ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

# Αξιολόγηση δεδομένων ανατινάξεων του Ορυχείου Νοτίου πεδίου

Διπλωματική Εργασία

Πετρόπουλος Δ. Νίκος

Εξεταστική Επιτροπή Αγιουτάντης Ζαχαρίας, Καθηγητής (επιβλέπων) Χριστόπουλος Διονύσιος, Καθηγητής Γαλετάκης Μιχάλης, Επ. Καθηγητής

> Χανιά Ιούλιος 2008

### Πρόλογος

Η τεχνολογία των εκρηκτικών υλών που βρίσκουν εφαρμογή στις εξορυκτικές δραστηριότητες των μεταλλευτικών επιχειρήσεων παρουσίασε μια αλματώδη ανάπτυξη τα τελευταία 40 χρόνια (ιδιαίτερα μετά την εφεύρεση του ANFO, το 1950). Η ανάπτυξη αυτή συνεχίζεται με αμείωτους ρυθμούς προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες για μεγαλύτερη, ταχύτερη, οικονομικότερη και ασφαλέστερη παραγωγή βιομηχανικών ορυκτών, μεταλλευμάτων και ξηρών ορυκτών καυσίμων (γαιάνθρακες).

Στην παρούσα εργασία γίνεται επεξεργασία δεδομένων ανατινάξεων που προέρχονται από αντίστοιχα στοιχεία του τομέα Σκληρών σχηματισμών του Ορυχείου Νοτίου πεδίου της ΔΕΗ. Τα δεδομένα αφορούν χρήση ANFO και Heavy ANFO για την χαλάρωση και την εύκολη διακίνηση των υπερκειμένων. Ο στόχος της εργασίας είναι να διερευνηθούν ο τρόπος προσβολής ή/και βελτιστοποίηση των συνθηκών εξόρυξης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κ.κ. Αγιουτάντη Ζαχαρία, Καθηγητή Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, Χριστόπουλο Διονύση, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Μποζίνη Στέργιο, Μεταλλειολόγο Μηχανικό, Τομεάρχη Τομέα Διακίνησης Σκληρών Σχηματισμών, Τριανταφύλλου Μιλτιάδη, Μηχανικό Ορυκτών Πόρων, Μηχανικό ανατινάξεων της ΔΕΗ.

Η εργασία εκπονήθηκε με την βοήθεια των εξής προγραμμάτων: Matlab R2007a, AutoCAD 2008, Microsoft Word 2007, Microsoft Excel 2007.

### Περιεχόμενα

			Σελ.
K	ζατάλ	ωγος Εικόνων	4
1		Εισαγωγή	6
2	2.1 2.2 2.3 2.4	Ορυχείο Νοτίου Πεδίου Γενικά για το Ορυχείο Νοτίου Πεδίου (Ο.Ν.Π.) Η γεωλογία των σχηματισμών του ΟΝΠ σε σχέση με την ευρύτερη γεωλογία της περιοχής Λεπτομερής γεωλογική περιγραφή των υπερκείμενων σκληρών σχηματισμών του Ο.Ν.Π. Δυσμενείς επιδράσεις των σκληρών σχηματισμών στην εκμετάλλευση Ν. Πεδίου	9 9 11 15 του 18
3	3.1 3.2 3.3 3.4 3.5 3.6 3.7 3.8 3.9 3.10 3.11 3.12 3.12,2 3.12,2 3.13 3.13,13	Εκρηκτικές ύλες και μέσα έναυσης Ιστορική ανασκόπηση	20 20 22 33 34 35 36 37 37 38 39 40 42 47 47 49 49
4	4.1 4.2	Στοιχεία ανατινάξεων στο Ορυχείο Νοτίου πεδίου Γενική περιγραφή της διαδικασίας της ανατίναξης Θέσεις σκληρών σχηματισμών	50 50 52
5	5.1 5.2 5.3	Μεθοδολογία επεξεργασίας μετρήσεων Προέλευση δεδομένων Παραδοχές για την ανάλυση των δεδομένων Εργαλεία επεξεργασίας	56 56 58 58

6		Επεξεργασία μετρήσεων	64
	6.1	Επεξεργασία μετρήσεων 2004	64
	6.1.1	Βάθος διατρήματος συναρτήσει του πάχους φακού	64
	6.1.2	Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του βάθους διατρήματος	67
	6.1.3	Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του πάχους φακού	69
	6.2	Επεξεργασία μετρήσεων 2005	73
	6.2.1	Βάθος διατρήματος συναρτήσει του πάχους φακού	73
	6.2.2	Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του βάθους διατρήματος	75
	6.2.3	Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του πάχους φακού	78
	6.3	Επεξεργασία μετρήσεων 2006	82
	6.3.1	Βάθος διατρήματος συναρτήσει του πάχους φακού	82
	6.3.2	Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του βάθους διατρήματος	84
	6.3.3	Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του πάχους φακού	87
	6.4	Επεξεργασία μετρήσεων 2007	91
	6.4.1	Βάθος διατρήματος συναρτήσει του πάχους φακού	91
	6.4.2	Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του βάθους διατρήματος	94
	6.4.3	Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του πάχους φακού	96
	6.5	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα της επεξεργασίας των μετρήσεων	100
7		Στοιγεία βελτιστοποίησης ανατιγάξεων	104
•	71	Κοπτικά άκοα	104
	7.2	Κάνναβος ανατινάζεων	104
	7.2	11. a pos a valova solov	
8		Συμπεράσματα – Προτάσεις	107
-	8.1	Συμπεράσματα	107
	8.2	Προτάσεις που προκύπτουν από την επεξεργασία των δεδομένων	109
0		B1B) 10000000	111
7		Βιρλιογραφια	111

### Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1: Ποσοστιαία κατανομή παραγώμενης ηλεκτρικής ενέργειας (πηγή ΔΕΗ).7
Εικόνα 2.1:Χάρτης ορυχείου Νοτίου πεδίου (Μποζίνης και Τριανταφύλλου, 2005) 10
Εικόνα 2.2: Λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας (Λ.Κ.Δ.Μ.) (πηγή ΔΕΗ) 11
Εικόνα 2.3: Τυπική γεωλογική τομή Νότιου πεδίου (Μποζίνης και Τριανταφύλλου,
2005)
Εικόνα 3.1: Σάκοι νιτρικού αμμωνίου
Εικόνα 3.2: Συγκριτικά η ενέργεια του ΑΝFO συναρτήσει του πετρελαίου που
χρησιμοποιείται (Hagan, 1980)
Εικόνα 3.3: Σχετική ενέργεια κατά βάρος και κατά όγκο συναρτήσει του ποσοστού
προσθήκης αλουμινίου στο ANFO (Hagan & Mercer, 1983)
Εικόνα 3.4: Γαλάκτωμα
Εικόνα 3.5: Εκρηκτικά υγρής φάσης
Εικόνα 3.6: Σχετική ισχύς κατά βάρος του Heavy ANFO συναρτήσει του ποσοστού
περιεκτικότητας του γαλακτώματος (Bampfield and Morrey 1984) 31
Εικόνα 3.7: Ισχύς κατά όγκο για επιλεγμένα μίγματα Al/ANFO και Heavy ANFO
(Jimeno et al., 1995)
Εικόνα 3.8: Δημιουργία κρουστικού παλμού κατά την έκρηξη (Τσουτρέλης, 1997) 36
Εικόνα 3.9:Κοινό καψύλιο δυναμίτιδας (Τσουτρέλης, 1997)
Εικόνα 3.10: Τυπικό σύστημα έναυσης
Εικόνα 3.12: Καψύλιο πυροδότησης συστήματος Hercudet (Gregory, 1984)
Εικόνα 3.11: Σύστημα έναυσης τύπου Nonel (Τσουτρέλης, 1997) 46
Εικόνα 3.13: Ηλεκτρικό καψύλιο δυναμίτιδας (Gregory, 1984)
Εικόνα 3.14: Σύστημα επιβράδυνσης
Εικόνα 4.1: Διατρητικό φορείο TAMROCK C50 K3L
Εικόνα 4.2: Σκληροί σχηματισμοί σε διαφορετικά βάθη στην ίδια βαθμίδα/
διαφορετική θέση
Εικόνα 4.3: Σκληροί σχηματισμοί σε διαφορετικό βάθος στην ίδια βαθμίδα/ ίδια
θέση53
Εικόνα 4.4: Σκληρός σχηματισμός στο δάπεδο της βαθμίδας
Εικόνα 4.5: Σκληρός σχηματισμός στο μέσο της βαθμίδας
Εικόνα 4.6: Σκληρός σχηματισμός στο φρύδι της βαθμίδας
Εικόνα 5.1: Τυπικό δελτίο καταγραφής ανατινάξεων
Εικόνα 5.2: Γραφικό περιβάλλον cftool
Εικόνα 5.3: Γραφικό περιβάλλον dfittool
Εικόνα 6.1: Πάχος φακού συναρτήσει βάθους διατρήματος
Εικόνα 6.2: Διακύμανση του βάθους διάτρησης συναρτήσει του πάχους του φακού 65
Εικόνα 6.3: Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του βάθους του διατρήματος.
Εικόνα 6.4: Διακύμανσης Βάθος διάτρησης - Όγκος ανατιναγμένου υλικού 68
Εικόνα 6.5: Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του πάχους του φακού 70
Εικόνα 6.6: Διακύμανση πάχους φακού σε σχέση με τον όγκο ανατιναγμένου υλικού
Εικόνα 6.7: Πάχος φακού συναρτήσει βάθος διατρήματος
Εικόνα 6.8: Διακύμανση βάθους διατρήματος συναρτήσει του πάχος του φακού 74
Εικόνα 6.9: Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του Βάθους διατρήματος 76

Εικόνα 6.10: Διακύμανσης του Βάθους διατρήματος σε σχέση με τον όγκο
ανατιναγμένου υλικού77
Εικόνα 6.11: Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του πάχους του φακού 79
Εικόνα 6.12: Διακύμανση πάχος φακού σε σχέση με τον όγκο ανατιναγμένου υλικού.
Εικόνα 6.13: Πάχος φακού συναρτήσει βάθους διατρήματος
Εικόνα 6.14: Διακύμανση βάθους διατρήματος σε σχέση με το πάχος του φακού 83
Εικόνα 6.15: Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του πάγους του φακού 85
Εικόνα 6.16:Διακύμανση βάθους διατρήματος σε σγέση με τον όγκο ανατιναγμένου
υλικού
Εικόνα 6.17: Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του πάγους του φακού 88
Εικόνα 6.18: Διακύμανση πάγους φακού σε σγέση με τον όγκο ανατιναγμένου
υλικού
Εικόνα 6.19: Πάγος φακού συναοτήσει του βάθους του διατοήματος
Εικόνα 6.20: Διακύμανση βάθους διατοήματος σε σγέση με το πάγος το φακού 92
Εικόνα 6.21: Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει το βάθους του διατρήματος.
Εικόνα 6.22: Διακύμανση βάθους διατρήματος σε σγέση με τον όγκο ανατιναγμένου
υλικού
Εικόνα 6.23: Όγκος ανατιναγμένο υλικού συναρτήσει του πάγους του φακού
Εικόνα 6.24: Διακύμανση πάγους φακού σε σγέση με τον όγκο ανατινανμένου
υλικού
Εικόνα 6.25:Συνκεντρωτικό διάνραμμα πάγος φακού συναρτήσει του βάθους του
διατοήματος
Εικόνα 6.26: Συγκεντοωτικό διάνραμμα του όγκου ανατινανμένου υλικού σε σγέση
με το βάθος του διατοήματος102
Εικόνα 6.27: Συγκεντοωτικό διάνραμμα του όγκου ανατιναγμένου υλικού
συναρτήσει του πάγους του φακού
Εικόνα 7.1: Σγεδιασμός ανατίναξης με τις δύο διαμέτρους

### Κεφάλαιο 1

### 1 Εισαγωγή

Η Ελλάδα διαθέτει σημαντικά κοιτάσματα φτωχών στερεών καυσίμων, όπως είναι ο λιγνίτης και η τύρφη. Στη δυτική Μακεδονία και συγκεκριμένα στην τάφρο που αναπτύσσεται στον άξονα Φλώρινα – Πτολεμαΐδα – Κοζάνη – Ελασσόνα, είναι συγκεντρωμένο το μεγαλύτερο λιγνιτικό δυναμικό της χώρας μας. Η διαχείριση του δυναμικού αυτού γίνεται από το Λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας (ΛΚΔΜ). Σήμερα (2008) τα κύρια λιγνιτωρυχεία του Λιγνιτικού Κέντρου είναι τα ακόλουθα :

- Λιγνιτωρυχείο Αμυνταίου
- Λιγνιτωρυχείο Κυρίου πεδίου
- Λιγνιτωρυχείο Καρδίας
- Λιγνιτωρυχείο Νοτίου πεδίου

Η Ελλάδα εισάγει ενέργεια ίση με το 70 % των συνολικών ενεργειακών αναγκών. Το υπόλοιπο 30 % που αντιστοιχεί στην εγχώρια παραγωγή (όσον αφορά την ηλεκτροδότηση) βασίζεται σε μεγάλο ποσοστό στους λιγνίτες (περίπου 60 %) (Εικόνα 1.1). Έτσι, η μέχρι σήμερα αξιοποίηση των λιγνιτικών κοιτασμάτων έχει συμβάλλει αποφασιστικά στην ενεργειακή ανάπτυξη της χώρας μας.

Το 2007 τα λιγνιτωρυχεία της ΔΕΗ έφτασαν ετήσιο ρυθμό παραγωγής 63.43 Mt. λιγνίτη και συνολικές εκσκαφές 352.04 Mm<sup>3</sup>. Η παραγωγή αυτή κατατάσσει την Ελλάδα 2<sup>η</sup> λιγνιτοπαραγωγό χώρα στην Ευρωπαϊκή Ένωση και 5<sup>η</sup> σ' όλο τον κόσμο. Η παραγωγή λιγνίτη από τα Ορυχεία της Δυτικής Μακεδονίας καλύπτει πάνω από το 78 % της συνολικής παραγωγής λιγνίτη της ΔΕΗ.

Με τα σημερινά (2008) τεχνολογικά και οικονομικά δεδομένα και με βάση τις μέχρι σήμερα κοιτασματολογικές έρευνες, τα εναπομείναντα εκμεταλλεύσιμα στο ΛΚΔΜ αποθέματα λιγνίτη ανέρχονται σε 1.800 Mt. περίπου (2008) (Kavouridis, 2008). Ο λιγνίτης που εξορύσσεται στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου, χρησιμοποιείται ως καύσιμη ύλη στους Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς (AHΣ) της περιοχής, από τους οποίους παράγεται το 50 – 55 % της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται σήμερα στη χώρα μας.



Εικόνα 1.1: Ποσοστιαία κατανομή παραγώμενης ηλεκτρικής ενέργειας (πηγή ΔΕΗ).

Τα εναπομείναντα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη επαρκούν να τροφοδοτήσουν τις μονάδες εγκατεστημένες στη Δυτική Μακεδονία για 45 ακόμη χρόνια. Στο Ενεργειακό Κέντρο της Δυτικής Μακεδονίας η ισχύς αυτή ανέρχεται σε 4.378 MW που αποτελεί περίπου το 44 % της συνολικά εγκατεστημένης ισχύος στην Ελλάδα.

Η ραγδαία ανάπτυξη των λιγνιτωρυχείων της ΔΕΗ, και ειδικότερα αυτών της Δυτικής Μακεδονίας, και τα εντυπωσιακά αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν διαχρονικά, οφείλονται στη συνεχή ανάπτυξη των λιγνιτωρυχείων και στην προσαρμογή τους στις σύγχρονες απαιτήσεις.

Λόγω της αυξημένης ζήτησης για ενέργεια, ένα από τα μεγαλύτερα ορυχεία εξόρυξης λιγνίτη αναπτύσσεται συνεχώς στην περιοχή της Κοζάνης. Το ορυχείο αυτό είναι το Νότιο πεδίο.

Το Νότιο Πεδίο θα συνεχίσει τη συμβολή του στο ενεργειακό ισοζύγιο της περιοχής τουλάχιστον για 30 χρόνια ακόμη και αυτό διότι συμβάλλει σε μεγάλο ποσοστό στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας περίπου το 10 % της συνολικής εγχώριας παραγωγής.

Το μέλλον του ορυχείου είναι μια επέκταση με την μορφή «βεντάλιας» όπου στους νέους χώρους υπάρχουν ακόμα περισσότεροι και πιο σκληροί σχηματισμοί σε σχέση με τον χώρο που βρίσκεται τώρα (2008) το ορυχείο.

Στο Νότιο πεδίο γίνεται σχεδόν αποκλειστικά χρήση εκρηκτικών υλών διότι στο ορυχείο αυτό έχει προκύψει πρόβλημα με τους σκληρούς σχηματισμούς, ανατινάξεις

γίνονται και στο ορυχείο Καρδίας με πολύ μικρότερη συχνότητα ως προς αυτή του Νοτίου πεδίου.

Τα στοιχεία που προκύπτουν από τις ανατινάξεις αναλύθηκαν με στόχο την μείωση, αν γίνεται, της κατανάλωσης των εκρηκτικών υλών, την καλύτερη πρόβλεψη της αποδοτικότητας των ανατινάξεων, την βελτίωση συνολικά της διαδικασίας της ανατίναξης και τέλος μια πρόβλεψη της γεωλογίας του χώρου του ορυχείου.

### Κεφάλαιο 2

### 2 Ορυχείο Νοτίου Πεδίου

### 2.1 Γενικά για το Ορυχείο Νοτίου Πεδίου (Ο.Ν.Π.)

Το Νότιο Πεδίο άρχισε τη λειτουργία του το 1979 και ολοκλήρωσε τη διάνοιξη το 1988. Το πρόγραμμα ανάπτυξης και εκμετάλλευσης του Ορυχείου παρουσίασε υστέρηση κύρια λόγω της αναποτελεσματικής, μέχρι το 1990, αντιμετώπισης των σκληρών σχηματισμών υπερκειμένου και της καθυστέρησης εγκατάστασης των κλάδων απόθεσης των ταινιόδρομων (Εικόνα 2.1).

Το λιγνιτικό κοίτασμα καλύπτει μια περιοχή 120 km<sup>2</sup>, εκτεινόμενο σε μια οριζόντια απόσταση πάνω από 90 km, και εμπεριέχει 4000 Mt βέβαια γεωλογικά αποθέματα και 2500 Mt εκμεταλλεύσιμου λιγνίτη σύμφωνα με τα οικονομικά και τεχνολογικά δεδομένα και τα εναπομένοντα αποθέματα υπολογίζονται σε 500 Mt.

Το ορυχείο Νοτίου Πεδίου είναι το μεγαλύτερο από τα 5 μεγάλα Λιγνιτωρυχεία (ανοικτές εκμεταλλεύσεις) του Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας, καλύπτοντας μια έκταση 64 km<sup>2</sup> (επιφάνεια ανοικτής εκσκαφής και εξωτερικών αποθέσεων) (Εικόνα 2.2).

Τα αρχικό απόθεμα του λιγνίτη της περιοχής εκτιμήθηκε σε 1.2 Gt. Η προγραμματισμένη παραγωγή λιγνίτη σε ετήσια βάση είναι της τάξης των 19.5 – 21.0 Mt, ενώ οι διακινήσεις των υπερκειμένων φθάνουν τα 55 Mm<sup>3</sup> στ. Οι συνολικές ετήσιες εκσκαφές (διακινήσεις) ξεπερνούν (στοιχεία 2007) 120 Mm<sup>3</sup> με μια μέση σχέση εκμετάλλευσης 5.5 : 1 και αναμένεται να αυξηθεί σε 7 – 7.5 : 1 στην επέκταση του ορυχείου.

Σήμερα στις επτά από τις 10 βαθμίδες του ορυχείου και λόγω δύο μεγάλων ρηγμάτων, εμφανίζονται μεγάλες μάζες σκληρών – ημίσκληρων σχηματισμών. Αυτό το φαινόμενο (μοναδικό σε έκταση παγκοσμίως) υποχρέωσε τους τεχνικούς να αναπτύξουν παράλληλα με τη συνεχή μέθοδο λειτουργίας (Γερμανική) και τη συμβατική (Αμερικάνικη), για την ομαλή ανάπτυξη της εκμετάλλευσης του πεδίου. Περίπου το 45 % των υπερκειμένων αποτελούνται από σκληρούς – ημίσκληρους σχηματισμούς, οι οποίοι διακινούνται με συμβατικό εξοπλισμό. Οι δύσκολες γεωλογικές συνθήκες του Ορυχείου (τεκτονισμός, υπόγεια νερά, σκληροί σχηματισμοί, μεγάλο βάθος) και η αντίστοιχη ποικιλία εξοπλισμού και μεθόδων εκμετάλλευσης (συνδυασμός συνεχούς και ασυνεχούς λειτουργίας για τη διακίνηση σκληρού υπερκειμένου) καθιστούν το Νότιο Πεδίο μοναδικό στα παγκόσμια μεταλλευτικά χρονικά επιφανειακών εκμεταλλεύσεων.



Εικόνα 2.1:Χάρτης ορυχείου Νοτίου πεδίου (Μποζίνης και Τριανταφύλλου, 2005)



Εικόνα 2.2: Λιγνιτικό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας (Λ.Κ.Δ.Μ.) (πηγή ΔΕΗ).

## 2.2 Η γεωλογία των σχηματισμών του ΟΝΠ σε σχέση με την ευρύτερη γεωλογία της περιοχής

Η λιγνιτοφόρος λεκάνη Πτολεμαΐδας αποτελεί τμήμα της μεγάλης τεκτονικής τάφρου, που εκτείνεται από το Μοναστήρι Σερβίας βόρεια μέχρι και την κοίτη του Αλιάκμονα νότια.

Γεωτεκτονικά η περιοχή της λεκάνης (περιθώρια και υπόβαθρο) ανήκει στη Πελαγονική ζώνη, είναι δε πιθανό ένα τμήμα των ανατολικών περιθωρίων αυτής να ανήκει στη ζώνη Αξιού.

Στην γεωλογική κατασκευή των περιθωρίων και του υπόβαθρου της λεκάνης συμμετέχουν τα πετρώματα της κρυσταλλοσχιστώδους Πελαγονικής μάζας και το επικείμενο μεσοζωικό επικάλυμμα.

Τα ιζήματα της τάφρου, που υπέρκεινται σε ασυμφωνία με τα προηγούμενα, αποτελούνται από στρώματα του νεογενούς (Πλειοκαίνου), που με τη σειρά τους αποτελούν τη βάση και το κύριο μέρος της στρωματογραφικής σειράς που βρίσκεται μέσα στην τάφρο, και από τα στρώματα του τεταρτογενούς, που από άποψη ηλικίας βρίσκονται μεταξύ του Πλειστοκαίνου και Ολοκαίνου και που υπέρκεινται των προηγουμένων νεογενών σε ασυμφωνία. Από τα πετρώματα της Πελαγονικής μάζας εμφανίζονται αυτά του λιθανθρακοπερμίου αλλά και παλιότερα κρυσταλλοσχιστώδη στα δυτικά περιθώρια της λεκάνης και πιθανά και μέσα στο υπόβαθρο της νεογενούς λεκάνης. Τα πρώτα αποτελούνται από διάφορους τύπους σχιστολίθων, σκοτεινόχρωμων ψαμμιτών (γραουβάκων), ασβεστολίθων, χαλαζιακών κροκαλοπαγών και ερυθρών ή πρασίνων ψαμμιτών, ενώ τα κρυσταλλοσχιστώδη αποτελούνται από κρυσταλλικούς σχιστόλιθους, κύρια μαργαϊκούς, χαλαζιτών και γνευσίων όπως επίσης και από μερικούς οφειολίθους.

Η στρωματογραφική σειρά του μεσοζωικού επικαλύμματος, που υπέρκειται των προηγουμένων στρωμάτων της Πελαγονικής σε ασυμφωνία, περιλαμβάνει πετρώματα τριαδικοϊουρασικής και ανωκρητιδικής ηλικίας. Η τριαδικοϊουρασική σειρά αποτελείται από την ασβεστολιθική μάζα της βάσεως και το σύστημα σχιστοκερατολίθων με οφειολίθους. Η ανωκρητιδική σειρά περιλαμβάνει: το βασικό κροκαλοπαγές, διαφόρων τύπων ασβεστολίθων και το σύστημα των φλυσχοειδών πετρωμάτων, που συνίσταται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και λεπτοπλακώδεις μέχρι σχιστώδεις ασβεστόλιθους. Μεταξύ των δύο προηγουμένων μεσοζωικών σειρών παρεμβάλλονται τοπικά βωξιτικού τύπου λατεριτικά σιδηρομεταλλεύματα όπως επίσης και μερικές εμφανίσεις βωξίτη.

Προς το τέλος της τριτογενούς περιόδου, σχηματίστηκε η μεγάλη τεκτονική τάφρος, σαν αποτέλεσμα διαρρήξεων ΒΔ – ΝΑ διευθύνσεως, που αποτελεί ολόκληρη ζώνη μικρότερων ταφροειδών βυθισμάτων που αποτελούν τις λιγνιτοφόρες λεκάνες Φλώρινας – Αμυνταίου – Πτολεμαΐδας και Κοζάνης – Σερβίων. Με τις ηπειρογενετικές κινήσεις του Τεταρτογενούς οι λεκάνες αυτές κατακερματίστηκαν και έτσι η λεκάνη Πτολεμαΐδας χωρίστηκε σε μικρότερα ταφροειδή βυθίσματα (Πτολεμαΐδας – Έλους Σαριγκιόλ κλπ.) και σε ρηξιγενή εξάρματα (Αγ. Χριστόφορου, Κομάνου κ.α.).

