σύγχρονες γεωφυσικές μεθόδους, δηλ. με την εξέταση ανωμαλιών σε φυσικές ιδιότητες γεωλογικών σωμάτων, όπως π.χ. παράξενες μεταβολές στο βαρυτικό πεδίο της γης, στο γεωμαγνητικό πεδίο της γης, στην ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων, στην ταχύτητα διάδοσης σεισμικών κυμάτων, κ.λπ. Η γεωφυσική έρευνα γίνεται με μέσα όπως αεροπλάνα, ελικόπτερα, ειδικά γεωτρύπανα, ελεγχόμενες εκρήξεις και σειсмоγράφους. Η γεωφυσική έρευνα συμπληρώνεται από την γεωχημική έρευνα κατά την οποία αναζητούνται ανωμαλίες στην συγκέντρωση και κατανομή ιχνοστοιχείων στα εδάφη και τα νερά.

Η μεταλλευτική έρευνα μεγαλώνει σε έκταση και ένταση όταν βρεθεί ένας ενδιαφέρον γεωλογικός σχηματισμός. Κατά την φάση αυτή, γίνονται γεωτρήσεις για την λήψη δειγμάτων και την αποτίμηση των αποθεμάτων. Οι γεωτρήσεις γίνονται με ειδικά γεωτρύπανα που είναι κατάλληλα για συγκεκριμένη κατηγορία κοιτασμάτων. Π.χ. άλλα γεωτρύπανα χρησιμοποιούνται για την έρευνα σε σκληρά πετρώματα και άλλα γεωτρύπανα χρησιμοποιούνται για την έρευνα σε προσχωματικά κοιτάσματα. Οι γεωτρήσεις γίνονται σε συγκεκριμένο χωρικό πλαίσιο έτσι ώστε η δειγματοληψία να είναι όσο το δυνατό πιο ομοιόμορφη. Δείγματα επίσης λαμβάνονται και με όρυξη αυλακών, στοών, κ.λπ.

Τα δείγματα, που συχνά έχουν κυλινδρική μορφή και αποκαλούνται «ιαρότα», αναλύονται για να γίνει η εκτίμηση των αποθεμάτων του κοιτάσματος. Ειδικές μέθοδοι γεωστατιστικής επιτρέπουν την εκτίμηση της χωρικής κατανομής των αποθεμάτων. Ανάλογα με το στατιστικό σφάλμα της εκτίμησης, τα αποθέματα ταξινομούνται σε βέβαια, πιθανά, ενδεικτικά, κ.λπ. Με βάση τα εκτιμηθέντα αποθέματα, γίνεται μελέτη σκοπιμότητας, που περιλαμβάνει προκαταρκτική τεχνική ανάλυση για τον τρόπο και τον χρόνο της εξόρυξης, εκτίμηση της οικονομικής απόδοσης της εξόρυξης και μία πρώτη αποτίμηση του επιχειρηματικού κινδύνου.

Για την εξόρυξη μεταλλεύματος από το υπέδαφος (ή βιομηχανικού ορυκτού ή διακοσμητικού πετρώματος) πρέπει να κατασκευαστούν υπόγεια προσπέλασης προς τη ζώνη μεταλλοφορίας, έργα ανάπτυξης και εξόφλησης για την απόσπαση του μεταλλεύματος και έργα μεταφοράς αυτού στην επιφάνεια. Χρειάζονται εισαφές διαφόρων γεωμετριών, μεγεθών, προσανατολισμών και λειτουργιών για την υποστήριξη της σειράς των εργασιών που αποτελούν όλη τη μεταλλευτική διαδικασία. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως μια τυπική σχηματική αναπαράσταση μιας υπόγειας εκμετάλλευσης παρουσιάζεται στην εικόνα 26.



Εικόνα 26: Παρουσίαση έργων έρευνας, προσπέλασης, ανάπτυξης και εξόφλησης υπόγειας εκμετάλλευσης με τις αντίστοιχες ονομασίες τους με αγγλική ορολογία.

Σ' αυτό το σχήμα μπορούν να διακριθούν τρεις τύποι εκσκαφών, ήτοι:

- Τα μέτωπα
- Τα έργα προσπέλασης προς τα μέτωπα ή έργα ανάπτυξης
- Τα μόνιμα έργα προσπέλασης

Ανεξαρτήτως της εφαρμοζόμενης μεθόδου εκμετάλλευσης ενός κοιτάσματος, υπάρχουν πολλές ομοιότητες μεταξύ των λειτουργιών και των απαιτούμενων γεωμηχανικών συμπεριφορών των διαφόρων μη παραγωγικών εσκαφών.

Το μέτωπο είναι το τμήμα εκείνο της εκμετάλλευσης που λαμβάνει χώρα η εξόρυξη και η παραγωγή μεταλλεύματος από ένα κοιτάσμα. Το σύστημα των μετώπων που διαμορφώνεται κατά την εξόρυξη του μεταλλεύματος συνήθως αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο όγκο (μέγεθος) των εσκαφών που θα δημιουργηθεί κατά τη διάρκεια μιας εκμετάλλευσης. Ο πυρήνας της μεταλλευτικής διαδικασίας βρίσκεται στη διάνοιξη των μετώπων, την απόσπαση του μεταλλεύματος από τη φυσική του θέση και την απομάκρυνσή του από αυτά. Είναι προφανές ότι ο έλεγχος της γεωμηχανικής συμπεριφοράς του κοιτάσματος και των περιβαλλόντων στείων πετρωμάτων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα στην αποδοτική γεωμηχανική και οικονομική συμπεριφορά ενός εκάστου των μετώπων, αλλά και του συστήματος εκμετάλλευσης συνολικά.

Το ότι το μέγεθος των μετώπων είναι σημαντικό σημαίνει ότι η ζώνη επιρροής των είναι μεγάλη σε σχέση με όλους τους άλλους τύπους εσκαφών. Επομένως ο ρόλος σχεδιασμού των μετώπων είναι σημαντικός επί του σχεδιασμού και της λειτουργικότητας των άλλων εσκαφών που υποστηρίζουν μια μεταλλευτική δραστηριότητα.

Ο δεύτερος τύπος μεταλλευτικών εσκαφών είναι τα έργα ανάπτυξης. Αυτά μπορεί να είναι ράμπες, λούκια μεταλλεύματος, εγκάρσιες στοές, κεκλιμένα αερισμού, μεταφορές υλικών και προσωπικού, χοάνες, στοές υποσκαφής κ.ά. Αυτές οι εσκαφές ορύσσονται είτε εντός του μεταλλεύματος είτε στο περιβάλλον στείο πετρωμα.

Η λειτουργική ζωή αυτών των υπογείων έργων είναι περίπου ίση μ' αυτή των παραγωγικών μετώπων. Λόγου χάριν οι διευθυντικές στοές που διαιρούν τμήμα κοιτάσματος σε υποορόφους «καταναλώνονται» κατά την εξόφληση του κοιτάσματος. Η τοποθεσία των έργων ανάπτυξης στη ζώνη γεωμηχανικής επιρροής των παραγωγικών μετώπων ή διαφορετικά η περιοχή πέριξ των μετώπων και των σχετιζόμενων μ' αυτά έργων ανάπτυξης μπορεί να προκαλέσει αντίξοες εντατικοπαραμορφωσιακές τοπικές συνθήκες στη μάζα του πετρώματος με προφανή αρνητικά αποτελέσματα στην ασφάλεια των εργαζομένων και του μηχανολογικού εξοπλισμού του μεταλλείου.

Με σκοπό την αποφυγή τέτοιων φαινομένων είναι αναγκαία:

A) Η κατανόηση των αιτών της αστάθειας της βραχομάζας και

B) Η λήψη κατάλληλων σχεδιαστικών μέτρων για την εξάλειψη ή ελαχιστοποίηση τέτοιων προβλημάτων με προφανή αρνητικά αποτελέσματα στην ασφάλεια των εργαζομένων και του μηχανολογικού εξοπλισμού του μεταλλείου. Επιπροσθέτως,

λόγω της αραιώσης του μεταλλεύματος εξαιτίας κατάπτωσης τμημάτων της μάζας του περιβάλλοντος πετρώματος(λ.χ. ογκοτεμαχίων, οροφής κ.λ.π.) μπορεί να μειωθεί η οικονομικότητα της εκμετάλλευσης.

Γι' αυτό το σκοπό ο σχεδιασμός αυτών των έργων προϋποθέτει λεπτομερή γεωτεχνική μελέτη της διαταραχής του εντατικού πεδίου στο περιβάλλον πέτρωμα λόγω της εξόρυξης των μετώπων σε αυτό. Για τον σκοπό της απρόσκοπτης και ασφαλούς λειτουργίας των έργων αυτών χρειάζεται να ληφθεί υπόψη α) η γεωμετρία των μετώπων, β) η θέση των μετώπων, γ) η ενδεχόμενη υποστήριξη των έργων ανάπτυξης πέριξ των μετώπων, δ) οι γεωμηχανικές ιδιότητες των περιβαλλόντων πετρωμάτων, ε) η παρουσία νερού, κ.λπ.

### **Από την μέθοδο διαδοχικών ορόφων με κενά μέτωπα στη V.C.R**

Η μέθοδος της εκμετάλλευσης σε υπόγεια ορυχεία-μεταλλεία εξαρτάται κυρίως από το είδος του κοιτάσματος λ.χ. συμμετρικό ή ασύμμετρο. Από το βάθος και το πάχος που έχει το κοιτάσμα. Τη φύση της οροφής και του πατώματος στο οποίο θα γίνει εκμετάλλευση. Επίσης, η μέθοδος εξόρυξης σε υπόγειες εκμεταλλεύσεις, εξαρτάται από το απαιτούμενο επίπεδο παραγωγής που πρέπει να επιτευχθεί. Κάτι που επηρεάζει άμεσα τον τύπο του μηχανολογικού εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί, σε σχέση με τη διάνοιξη διατηρημάτων για διαδικασίες κατασκευής ανοίγματος, για εργασίες ανάπτυξης και τέλος για τη διαχείριση και τη μεταφορά του εξορυγμένου υλικού μέσα και έξω από το άνοιγμα.

Η μεγάλη ποικιλία των μεθόδων με ανοίγματα που χρησιμοποιούνται σήμερα για τη διατήρηση υψηλών ρυθμών παραγωγής σε υπόγεια κοιτάσματα, ποικίλει από τη μέθοδο των διαδοχικών υποορόφων ή τη μέθοδο του συμπυκνόμενου μετώπου για μεσαίου και μικρού βάθους κοιτάσματα στη μέθοδο των διαδοχικών κοπών και λιθοδομών για μεγαλύτερου βάθους κοιτάσματα.

Επιτυχημένες προσπάθειες έχουν γίνει ώστε να επεκταθούν οι φτηνότερες μέθοδοι με ανοίγματα χωρίς υποστήριξη, ειδικά αυτή των διαδοχικών υποορόφων, σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερα βάθη με την εισαγωγή της τεχνολογίας της ελεγχόμενης καθίζησης των τοίχων. Με την εφαρμογή των προσφάτων εξελίξεων στη διάτρηση, στην ανατίναξη και στα ανοίγματα, κατέστη δυνατή η επίτευξη μεγίστων τεχνο-οικονομικών συνθηκών στη διαδικασία της εκμετάλλευσης.

Η μέθοδος των διαδοχικών υποορόφων με κενά μέτωπα αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές μεθόδους στην επιλογή για επίτευξη υψηλού επιπέδου-ποσοστού παραγωγής στα υπόγεια μεταλλεία. Αποτελεί μία ανάστροφη κατακόρυφου ανοίγματος μέθοδο που χρησιμοποιεί μεγάλα διατηρήματα και ανατινάξεις τα οποία

εκτελούνται και κατασκευάζονται στους υποορόφους για το σπάσιμο του πετρώματος.

Σε σύγκριση με άλλες μεθόδους ανοιγμάτων αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί μειωμένη προσωρινή υποστήριξη, λιγότερο ανθρώπινο προσωπικό κοντά στα ανοιγματομέτωπα και ως εκ τούτου η μέθοδος καθίσταται πολύ ασφαλέστερη. Αν είναι απαραίτητη η υποστήριξη στον υποόροφο τότε γίνεται από πλέγματα καλώδια και ήλους. Αν τα ανοίγματα είναι αστήρικτα τότε διάφοροι στύλοι αφήνονται μεταξύ αυτών και περιστασιακά μέσα σε αυτά. Το μέταλλευμα ρέει έξω από το άνοιγμα μέσω της βαρύτητας με το συνήθη τρόπο και μεταφέρεται μέχρι το επίπεδο φόρτωσης. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου σε μεταλλεύματα με μεγάλη φλέβα και με ισχυρά τείχη, κατέστησε ικανό το να υιοθετηθούν κατάλληλοι μηχανισμοί για εκσκαφές και ανατινάξεις, πρόληψη της διάλυσης και το χειρισμό και μεταφορά του εξορυγμένου πετρώματος μέσα και έξω από τα ανοίγματα, για την επίτευξη υψηλών ρυθμών παραγωγής.

Η ζήτηση για αύξηση του ποσοστού της παραγωγής που συνοδεύτηκε από βελτίωση στις τεχνικές διάτρησης οδήγησε η χρήση μεγάλου μήκους διατρημάτων για την εξόρυξη πετρωμάτων από υπόγειες εκμεταλλεύσεις.

Αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα έχουν προκύψει από την εισαγωγή των μεγάλου μήκους και απόλυτης ακρίβειας διατρημάτων στα ανοίγματα. Σήμερα σε όλα τα εργαλεία που χρησιμοποιούν τη μέθοδο των διαδοχικών υποορόφων με κενά μέτωπα, παγκοσμίως χρησιμοποιούνται διατρήματα μεγάλου μήκους. Κάτι που είχε σαν αποτέλεσμα να δημιουργηθούν δραστικές αλλαγές στο σχεδιασμό των ανοιγμάτων σε σύγκριση με τον κλασσικό τύπο της μεθόδου, με αυξανόμενα διαστήματα μεταξύ των υποορόφων, καλύτερη τοποθέτηση του υποορόφου μέσα στο κοίτασμα και βελτιωμένη διαχείριση του εξορυγμένου υλικού. Τέλος, σημαντικό ρόλο έπαιξε η εισαγωγή καινούργιας γενιάς γαλακτωμάτων και ηλεκτρικών πυροκροτητών στην εξέλιξη των συστημάτων ανατίναξης.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να επισημανθεί ότι, τα μεγάλα μήκους διατρήματα, μειώνουν το κόστος διάτρησης ανά τόνο κατακερματισμένου πετρώματος. Επιπλέον, η εργασία των ανατινάξεων είναι ασφαλέστερη φθηνότερη και λιγότερο χρονοβόρα λόγω του μικρότερου αριθμού διατρημάτων, τις ευκολότερης ένωσης και του αποδοτικότερου ελέγχου. Τέλος, τα μεγαλύτερα μήκους διατρήματα και της βελτιωμένης και πιο ακριβής μεθόδου ανατίναξης και την εισαγωγή της νέας γενιάς εκρηκτικών των γαλακτωμάτων, το φορτίο μπορεί να αυξηθεί τόσο αποτελεσματικά που η παράλληλη διάτρηση μπορεί να πραγματοποιηθεί από τους υποορόφους.

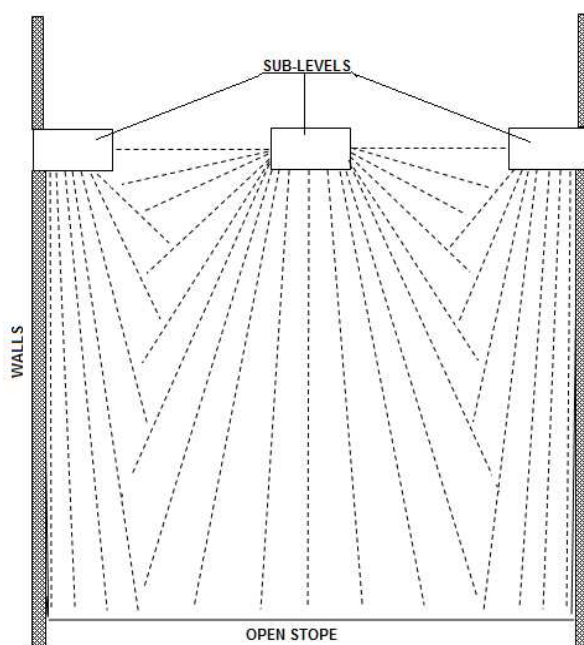
Η πατέντα των μεγάλου μήκους διατρημάτων έχει δύο εκδοχές. Τα παράλληλα διατρήματα και τα διατρήματα τύπου δακτυλίου. Τα παράλληλα διατρήματα προτιμούνται σε πολλά μεταλλεία στο δυτικό κόσμο για καλύτερη κατάτμηση

περισσότερη παραγωγή σε σχέση με τη διάταξη δακτυλίου. Σε διάφορα μεταλλεία στην Αφρικανική ήπειρο η υιοθέτηση των παράλληλων διατρημάτων οδήγησε σε 30% μείωση στα εκρηκτικά και τις διατρήσεις. Κάτι που ως ένα σημείο αντισταθμίζει το επιπλέον κόστος από τη διάτρηση των υποορόφων από τοίχο σε τοίχο.

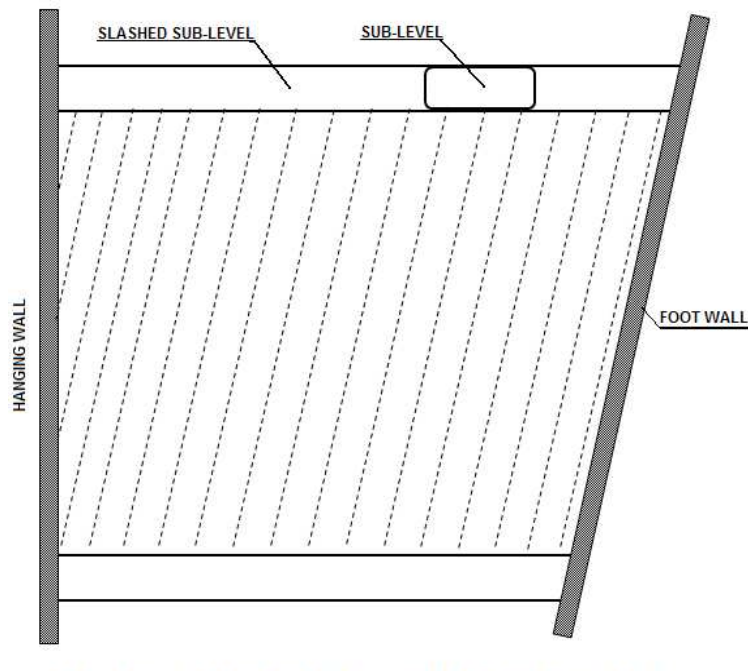
Το μεγάλο μειονέκτημα των παράλληλων διατρημάτων είναι ο μεγάλος χρόνος κατασκευής, λόγω του έξτρα χρόνου που χρειάζεται για τη διάνοιξη των τοίχων. Επιπλέον λιγότερη ασφάλεια παρέχεται στους εργαζομένους λόγω της εργασίας τους δίπλα στους ανοιγμένους τοίχους των υποορόφων. Για αυτούς τους λόγους πολλές εκμεταλλεύσεις τα διατρήματα σε μορφή δακτυλιδιού είναι πιο συνηθισμένα από τα παράλληλα. Τα παρακάτω σχήματα δείχνουν:

Τα διατρήματα τύπου δακτυλίου μπορούν να διανοιχτούν από ένα κεντρικό υποόροφο σε σχετικά στενά ανοίγματα(περίπου 15-20 μέτρα) για να σχηματίσουν 2 ή περισσότερους παράλληλους υποορόφους με μεγαλύτερα ανοίγματα. Αιολογείται σα γενική αρχή να διατρώνονται πολλοί δακτύλιοι διατρημάτων πριν την ανατίναξη, έτσι ώστε η διάτρηση να παίζει πιο ενεργό ρόλο στην εξόρυξη και η ανατίναξη να περιοριστεί μόνο στις δύσκολες περιπτώσεις. Έτσι προκύπτει περισσότερος χρόνος για καθαρισμό από τα αέρια της έκρηξης και τη σκόνη.

Οι οπές των διατρημάτων κατασκευάζονται σχετικά μικρές, με κρουστικά τρυπάνια βράχου τα οποία είναι τοποθετημένα σε μία στήλη με μηχανισμό ανέλιξης, με επέκταση του χαλύβδινου τρυπανιού σε ύψος 25-30 μέτρων.



Εικόνα 27: Διατρήματα σε διάταξη δακτυλίου



Εικόνα 28 :Διατρήματα σε παράλληλη διάταξη

Η απόκλιση όσο αφορά τα διατρήματα αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα, ωστόσο έως κάποια μέτρα είναι πολύ συνηθισμένη. Η επίδραση στην ανατινάξη μπορεί να είναι καταστροφική, καθώς τα διατρήματα σε διάταξη δακτυλίου απαιτούν ακρίβεια για την επίτευξη αποδοτικότερης κατάτμησης. Όμως το πρόβλημα της απόκλισης στη σημερινή εποχή έχει ξεπεραστεί σε μεγάλο βαθμό λόγω της εισαγωγής εξελιγμένων και μεγάλης ακρίβειας μηχανημάτων διάτρησης με τα οποία η απόκλιση είναι ελάχιστη.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, με τη διάτρηση μεγάλου μήκους διατρημάτων, τεχνικές των ανατινάξεων έχουν αναπτυχθεί σημαντικά σε κάτι που έχει συμβάλλει επίσης η αυξανόμενη χρήση της νέας γενιάς εκρηκτικών γαλακτωμάτων και η χρήση των μεγάλης ακρίβειας νονέλ/ηλεκτρικών πυροκροτητών.

Συνεπώς η έναυση των διατρημάτων σε μία διάταξη δακτυλίου χρησιμοποιώντας γόμωση με κατάλληλη χρονική καθυστέρηση, έχουμε την εξασφάλιση καλύτερης κατάτμησης, περιορισμένη δόμηση εδάφους και ευλόγως καλύτερη οικονομική απόδοση. Σε μερικά μεταλλεία που χρησιμοποιείται η διάταξη τύπου δακτυλίου, είναι προσφιλής τακτική να γομώνεται κάθε πέμπτο διάτρημα μέχρι μισό πόδι, κάθε δεύτερο και τέταρτο μέχρι είκοσι πόδια και κάθε τρίτο μέχρι δέκα πόδια.

Το λιγότερο φορτίο σε συνδυασμό με τη μεγαλύτερη απόσταση του πυθμένα κάθε διατρήματος και την καθυστερημένη έναυση από το κέντρο προς τα έξω έχει ως αποτέλεσμα την αποδοτικότερη κατάτμηση. Έτσι όταν και όπου γίνεται σωστή



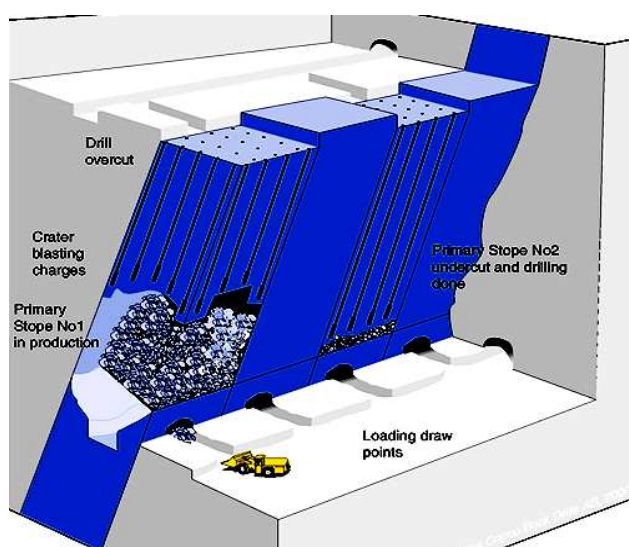
διανομή της γόμωσης με τη χρησιμοποίηση **deck charges** με ενδοδιατρηματικό σύστημα καθυστέρησης, σε αυτές τις περιπτώσεις η κατάτμηση βελτιστοποιείται και οι ανατινάξεις προκαλούν δομήσεις στην επιφάνεια ελαχιστοποιούνται.