Τα ιζήματα της τεκτονικής τάφρου που αφορούν το νότιο τμήμα της λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδας, ανήκουν στους νεογενείς (πλειοκαινικούς) λιγνιτοφόρους και μη σχηματισμούς και σε κείνους του Τεταρτογενούς (Πλειστοκαίνου και Ολοκαίνου) (Βουρδούνης, 1998).

12

Οι νεογενείς αποθέσεις περιλαμβάνουν τις ακόλουθες σειρές:

- a) την ανώτερη (που υπέρκειται της λιγνιτωφόρας)
- b) τη λιγνιτοφόρα
- c) την κατώτερη σειρά (που υπόκειται της λιγνιτωφόρας).

Η ανώτερη σειρά περιλαμβάνει τα εξής τριτογενή ιζήματα:

- a) την ανώτατη στιβάδα των κιτρινοφαίων κλαστικών ιζημάτων που αποτελούνται από εναλλασσόμενες ενστρώσεις άμμων, αργίλων αμμούχων μαργών, χαλαρών κροκαλοπαγών και φακοειδών ψαμμιτών, ψηφιδοπαγών και μαργαϊκών ασβεστολίθων
- b) τη στιβάδα των πρασινοτέφρων αργιλομαργαϊκών ιζημάτων που αποτελούνται από αμμούχους αργίλους και υλιομιγείς αργιλούχες μάργες. Το μέγιστο πάχος ολόκληρης της σειράς φτάνει τα 100 m περίπου.

Η λιγνιτοφόρα σειρά περιλαμβάνει:

- a) Την ανώτερη λιγνιτωφόρα στιβάδα που αποτελείται από 9 10 στρώματα λιγνίτη πάχους κυμαινομένου μεταξύ μερικών εκατοστών του μέτρου και δύο μέτρων και από ένα μέχρι τρία λεπτά στρώματα ξυλίτη στην οροφή της στιβάδας, που μεταξύ τους παρεμβάλλονται στείρες ενστρώσεις αργίλων, μαργών και λιμναίας κρητίδας. Το μέγιστο συνολικό πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων είναι 10 m, και της στιβάδας 40 m.
- b) Την ενδιάμεση σειρά στείρων ιζημάτων, που αποτελείται κύρια από ασθενώς αμμούχες μάργες, με σπάνιες ενστρώσεις αργίλων και συχνές ενστρώσεις λιμναίας κρητίδας όπως επίσης και με ελάχιστα λεπτότατα στρώματα λιγνίτη πάχους 0.02 – 0.03 m. Το μέγιστο πάχος της στιβάδας αυτής είναι 14 m.
- c) Την κατώτερη λιγνιτωφόρα στιβάδα, που αποτελείται κύρια από εναλλασσόμενα στρώματα λιγνίτη, μαργών και αργίλων με μεταβλητό πάχος και από δυο ενστρώσεις, χαρακτηριστικές άμμου της μιας και λιμναίας κρητίδας με το χαρακτηριστικό απολίθωμα Neritina της δεύτερης, που χρησιμοποιήθηκαν ως χαρακτηριστικοί ορίζοντες για τη διαπίστωση και τον εντοπισμό τεκτονικών στοιχείων του κοιτάσματος. Το μέγιστο συνολικό πάχος των λιγνιτικών

στρωμάτων, στη στιβάδα αυτή, φτάνει τα 55 m. Το μέγιστο πάχος ολόκληρου της στιβάδας φτάνει τα 80 m.

Η κατώτερη σειρά αποτελείται, στους ανώτερους μεν ορίζοντες, από τεφρές αργιλούχες μάργες, τοπικά αμμούχες, με φακοειδείς διαστρώσεις μαργαϊκού ασβεστολίθου, συνολικού πάχους 90 m, στους κατώτερους δε από αμμώδεις αργίλους με μαργαϊκές ενστρώσεις, και έχει πάχος 110 m.

Η ηλικία των τριτογενών ιζημάτων που αναφέρθηκαν προηγουμένως τοποθετείται στο Ανώτερο Πλειόκαινο.

Οι τεταρτογενείς αποθέσεις, που επικαλύπτουν επιφανειακά όλα τα νεογενή ιζήματα, περιλαμβάνουν:

- a) σχηματισμούς διλουβιακούς που αποτελούνται: από σύστημα εναλλασσομένων κροκαλοπαγών, ψαμμιτών και κόκκινων αργίλων, από τα «κροκαλοπαγή Προαστίου», που όλα είναι ποταμιοχειμάρριοας προέλευσης, όπως επίσης και από κώνους λατυποκροκαλοπαγούς υλικού που μεταφέρθηκε με τους χείμαρρους από τα κράσπεδα των περιθωρίων της λεκάνης και αποτέθηκε μέσα στη λεκάνη με μορφή ριπιδοειδών σχηματισμών. Οι επιφανειακοί ορίζοντες των λατυποκροκαλοπαγών αυτών στα νοτιοανατολικά τμήματα της λεκάνης αποτελούνται από ασβεστολιθικό υλικό και σχηματίζουν ένα συμπαγές και σκληρό επικάλυμμα,
- b) αλλουβιακούς σχηματισμούς που περιλαμβάνουν τις ποταμοχειμαρρώδεις νεώτερες και πρόσφατες αποθέσεις, τα αποσαθρώματα των προηγούμενων πετρωμάτων, τα πλευρικά κορήματα και τα πρόσφατα εξωγενή ιζήματα της περιοχής Σαριγκιόλ.

Τα ρήγματα που επικρατούν στην περιοχή είναι αρχικά τα BΔ – NA και BA – NΔ διεύθυνσης. Από αυτά τα πρώτα θεωρούνται κρασπεδικά ρήγματα, που δημιούργησαν την αρχική τεκτονική τάφρο. Στα δεύτερα οφείλεται ο κατατεμαχισμός εγκάρσια προς τη γενική διεύθυνση της τάφρου και η διαμόρφωση της σημερινής εικόνας της λεκάνης Πτολεμαΐδας σε υπολεκάνες και εξάρματα. Από τις προηγούμενες διευθύνσεις παρατηρούνται μικρές παρεκκλίσεις, δηλαδή BBΔ – NNA και BBA – NNΔ. Τέλος ρήγματα νεώτερης ηλικίας των προηγούμενων, διεύθυνσης B – N και A – Δ μέχρι ABA – ΔΝΔ, παρατηρούνται τόσο μέσα στη λεκάνη όσο και στα περιθώρια αυτής. Τα ρήγματα αυτά έχουν συμβάλλει στη διαμόρφωση της σημερινής μορφής του λιγνιτικού κοιτάσματος κυρίως στο ΝΑ τομέα της λεκάνης.

Ως αποτέλεσμα των τεκτονικών διαταραχών τα λιγνιτικά στρώματα και τα περιβάλλοντα ιζήματα εμφανίζουν ελαφρά πτύχωση και τοπικά ελαφρά κλίση (3 ~ 5°) προς τα ΝΔ, ενώ τις περισσότερες φορές είναι σχεδόν οριζόντια. Στις ίδιες διαταραχές οφείλονται και οι διαβρώσεις στα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα που παρατηρήθηκαν.

Στα πετρώματα των περιθωρίων επικρατεί ρηξιγενής τεκτονική με ρήγματα των παραπάνω διευθύνσεων (Βουρδούνης, 1998).

## 2.3 Λεπτομερής γεωλογική περιγραφή των υπερκείμενων σκληρών σχηματισμών του Ο.Ν.Π.

Τα υπερκείμενα της λιγνιτοφόρου στοιβάδας του Νοτίου Πεδίου ανήκουν στο τριτογενές και στο τεταρτογενές.

Στο τριτογενές (νεογενές), που ανήκει και η λιγνιτοφόρος σειρά, περιλαμβάνονται δυο διακεκριμένες από άποψη χρώματος και υλικού σειρές ιζημάτων.

- 1) Σειρά πρασινότεφρων ποταμολιμναίων ιζημάτων
- 2) Σειρά κιτρινοφαίων λιμναίων ιζημάτων

Στο τεταρτογενές περιλαμβάνονται η σειρά ερυθροφαίων αργίλων και κροκαλοπαγών, τα κροκαλοπαγή του Προαστίου και οι νεώτερες αποθέσεις. Είναι χειμαρολιμναίες και ποτάμιες αποθέσεις των προϊόντων της διάβρωσης μετά την εκδήλωση κατακόρυφων ανοδικών και καθοδικών κινήσεων σε διάφορα τμήματα της λεκάνης στις αρχές του κατώτερου πλειστόκαινου (Εικόνα 2.3). Με μικρότερο πάχος βρίσκονται νότια της Χαραυγής και προς τη γέφυρα Σουλού δηλαδή στο BA και BΔ τμήμα του κοιτάσματος, ενώ στο νότιο τμήμα φθάνει τα 130 και πλέον μέτρα. Η διαφορά του πάχους οφείλεται αφενός μεν στις μεταπτώσεις που υπήρχαν πριν από τις αποθέσεις και αφετέρου στην έστω και μικρή (μέχρι 3° συνήθως) κλίση των στρωμάτων (Βουρδούνης, 1998).

a) Σειρά πρασινότεφρων αργιλλομαργαϊκών αποθέσεων: Επίκεινται σε συμφωνία στα λιγνιτικά στρώματα. Σε ορισμένα σημεία συναντώνται λιγνιτικά στρώματα μέσα στη σειρά αυτή. Αποτελείται από εναλλαγές αργίλων πολύ αμμούχων, ασβεστούχων και ιλυομιγών – αργιλλούχων μαργών. Συχνά συναντάται άμμος με φύλλα μαρμαρυγία. Το πάχος της κυμαίνεται από λίγα μέχρι 52 m. Σκληροί σχηματισμοί συναντώνται μόνο κατά θέσεις.



Εικόνα 2.3: Τυπική γεωλογική τομή Νότιου πεδίου (Μποζίνης και Τριανταφύλλου, 2005)

b) Σειρά κιτρινόφαιων αμμωδών αποθέσεων: Βρίσκεται σε ασυμφωνία πάνω στην προηγούμενη σειρά. Αποτελείται κύρια από μαργαϊκές και μαρμαρυγιούχες άμμους. Υπάρχουν επίσης σε μικρότερο ποσοστό ενστρώσεις αργίλων και αμμούχων μαργών με συγκρίματα ασβεστίου. Κατά θέσεις εντοπίζονται χάλικες, ενστρώσεις χαλαρών κροκαλοπαγών (μικρές στρογγυλές κροκάλες). Χαρακτηριστική είναι εδώ η εμφάνιση σιδηροξειδίων. Τέλος υπάρχουν ακόμη φακοειδείς ενστρώσεις σκληρών πετρωμάτων όπως ψαμμίτες, ψηφιδοπαγή, μικροκροκαλοπαγή και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, το πάχος των οποίων και ο αριθμός μειώνεται προς τα Δ, Β.Δ του κοιτάσματος και αυξάνει προς το κέντρο. Το μέγιστο πάχος της σειράς φθάνει τα 50 m. Η απόθεση της σειράς αυτής βρίσκεται σε άλλη φάση από την προηγούμενη, δηλαδή μετά από περίοδο διάβρωσης και αποκομιδής, και συμπίπτει με φάση μείωσης του βάθους λόγω πρόσχωσης. Είναι ιζήματα ποταμολιμναίας προέλευσης με συχνές πλευρικές και κατακόρυφες μεταβάσεις.

c) Σειρά ερυθροφαίων αργίλων και κροκαλοπαγών: Βρίσκεται σε γωνιώδη ασυμφωνία με την προηγούμενη σειρά, πράγμα που γίνεται αντιληπτό από το σύνολο των γεωτρήσεων και όχι από μεμονωμένες γεωτρήσεις. Αποτελείται από εναλλαγές ερυθροχρόων, αμμωδών και συχνά ασβεστούχων αργίλων με κροκάλες και χαλαρά κροκαλοπαγή με συνδετική ύλη αργιλοψαμμιτική. Οι κροκάλες είναι κύρια ασβεστολιθικές στρογγυλευμένες και παρουσιάζονται σε διάφορα μεγέθη. Η απόθεσή τους αντιστοιχεί σε φάση πρόσχωσης και περιορισμού της λίμνης. Έτσι, όπως ήταν επόμενο, επήλθε μια φυσική κοκκομετρική κατανομή των μεταφερομένων υλικών, με αποτέλεσμα τα πιο αδρομερή να παραμείνουν κοντά στην όχθη και τα λεπτοκλασικότερα να μεταφερθούν προς το εσωτερικό. Έτσι στο κέντρο επικρατούν αργιλοαμμούχες ενστρώσεις σε σχέση με τα κροκαλοπαγή, τα οποία αυξάνουν προς τα περιθώρια (Χαραυγή). Στην περιοχή του Ν. Πεδίου τα ιζήματα της σειράς προέρχονται από το Βέρμιο. Έτσι το πάγος τους είναι μεγαλύτερο (60 m.) προς τα περιθώρια της λεκάνης και μειώνεται (15 – 20 m.) προς το κέντρο. Δυτικότερα οι χειμαρολιμναίες αποθέσεις μεταπίπτουν σε τυπικά λιμναία ιζήματα, άργιλοι αμμούχες και μάργες αργιλοαμμούχες με πολλά ασβεστολιθικά συγκρίματα και ασβεστολιθικούς κονδύλους, που έχουν δημιουργήσει ορισμένα προβλήματα στην αποδοτική λειτουργία των καδοφόρων εκσκαφέων. Σαν επιστέγασμα της χειμαρολιμναίας σειράς έρχονται οι ριπιδοειδείς κώνοι χειμαρρίων αποθέσεων από το Βέρμιο. Αποτελούνται από λατυποκροκαλοπαγή με μέγεθος κροκάλων που φθάνει πάνω από 30 cm, συνεκτικά λόγω της απόθεσης  $CaCO_3$  μεταξύ τους.

d) Κροκαλοπαγή Προαστίου: Χειμάρριες αποθέσεις, αποτελούμενες κύρια από κροκαλοπαγή, άμμους και ψαμμίτες. Εμφανίζονται στην περιοχή του Ν. Πεδίου αριστερά του δρόμου Ποντοκώμης – Χαραυγής ανάμεσα στη σιδηροδρομική γραμμή και στο ρέμα Σουλού και επεκτείνεται αριστερά και δεξιά του ρέματος.

Προβλήματα εξορυξιμότητας παρουσιάζονται στις εξής σειρές αποθέσεων:

- Στη σειρά κιτρινοφαίων αμμωδών αποθέσεων. Στη σειρά αυτή όπως προαναφέρθηκε υπάρχουν πολλές λεπτές φακοειδής ενστρώσεις σκληρών στρωμάτων όπως ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (πηλίτες). Εδώ τα προβλήματα οφείλονται αφενός στην υψηλή αναλογία σκληρών και αφετέρου στη τυχαία κατανομή αυτών.
- 2) Στη σειρά ερυθροφαίων αργίλων και κροκαλοπαγών. Εδώ τα προβλήματα οφείλονται στα συνδεμένα με αργιλοψαμμιτική ύλη κροκαλοπαγή μέρος των οποίων είναι συνεκτικό και ακατάλληλο για τους χρησιμοποιούμενους καδοφόρους εκσκαφείς.
- 3) Στα κροκαλοπαγή του Προαστίου λόγω της φύσεως των υλικών της σειράς αυτής.
- 4) Τέλος προβλήματα υπάρχουν στα ασβεστολιθικά συνδεμένα κροκαλοπαγή που αποτελούν χειμάρριες αποθέσεις του Βερμίου και αποτελούν το επιστέγασμα της σειράς των ερυθροφαίων αργίλλων.

### 2.4 Δυσμενείς επιδράσεις των σκληρών σχηματισμών στην εκμετάλλευση του Ν. Πεδίου

Οι δυσμενείς επιδράσεις των σκληρών σχηματισμών πάνω στην εκμετάλλευση του Ο.Ν.Π. ήταν ιδιαίτερα έντονες κατά τη φάση της διάνοιξής του (Καβουρίδης, 1990):

 Οι εκσκαφείς του πάγιου εξοπλισμού, κατασκευασμένοι για την αντιμετώπιση μαλακότερων σχηματισμών, ήταν αδύνατο να φθάσουν τα διεθνώς αποδεκτά πρότυπα λειτουργικότητας. Η συνεχής παρουσία σκληρών ενστρώσεων στα μέτωπα, υποχρέωνε τους εκσκαφείς σε ασυνεχή λειτουργία με την αναμονή ξεσκαρώματος για την απομάκρυνση των σκληρών, που γίνονταν με αναμόχλευση (ripping) από μεγάλους προωθητές. Μερικές φορές με απλή προχαλάρωση, με χρήση εκρηκτικών υλών, έγινε προσπάθεια αντιμετώπισης των σχηματισμών αυτών από τους ίδιους τους εκσκαφείς, χωρίς ιδιαίτερα αποτελέσματα και απώλειες χρόνου και υλικών. Τα παραπάνω είχαν σαν συνέπεια την καθυστέρηση ανάπτυξης του Ο.Ν.Π. με αποτέλεσμα την για πολλά χρόνια υστέρηση του ορυχείου στην παραγωγή λιγνίτη.

- 2. Η σοβαρή αυτή και συνεχής υστέρηση στην παραγωγή είχε αρνητικές συνέπειες στο ισοζύγιο του λιγνίτη και σήμαινε την παράλληλη εξεύρεση άλλων λύσεων για την κάλυψη του κενού. Έτσι τα υπόλοιπα ορυχεία ήταν υποχρεωμένα, με εμβόλιμες λύσεις, να καλύπτουν την υστέρηση της παραγωγής επιταχύνοντας ουσιαστικά το ρυθμό τους, με όλες τις συνέπειες.
- 3. Δεδομένης της μεγάλης συμμετοχής του Ο.Ν.Π. στο λιγνιτικό ισοζύγιο του ΛΚΠΑ που φτάνει και το 40 %, μετά από ενδελεχή έλεγχο των δεδομένων και την αξιοποίηση της διεθνούς εμπειρίας, ελήφθησαν σημαντικές τεχνικές αποφάσεις μέτρα για την εύρυθμη λειτουργία του ορυχείου για όλα τα επόμενα χρόνια, με βάση πάντα την οικονομική βιωσιμότητα όλου του συστήματος παραγωγής του ορυχείου. Ήδη σήμερα στο Ο.Ν.Π. οι εκσκαφείς του πάγιου εξοπλισμού είναι σε θέση να συγκρίνονται σε λειτουργικότητα με τα διεθνή δεδομένα

Σήμερα ανατινάξεις γίνονται κατά κύριο λόγο στο Ορυχείο του Νοτίου πεδίου της ΔΕΗ.

Στόχος είναι η προχαλάρωση των σκληρών σχηματισμών ώστε να μειωθούν οι φθορές των μηχανημάτων εξόρυξης του πάγιου εξοπλισμού. Σαν αποτέλεσμα το στάδιο της ανατίναξης θεωρείται κομβικό σημείο στην διαδικασία παραγωγής και αυτό διότι μια φθορά στα μηχανήματα σημαίνει προσωρινή παύση της παραγωγικής διαδικασίας κάτι το οποίο είναι ζημιογόνο για το ΟΝΠ.

### Κεφάλαιο 3

### 3 Εκρηκτικές ύλες και μέσα έναυσης

### 3.1 Ιστορική ανασκόπηση

Εκρηκτική ύλη είναι υλικό, σώμα ή σύστημα, το οποίο μπορεί με κατάλληλη μηχανική ή θερμική διέγερση να παράγει απότομα, υπό ταυτόχρονη αποδέσμευση της εσωτερικής του ενέργειας, μια μεγάλη ποσότητα αερίων, ώστε να γίνει δυνατή η εξάσκηση μιας δυναμικής καταπονήσεως στο περιβάλλον. Η ανακάλυψη των εκρηκτικών υλών είναι ένα από τα σημαντικότερα επιτεύγματα της τεχνικής εξελίξεως.

Η τεχνική της διάτρησης του πετρώματος έχει επηρεάσει την εξέλιξη των εκρηκτικών, καθώς επίσης και την τεχνολογία της εξόρυξης σε μεγάλο βαθμό. Η τάση εφαρμογής της μεθόδου μεγάλου μήκους διατρημάτων δημιούργησε μια ζωτικής σημασίας τεχνική και οικονομική κατάσταση για την πλέον αποτελεσματική χρήση φθηνότερων μιγμάτων εκρηκτικών (Πολυχρονόπουλος, 1979).

Παρόλο που η μαύρη πυρίτιδα (black powder) είναι γνωστή από τον 13° αιώνα, η πρώτη εφαρμογή των εκρηκτικών υλών σε μεταλλευτική δραστηριότητα χρονολογείται από τις αρχές του17<sup>ου</sup> αιώνα. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη εξόρυξη με εκρηκτικές ύλες χρονολογείται το 1627 στα μεταλλεία του Schemnitz στην Ουγγαρία. Η μαύρη πυρίτιδα όμως δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια πριν από την εφεύρεση της θρυαλλίδας ασφαλείας από τον Bickford το 1831.

Η νιτρογλυκερίνη και η νιτροκυτταρίνη ανακαλύφθηκαν στα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα από τον Asconia Sobrero στην Ιταλία και τον Shoenbein στην Ελβετία αντίστοιχα, αλλά δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στη βιομηχανία λόγω της ευαισθησίας του σε κρούση και σε υψηλές θερμοκρασίες. Αργότερα ο Alfred Nobel ανακάλυψε ότι η νιτρογλυκερίνη αδρανοποιείται ως ένα βαθμό όταν αναμιχθεί με υλικά που έχουν μεγάλη προσροφητική ικανότητα όπως οι διατομίτες.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν «ενεργά» υλικά προσρόφησης όπως πολτός ξύλου (ξυλάλευρο, wood pulp) για την παρασκευή μιγμάτων τα οποία ονομάζονται κοινές δυναμίτιδες ή δυναμίτες (straight dynamites). Ο πολτός ξύλου χαρακτηρίζεται «ενεργό» συστατικό διότι, σε αντίθεση με το SiO<sub>2</sub>, μπορεί να οξειδωθεί και να αυξήσει την ενέργεια που εκλύει το μίγμα. Ο Nobel ανακάλυψε επίσης ότι όταν η νιτρογλυκερίνη αναμιχθεί με νιτροκυτταρίνη (νιτροβάμβακα) με μια αναλογία 92:8 (κατά βάρος), τότε προκύπτει ένα πολύ ισχυρό εκρηκτικό που ονομάζεται εκρηκτική ζελατίνη (blasting gelatin) το οποίο αποτελεί το ισχυρότερο εκρηκτικό με βάση την νιτρογλυκερίνη. Σήμερα παρασκευάζονται διαφόρων τύπων ζελατίνες σε αντιστοιχία με τις κοινές δυναμίτιδες με ισχύ που κυμαίνεται από 20 έως 100 % της ισχύος των αντίστοιχων δυναμίτιδων. Σημειώνεται ότι οι ζελατίνες έχουν το πλεονέκτημα ότι η πλαστικότητα του επιτρέπει καλύτερη γόμωση των διατρημάτων.

Άλλες κατηγορίες εκρηκτικών βασίζονται σε ανόργανα άλατα (κυρίως νιτρικά) τα οποία έχουν την ιδιότητα να αποσυντίθεται με σύγχρονη έκλυση θερμικής ενέργειας. Το νιτρικό αμμώνιο που ανήκει στην κατηγορία αυτή, έχει το πλεονέκτημα ότι παρουσιάζει θετικό ισοζύγιο (πλεόνασμα) οξυγόνου, με συνέπεια να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν οξειδωτικός παράγοντας σε διάφορα εκρηκτικά μίγματα. Από την ανάμιξη της νιτρογλυκερίνης με διάφορες ποσότητες νιτροκυτταρίνης ή/ και νιτρικού αμμωνίου προκύπτει μια σειρά εκρηκτικών με διαφορετικά χαρακτηριστικά που βρίσκουν αντίστοιχες εφαρμογές στη βιομηχανία. Τα εκρηκτικά με βάση τη νιτρογλυκερίνη κυριάρχησαν στη βιομηχανία για 100 χρόνια περίπου. Από την δεκαετία το 1950, λόγω των μεγαλύτερων απαιτήσεων σε ασφάλεια, ευελιξία και παραγωγικότητα εμφανίσθηκε η «νέα γενιά» εκρηκτικών που ονομάζονται εκρηκτικά μέσα.

Οι πρώτες προσπάθειες για την ανάπτυξη του εκρηκτικού μίγματος γνωστού σήμερα σαν ANFO (νιτρικό αμμώνια και πετρέλαιο) δεν είχαν μεγάλη επιτυχία διότι το μίγμα που παρασκευάζονταν δεν είχε μεγάλη συνοχή. Η επιτυχημένη χρήση του ANFO αργότερα οφείλεται κυρίως στην αλλαγή του βιομηχανικού τρόπου παρασκευής του νιτρικού αμμωνίου το οποίο προοριζόταν για λίπασμα. Από το 1945, το NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (στο κοκκομετρικό διάστημα – 6 έως + 20 mesh ή – 3.33 mm έως +0.83 mm) άρχισε να παρασκευάζεται με αυξημένο πορώδες με συνέπεια να αναμιγνύεται πολύ καλύτερα με το πετρέλαιο. Το αποτέλεσμα ήταν ένα ισχυρό εκρηκτικό που μπορεί εύκολα να προσαρμοσθεί στις απαιτήσεις της παραγωγής. Η ανάγκη να ξεπερασθεί το πρόβλημα της υψηλής υγροσκοπικότητας του νιτρικού αμμωνίου ώθησε την ανάπτυξη των εκρηκτικών υγρής φάσης (Αγιουτάντης, 2005).

#### 3.2 Χημική σύσταση και χαρακτηριστικά διαφόρων εκρηκτικών

Μία εκρηκτική ύλη αποτελείται συνήθως από ένα καύσιμο (fuel) και ένα οξειδωτικό παράγοντα (oxidizer) τα οποία όταν αντιδράσουν μεταξύ τους εκλύουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας σε λίγο χρόνο καθώς και μεγάλες ποσότητες θερμών αερίων, λόγω εξωθερμικών αντιδράσεων. Τα αέρια αυτά δημιουργούν υψηλές πιέσεις στον χώρο της έκρηξης και συμβάλλουν στη θραύση και μετατόπιση του πετρώματος από την αρχική του θέση.

Μια χαρακτηριστική ιδιότητα των οξειδωτικών παραγόντων που περιλαμβάνονται στη σύνθεση των εκρηκτικών υλών (και ιδιαίτερα αυτών που χαρακτηρίζονται από υψηλή διαρρηκτικότητα) είναι το οξυγόνο που περιέχουν μπορεί εύκολα να απελευθερωθεί από τα μόρια των οξειδωτικών παραγόντων και να χρησιμοποιηθεί για τον σχηματισμό πιο σταθερών μορίων (π.χ. CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O). Ένα εκρηκτικό υλικό είναι δυνατόν να χαρακτηρίζεται από θετικό, μηδενικό ή αρνητικό ισοζύγιο οξυγόνου ανάλογα με το αν υπάρχει πλεόνασμα οξυγόνου στη χημική του σύνθεση.

Έτσι σήμερα τα εκρηκτικά ποικίλουν ανάλογα με την εκλυόμενη ενέργεια ανά μονάδα βάρους τους, την πυκνότητά τους και την ανάπτυξη της ωστικής τους φάσης. Γενικά υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορούμε να κατατάξουμε τους διάφορους τύπους εκρηκτικών όπως σύμφωνα με:

- a) το πεδίο εφαρμογής τους
- b) με τα χαρακτηριστικά έκρηξής τους
- c) με την ευαισθησία μεταφοράς τους
- d) με την ποιότητα των προϊόντων έκρηξης.

#### Τέτοια εκρηκτικά κυρίως είναι:

<u>Πυρίτιδες</u>: Έχουν περιορισμένη εφαρμογή στην επιφανειακή εξόρυξη των πετρωμάτων (κυρίως εξόρυξη όγκων μαρμάρου) και δεν χρησιμοποιείται καθόλου στα υπόγεια έργα. Είναι βραδύκαυστες ουσίες που αποτελούνται από ένα μίγμα νιτρικού καλίου ή νιτρικού νατρίου (οξειδωτικοί παράγοντες), άνθρακα και θείου (καύσιμα). Οι συνήθεις αναλογίες του μίγματος που είναι γνωστό σαν μαύρη πυρίτιδα είναι:

Η μαύρη πυρίτιδα αναφλέγεται στους 300 °C και ο ρυθμός καύσης εξαρτάται από τον βαθμό περιορισμού και τον βαθμό συμπίεσης του υλικού. Σε μη περιορισμένη κατάσταση ο ρυθμός καύσης της πυρίτιδας είναι της τάξης των δευτερολέπτων ανά μέτρο ενώ σε περιπτώσεις αυξημένου βαθμού περιορισμού ο ρυθμός καύσης κυμαίνεται από 180 – 600 m/sec (Αγιουτάντης, 2005). Η χρήση των πυρίτιδων στη σύγχρονη μεταλλευτική βιομηχανία είναι πολύ περιορισμένη και αναφέρεται μόνο σε εφαρμογές που απαιτείται εξόρυξη μεγάλων όγκων αδιατάρακτου πετρώματος.

Νιτρικό αμμώνιο (ammonium nitrate, NH4NO3): Είναι λευκό ανόργανο άλας με σημείο τήξης του 160.6 °C. Μεμονωμένο δεν αποτελεί εκρηκτική ύλη, εκρηκτική ύλη γίνεται όταν αναμιχθεί με μια μικρή ποσότητα καυσίμου. Συγκρινόμενο με τον ατμοσφαιρικό αέρα που έχει 21 % οξυγόνο ενώ το νιτρικό αμμώνιο έχει 60 %.

Παρόλο που το νιτρικό αμμώνιο μπορεί να βρεθεί σε διάφορες μορφές, οι κατασκευαστές εκρηκτικών το χρησιμοποιούν στη μορφή μικρών σφαιρικών πορωδών κόκκων, έτσι ώστε να έχει καλύτερα χαρακτηριστικά όσο αφορά την προσροφητική ικανότητα και την ικανότητα κατακράτησης υγρών καύσιμων συστατικών και να μπορεί εύκολα να ελέγχεται λόγω του καλού πορώδους, χωρίς να φράσει και να προσκολλάται.

Η πυκνότητα για χαμηλό πορώδες ή χύδην νιτρικό αμμώνιο είναι περίπου 0.8 g/cm<sup>3</sup>, δεδομένου ότι οι πυκνότητες των μη πορώδων κόκκων είναι κοντά σ' αυτή των κρυστάλλων (1.72 g/cm<sup>3</sup>) με κατώτατες τιμές (1.40 – 1.45 g/cm<sup>3</sup>) που οφείλεται στο μικροπορώδες. Μεγαλύτερη πυκνότητα για το νιτρικό αμμώνιο δεν συνίσταται διότι απορροφά λιγότερο καύσιμο συστατικό και κατά συνέπεια αντιδρά αργότερα στη διαδικασία της έκρηξης (Jimeno et al, 1995).

Όταν το πορώδες νιτρικό αμμώνιο θερμανθεί πάνω από τους 32.1 °C, μετατρέπεται σε κρυσταλλική μορφή:

- ορθορομβική → πυκνότητα κρυστάλλου = 1.72 g/cm<sup>3</sup>
  +32.1 °C <sup>↑</sup>
- ορθορομβική → πυκνότητα κρυστάλλου = 1.66 g/cm<sup>3</sup>

Η μετάβαση αυτή συνοδεύεται από αύξηση του όγκου κατά 3.6 %, που οφείλεται στο σπάσιμο των κρυστάλλων σε μικρότερους. Όταν οι κρύσταλλοι βρίσκονται σε περιβάλλον χαμηλής θερμοκρασίας και υπάρχει υγρασία τότε έχουν την τάση να δημιουργούν πλακίδια και μεγάλες άμορφες μάζες (συσσωμάτωση).

Η ενεργεία που εκλύεται από τη διάσπαση του καθαρού νιτρικού αμμωνίου είναι 343 kcal/kg. Το νιτρικό αμμώνιο βρήκε μεγαλύτερη εφαρμογή σαν συστατικό (οξειδωτικός παράγοντας) διαφόρων μιγμάτων καθώς η χρήση του μειώνει το κόστος παρασκευής των διαφόρων εκρηκτικών, ιδιαίτερα στην περίπτωση εκρηκτικών με βάση τη νιτρογλυκερίνη (Jimeno et al, 1995).

Το νιτρικό αμμώνιο έχει μεγάλη διαλυτότητα στο νερό για ένα εύρος θερμοκρασιών:

- 10 °C → 60.0 % διαλυτότητα
- 20 °C → 65.4 % διαλυτότητα
- 30 °C → 70.0 % διαλυτότητα
- 40 °C → 75.9 % διαλυτότητα

Η πιο σημαντική εφαρμογή του νιτρικού αμμωνίου είναι η χρήση του για την παρασκευή του ΑΝFO και των αντίστοιχων εκρηκτικών υγρής φάσης. Ένα άλλο πλεονέκτημα που προκύπτει από την χρήση του νιτρικού αμμωνίου είναι όταν αποσυντίθεται δεν αφήνει στερεά κατάλοιπα σε αντίθεση με άλλα νιτρικά άλατα (Αγιουτάντης, 2005).

Τα μειονεκτήματα που συνδέονται με τη βιομηχανική χρήση του νιτρικού αμμωνίου είναι ότι:

- είναι υγροσκοπικό και επομένως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υγρό περιβάλλον
- έχει μεγάλη σχετικά κρίσιμη διάμετρο.

Παρόλο που τα μειονεκτήματα αυτά χαρακτηρίζουν σε κάποιο βαθμό και τα μίγματα που προκύπτουν με βάση το νιτρικό αμμώνιο, η σύγχρονη τεχνολογία εκρηκτικών έχει αναπτύξει μία σειρά αρκετά ισχυρών εκρηκτικών υλών όπου το νιτρικό αμμώνιο συμμετέχει αποδοτικά και με μικρό κόστος. Στο εμπόριο υπάρχει και σε συσκευασία σάκων του ενός τόνου (Εικόνα 3.1)



Εικόνα 3.1: Σάκοι νιτρικού αμμωνίου

<u>Πετρελαιοαμμωνίτες</u> (ANFO = Ammonium Nitrate – Fuel Oil): Η εκρηκτική ύλη ANFO παρουσίασε μεγάλη χρήση κατά τα τελευταία χρόνια της εξόρυξης. Η αυξημένη ασφάλεια και σημαντική οικονομία, η οποία επιτεύχθηκε με την χρήση του ANFO, αποτέλεσαν τους κύριους συντελεστές για την απότομη αύξηση της κατανάλωσης του ANFO στις υπόγειες και ιδιαιτέρως στις επιφανειακές εξορύξεις.

Είναι μίγμα πορώδους νιτρικού αμμωνίου και καυσίμου υδρογονάνθρακα. Συνήθως το καύσιμο αποτελείται από πετρέλαιο Νο. 2, αλλά είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί και πετρέλαιο θέρμανσης ή ακόμη και πολύ λεπτομερής άνθρακας.

Η εκρηκτική ύλη ANFO, αποτελεί σχετικά μια αδρανή εκρηκτική ουσία σε σύγκριση με τις δυναμίτιδες, οι οποίες έχουν ως βάση της νιτρογλυκερίνη. Είναι πολύ εύφλεκτο υλικό, όταν υποστεί έναυση και για τον λόγω αυτό πρέπει να λαμβάνεται κάθε μέτρο ασφαλείας για να αποφεύγεται η έναυση κατά την διάρκεια της αποθηκεύσεως και της χρησιμοποιήσεως του.

Είναι πολύ υγροσκοπικό εκρηκτικό, απορροφά περισσότερο από 60 % της υγρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα και κατά συνέπεια δεν πρέπει να αποθηκεύεται μέσα σε υγρή ατμόσφαιρα ή να εισάγεται χύμα εντός υγρών διατρημάτων.

Οι περισσότεροι σχετικοί κανονισμοί επιτρέπουν την υπόγεια αποθήκευση ποσότητος ANFO, που απαιτείται μόνο για 48 ώρες. Η απορρόφηση νερού από την στήλη ANFO, θα εξασθενήσει την ευαισθησία του εκρηκτικού μίγματος με αποτέλεσμα να υπάρξει κίνδυνος αφλογιστίας της γόμωσης ή να μην εκραγεί αποτελεσματικά, με την πιθανή επί πλέον έκλυση μεγάλου ποσοστού τοξικών αερίων. Ο αερισμός πρέπει να είναι καλός οπουδήποτε χρησιμοποιείται η εκρηκτική ύλη ANFO (Πολυχρονόπουλος, 1979).

Η συνήθης αναλογία (κατά βάρος) νιτρικού αμμωνίου και πετρελαίου είναι περίπου 96:4. Η προηγούμενη σχέση αναλογίας προκύπτει από την παρατήρηση ότι το ποσό του καύσιμου που προστίθεται πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να μπορεί να όλο το οξυγόνο που εκλύεται από τη διάσπαση του νιτρικού αμμωνίου. Οι κόκκοι του νιτρικού αμμωνίου πρέπει να είναι πορώδεις για την πλήρη απορρόφηση του καυσίμου. Συνήθως εντός του καυσίμου προστίθεται μια χρωστική ύλη, ώστε κατά την ανάμειξη να είναι εύκολος ο έλεγχος για την ομοιογένεια του προϊόντος.

Το μίγμα, νιτρικό – αμμώνιο, πρέπει να βρίσκεται στην κανονική αναλογία. Κατά την έκρηξη το πετρέλαιο καταναλίσκει οξυγόνο, το οποίο παρέχει το νιτρικό αμμώνιο. Πλεόνασμα ή έλλειμμα πετρελαίου προκαλεί την έκλυση τοξικών αερίων.

Στις αντιδράσεις με μηδενικό ισοζύγιο οξυγόνου υπάρχει αρκετό οξυγόνο για την οξείδωση του αζώτου. Στη συνέχεια παραθέτονται οι χημικές αντιδράσεις αποσύνθεσης ορισμένων μιγμάτων ANFO που προκύπτουν από μεταβολή του ισοζυγίου του οξυγόνου και του τύπου του καυσίμου (Εικόνα 3.2):

μηδενικό ισοζύγιο οξυγόνου (94.5 % AN, 5.5 % FO)

 $3NH_4NO_3 + CH_2 \rightarrow 3N_2 + 7H_2O + CO_2$  (+927 kcal/kg)

αρνητικό ισοζύγιο οξυγόνου (92 % AN, 8 % FO)

$$2NH_4NO_3 + CH_2 \rightarrow 2N_2 + 5H_2O + CO \qquad (+810 \text{ kcal/kg})$$

θετικό ισοζύγιο οξυγόνου (96.6 % AN, 3.4 % FO)

$$5NH_4NO_3 + CH_2 \rightarrow 4N_2 + 11H_2O + CO + 2NO$$
 (+600 kcal/kg)

χρήση λεπτομερούς άνθρακα σαν καύσιμο υλικό

$$2NH_4NO_3 + C \rightarrow 2N_2 + 4H_2O + CO_2 \qquad (+929 \text{ kcal/kg})$$

Η παραγόμενη, κατά την έκρηξη, ενέργεια και ο όγκος των εκλυόμενων αερίων της εκρηκτικής ύλης ANFO είναι 973 kcal/kg και 900 lt/kg (Jimeno et al, 1995).

Το πορώδες νιτρικό αμμώνιο που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του ANFO έχει συνήθως πυκνότητα η οποία κυμαίνεται από 0.67 έως 0.80 g/cm<sup>3</sup>. Οι κόκκοι του νιτρικού αμμωνίου (από – 6 έως + 20 mesh ή – 3.33 mm έως +0.83 mm) επικαλύπτονται με ένα λεπτό στρώμα από αργιλικό για να ελαττωθεί η συσσωμάτωση του νιτρικού αμμωνίου λόγω υγρασίας. Μικρότεροι κόκκοι είναι δυνατόν να κολλούν στα τοιχώματα της συσκευής γομώσεως και του διατρήματος, ενώ μεγαλύτεροί κόκκοι μπορούν να παράγουν ανομοιόμορφο εκρηκτικό κύμα. Νιτρικό αμμώνιο σε χονδρούς κόκκους από συσσωμάτωση λεπτών κρυσταλλικών κόκκων (Prills), είναι πολύ καλύτερο, αλλά ακριβότερο.

Σημειώνεται ότι για την αύξηση της ισχύος των διαφόρων μιγμάτων ANFO είναι δυνατόν να προστεθεί στα μίγματα κονιοποιημένο αργίλιο σαν καύσιμο (Εικόνα 3.3). Τα μίγματα αυτά είναι συχνά γνωστά με τον όρο ALANFO. Στις περιπτώσεις αυτές κατά τον υπολογισμό του ισοζυγίου οξυγόνου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το οξυγόνο που απαιτείται για την οξείδωση του Al προς Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Αγιουτάντης, 2005).

Στο εμπόριο διατίθενται σε σάκους βάρους 2.5 kg και 10 kg, οι οποίοι συσκευάζονται μέσα σε χάρτινα κιβώτια των 25 kg ή 30 kg.

Εκρηκτικά υγρής φάσης και γαλακτώματα: Τα εκρηκτικά υγρής φάσης (water gels, slurries, υδραμμωνίτες, πολτώδη μίγματα) αποτελούνται από μίγμα νιτρικού αμμωνίου και ενός ή περισσοτέρων καυσίμων (Εικόνα 3.4). Επιπλέον τα μίγματα αυτά περιέχουν από 10 % έως 30 % νερό καθώς και υδρόφιλα κολλοειδή (π.χ. guar gum) τα οποία προσδίδουν μια πλαστικότητα στο υλικό και εξασφαλίζουν την ανθεκτικότητα του στο νερό. Τα κολλοειδή πρόσθετα παρεμποδίζουν τη διάχυση μορίων νερού μέσα και έξω από τα μίγματα, με αποτέλεσμα τα εκρηκτικά του τύπου αυτού να είναι κατάλληλα για εφαρμογές σε υγρές συνθήκες.



Εικόνα 3.2: Συγκριτικά η ενέργεια του ΑΝFΟ συναρτήσει του πετρελαίου που χρησιμοποιείται (Hagan, 1980).



Εικόνα 3.3: Σχετική ενέργεια κατά βάρος και κατά όγκο συναρτήσει του ποσοστού προσθήκης αλουμινίου στο ANFO (Hagan & Mercer, 1983).

Για την αύξηση της εκρηκτικής τους ικανότητας, μέσα στα προηγούμενα μίγματα περιλαμβάνονται και μικρές ποσότητες ισχυρών εκρηκτικών όπως το TNT ή/και μικρές ποσότητες κονιοποιημένων μετάλλων όπως αργίλιο (Εικόνα 3.5).

Η μέγιστη ενέργεια εκρήξεως επιτυγχάνεται με μίγμα σε αναλογία 71 % νιτρικό αμμώνιο, 18 % Τ.Ν.Τ. και 11% νερό.

Η σημαντικότερη ίσως εφαρμογή τη δεκαετία του 1980 ήταν η ανάπτυξη των γαλακτωμάτων (emulsions) από την εταιρία Atlas Powder. Τα γαλακτώματα αποτελούνται από μικρά σταγονίδια υδατικού νιτρικού αμμωνίου τα οποία συγκρατούνται σε παραφίνη ή ελαιώδη παράγωγα σε υγρή ή στερεή φάση. Τα σταγονίδια αυτά διαχωρίζονται από μια λεπτή μεμβράνη από ελαιώδεις ουσίες πάχους μικρότερου από 1 μm, δημιουργώντας έτσι μεγάλη ελεύθερη επιφάνεια και τις προϋποθέσεις για ακαριαία αντίδραση. Συγχρόνως η μεμβράνη αυτή καθιστά το υλικό ανθεκτικό σε νερό. Η ένταση του κρουστικού κύματος μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη στο μίγμα μικροφυσαλλίδων αέρα διαμέτρου 100 μm.

Οι βασικές διαφορές ανάμεσα στα πολτώδη μίγματα και στα γαλακτώματα είναι οι ακόλουθες:

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



Εικόνα 3.4: Γαλάκτωμα

Τα εκρηκτικά υγρής φάσης διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με την ισχύ του η οποία είναι συναρτήση των υλικών που προστίθενται για να αυξήσουν την ευαισθησία τους (Εικόνα 3.5).

- Εκρηκτικά μέσα υγρής φάσης (slurry blasting agents): Τα υλικά αυτά δεν περιέχουν ευαισθητοποιητικά πρόσθετα.
- Εκρηκτικές ύλες υγρής φάσης (slurry explosives): Τα υλικά αυτά έχουν ευαισθητοποιηθεί με εκρηκτικές ύλες υψηλής διαρρηκτικότητας όπως TNT.
- Εκρηκτικά μέσα υγρής φάσης με μεταλλικά πρόσθετα (metalized slurry blasting agents): Τα υλικά αυτά περιέχουν μικρά ποσοστά κονιοποιημένων μετάλλων (κυρίως αργιλίου) για την αύξηση της ευαισθησίας τους.
- Εκρηκτικές ύλες υγρής φάσης με μεταλλικά πρόσθετα (metalized slurry explosives): Τα υλικά αυτά περιέχον ποσοστά εκρηκτικών υλών υψηλής διαρρηκτικότητας καθώς και ποσοστά κονιοποιημένων μετάλλων.



Εικόνα 3.5: Εκρηκτικά υγρής φάσης

<u>Heavy ANFO</u>: Το ANFO αποτελεί το βασικό εκρηκτικό στις περισσότερες σύγχρονες ανατινάξεις. Διάφορες προσπάθειες έχουν γίνει ώστε το ANFO να αποκτήσει μεγαλύτερη ισχύ, όπως θρυμματισμός των κόκκων του νιτρικού αμμωνίου υψηλής πυκνότητας με ταυτόχρονη χρήση υγρών καυσίμων υψηλής ενέργειας (νιτροπαραφίνη, μεθανόλη, νιτροπροπάνιο), τα οποία δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ενισχυτικά του ANFO στη βιομηχανία. Το Heavy ANFO είναι μίγμα ANFO και γαλακτώματος και αποτελεί ένα εκρηκτικό με προοπτική. Μολονότι οι ιδιότητες του Heavy ANFO εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις αναλογίες του μίγματος (γαλάκτωμα/ νιτρικό αμμώνιο/ πετρέλαιο). Τα κυριότερα πλεονεκτήματα είναι (Jimeno et al., 1995):

- περισσότερη ισχύ
- καλύτερη ευαισθησία
- υδατοανθεκτηκότητα
- δυνατότητα διακύμανσης της γόμωσης κατά μήκος του διατρήματος.

Η παρασκευή του Heavy ANFO είναι σχετικά απλή. Το γαλάκτωμα μπορεί να ετοιμασθεί στις εγκαταστάσεις και πρέπει να μεταφερθεί στο πεδίο της ανατίναξης με ειδικά οχήματα. Τα οχήματα αυτά έχουν τον κατάλληλο εξοπλισμό ώστε να αναμιγνύουν το γαλάκτωμα με το νιτρικό αμμώνιο και το πετρέλαιο στις κατάλληλες αναλογίες στο πεδίο της ανατίναξης.



Εικόνα 3.6: Σχετική ισχύς κατά βάρος του Heavy ANFO συναρτήσει του ποσοστού περιεκτικότητας του γαλακτώματος (Bampfield and Morrey 1984).

Στην Εικόνα 3.6 φαίνεται η διακύμανση της σχετικής ισχύος του Heavy ANFO κατά όγκο (ANFO = 100). Είναι φανερό για το heavy ANFO 70/30 έχει περισσότερη ισχύ από το ALANFO 5 % και το μίγμα 60/40 έχει σχεδόν ίδια ισχύ με το ALANFO

10 %. Κατά περίεργο λόγω όταν το γαλάκτωμα αυξηθεί πάνω από το 40 %, η ισχύς ελαττώνεται, αυτό πιθανώς να οφείλεται στην απομάκρυνση των κόκκων του ANFO.

Η πυκνότητα του μίγματος αυξάνεται ανάλογα με την περιεκτικότητα του γαλακτώματος ενώ φθάνει την μέγιστη ισχύ με πυκνότητα περίπου 1.3 g/cm<sup>3</sup>.

Σε μια προσπάθεια εξέλιξης του Heavy ANFO προστέθηκε αργίλιο (aluminized heavy ANFO), το μίγμα αυτό έχει μεγαλύτερη ισχύ κατά όγκο σε αναλογία με το κόστος. Αυτό δίνει την δυνατότητα για βελτίωση της εξορυκτικής διαδικασίας καθώς και την οικονομικότερη λειτουργία μιας εκμετάλλευσης.

Το αργίλιο αυξάνει την ολική εκλυόμενη ισχύ, την ισχύ κατά όγκο, την θερμοκρασία της έκρηξης και την πίεση του εκρηκτικού, αλλά δεν επηρεάζει έντονα την ταχύτητα της έκρηξης (Εικόνα 3.7). Η αναλογία προσθήκης αλουμινίου κυμαίνεται από 0 – 15 % στο μίγμα 30/70 (γαλάκτωμα/ ANFO) πίνακας 3.1.

Εκρηκτικό	1	2	3
ANFO	0.85	100	1.00
Al/ANFO (5 % Al)	0.88	112	1.16
Al/ANFO (10 % Al)	0.91	123	1.32
Al/ANFO (15% Al)	0.94	134	1.48
NCN EMULSION (0%)	1.15	78	1.06
NCN EMULSION (5 %)	1.21	91	1.30
NCN EMULSION (19%)	1.27	103	1.54
NCN EMULSION (15%)	1.30	117	1.79
ANFO + 10 % EMULSION (0 %)	0.93	98	1.07
ANFO + 20 % EMULSION (0 %)	1.01	96	1.14
ANFO + 30 % EMULSION (0 %)	1.11	93	1.21
ANFO + 40 % EMULSION (0 %)	1.20	91	1.28
ANFO + 50 % EMULSION (0 %)	1.29	89	1.35
ANFO + 30 % EMULSION (5 %)	1.14	105	1.41
ANFO + 30 % EMULSION (10 %)	1.16	116	1.58
ANFO + 30 % EMULSION (15 %)	1.19	127	1.78

Πίνακας 3.1: : Βασικά χαρακτηριστικά εκρηκτικών όπως αναφέρει ο Jimeno (Crosby & Pinco (1990)).

1: πυκνότητα (g/cm<sup>3</sup>), 2: σχετική ισχύς κατά βάρος ANFO = 100, 3: ισχύς ανά μονάδα όγκου σε σχέση με το ANFO πυκνότητας 0.85 g/cm<sup>3</sup> (ANFO = 1.00).

Η αντίδραση του αργιλίου κατά τη διάρκεια της έκρηξης έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό στερεών κατάλοιπων και όχι αερίων. Ο όγκος των αερίων που δημιουργείται από τα εκρηκτικά ελαττώνεται λόγω του παραπάνω.