Με την έλευση των μεγάλης διαμέτρου(100-200mm) περιστροφικών και ενδοδιατρηματικών κρουστικών τρυπανιών, κατέστη πρακτικό να υιοθετηθεί μία τροποποιημένη εκδοχή της μεθόδου των διαδοχικών υποορόφων με κενά μέτωπα, που χρησιμοποιεί διατρήματα μεγάλου μήκους σε παράλληλη διάταξη.

Η μεγαλύτερη καινοτομία στη **V.C.R.** αποτελεί αυτή της ανατινάξης. Σε αυτή τη μέθοδο, έχουμε την ανατινάξη οριζοντίων κομματιών πετρώματος με σχεδόν σφαιρικές γομώσεις στα χαμηλότερα σημεία του διατρήματος. Η σφαιρική κατανομή των ειρηκτικών αποτελεί την πιο αποτελεσματική κατάσταση όσο αφορά την κατάτμηση και την κατανάλωση ειρηκτικής ύλης. Τα διατρήματα γομώνονται από την αρχική οπή εφόσον έχει σφραγιστεί με τις κατάλληλες σφήνες ο πυθμένας.

Το μέγεθος της γόμωσης είναι γενικά μειωμένο και ακολουθεί τον λόγο μήκους προς διάμετρο χωρίς να ξεπερνά το 6. Κάτι τέτοιο πρακτικά αρκεί ώστε να προσομοιωθεί μία σφαιρική γόμωση.

Όλα τα διατρήματα στο άνοιγμα πυροδοτούνται ταυτόχρονα. Εφόσον το εξορυγμένο πέτρωμα πέσει από το άνοιγμα η επόμενη «φέτα» συνήθως 4-5m πάχους γομώνεται και ανατινάσσεται με τον ίδιο τρόπο. Όπως έχει ήδη αναφερθεί το εξορυγμένο πέτρωμα συλλέγεται από την υποσκαφή, μια διαδικασία που συνήθως έχει ολοκληρωθεί προτού ξεκινήσει η ανατινάξη της επόμενης μέρας. Το μεγάλο επίπεδο αποδοτικότητας και παραγωγής επιτυγχάνεται με τη μέθοδο της **V.C.R.**



Εικόνα 29: Χαρακτηριστική τρισδιάστατη άποψη της μεθόδου VCR.

## **B: Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΚΡΑΤΗΡΑ**

### **1. Γενικά στοιχεία**

Η θεωρία της ανατίναξης είναι ίσως ένα από τα πιο ενδιαφέροντα, απαιτητικά με πολλές προκλήσεις και αντιφατικά κομμάτια της μεταλλευτικής βιομηχανίας. Περιλαμβάνει δομές από πολλές επιστήμες όπως της Χημείας, Φυσικής, Θερμοδυναμικής, Κυματικής και της εδαφομηχανικής.

Σε γενικές γραμμές η εξόρυξη πετρωμάτων με εκρηκτικά και συνεπώς η ανατινάξεις αποτελούνται από τη δράση ενός εκρηκτικού και την αντίδραση του προς εξόρυξη πετρώματος, σε συνάρτηση με τις παραμέτρους της ενέργειας, του χρόνου και της μάζας.

Παρά τη σημαντική έρευνα που έχει γίνει τις τελευταίες δεκαετίες, καμία θεωρία ανατίναξης δεν έχει αναπτυχθεί ώστε να επεξηγεί και συνδυάζει επαρκώς τους μηχανισμούς αποκοπής του πετρώματος με τις συνθήκες ανατίναξης και τον τύπο των υλικών που χρησιμοποιούνται για αυτήν.

Μέσα από πειραματισμούς κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες σε ελεγχόμενο περιβάλλον, μεμονωμένοι ερευνητές έχουν συνεισφέρει πληροφορίες και μια γενικότερη εικόνα, όσο αφορά τις θεωρίες ανατινάξεων, ωστόσο όλες αυτές οι προσπάθειες απέχουν κατά πολύ ώστε να βρεθεί ένα μοντέλο που θα δίνει τη μέγιστη αποκοπή στο πέτρωμα

Στη σημερινή εποχή δεν έχει βρεθεί ως τώρα μια συμπαγής και ευρέως εφαρμοζόμενη θεωρία για ανατινάξεις. Αντ' αυτού υπάρχει ένας περιορισμένος αριθμός μη συνδεδεμένων θεωριών, πολλές από τις οποίες είναι τυπικά εμπειρικές στη φύση και βασίζονται σε ιδανικές συνθήκες ανατίναξης.

Οι θεωρίες γύρω από την ανατίναξη βασίζονται σε καθαρές εικασίες, χρόνια εμπειριών με κάθε πιθανότητα λάθους, καθώς επίσης σε εργαστηριακές δοκιμές,, επιτόπου μετρήσεις και μαθηματικά και φυσικά μοντέλα από άλλες επιστήμες.

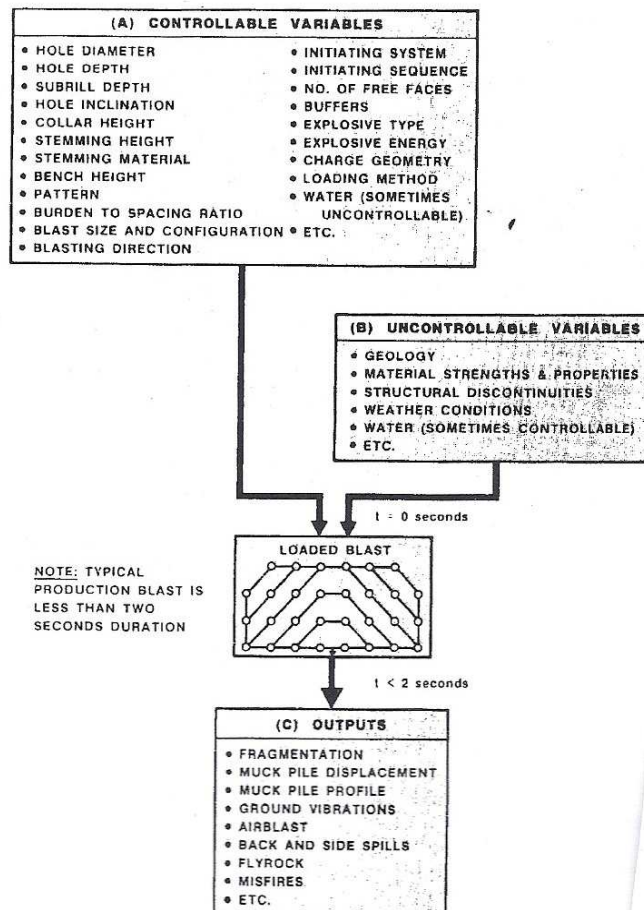
Οι κύριοι μηχανισμοί αποκοπής του πετρώματος βασίζονται σε:

- A) Διατμητικές και εφελκυστικές τάσεις που προκαλούν τα κύματα ενέργειας.
- B) Αντανάκλασεις των σεισμικών κυμάτων σε ελεύθερο μέτωπο.
- Γ) Πιέσεις που προκαλούν τα αέρια της ανατίναξης στα περιβάλλοντα πετρώματα
- Δ) Καμπτική διάρρηξη
- E) Εγκάρσια κύματα
- Στ) Απελευθέρωση του φορτίου
- Z) Συχνότητα των ραγισμάτων και των ασυνεχειών του πετρώματος
- H) Συγκρούσεις των εξορυγμένων τεμαχίων στον αέρα.

Η αλήθεια έγκειται στο ότι υπάρχουν πολλές διαφορετικές αντιλήψεις γύρω από τη θεωρία ανατινάξεων. Επομένως, η επιλογή μίας συγκεκριμένης θεωρίας-τεχνικής

ανατίναξης μέσα από τις επιτόπου συνθήκες που επικρατούν σε μία εκμετάλλευση σε συνδυασμό με τις παραμέτρους που έχει κάθε τεχνική, και συνιστούν μία δύσκολη υπόθεση. Όταν μία τεχνική-θεωρία είναι επιτυχής σε ένα περιβάλλον ή σε μία διεργασία, το πιο πιθανόν είναι ότι θα είναι λιγότερο αποδοτική σε κάποιο άλλο.

Στον παρακάτω πίνακα-υπόδειγμα αναφέρονται οι παράμετροι κάθε τεχνικής που μπορούν να ελεγχτούν και οι επιτόπου συνθήκες που συναντώνται στο φυσικό περιβάλλον της εκμετάλλευσης.



Εικόνα 30: Υπόδειγμα τομέα που παρουσιάζει τις μεταβλητές και τα αποτελέσματα σε έναν σχεδιασμό ανατίναξης.

## 2. Χρονικά τμήματα της διαδικασίας ανατίναξης

Υπάρχουν βασικά τέσσερα χρονικά πλαίσια , που χαρακτηρίζονται ως T1 έως T4, στα οποία η ρήξη και η μετατόπιση του υλικού συμβαίνουν κατά τη διάρκεια και μετά την ολοκληρωμένη εκपुरσοκρότηση μιας περιορισμένης γόμωσης.

Τα χρονικά πλαίσια χαρακτηρίζονται ως εξής:

- T1- εκपुरσοκρότηση
- T2-διάδοση ωστικών και διατμητικών κυμάτων
- T3-εξάπλωση της πίεσης του αερίου
- T4-κίνηση μάζας

### 2.1 T1 Εκपुरσοκροτησή-Εκρηξη

Η εκपुरσοκρότηση είναι η αρχική φάση της διαδικασίας κατακερματισμού του πετρώματος. Εάν τα συστατικά του εκρηκτικού αποτελούν συνδυασμό καυσίμων και οξειδωτικού, κατά την έκρηξη μετατρέπεται αμέσως σε αέρια υψηλής πίεσης και υψηλής θερμοκρασίας των αερίων. Οι πιέσεις πίσω από το μέτωπο της έκρηξης διακυμαίνονται μεταξύ των 9 έως 275 kbar με εύρος θερμοκρασίας από περίπου 3000–7000F.

Η πίεση της έκρηξης γενικά εκφράζεται ως συνάρτηση της ταχύτητας της έκρηξης και της πυκνότητας των εκρηκτικών υλών.

Σε γενικές γραμμές, τα εκρηκτικά που παράγουν υψηλότερες πιέσεις έκρηξης απαιτούνται για την θραύση υλικών που έχουν μαζική λεπτή υφή, είναι σκληρά, σφιχτά συνδεδεμένα και έντονα ενοποιημένα με ισχυρούς δεσμούς

Τα κύματα της έκρηξης ξεκινούν με την αρχική έναυση έναρξη διαδικασίας στην εκρηκτική στήλη και ταξιδεύουν με υπερηχητικές ταχύτητες. Υπερηχητικός αναφέρεται σε ταχύτητες που ταξιδεύουν πιο γρήγορα από την ταχύτητα του ήχου μέσα στο εκρηκτικό. Οι τυπικές ταχύτητες της εκपुरσοκρότησης για τα εμπορικά εκρηκτικά έχουν εύρος 8000 - 26000 ft / sec. Αυτή η ταχύτητα, μερικές φορές αναφέρεται και σαν σταθερή ταχύτητα κατάστασης, παραμένει αρκετά σταθερή για ένα συγκεκριμένο εκρηκτικό, αλλά διαφέρει από το ένα εκρηκτικό στο άλλο, εξαρτώμενη κυρίως από τη σύνθεση, το μέγεθος μορίου καθώς και τη πυκνότητα του εκρηκτικού. Σε μικρότερο βαθμό, η σταθερή ταχύτητα κατάστασης επηρεάζεται επίσης από το βαθμό του περιορισμού και τη διάμετρο του εκρηκτικού.

Από τη στιγμή που η ταχύτητα της έκρηξης είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα του ήχου μέσα στο εκρηκτικό, η εκρηκτική ύλη που βρίσκεται ακριβώς μπροστά από την κεφαλή της εκपुरσοκρότησης μένει εντελώς ανεπηρέαστη μέχρι η έκρηξη να περάσει μέσα από αυτή .. Σε μία τυπική εκρηκτική στήλη 30 ft η οποία έχει γομωθεί με την εκρηκτική ύλη που έχει χαρακτηριστική ταχύτητα έκρηξης της τάξεως των 10000 ft / sec, η πλήρη έκρηξη και η αποδέσμευση της ενέργειας στο σύνολο της στήλης, θα

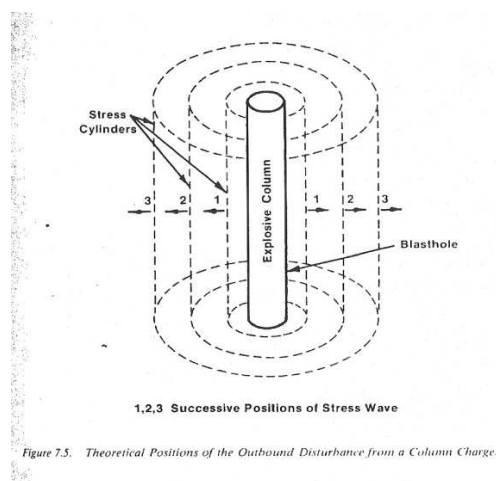
πραγματοποιηθούν σε περίπου 3 msec. Για μια ειρηνική ύλη, με ταχύτητα έκρηξης της τάξεως των 20000 ft / sec, η έκρηξη και η απελευθέρωση ενέργειας θα ολοκληρωθούν σε 1,5 msec. Εκτονώσεις αυτού του είδους είναι άταρτες κάτι που οφείλεται στην αδράνεια των εκρηκτικών που παρέχουν περιορισμούς ικανούς για την γρήγορη αντίδραση των χημικών ουσιών.

## 2.2 T2 Διάδοση κυμάτων

Η δεύτερη φάση, αμέσως μετά έκρηξη ή σε συνδυασμό με την διαδικασία της εκπυρσοκρότησης, είναι η διάδοση των ωστικών και των κυμάτων τάσης σε όλη την μάζα του πετρώματος. Αυτή η διαταραχή ή τα εκπεμπόμενα κύματα πίεσης που μεταδίδονται μέσω της βραχώδους μάζας καταλήγουν, εν μέρει, μέσω της ταχέως αναπτυσσόμενης υψηλής πίεσης των αερίων που δημιουργούνται να επηρεάζουν το προς εξόρυξη πέτρωμα.

Η γεωμετρία της διασποράς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η τοποθεσία του σημείου έναυσης, η ταχύτητα της έκρηξης, και η ταχύτητα του πιεστικού κύματος στο βράχο, κλπ. Σε γενικές γραμμές, η γεωμετρία της διάδοσης των κυμάτων πίεσης από το σχήμα της γόμωσης. Αριθμοί 7,5 και 7,6 δίνουν συγκεκριμένα παραδείγματα για δύο μόνο από τις πολλές πιθανές διαμορφώσεις.

Εάν η γόμωση είναι μικρού μήκους, με λόγο μήκους προς διάμετρο μικρότερη ή ίση με 6: 1, τότε η διαταραχή διαδίδεται με τη μορφή μιας επεκτεινόμενης σφαιρικής. Εάν η γόμωση είναι μεγάλου μήκους, με λόγο μήκους προς διάμετρο μεγαλύτερη από 6: 1, τότε η διαταραχή διαδίδεται με τη μορφή ενός επεκτεινόμενου κυλίνδρου (Εικόνα 31).



Εικόνα 31: θεωρητικές θέσεις μιας εξερχόμενης διαταραχής από μια στήλη γόμωσης.

Αυτό προϋποθέτει ότι η ταχύτητα έκρηξης είναι πολύ μεγαλύτερη από ό, τι η ταχύτητα του ελαστικού κύματος της βραχώδης μάζας. Εντούτοις, σε μια τυπική, με

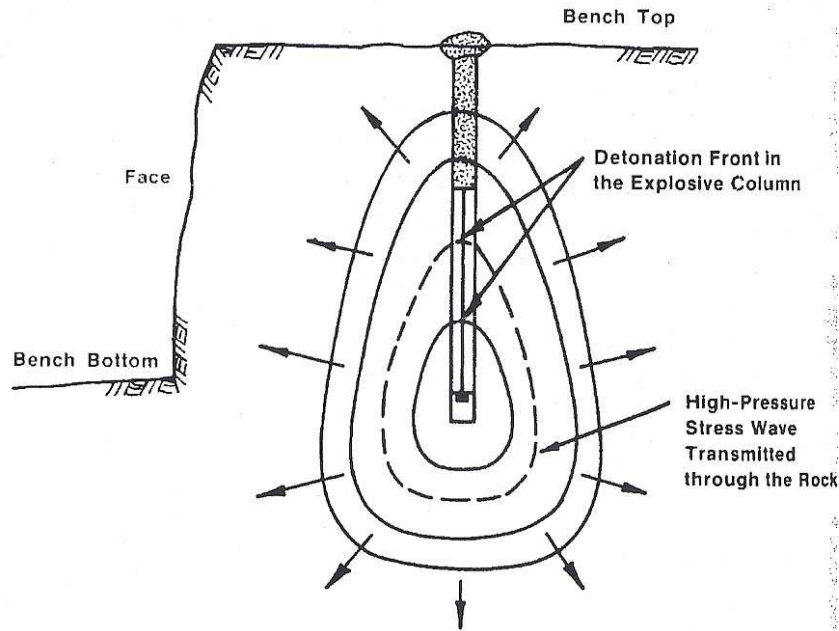
προεγχυσή βυθού, κυλινδρικό μικρού μήκους διατρήματος που αντιμετωπίζουν συνήθως σε ανατινάξεις με βαθμίδες, τα θλιπτικά κύματα που αρχικά δημιουργήθηκαν κοντά στο σημείο έναυσης της ανατινάξης είναι ήδη σε διάδοση και πολλαπλασιασμό στο περιβάλλον μέσο, ενώ η έκρηξη ακόμα προχωρεί στο πλαίσιο της ειρηνικής στήλης. Για αυτόν το λόγο, δίπλα από το διάτρημα, το πλάνο διάδοσης των θλιπτικών κυμάτων δεν είναι ούτε απόλυτα σφαιρικό ούτε κυλινδρικό, αλλά περισσότερο όπως φαίνεται στο σχήμα.

Η πίεση δίπλα από το διάτρημα θα αυξηθεί πολύ γρήγορα, μέχρι την μέγιστη τιμή της και τότε γρήγορα αποσβένεται εκθετικά. Η γρήγορη φθορά οφείλεται στην επέκταση της κοιλότητας του διατρήματος και την αύξηση της ψύξη των αερίων τα έκρηξης.

Η επέκταση της κοιλότητας γύρω από το διαμέτρημα που μπορεί να προκύψει μέσα από τη σύνθλιψη, κωνιορτοποίηση ή / και μετατόπιση του υλικού, και μπορεί να κυμανθεί ανάλογα από περίπου 1 έως 3 διαμέτρους (διατρήματος), εξαρτώμενη από το μέσο και τα ειρηνικά που χρησιμοποιούνται. Γενικά, εκτεταμένη θλίψη, διάτμητική και εφελκυστική αστοχία συμβαίνουν σε περιοχές του κωνιορτοποιημένου υλικού όταν η ενέργεια κυμάτων είναι μέγιστη κοντά στον τοίχο του διατρήματος.

Καθώς το μέτωπο των εντατικών κυμάτων προχωρεί προς τα έξω, έχει μια τάση για τη συμπίεση του υλικού στο μέτωπο των κυμάτων με την μεταβολή του όγκου. Σε ορθή γωνία με το μέτωπο των θλιπτικών κυμάτων, υπάρχει ένα άλλο στοιχείο που αναφέρεται ως η εφαπτόμενη ή θλιπτικό "στεφάνι". Η εφαπτόμενη πίεση, εάν είναι αρκετά μεγάλη, μπορεί να προκαλέσει αστοχίες σε εφελκυσμού καθέτως προς την κατεύθυνση της διάδοσης. Οι μεγαλύτερες σε έκταση αστοχίες σε εφελκυσμό αναμένεται να εμφανιστούν κοντά στο τοίχο του διατρήματος του εφαπτομενική πίεση είναι αρκετά υψηλή, ώστε να εμφανιστεί αστοχία. Τόσο οι θλιπτικές όσο και οι εφελκυστικές τάσεις των εντατικών κυμάτων, φθίνουν όσο η απόσταση από το διάτρημα μεγαλώνει.

Όταν το θλιπτικό μέτωπο των κυμάτων συναντήσει μια ασυνέχεια ή διεπαφή στο εσωτερικό του πετρώματος, μέρος της ενέργειας μεταφέρεται σε όλη την έκταση της ασυνέχεια και κάποιο μέρος αντανάκλαται πίσω, στο σημείο προέλευσής του. Για το μεγαλύτερο μέρος, η μεταβλητότητα της ενέργειας, εξαρτάται από το την αναλογία της ακουστικής αντίστασης των υλικών, εκατέρωθεν των πλευρών της διεπαφής, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 32.



Εικόνα 32: Διάδοση εντατικού κύματος

Ακουστική αντίσταση.  $Z$ . για κάθε υλικό που ορίζεται ως εξής:

$$Z = \rho \times V_e \text{ όπου}$$

$Z$  = ακουστική αντίσταση

$\rho$  = πυκνότητα

$V_e$  = ταχύτητα του ήχου στο υλικό

Σε συνάρτηση με την εικόνα 7, όπου ο λόγος της ακουστικής αντίστασης του υλικού 1 προς το υλικό 2 είναι μικρότερος από 1, ορισμένη από την κυματική ενέργεια μεταφέρεται στο υλικό 2 και ορισμένη αντανακλάται πίσω, αλλά και τα δύο κύματα παραμένουν θλιπτικά. Όταν ο λόγος της ακουστικής αντίστασης είναι 1, το σύνολο της ενέργειας μεταφέρεται στο υλικό 2 και κανένα αντανακλώμενο κύμα δεν εμφανίζεται.

Όταν ο λόγος αντίστασης είναι μεγαλύτερος από 1, τότε μέρος της ενέργειας μεταφέρεται στο υλικό 2, σαν θλιπτικό κύμα και το υπόλοιπο της ενέργειας αντανακλάται στη διεπαφή ως εφελκυστικό κύμα.

Όταν ένα θλιπτικό κύμα ταξιδεύει μέσα από βράχο συναντά μια διεπαφή όπως ένα ελεύθερο μέτωπο, σχεδόν όλη η ενέργεια αντανακλάται πίσω ως εφελκυστικό κύμα. Αν η απόσταση των προανών μεταξύ του ελεύθερου μετώπου και της εκρηκτική στήλη είναι σχετικά μικρή σε αντίθεση με τα κανονικά προνή για ένα επιλεγμένο εκρηκτικό,

τότε το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που καταναλώνεται στην θραύσεις που δημιουργούνται στο ελεύθερο μέτωπο.

Η αλληλεπίδραση των εντατικών κυμάτων στην απερχόμενη θλίψη και οι τρόποι που αντανακλώνται τα εφελκυστικά κύματα γύρω από ασυνέχειες και τις ρωγμές στο εσωτερικό της βραχομάζας είναι μια περιοχή έντονης έρευνας που θεωρείται ότι είναι αρκετά σημαντική σε ορισμένες από τις νεώτερες θεωρίες ανατίναξης.

### 2.3 T3 Πίεση αερίων

Κατά τη διάρκεια και /ή μετά την διάδοση των εντατικών κυμάτων, τα υψηλής πίεσης και υψηλής θερμοκρασίας αέρια προσδίδουν ένα εντατικό πεδίο γύρω από το διάτρημα. Κάτι τέτοιο είναι ικανό να επεκτείνει την αρχική διατομή του διατρήματος, να επεκτείνει τις ακτινωτές ρωγμές, και ωθηθεί σε κάθε ασυνέχεια. Είναι κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, όπου κάποια διαμάχη υπάρχει πάνω από το κύριο μηχανισμό του κατακερματισμού του πετρώματος.

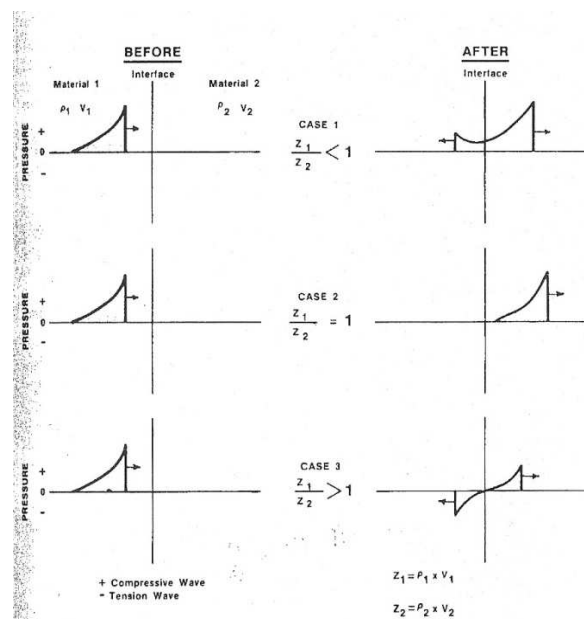


Figure 7.7. Interaction of Stress Waves at an Interface.