Η γενική έκβαση είναι ότι η προσθήκη αργιλίου επιτρέπει καλύτερα αποτελέσματα με τον ίδιο όγκο εκρηκτικής ύλης. Επομένως να είναι πιο αποδοτική η ανατίναξη (π.χ. καλός θρυμματισμός) (Jimeno et al., 1995).



Εικόνα 3.7: Ισχός κατά όγκο για επιλεγμένα μίγματα Al/ANFO και Heavy ANFO (Jimeno et al., 1995).

### 3.3 Ιδιότητες των εκρηκτικών υλών

Η σωστή επιλογή της κατάλληλης εκρηκτικής ύλης για τις συγκεκριμένες απαιτήσεις μιας υπόγειας ή επιφανειακής εξόρυξης βασίζεται στην αξιολόγηση των διαφόρων ιδιοτήτων των εκρηκτικών υλικών ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του πετρώματος.

Η σύγκριση της αποδοτικότητας των διαφόρων εκρηκτικών υλικών βασίζεται τόσο στη σύγκριση των ιδιοτήτων του μίγματος από χημική και φυσική άποψη όσο και στη συμπεριφορά του υλικού κατά την γόμωση των διατρημάτων και την ευαισθησία του στις επικρατούσες συνθήκες. Σημειώνεται ότι ο καλύτερος για να συγκριθεί η ισχύς και η απόδοση δύο εκρηκτικών είναι να υπολογισθεί ο θρυμματισμός που επιτυγχάνεται σε διάφορα πετρώματα κάτω από σταθερές συνθήκες. Επειδή η μέθοδος αυτή είναι εξαιρετικά δαπανηρή, στην πράξη χρησιμοποιούνται οι δείκτες που προκύπτουν από μικρής κλίμακας πειραματικές δοκιμές ή από θεωρητικά στοιχεία.

Οι ακόλουθοι παράγοντες χρησιμοποιούνται συχνά για τη σύγκριση της αποδοτικότητας και καταλληλότητας των διαφόρων εκρηκτικών υλικών (Αγιουτάντης, 2005):

- η ισχύς
- η ταχύτητα έκρηξης (στη σταθερή κατάσταση)
- η παραγόμενη ενέργεια ή θερμότητα
- η πίεση έκρηξης
- η πυκνότητα της εκρηκτικής ύλης
- η ανθεκτικότητα στο νερό
- η ευαισθησία

Ειτονιστικό αλιτικό	Πυκνότητα (g/cm <sup>3</sup> )	Ταχύτητα	Θερμότητα	Πίεση
Εκρηκτικό υλικό		έκρηξης	αντίδρασης	έκρηξης
		(m/sec)	(kcal/kg)	(MPa)
ANFO 94% AN,6%FO	0.86	4400	900	4800
Slurry 49%AN,20%TNT	1.40	5000	1060	10400
Αμμωνιοδυναμίτιδα 24% AN, 26% NG	1.50	6000	1380	12000
Slurry 48%AN,15% Al	1.27	5000	1540	7500

Πίνακας 3.2: Στοιχεία σύγκρισης μερικών εκρηκτικών (Αγιουτάντης, 2005)

AN = νιτρικό αμμώνιο, FO = πετρέλαιο, NG = νιτρογλυκερίνη,

Al = κονιοποιημένο αργίλιο, TNT = τρινιτροτολουόλη

### 3.4 Ισχύς των εκρηκτικών

Η ισχύς (strength) ενός εκρηκτικού είναι ένα μέτρο της ενέργειας που εκλύεται κατά την έκρηξη. Η εκτίμηση της παραμέτρου αυτής είναι σημαντική διότι αφενός μεν χρειάζεται μεγάλη ισχύ για τον θρυμματισμό σκληρών πετρωμάτων αφετέρου

υπάρχουν σημαντικές απώλειες ενέργειες από την εφαρμογή ισχυρών εκρηκτικών σε μαλακά ή θρυμματισμένα.

Παλαιότερα οι κατασκευαστές χρησιμοποιούσαν τη ποσοστιαία ισχύ (grade strength), δηλαδή το ποσοστό νιτρογλυκερίνης σε ποσότητα κοινής δυναμίτιδας που έχει την ίδια ισχύ με ίσου βάρους εκρηκτικό που αξιολογείται, και την ισχύ του φυσιγγίου (cartridge strength), δηλαδή το ποσοστό της νιτρογλυκερίνης σε ορισμένο όγκο κοινής δυναμίτιδας που έχει την ίδια ισχύ με ίσο όγκο του εκρηκτικού αυτού. Σημειώνεται ότι η ισχύς ενός εκρηκτικού δεν είναι ευθέως ανάλογη με την ποσοστιαία του ισχύ λόγω της συμβολής και των υπολοίπων συστατικών του κάθε μίγματος.

Σήμερα η ισχύς των διαφόρων εκρηκτικών μπορεί να εκφρασθεί είτε με τον συντελεστή βάρους ή την ισχύ κατά βάρος (weight strength), είτε με τον συντελεστή όγκου ή την ογκομετρική ισχύ (bulk strength) ως προς ένα εκρηκτικό αναφοράς (ζελατίνη, ANFO). Εξ ορισμού η ισχύς κατά βάρος και η ογκομετρική ισχύς είναι ίσες για πυκνότητα εκρηκτικού ίση με 1.4 g/cm<sup>3</sup>, δηλαδή με την πυκνότητα των περισσοτέρων κοινών δυναμίτιδων (Αγιουτάντης, 2005).

### 3.5 Ταχύτητα έκρηξης

Η ταχύτητα έκρηξης (detonation velocity) αντιπροσωπεύει τον ρυθμό με τον οποίο εκλύεται η ενέργεια του εκρηκτικού, ή ισοδύναμα, είναι η ταχύτητα με την οποία οδεύει ο κρουστικός παλμός (κύμα) που παράγεται από την έκρηξη ή η ταχύτητα της χημικής αντίδρασης. Η ταχύτητα έκρηξης των εκρηκτικών που χρησιμοποιούνται σήμερα στη βιομηχανία κυμαίνεται από 1500 m/sec έως 7600 m/sec. Σημειώνεται ότι κατά την διάρκεια μιας έκρηξης η χημική αντίδραση μεταξύ των συστατικών του εκρηκτικού, γίνεται σε μια ζώνη έκρηξης η οποία κινείται μέσα στο εκρηκτικό υλικό από το σημείο έναυσης μέχρι το τέλος της εκρηκτικής στήλης. Η πρωτεύουσα ζώνη έκρηξης περικλείεται ανάμεσα από το μέτωπο του κρουστικού κύματος και το επίπεδο Chapman – Jouquet (Εικόνα 3.8).

Η ταχύτητα έκρηξης εξαρτάται από τη διάμετρο, τον βαθμό περιορισμού, τον τρόπο έναυσης του εκρηκτικού και την πυκνότητα γόμωσης (Αγιουτάντης, 2005).


Εικόνα 3.8: Δημιουργία κρουστικού παλμού κατά την έκρηξη (Τσουτρέλης, 1997)

### 3.6 Διάμετρος εκρηκτικού

Γενικά όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος του εκρηκτικού τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα έκρηξης. Αυτό ισχύει μέχρι να επιτευχθούν υδροδυναμικές συνθήκες, οπότε επιτυγχάνεται η μέγιστη ταχύτητα έκρηξης για δεδομένη πυκνότητα υλικού. Σημειώνεται ότι επειδή τα εκρηκτικά υλικά τοποθετούνται σε διατρήματα, η διάμετρος του εκρηκτικού συνήθως αντιστοιχεί στη διάμετρο της εκρηκτικής στήλης που είναι μικρότερη ή ίση με τη διάμετρο του διατρήματος. Καθώς η ταχύτητα έκρηξης είναι ανάλογη με την εκλυόμενη ενέργεια είναι φανερό ότι σε μικρές διαμέτρους επιτυγχάνεται μικρή ταχύτητα έκρηξης με συνέπεια τα εκρηκτικά να μην εκρήγνυνται αποτελεσματικά και ο θρυμματισμός του πετρώματος να μην είναι ικανοποιητικός. Η αύξηση της διαμέτρου του διατρήματος (εκρηκτικής στήλης) μετά από κάποια οριακή τιμή δεν επηρεάζει την ταχύτητα έκρηξης. Η κρίσιμη διάμετρος (critical diameter) ενός εκρηκτικού είναι η ελάχιστη διάμετρος για την οποία είναι δυνατόν να διατηρηθεί η διαδικασία έκρηξης μέσα στο εκρηκτικό. Αν η διάμετρος του εκρηκτικού είναι μικρότερη από την κρίσιμη διάμετρο, τότε είναι δυνατόν να σταματήσει η διαδικασία της έκρηξης μετά την έναυση του εκρηκτικού. Σημειώνεται ότι η κρίσιμη διάμετρος για ένα εκρηκτικό που είναι πλευρικά περιορισμένο είναι μικρότερη από αυτή που χαρακτηρίζει το ίδιο εκρηκτικό σε μη περιορισμένη κατάσταση (Αγιουτάντης, 2005).

### 3.7 Βαθμός περιορισμού

Αναφέρεται στο πόσο περιορισμένη είναι μια ποσότητα εκρηκτικού από πλευρικές πιέσεις (βάρος υπερκείμενης στήλης, τρόπος γόμωσης) και σχετίζεται έμμεσα με την πυκνότητα του εκρηκτικού. Σημειώνεται ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός περιορισμού ενός εκρηκτικού τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα έκρηξης. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για το ANFO και τα εκρηκτικά υγρής φάσης. Σημειώνεται δε ότι όταν ο βαθμός περιορισμού αυξηθεί υπερβολικά ενδέχεται να συμβεί το αντίθετο αποτέλεσμα (dead puessel explosive) (Αγιουτάντης, 2005).

## 3.8 Τρόπος έναυσης

Η επιλογή του κατάλληλου ενισχυτικού εναύσματος συνεπάγεται τη γρηγορότερη ανάπτυξη της μέγιστης ταχύτητας έκρηξης για δεδομένες συνθήκες. Αν ο αρχικός κρουστικός παλμός δεν είναι αρκετά ισχυρός τότε ενδέχεται η έκρηξη να σταματήσει ή να εκφυλισθεί σε ανάφλεξη.

Όταν η ταχύτητα έκρηξης είναι υψηλή, τότε η εκρηκτική ύλη χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη διαρρηκτικότητα και τα κρουστικά φαινόμενα που παρατηρούνται στο γύρω χώρο είναι εντονότερα. Γενικά, τα σκληρά πετρώματα απαιτούν εκρηκτικές ύλες με υψηλές ταχύτητες, ενώ εκρηκτικές ύλες με χαμηλές ταχύτητες έκρηξης που συνοδεύονται από μία σημαντική ωστική φάση είναι καταλληλότερες για μαλακότερα πετρώματα. Εκρηκτικά υψηλής διαρρηκτικής ικανότητας χαρακτηρίζονται από ταχύτητα έκρηξης μεγαλύτερη από 5000 m/sec, ενώ υλικά με χαμηλή διαρρηκτική ικανότητα χαρακτηρίζονται από ταχύτητα έκρηξης μικρότερη από 2500 m/sec (Αγιουτάντης, 2005).

### 3.9 Πυκνότητα εκρηκτικής ύλης

Ο όρος πυκνότητα της εκρηκτικής ύλης (density of explosive) αναφέρεται στην πυκνότητα του μίγματος ή της χημικής ένωσης όπως παρασκευάζεται από τον κατασκευαστή. Η παράμετρος αυτή επομένως καθορίζει της θεωρητική ποσότητα του εκρηκτικού που τοποθετείται σε ένα δεδομένο διάτρημα. Σε εκρηκτικά υλικά που διατίθενται χύδην διακρίνεται η πυκνότητα γόμωσης που είναι η τελική πυκνότητα του υλικού μετά την γόμωση του διατρήματος. Η πυκνότητα γόμωσης εξαρτάται από τον τρόπο γόμωσης (χύδην, πνευματικά, με τη βαρύτητα), είναι συνήθως διαφορετική από την θεωρητική πυκνότητα του εκρηκτικού. Η εκτίμηση των ιδιοτήτων του εκρηκτικού σαν συνάρτηση της πυκνότητας του γίνεται με βάση την πραγματική του πυκνότητα στο διάτρημα, δηλαδή την πυκνότητα γόμωσης. Η πυκνότητα γόμωσης παραμένει σταθερή όταν η εκρηκτική ύλη γομώνεται σε φυσίγγια (cartridge).

Υπερβολική αύξηση της πυκνότητας ενός εκρηκτικού επιφέρει σημαντική μείωση της ευαισθησίας του. Όταν ένα εκρηκτικό φθάσει ή υπερβεί της κρίσιμη πυκνότητα, τότε δεν είναι δυνατόν να εναυθεί ακόμα και με ισχυρά ενισχυτικά εναύσματα. Η κατάσταση της υπερσυμπίεσης των εκρηκτικών είναι μεν ανεπιθύμητη αλλά μπορεί όμως να δημιουργηθεί σε όλα τα εκρηκτικά που αποτελούνται από κόκκους (κοκκώδη). Πρακτικά αυτό μπορεί να συμβεί σε μίγματα ANFO όταν οι υπερβολικές πιέσεις που δημιουργούνται σε γειτονικά διατρήματα συμπυκνώνουν το ANFO που βρίσκεται σε μη ενεργοποιημένα διατρήματα, τόσο ώστε να μην είναι δυνατή η έναυση του.

Η κοκκομετρία του υλικού (ιδιαίτερα σε περιπτώσεις μιγμάτων όπως το ANFO) συνδέεται με την διαμόρφωση της πυκνότητας του εκρηκτικού (Αγιουτάντης, 2005).

#### 3.10 Ανθεκτικότητα στο νερό

Η ανθεκτικότητα στο νερό εκφράζει τη δυνατότητα του να εκραγεί κάτω από υγρές συνθήκες, ή ισοδύναμα, την ικανότητα του να εμποδίσει την είσοδο του νερού στη μάζα του. Η ανθεκτικότητα στο νερό εκφράζεται από τον αριθμό των ωρών που το εκρηκτικό μπορεί να παραμείνει μέσα σε νερό χωρίς να χάσει την ικανότητα να διεγερθεί και να εκραγεί από εκρηκτικό καψύλιο ισχύος No. 6. Όταν το νερό διεισδύει μέσα στη μάζα ενός εκρηκτικού τότε η ευαισθησία του εκρηκτικού μεταβάλλεται με συνέπεια να μην εκρήγνυται ή στη χειρότερη περίπτωση να εκρήγνυται ανεξέλεγκτα. Ορισμένες δυναμίτιδες και τα εκρηκτικά υγρής φάσης έχον πολύ καλή ανθεκτικότητα στο νερό, ενώ τα εκρηκτικά που περιέχουν νιτρικό αμμώνιο έχουν μικρή έως μηδενική ανθεκτικότητα στο νερό, καθότι το νιτρικό αμμώνιο είναι υγροσκοπικό (Αγιουτάντης, 2005).

Για την αποφυγή των προβλημάτων αυτών συνίσταται:

- a) η πυροδότηση των λιγότερο ανθεκτικών στο νερό εκρηκτικών αμέσως μετά τη γόμωση
- b) η χρήση ισχυρότερων ενισχυτικών εναυσμάτων όπου είναι δυνατόν
- c) η διατήρηση της συσκευασίας του υλικού (όταν πρόκειται για φυσίγγια)

#### 3.11 Ευαισθησία

Ο όρος ευαισθησία χρησιμοποιείται κατά δύο κυρίως τρόπους: Ο πρώτος αναφέρεται κυρίως στην ευαισθησία έναυσης του εκρηκτικού, δηλαδή την ελάχιστη ενέργεια (κρουστική, θερμική, τριβής) που απαιτείται για τον σκοπό αυτό, και στην ευαισθησία διάδοσης της έκρηξης. Ο δεύτερος αναφέρεται στο πόσο επικίνδυνο (ευαίσθητο) είναι ένα εκρηκτικό όσον αφορά την παρασκευή, μεταφορά, αποθήκευση.

Η ευαισθησία έναυσης ενός εκρηκτικού αναφέρεται στο πόσο εύκολα αυτό είναι δυνατό να ενεργοποιηθεί. Οι περισσότερες εκρηκτικές ύλες μπορούν να εναυθούν με ένα απλό εκρηκτικό καψύλιο ισχύος Νο. 6. Στην περίπτωση των εκρηκτικών μέσων η ευαισθησία εκφράζεται σαν το ελάχιστο ενισχυτικό έναυσμα (booster) ή ο ελάχιστος αριθμός εκρηκτικών καψυλίων ισχύος Νο. 6 που απαιτείται για την έναυση τους. Σημειώνεται ότι οι κατασκευαστές εκρηκτικών υλών εκφράζουν συνήθως την ευαισθησία από την ελάχιστη ισχύ ενός εκρηκτικού καψυλίου που προκαλεί έναυση της εκρηκτικής ύλης.

Η ευαισθησία διάδοσης της έκρηξης αναφέρεται στην ικανότητα του εκρηκτικού να διατηρεί το μέτωπο της χημικής αντίδρασης. Καθώς η ικανότητα αυτή μειώνεται με τη μείωση της διαμέτρου του εκρηκτικού, η ευαισθησία διάδοσης εκφράζεται συνήθως από την κρίσιμη διάμετρο του εκρηκτικού. Η ευαισθησία διάδοσης διαμέσου κενών αέρα αναφέρεται στο πόσο εύκολα μπορεί να ενεργοποιηθεί ένα εκρηκτικό που γομώθηκε σε φυσίγγια και προσδιορίζεται από το μήκος του κενού μεταξύ δύο διαδοχικών φυσιγγίων εκρηκτικού στο ίδιο διάτρημα. Επίσης συνδέεται και με την απόσταση μεταξύ διατρημάτων σε περιπτώσεις όπου εφαρμόζεται η συμπαθητική ενεργοποίηση γειτονικών διατρημάτων. Το φαινόμενο της συμπαθητικής έκρηξης αφορά κυρίως εκρηκτικές ύλες μεγάλης διαρρηκτικής ικανότητας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ της ισχύος μιας εκρηκτικής ύλης και της ευαισθησίας της, αλλά σε γενικές γραμμές όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς τόσο μεγαλύτερη είναι η ευαισθησία.

Η επικινδυνότητα ενός εκρηκτικού πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε όλες τις περιπτώσεις όπου απαιτείται μετακίνηση ή χειρισμός του, οπότε πρέπει να λαμβάνονται τα δέοντα μέτρα (Αγιουτάντης, 2005).

### 3.12 Έναυση των εκρηκτικών

Η ενεργοποίηση των εκρηκτικών υλών προκαλείται με την έναυση ή την πυροδότηση τους. Διακρίνονται δύο κατηγορίες συστημάτων έναυσης ανάλογα με τον τρόπο μετάδοσης του σήματος έναυσης:

- τα ηλεκτρικά συστήματα
- τα μη ηλεκτρικά συστήματα

Τα συστήματα έναυσης διακρίνονται επίσης ανάλογα με τον τρόπο έναυσης:

- τα συστήματα μετάδοσης φλόγας που χρησιμοποιούνται για την έναυση εκρηκτικών χαμηλής διαρρηκτικότητας (πυρίτιδες),
- τα συστήματα μετάδοσης κρουστικού παλμού που χρησιμοποιούνται για την έναυση εκρηκτικών υψηλής διαρρηκτικότητας (δυναμίτιδες, ANFO).

Η έναυση της πυρίτιδας είναι δυνατόν να γίνει με:

- θρυαλλίδα ασφαλείας
- ηλεκτρικά καψύλια πυρίτιδας.

Η έναυση των δυναμίτιδων και γενικά των διαρρηκτικών εκρηκτικών υλών απαιτεί την δημιουργία και μετάδοση ενός κρουστικού κύματος και είναι δυνατόν να γίνει με:

- κοινά καψύλια δυναμίτιδας
- ηλεκτρικά καψύλια δυναμίτιδας
- εκρηκτική θρυαλλίδα
- το σύστημα Nonel
- το σύστημα Hercudet
- συνδυασμό των προηγούμενων συστημάτων

Τα ηλεκτρικά και μη ηλεκτρικά συστήματα έναυσης συμπληρώνονται από διάφορα παρελκόμενα όπως επιβραδυντές, συσκευές πυροδότησης. Τα συστήματα που κυρίως χρησιμοποιούνται σήμερα κυρίως στη βιομηχανία είναι τα καψύλια οι πυροκροτητές και η εκρηκτική θρυαλλίδα.

Τα καψύλια είναι μικροί μεταλλικοί σωλήνες οι οποίοι περικλείουν ένα συνδυασμό εκρηκτικών υλικών, με σκοπό να μετατρέψουν μια μορφή ενέργειας σε άλλη (θερμική σε κρουστική, ηλεκτρική σε θερμική, ηλεκτρική σε κρουστική).

Τα καψύλια περιλαμβάνουν τη γόμωση ενίσχυσης και την κύρια γόμωση. Η κύρια γόμωση μπορεί να αποτελείται από ένα εκρηκτικό υλικό ή από μίγμα / συνδυασμό δύο ή περισσοτέρων εκρηκτικών υλικών. Στο «πορτοκαλί βιβλίο» που έχει εκδοθεί από το Υπουργείο Οικονομικών των ΗΠΑ (Orange Book, 1982) προσδιορίζεται η ισχύς των καψυλίων Νο. 8 που αποτελούν και τα καψύλια αναφοράς. Έτσι ένα καψύλιο Νο. 8 πρέπει να περιέχει 2 g αποτελούμενο από 80 % μίγματος κροτικού υδραργύρου και 20 % χλωρικού καλίου ή μίγμα ισοδύναμης ισχύος. Ένα τέτοιο μίγμα αποτελείται από 0.40 – 0.45 g PETN ως κύρια γόμωση, συμπιεσμένο σε ένα κύλινδρο αλουμινίου με πάχος πυθμένα μέχρι 0.03 in (0.76 mm) και με πυκνότητα μεγαλύτερη από 1.4 g/cm<sup>3</sup> και με τυποποιημένη γόμωση ενίσχυσης (Αγιουτάντης, 2005).

#### Σημείωση

 Το καψύλιο Νο. 8 χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των εκρηκτικών σε υψηλής διαρρηκτικότητας εκρηκτικά και χαμηλής διαρρηκτικότητας εκρηκτικά. Αν η ενέργεια που εκλύεται από ένα καψύλιο No. 8 είναι ικανή να οδηγήσει σε έκρηξη ποσότητα, μία ποσότητα 60 περίπου κυβικών ιντσών εκρηκτικού και να διατρήσει χαλύβδινη πλάκα, τότε το εκρηκτικό χαρακτηρίζεται ως υψηλής διαρρηκτικότητας.

 Τα στρατιωτικά καψύλια ισχύος Νο. 8 είναι κατά 60 – 80 % ισχυρότερα των εμπορικών.

### 3.12.1 Έναυση με μη ηλεκτρικά μέσα

Τα συστήματα που περιγράφονται στη συνέχεια είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν είτε αυτόνομα είτε σε συνδυασμό με άλλα για να προκαλέσουν την έναυση των διαφόρων εκρηκτικών υλικών.

## 3.12.1.1 Θρυαλλίδα ασφαλείας

Η θρυαλλίδα ασφαλείας έχει τη μορφή σχοινιού και φέρει πυρήνα από πυρίτιδα (με βάση το KNO<sub>3</sub> ή το NaNO<sub>3</sub>). Ο πυρήνας είναι περιτυλιγμένος με αλλεπάλληλα στρώματα από βαμβάκι ή κανάβι καθώς και στεγανά υλικά για λόγους μόνωσης της πυρίτιδας (από νερό ή /και ελαιώδης ουσίες), αποφυγής άκαιρης πυροδότησης λόγω διαφυγής σπινθήρων. Η θρυαλλίδα ασφαλείας χαρακτηρίζεται θεωρικά από σταθερή ταχύτητα ανάφλεξης που κυμαίνεται από 90 – 150 sec/m. Στην πράξη η ταχύτητα ανάφλεξης εξαρτάται από τις επιτόπου συνθήκες (καιρικές συνθήκες, συνθήκες γόμωσης). Η έναυση της θρυαλλίδας μπορεί να γίνει με κατάλληλες συσκευές, όπως είναι ο βεγγαλικός πυροδότης το σχοινί ομαδικής πυροδότησης, αλλά είναι δυνατόν να γίνει και με κοινά σπίρτα. Σημειώνεται ότι η έναυση της θρυαλλίδας διακρίνεται από μια χαρακτηριστική εκτόξευση σπινθήρων (Αγιουτάντης, 2005).

### 3.12.1.2 Κοινά καψύλια δυναμίτιδας

Η πυροδότηση των κοινών καψυλίων δυναμίτιδας γίνεται με θρυαλλίδα ασφαλείας. Αυτή αναφλέγει ένα εύφλεκτο μίγμα που στη συνέχεια προκαλεί έκρηξη σε ένα ισχυρό εκρηκτικό (αζίδιο το μολύβδου) (Εικόνα 3.9). Το τελευταίο αποτελεί τη γόμωση ενίσχυσης το οποίο στη συνέχεια ενάυει την εκρηκτική ύλη (PETN ή tetryl) που αποτελεί την κύρια γόμωση. Σημειώνεται ότι παλαιότερα ήταν διαδεδομένη η χρήση του κροτικού υδραργύρου αντί του αζιδίου του μολύβδου στη θέση του ενισχυτικού εναύσματος. Οι διαστάσεις του καψυλίου είναι συνήθως ¼ in x 1.5 in ( 6 mm x 38 mm) και κατασκευάζεται σε ισχύ από No. 6 έως και No. 12 ενώ οι συνηθέστεροι τύποι είναι No. 6 και No. 8 (Αγιουτάντης, 2005).