Εικόνα 33: Αλληλεπίδραση των εντατικών κυμάτων σε μια διεπαφή.

Μερικοί πιστεύουν ότι το δίκτυο κατάτμησης στην έκταση της βραχώδους μάζας έχει ολοκληρωθεί, ενώ άλλοι πιστεύουν ότι η μεγάλη διαδικασία της διάρρηξη έχει μόλις αρχίζει. Σε κάθε περίπτωση είναι τα αέρια που έχουν συμπυκνεί μέσα στις ασυνέχειες και το δίκτυο κατάτμησης έχουν αναπτυχθεί πλήρως ή που είναι κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, μαζί την ορμή που μεταδίδεται στο υλικό από την έκρηξη. που είναι υπεύθυνες για τον εκτοπισμό του κατακερματισμένου υλικού.



Εάν και δεν είναι πλήρως σαφές το πως ακριβώς κινούνται τα αέρια εντός της βραχώδους μάζας, ωστόσο θεωρείται ότι λαμβάνουν πάντα το δρόμο της μικρότερης αντίστασης. Κάτι τέτοιο σημαίνει ότι τα αέρια θα διαδοθούν αρχικά στις υπάρχουσες ρωγμές, τις αρθρώσεις, τις αστοχίες και τις ασυνέχειες. Επί προσθέτως η διάδοση γίνεται σε σημεία σύνδεσης των υλικών που παρουσιάζουν χαμηλή συνοχή ή συγκόλληση σε διεπιφάνειες.

Αν υφίσταται μια ρωγμή ή ασυνέχεια μεταξύ του διαμετρήματος και της ελεύθερης επιφάνειας και η οποία είναι αρκετά μεγάλη, τα αέρια υψηλής πίεσης, βρίσκουν αμέσως διέξοδο προς την ατμόσφαιρα, κάτι που συνεπάγεται ραγδαία μείωση των συνολικών πιέσεων η οποία θα έχει ως αποτέλεσμα, να μειωθεί η μετατόπιση των θραυσμάτων από το κατακερματισμένο υλικό. Αυτό, φυσικά, ισχύει μόνο στις περιπτώσεις των μεγάλων και καλά σχηματισμένων ασυνεχειών.

Οι περιοριστικοί χρόνοι των πιέσεων αερίου εντός βραχομάζας διαφέρουν σημαντικά, ανάλογα με το ύψος και το είδος της εκρηκτικής ύλης, τον τύπο του εκρηκτικού και τη δομή του δικτύου κατάτμησης και το ύψος και το είδος της που απορροής και του φορτίου. Σύμφωνα με μελέτες της εταιρίας **Atlas**, με τη χρήση υψηλής ταχύτητας φωτογραφικών μηχανών σε πλήρους κλίμακας ανατινάξεις σε βαθμίδες, οι περιοριστικοί χρόνοι πριν από την έναρξη της κίνησης μπορεί να ποικίλουν από λίγα χιλιοστά του δευτερολέπτου σε μερικές δεκάδες χιλιοστά του δευτερολέπτου. Στην σύγχρονη εποχή, οι περιοριστικοί χρόνοι των αερίων σε μια κλίμακα από 5 μέχρι 10 msec, για μια ποικιλία υλικών, εκρηκτικών υλών, και φορτίων.

Σε γενικές γραμμές, αλλά όχι πάντα, οι χρόνοι περιορισμού μπορούν να μειωθούν με τη χρησιμοποίηση υψηλότερης ενέργειας εκρηκτικών υλών, τη μείωση του φόρτου, ή ένας συνδυασμός των δύο. Κάτι τέτοιο μπορεί να εφαρμοστεί στο υλικό τόσο στην κορυφή της βαθμίδας όσο και στο μέτωπο αυτής, όπως γίνεται και στην περίπτωση που προκύπτουν εκρήξεις απορροής και κρατεροποίηση. Είναι προφανές ότι μόνο καλώς καθισμένες γομώσεις, με κατάλληλο όγκο φορτίου, μπορούν να αποδώσουν πλήρως την ικανότητα τους για επιπλέον ένταση αερίων κατακερματισμό και κίνηση μάζας.

#### 2.4 T4 Μετατόπιση υλικού

Η μετατόπιση του υλικού του είναι το τελευταίο στάδιο στην διαδικασία κατακερματισμού του πετρώματος. Το μεγαλύτερο ποσοστό του κατακερματισμού έχει ήδη ολοκληρωθεί μέσα από θλιπτικές και εφελκυστικές διαδικασίες από τα εντατικά κύματα, πιέσεις από τα αέρια της έκρηξης ή με συνδυασμό των δύο. Ωστόσο, σε κάποιο βαθμό, εάν και μικρός, ο κατακερματισμός γίνεται λόγω της υπαρκτής συγκρούσεων από την πτώση των διαφόρων κομματιών, αλλά και όταν το υλικό πέσει με κάποια ισχύ στο έδαφος στο έδαφος.

Σε γενικές γραμμές, όσο υψηλότερο είναι το ύψος στην βαθμίδα, τόσο μεγαλύτερο είναι αυτό το είδος της θραύσης εξ' αιτίας αυτών των παραμέτρων λόγω αυξημένων ταχυτήτων πτώσης των μεμονωμένων θραυσμάτων, όταν εμπίπτουν στο πάτωμα της βαθμίδας. Παρομοίως, το υλικό που ειτοξεύεται απ' απέναντι σειρές ενός "V τύπου" σχεδιασμού λόγω μετωπικών συγκρούσεων μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του κατακερματισμού.

Το φαινόμενο αυτό αποδεικνύεται και να τεκμηριώνεται με τη χρήση υψηλής ταχύτητας φωτογραφικής μηχανής, για την φωτογράφιση των ανατινάξεων στην βαθμίδα.

Μαζική μετατόπιση φορτίου του κατακερματισμένου υλικού παρουσιάζεται στην Εικόνα 34 για ένα αριθμό των τυπικών προϋποθέσεων στο μέτωπο που ανέκυψαν στις επιχειρήσεις των κατά βαθμίδων ανατινάξεων .

Όπου δεν χρησιμοποιείται υποσκαφή (Α και Β), παρατηρείται δύο τύπων μετακίνηση μετώπου. Στην εικόνα 34 ολόκληρο το μήκος από το μέτωπο του φορτίου, που βρίσκεται σε επαφή με την εκρηκτική στήλη, κινείται παρόμοια με ένα επίπεδο κύμα και η ταχύτητα προσώπου σε οποιοδήποτε σημείο είναι σταθερή.

Αυτή η συμπεριφορά συμβαίνει συνήθως όταν το υλικό είναι αρκετά εύθραυστο, και δομημένο με τις καθορισμένες κατά ένα μεγάλο μέρος χωρισμένες κατά διαστήματα ενώσεις, πολύ μεγαλύτερες από τα φορτία ή τα διαστήματα που χρησιμοποιούνται στα σχέδια ανατινάξεων.

Όταν το υλικό είναι μαλακό, παρουσιάζει σχισμές, και/ή στενά συνδεδεμένο όπως στο χαλκό και μερικές ιζηματώδεις καταθέσεις. Σε αυτή την περίπτωση, η μέγιστη μετατόπιση και ταχύτητα εμφανίζεται δίπλα στο κέντρο της εκρηκτικής στήλης με το λιγότερο ποσοστό μετακίνησης να εμφανίζεται στο πόδι και στο θώρακα της στήλης.

Όταν πανομοιότυπες συνθήκες όπως στην εικόνα 34 και όταν η μέθοδος της υποσκαφής υιοθετείται , έχει ως αποτέλεσμα η μετακίνηση μετώπου να γίνεται με τον ίδιο σχεδόν τρόπο, εκτός από το ότι το πόδι του φορτίου που μετατοπίζεται προς τα εμπρός γρηγορότερα και σε μια μεγαλύτερη γωνία ως προς τον ορίζοντα (εικόνα 10).

Στις πρώτες τρεις περιπτώσεις υπήρχε η υπόθεση ενός σχετικά ευθύ μέτωπο μεταξύ του θώρακος και του ποδιού της βαθμίδας, εντούτοις, σε πολλές περιπτώσεις στις ανατινάξεις με βαθμίδα, η κατάσταση περιγράφεται καλύτερα όπως στην εικόνα 35, όπου το φορτίο στο πόδι της βαθμίδας είναι αρκετά μεγαλύτερο από ότι στο θώρακα. Το φορτίο στο κάτω μέρος τις βαθμίδας είναι πολύ μεγάλο το εκρηκτικό που επιλέγεται και ως εκ τούτου, ελάχιστη μετακίνηση εμφανίζεται στο πόδι, ενώ η μέγιστη μετατόπιση προκύπτει στο ανώτερο μισό της βαθμίδας.

Τρεις επιλογές υπάρχουν ώστε να βελτιστοποιηθεί η μετακίνηση στο κάτω μέρος της βαθμίδας:

1. Χρησιμοποίηση διατρημάτων με κάποια γωνία ως προς την κατακόρυφο, έτσι ώστε να διατηρείται ένα συνεχές φορτίο από το θώρακα έως το πόδι της βαθμίδας.
2. Χρησιμοποίηση εκρηκτικών μεγαλύτερης ενέργειας στα κατώτερα σημεία της γόμωσης στα κατακόρυφα διατρήματα .
3. Μειώστε το φορτίο με τα ισχυρότερα κατακόρυφα διατρήματα..

Σε περίπτωση που επιλεγεί τρίτη λύση, προσοχή πρέπει να ασκηθεί έτσι ώστε να μην υπάρξει μείωση στο φορτίο, όπως επιδεικνύεται στην εικόνα 35.

Το φορτίο στο κάτω μέρος της βαθμίδας είναι τώρα σωστό για την επιλεγμένη εκρηκτική ύλη, αλλά το φορτίο στο θώρακα ουσιαστικά μειώνεται. Αυτό μπορεί να επιφέρει πολλές δυσμενείς καταστάσεις κοντά στο θώρακα του φορτίου, όπως πέταγμα κομματιών, ξεφυσήματα, και αυξημένα αέρια από την έκρηξη.

Λόγω των περιορισμένων πιέσεων που απελευθερώνονται κοντά στο θώρακα (σε αυτή η περίπτωση, μια πορεία με την ελάχιστη αντίσταση σε σχέση με το φορτίο στο πόδι), κάτι τέτοιο οδηγεί σε περιορισμένη μετακίνηση στο κάτω μέρος της βαθμίδας. Είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται το ίδιο φορτίο, αλλά με μεγαλύτερης εκρηκτικής ενέργειας γόμωση πυθμένα, κοντά στο πόδι της βαθμίδας.

Αυτή η διαμόρφωση φορτίων, όπως το παρουσιάζεται στην εικόνα 36 τείνει να συμπυκνώνει την μάζα των φορτίων για μεγαλύτερες περιόδους, χωρίς δυσμενή αποτελέσματα, καταλήγοντας σε επαρκή μετακίνηση στο κάτω μέρος της βαθμίδας.

Όταν μεγάλες ποσότητες κατακερματισμένου υλικού αφεθούν στο μέτωπο μπροστά, τότε η μετακίνηση στο πόδι της βαθμίδας θα περιοριστεί και υπάρχει μεγάλη πιθανότητα, για αυξημένα επίπεδα επιφανειακών εδαφικών δονήσεων. Εκτός αν η κατάσταση απαιτεί έναν ρυθμιστή, όπως κατά την ανατίναξη με εγγύτητα στον μεταλλευτικό εξοπλισμό ή για να αποφευχθεί η διάλυση μιας προγραμματισμένης έκρηξης παρακείμενης σε ένα σωρό από απόβλητα, θα πρέπει γενικότερα να αποφεύγεται.

Όπου μεγάλες ρωγμές συναντώνται σε μια ανατίναξη (στην εικόνα 36), τεράστιες αποβολές αερίου με ταχύτητες μέχρι και 600 ft / sec μπορεί να συμβούν. Όταν συμβαίνουν οι εν λόγω αποβολές αερίων, θα εμποδίσουν άλλα μέρη του φορτίου να εκτοπιστούν επαρκώς κάτι που θα οδηγούσε αναπόφευκτα σε φτωχά συνολικά αποτελέσματα ανατινάξεων. Μια επιγόμωση, άμεσα προσκείμενη στη ρωγμή θα δώσει καλύτερα αποτελέσματα.

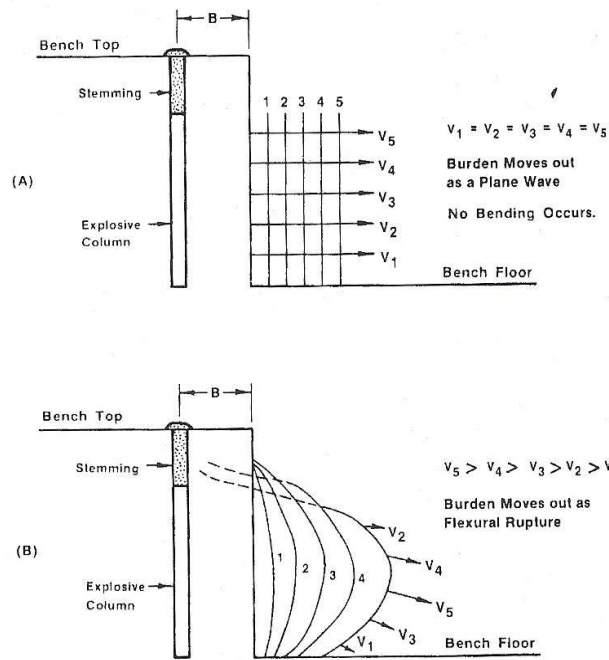


Figure 7.8. Mass Movement.

Εικόνα 34: Μετακίνηση όγκου πετρώματος.

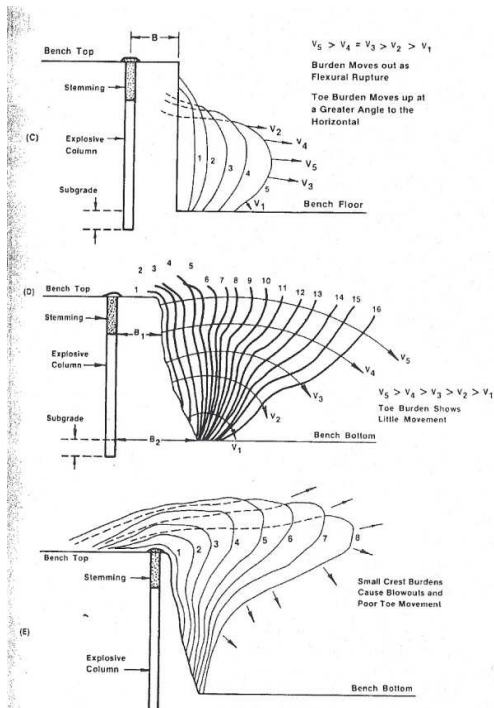
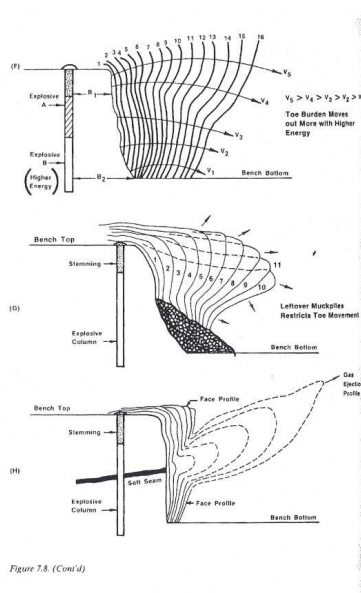


Figure 7.8. (Cont'd)

Εικόνα 35: Συνέχεια εικόνας 34.



Εικόνα 36: Συνέχεια εικόνας 35

## 2.5 Συνδυασμός των χρονικών διαστημάτων T1 έως T4

Μέχρι αυτό το σημείο τα χρονικά γεγονότα T1 έως T4 έχουν συζητηθεί περισσότερο σαν χωριστά μεμονωμένα συμβάντα. Εντούτοις, σε ένα πραγματικό περιβάλλον ανατίναξης, περισσότερο από ένα από τα παραπάνω συμβάντα μπορούν να προκληθούν στον ίδιο χρόνο.

Εξετάστε το ενδεχόμενο ενός μεμονωμένου κατακόρυφου διατρήματος με τη γόμωση να βρίσκεται στο πυθμένα όπως φαίνεται στην εικόνα 37. Θεωρήσετε ότι το εκρηκτικό που χρησιμοποιείτε είναι ANFO με ταχύτητα έκρηξης ίσης με 13.000 ft / sec, ενώ το υλικό που θα ανατιναχθεί είναι ο ασβεστόλιθος με ταχύτητα ήχου ίση με 15.000ft/sec και πυκνότητα 2.3" g / cc. Μόλις αρχίσει η πυροδότηση της εναυσματικής ύλης χρειάζονται μόνο λίγα μικροδευτερά και απόσταση από 2-6 διαμέτρους προς τα πάνω για να σχηματιστεί ένα πλήρης μέτωπο έκρηξης. Όταν σχηματιστεί ένα πλήρη μέτωπο έκρηξης ταξιδεύει μέσα στην εκρηκτική στήλη, με μία ταχύτητα χαρακτηριστική της σταθερής ταχύτητας έκρηξης (σε αυτή την περίπτωση 13000 ft/sec). Χρειάζεται περίπου 3 msec ώστε να ανατιναχτεί πλήρως μία εκρηκτική στήλη από ANFO με ύψος 40 πόδια.

Κατά τη διάρκεια αυτών των 3 msec, έχουν λάβει χώρα πολλές παράλληλες καταστάσεις. Ξεκινώντας από τον πυθμένα του διατρήματος και προχωρώντας προς τα πάνω στη στήλη, έχουμε μεγέθυνση του διατρήματος μέσα από το σπάσιμο των τοιχωμάτων του.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να δημιουργηθούν θλιπτικά εντατικά κύματα, με εμφανιζόμενα στοιχεία που προέρχονται, από τα τοιχώματα του διατρήματος αναπτύσσονται προς τα έξω προς πάσα κατεύθυνση, με ταχύτητα χαρακτηριστική με την ταχύτητα των ηχητικών κυμάτων μέσα στον ασβεστόλιθο. Απαιτούνται

περίπου 1 msec για το θλιπτικό κύμα, ώστε να περάσει εγγάρσια 15 πόδια φορτίου προς το ελεύθερο μέτωπο.

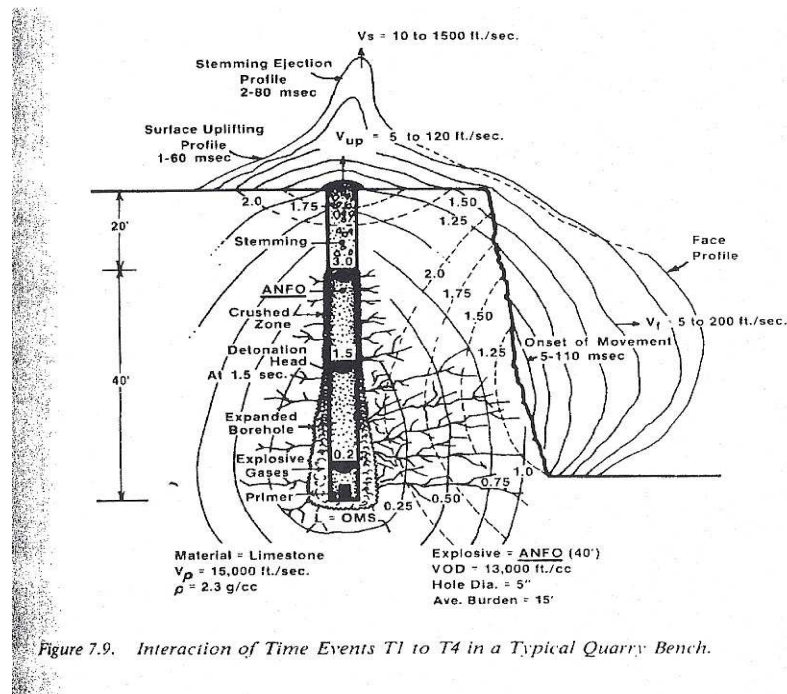


Figure 7.9. Interaction of Time Events T1 to T4 in a Typical Quarry Bench.

Εικόνα 37: Αλληλεπίδραση των χρονικών διαστημάτων T1 έως T4 σε μια τυπική βαθμίδα λατομείου.

Πίσω από τη διάδοση των εντατικών κυμάτων, ορισμένες ακτινικές ρωγμές αρχίζουν να αναπτύσσονται στη κατακερματισμένη περιοχή γύρω από το διάτρημα, με μια ταχύτητα που είναι σε άμεση σχέση με την ταχύτητα διάδοσης των P-κυμάτων για τον ασβεστόλιθο.

Σε περίπτωση που η ένταση του παλμού του θλιπτικού κύματος είναι αρκετά υψηλή, οι νέες ρωγμές και οι επεκτάσεις των προϋπαρχόντων ρωγμών, μπορούν να ενεργοποιηθούν οπουδήποτε στη θρυμματισμένη ζώνη, ανάμεσα στο διάτρημα και στο ελεύθερο μέτωπο.

### 3. Καμπτική ρήξη

Ο βαθμός της κατάτμησης και του σπασίματος γύρω από ένα διάτρημα που προκαλείται σε μία ανατίναξη μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τέσσερις ζώνες όπως φαίνεται στην εικόνα 38. Στη κατακερματισμένη άμεσα δίπλα στο διάτρημα, οι πιέσεις και οι εντάσεις που προκαλούνται από τα αέρια, υπερβαίνουν τη θλιπτική δύναμη της βραχώδους μάζας με παράγοντες που κυμαίνονται από 40-400.

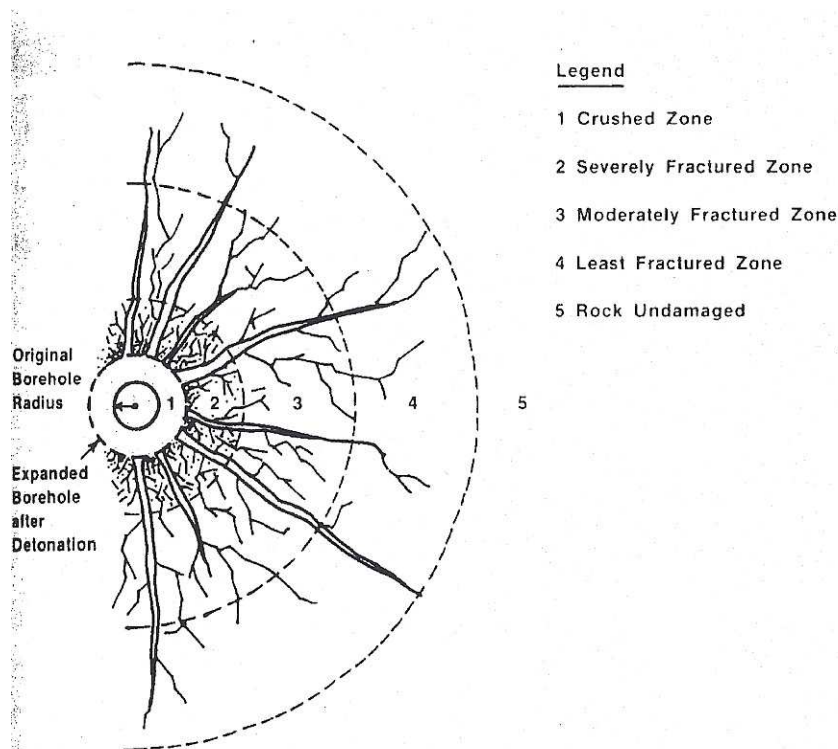


Figure 7.10. Zones of Rupture Radius.

### Εικόνα 38: Ζώνες καμπτικής ρήξης

Αυτές, οι υψηλές πιέσεις που ενεργούν εναντίον του τοιχώματος του διατρήματος θα σπάσουν, κονιοροποιήσουν και θρυμματίσουν το περιβάλλον πέτρωμα προκαλώντας εκτεταμένες ζημιές. Αυτή η συγκεκριμένη ζώνη αναφέρεται και ως υδροδυναμική, στην οποία η ελαστική ακαμψία του πετρώματος ουσιαστικά εκμηδενίζεται.

Δίπλα στη ζώνη της κατάρτησης υπάρχει μία περιοχή αυστηρώς προσδιορισμένη, από μία ζώνη θραυσμένη που αναφέρεται ως γραμμική ζώνη. Σε αυτή τη ζώνη η θραύση μπορεί να ποικίλει από έντονο σπάσιμο, σε μερικό σπάσιμο μέχρι και σε απλή πλαστική παραμόρφωση. Επέκταση των ρωγμών μπορεί να προκύψει από τις ήδη υπάρχουσες ρωγμές μέσω της επαπτωμενικής συνιστώσας(περιφερειακή τάση) από το ωστικό κύμα, από διείσδυση της πίεσης των αερίων και στις πλευρές με ραγίσματα.

Στις ζώνες 3 και 4(ελαστική ζώνη) οι αστοχίες και η επέκταση των ρωγμών συμβαίνουν σε λιγότερο έντονο βαθμό διότι το πλάτος των εντατικών κυμάτων έχει εξασθενήσει σημαντικά. Ένα σημαντικό μέρος από την αρχική ενέργεια της έκρηξης έχει καταναλωθεί, από διαδικασίες θερμότητας τριβής και κατακερματισμού στις ζώνες 1 και 2. Το μέγιστο πλάτος των θλιπτικών κυμάτων είναι τώρα πάρα πολύ λιγότερο από τη θλιπτική δύναμη της βραχομάζας και έτσι είναι απίθανο να έχουμε εμφάνιση των ρωγμών από αυτόν τον τύπο κυμάτων.



Ωστόσο, τα εφαπτωμενικά στοιχεία των κυμάτων είναι ακόμα ουσιωδώς μεγαλύτερα από την εφελκυστική αντοχή του πετρώματος. Από τη στιγμή που η εφελκυστική αντοχή του πετρώματος είναι περίπου το 1/15 με 1/10 της θλιπτικής αντοχής του, η εφαπτωμενική πίεση του κύματος είναι ικανή να προκαλέσει ακτινωτά ραγίσματα. Αυτά τα νέα ραγίσματα προέρχονται από την επέκταση των ρωγμών που προυπήρχαν στη γραμμική ζώνη (ζώνη 2) ή από ρωγμές που ξεκίνησαν από μικρορωγμές και ατέλειες υπάρχουν σε κάθε τυπική βραχομάζα.

Από το χρονικό σημείο όπου η εφαπτομενική πίεση έχει ελαττωθεί κάτω από το κρίσιμο σημείο της εφελκυστικής δύναμης της βραχομάζας, δεν επέρχεται περεταιρω κατάτμηση από αυτό το σημείο όπως φαίνεται στη ζώνη 5 (εικόνα 38). Την χρονική στιγμή, που το κύμα ή η διατάραξη περάσει μέσα από αυτή τη ζώνη, μεμονωμένα κομμάτια από το μέσο διέλευσης θα ταλαντευθούν και θα δονηθούν. Η όλη διαδικασία θα είναι στα ελαστικά όρια του πετρώματος οπότε καμία μόνιμη παραμόρφωση δεν θα προκύψει.

Ο πίνακας 7 μας δίνει μια ξεκάθαρη εικόνα για το βαθμό της μέγιστης ζημιάς που προκαλείτε γύρω από την θραυσμένη και κατακεραματισμένη ζώνη, σε συνθήκες γόμωσης ακτίνας για ένα αριθμό περιπτώσεων. Τα αποτελέσματα έχουν εξαχθεί από την δουλειά πολλών ερευνητών, οι οποίοι διεξήγαγαν έρευνα σε ένα αριθμό διαφορετικών υλικών, με μια μεγάλη γκάμα εκρηκτικών. Για ένα συγκεκριμένο εκρηκτικό, η διάρρηξη ακτίνας είναι μεγαλύτερη στα μαλακότερα υλικά από ότι στα σκληρότερα. Επιπρόσθετος, όταν έχουμε ένα συγκεκριμένο πέτρωμα, η διάρρηξη ακτίνας είναι μεγαλύτερη για μεγάλης ισχύς εκρηκτικά και μικρότερη για εκρηκτικά μειωμένης ισχύος. Οπότε, τα συμπεράσματα που εξαγονται είναι ότι, ο βαθμός της διάρρηξης ακτίνας εξαρτάται, από το εκρηκτικό, τις ιδιότητες του πετρώματος και από την δομή της βραχομάζας.

Table 7.2. Degree of Damage around a Borehole in Terms of Charge Radii

Source	Explosive	Explosive amount	Charge shape	Material or rock type	Crushed zone in charge radii (max)	Radius of damage in charge radii (max)	Comments
Olsen et al. <sup>7</sup>	C4	0.25 kg 2.00 kg	S	Granite Granite	—	18 20	
Siskind et al. <sup>8</sup>	60% Dynamite ANFO	—	C	Shale Shale	—	45-55 15-22	
Cattermole & Hanson <sup>9</sup>	60% Dynamite	—	C	Tuffaceous Pyroclastic	3.0	20-30	
Colorado School of Mines <sup>10</sup>	—	—	—	Soft rock Hard rock	—	26-29 20-23	
Derlich <sup>11</sup>	Nuclear (TNT)	—	—	Granite	1.9	4.9	
Atchison & Toumay <sup>12</sup>	—	3.6 kg (max)	C	Granite	3-4.5	—	
D'Andrea et al. <sup>13</sup>	C4	0.00216 kg to 0.467 kg	S	Granite	2.3	—	
Siskind & Fumantini <sup>14</sup>	ANFO	—	C	Granite	—	14	
Kutter & Fairhurst <sup>15</sup>	Underwater spark discharge	—	S	Plexiglas & rock	—	6	Theoretically calculated
			C	Plexiglas & rock	—	9	Theoretically calculated
Vovk et al. <sup>16</sup>	—	—	—	Granite, limestone & concrete	8-12	30-50	
Borg <sup>16</sup>	Nuclear	—	—	Competent	2.7-3.5 2.0	—	Horizontal fracturing below shot point

Πίνακας 7: Βαθμός θραύσης γύρω από το διάτρημα



#### 4. Θεωρίες Ανατινάξεων

Σε αυτό το υποκεφάλαιο γίνεται αναζήτηση και σύντομη περιγραφή των διαφόρων θεωριών ανατινάξεων. Ο πίνακας 8 μας δείχνει μία λίστα από τις σιέψεις και τους προβληματισμούς γύρω από τους μηχανισμούς αποκοπής και τους ερευνητές που είναι υπεύθυνοι για τη δημοσίευσή τους. Αν και ο πίνακας σίγουρα δε μας δείχνει την ακριβή και ολοκληρωμένη εικόνα γύρω από τις θεωρίες, παρ' όλα αυτά καταδεικνύει πώς από την απλή θεωρία της αντανάκλασης στα χρόνια του 2<sup>ου</sup> Παγκοσμίου πολέμου προχωρήσαμε στις πιο πολυσύνθετες θεωρίες του πυρήνα και των εντατικών κυμάτων.

Date	Researcher(s)	Breakage mechanisms				
		Tensile reflected waves	Compressional stress waves	Gas pressure	Flexural rupture	Nuclei stress/flow
1949-1950	Oberf & Duvall <sup>17, 18</sup>	1				
1956	Hino <sup>19</sup>	1				
1957	Duvall & Atchison <sup>20</sup>	1				
1958	Rinehart <sup>21</sup>	1				
1963	Langfors & Kihlstrom <sup>22</sup>		2	1		
1966	Starfield <sup>23</sup>	1				
1970	Porter & Fairhurst <sup>24</sup>		2	1		
1970	Persson et al. <sup>25</sup>		1			
1971	Kutter & Fairhurst <sup>6</sup>		1	1		
1971	Field & Ladegarrd-Pederson <sup>26</sup>		1	1		
1972	Johansson & Persson <sup>27</sup>	2		1		
1972	Lang & Favreau <sup>28</sup>	4	2	1		3
1973	Ash <sup>29</sup>			1	1	
1974	Hagen & Just <sup>30, 31</sup>		1			
1978	Barker et al. <sup>32-34</sup>					1
1983	Winzer et al. <sup>35</sup>					1
1983	Margolin & Adams <sup>36</sup> , Adams et al. <sup>37</sup>					1
1983	McHugh <sup>38</sup>					1

Πίνακας 8

Παρά το γεγονός ότι κάθε διαφορετική θεωρία έχει εγγενή πλεονεκτήματα και αδυναμίες, τα κύρια χαρακτηριστικά από κάθε θεωρία επισημαίνονται παρακάτω και γίνεται προσπάθεια σύντομης περιγραφής τους. Έτσι γίνεται η περιγραφή των παρακάτω θεωριών:

- A) Θεωρία Αντανάκλασης
- B) Θεωρία επέκτασης αερίων
- Γ) Θεωρία της καμπτικής ρήξης
- Δ) Θεωρία των εντατικών κυμάτων και επέκτασης αερίων
- E) Θεωρία των εντατικών κυμάτων και επέκτασης αερίων/Flaw theory
- ΣΤ) Θεωρία του πυρήνα
- Z) Θεωρία ροπής
- H) Θεωρία του κρατήρα
- Θ) Μηχανισμοί του κρατήρα

Μερικές από τις πιο γνωστές θεωρίες ανατινάξεων είναι οι παρακάτω:

#### 4.1 Reflection Theory

Μία από τις πρώτες προσπάθειες ώστε να εξηγηθεί αναλυτικά το πώς η βραχομάζα θρυμματίζεται όταν μια συμπυκνωμένη εκρηκτική γόμωση εναύνεται μέσα σε ένα διάτρημα κοντά σε ένα ελεύθερο μέτωπο, ήταν με τη θεωρία της αντανάκλασης. Η γενική ιδέα ήταν απλή, ευθέως παρουσιασμένη, και βασισμένη αυστηρά στην παραδοχή ότι οι βραχώδεις μάζες έχουν λιγότερη αντοχή σε εφελκυσμό από ότι σε θλίψη. Ένα εντατικό θλιπτικό κύμα παράγεται από την έκρηξη μιας γόμωσης και μετακινείται μέσω της μάζας του πετρώματος με ένα συνεχώς μειωμένο πλάτος. Αντανακλάται μόνο εάν συναντήσει ένα ελεύθερο μέτωπο.

Στο ελεύθερο μέτωπο, το θλιπτικό εντατικό κύμα μετατρέπεται σε εφελκυστικό εντατικό κύμα και προχωράει προς τα πίσω στο σημείο από όπου ξεκίνησε (εικόνα 39). Από τη στιγμή που το πέτρωμα έχει λιγότερη αντοχή στον εφελκυσμό, τότε αποχωρίζονται τα διάφορα κομμάτια του πιο εύκολα από το αντανακλώμενο εφελκυστικό εντατικό κύμα και η ζημιά επέρχεται με τη μορφή του θρυμματισμού. Τα υψηλής πίεσης διαστελλόμενα αέρια δε θεωρούνται ευθέως υπεύθυνα για το μέγιστο βαθμό του θρυμματισμού που επέρχεται.

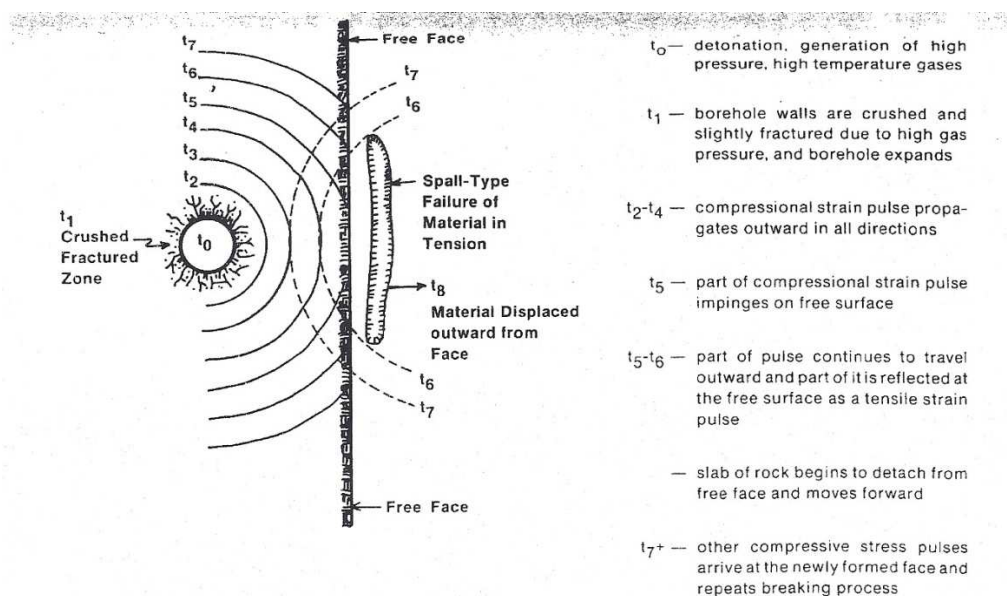


Figure 7.11. Reflection Theory: Tensile Fracture by Reflection of a Compressive Strain Pulse at a Free Surface.

Εικόνα 39: θεωρία της αντανάκλασης

## 4.2 Gas Expansion Theory

Η πίεση που ενεργεί στα τοιχώματα ενός διατρήματος γεμάτο με ειρηνικά κατά τη διάρκεια της επιρροσοκρότησης θα έχει ακριβώς τη μισή τιμή από την πίεση επιρροσοκρότησης λόγω της επέκτασης του διατρήματος. Αυτή η πίεση θα μεταδοθεί έξω από το διάτρημα στη βραχώδη μάζα με τη μορφή κρουστικού κύματος. Το υλικό ανάμεσα στο διάτρημα και στη μετωπική πλευρά του κύματος συμπιέζεται και συμπεριφέρεται ελαστικά ή πλαστικά ανάλογα με την πίεση και τη δύναμη του βράχου. Μερικές ακτινωτές ρωγμές σχηματίζονται δίπλα στο διάτρημα, ξεκινώντας από μία απόσταση ίση με 2 ακτίνες διατρήματος και εν συνεχεία αναπτύσσονται προς τα μέσα και προς τα έξω.

Η μεγαλύτερη συχνότητα ρωγμών εμφανίζεται στην περιοχή δίπλα στο διάτρημα, αλλά μερικές παρατηρούνται και πολύ πιο έξω. Όταν δεν υπάρχει ελεύθερο μέτωπο μερικές από τις παραγόμενες ρωγμές υπάρχει περίπτωση να γίνουν πολύ μεγαλύτερες από τις άλλες.

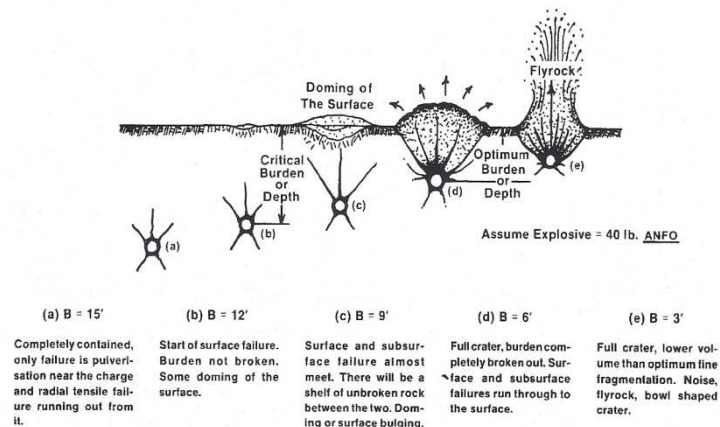
Από τη στιγμή που το κρουστικό κύμα φτάσει στο ελεύθερο μέτωπο, τα μήκη των ακτινωτών ρωγμών είναι λιγότερα από το  $\frac{1}{4}$  της απόστασης που έχει καλύψει το κύμα. Σε αυτό το χρονικό σημείο, οι μεγαλύτερου μήκους ακτίνες έχουν αναπτυχθεί προς τα μέσα και έχουν φτάσει τα τοιχώματα του διατρήματος. Η πίεση των αερίων μπορεί σε αυτό το σημείο να εισέλθει στις συγκεκριμένες ρωγμές, και αν είναι αρκετά υψηλή μπορεί να απλωθεί προς τις επικείμενες άκρες των ρωγμών επιμηδύνοντάς τις με αυτόν τον τρόπο. Αυτή η διαδικασία έχει σαν αποτέλεσμα την υποβοήθηση των ρωγμών που αλληλεπιδρούν με τα ανταναικλώμενα εφελκυστικά εντατικά κύματα τα οποία τις αναγκάζουν να φτάσουν στην ελεύθερη επιφάνεια.

Μέχρι αυτό το σημείο η επιτάχυνση από τη βραχώδη μάζα ανάμεσα στο διάτρημα και στο ελεύθερο μέτωπο είναι αμελητέα. Μόνο όταν οι ρωγμές έχουν φτάσει την ελεύθερη επιφάνεια υπάρχει επιτάχυνση στη βραχωμάζα από την εναπομένουσα πίεση των αερίων.

## 4.3 Cratering Theory

Η γενική ιδέα όσο αφορά τη θεωρία του κρατήρα, την ανάπτυξή της και τα αποτελέσματα που απορρέουν, η αρχική πρότασή τους έγινε από τον **L. W. Livingston** και εν συνεχεία τροποποιήθηκε και από άλλους όπως ο **Lang** και ο **Bauer**. Η θεωρία εμπεριέχει μία σφαιρική γόμωση με λόγο μήκους προς διάμετρο μικρότερο ή ίσο με  $\frac{6}{1}$ . Η γόμωση επιρροσοκροτείται σε μία εμπειρικά προσδιορισμένη απόσταση από την ελεύθερη επιφάνεια για να βελτιστοποιήσει τη ποσότητα του μεγαλύτερου δυνατού όγκου του θρυμματισμένου υλικού ανάμεσα στη γόμωση και την ελεύθερη επιφάνεια. Αυτό σημαίνει ότι για συγκεκριμένο υλικό και για συγκεκριμένο εκρηκτικό υπάρχει μία απόσταση φορτίου μεταξύ της γόμωσης και της ελεύθερης επιφάνειας που αποδίδει το μεγαλύτερο κρατήρα (εικόνα 15). Το φορτίο αναφέρεται ως το μέγιστο φορτίο ή βάθος. Παρομοίως υπάρχει μία ακόμα απόσταση μέσα στο φορτίο που αναφέρεται ως κρίσιμη απόσταση και στην οποία η

γόμωση είναι πολύ μακριά από την επιφάνεια και η ανατίναξη δεν είναι σε θέση ώστε να σχηματίσει κρατήρα ή να αποβάλει το υλικό στην ελεύθερη επιφάνεια. Δεν προαλούνται παρά μόνο ελάχιστες ακτινωτές ρωγμές. Σε αυτό το σημείο στο υλικό στην ελεύθερη επιφάνεια αρχίζουν να γίνονται αισθητά τα πρώτα σημάδια της αστοχίας.



Εικόνα 40: Σχηματική αναπαράσταση της επίπτωσης της μείωσης του φορτίου

Ο Livingston αποφάνθηκε θεωρητικά και πειραματικά ότι υπάρχει ένας σταθερός παράγοντας μεταξύ της κρίσιμης απόστασης και της τετραγωνικής ρίζας του βάρους των εκρηκτικών και αναφέρεται ως εξίσωση της εντατικής ενέργειας.

$$N = E \times W^{1/3}$$

όπου N= κρίσιμη απόσταση σε πόδια

W= βάρος εκρηκτικών σε pounds

E= παράγοντας εντατικής ενέργειας, αδιάστατος

Αυτός ο παράγοντας εντατικής ενέργειας (E) θα διαφέρει εάν το ίδιο εκρηκτικό χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικό πέτρωμα, ή αν το ίδιο πέτρωμα ανατιναχθεί με διαφορετικό υλικό. Όταν το πέτρωμα γίνει πιο εύθραυστο ο παράγοντας E αυξάνεται και ο βέλτιστος όγκος κρατήρα εμφανίζεται στις κατώτερες τιμές του λόγου βάθους. Σε μαλακότερα υλικά ο παράγοντας E μειώνεται και ο βέλτιστος όγκος κρατήρα εμφανίζεται στις υψηλότερες τιμές του ίδιου λόγου.

Η εξίσωση της εντατικής ενέργειας μπορεί να γραφτεί και με μία άλλη μορφή συνδυάζοντας το βάθος της γόμωσης από την επιφάνεια με το λόγο του βάθους την εντατική ενέργεια και το βάρος των εκρηκτικών.

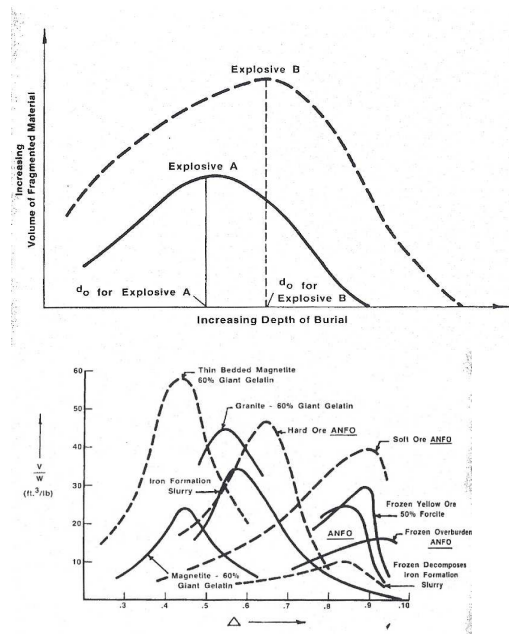
$$d_c = \Delta \times E \times W^{1/3} \text{ όπου}$$

$d_c$ = απόσταση από την επιφάνεια στο κέντρο βάρους της γόμωσης

$\Delta$ = λόγος βάθους, W= βάρος εκρηκτικών

Εάν  $d_c$  είναι το βέλτιστο φορτίο που αποδίδει το μεγαλύτερο όγκο κατακερματισμένου υλικού, τότε αναφέρεται ως  $d_0$  και ο βέλτιστος λόγος βάθους αναφέρεται ως  $\Delta_0$ .

Οι πληροφορίες από την μέθοδο του κρατήρα μπορούν να παρουσιαστούν με ένα μεγάλο αριθμό τρόπων. Για παράδειγμα το διάγραμμα 5 παρουσιάζει το αποτέλεσμα 2 εκρηκτικών Α και Β, στην ποσότητα του κατακερματισμένου υλικού που το καθένα είναι ικανό να επιτύχει σε διαφορετικά επίπεδα βάθους. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να επισημάνουμε ότι το εκρηκτικό με την μεγαλύτερη ενέργεια έκρηξης θρυμματοποιεί μεγαλύτερη ποσότητα υλικού στο ίδιο βάθος, όπως το υλικό Α, αλλά παρ' όλα αυτά το βέλτιστο βάθος για κάθε εκρηκτικό διαφέρει.



Διάγραμμα 5: Όγκος του κατακερματισμένου υλικού σε σχέση με το βάθος της γόμωσης για δυο εκρηκτικά που χρησιμοποιούνται στο ίδιο υλικό

Διάγραμμα 6: Μετατόπιση πετρώματος σε κυβικά μέτρα ανά κύκλο ανατίναξης προς το λόγο βάθους (δεξιά).

Μια άλλη μέθοδος για την απεικόνιση των δεδομένων από μια εφαρμογή της μεθόδου του κρατήρα σε μια κοινή βάση είναι μέσω διαγράμματος δυο αξόνων  $\chi$  και  $\psi$  όπως στο διάγραμμα 6, όπου στον άξονα  $\chi$  να βρίσκεται ο λόγος βάθους και στον άξονα  $\psi$  το κλάσμα  $V/W$ . Το  $V$  αποτελεί τον όγκο του αποκομμένου υλικού σε κυβικά μέτρα,  $W$  είναι το βάρος των εκρηκτικών σε **pounds**, και ο λόγος του βάθους έχει οριστεί ως το βάθος της γόμωσης ως προς το κρίσιμο βάθος.