Εικόνα 3.9:Κοινό καψύλιο δυναμίτιδας (Τσουτρέλης, 1997)

## 3.12.1.3 Θρυαλλίδα ομαδικής πυροδότησης

Η θρυαλλίδα (σχοινί) ομαδικής πυροδότησης φέρει στον πυρήνα τις εύφλεκτες ουσίες και καίγεται με εξωτερική φλόγα (σε αντίθεση με την εσωτερική φλόγα της θρυαλλίδας ασφαλείας). Κατασκευάζεται κυρίως σε τρείς ποιότητες (γρήγορη καύση: 3 – 5 sec/ft, μεσαία καύση: 5 – 10 sec/ft και αργή καύση: 16 – 20 sec/ft) και μπορεί να συνδεθεί με ειδικούς μεταλλικούς συνδέσμους με την ελεύθερη άκρη της θρυαλλίδας ασφαλείας. Χρησιμοποιείται για τον συντονισμό της έναυσης πολλών διατρημάτων που πυροδοτούνται με θρυαλλίδα ασφαλείας. Κατά τον σχεδιασμό μιας έκρηξης με αυτό το σύστημα πρέπει αν υπολογίζεται το οριακό μήκος θρυαλλίδας ομαδικής πυροδότησης. Η παράμετρος αυτή εκφράζει το μέγιστο μήκος του σχοινιού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί έτσι ώστε όλες οι θρυαλλίδες οι οποίες συνδέονται με αυτό να έχουν πυροδοτηθεί πριν εκραγεί το πρώτο διάτρημα. Το μήκος αυτό είναι εύκολο να υπολογιστεί από την ταχύτητα καύσης του σχοινιού και της θρυαλλίδας και τα αντίστοιχα μήκη τους (Αγιουτάντης, 2005).

### 3.12.1.4 Ακαριαία θρυαλλίδα

Η ακαριαία (εκρηκτική) θρυαλλίδα αποτελείται από αδιάβροχο περίβλημα το οποίο περικλείει πυρήνα από PETN. Ο κρουστικός παλμός μεταφέρεται με ταχύτητα που φθάνει το 6700 m/sec. Η εκρηκτική θρυαλλίδα χαρακτηρίζεται από τη γραμμική πυκνότητα της εκρηκτικής ύλης, δηλαδή γραμμάρια ή κόκκους εκρηκτικού ανά τρέχον μέτρο ή πόδι που συνήθως κυμαίνεται από 1 – 400 g/ft. Κατασκευάζονται επίσης συστήματα ακαριαίας θρυαλλίδας – καψυλίου τα οποία ουσιαστικά ενισχύουν τον κρουστικό παλμό που μεταδίδεται από τη θρυαλλίδα με σκοπό της καλύτερη έναυση των εκρηκτικών στα διατρήματα. Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση της εκρηκτικής θρυαλλίδας είναι:

- σχεδόν σύγχρονη έναυση πολλών διατρημάτων (σε περιπτώσεις προτμησεων)
- έναυση εκρηκτικών σε αποφραγμένα λούκια μεταλλεύματος
- έναυση χωρίς τη χρήση ηλεκτρικών συστημάτων οπότε δεν επηρεάζεται από τυχαία (παράσιτα) ρεύματα και από υγρές (ύφαλες) συνθήκες όπου είναι δύσκολη η μόνωσης των ηλεκτρικών συνδέσεων.

Ένα μειονέκτημα της εκρηκτικής θρυαλλίδας είναι ότι δημιουργεί υψηλές δονήσεις στον αέρα. Είναι απαραίτητο να διασφαλίζεται ότι η εκρηκτική θρυαλλίδα δεν διασταυρώνεται τυχαίο με άλλο τμήμα της, διότι υπάρχει κίνδυνος ανεξέλεγκτης έναυσης στο σημείο διασταύρωσης (Αγιουτάντης, 2005).

### 3.12.1.5 Συστήματα μετάδοσης ασθενούς κρουστικού παλμού

Τα συστήματα αυτά βασίζονται στην ενεργοποίηση ειδικών καψυλλίων από ένα ασθενές κρουστικό κύμα που μεταδίδεται μέσα σε μία σωλήνωση που περιέχει ένα υλικό που μπορεί εύκολα να αντιδράσει. Συνήθως το υλικό αυτό αποτελείται από:

- a) μικρές ποσότητες εκρηκτικού
- b) μίγματα αερίων



Εικόνα 3.10: Τυπικό σύστημα έναυσης.

- Στην πρώτη κατηγορία (μετάδοση με αντίδραση εκρηκτικού) ανήκουν το σύστημα Nonel του οίκου Ensign Bickford και το σύστημα Blastmaster του οίκου Atlas (Εικόνα 3.11). Το σύστημα Nonel αποτελείται από ένα λεπτό, σχεδόν διαφανή σωλήνα από σκληρό πλαστικό ο οποίος στη εσωτερική του επιφάνεια έχει ένα ελαφρό επίχρισμα από εκρηκτικό το οποίο μετά την έναυσή του μπορεί να μεταδώσει ένα σήμα χαμηλής ισχύος (η ταχύτητα έκρηξης είναι περίπου 1800 m/sec ή 6000ft/sec). Λόγω της μικρής ποσότητας εκρηκτικό το πλαστικό περίβλημα παραμένει ακέραιο μετά την πυροδότηση του υλικού. Το Nonel είναι δυνατό να εναυθεί με εκρηκτικό καψύλιο και να συνδυαστεί με επιβραδυντές. Τα κύρια πλεονεκτήματα για την εφαρμογή του είναι:
  - δεν είναι ευαίσθητο σε κρούσεις
  - δημιουργεί ελάχιστο θόρυβο σε αντίθεση με την εκρηκτική θρυαλλίδα
  - δεν είναι ευαίσθητο σε φωτιά
  - μπορεί να εναύσει ακόμα και τις πιο ευαίσθητες δυναμίτιδες
  - είναι ασφαλές για εφαρμογές σε μη ηλεκτρικές εναύσεις.



1. Κέλυφος από αλουμίνιο σε μήκος που εξαρτάται από τον χρόνο επιβραδύνσεως.

2. Μιγμα βάσεως (κυκλονίτης), που προσδίδει ισχύ ίση προς εκείνη κοινού καψυλλίου Νο 8.

3. Μίγμα εναύσεως. Εκρηκτική ύλη ευαίσθητη στην φλόγα.

4. Στοιχείο επιβραδύνσεως.

5. Ελαστικό πώμα για προστασία του καψυλλίου και εξασφάλιση στεγανότητας.

6. Αγωγός NONEL προκαθορισμένου μήκους με σφραγισμένο το ελεύθερο άκρο του.

Εικόνα 3.11: Σύστημα έναυσης τύπου Nonel (Τσουτρέλης, 1997)

Στην δεύτερη κατηγορία (μετάδοση με αντίδραση αερίου) ανοίγει το σύστημα Hercudet του οίκου Hercules και αποτελείται από τρία κύρια στοιχεία (Εικόνα 3.12):

- καψύλια Hercudet τα οποία μοιάζουν με τα ηλεκτρικά καψύλια μόνο
   που αντί για ηλεκτρικού αγωγούς τα καψύλια αυτά είναι εφοδιασμένα
   με δύο λεπτούς σωλήνες.
- συνδέσμους Hercudet για την σύνδεση των καψυλίων με τους κύριους αγωγούς
- συσκευή πυροδότησης Hercudet.



Εικόνα 3.12: Καψύλιο πυροδότησης συστήματος Hercudet (Gregory, 1984)

Όταν ολοκληρωθεί η εγκατάσταση των καψυλίων, τότε ελέγχεται η ακεραιότητα της γραμμής και στη συνέχεια διοχετέυεται στη γραμμή ένα μίγμα αερίων (καύσιμου και οξειδωτικών παραγόντων) το οποίο ακολούθως εναύεται από τη συσκευή πυροδότησης. Ο κρουστικός παλμός ταξιδεύει μέσα στους αγωγούς με ταχύτητα 3000 m/sec και πυροδοτεί τα καψύλια που είναι συνδεδεμένα με αυτούς.

### 3.12.2 Έναυση με ηλεκτρικά μέσα

Η έναυση με ηλεκτρικά μέσα είναι αρκετά διαδεδομένη τόσο σε υπόγειες όσο και σε επιφανειακές ανατινάξεις, λόγω της ευκολίας σύνδεσης και ελέγχου των κυκλωμάτων, πρέπει όμως να αποφεύγεται σε υγρές συνθήκες καθώς και όπου υπάρχουν ισχυρά τυχαία (παράσιτα) ρεύματα. Τα παράσιτα ρεύματα προέρχονται συνήθως από ατμοσφαιρικές εκκενώσεις, μη γειωμένο ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, ισχυρά ηλεκτρομαγνητικά πεδία, υψηλής συχνότητας ραδιοφωνικά κύματα, γαλβανικά στοιχεία.

Σημειώνεται ότι σε υπόγεια ανθρακωρυχεία επιτρέπεται μόνο η χρήση ηλεκτρικών μέσω έναυσης (Dick et al., 1983)

## 3.12.3 Τύποι ηλεκτρικών καψυλίων

Διακρίνονται οι ακόλουθοι τύποι καψυλίων:

- Ηλεκτρικά καψύλια πυρίτιδας: Χαρακτηριστικά των καψυλίων είναι ότι το υλικό που περιέχουν πρέπει να ενεργοποιηθεί θερμικά και να παράσχει ισχυρή φλόγα η οποία έχει την δυνατότητα να διαρρήξει το μεταλλικό περίβλημα του καψυλίου και να εναύσει την εκρηκτική ύλη. Τα καψύλια ενεργοποιούνται μέσω αντίστοιχου ηλεκτρικού κυκλώματος και επομένως παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια για τον προσδιορισμό του χρόνου έκρηξης.
- Ηλεκτρικά καψύλια δυναμίτιδας: Η πυροδότηση του καψυλίου γίνεται όπως η πυροδότηση των κοινών καψυλίων με τη διαφορά ότι η ανάφλεξη του εύφλεκτου μίγματος επιτυγχάνεται από την ερυθροπύρωση ηλεκτρικής αντίστασης. Το ηλεκτρικό ρεύμα παρέχεται στο καψύλιο με δυο μονωμένους μεταλλικούς αγωγούς (κυρίως χάλκινους ή σιδερένιους) που εισέρχονται στον κάλυκα μέσω ενός ελαστικού πώματος. Το πώμα είναι ενσφηνωμένο στον

κάλυκα του καψυλίου ο οποίος με κατάλληλο εργαλείο συρρικνώνεται στο άκρο του για επιτευχθεί πλήρης στεγανότητα. Όταν δεν είναι επιθυμητή η μόλυνση του μεταλλεύματος με χαλκό τότε χρησιμοποιούνται σιδερένιοι (ή επινικελωμένοι) αγωγοί. Ο κάλυκας (κέλυφος) των καψυλίων είναι κατασκευασμένο από χαλκό, ορείχαλκο ή αλουμίνιο και το μήκος των μονωμένων ηλεκτρικών αγωγών κυμαίνεται από 1.2 έως 18 m. Τα καψύλια χωρίς στοιχεία επιβράδυνσης (ακαριαία ηλεκτρικά καψύλια) κατασκευάζονται σε ισχύ No. 6 και No. 8 όπως και τα μη ηλεκτρικά καψύλια (Εικόνα 3.13).

Κατά τη μεταφορά και χειρισμό των ηλεκτρικών καψυλίων και μέχρι λίγο πριν τον τελικό έλεγχο του κυκλώματος και την πυροδότηση, πρέπει τα άκρα των αγωγών να είναι βραχυκυκλωμένα ώστε να αποφευχθεί άκαιρη έναυση του καψυλίου (και των αντίστοιχών εκρηκτικών) λόγω τυχαίων ρευμάτων.



Εικόνα 3.13: Ηλεκτρικό καψύλιο δυναμίτιδας (Gregory, 1984)

## 3.13 Συστήματα επιβράδυνσης

Τόσο στις επιφανειακές όσο και στις υπόγειες ανατινάξεις είναι απαραίτητη η επιβράδυνση στην πυροδότηση γειτονικών διατρημάτων ώστε να δοθεί αρκετός χρόνος να δημιουργηθούν οι απαραίτητες ελεύθερες επιφάνειες για τη θραύση του υλικού. Τα συστήματα επιβράδυνσης κατασκευάζονται σε σειρές και διακρίνονται σε συνήθη όπου οι επιβραδύνσεις μεταξύ των συστημάτων τις ιδίας σειράς είναι 0.5 sec και σε συστήματα μακρόχρονου ή χιλιοστοδευτερόλεπτου (msec) όπου οι επιβραδύνσεις των χιλιοστών του δευτερολέπτου (Αγιουτάντης, 2005).

### 3.13.1 Μη ηλεκτρικά συστήματα επιβράδυνσης

Τα συστήματα επιβράδυνσης σε μη ηλεκτρικά συστήματα έναυσης κατασκευάζονται με τυποποιημένες επιβραδύνσεις (5, 9, 17, 25, 35, 45 και 65 msec), ενώ είναι σπάνιες οι επιβραδύνσεις 0.5 sec (Εικόνα 3.14).

Ένα σύνηθες πρόβλημα που προκύπτει όταν χρησιμοποιούνται μη ηλεκτρικά συστήματα επιβράδυνσης σε επιφανειακές εκμεταλλεύσεις είναι η αποκοπή των αγωγών πριν μεταδοθεί το σήμα σε όλα τα σημεία έναυσης. Για το λόγο αυτό συνίσταται να σχεδιάζονται τα συστήματα έναυσης κατά τέτοιο τρόπο ώστε κάθε διάτρημα να είναι δυνατόν να πυροδοτηθεί από δύο σημεία (Αγιουτάντης, 2005).



Εικόνα 3.14: Σύστημα επιβράδυνσης

## Κεφάλαιο 4

# 4 Στοιχεία ανατινάξεων στο Ορυχείο Νοτίου πεδίου

## 4.1 Γενική περιγραφή της διαδικασίας της ανατίναξης

Στο Ορυχείο του Νοτίου πεδίου χρησιμοποιούνται πέντε (5) διατρητικά φορεία περιστροφικής διάτρησης (rotary drilling) τύπου TAMROCK C50 K3L (Εικόνα 4.1), (Πίνακας 4.1) που μπήκαν σε υπηρεσία το Μάιο του 1990 (η περιστροφική διάτρηση χρησιμοποιείται για όρυξη διατρημάτων μεγάλης διαμέτρου ή/και μεγάλου βάθους). Είναι σε διαρκή 24ωρη λειτουργία και άλλα 4 – 5 ιδιωτών, διατρήοντας 1500 m ημερησίως, σε 7 7/8'' και 9'' διάμετρο και κάνναβο από 4m x 4m έως 6m x 6m.

Τεχνικά χαρακτηριστικά				
Γεωτρύπανο	Περιστροφικό, 6-9 ιντσών			
Φορείο	ερπυστριοφόρο Caterpillar			
Ισχύς γεωτρυπάνου	335 HP σε 1800 RPM			
Παροχή αεροσυμπιεστή	750 / 900 CFM			
Πίεση αεροσυμπιεστή	100 psi			
Καθοδική πίεση	50000 lbs			
	0 - 106 RPM			
	0 - 158 RPM με HST			
Ταχύτητες περιστροφής	0 - 196 RPM με HST			
	HST = σύστημα μεγαλύτερης ταχύτητας και ροπής αδράνειας			

Πίνακας 4.1:Τεχνικά χαρακτηριστικά διατρητικών (Μποζίνης και Τριανταφύλλου, 2005)

Μετά το πέρας της διάτρησης το διάτρημα είναι έτοιμο να γομωθεί. Η μέθοδος που ακολουθεί το Ο.Ν.Π. είναι η εξής :

- στη βάση του διατρήματος τοποθετείται το ενισχυτικό έναυσμα, αμμωνίτιδα ή ζελατοδυναμίτιδα, συνδεμένη με την ακαριαία θρυαλλίδα
- τοποθετούνται τα κύρια εκρηκτικά, ANFO ή Heavy ANFO ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι νερού στο διάτρημα
- 3. τοποθετείται η επιγόμωση.



Εικόνα 4.1: Διατρητικό φορείο TAMROCK C50 K3L

Γόμωση είναι το μήκος του διατρήματος που γομώνεται με εκρηκτικά είναι ίσο με το συνολικό μήκος του διατρήματος μείον το μήκος της επιγόμωσης. Η ποσότητα της γόμωσης είναι η συνολική ποσότητα εκρηκτικών μείων το εκρηκτικό ενίσχυσης.

Επιγόμωση είναι το ανώτερο τμήμα του διατρήματος το οποίο δεν γομώνεται με εκρηκτική ύλη, αλλά πληρούται με τα θραύσματα του πετρώματος που παρήχθησαν κατά τη διάτρηση. Σκοπός της επιγόμωσης είναι να παγιδεύσει την ενέργεια έκρηξης και να την κατευθύνει προς τη μάζα του πετρώματος που πρόκειται να ανατιναχθεί.

Σε ορισμένες περιπτώσεις έχει παρατηρηθεί η υδροφορία σε διατρήματα τότε διαδικασία ανατίναξης τροποποιείται.

Εφόσον όλα τα διατρήματα έχουν γομωθεί και επιγομωθεί συνδέονται κατά σειρές με ακαριαία θρυαλλίδα ανάλογου μήκους η οποία περνά πάνω από τα διατρήματα και δένονται πάνω της τα τμήματα της θρυαλλίδας που συνδέονται με το ενισχυτικό του διατρήματος. Ο τρόπος που γίνεται αυτή η σύνδεση δεν είναι τυχαίος αλλά συγκεκριμένος. Έτσι οι θρυαλλίδες των διατρημάτων που συνδέονται πάνω στην κεντρική πρέπει να στέφονται με μικρή καμπύλη προς την κατεύθυνση από την οποία έρχεται ο κρουστικός παλμός ή το πολύ, να συνδέονται καθέτως με την κεντρική. Διαφορετικά υπάρχει κίνδυνος να μη διαδοθεί ο παλμός στα διατρήματα.

Τα διατρήματα κάθε σειράς εναύονται ταυτόχρονα ενώ μεταξύ των σειρών τοποθετούνται επιβραδυντές. Η έναυση ξεκινά από ένα μικρό τμήμα βραδύκαυστης θρυαλλίδας η οποία ενεργοποιεί ένα καψύλλιο. Αυτό εκρήγνυται και μεταδίδει τον κρουστικό παλμό στην ακαριαία θρυαλλίδα η οποία με τη σειρά της ενεργοποιεί τα ενισχυτικά εναύσματα στη βάση των διατρημάτων.

Τέλος γίνεται η καταγραφή των στοιχείων της ανατίναξης σε ημερολόγιο ανατινάξεων.

### 4.2 Θέσεις σκληρών σχηματισμών

Όπως προκύπτει από την ενότητα 2 υπάρχει γεωλογική ποικιλομορφία στην περιοχή, ποικίλουν οι θέσεις των σκληρών σχηματισμών. Διακρίνονται κάποιες τυπικές θέσεις των σκληρών σχηματισμών, που προκύπτουν από την όρυξη των διατρημάτων (βάθος σκληρών σχηματισμών, πάχος σκληρών σχηματισμών).

Στη συνέχεια γίνεται αποτύπωση των διαφόρων θέσεων των σκληρών σχηματισμών με στόχο την ομαδοποίηση τους, για καλύτερη παρατήρηση και σχεδιασμό της ανατίναξης ώστε να μην υπάρχουν απώλειες χρόνου και έντονες φθορές μηχανημάτων. Ο χρόνος είναι ένας από τους καθοριστικούς παράγοντες για την βελτιστοποίηση και την αύξηση της παραγωγικής διαδικασίας. Ένας άλλος κύριος παράγοντας είναι η άσκοπη φθορά μηχανημάτων το οποίο συνεπάγεται «πάγωμα» των εργασιών που σημαίνει μείωση της παραγωγικής διαδικασίας.

Για καλύτερη πρόβλεψη των διαφόρων παραγόντων που επηρεάζουν την διαδικασία της ανατίναξης πρέπει να υπάρχει καλή γνώση των θέσεων των σκληρών σχηματισμών.

Στην Εικόνα 4.2 οι σκληροί σχηματισμοί είναι σε διαφορετικά βάθη στην ίδια βαθμίδα κάτι το οποίο δημιουργεί προβλήματα κατά την όρυξη των διατρημάτων σε σχέση με το βάθος όρυξης καθώς και στον διαφορετικό σχεδιασμό της ανατίναξης. Σημειώνεται ότι πρέπει να επισημανθεί ο τρόπος όρυξης των διατρημάτων διότι απαιτείται καλή γνώση της θέσεως του σκληρού σχηματισμού ώστε να μην υπάρχουν απώλειες χρόνου, να γίνεται οικονομία στη χρήση εκρηκτικών υλών καθώς και να αποφευχθεί η άσκοπη φθορά των μηχανημάτων.



Εικόνα 4.2: Σκληροί σχηματισμοί σε διαφορετικά βάθη στην ίδια βαθμίδα/ διαφορετική θέση.

Στην Εικόνα 4.3 οι σκληροί σχηματισμοί είναι στην ίδια θέση αλλά σε διαφορετικό βάθος. Το μειονέκτημα σε αυτή την περίπτωση είναι η δυσκολία εύρεσης των ορίων του κάθε φακού ώστε να γίνει και η γόμωση διακεκομμένη ώστε η ανατίναξη να έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Χωρίς να υπάρχει γόμωση σε όλη τη στήλη διότι αυτό συνεπάγεται μη οικονομική χρήση εκρηκτικών υλών, το πιθανό αποτέλεσμα είναι να μείνουν σημεία των σκληρών σχηματισμών χωρίς γόμωση κάτι που είναι ανεπιθύμητο διότι θα προκύψουν μεγάλα τεμάχια τα οποία θα προκαλέσουν είτε πρόωρη φθορά μηχανημάτων είτε απώλειες χρόνου.



Εικόνα 4.3: Σκληροί σχηματισμοί σε διαφορετικό βάθος στην ίδια βαθμίδα/ ίδια θέση.

Στην Εικόνα 4.4 ο σκληρός σχηματισμός είναι στο δάπεδο της βαθμίδας. Στο σημείο αυτό υπάρχει μέγιστο βάθος διάτρησης και γόμωση από το δάπεδο της βαθμίδας μέχρι το πάνω όριο του σκληρού σχηματισμού. Τα μειονεκτήματα όταν ο σκληρός σχηματισμός βρίσκεται σ' αυτή τη θέση είναι η μεγάλη χρονική διάρκεια της όρυξης των διατρημάτων και η φθορά των μηχανημάτων. Ένα ακόμα μειονέκτημα της θέσης αυτής είναι η πιθανή υδροφορία που μπορεί να υπάρχει κάτι που συνεπάγεται αλλαγή στο είδος των εκρηκτικών υλών που θα χρησιμοποιηθούν.



Εικόνα 4.4: Σκληρός σχηματισμός στο δάπεδο της βαθμίδας.

Στην Εικόνα 4.5 ο σκληρός σχηματισμός είναι στο μέσο της βαθμίδας. Το βάθος του διατρήματος δεν υπερβαίνει το μέσο της βαθμίδας και η γόμωση είναι από το κάτω όριο του σκληρού σχηματισμού ως το άνω όριο του σκληρού σχηματισμού. Το πλεονέκτημα σ' αυτή τη θέση είναι η μικρότερη χρονική διάρκεια της όρυξης του διατρήματος από την προηγούμενη περίπτωση διότι ο σκληρός σχηματισμός είναι πιο κοντά στην επιφάνεια. Το μειονέκτημα της θέσης αυτής είναι το βάθος του διατρήματος. Στο σημείο αυτό διακρίνονται δύο περιπτώσεις:

- το βάθος του διατρήματος να ξεπερνά το σκληρό σχηματισμό, κάτι που σημαίνει αύξηση της χρονικής διάρκειας όρυξης, φθορές στα μηχανήματα και μη οικονομική χρήση εκρηκτικών υλών.
- 2. το βάθος του διατρήματος να μην περιλαμβάνει ολόκληρο το σκληρό σχηματισμό, στην περίπτωση αυτή τα αποτελέσματα της ανατίναξης είναι η δημιουργία μεγάλων τεμαχίων τα οποία προκαλούν δυσκολίες κατά τη μεταφορά τους από το χώρο της ανατίναξης στο χώρο της απόθεσης.



Εικόνα 4.5: Σκληρός σχηματισμός στο μέσο της βαθμίδας.

Στην Εικόνα 4.6 παρατηρείται ο σκληρός σχηματισμός στο φρύδι της βαθμίδας, στην συγκεκριμένη περίπτωση το βάθος του διατρήματος ισούται με το πάχος του φακού και με το ύψος της στήλης γόμωσης. Η θέση του σκληρού σχηματισμού σε αυτή την περίπτωση είναι η ιδανική (μικρός χρόνος όρυξης διατρημάτων, οικονομία στα εκρηκτικά).



Εικόνα 4.6: Σκληρός σχηματισμός στο φρύδι της βαθμίδας.

### Κεφάλαιο 5

# 5 Μεθοδολογία επεξεργασίας μετρήσεων

### 5.1 Προέλευση δεδομένων

Η ανάλυση των δεδομένων περιλαμβάνει όλα εκείνα τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν μια ανατίναξη (ποσοτικά και ποιοτικά). Τα δεδομένα αυτά καταγράφονται συστηματικά στο ημερολόγιο ανατινάξεων (δελτίο καταγραφής).

Το δελτίο καταγραφής αυτών των δεδομένων (Εικόνα 5.1) συντάσσεται μετά από κάθε ανατίναξη. Σε κάθε βάρδια είναι δυνατόν να γίνουν μια ή περισσότερες ανατινάξεις.

Το δελτίο αναφέρει την ημερομηνία και τον χρόνο κάθε ανατίναξης, τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην ώρα της ανατίναξης καθώς και την θέση της ανατίναξης (βαθμίδα).

Στη συνέχεια γίνεται η καταγραφή της κατανάλωσης των εκρηκτικών (είδος εκρηκτικού και ποσότητα) (νιτρικό αμμώνιο, πετρέλαιο, μητρικό διάλυμα, φυσίγγια γαλακτώματος). Η επόμενη καταγραφή αναφέρεται στο σύστημα έναυσης (ακαριαία θρυαλλίδα, βραδύκαυστη θρυαλλίδα, σύστημα Nonel) και τέλος τα καψύλια επιβράδυνσης που χρησιμοποιήθηκαν.

Οι επόμενες καταγραφές αφορούν τα στοιχεία των διατρημάτων (αριθμός, διάμετρος, βάθος, μέγεθος καννάβου, υδροφορία).

Οι τελικές καταγραφές είναι τα αποτελέσματα της ανατίναξης όσον αφορά την ποιότητα των καπνών και το αποτέλεσμα της έκρηξης, με τον χαρακτηρισμό καλή μέτρια, κακή.

Με αρχείο καταγραφών γίνεται μια πρώτη εκτίμηση των αποθεμάτων των εκρηκτικών υλών, των αποθεμάτων του συστήματος έναυσης καθώς και για τυχόν ελέγχους στις αποθήκες των εκρηκτικών υλών.

Τα δεδομένα τα οποία αναλύθηκαν στην παρούσα εργασία προήλθαν από αυτές τις καταγραφές. Τα πρωτογενή δεδομένα είναι η ποσότητα των εκρηκτικών και τα στοιχεία της διάτρησης. Με συνδυασμούς των οποίων προκύπτουν τα ακόλουθα:

 <u>Όγκος ανατιναγμένου υλικού</u> είναι το γινόμενο του καννάβου της ανατίναξης επί το βάθος των διατρημάτων επί των αριθμό των διατρημάτων.

- <u>Βάθος διατρήματος</u> είναι από τα πρωτογενή στοιχεία.
- <u>Πάχος φακού</u> είναι το πηλίκο του όγκου του εκρηκτικού ανά διάτρημα προς την επιφάνεια του κύκλου (κυκλική διατομή  $A = \pi \cdot R^2 (R = 7.7/8 (0.2 \text{ m})).$
- Ο όγκος εκρηκτικού ανά διάτρημα είναι η ποσότητα εκρηκτικού ανά διάτρημα προς την πυκνότητα (1.160 kg/m<sup>3</sup>).
- Η ποσότητα εκρηκτικού ανά διάτρημα ισούται με την συνολική ποσότητα εκρηκτικών (tons) επί 1000 για να μετατραπούν σε μονάδες (kg) προς το συνολικό αριθμό διατρημάτων.

	Δ.Ε.Η. Α Δ/ΝΣΗ ΚΛΑΔΟ ΤΟΜΕΑ	A.E. / ΓΕΝΙΚΙ ΛΙΓΝΙΤΙΚΟΥ Σ ΟΡΥΧΕΙΟΥ Σ ΑΝΤΙΜΕΤΙ	1 ΔΙΕΥΘΥΝΣ ΚΕΝΤΡΟΥ Δ 1 ΝΟΤΙΟΥ ΠΕ 2ΠΙΣΗΣ ΣΚΛ	Η ΟΡΥΧΕΙΩΙ ΥΤ. ΜΑΚΕΔΟ ΕΔΙΟΥ ΗΡΩΝ ΣΧΗΝ	Ν ΟΝΙΑΣ ΜΑΤΙΣΜΩΝ					HMEPOM		<i>l</i> l <del></del>	o f
			۱		HN	ΕΡΟΛΟΓ	O ANATI	NAEEQN					
	ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗ	KEZ:KUS	23					ΩPA:	1,30	ATOMA:		өеΣн: 2	.B
	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	NITPIKO AMMΩNIO (KGR)	NETPE- AAIO (LT)	MHTPIKO ΔΙΑΛΥΜΑ (KGR)	ZEΛΑΤ/ MITHΣ (KGR)	ammΩ NithΣ (Kgr)	ΓΑΛΑΚΤ. ΦΥΣ. (KGR)	AKAPIAIA OPYAAA. (METPA)	ΘΡΥΑΛΛ. (ΜΕΤΡΑ)	KAΨΥΛΙΑ KOINA (TEM)	КАΨҮЛІА ЕПІВР. (ТЕМ)	NOVEL ΔΙΠΛΑ (TEM)	NOVE MON (TEM
		1250	70	1250		<b>3</b> ·	92	700	1	1	4		
		APIOMOS	ΔIAMETP.	ΒΑΘΟΣ	KANNAB.	ΥΔΡΟΦ.	1				КАЛН	METPIA	KAK
	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΩΝ	(1)	(in) 7/0	(METPA)	(METPA)	(METPA)				Α ΚΑΠΝΩΝ ΕΚΡΗΞΗΣ	X		
	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:	60	# 8	19-)	DN	$\rightarrow$	1			УПОГ	PA@H: /		
-	ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗ	KEZ:						ΩPA:		ATOMA:	- your	ΘΕΣΗ: 1 8	50
)		NITPIKO AMMΩNIO	TETPE- AAIO	ΜΗΤΡΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ (ΚΟΡ)	ZEAAT/ MITHS	ΑΜΜΩ ΝΙΤΗΣ (KGR)	ΓΑΛΑΚΤ. ΦΥΣ.	AKAPIAIA OPYAAA.	ΒΡΑΔ. ΘΡΥΑΛΛ. (ΜΕΤΡΔ)	KAΨYΛIA KOINA (TEM)	ΚΑΨΥΛΙΑ ΕΠΙΒΡ.	NOVEL ΔΙΠΛΑ (TEM)	NOVE MON/
	ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ	2250	140	2250	)	(RON)	138	900	/	/	3	(7211)	(1211
								1-		·/	КАЛН	METPIA	KAKI
	ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ	ΔIAMETP. (in)	ΒΑΘΟΣ (ΜΕΤΡΑ)	KANNAB. (METPA)	ΥΔΡΟΦ. (ΜΕΤΡΑ)			ΠΟΙΟΤΗΤ	Α ΚΑΠΝΩΝ	×		
	ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΩΝ	90	1/2	5-6	SXS	1			ΑΠΟΤΕΛ.	εκρήξης	X		
	ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗ	<b>ΚΕΣ</b> :						ΩΡΑ:		ATOMA:		ΘΕΣΗ:	
		ΝΙΤΡΙΚΟ ΑΜΜΩΝΙΟ	NETPE- AAIO	ΜΗΤΡΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ	ΖΕΛΑΤ/ ΜΙΤΗΣ	ΑΜΜΩ ΝΙΤΉΣ	ΓΑΛΑΚΤ. ΦΥΣ.	ΑΚΑΡΙΑΙΑ ΘΡΥΑΛΛ.	ΒΡΑΔ. ΘΡΥΑΛΛ.	καψγλια κοινα	ΚΑΨΥΛΙΑ ΕΠΙΒΡ.	NOVEL ΔΙΠΛΑ	NOVE MON/
	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	(KGR)	(LT)	(KGR)	(KGR)	(KGR)	(KGR)	(METPA)	(METPA)	(TEM)	(TEM)	(TEM)	(TEM
	ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ		1					1					
	ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ	L	l				l				КАЛН	METPIA	KAKH
• .	ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ	ΔIAMETP. (in)	ΒΑΘΟΣ (ΜΕΤΡΑ)	KANNAB. (METPA)	ΥΔΡΟΦ. (ΜΕΤΡΑ)	-		ΠΟΙΟΤΗΤΑ	Α ΚΑΠΝΩΝ	КАЛН	METPIA	KAK
	ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ	ΔIAMETP. (in)	BAΘOΣ (METPA)	KANNAB. (METPA)	ΥΔΡΟΦ. (METPA)	-		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΠΟΤΕΛ.	Α ΚΑΠΝΩΝ ΕΚΡΗΞΗΣ	КАЛН	METPIA	KAKH
	ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:	ΑΡΙΘΜΟΣ	ΔIAMETP. (in)	ΒΑΘΟΣ (ΜΕΤΡΑ)	KANNAB. (METPA)	ΥΔΡΟΦ. (ΜΕΤΡΑ)	-		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΠΟΤΕΛ.	α καπνων ΕκρήΞης ΥποΓ	<u>КАЛН</u> РАФН:	METPIA	KAKH
	ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:	ΑΡΙΘΜΟΣ	ΔΙΑΜΕΤΡ. (in)	ΒΑΘΟΣ (ΜΕΤΡΑ)	KANNAB. (METPA)	ΥΔΡΟΦ. (ΜΕΤΡΑ)	-	OPA-	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΠΟΤΕΛ.	α ΚΑΠΝΩΝ ΕΚΡΗΞΗΣ ΥΠΟΓ	<u>КАЛН</u> РАФН:	<u>ΜΕΤΡΙΑ</u>	KAKH
	ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΕΣ:	ΔΙΑΜΕΤΡ. (in)	ΒΑΘΟΣ (ΜΕΤΡΑ) ΜΗΤΡΙΚΟ	KANNAB. (METPA) ZEAAT/	ΥΔΡΟΦ. (ΜΕΤΡΑ)	ΓΑΛΑΚΤ.	ΩPA: [ [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΠΟΤΕΛ. ΒΡΑΔ.	Α ΚΑΠΝΩΝ ΕΚΡΗΞΗΣ ΥΠΟΓ ΑΤΟΜΑ: ΚΑΨΥΛΙΑ	<u>КАЛН</u> РАФН: КАΨҮЛІА	<u>ΜΕΤΡΙΑ</u> ΘΕΣΗ: NOVEL	KAK
	ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΕΣ: ΝΙΤΡΙΚΟ (KGR)	ΔΙΑΜΕΤΡ. (in) ΠΕΤΡΕ- ΛΑΙΟ (LT)	ΒΑΘΟΣ (ΜΕΤΡΑ) ΜΗΤΡΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ (KGR)	KANNAB. (ΜΕΤΡΑ) ΖΕΛΑΤ/ ΜΤΗΣ (KGR)	ΥΔΡΟΦ. (ΜΕΤΡΑ) ΑΜΜΩ ΝΙΤΗΣ (KGR)	ΓΑΛΑΚΤ. ΦΥΣ. (KGR)	ΩΡΑ: Ακαριαία Θργαλλ. (ΜΕΤΡΑ)	ПОЮТНТ/ АПОТЕЛ. ВРАД. 9РҮАЛЛ. (МЕТРА)	Α ΚΑΠΝΩΝ ΕΚΡΗΞΗΣ ΥΠΟΓ ΑΤΟΜΑ: ΚΑΨΥΛΙΑ ΚΟΙΝΑ (ΤΕΜ)	КАЛН РАФН: КАФЧУЛІА ЕПІВР. (ТЕМ)	<u>ΜΕΤΡΙΑ</u> ΘΕΣΗ: ΝΟΥΕL ΔΙΠΛΑ (ΤΕΜ)	KAKH NOVE MON/ (TEM
	ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ	AΡΙΘΜΟΣ KEE: AITPIKO (KGR)	ΔΙΑΜΕΤΡ. (in) ΠΕΤΡΕ- ΛΑΙΟ (LT)	BAΘOΣ (METPA) MHTPIKO ΔΙΑΛΥΜΑ (KGR)	KANNAB. (ΜΕΤΡΑ) ΖΕΛΑΤ/ ΜΙΤΗΣ (KGR)	ΥΔΡΟΦ. (ΜΕΤΡΑ) ΑΜΜΩ ΝΙΤΗΣ (KGR)	ΓΑΛΑΚΤ. ΦΥΣ. (KGR)	ΩΡΑ: Ακαριαία Θργαλλ. (ΜΕΤΡΑ)	ПОІОТНТ/ АПОТЕЛ. ВРАД. ӨРҮАЛЛ. (МЕТРА)		КАЛН РАФН: КАФҮЛІА ЕПІВР. (ТЕМ)	METPIA ΘΕΣΗ: ΔΙΠΛΑ (TEM)	KAKH NOVE MONJ (TEM
	ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΕΣ: ΝΙΤΡΙΚΟ ΑΜΜΩΝΙΟ (KGR)	<u> </u>	ΒΑΘΟΣ (ΜΕΤΡΑ)           ΜΗΤΡΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ (KGR)           ΒΑΘΟΣ (ΜΕΤΡΑ)	KANNAB. (METPA) ZEAAT/ MITH2 (KGR) KANNAB. (METPA)	ΥΔΡΟΦ. (ΜΕΤΡΑ) ΑΜΜΩ ΝΙΤΗΣ (KGR) ΥΔΡΟΦ. (ΜΕΤΡΑ)	ΓΑΛΑΚΤ. ΦΥΣ. (KGR)	ΩΡΑ: [ΑΚΑΡΙΑΙΑ ΘΡΥΑΛΛ. [ΜΕΤΡΑ]	ПОІОТНТ/ АПОТЕЛ. ВРАД. 9РҮАЛЛ. (МЕТРА) ПОІОТНТ/	Α ΚΑΠΝΩΝ ΕΚΡΗΞΗΣ ΥΠΟΓ ΑΤΟΜΑ: (ΤΕΜ) Α ΚΑΠΝΩΝ	КАЛН РАФН: КАФҮЛІА ЕПІВР. (ТЕМ) КАЛН	<u>ΜΕΤΡΙΑ</u> ΘΕΣΗ: <u>ΝΟVEL</u> ΔΙΠΛΑ (TEM) <u>ΜΕΤΡΙΑ</u>	KAKH NOVE MON/ (TEM KAKH

Εικόνα 5.1: Τυπικό δελτίο καταγραφής ανατινάξεων

## 5.2 Παραδοχές για την ανάλυση των δεδομένων

Για την ανάλυση των δεδομένων ήταν απαραίτητο να γίνουν κάποιες παραδοχές οι οποίες δεν θα επηρέαζαν σημαντικά την αξιολόγηση των δεδομένων. Αρχικά έπρεπε να οριστούν οι παράμετροι που οι οποίες είναι:

- Πάχος φακού [m] = x
- Βάθος διάτρησης [m]= y
- Όγκος ανατιναγμένου υλικού  $[x \ 10^3 \ m^3] = z$

Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από μερική επεξεργασία των αρχικών καταγραφών ώστε να προκύψουν τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την αξιολόγηση των ανατινάξεων.

Στη συνέχεια οι παραδοχές που έγιναν είναι:

- a. Πάχος φακού = ύψος γόμωσης.
- b. Το βάθος διατρήματος αντιστοιχεί στο κατώτατο σημείο του φακού
- c. Θεωρήθηκε ομοιογενής η γόμωση στο διάτρημα.
- d. Δεν λήφθηκε υπόψη η υδροφορία των διατρημάτων που πιθανόν να επηρέαζε την διαδικασία της ανατίναξης.
- e. Θεωρήθηκε μια και ενιαία η διάμετρος του διατρήματος (7 7/8 in).
- f. Θεωρήθηκε ένα είδος εκρηκτικού Heavy ANFO.

Οι παραδοχές έγιναν λόγω έλλειψης δεδομένων και για επικέντρωση στις ουσιαστικές παραμέτρους του σχεδιασμού της ανατίναξης.

### 5.3 Εργαλεία επεξεργασίας

Για την βέλτιστη προσαρμογή των δεδομένων σε κάποια μορφή εξισώσεων χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο του Matlab cftool (Open Curve Fitting Tool) το οποίο είναι σε γραφικό περιβάλλον (GUI) (Graphical User Interfaces) το οποίο το καθιστά σχετικά εύκολο στη χρήση του. Η εντολή που ενεργοποιεί αυτό το εργαλείο είναι:

### cftool

Εφόσον έχει ενεργοποιηθεί το εργαλείο αυτό, γίνεται εισαγωγή δεδομένων πατώντας την επιλογή Data (Εικόνα 5.2) στη συνέχεια γίνεται η εισαγωγή δεδομένων

ορίζοντας του άξονες «x» και «y» (η ονομασία των αξόνων δεν έχει σχέση με τα δεδομένα). Στη συνέχεια πατώντας το κουμπί Create data set ώστε να γίνει η απεικόνιση των εκάστοτε δεδομένων στο γράφημα. Εφόσον κατασκευαστεί το γράφημα πατώντας την επιλογή Fitting, δίνεται η δυνατότητα προσαρμογής διαφόρων τύπων συναρτήσεων για το δεδομένο γράφημα. Οι συναρτήσεις με τις οποίες μπορεί να γίνει η προσαρμογή στα δεδομένα είναι:

- Custom Equations (δυνατότητα κατασκευής συνάρτησης)
- Exponential (εκθετική)
- Fourier (με βάση τη σειρά Fourier)
- Gaussian (με βάση τη σειρά Gauss)
- Interpolant
- Polynomial (πολυωνιμική)
- Power (σε δύναμη)
- Rational (συνδυασμός πολυωνιμικών)
- Sum of Sin functions (αθροίσματα ημιτονοειδών συναρτήσεων)
- Weibull (συνδυασμός power και exponential)

Επιλέγοντας κάποιες από τις παραπάνω συναρτήσεις αυτές προβάλλονται στο χώρο του γραφήματος. Επίσης από το menu → view γίνεται η προβολή των προβλεπόμενων ορίων (Prediction Bounds). Τέλος για να γίνει το γράφημα σε επεξεργάσιμη μορφή γένεται εξαγωγή του ως εξής: File → Print to figure. Το οποίο μπορεί να εξαχθεί στις ακόλουθες μορφές:

- .fig (αρχείο Matlab)

Τα αποτελέσματα είναι εκτός των γραφικών και αριθμητικά, δίνει έναν πίνακα με τα ακόλουθα στοιχεία:

- Επιλεγμένη μορφή συνάρτησης
- Συντελεστές των εξισώσεων με διαστήματα εμπιστοσύνης 95 %
- Στοιχεία της προσαρμογής όπως:
  - SSE (Sum squared error performance function), Σφάλμα ελαχίστων τετραγώνων. Όσο πλησιάζει το μηδέν γίνεται καλύτερη προσαρμογή.
  - R square (συντελεστής συσχέτισης), Δείχνει πόσο επιτυχημένη είναι μια προσαρμογή όσο πλησιάζει ο συντελεστής τη μονάδα
  - Adjusted R square (τροποποιημένος συντελεστής συσχέτισης). Ο τροποποιημένος συντελεστής συσχέτισης είναι ο συντελεστής επηρεασμένος από τους βαθμούς ελευθερίας. Όσο πλησιάζει την μονάδα γίνεται καλύτερη προσαρμογή.
  - RMSE (Root mean squared error), Τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος. Όσο η ποσότητα αυτή πλησιάζει το μηδέν γίνεται καλύτερη προσαρμογή.



Εικόνα 5.2: Γραφικό περιβάλλον cftool

Το επόμενο βήμα επεξεργασίας των μετρήσεων ήταν η κατασκευή ιστογραμμάτων και καμπύλων κατανομής. Το εργαλείο του Matlab που χρησιμοποιήθηκε σε αυτό το κομμάτι επεξεργασίας ενεργοποιείται με την εντολή:

#### dfittool

Η εντολή αυτή ενεργοποιεί ένα γραφικό περιβάλλον επικοινωνίας του προγράμματος (Matlab) με τον χρήστη. Το πεδίο αυτό ονομάζεται GUI (Graphical User Interfaces) (Εικόνα 5.3). Στο γραφικό περιβάλλον αυτό υπάρχει η δυνατότητα να εισαγωγής δεδομένων από τον χώρο επεξεργασίας του Matlab. Στη συνέχεια τα δεδομένα μπορούν να παρασταθούν με διάφορες γραφικές τέτοιες είναι:

- Density (PDF)
- Cumulative probability (CDF)
- Quantile (inverse CDF)
- Probability plot
- Survivor function
- Cumulative hazard

Οι κατανομές στις οποίες μπορεί να γίνει προσαρμογή στα δεδομένα ενδεικτικά είναι:

- Normal (κανονική)
- Lognormal
- t location scale (Student)
- Inverse Gaussian
- Logistic
- Generalized Pareto
- Poison
- Rician
- Weibull
- Nakagami
- Rayleigh
- Non parametric
- Birnbaum Saunders

Στη συνέχεια γίνεται η προσαρμογή ανάλογα με τον τύπο που προσαρμόζεται καλύτερα στα δεδομένα, στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε η κατανομή normal και t location – scale.

Η κατανομή normal αποδίδει την κανονική κατανομή, με καθορισμένο αριθμητικό μέσο και τυπική απόκλιση. Η συνάρτηση αυτή έχει ευρύτατη κλίμακα εφαρμογών στη στατιστική, καθώς και στον έλεγχο υποθέσεων.

Η κατανομή Student, αποδίδει τις ποσοστιαίες μονάδες (πιθανότητα) για την κατανομή t του Student, όπου μια αριθμητική τιμή (x) είναι μια τιμή υπολογισμού της t, για την οποία υπολογίζονται οι ποσοστιαίες μονάδες. Η κατανομή t χρησιμοποιείται για τον έλεγχο υποθέσεων σε σύνολα δεδομένων μικρών δειγμάτων αντίστοιχα.

Σε ορισμένες περιπτώσεις το ίδιο το πρόγραμμα ελέγχει την προσαρμογή ώστε να υπάρχει καλύτερη ακρίβεια αποτελεσμάτων. Όπως φαίνεται σε ορισμένες γραφικές η προσαρμογή τόσο για την κατανομή normal όσο και για την κατανομή Student, οι κατανομές αυτές μερικές φορές συμπίπτουν και αυτό διότι οι ομάδες δεδομένων δεν ακολουθούν την κατανομή Student. Οπότε τα αποτελέσματα μόνο για την κατανομή normal.

Η εξαγωγή των γραφημάτων γίνεται από το menu → file → print to figure η παραπάνω διαδρομή δίνει την γραφική παράσταση από το γραφικό περιβάλλον επεξεργασίας σε μορφή προσπελάσιμη σαν κανονική γραφική Matlab καθώς και σε μορφή αρχείου εικόνας.



Εικόνα 5.3: Γραφικό περιβάλλον dfittool

Οι κατανομές επιλέχθηκαν με βάση την μέθοδο του μεγίστου λογαρίθμου πιθανοφάνειας. Η μέθοδος αυτή δείχνει κατά πόσο η κατανομή αντιπροσωπεύει τα αποτελέσματα της διακύμανσης. Όταν το αποτέλεσμα είναι αρνητικό τότε η μέθοδος δεν συγκλίνει σε μια λύση, όταν το αποτέλεσμα είναι μηδενικό τότε έχει ξεπεραστεί το όριο των επαναλήψεων που απαιτούνται για τον προσδιορισμό του μεγίστου λογαρίθμου πιθανοφάνειας και όταν το αποτέλεσμα είναι θετικό τότε η μέθοδος συγκλίνει σε μία λύση.

## Κεφάλαιο 6

## 6 Επεξεργασία μετρήσεων

## 6.1 Επεξεργασία μετρήσεων 2004

## 6.1.1 Βάθος διατρήματος συναρτήσει του πάχους φακού

Σε πρώτη φάση γίνεται προσπάθεια συσχέτισης του πάχος του φακού (x) με το βάθος διατρήματος (y). Η εξίσωση που προκύπτει για γραμμική συσχέτιση είναι:

$$y = 4.289 \cdot x + 0.5639 \tag{6.1}$$

η οποία απεικονίζεται στην Εικόνα 6.1

Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την παραπάνω γραμμική προσαρμογή των δεδομένων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1: Χαρακτηριστικά γραμμικής προσαρμογής

SSE	104.5
R-square	0.9242
Adjusted R-square	0.9241
RMSE	0.4641

SSE: Άθροισμα τετραγωνικών σφαλμάτων, R-square: συντελεστής συσχέτισης, Adjusted R-square: τροποποιημένος συντελεστής συσχέτισης, RMSE: τετραγωνική ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος



Εικόνα 6.1: Πάχος φακού συναρτήσει βάθους διατρήματος

Με στόχο την εύρεση της διακύμανσης, η εξίσωση (6.1) έπρεπε να έρθει στη μορφή:



$$y_1 - 4.289 \cdot x_1 - 0.5639 = y_1' \tag{6.2}$$

Στην Εικόνα 6.2 παρουσιάζεται η διακύμανση της εξίσωσης (6.2) με βάση την κανονική κατανομή (normal) και την κατανομή Student. Τα επιμέρους στατιστικά αποτελέσματα για κάθε κατανομή δίδονται στους Πίνακες 6.2, 6.3, 6.4, και 6.5.