Η σημαντική υποσημείωση που θα πρέπει να γίνει εδώ πέρα είναι ότι ο λόγος του βέλτιστου βάθους  $\Delta_0$ , είναι διαφορετικός για κάθε συνδυασμό εκρηκτικού-πετρώματος. Το πλεονέκτημα μέσω αυτού του είδους τους πειραματισμούς έγκειται στο ότι θα εξαχθούν πληροφορίες για τον χρήστη που θα ταιριάζουν ειδικά στο εγγύς περιβάλλον για μια μεγάλη γκάμα εκρηκτικών. Παρά το γεγονός ότι οι καμπύλες στο

διάγραμμα 2 μπορεί να είναι ομαλές, δεν θα πρέπει να ξεχνάμε το γεγονός ότι, μια διασπορά των δεδομένων πάντα θα υπάρχει και θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπ' όψιν όταν υπάρχουν καθοριστικές εφαρμογές της μεθόδου του κρατήρα.

## **Γ. Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΚΡΑΤΗΡΑ ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ V.C.R.**

### **1. Γενικά στοιχεία**

Σε κάθε διαδικασία που αποσκοπεί σε κέρδος από το υπέδαφος, όπως αυτή της ανάκτησης του μεταλλεύματος ή της διάνοιξης υπογείων θαλάμων, ένα πολύ σημαντικό κομμάτι αποτελεί η διάνοιξη των φρεατίων και των πηγαδιών. Αυτά μπορεί να είναι κατακόρυφα ή και κεκλιμένα και χαρακτηρίζονται από τη σχεδιαστική τους γραμμή και τις κατασκευαστικές τους δυσκολίες.

Οι μέθοδοι για τη διάνοιξη φρεατίων χωρίζονται σε 3 κατηγορίες:

- a) The benching method
- b) The spiral method
- c) The full-bottom method

Τα φρεάτια είναι εσκαφές με μειωμένες διαστάσεις και με κλίση πάνω από 45%. Η διάνοιξη των φρεατίων αποτελεί μια τυπική διαδικασία στη μεταλλευτική και τα μήκη αυτών μπορεί να ποικίλουν μέχρι και τα 100 μέτρα. Τα φρεάτια χρησιμοποιούνται για να ενώσουν τις στοές σε διαφορετικά επίπεδα, να κλείσουν τα κυκλώματα του αερισμού, για τη μεταφορά του μεταλλεύματος και των στείρων, για τα προπαρασκευαστικά έργα των υπογείων μεθόδων κ.α. Η διάνοιξη των φρεατίων χρησιμοποιείται επίσης και για δομικές κατασκευές από πολιτικούς μηχανικούς ειδικότερα σε υδραυλικές εγκαταστάσεις και σε υπόγειους χώρους.

Η διάνοιξη φρεατίων αποτελούσε πάντα μέχρι προσφάτως μια από τις πιο δύσκολες και απαιτητικές διαδικασίες στην εξόρυξη των πετρωμάτων μέσω της διάτρησης και της ανατίναξης, προτού εμφανιστεί η μέθοδος των μεγάλων διατρημάτων.

Έτσι η διάνοιξη φρεατίων κατηγοριοποιείται σε 2 μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με τη μέθοδο εσκαφής που χρησιμοποιείται.

- 1) Από πάνω προς τα κάτω εσκαφή: γίνεται χειρωνακτικά χρησιμοποιώντας **joral lift** ή **alimak platform**.
- 2) Από κάτω προς τα πάνω εσκαφή: μεγάλα διατρήματα με πιλοτική οπή, εσκαφή κρατήρα, **V.C.R.** εσκαφή και με ολομέτρη μέθοδο.

Η μέθοδοι από πάνω προς τα κάτω είναι παραδοσιακές και οι μόνες μέθοδοι που υπήρχαν πριν την εμφάνιση της μεθόδου με τα μεγάλα μήκους διατρήματα.

Κλασική μέθοδος:

Η μέθοδος εφαρμόζεται σε μικρής εμβέλειας διεργασίες όπου οι εργασίες που πρέπει να γίνουν δεν δικαιολογούν την επένδυση σε ειδικό εξοπλισμό και τα φρεάτια δεν είναι πολύ βαθιά.

Η μέθοδος αποτελείται από τη συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση συγχρόνως με την πρόοδο της εκσκαφής και δε λειτουργεί μόνο σαν υποστήριξη αλλά αποτελεί και πλατφόρμα εργασίας από όπου ανοίγονται τα διατρήματα με χειρονακτικά τρυπάνια και προωθητήρες. Αυτές οι δομές τοποθετούνται από υπηρεσιακές ράμπες όπως φαίνεται στο εικόνα 41. Τα διατρήματα συνήθως τοποθετούνται σε διάταξη "V" ή σε διάταξη «βεντάλιας» με αποστάσεις 1.5-2m και συνθήκες έναυσης όπως φαίνεται στο εικόνα 42. Αυτή η μέθοδος μπορεί να αποδειχθεί κερδοφόρα σε μικρές εκμεταλλεύσεις αλλά παρ' όλα αυτά οι συνθήκες εργασίας είναι δύσκολες και χρειάζεται έμπειρο προσωπικό.

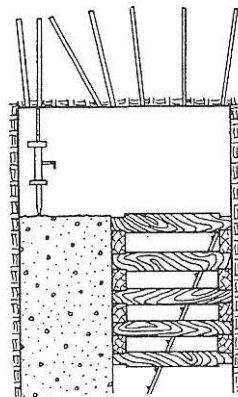
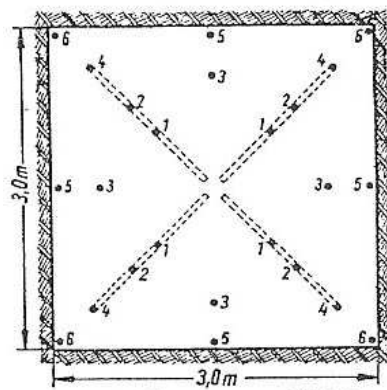


Fig. 23.10. Manual raise building.

Εικόνα 41: Χειροκίνητη εκσκαφή φρέατος



Εικόνα 42: Πρότυπο διάτρησης και αλληλουχία έναυσης στη χειροκίνητη εκσκαφή φρέατος

## **2. Μέθοδοι με downward drilling**

Οι προηγούμενες μέθοδοι της από πάνω προς τα κάτω εκσκαφής έχουν ορισμένα μειονεκτήματα όπως:

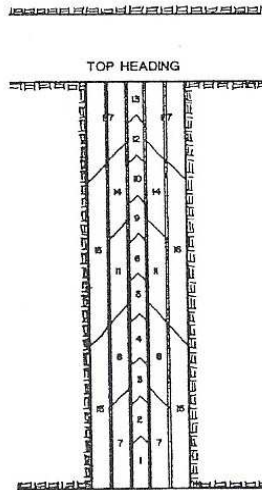
- A) Ο μεταλλευτικός κύκλος είναι πολύ μεγάλος διάτρηση, ανατίναξη, αερισμός και ξεσκάλισμα κάτι που σημαίνει χαμηλή παραγωγικότητα λόγω απώλειας χρόνου.
- B) Η ανάγκη για ένα αρκετά αυξημένο αριθμό ικανού, έμπειρου και ειδικά καταρτισμένου προσωπικού.
- Γ) Οι συνθήκες υγιεινής και ασφαλείας δεν είναι οι ιδανικότερες.
- Δ) Το συνολικό κόστος της διεργασίας είναι αρκετά υψηλό.

Με σκοπό να επιλυθούν όλα τα παραπάνω προβλήματα, στη δεκαετία του 70', διάφορα πειράματα διενεργήθηκαν με την εκσκαφή διατρημάτων ίσου μήκους με το φρέαρ και στη συνέχεια την έναυση των εκρηκτικών σε επίπεδα με «κρεμαστές γομώσεις». Ως εκ τούτου, όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, σε συγκεκριμένες μέθοδοι απαιτούν άλλη ακρίβεια στη διάτρηση. Κάτι τέτοιο έδωσε κίνητρο σε κατασκευαστικές εταιρείες ώστε να σχεδιάσουν ειδικούς εξοπλισμούς και εξαρτήματα.

### **Relief blasthole cut method**

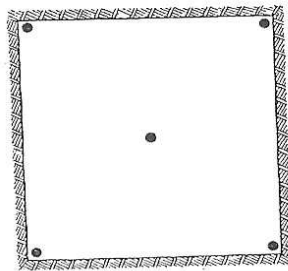
Η συγκεκριμένη τεχνική η οποία αναπτύχθηκε στη συραγγοποιία και στην κατασκευή στοών, ήταν η πρώτη που εφαρμόστηκε σε φρέατα με μεγάλου μήκους διατρήματα. Οι οπές διατρήονται με **top hammer rings** με διαμέτρους 51 και 75mm, διευρύνοντας την κεντρική πιλοτική οπή περί τα 100-200mm σε διάμετρο. Τα διατρήματα τοποθετούνται σε τετραγωνικούς κάναβους και εναύνονται σε ζευγάρια από 2-4m. Πρώτα αυτά στη ζώνη αποκοπής και στη συνέχεια στα άλλα στη ζώνη του ανοίγματος (εικόνα 43). Ωστόσο εάν ο μηχανικός είναι έμπειρος, είναι πολύ πιθανό να εκτελέσει μία γενική ανατίναξη χρησιμοποιώντας πυροκροτητές καθυστέρησης χιλιοστού του δευτερολέπτου για την αποκοπή και πυροκροτητές καθυστέρησης για το άνοιγμα. Υπερβολικός περιορισμός στις γομώσεις θα πρέπει να αποφευχθεί ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος συσσωμάτωσης της βραχώδους μάζας. Τα κατώτερα μέλη του διατρήματος σφραγίζονται με διάφορες μεθόδους και συνιστάται να χρησιμοποιείται νερό για επιγύμωση





Εικόνα 43: Προχωρημένη αλληλουχία σε φρεάτιου  
Η μέθοδος του κρατήρα

Η συγκεκριμένη μέθοδος περιέχει το άνοιγμα μιας κοιλότητας εκτάσεως περίπου 1 τετραγωνικού μέτρου με 5 διατρήματα, διαμέτρου από 65-102 χιλιοστά. Η γόμωση τοποθετείται έτσι ώστε να ενεργήσει όπως στην ανατίναξη κρατήρα, όπως φαίνεται στην εικόνα 44.



Εικόνα 44: Πρότυπο διάτρησης στην μέθοδο του κρατήρα

Όταν ολοκληρωθεί η αποκοπή του πετρώματος σε όλη του την έκταση το άνοιγμα πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας τα πρότυπα και τις γομώσεις όπως αυτές έχουν υποδειχθεί στην προηγούμενη μέθοδο. Η διαμόρφωση και η κατάσταση όσο αφορά τις γομώσεις καθορίζονται από τη θεωρία του **Livingston**.

Οπότε, βάσει της θεωρίας του **Livingston** έχουμε τις παρακάτω διαμέτρους:

- 1) Το μήκος της εκρηκτικής στήλης πρέπει να είναι λιγότερο από 6 διαμέτρους έτσι ώστε να ενεργήσει σε σφαιρική γόμωση.
- 2) Το βέλτιστο βάθος της γόμωσης θα πρέπει να είναι περίπου το 50% του κρίσιμου βάθους.  $D_o = 0.5D_c$

3) Βάσει της θεωρίας του Livingston το κρίσιμο βάθος έχει τιμή ίση με:

$$D_c = E_t \times Q^{1/3}$$

Όπου  $E_t$  = Παράγοντας έντασης-ενέργειας,  $Q$  = η γόμωση των εκρηκτικών σε kg

4) Η ποσότητα της γόμωσης  $Q$  για πυκνότητα εκρηκτικού ίση με  $\rho_e$ , έχει τιμή ίση με:  $Q = ((3 \times \pi \times D^3)/2) \times \rho_e$ , και παίρνοντας ως μέση πυκνότητα  $\rho_e = 1,3\text{g/cm}^3$ , αποδεικνύεται ότι η συνάρτηση του βέλτιστου βάθους σε σχέση με τη διάμετρο του διατρήματος είναι περίπου:  $D_o = 13,7D$

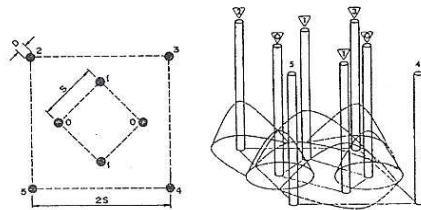
$D_c$  είναι η απόσταση μεταξύ του ελεύθερου μετώπου και του κέντρου βάρους της γόμωσης στο κεντρικό διάτρημα. Στα υπόλοιπα διατρήματα το βάθος αυξάνει σε διάστημα των 10-20cm. Τα διατρήματα δεν θα πρέπει να τοποθετούνται σχετικά κοντά ώστε να αποφεύγεται η συσσωμάτωση της βραχώδους μάζας.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου κοπής με κρατήρα σε σχέση με τη **plough cut** μέθοδο είναι:

- Χαμηλότερους κόστους διάτρηση, καθώς υπάρχουν λιγότερα διατρήματα και το κεντρικό διάτρημα δε χρειάζεται διεύρυνση.
- Η διάτρηση δε χρειάζεται να είναι τόσο ακριβής.

### V.C.R. Method

Συγχρόνως, με την τεχνική του καυστήρα αναπτύχθηκε και η μέθοδος υπόγειας εκμετάλλευσης V.C.R.. Στα κοιτάσματα μετάλλων, ένα σύστημα V.C.R. με οδηγικά φρεάτια αναπτύχθηκε βασισμένο στις ίδιες αρχές με τη μέθοδο κοπής του κρατήρα (εικόνα 45). Σε αυτήν την περίπτωση τα διατρήματα με διαμέτρους ίδιες με αυτές των διατρημάτων στην παραγωγή, τοποθετούνται σε τετραγωνικό κάναβο με όλες τις γομώσεις στο ίδιο ύψος.



Εικόνα 45: Πρότυπο ανατίναξης φρεατίου με τη μέθοδο V.C.R.

Ο πίνακας 9 δείχνει δυο πραγματικά παραδείγματα, που δίνονται από τον Lang(1981), χρησιμοποιώντας υψηλής πυκνότητας ζελατινοδυναμίτες.

Table 23.1.

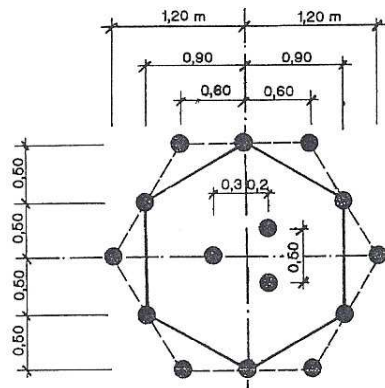
	Blasthole Diameter (mm)	
	114	165
Raise section	2.40 x 2.40	3.60 x 3.60
Spacing - S (m)	1.20	1.80
Watergel charge per hole - $Q_b$ (kg)	12	30
Stemming Length - T (m)	1.5	1.8
Advance per round - X (m)	2.10	3.0

### Πίνακας 9

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου σε σχέση με τις προγενέστερες είναι:

- Χαμηλότερο κόστος παραγωγής και λιγότερα διατρήματα.
- Εύκολη γόμωση των εκρηκτικών.
- Άνοιγμα φρεατίων εξ' ολοκλήρου σε μια φάση, κάτι που σημαίνει λιγότερη διάτρηση.
- Η πιθανότητα χρησιμοποίησης ενδοδιατρηματικών αερόσφυρων.

Στην εικόνα 46 φαίνεται το πρότυπο διάτρησης που χρησιμοποιήθηκε στο **Rubiales Mine** για το άνοιγμα των φρεατίων με διατρήματα διαμέτρου 165mm. Το πρότυπο αποτελείται από 2 εξάγωνα και από ένα εσωτερικό τρίγωνο. Αυτά τα φρεάτια χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση των θαλάμων εξαποντίζοντας κατευθείαν στο μέτωπο που ανοίχτηκε από αυτά. Στον πίνακα 10 καταρτίζονται πιο ενδιαφέρον πληροφορίες για αυτές τις εκρήξεις.



Εικόνα 46: Πρότυπο διάτρησης φρεατίου διαμέτρου 2 μ. Με διατρήματα διαμέτρου 165 mm.

Table 23.2.

Drilling diameter	165 mm
Distance from charge to chamber roof	1 m
Charge height	1 m
Charge height/Diameter relationship	6
Total explosive charge	21 kg
Type of explosive used	Cartridged watergel
Number of cartridges	3 (7 kg)
Advance per round	3 m

### Full face method

Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει το άνοιγμα μιας πιλοτικής οπής διαμέτρου 1 ή 2m με ένα τρυπάνι για φρεάτια, και να χρησιμοποιηθεί η οπή αυτή σαν οπή διερεύνησης. Η μέθοδος που πραγματοποιείται σε μεγάλης έκτασης δομικά υπόγεια έργα και στη διάνοιξη πηγαδιών. Επίσης χρησιμοποιείται για τη διάνοιξη μεγάλων τμημάτων των φρεατίων.

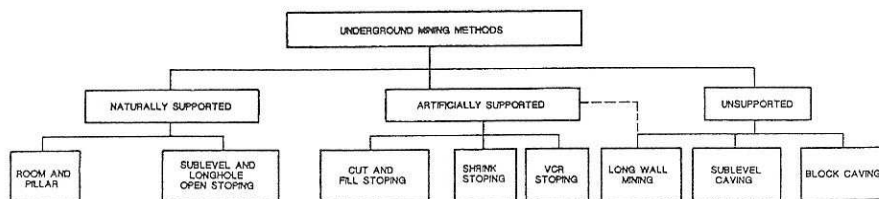
Τα κυριότερα πλεονεκτήματά της είναι:

- Μεγάλο εύρος προτύπων διάτρησης μειώνοντας το κόστος.
- Σχετικά μικρές γομώσεις εκρηκτικών, κάτι που αποφέρει μείωση στη ζημιά στο εναπομείναν πέτρωμα.
- Πιθανότητα διάνοιξης του φρεατίου με μία ανατίναξης.

### 3. Ανατίναξη κρατήρα και V.C.R.

#### 3.1 Εισαγωγή

Οι κυριότερες μέθοδοι για υπόγειες εκμεταλλεύσεις καθορίζονται στην εικόνα 47. Τα κριτήρια που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή μιας μεθόδου, είναι αυτά που αναφέρονται από τη μια πλευρά στη μορφολογία κοιτάσματος και στο βαθμό διανομής και από την άλλη πλευρά στις γεωμηχανικές ιδιότητες της βραχώδους μάζας λαμβάνοντας υπόψη την ορυκτοποίηση όπως και το περιβάλλον πέτρωμα και επίσης τις τεχνικές και οικονομικές πτυχές που κάθε μία συνεισφέρει στις καταστάσεις στις εν λόγω επιχειρήσεις.



Εικόνα 47: Υπόγειες μέθοδοι εκμετάλλευσης

Σε συγκεκριμένο το υποκεφάλαιο γίνεται ο λόγος για τη μέθοδο V.C.R.. Μία μέθοδο που αναπτύχθηκε παράλληλα των μεγάλης διαμέτρου διατρημάτων, υιοθετώντας παράλληλα το μεγάλο βαθμό μηχανοποίησης μαζί με μεγάλη παραγωγή και λιγότερα λειτουργικά έξοδα

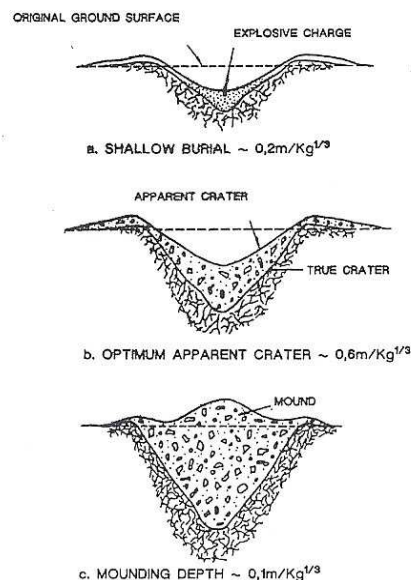
### 3.2 Μέθοδος του ανάστροφου κρατήρα

Η έννοια και η ανάπτυξη της μεθόδου ανατίναξης του κρατήρα αποδίδεται στον **L. W. Livingston (1956)**. Ο οποίος ίδρυσε μία νέα σχολή σκέψης για την καλύτερη αφομοίωση του φαινομένου των εκρήξεων και τον χαρακτηρισμό των εκρηκτικών.

Μερικά χρόνια αργότερα ο **Bauer (1961)**, ο **Grant (1964)** και ο **Lang (1976)** μεταξύ άλλων διεύρυναν το πεδίο εφαρμογής αυτής της θεωρίας, μετατρέποντάς τη σε βασικό εργαλείο για την καταπόνηση τόσο των επιφανειακών όσο και των υπογείων εκρήξεων.

Μία ανατίναξη με τη μέθοδο του κρατήρα πραγματοποιείται με συμπυκνωμένες σφαιρικές ή κυβικές γομώσεις και με καλή προσέγγιση χρησιμοποιώντας σχετικά μικρές κυλινδρικές γομώσεις οι οποίες ενάγονται μέσα στη βραχώδη μάζα που είναι προς κατάτμηση.

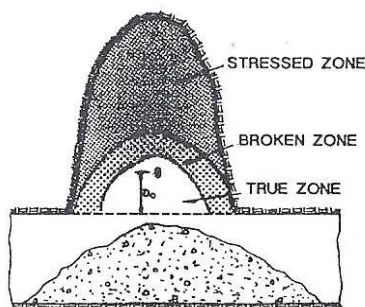
Στην εικόνα 48 παρουσιάζεται η συσχέτιση της ενέργειας που μεταφέρεται από το εκρηκτικό στο πέτρωμα με το βάθος της γόμωσης και τον όγκο του υλικού που επηρεάζεται από την έκρηξη. Όταν η γόμωση είναι σχετικά σε μικρό βάθος τότε η ενέργεια του εκρηκτικού μεταφέρεται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή αέριας έκρηξης. Από την άλλη εάν είναι σε υπερβολικό βάθος όλη ενέργεια μεταφέρεται στη βραχωμάζα, παράγοντας υπερβολικό θρυμματισμό και μεγάλη εντάσεως δόνηση. Μεταξύ αυτών των 2 καταστάσεων υπάρχει μία ενδιάμεση που παράγει το μέγιστο κρατήρα.



Εικόνα 48: Οι συνέπειες της αύξησης του βάθους ταφής σε μορφή κρατήρα

Στις κοιλότητες που δημιουργούνται, συναντώνται 3 διαφορετικές ομόκεντρες περιοχές ο φαινομενικός κρατήρας, ο πραγματικός κρατήρας και η περιοχή του κατακερματισμένου πετρώματος. Η περιοχή του κατακερματισμένου πετρώματος

υποδιαιρείται στη ζώνη πλήρους θρυμματισμού και στην περιοχή του ακραίου ή έντονου θρυμματισμού. Στις εκρήξεις με ανεστραμμένα μέτωπα, το μέγεθος του κρατήρα επηρεάζεται από τη δράση της βαρύτητας και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του πετρώματος, σχηματίζοντας επιμήκης ελλειπτικές κοιλότητες που αντιστοιχούν στη μέγιστη διάρρηξη των εντατικών ζωνών(Εικόνα 49).



Εικόνα 49: Διαστάσεις των κοιλότητων που δημιουργήθηκαν από σφαιρικές γομώσεις με ανάστροφα μέτωπα

Οι βασικές παράμετροι για την ανατίναξη με τη μέθοδο του κρατήρα είναι:

- Ο λόγος μήκους προς διάμετρο από τις κυλινδρικές γομώσεις δεν θα πρέπει να ξεπερνάει το 6/1 για να μπορέσουν οι γομώσεις να λειτουργήσουν σα σφαιρικές.
- Τα βάθη γομώσεως, η απόσταση μεταξύ του κέντρου βαρύτητας και του ελεύθερου μετώπου θα πρέπει να είναι τα βέλτιστα κάτι το οποίο υπολογίζεται εμπειρικά μέσω της θεωρίας του **Livingston**.
- Το πρότυπο διάτρησης υπολογίζεται από το βέλτιστο βάθος και το μέγιστο όγκο του κρατήρα.