Πινακάς 0.2. Αποτελεσματά και	ανόμης ποι παι
Κατανομή	Normal
Λογάριθμος Πιθανοφάνειας	-325.309
Περιοχή	-Inf < y < Inf
Μέσος	-0.307773
Διασπορά	0.223163

Πίνακας 6.2: Αποτελέσματα κατανομής normal

Πίνακας 6.3: Προσδιορισμός παραμέτρων

Παράμετροι	Εκτίμηση	Std . Err					
mu	-0.307773	0.0214065					
sigma	0.472401	0.0151601					
Κατ' εκτίμηση συνδιασπορά των εκτιμώμενων παραμέτρων:							
	mu sigma						
mu 0.00045824 3.89971e-019							
sigma	3.89971e-019	0.000229828					

mu: μέση τιμή, sigma: μέση απόκλιση

Εικόνα 6.2: Διακύμανση του βάθους διάτρησης συναρτήσει του πάχους του φακού

πινακάς 0.4. Αποτελεοματά κο	πανομης student
Κατανομή	t location-scale
Λογάριθμος Πιθανοφάνειας	-251.459
Περιοχή	-Inf < y < Inf
Μέσος	-0.296858
Διασπορά	0.507861

Πίνακας 6.4: Αποτελέσματα κατανομής Student

#### Πίνακας 6.5: Προσδιορισμός παραμέτρων

Παράμετροι	Εκτίμηση		Std . Err			
mu	-0.296858		0.0147231			
sigma	0.253434		0.0154885			
nu	2.28956		0.284027			
Κατ' εκτίμηση συνδιασπορά των εκτιμώμενων παραμέτρων:						
	mu sigma nu			nu		
mu	0.000216768 2.59242e-005		42e-005	0.00047712		
sigma	2.59242e-005 0.000		)239894	0.00267138		
nu	nu 0.00047712 0.00		267138	0.08067120		

mu: μέση τιμή, sigma: μέση απόκλιση, nu: βαθμοί ελευθερίας

Ο αρνητικός μέσος που παρουσιάζεται στα παραπάνω αποτελέσματα προέρχεται από την εξίσωση της διακύμανσης και όχι από τα δεδομένα. Ο μέσος όρος που προσδιορίζεται για κάθε κατανομή είναι ουσιαστικά το σφάλμα της μέσης τιμής των δεδομένων. Σε καμία περίπτωση δεν δηλώνει το μέσο των δεδομένων, ο μέσος των δεδομένων δεν είναι κρίνεται σκόπιμο να εξαχθεί διότι θα χαθεί η εξάρτηση μεταξύ του πάχους του φακού και του βάθους διάτρησης.

## 6.1.2 Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του βάθους διατρήματος

Ο δεύτερος συνδυασμός των δεδομένων που αναλύθηκε αναφέρεται στον όγκο ανατιναγμένου υλικού (z) σαν συνάρτηση του βάθους διατρήματος (y). Η εξίσωση που προκύπτει για γραμμική συσχέτιση είναι:

$$y = 0.2266 \cdot z + 3.2756 \tag{6.3}$$

η οποία απεικονίζεται στην Εικόνα 6.3.

Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την παραπάνω γραμμική προσαρμογή των δεδομένων δίνεται στον Πίνακα 6.6.

iwaka o.o. Mapakinpiotika papuking npooapuopig				
SSE	734.9			
R-square	0.4671			
Adjusted R-square	0.466			
RMSE	1.231			

Πίνακας 6.6: Χαρακτηριστικά γραμμικής προσαρμογής

SSE: Άθροισμα τετραγωνικών σφαλμάτων, R-square: συντελεστής συσχέτισης, Adjusted R-square: τροποποιημένος συντελεστής συσχέτισης, RMSE: τετραγωνική ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος



Εικόνα 6.3: Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του βάθους του διατρήματος.

Με στόχο την εύρεση της διακύμανσης, η εξίσωση (6.3) έπρεπε να έρθει στη μορφή:

$$y_2 - 0.2266 \cdot z_2 - 3.2756 = y_2' \tag{6.4}$$

Στην Εικόνα 6.4 παρουσιάζεται η διακύμανση της εξίσωσης (6.4). Στην συγκεκριμένη περίπτωση τη καλύτερη προσαρμογή την έδινε η normal αντί της Student γι' αυτό και έδωσε μόνο μια καμπύλη. Τα επιμέρους στατιστικά αποτελέσματα για την κατανομή δίνονται στους Πίνακες 6.7, και 6.8:



Εικόνα 6.4: Διακύμανσης Βάθος διάτρησης - Όγκος ανατιναγμένου υλικού.

Κατανομή	Normal
Λογάριθμος Πιθανοφάνειας	-791.212
Περιοχή	-Inf < y < Inf
Μέσος	-0.00190619
Διασπορά	1.51211

Πίνακας 6.8: Προσδιορισμός παραμέτρων

Παράμετροι	Εκτίμηση	Std . Err					
mu	-0.00190619	0.0557221					
sigma	1.22968	0.0394623					
Κατ' εκτίμηση συνδιασπορά των εκτιμώμενων παραμέτρων:							
	mu sigma						
mu 0.00310495 -1.39166e-019							
sigma	-1.39166e-019	0.00155727					

mu: μέση τιμή, sigma: μέση απόκλιση

Ο αρνητικός μέσος που παρουσιάζεται στα παραπάνω αποτελέσματα προέρχεται από την εξίσωση της διακύμανσης και όχι από τα δεδομένα. Ο μέσος όρος που προσδιορίζεται για κάθε κατανομή είναι ουσιαστικά το σφάλμα της μέσης τιμής των δεδομένων. Σε καμία περίπτωση δεν δηλώνει το μέσο των δεδομένων, ο μέσος των δεδομένων δεν είναι κρίνεται σκόπιμο να εξαχθεί διότι θα χαθεί η εξάρτηση μεταξύ του όγκου του ανατιναγμένου υλικού και του βάθους διάτρησης.

## 6.1.3 Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του πάχους φακού

Τέλος ο τελευταίος συνδυασμός δεδομένων που αναλύθηκε αναφέρεται στον όγκο ανατιναγμένου υλικού (z) συναρτήσει του πάχους του φακού (x). Η εξίσωση που προκύπτει είναι:

$$\mathbf{x} = 1.753 - 1.522 \cdot \mathrm{e}^{(-0.107 \cdot \mathbf{z})} \tag{6.5}$$

η οποία απεικονίζεται στην Εικόνα 6.5.

Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την παραπάνω προσαρμογή των δεδομένων δίδονται στον Πίνακα 6.9.

Πίνακας 6.9: Χαρακτηριστικά προσαρμογής

SSE	32.47
R-square	0.5313
Adjusted R-square	0.5294
RMSE	0.259

SSE: Άθροισμα τετραγωνικών σφαλμάτων, R-square: συντελεστής συσχέτισης, Adjusted R-square: τροποποιημένος συντελεστής συσχέτισης, RMSE: τετραγωνική ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος



Εικόνα 6.5: Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του πάχους του φακού

Με στόχο την εύρεση της διακύμανσης, η εξίσωση (6.5) έπρεπε να έρθει στη μορφή:

$$\mathbf{x}_2 - 1.753 + 1.522 \cdot \mathbf{e}^{(-0.107 \cdot \mathbf{z}_2)} = \mathbf{x}_2' \tag{6.6}$$



Εικόνα 6.6: Διακύμανση πάχους φακού σε σχέση με τον όγκο ανατιναγμένου υλικού

Στην Εικόνα 6.6 παρουσιάζεται η διακύμανση της εξίσωσης (6.6) με βάση την κατανομή normal και την κατανομή Student. Τα επιμέρους στατιστικά αποτελέσματα για κάθε κατανομή δίδονται στους Πίνακες 6.10, 6.11, 6.12, και 6.13:

Κατανομή	Normal
Λογάριθμος Πιθανοφάνειας	-31.6539
Περιοχή	-Inf < y < Inf
Μέσος	0.000293259
Διασπορά	0.066815

Πίνακας 6.10: Αποτελέσματα ι	κατανομής normal
------------------------------	------------------

Παράμετροι	Εκτίμηση	Std . Err
mu	0.000293259	0.0117131
sigma	0.258486	0.00829521
Κατ' εκτίμηση συνδιασπορά των εκτιμώμενων παραμέτρων:		
	mu	sigma
mu	0.000137197	-4.39232e-022
sigma	-4.39232e-022	6.88105e-005

mu: μέση τιμή, sigma: μέση απόκλιση
Κατανομή	t location-scale
Λογάριθμος Πιθανοφάνειας	-29.5223
Περιοχή	-inf <y<inf< td=""></y<inf<>
Μέσος	-0.00378458
Διασπορά	0.0665891

Πίνακας 6.12 Αποτελέσματα για την κατανομή Student

Πίνακας 6.13: Προσδιορισμός παραμέτρων

Παράμετροι	Εκτίμηση		Std . Err
mu	-0.00378458		0.0116783
sigma	0.240488		0.0115657
nu	15.2121		8.3017800
Κατ' εκτίμηση συνδιασπορά των εκτιμώμενων παραμέτρων:			
	mu	sigma	nu
mu	0.000136383	1.51313e-00	0.0141277
sigma	1.51313e-005	0.00013376	0.0658093
nu	0.01412770	0.06580930	68.919500

mu: μέση τιμή, sigma: μέση απόκλιση, nu: βαθμοί ελευθερίας.

Ο αρνητικός μέσος που παρουσιάζεται στην κατανομή Student προέρχεται από την εξίσωση της διακύμανσης και όχι από τα δεδομένα. Ο μέσος όρος που προσδιορίζεται για κάθε κατανομή είναι ουσιαστικά το σφάλμα της μέσης τιμής των δεδομένων. Σε καμία περίπτωση δεν δηλώνει το μέσο των δεδομένων, ο μέσος των δεδομένων δεν είναι κρίνεται σκόπιμο να εξαχθεί διότι θα χαθεί η εξάρτηση μεταξύ του πάχους του φακού και του όγκου ανατιναγμένου υλικού.

## 6.2 Επεξεργασία μετρήσεων 2005

# 6.2.1 Βάθος διατρήματος συναρτήσει του πάχους φακού

Σε πρώτη φάση γίνεται προσπάθεια συσχέτισης του πάχος του φακού (x) με το βάθος διατρήματος (y). Η εξίσωση που προκύπτει για γραμμική συσχέτιση είναι:

$$y = 4.242 \cdot x + 0.5538 \tag{6.7}$$

η οποία απεικονίζεται στην Εικόνα 6.7.

Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την παραπάνω γραμμική προσαρμογή των δεδομένων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.14:

invarias o.i i. Maparen province paparente provide pro		
SSE	297.6	
R-square	0.9104	
Adjusted R-square	0.9103	
RMSE	0.5098	

Πίνακας 6.14: Χαρακτηριστικά γραμμικής προσαρμογής

SSE: Άθροισμα τετραγωνικών σφαλμάτων, R-square: συντελεστής συσχέτισης, Adjusted R-square: τροποποιημένος συντελεστής συσχέτισης, RMSE: τετραγωνική ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος



Εικόνα 6.7: Πάχος φακού συναρτήσει βάθος διατρήματος.

Με στόχο την εύρεση της διακύμανσης, η εξίσωση (6.7) έπρεπε να έρθει στη μορφή:



$$y_1 - 4.242 \cdot x_1 - 0.5538 = y_1'$$
 (6.8)

Εικόνα 6.8: Διακύμανση βάθους διατρήματος συναρτήσει του πάχος του φακού.

Στην Εικόνα 6.8 παρουσιάζεται η διακύμανση της εξίσωσης (6.8) με βάση την κατανομή normal και την κατανομή Student. Τα επιμέρους στατιστικά αποτελέσματα για κάθε κατανομή δίδονται στους Πίνακες 6.15, 6.16, 6.17, και 6.18:

Κατανομή	normal
Λογάριθμος Πιθανοφάνειας	-855.747
Περιοχή	-Inf < y < Inf
Μέσος	0.0098557
Διασπορά	0.260577

Πίνακας 6.15: Αποτελέσματα κατανομής normal

Πίνακας 6.16: Προσδιορισμός παραμέτρων

Παράμετροι	Εκτίμηση	Std . Err		
mu	0.0098557	0.0150725		
sigma	0.510467	0.0106649		
Κατ' εκτίμηση συνδιασπορά των εκτιμώμενων παραμέτρων:				
	mu	sigma		
mu	0.000227181	-3.76089e-020		
sigma	-3.76089e-020	0.000113739		

mu: μέση τιμή, sigma: μέση απόκλιση

intrakaç ö.i /. i into tördöpürtü katar opinç biddeni		
Κατανομή	t location-scale	
Λογάριθμος Πιθανοφάνειας	-724.971	
Περιοχή	-Inf < y < Inf	
Μέσος	0.0543717	
Διασπορά	0.295248	

Πίνακας 6.17: Αποτελέσματα κατανομής Student

Πίνακας 6.18: Προσδιορισμός παραμέτρων

Παράμετροι	Εκτίμηση		S	Std . Err
mu	0.0543717		0.0116918	
sigma	0.322883		0.	0125405
nu	3.09169		0	.316627
Κατ' εκτίμηση συνδιασπορά των εκτιμώμενων παραμέτρων:				
	mu	sig	gma	nu
mu	0.000136699	-1.3994	46e-005	-0.000374238
sigma	-1.39946e-005	0.000157265		0.00259712
nu	-0.000374238	0.0025	597120	0.10025300

mu: μέση τιμή, sigma: μέση απόκλιση, nu: βαθμοί ελευθερίας

# 6.2.2 Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του βάθους διατρήματος

Το επόμενο βήμα είναι ο συνδυασμός του όγκου ανατιναγμένου υλικού (z) σε σχέση με το βάθος του διατρήματος (y), η εξίσωση που προκύπτει για γραμμική συσχέτιση είναι:

$$y = 0.1578 \cdot z + 3.653 \tag{6.9}$$

η οποία απεικονίζεται στην Εικόνα 6.9.

Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την παραπάνω γραμμική προσαρμογή των δεδομένων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.19:

Πινακάς 0.17. Χαρακτηριοτικά γραμμικής προσαρμογής		
SSE	2210	
R-square	0.3343	
Adjusted R-square	0.3337	
RMSE	1.389	

Πίνακας 6.19: Χαρακτηριστικά γραμμικής προσαρμογής

SSE: Άθροισμα τετραγωνικών σφαλμάτων, R-square: συντελεστής συσχέτισης, Adjusted R-square: τροποποιημένος συντελεστής συσχέτισης, RMSE: τετραγωνική ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος



Εικόνα 6.9: Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του Βάθους διατρήματος.

Με στόχο την εύρεση της διακύμανσης, η εξίσωση (6.9) έπρεπε να έρθει στη μορφή:

$$y_2 - 0.1578 \cdot z_2 - 3.6685 = y_2' \tag{6.10}$$



Εικόνα 6.10: Διακύμανσης του Βάθους διατρήματος σε σχέση με τον όγκο ανατιναγμένου υλικού.

Στην Εικόνα 6.10 παρουσιάζεται η διακύμανση της εξίσωσης (6.10). Στην συγκεκριμένη περίπτωση τη καλύτερη προσαρμογή την έδινε η normal και όχι η Student γι' αυτό και έδωσε μόνο μια καμπύλη. Τα επιμέρους στατιστικά αποτελέσματα για την κατανομή δίδονται στους Πίνακες 6.20, και 6.21:

Κατανομή	normal
Λογάριθμος Πιθανοφάνειας	-2003.76
Περιοχή	-Inf < y < Inf
Μέσος	-0.00436239
Διασπορά	1.92883

Πίνακας 6.20: Αποτελέσματα κατανομής normal

|--|

Παράμετροι	Εκτίμηση	Std . Err		
mu	-0.00436239	0.0410077		
sigma	1.38882	0.0290158		
Κατ' εκτίμηση συνδιασπορά των εκτιμώμενων παραμέτρων:				
	mu	sigma		
mu	0.00168163	4.34353e-020		
sigma	4.34353e-020	0.000841915		

mu: μέση τιμή, sigma: μέση απόκλιση

Ο αρνητικός μέσος που παρουσιάζεται στα παραπάνω αποτελέσματα προέρχεται από την εξίσωση της διακύμανσης και όχι από τα δεδομένα. Ο μέσος όρος που προσδιορίζεται για κάθε κατανομή είναι ουσιαστικά το σφάλμα της μέσης τιμής των δεδομένων. Σε καμία περίπτωση δεν δηλώνει το μέσο των δεδομένων, ο μέσος των δεδομένων δεν είναι κρίνεται σκόπιμο να εξαχθεί διότι θα χαθεί η εξάρτηση μεταξύ του όγκου ανατιναγμένου υλικού και του βάθους διάτρησης.

#### 6.2.3 Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του πάχους φακού

Το τελευταίο βήμα επεξεργασίας των μετρήσεων αυτού του έτους είναι η σχέση μεταξύ όγκου ανατιναγμένου υλικού (x) και πάχος φακού (y), η εξίσωση που προκύπτει είναι:

$$\mathbf{x} = 1.661 - 1.204 \cdot \mathbf{e}^{(-0.08617 \cdot \mathbf{z})} \tag{6.11}$$

η οποία απεικονίζεται στην Εικόνα 6.11

Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την παραπάνω προσαρμογή των δεδομένων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.22:

The area of the analysis of the analysis of the original sector of the s	
SSE	111
R-square	0.3391
Adjusted R-square	0.3379
RMSE	0.3115

Πίνακας 6.22: Χαρακτηριστικά γραμμικής προσαρμογής

SSE: Άθροισμα τετραγωνικών σφαλμάτων, R-square: συντελεστής συσχέτισης, Adjusted R-square: τροποποιημένος συντελεστής συσχέτισης, RMSE: τετραγωνική ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος



Εικόνα 6.11: Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του πάχους του φακού.

Με στόχο την εύρεση της διακύμανσης, η εξίσωση (6.11) έπρεπε να έρθει στη μορφή:

$$x_1 - 1.661 + 1.204 \cdot e^{(-0.08617 \cdot z)} = x_1'$$
 (6.12)



Εικόνα 6.12: Διακύμανση πάχος φακού σε σχέση με τον όγκο ανατιναγμένου υλικού.

Στην Εικόνα 6.12 παρουσιάζεται η διακύμανση της εξίσωσης (6.12) με βάση την κατανομή normal και την κατανομή Student. Τα επιμέρους στατιστικά αποτελέσματα για κάθε κατανομή δίδονται στους Πίνακες 6.23, 6.24, 6.25, και 6.26:

πινακάς 0.23. Αποτελεσματά κατάνομης ποι παι		
Κατανομή	Normal	
Λογάριθμος Πιθανοφάνειας	-288.295	
Περιοχή	-Inf < y < Inf	
Μέσος	0.000532204	
Διασπορά	0.0968771	

Πίνακας 6.23: Αποτελέσματα κατανομής normal

#### Πίνακας 6.24: Προσδιορισμός παραμέτρων

Παράμετροι	Εκτίμηση	Std . Err		
mu	0.000532204	0.00919028		
sigma	0.311251000	0.00650276		
Κατ' εκτίμηση συνδιασπορά των εκτιμώμενων παραμέτρων:				
	mu	sigma		
mu	8.44613e-005	1.91962e-021		
sigma	1.91962e-021	4.22859e-005		

mu: μέση τιμή, sigma: μέση απόκλιση

Πίνακας 6.25:Αποτελέσματα κατανομής Student

Κατανομή	t location-scale	
Λογάριθμος Πιθανοφάνειας	-283.642	
Περιοχή	-Inf < y < Inf	
Μέσος	-0.00168578	
Διασπορά	0.0963738	

## Πίνακας 6.26: Προσδιορισμός παραμέτρων

Παράμετροι	Εκτίμηση		S	Std . Err
mu	-0.00168578		0.0	00911966
sigma	0.295235		0.0	00849103
nu	20.9276		8	3.72401
Κατ' εκτίμηση συνδιασπορά των εκτιμώμενων παραμέτρων:				
	mu	sigma		nu
mu	8.31683e-005	2.78514e-006		0.00403969
sigma	2.78514e-006	7.20975e-005		0.0468284
nu	0.00403969	0.0468284		76.1084

mu: μέση τιμή, sigma: μέση απόκλιση, nu: βαθμοί ελευθερίας

Ο αρνητικός μέσος που παρουσιάζεται στη κατανομή Student προέρχεται από την εξίσωση της διακύμανσης και όχι από τα δεδομένα. Ο μέσος όρος που προσδιορίζεται για κάθε κατανομή είναι ουσιαστικά το σφάλμα της μέσης τιμής των δεδομένων. Σε καμία περίπτωση δεν δηλώνει το μέσο των δεδομένων, ο μέσος των δεδομένων δεν είναι κρίνεται σκόπιμο να εξαχθεί διότι θα χαθεί η εξάρτηση μεταξύ του πάχους του φακού και του όγκου του ανατιναγμένου υλικού.

### 6.3 Επεξεργασία μετρήσεων 2006

# 6.3.1 Βάθος διατρήματος συναρτήσει του πάχους φακού

Η επεξεργασία των δεδομένων το 2006 αρχίζει με τον συνδυασμό του πάχους του φακού(x) συναρτήσει το βάθους διατρήματος (y) η εξίσωση που προκύπτει για γραμμική συσχέτιση είναι:

$$y = 4.1917 \cdot x + 0.5366 \tag{6.13}$$

η οποία απεικονίζεται στην Εικόνα 6.13.

Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την παραπάνω γραμμική προσαρμογή των δεδομένων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.27:

Πίνακας 6.27: Χαρακτηριστικά γραμμικής προσαρμογής		
SSE	279.3	

33E	279.3
R-square	0.8913
Adjusted R-square	0.8912
RMSE	0.5477

SSE: Άθροισμα τετραγωνικών σφαλμάτων, R-square: συντελεστής συσχέτισης, Adjusted R-square: τροποποιημένος συντελεστής συσχέτισης, RMSE: τετραγωνική ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος



Εικόνα 6.13: Πάχος φακού συναρτήσει βάθους διατρήματος.

Με στόχο την εύρεση της διακύμανσης, η εξίσωση (6.13) έπρεπε να έρθει στη μορφή:



 $y_1 - 4.1917 \cdot x_1 - 0.5366 = y_1'$  (6.14)

Εικόνα 6.14: Διακύμανση βάθους διατρήματος σε σχέση με το πάχος του φακού.

Στην Εικόνα 6.14 παρουσιάζεται η διακύμανση της εξίσωσης (6.14) με βάση την κατανομή normal και την κατανομή Student. Τα επιμέρους στατιστικά αποτελέσματα για κάθε κατανομή δίδονται στους Πίνακες 6.28, 6.29, 6.30, και 6.31:

Κατανομή	Normal
Λογάριθμος Πιθανοφάνειας	-761.202
Περιοχή	-Inf < y < Inf
Μέσος	2.13385e-005
Διασπορά	0.29967

Πίνακας 6.28: Αποτελέσματα κατανομής normal

Πίνακας 6.29:Προσδιορισμός παραμέτρων

Παράμετροι	Εκτίμηση	Std . Err		
mu	2.13385e-005	0.0179218		
sigma	0.547421000	0.0126828		
Κατ' εκτίμηση συνδιασπορά των εκτιμώμενων παραμέτρων:				
	mu	sigma		
mu	0.000321189	3.69416e-020		
sigma	3.69416e-020	0.000160853		

mu: μέση τιμή, sigma: μέση απόκλιση

Tittakag 0.50. The tokeoparta kataroping Stadent		
Κατανομή	t location-scale	
Λογάριθμος Πιθανοφάνειας	-671.571	
Περιοχή	-Inf < y < Inf	
Μέσος	0.0573955	
Διασπορά	0.37958	

Πίνακας 6.30: Αποτελέσματα κατανομής Student

Πίνακας 6.31:Προσδιορισμός παραμέτρων

Παράμετροι	Εκτίμηση		S	Std . Err
mu	0.0573955		0.	0141634
sigma	0.34477		0.	0157988
nu	2.91185		0	.335327
Κατ' εκτίμηση συνδιασπορά των εκτιμώμενων παραμέτρων:				
	mu	sigma		nu
mu	0.000200601	-4.40239e-005		-0.000974886
sigma	-4.40239e-005	0.000249601		0.00363221
nu	-0.000974886	0.00363221		0.112444

mu: μέση τιμή, sigma: μέση απόκλιση, nu: βαθμοί ελευθερίας

# 6.3.2 Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του βάθους διατρήματος

Το δεύτερο βήμα επεξεργασίας είναι ο συνδυασμός του όγκου ανατιναγμένου υλικού (z) συναρτήσει του βάθους του διατρήματος (y), η εξίσωση που προκύπτει για γραμμική προσαρμογή είναι:

$$y = 0.1459 \cdot z + 3.7896 \tag{6.15}$$

η οποία απεικονίζεται στην Εικόνα 6.15.

Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την παραπάνω γραμμική προσαρμογή των δεδομένων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.32:

Πίνακας 6.32: Χαρακτηριστικά γραμμικής προσαρμογής.

SSE	1666
R-square	0.3518
Adjusted R-square	0.3511
RMSE	1.338

SSE: Άθροισμα τετραγωνικών σφαλμάτων, R-square: συντελεστής συσχέτισης, Adjusted R-square: τροποποιημένος συντελεστής συσχέτισης, RMSE: τετραγωνική ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος



Εικόνα 6.15: Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του πάχους του φακού.

Με στόχο την εύρεση της διακύμανσης, η εξίσωση (6.15) έπρεπε να έρθει στη μορφή:

$$y_2 - 0.1459 \cdot z_2 - 3.7896 = y_2' \tag{6.16}$$



Εικόνα 6.16:Διακύμανση βάθους διατρήματος σε σχέση με τον όγκο ανατιναγμένου υλικού.