Ο **Livingston** αποφάνθηκε ότι υπάρχει σχέση μεταξύ του κρίσιμου βάρους  $D_c$ , βάθος το οποίο διαφαίνονται τα πρώτα σημάδια με τη μορφή ρωγμών και ασυνεχειών, και το βάρος του εκρηκτικού  $Q$  σε συνάρτηση με την εμπειρική εξίσωση όπου:

$$D_c = E_t \times Q^{1/3}$$

$E_t$  = παράγοντας ενέργειας παραμόρφωσης, που είναι χαρακτηριστικός για κάθε συνδυασμό πετρώματος εκρηκτικού

Η προηγούμενη εξίσωση μπορεί να γραφτεί και με τον εξής τρόπο:

$$D_g = \Delta \times E_t \times Q^{1/3}$$

$D_g$  = απόσταση της επιφάνειας από το κέντρο βάρους της γόμωσης,  $\Delta$  = σχέση βάθους, μία αδιάστατη μονάδα που ισούται  $D_g/D_c$ .

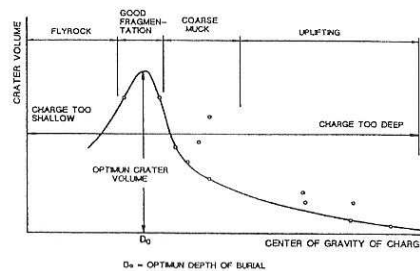
Το βάθος τοποθέτησης, δηλαδή το σημείο εκείνο που το εκρηκτικό μεγιστοποιεί τον όγκο του κρατήρα  $V$  είναι γνωστό ως βέλτιστο βάθος( $D_o$ ). Οπότε  $\Delta_o = D_o/D_c$  όπου  $\Delta_o =$  σχέση βέλτιστου βάθους.

$$\Delta_o = D_o/D_c$$

Με σκοπό να αποφασιστεί το βέλτιστο βάθος τοποθέτησης, θα πρέπει να διεξαχθούν μία σειρά δοκιμών με έμφαση στις παρακάτω παραμέτρους:

- Οι δοκιμές θα γίνουν στον ίδιο τύπο πετρώματος και με το ίδιο εκρηκτικό που χρησιμοποιήθηκε στις παραγωγικές εκρήξεις.
- Η διάμετρος των διατρημάτων θα είναι όσο μεγαλύτερη γίνεται π.χ. 115mm.
- Η σειρά των μηρών των πιλοτικών οπών θα πρέπει να είναι ικανοποιητικού αριθμού ώστε να επιτραπεί η επαρκής ποικιλία του βάθους τοποθέτησης όπως για παράδειγμα 15 διατρήματα το μήκος τους να ποικίλει από 0,75 έως 4m με αυξητικό βήμα της τάξης των 0,25m.
- Τα διατρήματα θα πρέπει να τοποθετηθούν κάθετα στο ελεύθερο μέτωπο.
- Η γόμωση θα πρέπει να έχει μήκος ίσο με 6 διαμέτρους και θα πρέπει να επιγομωθεί επαρκώς.

Εν συνεχεία μετά από κάθε δοκιμή ο όγκος του κρατήρα μετριέται και κατόπιν μπορεί με το σύνολο των πληροφοριών να συνταχθεί η καμπύλη όγκου-βάθους (διάγραμμα 7).



Διάγραμμα 7: Απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ανατίναξης κρατήρα

Με σκοπό να περιγράψει σε ικανοποιητικότερο βαθμό τη διαδικασία αποκοπής του πετρώματος και να καταδείξει τη σημασία του σχήματος της γόμωσης ο **Livingston** πρότεινε την παρακάτω εμπειρική σχέση όπου  $A'$  = συντελεστής της χρήσης της ενέργειας του εκρηκτικού,  $B'$  = συντελεστής συμπεριφοράς του υλικού,  $C'$  = συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τις επιδράσεις της γεωμετρίας της γόμωσης.

$$V/Q = E_t^3 \times A' \times B' \times C'$$

Εάν οι γομώσεις που χρησιμοποιούνται είναι σφαιρικές και το βάθος είναι το βέλτιστο τότε η τιμή του συντελεστή  $B'$  μπορεί να προσδιοριστεί από τις προηγούμενες εξισώσεις εφόσον  $A' = C' = 1$ ,  $V_o = V$  και έτσι

$$B' = V/D_c^3$$

Καθώς σε αυτού του τύπου τις ανατινάξεις είναι απαραίτητο να μεγιστοποιηθεί η ενέργεια ισχύος από κάθε μονάδα του μήκους της γόμωσης, τα ειρηκτικά που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Υψηλή ταχύτητα έκρηξης, υψηλή πυκνότητα και την πιθανότητα πλήρους κάλυψης όλης της διατομής του διατρήματος.

Τα ιδανικά ειρηκτικά για σιληρά πετρώματα είναι οι ζελατοδυναμίτιδες τα γαλακτώματα και οι ειρηκτικοί πολτοί και στα μεσαίας και μικρής αντοχής πετρώματα οι μικρής πυκνότητας πολτοί. Το ANFO έχει περιορισμένη χρήση και χρησιμοποιείται σε μαλακά πετρώματα.

#### **4. Η μέθοδος του ανάστροφου κρατήρα και η εφαρμογή της στην V.C.R**

Σε αυτή τη μέθοδο η βασική διαδικασία είναι η οριοθέτηση της μάζας του προς εξόρυξη πετρώματος που πρόκειται να αξιοποιηθεί μέσω ενός συστήματος πηγαδιών κατευθυνόμενα από ένα άλλο επίπεδο, μέσω της διάτρησης από το επίπεδο των γομώσεων όλης της σειράς των διατρημάτων και εναυνοντάς τα σε διαδοχικούς ανοδικούς κύκλους με επικείμενες σφαιρικές γομώσεις  $L < 6D$ , τοποθετημένες στο μέγιστο βάθος με τέτοιο τρόπο ώστε οι εσκαπόμενοι κρατήρες να εξέχουν, έτσι ώστε να σχηματίσουν μια όσο το δυνατόν κανονικότερη οροφή γίνεται.

Το κατακεραματισμένο μέταλλευμα μέσω της υποσκιαφής, στο κατώτερο επίπεδο στην κάτω διευθυντική στοά, στο σημείο αποκομιδής του πετρώματος. Η εξόρυξη συνήθως γίνεται με έναν πλήρως ελεγχόμενο τρόπο, εκκενώνοντας μόνο την απαραίτητη ποσότητα ώστε να δημιουργηθεί επαρκής χώρος μεταξύ του προς εξόρυξη όγκου και του ανοίγματος. Δημιουργώντας επίσης επαρκή χώρο οροφής για τον επόμενο κύκλο, αποφεύγοντας την αποκόλληση του περιβάλλοντος πετρώματος, κάτι που θα μόλυνε το εξορυγμένο υλικό.

Μόλις, τεθούν υπό έλεγχο οι παρεκλήσεις των τρυπανιών, όπως και το ύψος της εσκαφής σε κάθε κρατήρα που εξορύσσεται σε κάθε κύκλο, η διαδικασία προχωράει στην γόμωση των ειρηκτικών, και ύστερα στην τοποθέτηση της τάπας με τεχνικές διαφόρων τύπων. Στη συνέχεια όταν η γόμωση τοποθετηθεί στο επαρκές βάθος μαζί με τον εκπυρσοκροτική ή τον πολλαπλασιαστή, θα επιγομωθεί ώστε να βελτιωθεί ο περιορισμός με ένα μήκος αδρανούς υλικού ίσο με δώδεκα φορές την διάμετρο του διατρήματος. Για την επιγόμωση χρησιμοποιείται λεπτή άμμος ή νερό για να αποφευχθεί ο κίνδυνος της ματαίωσης.

Σε αυτού του είδους τη διεργασία μια καθοριστική ακολουθία έναυσης δεν είναι απαραίτητη, όπως στις ανατινάξεις βαθμίδων, κάτι που οφείλεται στα χαρακτηριστικά του μηχανισμού αποκοπής στις ανατινάξεις τύπου κρατήρα.

Ωστόσο, όταν υπάρχουν γομώσεις κάτω από τη μέση στάθμη του ανωτάτου ορίου του ανοίγματος, προτείνεται αυτά τα διατρήματα να ανατιναχθούν πρώτα. Είναι επίσης βολικό, όταν είναι δυνατόν, κάθε γόμωση να έχει 2 ελεύθερα μέτωπα κάτι που



αυξάνει τον θρυμματισμό. Στο πρότυπο της εικόνας 31 μια κυκλική ακολουθία σε αυτή τη μέθοδο αναπαριστάται, έτσι ώστε τα διατρήματα του ίδιου αριθμού να έχουν 2 ελεύθερα μέτωπα, το ένα να είναι το όριο του ανοίγματος και το άλλο τα τοιχώματα του κρατήρα που εκσκάφτηκε προηγουμένως.

Ο θρυμματισμός της τελικής κορυφής του στύλου, η οποία είναι ακριβώς από πάνω από το επίπεδο γόμωσης ή το ανώτερο κατώφλι, απαιτεί τη χρήση ειδικών εκρηκτικών, τα οποία σχεδιάζονται γνωρίζοντας τη μέση κατακόρυφη πρόοδο σε κάθε γύρω και τις διαστάσεις της κορυφής. Σαν γενικώς οδηγός μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα κριτήρια στο πίνακα 11.

Dimension of crown*	Blasting procedure
< 1.5 X	Single blast. Single symmetrically placed charge
1.6-2.0 X	Single blast. Decked charges fired simultaneously
> 2.0 X	Two separate blasts

\*Function of the mean vertical advance per round X.

Πίνακας 11

## **Δ. ΕΚΡΗΚΤΙΚΑ-ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ**

### **1. Γενικά στοιχεία**

Η αποκοπή του πετρώματος, μέσω της διάτρησης και της ανατίναξης αποτελεί την πρώτη φάση στον παραγωγικό κύκλο στις περισσότερες μεταλλευτικές επιχειρήσεις. Η βελτιστοποίηση μιας τέτοιας διεργασίας είναι πολύ σημαντική καθώς ο κατακερματισμός που θα προκύψει επηρεάζει το κόστος της όλης της κλίμακας των αλληλένδετων μεταλλευτικών επιχειρήσεων, όπως η διάτρηση, η ανατίναξη, η ανάσπρωση, το γέμισμα, η σύνθλιψη και σε κάποιο βαθμό η λείανση. Βελτιστοποίηση του κατακερματισμού του πετρώματος μέσω της διάτρησης και της ανατίναξης, σημαίνει μερικές φορές και την ελαχιστοποίηση του κόστους στην εφαρμογή αυτών των δυο μεμονωμένων λειτουργιών. Ωστόσο, το ελάχιστο κόστος όσον αφορά τον θρυμματισμό του πετρώματος, ισώς να μην είναι και πρωτίστης σημασίας σε μια εκμετάλλευση. Σε περίπτωση που κάποια περισσότερα έξοδα προκύψουν από τις διαδικασίες κατακερματισμού, το όλο σύστημα μπορεί στη συνέχεια να αναπληρώσει αυτή την απώλεια, εφ' όσον ο κύριος στόχος είναι ένα μειωμένο ένα ελάχιστο μειωμένο συνδυαστικό κόστος, της διάτρησης, της ανατίναξης, του γεμίματος κ.τ.λ. Μονό μια ισορροπημένη οικονομική κατάσταση της όλης κλίμακας των μεταλλευτικών διεργασιών μπορεί να καθορίσει εάν η πρώτη φάση της αποκοπής του πετρώματος είναι βέλτιστη οικονομικά, αφήνοντας αρχικά έξω τους παράγοντες ασφαλείας.

Μια βέλτιστη ανατίναξη επίσης, μπορεί να συνδεθεί, με την αποδοτική χρησιμοποίηση της ενέργειας του εκρηκτικού στη κατεργασία αποκοπής του πετρώματος, μειώνοντας τα έξοδα των εκρηκτικών μέσω της μειωμένης κατανάλωσης και της λιγότερης απώλειας εκρηκτικής ενέργειας στη ανατίναξη. Επιπρόσθετος,

λιγότερη απόθεση υλικού, και μείωσης της δόνησης, έχουν σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερο βαθμό ασφαλείας και σταθερότητα στις κοντινές κατασκευές.

## **2. Διαδικασία ανατίναξης**

Στα αρχικά στάδια σε μια εκμετάλλευση, όταν γίνονται δοκιμές για νέα εκρηκτικά, μεθόδους έναυσης ή μεταλλευτικές και εκσκαφτικές μεθόδους το καλό αποτέλεσμα της έρευνας αποτελεί συνδυασμό πολλών παραγόντων. Είναι επίσης απαραίτητο να ακολουθηθούν οι διαφορετικές φάσεις στις διεργασίες στο μέτωπο, όταν οι μέθοδοι δοκιμάζονται σε παραγωγική κλίμακα. Λόγω του ότι ένας μεγάλος αριθμός παραμέτρων μπορεί να «αστοχήσει» κατά τη διάρκεια της εφαρμογής σε έναν επιτόπου έλεγχο, και με ορισμένες δυσλειτουργίες που συνήθως συμβαίνουν, είναι τρομερά δύσκολο να εξαχθούν συμπεράσματα από τα αποτελέσματα. Υπάρχουν πολλές παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη, και θα πρέπει να αναγνωρίζεται γρήγορα η παράμετρος που προκαλεί τη δυσλειτουργία και να αλλαχθεί ή να διαμορφωθεί.

Ο έλεγχος της παρουσίασης της ανατίναξης θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις εξής παραμέτρους.

- 1) Η γεωμετρία της ανατίναξης περιλαμβάνει τη γνώση της ακριβούς θέσης της γόμωσης και των ελευθέρων μετώπων. Μέσω της καταγραφής των διατρημάτων, η θέση των διατρημάτων και η δομή των βράχων σε πραγματικά μεγέθη, σε συνάρτηση με τα ελεύθερα μέτωπα μπορούν να αναγνωριστούν. Η όλη διαδικασία ενισχύει τον υπολογισμό και τη σωστή τοποθέτηση των γομώσεων με σκοπό να επιτύχουν βέλτιστο θρυμματισμό. Κατ' επέκταση, μειώνει και ελαχιστοποιεί τις εκρήξεις κοντά σε αδύναμες βραχώδεις δομές, όπως σε διεπαφή χαλαρών τοιχωμάτων σημεία δηλαδή που δε θα πρέπει να αποκοπούν, ώστε να αποφευχθεί η μόλυνση του εξωρυσσόμενου πετρώματος.

Αποτελεί επίσης σημαντική παράμετρο για την ασφάλεια, να συγκρίνονται πληροφορίες από παλαιότερες ανατινάξεις για την καλύτερη αξιοποίηση μελλοντικών ανατινάξεων, αν και εφόσον έχει ελεγχθεί το κατά πόσο αυτές οι πληροφορίες έχουν προσεκτικά και σωστά τεκμηριωθεί και συγκεντρωθεί.

- 2) Η διαδικασία έναυσης μπορεί να ελεγχθεί μέσω των μετρήσεων της ταχύτητας εκपुरσοκρότησης ή με τη μέτρηση των δονήσεων του εδάφους με επιταχυνσιόμετρα τοποθετημένα κοντά στον κύκλο. Τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δώσουν απαντήσεις σε ερωτήματα που αφορούν τα χρονικά διαστήματα καθυστέρησης και τους ακριβείς χρόνους εκपुरσοκρότησης, ειδικότερα για να προσδιοριστεί αν κάποια κίνηση εντατικού κύματος προέκυψε στις παρακείμενες γομώσεις ή αν η ένωση προιάλεσε κάποια μη ικανοποιητική υποκινούμενη εκपुरσοκρότηση στην κατώτερη γόμωση. Έχοντας πλήρη γνώση του ακριβούς χρόνου έναυσης είναι

πιθανόν να καταγραφεί και ο χρόνος διασπορά του κύματος τύπου P ανάμεσα στα ειρηγτικά και τους μετρητές.

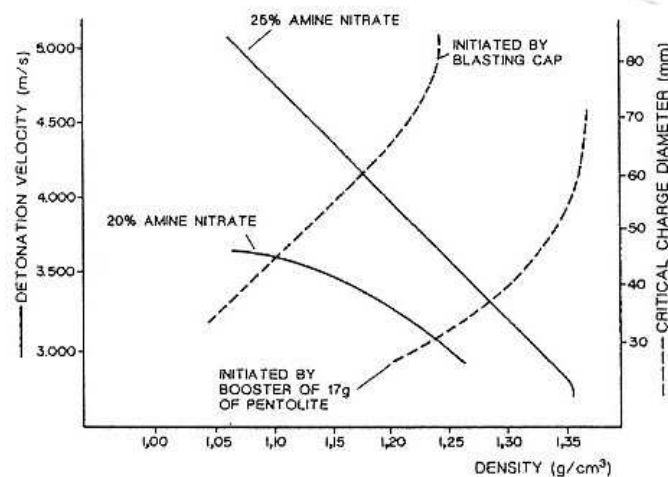
- 3) Η διαδικασία εκπυρσοκρότησης μπορεί να παρακολουθηθεί από τις μετρήσεις της ταχύτητας εκπυρσοκρότησης ή με τη χρήση επιταχυνσιόμετρων. Όταν εξαχθούν μετρήσεις της εδαφικής δόνησης, η μορφή του παλμού και το μέγεθος του σήματος μπορούν να βοηθήσουν στην ανάλυση της ποιότητας της γόμωσης, δηλαδή αν η γόμωση λειτούργησε σωστά ή όχι. Η απευαισθητοποίηση των κρουστικών κυμάτων ή το “**dead pressing**” της γόμωσης από την κίνηση του εδάφους ή τις πιέσεις των αερίων μέσω των ρωγμών που συνδέουν 2 διατρήματα μπορεί να επηρεάσουν 2 γειτονικές γομώσεις. Έλεγχος της υγρασίας στις γομώσεις και σύνδεση με εργαστηριακές πληροφορίες, μπορούν να οδηγήσουν σε εξήγηση της κατώτερης εκπυρσοκρότησης στα ειρηγτικά τύπου ANFO. Ειρηγτικά πολύ ευαίσθητα τύπου **microballoon** μπορεί να χάσουν την ευαισθησία τους, λόγω της δυναμικής φόρτωσης από παρακείμενα διατρήματα ειδικότερα εάν ένα σύστημα θραύσης τέμνει αρκετά από αυτά τα διατρήματα. Μετρήσεις της πίεσης σε διατρήματα γεμάτα με νερό μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να εξαλειφτεί το φαινόμενο αυτό.
- 4) Η διαδικασία κατακερματισμού θα πρέπει να ελέγχεται μετά από κάθε μεταλλευτικό κύκλο. Οι πληροφορίες που εξάγονται μαζί με τις πληροφορίες από την εκπυρσοκρότηση και τις περιγραφές για τον προσανατολισμό και τη δύναμη των δομών της βραχομάζας, μπορούν να οδηγήσουν σε άμεσες αλλαγές στο σχεδιασμό της ανατίναξης για τον επόμενο κύκλο για την περαιτέρω βελτίωση της υφιστάμενης πρακτικής.
- 5) Ο θρυμματισμός θα πρέπει να παρατηρείται και αυτός μετά από κάθε κύκλο εάν κάτι τέτοιο είναι εφικτό. Λόγω του ότι δεν επιτρέπουν βάσει συνθηκών όλες οι μεταλλευτικές μέθοδοι να πραγματοποιηθεί μια τέτοια άμεση παρατήρηση με τη βοήθεια σωστού προγραμματισμού και χρονικού συντονισμού είναι συνήθως πιθανό να αδειάσουν την υποσκαφή και να γίνει παρακολούθηση.

### 3. Γαλακτώματα

Η συγκεκριμένη κατηγορία ειρηγτικών, η νεώτερη που εμφανίστηκε στη διεθνή αγορά ειρηγτικών έχει της εξής δυο ιδιαιτερότητες. Αρχικά, διατήρησαν τα χαρακτηριστικά των **slurries**, αλλά συγχρόνως βελτίωσαν δυο θεμελιώδεις ιδιότητες: την δύναμη και την αντοχή στο νερό.

Το ενδιαφέρον για αυτού του είδους τα προϊόντα ξεκίνησε τη δεκαετία του εξήντα, όταν οι βασικές απαιτήσεις των ειρηγτικών ήταν υπό εξερεύνηση: ο συνδυασμός ενός οξειδωτή με ένα ορυκτέλαιο σε μια αντίδραση εκπυρσοκρότησης. Αυτά τα υλικά έμειναν χημικώς αμετάβλητα με το πέρασμα του χρόνιου αλλά η εμφάνισή τους άλλαξε ριζικά.

Το διάγραμμα 8 συνοψίζει και με χρονολογική σειρά την σύσταση των εκρηκτικών, του οξειδωτικού, του καυσίμου και των ευαισθητοποιητών που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή των γαλακτωμάτων. Από χημικής πλευράς, ένα γαλακτώμα αποτελεί ουσιαστικά ένα σύστημα δυο φάσεων, στο οποίο μια εσωτερική ή διασκορπισμένη φάση διανέμεται σε μια εξωτερική ή συνεχής φάση. Τα γαλακτώματα, αποκαλούνται επίσης «water in oil type», στα οποία η υδατική φάση αποτελείται από ανόργανα οξειδωτικά άλατα στο νερό και η φάση του ελαίου συγκροτείται από μια υγρή καύσιμη ύλη που είναι αμιγώς συσχετισμένη με το νερό που έχει υγροποιηθεί.



Διάγραμμα 8

Κατά την διάρκεια της ανάπτυξης των εκρηκτικών, έχει υπάρξει μια σταδιακή μείωση στο ελάχιστο μέγεθος, πηγαινόντας από τις υγρές στις αλατούχες ενώσεις με στερεά, και καταλήγοντας στα σταγονίδια των γαλακτωμάτων (πίνακας 12). Επιπλέον, μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό, ότι η δυσκολία στην κατασκευή των γαλακτωμάτων, έγκειται στην φάση του ελαίου, και αυτό γιατί στην τελική ισορροπία του οξυγόνου, το 6% του βάρους του γαλακτώματος, το οποίο είναι έλαιο, πρέπει να μπορεί να περιβάλει το υπόλοιπό 94% το οποίο είναι σε μορφή σταγονιδίων.

Table 11.3. Characteristic sizes of oxidizers in explosives (Bampfield & Morrey, 1984).

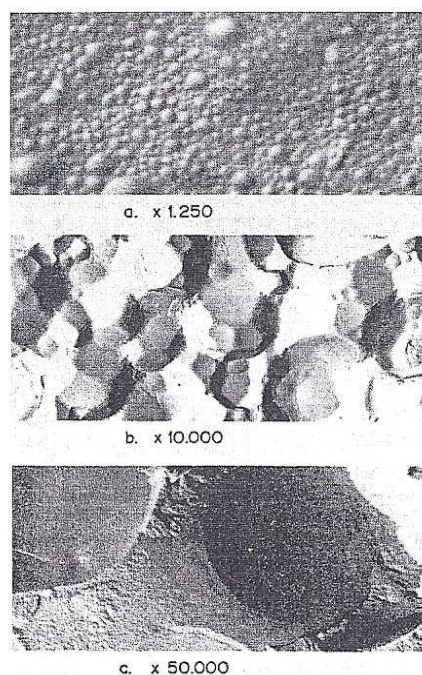
Explosive	Size (mm)	Form	VOD (km/sec)
ANFO	2.000 mm	All solid	3.2
Dynamite	0.2 mm	All solid	4.0
Slurry	0.2 mm	Solid/liquid	3.3
Emulsion	0.001 mm	Liquid	5.0-6.0

Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά μεγέθη των οξειδωτών στα εκρηκτικά

Στο προηγούμενο πίνακα η ταχύτητα έκρηξης καθενός από τα εκρηκτικά, οι οποίες αντιστοιχούν σε μια δοσμένη διάμετρο, αντανακλούν την έντονη εξάρτηση της αποτελεσματικότητας από την αντίδραση πάνω στο ελάχιστο μέγεθος.

Η κατασκευή των γαλακτωμάτων παριστάνεται στις παρακάτω φωτογραφίες όπου, όπου τα σταγονίδια του κορεσμένου διαλύματος λαμβάνουν ένα πολυέδρο σχήμα, όχι σφαιρικό και είναι επικαλυμμένα με μια μεμβράνη συνεχούς καύσιμης ύλης. Στη φωτογραφία 1 στο τρίτο μέρος το μέγεθος των σταγονιδίων σε σύγκριση με αυτά του νιτρικού αμμωνίου είναι εκατό φορές μικρότερα.

Με σκοπό να αναπτυχθεί μια επαρκής ευαισθητοποίηση των εκρηκτικών, όταν αυτά δεν εμπεριέχουν υγρούς ή στερεούς χημικούς ευαισθητοποιητές, μπορεί ένας φυσικός μηχανισμός όπως οι φυσαλίδες αερίου, όταν αδιαβατικά συμπιεστεί να παραγάγει το «hot spot» ευνοώντας τη διάδοση της έναυσης όπως και της εκπυρσοκρότησης. Οι αεροποιητές δημιουργούνται από σταγόνες πολυστερίνης και από «microballoons».



Φωτογραφία 1

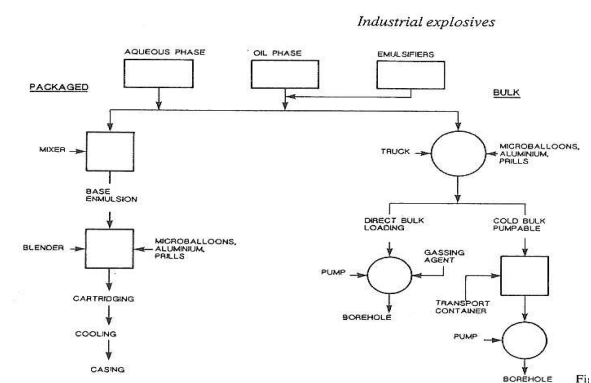
Όσον αφορά τα είδη των γαλακτωμάτων, υπάρχουν πολλά προϊόντα κάτω από το ίδιο όνομα που έχουν διαφορετικές ιδιότητες σχετικά με τα χαρακτηριστικά της συνεχούς φάσης και την επίδρασή τους στο ιξώδες και την περιεκτικότητα.

Στηριζόμενα στο τύπο του καυσίμου, στο καύσιμο έλαιο κ.τ.λ., τα ρεολογικά χαρακτηριστικά των γαλακτωμάτων διαφέρουν όπως επίσης και η εφαρμογές τους

και οι μέθοδοι χειρισμού τους. Επίσης, ο τύπος γαλακτοποιητικού παράγοντα που χρησιμοποιείται για να μειώσει την επιφανειακή τάση μεταξύ των δυο αμιγών υγρών και συνεπώς να επιτρέψει, την δημιουργία του γαλακτώματος, μπορεί επίσης να βοηθήσει ώστε να αποφευχθεί η πήξη στα μεγάλα σταγονίδια του διαλύματος του νιτρικού αμμωνίου, όπως επίσης και το φαινόμενο της κρυσταλλοποίησης των αλάτων.

Ένας επιμέρους παράγοντας που θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν, είναι και η ψύξη του υλικού από την στιγμή της κατασκευής του, και αυτό γιατί η θερμοκρασία του είναι κοντά στους 80 βαθμούς °C όταν κατασκευάζεται, μέχρι την στιγμή που θα δημιουργηθεί.

Το πρότυπο της κατασκευής των γαλακτωμάτων, είτε είναι σε μορφή φυσιγγίου είτε σε μορφή πολφού, δίνεται στην εικόνα 50. Ξεκινώντας από τα διαφορετικά χαρακτηριστικά, υδατική οξειδωτική φάση, φάση ελαίου και γαλακτοποιητή, σταθεροποιητική φάση και μαζί με την προηγούμενη θέρμανση τους, στη συνέχεια ακολουθεί μια δυναμική ανατάραξη ώστε να εξασφαλισθεί μια βάση γαλακτώματος η οποία στη συνέχεια εκκαθαρίζεται λεπτοποιείται με σικόπο να ομογενοποιηθεί και να σταθεροποιηθεί. Εν συνεχεία, αναμειγνύονται με τα στεγνά προϊόντα, τα οποία προστίθενται ώστε να προσαρμόσουν την πυκνότητα ή τη δύναμη του εκρηκτικού. Αυτά τα στερεά υλικά μπορεί να είναι αλουμίνιο σε μορφή σκόνης, αεροποιητές για μείωση της πυκνότητας, σβόλοι νιτρικού αμμωνίου κ.α.. η σκόνη αλουμινίου παρ' ότι αυξάνει την ενέργεια που αναπτύσσεται από το εκρηκτικό, έχει ωστόσο μειωτική επίδραση στην ταχύτητα έκρηξης.



Εικόνα 50: Πρότυπο παραγωγής των γαλακτωμάτων

Η τωρινή τάση ως προς την χρήση των γαλακτωμάτων οφείλεται, στα πολλαπλά πλεονεκτήματα που έχουν και τα οποία είναι:

- Μικρότερο κόστος καθώς η παραγωγή τους δεν χρειάζεται την χρήση υψηλής τιμής γόμες και άμυλα.
- Εξαιρετική αντοχή στο νερό
- Πιθανότητα να παραχθούν υλικά με πυκνότητες από μέχρι 1.45 g/cm<sup>3</sup>
- Υψηλές ταχύτητες έκρηξης της των 4000 με 5000 m/s, με μικρή επίδραση από την επίδραση των φυσιγγίων.

- Μεγάλο επίπεδο ασφαλείας όσον αφορά την παραγωγή και των χειρισμό τους.
- Πιθανότητα μηχανικής γόμωσης και προετοιμασία για ανάμιξη με ANFO.

Από την άλλη πλευρά, προβλήματα παρουσιάζονται λόγω των αυστηρών συνθηκών της παραγωγής, την μεταβλητότητα στις χαμηλές θερμοκρασίες, της πιθανής μόλυνσης κατά την γόμωση εάν χρησιμοποιείται σε μορφή πολφού, ενώ επίσης παρουσιάζονται δυσλειτουργίες εάν υπάρχει εκτεταμένος χρόνος αποθήκευσης και παρατεταμένες περιόδους μεταφορών.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΤΗ V.C.R.**

### **1. Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει η προσπάθεια να εφαρμοστεί στην πράξη μέρος της διαδικασίας παραγωγής σε ένα εικονικό κοίτασμα, όπου η εκμετάλλευση γίνεται με τη μέθοδο της VCR. Το κοίτασμα μοιάζει με τα πραγματικά ως προς το σχήμα και τη γεωμετρία, ενώ η προσέγγιση του προβλήματος γίνεται λαμβάνοντας υπόψη όσους περισσότερους παράγοντες είναι δυνατόν. Στόχος είναι δηλαδή η κατά το δυνατόν καλύτερη παρουσίαση, με αριθμητικά αποτελέσματα, της διαδικασίας της ανατίναξης και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αυτών, που θα οδηγήσει σε συμπεράσματα ως προς την καταλληλότητα χρήσης της για το σκοπό αυτό αλλά και πιθανά σημεία που πρέπει να προσεχθούν. Ποιο, συγκεκριμένα θα εξετασθούν τα διατρήματα και γενικότερα η διάτρηση καθώς επίσης και η γόμωση αυτών.

### **2. Περιγραφή κοιτάσματος**

Το κοίτασμα βρίσκεται στη στέψη μιας κορυφογραμμής που σχηματίζει ένα φυσικό όριο μεταξύ δυο λεκανών απορροής. Ως προς το βάθος, μπορούμε να το μετρήσουμε σε σχέση με το υψόμετρο της θάλασσας. Έτσι, ξεκινά από τα 640 m, που είναι η επιφάνεια του εδάφους στην περιοχή αυτή, και φθάνει σε βάθος μέχρι -70 m από το υψόμετρο της θάλασσας. Το μέσο υψόμετρο της επιφάνειας που καλύπτει το κοίτασμα είναι περίπου 620 m.

Τα περιβάλλοντα πετρώματα του κοιτάσματος είναι κυρίως πορφυριτικά. Η επιφανειακή εξάπλωσή του έχει διάμετρο γύρω στα 200 m. Το κεντρικό κομμάτι του κοιτάσματος, περιέχει δύο περιοχές υψηλής μεταλλοφορίας, μια κοντά στην επιφάνεια και άλλη μια σε βάθος σχεδόν 350 m από την επιφάνεια. Από το επίπεδο των 200 m κάτω από το της υψόμετρο της θάλασσας, το κοίτασμα διασπορίζεται μέσα στους πορφυρίτες.

Το κοίτασμα είναι χαλκού-χρυσού και απαντάται κυρίως χαλιοπυρίτης και λιγότερο βορνίτης. Το 50% του χρυσού περιέχεται αποδεσμευμένος σε κόκκους μεγαλύτερους των 38μm σε διάμετρο. Συνολικά, για την επιφανειακή και την υπόγεια εκμετάλλευση, η ποσότητα σε εκατομμύρια τόνους και η περιεκτικότητα του κοιτάσματος σε χρυσό και χαλκό φαίνονται στον πίνακα 1:

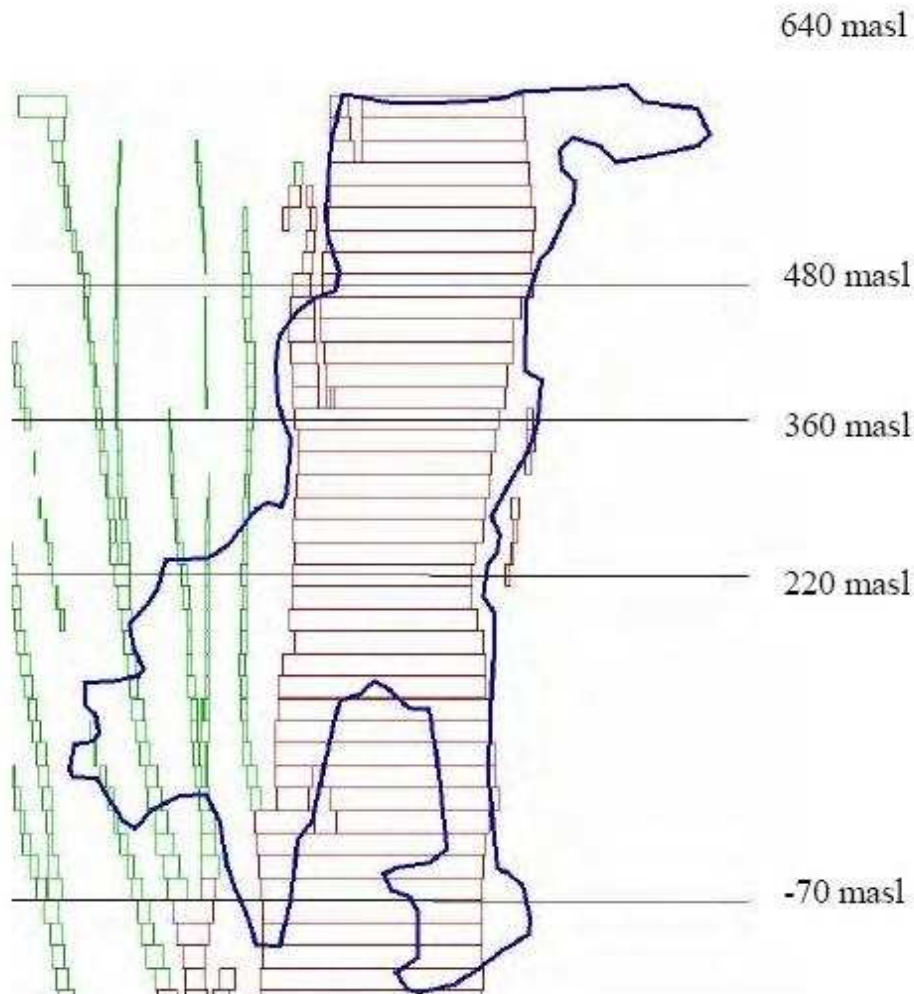
	Εκ. t	Au g/t	Cu %
--	-------	--------	------

Αποδεδειγμένα	77.5	0.87	0.54
Πιθανά	68.7	0.78	0.55
<b>Συνολικά</b>	<b>146.2</b>	<b>0.83</b>	<b>0.54</b>

Πίνακας 1: Αποθέματα και περιεκτικότητες κοιτάσματος

Στην εικόνα 1 φαίνεται το όριο του κοιτάσματος, που είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμο, με τον πορφυρίτη γύρω και μέσα σε αυτό.

### Outline of the ore-body and porphyry rock mass



Εικόνα 1: Όρια του κοιτάσματος

### 3. Γεωτεχνικές συνθήκες

Οι γενικές παρατηρήσεις, τα σχόλια και τα συμπεράσματα για τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής συνοψίζονται παρακάτω:

#### Σχιστόλιθος:

Από τα καρότα γεωτρήσεων αλλά και από έρευνα στην επιφάνεια για το σχιστόλιθο έχουμε τα παρακάτω στοιχεία:



- Κοντά στην επιφάνεια, ειδικά στις περιοχές που έχει γίνει οξείδωση και διάβρωση και για βάθος 60 m περίπου, ο σχιστόλιθος θα είναι αποσαθρωμένος, άρα σχετικά μαλακός.
- Όπου υπάρχουν ρήγματα και ασυνέχειες το έδαφος είναι χαλαρό. Η πυκνότητα των ασυνεχειών δεν είναι γνωστή αλλά μέσα στο σχιστόλιθο, όπου βρίσκονται, δημιουργούν ξεχωριστές περιοχές ζώνες πολύ μαλακού πετρώματος.

Σε μεγαλύτερα βάθη, ο σχιστόλιθος μπορεί να είναι από πολύ χαλαρός έως πολύ συνεκτικός, ειδικά όπου έχει γίνει πυριτίωση. Εκτός από τη σχιστότητα, παρουσιάζει και άλλες δομές (πχ φλέβες) που μειώνουν περισσότερο την αντοχή του. Επίσης, μπορεί να περιέχει μεγάλο ποσοστό ορυκτών που αντιδρούν χημικά και γίνονται σκόνη. Όπου αυτό συμβαίνει, χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος απαιτείται.

#### Πορφυριτικοί σχηματισμοί:

Στο μεγαλύτερο μέρος τους είναι πολύ συνεκτικοί, παρουσιάζουν αντοχή σε μονοαξονική θλίψη περίπου 157 MPa (τοπικά πάνω και από 250 MPa) και λιγότερο συχνά μέτριας προς πτωχής ποιότητας που οφείλεται στην παρουσία πολλών ασυνεχειών και ρηγμάτων.

Η επαφή μεταξύ πορφυριτών και σχιστόλιθου είναι καλά συγκολλημένη και γενικά συνεκτική. Δεν παρουσιάζει καμία ζώνη με κάποια ιδιαίτερη αδυναμία ενώ ο σχιστόλιθος είναι πυριτωμένος περισσότερο κοντά στην επαφή με τους πορφυρίτες κι έτσι γίνεται ακόμη σκληρότερος εκεί. Σαν γενική εικόνα, οι πορφυρίτες είναι συνεκτικοί, με λίγες και αραιές ασυνέχειες.

#### Υπόγεια νερά:

Ως προς τα υπόγεια νερά, κύρια πηγή τους είναι από τους υδροφόρους ορίζοντες του εδάφους που διασταυρώνονται με την εκμετάλλευση ή τα έργα ανάπτυξης αλλά και από τα βρόχινα νερά που συσσωρεύονται στο χώρο της ανοιχτής εκσκαφής. Το κύριο πρόβλημα που πρέπει να επιλυθεί έχει να κάνει με την επιλογή του κατάλληλου συστήματος άντλησης ούτως ώστε να έχουμε ασφαλείς συνθήκες εργασίας. Διατηρήματα περιφερειακά της εκμετάλλευσης μπορούν να ορυχθούν για την στράγγιση του νερού. Εάν κάτι τέτοιο γίνει με καλά αποτελέσματα, αυτό θα συνεισφέρει στη σταθερότητα του υπόγειου χώρου, ειδικά για στις περιοχές με πτωχή ποιότητα εδάφους όπου το νερό ρέει μέσα στις ασυνέχειες και τείνει να τις αποδυναμώνει.

#### Ανασκόπηση Γεωτεχνικών Στοιχείων - Συμπεράσματα

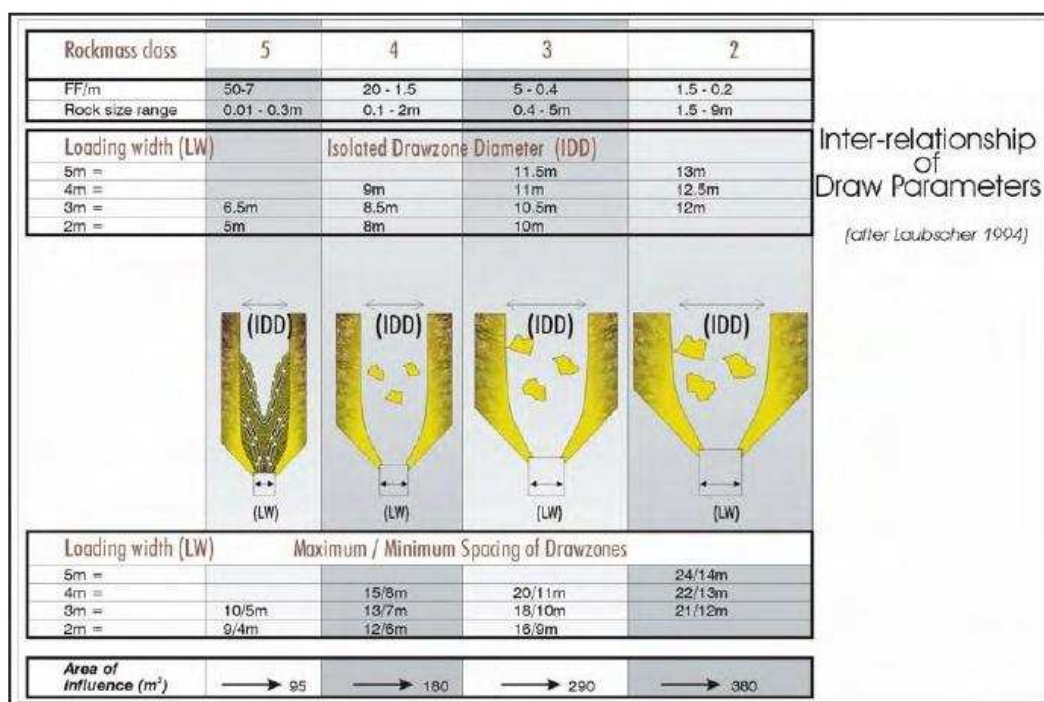
- ❖ Οι πορφυρίτες και ο πυριτικός σχιστόλιθος στην περιοχή του κοιτάσματος κάτω από τα όρια της επιφανειακής εκμετάλλευσης, είναι πιο συνεκτικός σε σχέση με τα άγονα περιβάλλοντα πετρώματα και θεωρούνται κατάλληλα για την εφαρμογή της μεθόδου της VCR. Ζώνες χαλαρού υλικού, με αραιές ασυνέχειες, αναμένεται να συναντηθούν, ωστόσο αυτές είναι ξεχωριστές και αρκετά μικρές.

- ❖ Ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα αποστράγγισης των νερών είναι απαραίτητο για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων του νερού σε πτωχά εδάφη και της εισροής νερού ή λάσπης στον υπόγειο χώρο.
- ❖ Πιο μακριά από την περιοχή του κοιτάσματος, όπου ο σχιστόλιθος είναι πιο μαλακός, το έδαφος είναι πιο πτωχό. Έτσι, τα έργα ανάπτυξης και η υποστήριξή τους πρέπει να προσαρμοστεί ανάλογα.
- ❖ Είναι σημαντικό πρώτα να διατρηθούν πρώτα δοκιμαστικά διατρήματα για να εξακριβωθεί η δυνατότητα κατασκευής των φρεάτων και στη συνέχεια να γίνει εγκατάσταση των μόνιμων κατασκευών και του εξοπλισμού στην περιοχή. Αυτό οφείλεται στο ότι επιφανειακά έχουμε κατώτερης ποιότητας σχιστόλιθο.

#### 4. Ανάλυση της θραύσης

Τα περιβάλλοντα πετρώματα, δηλαδή κατά βάση ο σχιστόλιθος, κατατάσσεται στις κατηγορίες 3 έως 5, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

**Empirical determination of fragmentation ranges from rockmass class data**

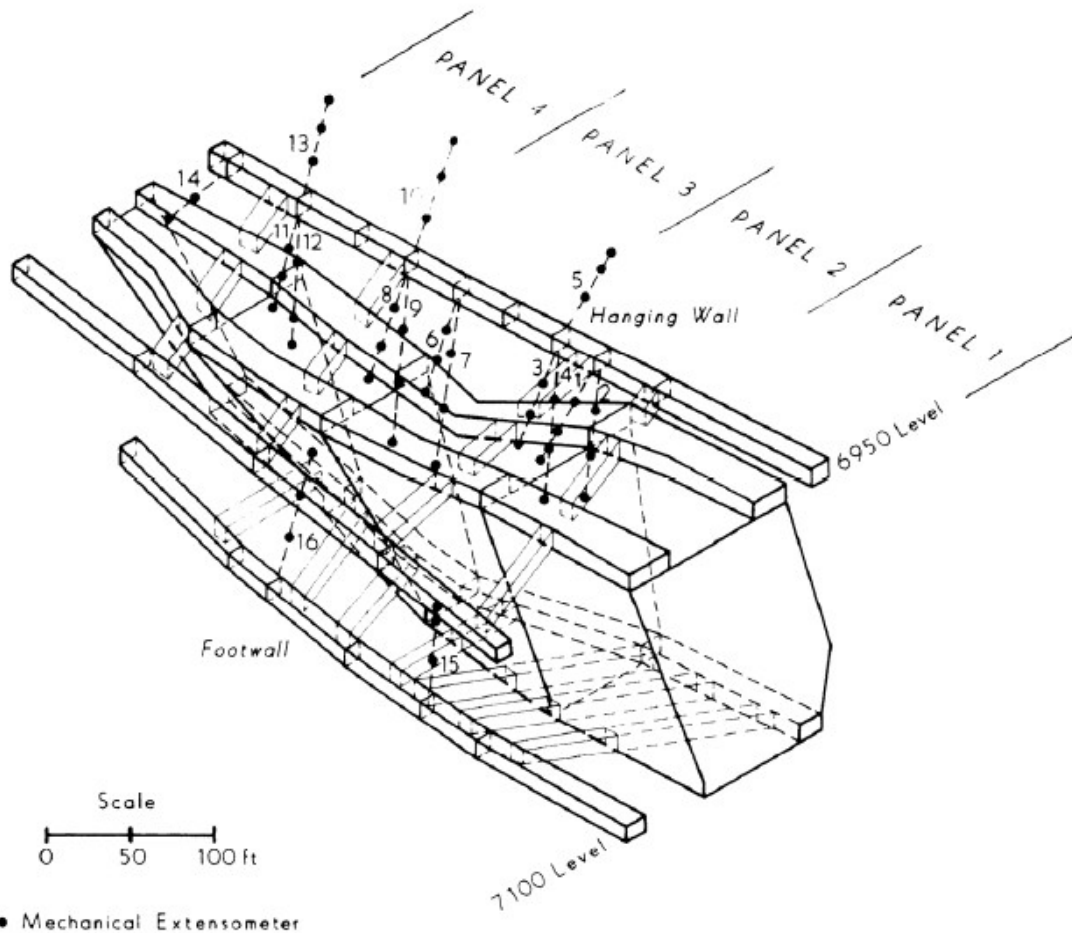


#### 5. Υπόγεια Εκμετάλλευση - Μέθοδος

Η υπόγεια εκμετάλλευση του κοιτάσματος ξεκινά αφού έχει αρχίσει η επιφανειακή. Αυτό γίνεται για αρκετούς λόγους, πιο σημαντικός ίσως από τους οποίους είναι για γρήγορη και εύκολη εξασφάλιση εσόδων για την επιχείρηση. Η επιφανειακή εκμετάλλευση για το συγκεκριμένο κοιτάσμα θα σταματήσει σε στο υψόμετρο των 420m. Μεταξύ του δαπέδου της επιφανειακής εκμετάλλευσης και της οροφής της υπόγειας εκμετάλλευσης αφήνεται ένα στρώμα μεταλλεύματος (κουβέρτα), το οποίο

δεν αφήνει να περάσουν όλα τα νερά μέσα στην υπόγεια εκμετάλλευση. Το στρώμα αυτό πιθανότατα να εξορύσσεται στο τελικό στάδιο της εκμετάλλευσης.

Η χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η VCR (μέθοδος του υποχωρόντος μετώπου κατακόρυφου κρατήρα), η οποία αναλύθηκε εκτενώς σε προηγούμενο κεφάλαιο και φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



## 6. Σφαιρική γόμωση

Ο βασικός προσανατολισμός στην μέθοδο του υποχωρόντος μετώπου κατακόρυφου κρατήρα είναι η ανατίναξη βάση της τεχνικής του κρατήρα. Σύμφωνα, με την θεωρία ανατίναξης του κρατήρα, όταν το κέντρο βάρους μιας σφαιρικής γόμωσης τοποθετηθεί σε ένα βέλτιστο βάθος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους τότε, θα έχουμε την δημιουργία ενός ανάστροφου κρατήρα με το μέγιστο όγκο.

Όπως έχει, επανειλημμένως αναφερθεί, μια σφαιρική γόμωση μπορεί να καταστεί δυνατή όταν ο λόγος του μήκους της γόμωσης προς την διαμέτρου του διατρήματος δεν ξεπερνάει τον αριθμό 6. Σε διαφορετική περίπτωση θα λειτουργήσει σαν κυλινδρική γόμωση και οι εντάσεις των κρουστικών κυμάτων θα έχουν διαφορετικές τιμές ως προς κάθε κατεύθυνση μετάδοσης. Κάτι που δεν συμβαίνει στις σφαιρικές

γομώσεις καθώς η ένταση με την οποία μεταδίδονται τα κρουστικά κύματα είναι ίδια προς όλες τις κατευθύνσεις.

## **7. Παράγοντες που επηρεάζουν τις ανατινάξεις σε υπόγειες εκμεταλλεύσεις**

Στη σημερινή εποχή, λόγω κυρίως της συνεχιζόμενης μείωσης των αποθεμάτων των ορυκτών πόρων και την στροφή προς τις υπόγειες πιο απαιτητικές εκμεταλλεύσεις, όσον αφορά την μεταλλευτική βιομηχανία, οι υπόγειες εκμεταλλεύσεις παίζουν ένα καθοριστικό στην εξόρυξη των πετρωμάτων. Συνεχίζοντας, όσον αφορά τις υπόγειες εκμεταλλεύσεις καθοριστικό ρόλο σε αυτές παίζουν οι ανατινάξεις.

Οι ανατινάξεις σε υπόγειο περιβάλλον, αποτελούν μια από τις πιο απαιτητικές και γεμάτες προκλήσεις διαδικασίες στην υπόγεια μεταλλεία. Για αυτό το λόγο υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν όταν γίνεται ο σχεδιασμός μιας υπόγειας ανατινάξεις και αφορούν κυρίως το μέτωπο, τα εκρηκτικά και τους κανόνες ασφαλείας.

Πιο συγκεκριμένα, οι παραπάνω παράγοντες θα μπορούσαν να κατηγοριοποιηθούν σε διάφορα πεδία, δηλαδή διαφορές διεργασίες που αφορούν τον σχεδιασμό των υπογείων ανατινάξεων. Ως εκ τούτου, υπάρχουν παράγοντες που συσχετίζονται με το πέτρωμα, τα εκρηκτικά, τα διατρήματα, τη γόμωση την μεταφορά των εκρηκτικών, την έναυση κ.τ.λ..

Έτσι αυτοί οι παράγοντες είναι:

Α) Πέτρωμα: Όσον αφορά το πέτρωμα θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στον τύπο του πετρώματος, στο μέγεθος του πετρώματος και την ποσότητα του πετρώματος

Β) Διάτρηση: Σημαντικό ρόλο στην διάτρηση παίζουν, το ύψος του μετώπου, ο τύπος του τρυπανιού, η γωνία των διατρημάτων, η μέθοδος έναυσης κ. α.

Γ) Εκρηκτικά: Σημαντικές αποφάσεις για τα εκρηκτικά έχουμε στον τομέα του μεγέθους και όγκου των εκρηκτικών, στο τομέα της έναυσης, και στον τομέα της επιγώμωσης.

Δ) Διατρήματα: Σε ότι αφορά τα διατρήματα, σημαντικό όλο στον σχεδιασμό παίζουν η τοποθέτηση των διατρημάτων στο χώρο, το βάθος των διατρημάτων, η απόσταση μεταξύ των διατρημάτων κ.τ.λ..

Ε) Ασφάλεια: Τέλος και στο πιο σημαντικό πεδίο, σε ότι έχει να κάνει με την ασφάλεια θα πρέπει να δίνεται έμφαση στη μεταφορά των εκρηκτικών, και στη σωστή τήρηση των κανόνων ασφαλείας κατά την διάρκεια των αντινάξεων.

## 8. Υπολογισμός των απαιτήσεων των διατηρημάτων στο μέτωπο παραγωγής

Στο κοίτασμα που μελετάμε η χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι αυτή του υποχωρούντος μετώπου κατακόρυφου κρατήρα. Δεδομένου του ότι χρησιμοποιείται η συγκεκριμένη μέθοδος, η εκμετάλλευση γίνεται με κάποιες συγκεκριμένες διαστάσεις. Έτσι, έχουμε ότι:

$$L=20\text{m}, w=20\text{m}, H=60\text{m}$$

Οι παραπάνω διαστάσεις αποτελούν τυπικές διαστάσεις της V.C.R..

Οπότε, παίρνοντας ένα διάτρημα με διάμετρο  $d=165\text{mm}$  και γνωρίζοντας ότι λόγος μήκος γομώσεως προς διάμετρο δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τον αριθμό έξι τότε θα έχουμε:

$$D_{ch} < 6 \times 165\text{mm} \text{ ή } D_{ch} < 990\text{mm}$$

Δηλαδή το μήκος  $D_{ch}$  δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τα  $0,99\text{m}$  εάν θέλουμε η γόμωση να λειτουργήσει σαν σφαιρική γόμωση και όχι σαν κυλινδρική.

Επίσης, όσον αφορά το βέλτιστο βάθος, την απόσταση του κέντρου βάρους γόμωσης και της ελεύθερης επιφάνειας, δηλαδή το βάθος στο οποίο η γόμωση και η ανατίναξη θα μας δώσουν το μέγιστο όγκο κρατήρα, έχουμε από τις σχέσεις του **Livingston** ότι το βέλτιστο βάθος σε σχέση με την διάμετρο του διατηρήματος έχουν την εξής σχέση:

$$D_o = 13.7D \text{ ή } D_o = 2,26\text{m}$$

Άρα, το κέντρο βάρους της γόμωσης θα πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση  $2.26$  μέτρων από την ελεύθερη επιφάνεια.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### Γενικά συμπεράσματα

Στη διπλωματική εργασία αυτή εξετάστηκε η δυνατότητα υπόγειας εκμετάλλευσης ενός κοιτάσματος με τη μέθοδο της V.C.R. και στη συνέχεια η διαδικασία παραγωγής της μεθόδου. Η μέθοδος μοιάζει με αυτή των διαδοχικών υποορόφων με κατακρήμνιση οροφής (*sublevel caving*) ενώ το γεγονός ότι το μετάλλευμα μπορεί να παραμένει θραυσμένο μέσα στο μέτωπο παραπέμπει στη λογική της μεθόδου του συμπυκνόμενου μετώπου (*shrinkage*). Έτσι για τους λόγους αυτούς, η V.C.R. μπορεί να θεωρηθεί περισσότερο ως μια τεχνική ανατίναξης παρά σαν μια νέα μέθοδος εκμετάλλευσης.

Μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου θεωρείται ότι έχει μεγάλο βαθμό παραγωγικότητας με μικρό κόστος, ιδιαίτερα όταν τα μεγέθη αυτά συγκρίνονται με την μέθοδο διαδοχικών υποορόφων με την οποία μοιάζει. Βασίζεται στην ανάπτυξη στην ανάπτυξη των τάσεων στο πέτρωμα από τις εκρηκτικές ύλες, σύμφωνα με την θεωρία του κρατήρα. Το κρουστικό κύμα διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις ομοιόμορφα, ενώ έχουμε την δημιουργία ανάστροφου κρατήρα διότι η ανατίναξη γίνεται από κάτω προς τα πάνω. Η θραύση ευνοείται λόγω της βαρύτητας και αποτέλεσμα αυτού είναι να γίνεται με μικρό κόστος. Βέβαια, η όλη μεθοδολογία της ανατίναξης βασίζεται στην όρυξη διατρημάτων μεγάλου μήκους και διαμέτρου, ούτως ώστε να είναι δυνατή η ανατίναξη σε πολλά στάδια και η εκμετάλλευση μεγάλων μπλοκ μεταλλεύματος.

Σπουδαίο ρόλο παίζει συνεπώς ο χρησιμοποιούμενος μηχανικός εξοπλισμός, που περιλαμβάνει κυρίως τις ενδοδιατρηματικές σφύρες για τη διάτρηση διατρημάτων μεγάλου μήκους και τους φορτωτές υπογείων, που μπορούν γρήγορα και αποτελεσματικά να μεταφέρουν το θραυσμένο μετάλλευμα. Καταλήγει έτσι κανείς στο συμπέρασμα ότι ο κύριος λόγος που καθιστά οικονομική τη μέθοδο είναι η θραύση με χρήση εκρηκτικών. Αντίστοιχα, ο κύριος λόγος που παρουσιάζει ικανοποιητική παραγωγικότητα είναι το σύστημα φόρτωσης με φορτωτές υπογείων σε συνδυασμό με το σύστημα μεταφοράς στην επιφάνεια, πιθανότατα ένα *skip*.

Στη V.C.R. αυτό που πρέπει να προσεχθεί είναι η καταλληλότητα εφαρμογής της στο υπό εκμετάλλευση κοιτάσμα. Επίσης, σημαντικό συστατικό για την επιτυχία αποτελεί και η ύπαρξη έμπειρου και καταρτισμένου προσωπικού, αφού ακόμη και μικρές σχετικά αποκλίσεις στα διατρήματα ή αδυναμία εκτέλεσης σωστής ανατίναξης

μπορούν να οδηγήσουν σε οικονομική ζημιά που να καθιστά ακόμη και αντιοικονομική την εκμετάλλευση. Ίσως για το λόγο αυτό, αλλά και επειδή δεν υπάρχουν πολλές εμπειρίες εφαρμογής, πολλές εταιρίες μπορεί να προτιμήσουν μια άλλη πιο δοκιμασμένη μέθοδο εκμετάλλευσης με την οποία έχουν μεγαλύτερη εξοικείωση καθώς και μεγαλύτερη εμπειρία.

Η **V.C.R.** όσον αφορά την διαδικασία της παραγωγής αποτελεί μια πολύ βελτιωμένη παραλλαγή της μεθόδου των διαδοχικών υποορόφων πλεονεκτώντας όμως σε βασικά τεχνικά και οικονομικά στοιχεία αλλά και σε θέματα ασφαλείας. Έτσι, θα μπορούσαμε χωρίς υπερβολές να συμπεράνουμε ότι, η **V.C.R.** με την πάροδο του χρόνου και την περαιτέρω εφαρμογή της μπορεί να καταστεί η πιο διαδεδομένη υπόγεια μέθοδος εκμετάλλευσης

Μέσα στην διαδικασία της παραγωγής το πιο σημαντικό κομμάτι του μεταλλευτικού κύκλου αποτελεί αναμφίβολα η ανατίναξη. Ο τομέας της ανατίναξης επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους, κάτι που τον καθιστά την πιο δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία μέσα στο πεδίο της εκμετάλλευσης. Παρόλο που υπάρχουν κάποιες τεχνικές ανατινάξεων με πολλά χρόνια εφαρμογών και βελτιώσεων, η νεοφερμένη τεχνική ανατίναξης με την μέθοδο του κρατήρα έχει ατράνταχτα πλεονεκτήματα. Το μικρότερο κόστος διάτρησης και η μεγάλης ακριβείας διάτρηση που επιτυγχάνεται εύκολα με τα κατακόρυφα διατρήματα, καθιστούν την μέθοδο ανατίναξης του κρατήρα μια αρκετά οικονομική λύση για πολλές εκμεταλλεύσεις.

Οι σφαιρικές γομώσεις και γενικότερα το πεδίο εφαρμογής που τις περιβάλλει αποτέλεσαν άλλη μια καινοτομία και ένα βασικό παράγοντα ώστε να γίνει πραγματοποιήσιμη η μέθοδος του κρατήρα και εν συνεχεία η εκμετάλλευση με **V.C.R.** Η διάδοση των κρουστικών κυμάτων με την ίδια ένταση προς όλες τις κατευθύνσεις και ο ομοιόμορφος θρυμματισμός του πετρώματος αποτελούν τις βάσεις για την δημιουργία κρατήρα μετά από μια ανατίναξη, κάτι που σημαίνει ουσιαστικά με εκμετάλλευση της ενέργειας της εκρηκτικής ύλης στη μέθοδο **V.C.R.**

Σε ότι αφορά το κομμάτι των εκρηκτικών, τα γαλακτώματα αποτελούν ίσως την πιο ενδεδειγμένη λύση, προσφέροντας πλεονεκτήματα, όπως τεράστια αντοχή στην υγρασία και ασφάλεια στη μεταφορά και στην διαχείριση. Αυτά τα στοιχεία εναρμονίζονται σε μεγάλο βαθμό με τις απαιτήσεις της **V.C.R.**, στην οποία έχουμε συνήθως επιγόμωση με νερό για καλύτερα αποτελέσματα και μικρότερο αριθμό προσωπικού λόγω υψηλού βαθμού μηχανοποίησης.

Συνοψίζοντας, αξίζει να σημειωθεί ότι, μπορεί η **V.C.R.** να μην αποτελεί μια μέθοδο εκμετάλλευσης με την ακριβή σημασία του όρου, καθώς η διαφορά της με την μέθοδο των διαδοχικών υποορόφων έγκειται στον τομέα της εξόρυξης με εκρηκτικές ύλες, αλλά παρ' όλα αυτά η τεχνική που χρησιμοποιείται όταν η εκμετάλλευση γίνεται με **V.C.R.** αποτελεί χαρακτηριστικό δείγμα στο ότι υπάρχει εξέλιξη στις

μεθόδους των υπογείων εκμεταλλεύσεων. Επιπροσθέτως, η άμεση σχέση της V.C.R. με την μηχανοποίηση, αφήνει ανοιχτό το ενδεχόμενο της περαιτέρω βελτίωσης των διαδικασιών παραγωγής της μεθόδου μέσω των τεχνολογικά ανωτέρων μηχανημάτων που εμφανίζονται συνεχώς στην αγορά.

Τελειώνοντας, η μέθοδος της V.C.R. που μπορεί να δημιουργεί μεγάλες συγλίσεις στα περιβάλλοντα πετρώματα και να υπάρχουν αρκετές απαιτήσεις για την σωστή εφαρμογή των διαφόρων σταδίων, ωστόσο εάν συνδυαστεί με την σωστή επιλογή εκρηκτικών, μηχανολογικού εξοπλισμού και εν συνεχεία με σωστό τύπο λιθογώμωσης, μπορεί να αποτελέσει μια πολύ καλή επιλογή για ένα μεταλλείο αποφέροντας άμεσα κέρδη.



## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στη διπλωματική αυτή εργασία, εξετάζεται και αναλύεται, η υπόγεια μέθοδος εκμετάλλευσης V.C.R. (Vertical Crater Retreat). Πρόκειται για μια μέθοδο που αναπτύχθηκε σχετικά πρόσφατα, από την καναδική εταιρία CIL (Canadian Industries Ltd) και είναι η μόνη μέθοδος που είναι κατοχυρωμένη με ευρεσιτεχνία (United States Patent 3762771).

Η μέθοδος εφαρμόζεται σε κοιτάσματα μεγάλης κλίσης χωρίς την απαίτηση για ανθεκτικά περιβάλλοντα πετρώματα. Τα προπαρασκευαστικά έργα που γίνονται συνήθως είναι μικρής έκτασης και ως επί το πλείστον εντός του κοιτάσματος. Όσον αφορά την παραγωγή, η μέθοδος είναι πλήρως εκμηχανισμένη καθότι έχουμε διατρήματα μεγάλου μήκους και παράλληλα, τα οποία γομώνονται με ειδικού τύπου εκρηκτικά σε καθορισμένες αποστάσεις. Ο βασικός εξοπλισμός εξόρυξης αποτελείται από ενδοδιατρηματικές αερόσφυρες και LHDs. Στις εργασίες της παραγωγής, η ακρίβεια θεωρείται σημαντική κάτι που επιβάλει έμπειρο και καταρτισμένο εργατικό προσωπικό. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η διάτρηση μπορεί να προπορεύεται χρονικά κατά πολύ από την ανατίναξη, περιορίζοντας στο ελάχιστο τον κύκλο εξόρυξης. Η εξόρυξη γίνεται σε τμήματα (panels) και το μέταλλευμα μπορεί να παραμείνει στο μέτωπο προσφέροντας προσωρινή υποστήριξη έως ότου φορτωθεί. Τέλος, η εκμετάλλευση συνεχίζεται ενώ ακολουθεί λιθογόμωση του διπλανού τμήματος

Η εργασία μελετά επίσης, τους μηχανισμούς της ανατίναξης, επικεντρώνοντας στο πώς γίνεται η ανατίναξη κρατήρα και το πώς λειτουργεί η τεχνική του ανάστροφου κρατήρα συγκρινόμενη με άλλου τύπου τεχνικές ανατινάξεων. Επίσης γίνεται επισήμανση των παραμέτρων και των συνθηκών που πρέπει να υπάρχουν ώστε να καταστεί δυνατή η εκμετάλλευση με τη μέθοδο V.C.R..

Συνεχίζοντας μελετώνται διάφορες αριθμητικές εξισώσεις που αφορούν τη μέθοδο του ανάστροφου κρατήρα και συσχετίζονται με την εντατική ενέργεια, την ενέργεια έκρηξης, το μήκος της γόμωσης και διάφορες άλλες παραμέτρους. Τέλος γίνεται μια μικρής έκτασης αναφορά στα εκρηκτικά που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή δίνοντας έμφαση στα γαλακτώματα και τα ιδιαίτερα πλεονεκτήματα που έχουν έναντι των υπολοίπων εκρηκτικών υγρού τύπου.

Τέλος μελετάται η περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου V.C.R. σε συνδυασμό με την παραγωγή και τις σφαιρικές γομώσεις σε κοιτάσμα Au/Cu

## **THESIS SUMMARY**

This thesis deals with the underground mining method of Vertical Crater Retreat (VCR) which has been developed during the last few years by the Canadian Industry Ltd (CIL) and it is the only patented mining method. (United States Patent 3762771).

The method is applied to deposits with rather high grade that it is not necessary to be hosted in stiff and hard rock. The development works needed are reduced and usually take place into the deposits' mass. Regarding the production phase, the method is fully mechanized. Long and parallel blast holes are drilled, using down the hole hammers, and charged with proper explosives at predetermined blast hole lengths. Ore loading from drawpoints and transportation is carried out using LHDs. Accuracy during the development and production phases is very important and for this reason experienced and trained staff is needed. It is worthwhile to notice that drilling can be done well in advance before charging and blasting, as it is an independent work, reducing in this way the mining cycle.

The extraction of the ore is done in vertical panels and the ore, after the blast, can remain into the stope providing natural support to the surrounding rockmass. Following the draw of the ore from the mined out panels, the empty space is backfilled, and production is transferred to next panels.

Regarding the production cycle of the mining method, this thesis examines in more details the blasting of the rock masses. More specifically, the way the crater blasting is evolved during the production phase and how the crater technique works compared to other blasting techniques are analysed. Furthermore, the parameters and the conditions that should be met in order to enable the V.C.R. method, are presented.

This thesis studies various numerical equations describing the method of inverted crater, and are associated with the strain energy, the explosive's energy, the length of the charge and various others in situ parameters. Finally, a review of the explosives used in the production phase is done, emphasizing in the emulsions and the particular advantages that they have, over the other types of liquid explosives.

Finally, a case study was carried out in a Au/Cu deposit in order to examine the possibility of applying the VCR method with the spherical charges.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Πολυχρονόπουλος Γ., 2001, Εικρηκτικέσ ύλεσ, Τεχνική Εξορύξεωσ των Πετρωμάτων, καθαίρεση των Κατασκευών, Γ' Έκδοση, ΕΜΠ, Αθήνα

Ρόζοσ Δ., 2007, Μέθοδοι Βελτίωσησ – Αντιστίρηξησ Εδάφουσ – Υπεδάφουσ, ΕΜΠ, Αθήνα

Τερεζόπουλοσ Ν., Μέθοδοι Υπογείων Εκμεταλλεύσεων, ΕΜΠ, Αθήνα

Hamrin H., 1980, Guide to Underground Mining, Methods and Applications, Atlas Copco, Stockholm, Sweden

Hartman H., 1992, Mining Engineering Handbook, 2nd edition, SME, USA

Hustrulid W., Bullock R., 2001, Underground Mining Methods, Engineering Fundamentals and International Case Studies, SME, Colorado, USA

Hustrulid W., 1982, Underground Mining Methods Handbook, SME, New York, USA

Jimeno C., Jimeno E. Carcedo P., 1995, Drilling and Blasting of Rocks, A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield

Lang L., 1978, Spherical Charges Develop Vertical Crater Retreat Method in Stope and Pillar Mining

Livingston C.W., U.S. Patent 3762771, Oct. 2, 1973

Morhard C., 1987, Explosives and Rock Blasting, Blasters Tool & Supply Co, Frankfort, KY, USA

Nichols L. Day D., 1998, Moving the Earth, 4th edition, Mc Graw - Hill, New York, USA

Pariseau W., 2006, Homestake Mine/Dusel, Rock Mechanics, University of Utah Batavia, Illinois, USA, (<http://nwg.phy.bnl.gov/~diwan/nwg/fnal-bnl/sep16-17-2006/FermiSept06-pariseau.pdf>, προσπελάσθηκε 19-3-08)

Persson P., Holmberg R., Lee J., 1994, Rock Blasting and Explosives Engineering, Florida, USA

Singh B., Pal Roy P., 1993, Blasting in Ground Excavations and Mines, A.A. Balkema, Rotterdam

Stewart D., 1981, Design and Operation of Caving and Sublevel Stopping Mines, SME, New York, USA

Stout K, 1980, Mining Methods and Equipment, Bulletin, (Montana College of Mineral Science and Technology), Montana, USA

Tatiya R., 2005, Surface and Underground Excavations, Methods, Techniques and Equipment, ΛΑ. Balkema, London, U.K.

Trotter A., 1990, Vertical Crater Retreat Mining in the Sudbury Basin, Mining Science and Technology, Elsevier, Ont. Canada

Zhang Y. Mitri H., 2007, Elastoplastic Stability Analysis of Mine Haulage Drift in the Vicinity of Mined Stopes, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Elsevier, Canada (διαθέσιμο στο: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com))

Ηλεκτρονικές Πηγές:

<http://www.amebc.ca/primer4.htm>, προσπελάστηκε 19-3-08

[http://www.canurb.com/media/Presentations/Brownfields2006/BP\\_04.pdf](http://www.canurb.com/media/Presentations/Brownfields2006/BP_04.pdf), προσπελάστηκε 19-3-08

<http://www.cdc.gov/niosh/mining/Pubs/Pdfs/tim.Pdf>, προσπελάστηκε 17-5-08

<http://cmriindia.nic.in/stowing.pdf>, προσπελάστηκε 19-3-08 (

Development and

Demonstration of High Concentration PII Technology on Utilization of Fly Ash

as a Filling Material For Underground Coal Mines)

<http://emekdevrim.blogcu.com>, προσπελάστηκε 19-3-08

[http://www.l.v.faculty.uaf.edu/ffrg/min454/Handout10\\_MIN454.pdf](http://www.l.v.faculty.uaf.edu/ffrg/min454/Handout10_MIN454.pdf),

προσπελάστηκε 19-3-08

[http://www.miningbasics.com/html/vertical\\_crater\\_retreat\\_mining.php](http://www.miningbasics.com/html/vertical_crater_retreat_mining.php),

προσπελάστηκε 19-3-08

<http://www.scsmt.edu/es/mining/nusl/hmstk/hmstk.html>, προσπελάστηκε 19-3-08

[http://www.swellex.com/Websites%5CRDE%5Cwebsite.nsf/\\$All/2B0103C539F7A78984125674D004AA392?OpenDocument](http://www.swellex.com/Websites%5CRDE%5Cwebsite.nsf/$All/2B0103C539F7A78984125674D004AA392?OpenDocument), προσπελάστηκε 19-3-08

<http://www.tailings.info/backfill.htm>, προσπελάστηκε 19-3-08