Στην Εικόνα 6.16 παρουσιάζεται η διακύμανση της εξίσωσης (6.16). Στην συγκεκριμένη περίπτωση τη καλύτερη προσαρμογή την έδινε η normal και όχι η Student γι' αυτό και έδωσε μόνο μια καμπύλη. Τα επιμέρους στατιστικά αποτελέσματα για την κατανομή δίδονται στους Πίνακες 6.33, και 6.34:

Πίνακας 6.33: Αποτελέσματα κατανομής normal		
Κατανομή	Normal	
Λογάριθμος Πιθανοφάνειας	-1594.28	
Περιοχή	-Inf < y < Inf	
Μέσος	-6.65203e-005	
Διασπορά	1.78735	

Παράμετροι	Εκτίμηση	Std . Err	
mu	-6.65203e-005	0.0437688	
sigma	1.33692	0.0309741	
Κατ' εκτίμηση συνδιασπορά των εκτιμώμενων παραμέτρων:			
	mu	sigma	
mu	0.0019157	-1.43389e-019	
sigma	-1.43389e-019	0.000959395	

mu: μέση τιμή, sigma: μέση απόκλιση

Ο αρνητικός μέσος που παρουσιάζεται στα παραπάνω αποτελέσματα προέρχεται από την εξίσωση της διακύμανσης και όχι από τα δεδομένα. Ο μέσος όρος που προσδιορίζεται για κάθε κατανομή είναι ουσιαστικά το σφάλμα της μέσης τιμής των δεδομένων. Σε καμία περίπτωση δεν δηλώνει το μέσο των δεδομένων, ο μέσος των δεδομένων δεν είναι κρίνεται σκόπιμο να εξαχθεί διότι θα χαθεί η εξάρτηση μεταξύ του όγκου του ανατιναγμένου υλικού και του βάθους διάτρησης.

#### 6.3.3 Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του πάχους φακού

Το τελευταίο βήμα επεξεργασίας είναι η εξαγωγή της σχέσης ανάμεσα στον όγκο ανατιναγμένου υλικού (z) και το πάχος του φακού (x) η εξίσωση που προκύπτει είναι:

$$\mathbf{x} = 1.64 - 1.247 \cdot e^{(-0.09987 \cdot \mathbf{z})}$$
(6.17)

η οποία απεικονίζεται στην Εικόνα 6.17

Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την παραπάνω προσαρμογή των δεδομένων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.35:

Πίνακας 6.35: Χαρακτηριστικά προσαρμογής.

<u> </u>	
SSE	80.85
R-square	0.3798
Adjusted R-square	0.3784
RMSE	0.2949

SSE: Άθροισμα τετραγωνικών σφαλμάτων, R-square: συντελεστής συσχέτισης, Adjusted R-square: τροποποιημένος συντελεστής συσχέτισης, RMSE: τετραγωνική ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος



Εικόνα 6.17: Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του πάχους του φακού.

Με στόχο την εύρεση της διακύμανσης, η εξίσωση (6.17) έπρεπε να έρθει στη μορφή:

$$x_1 - 1.64 + 1.247 \cdot e^{(-0.09987 \cdot z)} = x_1'$$
 (6.18)



Εικόνα 6.18: Διακύμανση πάχους φακού σε σχέση με τον όγκο ανατιναγμένου υλικού.

Στην Εικόνα 6.18 παρουσιάζεται η διακύμανση της εξίσωσης (6.18) με βάση την κατανομή normal και την κατανομή Student. Τα επιμέρους στατιστικά αποτελέσματα για κάθε κατανομή δίδονται στους Πίνακες 6.36, 6.37, 6.38, και 6.39:

Κατανομή	Normal
Λογάριθμος Πιθανοφάνειας	-182.916
Περιοχή	-Inf < y < Inf
Μέσος	-5.07374e-006
Διασπορά	0.0867519

Πίνακας 6.36: Αποτελέσματα κατανομής normal

#### Πίνακας 6.37: Προσδιορισμός παραμέτρων

Παράμετροι	Εκτίμηση	Std . Err	
mu	-5.07374e-006	0.0096427	
sigma	0.294537	0.00682391	
Κατ' εκτίμηση συνδιασπορά των εκτιμώμενων παραμέτρων:			
	mu	sigma	
mu	9.29817e-005	1.28553e-021	
sigma	1.28553e-021	4.65657e-005	

mu: μέση τιμή, sigma: μέση απόκλιση

Πίνακας 6.38: Αποτελέσματα κατανομής normal

Κατανομή	t location-scale
Λογάριθμος Πιθανοφάνειας	-180.634
Περιοχή	-Inf < y < Inf
Μέσος	-0.000989747
Διασπορά	0.0866364

#### Πίνακας 6.39: Προσδιορισμός παραμέτρων

Παράμετροι	Εκτίμηση		S	Std . Err
mu	-0.000989747		0.00956109	
sigma	0.278412		0.0	0995879
nu	18.9925		Ç	9.80578
Κατ' εκτίμηση συνδιασπορά των εκτιμώμενων παραμέτρων:				
	mu	S	igma	nu
mu	9.91775e-005	1.067	716e-006	0.00134903
sigma	1.06716e-006	9.917	775e-005	0.0700968
nu	0.00134903	0.0	700968	96.1533

mu: μέση τιμή, sigma: μέση απόκλιση, nu: βαθμοί ελευθερίας

Ο αρνητικός μέσος που παρουσιάζεται στα παραπάνω αποτελέσματα προέρχεται από την εξίσωση της διακύμανσης και όχι από τα δεδομένα. Ο μέσος όρος που προσδιορίζεται για κάθε κατανομή είναι ουσιαστικά το σφάλμα της μέσης τιμής των δεδομένων. Σε καμία περίπτωση δεν δηλώνει το μέσο των δεδομένων, ο μέσος των δεδομένων δεν είναι κρίνεται σκόπιμο να εξαχθεί διότι θα χαθεί η εξάρτηση μεταξύ του πάχους του φακού και του όγκου του ανατιναγμένου υλικού.

## 6.4 Επεξεργασία μετρήσεων 2007

# 6.4.1 Βάθος διατρήματος συναρτήσει του πάχους φακού

Ο πρώτος συνδυασμός των δεδομένων είναι το πάχος του φακού (x) σε σχέση με το βάθος του διατρήματος (y), η εξίσωση που προκύπτει από την γραμμική συσχέτιση είναι:

$$y = 2.655 \cdot x + 2.562 \tag{6.19}$$

η οποία απεικονίζεται στην Εικόνα 6.19

Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την παραπάνω γραμμική προσαρμογή των δεδομένων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.40:

Πίνακας 6.40: Χαρακτηριστικά γραμμικής προσαρμογής		
SSE	1121	
R-square	0.3856	
Adjusted R-square	0.3847	
RMSE	1.286	

SSE: Άθροισμα τετραγωνικών σφαλμάτων, R-square: συντελεστής συσχέτισης, Adjusted R-square: τροποποιημένος συντελεστής συσχέτισης, RMSE: τετραγωνική ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος



Εικόνα 6.19: Πάχος φακού συναρτήσει του βάθους του διατρήματος.

Με στόχο την εύρεση της διακύμανσης, η εξίσωση (6.19) έπρεπε να έρθει στη μορφή:

$$y_1 - 2.655 \cdot x_1 - 2.562 = y_1' \tag{6.20}$$



Εικόνα 6.20: Διακύμανση βάθους διατρήματος σε σχέση με το πάχος το φακού.

Στην Εικόνα 6.20 παρουσιάζεται η διακύμανση της εξίσωσης (6.20) με βάση την κατανομή normal και την κατανομή Student. Τα επιμέρους στατιστικά αποτελέσματα για κάθε κατανομή δίδονται στους Πίνακες 6.41, 6.42, 6.43, και 6.44:

Κατανομή	Normal
Λογάριθμος Πιθανοφάνειας	-1134.88
Περιοχή	-Inf < y < Inf
Μέσος	-8.45614e-005
Διασπορά	1.65115

Πίνακας 6.41: Αποτελέσματα κατανομής normal

Πίνακας 6.42: Προσδιορισμός παραμέτρων

Παράμετροι	Εκτίμηση	Std . Err		
mu	-8.45614e-005	0.0492764		
sigma	1.28497	0.0348822		
Κατ' εκτίμηση συνδιασπορά των εκτιμώμενων παραμέτρων:				
	mu	sigma		
mu	0.00242817	-8.62182e-020		
sigma	-8.62182e-020	0.00121677		

mu: μέση τιμή, sigma: μέση απόκλιση

Κατανομή	t location-scale
Λογάριθμος Πιθανοφάνειας	-1108.8
Περιοχή	-Inf < y < Inf
Μέσος	0.0592535
Διασπορά	1.74652

Πίνακας 6.43: Αποτελέσματα κατανομής Student

Πίνακας 6	.44: Π	οοσδιοο	ησμός	παραμέτρων
11trailag 0		pooolop	noprog	mapapaopar

Παράμετροι	Εκτίμηση		Std . Err	
mu	0.0592535	0	.0441608	
sigma	0.970883	0	.0479424	
nu	4.3451	(	).774384	
Κατ' εκτίμηση συνδιασπορά των εκτιμώμενων παραμέτρων:				
	mu sigma		nu	
mu	0.00195018	-0.000294345	-0.00526776	
sigma	-0.000294345	0.00229847	0.025876	
nu	-0.00526776	0.025876	0.59967	

mu: μέση τιμή, sigma: μέση απόκλιση, nu: βαθμοί ελευθερίας

Ο αρνητικός μέσος που παρουσιάζεται στη κατανομή normal προέρχεται από την εξίσωση της διακύμανσης και όχι από τα δεδομένα. Ο μέσος όρος που προσδιορίζεται για κάθε κατανομή είναι ουσιαστικά το σφάλμα της μέσης τιμής των δεδομένων. Σε καμία περίπτωση δεν δηλώνει το μέσο των δεδομένων, ο μέσος των δεδομένων δεν είναι κρίνεται σκόπιμο να εξαχθεί διότι θα χαθεί η εξάρτηση μεταξύ του πάχους του φακού και του βάθους διάτρησης.

### 6.4.2 Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του βάθους διατρήματος

Στη συνέχεια γίνεται επεξεργασία των δεδομένων το όγκου ανατιναγμένου υλικού (z) συναρτήσει το βάθους του διατρήματος (y). Η εξίσωση που προκύπτει από την γραμμική συσχέτιση είναι:

$$y = 0.09271 \cdot z + 4.802 \tag{6.21}$$

η οποία απεικονίζεται στην Εικόνα 6.21

Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την παραπάνω γραμμική προσαρμογή των δεδομένων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.45:

Πίνακας 6.45: : Χαρακτηριστ	τικά γραμμικής προσαρμογής
1	

SSE	1580
R-square	0.1339
Adjusted R-square	0.1326
RMSE	1.527

SSE: Άθροισμα τετραγωνικών σφαλμάτων, R-square: συντελεστής συσχέτισης, Adjusted R-square: τροποποιημένος συντελεστής συσχέτισης, RMSE: τετραγωνική ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος



Εικόνα 6.21: Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει το βάθους του διατρήματος.

Με στόχο την εύρεση της διακύμανσης, η εξίσωση (6.21) έπρεπε να έρθει στη μορφή:



$$y_1 - 0.09271 \cdot z_1 - 4.802 = y_1'$$
 (6.22)

Εικόνα 6.22: Διακύμανση βάθους διατρήματος σε σχέση με τον όγκο ανατιναγμένου υλικού.

Στην Εικόνα 6.22 παρουσιάζεται η διακύμανση της εξίσωσης (6.22). Στην συγκεκριμένη περίπτωση την καλύτερη προσαρμογή την έδινε η normal και όχι η Student γι' αυτό και έδωσε μόνο μια καμπύλη. Τα επιμέρους στατιστικά αποτελέσματα για κάθε κατανομή δίδονται στους Πίνακες 6.46, και 6.47:

Κατανομή	Normal	
Λογάριθμος Πιθανοφάνειας	-1251.62	
Περιοχή	-Inf < y < Inf	
Μέσος	0.000185265	
Διασπορά	2.32757	

Πίνακας 6.46: Αποτελέσματα κατανομής normal

Παράμετροι	Εκτίμηση	Std . Err		
mu	0.000185265	0.0585056		
sigma	1.52564	0.0414154		
Κατ' εκτίμηση συνδιασπορά των εκτιμώμενων παραμέτρων:				
mu sigma				
mu	0.0034229	-2.03871e-019		
sigma	-2.03871e-019	0.00171524		

mu: μέση τιμή, sigma: μέση απόκλιση

# 6.4.3 Όγκος ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του πάχους φακού

Η τελευταία επεξεργασία των μετρήσεων του 2007 είναι ο όγκος ανατιναγμένου υλικού (y) συναρτήσει με το πάχος του φακού (x). Η εξίσωση που προκύπτει από την προσαρμογή είναι:

$$\mathbf{x} = 1.591 - 0.5191 \cdot \mathrm{e}^{(1 - 0.1537 \cdot \mathbf{z})} \tag{6.23}$$

η οποία απεικονίζεται στην Εικόνα 6.23.

Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την παραπάνω γραμμική προσαρμογή των δεδομένων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.48:

SSE	53.31
R-square	0.466
Adjusted R-square	0.4644
RMSE	0.2806

Πίνακας 6.48: Χαρακτηριστικά προσαρμογής

SSE: Άθροισμα τετραγωνικών σφαλμάτων, R-square: συντελεστής συσχέτισης, Adjusted R-square: τροποποιημένος συντελεστής συσχέτισης, RMSE: τετραγωνική ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος



Εικόνα 6.23: Όγκος ανατιναγμένο υλικού συναρτήσει του πάχους του φακού.

Με στόχο την εύρεση της διακύμανσης, η εξίσωση (6.23) έπρεπε να έρθει στη μορφή:



$$\mathbf{x}_1 - 1.591 + 0.5191 \cdot \mathbf{e}^{(1 - 0.153 / \cdot z)} = \mathbf{x}_1' \tag{6.24}$$

Εικόνα 6.24: Διακύμανση πάχους φακού σε σχέση με τον όγκο ανατιναγμένου υλικού.

Στην Εικόνα 6.24 παρουσιάζεται η διακύμανση της εξίσωσης (6.25) με βάση την κατανομή normal και την κατανομή Student. Τα επιμέρους στατιστικά αποτελέσματα για κάθε κατανομή δίδονται στους Πίνακες 6.49, 6.50, 6.51, και 6.52:

Πινακας 6.49: Αποτελεσματα κατανομης normal		
Κατανομή	Normal	
Λογάριθμος Πιθανοφάνειας	-99.2463	
Περιοχή	-Inf < y < Inf	
Μέσος	0.000369394	
Διασπορά	0.0785119	

Πίνακας 6.49: Αποτελέσματα κατανομής normal

#### Πίνακας 6.50: Προσδιορισμοί παραμέτρων

Παράμετροι	Εκτίμηση	Std . Err		
mu	0.000369394	0.0107452		
sigma	0.2802	0.00760637		
Κατ' εκτίμηση συνδιασπορά των εκτιμώμενων παραμέτρων:				
	mu sigma			
mu	0.000115459	-2.63076e-021		
sigma	-2.63076e-021	5.78569e-005		

mu: μέση τιμή, sigma: μέση απόκλιση

Πίνακας 6.51: Αποτελέσματα κατανομής Student

Κατανομή	t location-scale
Λογάριθμος Πιθανοφάνειας	-98.5272
Περιοχή	-Inf < y < Inf
Μέσος	-9.28041e-005
Διασπορά	0.0783715

#### Πίνακας 6.52: Προσδιορισμός παραμέτρων

Παράμετροι	Εκτίμηση	S	Std . Err	
mu	-9.28041e-005	0	.010704	
sigma	0.270423	0.	0108398	
nu	29.8959	2	26.3641	
Κατ' εκτίμηση συνδιασπορά των εκτιμώμενων παραμέτρων:				
	mu sigma nu			
mu	0.000114577	2.116e-006	0.00688196	
sigma	2.116e-006	0.000117502	0.201425	
nu	0.00688196	0.201425	695.065	

mu: μέση τιμή, sigma: μέση απόκλιση, nu: βαθμοί ελευθερίας

Ο αρνητικός μέσος που παρουσιάζεται στη κατανομή Student προέρχεται από την εξίσωση της διακύμανσης και όχι από τα δεδομένα. Ο μέσος όρος που προσδιορίζεται για κάθε κατανομή είναι ουσιαστικά το σφάλμα της μέσης τιμής των δεδομένων. Σε καμία περίπτωση δεν δηλώνει το μέσο των δεδομένων, ο μέσος των δεδομένων δεν είναι κρίνεται σκόπιμο να εξαχθεί διότι θα χαθεί η εξάρτηση μεταξύ του πάχους του φακού και του όγκου του ανατιναγμένου υλικού.

#### Συγκεντρωτικά αποτελέσματα της επεξεργασίας των μετρήσεων 6.5

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των δεδομένων και για τις τέσσερις χρονιές (2004, 2005, 2006, 2007).

Αρχικά γίνεται παράθεση του πίνακα 6.53, που αναφέρονται οι συντελεστές των γραμμικών εξισώσεων για κάθε έτος, οι οποίοι αναφέρονται στην σχέση που υπάρχει μεταξύ του πάχους του φακού και του βάθους του διατρήματος. Στη συνέχεια η Εικόνα 6.25 που φαίνονται γραφικά οι απεικονίσεις των εξισώσεων.

Μια πρώτη παρατήρηση είναι στους συντελεστές των εξισώσεων οι οποίοι για τα έτη 2004, 2005 και 2006 είναι σχετικά κοντά αριθμητικά ενώ για το έτος 2007 παρατηρείται μια αρκετά μεγάλη μεταβολή στους συντελεστές των εξισώσεων κάτι που φαίνεται και στην Εικόνα 6.25.

Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην μερική μεταβολή της γεωλογίας των σκληρών σχηματισμών πιθανή αύξηση του πάχους του φακού ή άλλων παραγόντων όπως η τάση για επέκταση του ορυχείου και αυτό διότι παρατηρείται μια σταδιακή μείωση των συντελεστών των εξισώσεων.

Πινακας 6.53: Συγκεντρωτικα οι συντελεστες των εξισωσεων (βαθος διατρηματος – παχος φακου).			
$\mathbf{y} = \mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{x} + \mathbf{a}_2$	$a_1$	$a_2$	
2004	4.289	0.5639	
2005	4.242	0.5538	
2006	4.1917	0.5366	
2007	2.655	2.562	

-----. . . .

Παρατηρώντας την Εικόνα 6.25 υπάρχει μια μεταβολή στο πάχος του φακού από το 2004 έως το 2007. Κατά το έτος 2004 ο σχηματισμός είχε πάχος μέγιστο τα 2 m, ενώ το έτος 2005 παρατηρείται μια μεταβολή του πάχους σχηματισμού κατά 0.7 m, αυξητικά. Ενώ το 2006 και το 2007 παρατηρείται μια σταδιακή μείωση του πάχους του σχηματισμού στα 2.3 m και 2 m αντίστοιχα.



Εικόνα 6.25:Συγκεντρωτικό διάγραμμα πάχος φακού συναρτήσει του βάθους του διατρήματος.

Στη συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας 6.54 που αναφέρεται στην εξάρτηση του όγκου του ανατιναγμένου υλικού με το βάθος του διατρήματος, καθώς και η γραφική απεικόνιση των εξισώσεων στην Εικόνα 6.26. Επίσης φαίνεται μια μείωση των συντελεστών των εξισώσεων (a<sub>1</sub>) καθώς και μια αύξηση των συντελεστών (a<sub>2</sub>).

$\mathbf{y} = \mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{z} + \mathbf{a}_2$	$a_1$	$\mathbf{a}_2$
2004	0.22660	3.2756
2005	0.15780	3.6530
2006	0.14590	3.7896
2007	0.09271	4.8020

Πίνακας 6.54: Συγκεντρωτικά οι συντελεστές των εξισώσεων (όγκος ανατιναγμένου υλικού – βάθος διατρήματος).

Στην Εικόνα 6.26 παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση του όγκου του ανατιναγμένου υλικού σε σχέση με το βάθος των διατρημάτων. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.26 το μέγιστο όγκο ανατιναγμένου υλικού είναι κατά το έτος 2005 κατά το έτος αυτό υπήρχε και μεγαλύτερο το πάχος των σκληρών σχηματισμών και από το 2005 και μετά φαίνεται μια σταδιακή μείωση του όγκου του ανατιναγμένου υλικού κάτι που ήταν αναμενόμενο με βάση τα παραπάνω (Εικόνα 6.25).

Μια παρατήρηση ακόμα είναι ότι κατά το έτος 2007 το βάθος των διατρημάτων ξεκινά από μεγαλύτερα βάθη από ότι στις άλλες χρονιές.



Εικόνα 6.26: Συγκεντρωτικό διάγραμμα του όγκου ανατιναγμένου υλικού σε σχέση με το βάθος του διατρήματος.

Τέλος είναι ο πίνακας 6.55 ο οποίος αναφέρεται στην εξάρτηση του όγκου του ανατιναγμένου υλικού από το πάχος του φακού.

Πίνακας 6.55: Συγκεντρωτικά οι	συντελεστές των	εξισώσεων (πάχος	φακού – όγκος ανα	ατιναγμένου
υλικού).	-			

$\mathbf{x} = \mathbf{a}_1 - \mathbf{a}_2 \cdot \mathbf{e}^{(-\mathbf{c}\cdot\mathbf{z})}$	<b>a</b> <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	С
2004	1.753	1.5220	0.10700
2005	1.661	1.2040	0.08617
2006	1.640	1.2470	0.09987
2007 (x = $a_1 - a_2 \cdot e^{(1-c \cdot z)}$ )	1.591	0.5191	0.15370

Από τη συσχέτιση των δεδομένων του όγκου του ανατιναγμένου υλικού και του πάχους του φακού, φαίνεται μια σταθεροποίηση του πάχους των σκληρών σχηματισμών στα 2 m περίπου.



Εικόνα 6.27: Συγκεντρωτικό διάγραμμα του όγκου ανατιναγμένου υλικού συναρτήσει του πάχους του φακού.

# 7 Στοιχεία βελτιστοποίησης ανατινάξεων

#### 7.1 Κοπτικά άκρα

Η σημερινή πρακτική της ΔΕΗ είναι να χρησιμοποιεί κάνναβο 5 x 5 m, ανεξάρτητα αν χρησιμοποιεί κοπτικά άκρα των 9 in ή 7 7/8 in.

Στον πίνακα 7.1 παρουσιάζονται τα απολογιστικά στοιχεία των μέτρων διάτρησης για τις δύο κατηγορίες κοπτικών άκρων από όπου φαίνεται ότι ο μέσος όρος του χρόνου ζωής των κοπτικών άκρων διαμέτρου 7 7/8 in είναι μικρότερος από το μέσο όρο του χρόνου ζωής των κοπτικών διαμέτρου 9 in. Σημειώνεται ότι οι παραπάνω μέσοι όροι του χρόνου ζωής προκύπτουν από κοπτικά άκρα διαφορετικών κατασκευαστικών οίκων και έτσι δεν είναι εύκολο να υπολογίσει κανείς την οικονομικότητα ή μη της χρήσης κάποιας διαμέτρου κοπτικού άκρου.

Η επιλογή της κατάλληλης διαμέτρου του κοπτικού άκρου από ότι φαίνεται και στα επόμενα εξαρτάται άμεσα από την επικρατούσα πρακτική στα εργοτάξια ανατίναξης επιφανειακών σχηματισμών της ΔΕΗ.

	Ποσότητα	Μέτρα διάτρησης	Μέσος όρος ζωής
7 7/8 in	175	984801	5627
9 in	131	835437	6377

Πίνακας 7.1: Απολογιστικά στοιχεία των κοπτικών άκρων

#### 7.2 Κάνναβος ανατινάξεων

Από προφορική επικοινωνία με τους μηχανικούς της ΔΕΗ προέκυψε ότι ανεξάρτητα με τη διάμετρο διατρήματος που χρησιμοποιείται στη διάτρηση ο κάνναβος ανατίναξης είναι τετραγωνικός της τάξεως των 5 x 5 m. Η πρακτική να χρησιμοποιεί κανείς τον ίδιο κάνναβο ανατίναξης για διαφορετικές διαμέτρους κοπτικών άκρων αντιβαίνει προς τις βασικές αρχές σχεδιασμού ανατινάξεων με βάση την θεωρία κρατήρα (κρίσιμο βάθος και κρίσιμο βάρος εκρηκτικού). Εάν θεωρήσει κανείς ότι η βέλτιστη ανατίναξη προέρχεται από την χρήση κοπτικών άκρων διαμέτρου 7 7/8 in σε κάνναβο 5 x 5 m τότε μπορεί να εξαχθεί μία σχέση για τον καταλληλότερο κάνναβο όταν χρησιμοποιείται διάμετρος κοπτικού άκρων 9 in. Πιο συγκεκριμένα

θεωρώντας μια γραμμική εξάρτηση ανάμεσα στο φορτίο και την διάμετρο μπορεί να υπολογιστεί ένας ενδεικτικός συντελεστής φορτίου όπως φαίνεται στην παρακάτω σχέση:

$$\mathbf{B} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{d}$$

όπου B = φορτίο [m]

 $d = \delta$ ιάμετρος του διατρήματος [m]

Για την περίπτωση του διατρήματος διαμέτρου 7 7/8 in η αντίστοιχη διάμετρος σε μέτρα είναι d = 0.20 m. Επιλύοντας την παραπάνω σχέση ως προς k προκύπτει ότι:

$$k = B/d \rightarrow k = 5/0.2 = 25$$

Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τον παραπάνω συντελεστή του φορτίου k για διατρήματα των 9 in (0.23 m) προκύπτει:

$$B_1 = k \cdot d \rightarrow B = 25 \cdot 0.23 = 5.7 m$$

Έτσι ο αντίστοιχος κάνναβος για διατρήματα με το ίδιο εκρηκτικό, στο ίδιο υλικό θεωρώντας ότι η επιτυγχανόμενη κοκκομετρία για διαβάθμιση του σπασμένου υλικού στον κάνναβο 5 x 5 m με διατρήματα 7 7/8 in είναι ικανοποιητική. Ο προτεινόμενος κάνναβος για τα διατρήματα των 9 in είναι 5.7 x 5.7 m.



Εικόνα 7.1: Σχεδιασμός ανατίναξης με τις δύο διαμέτρους.

Στην Εικόνα 7.1 φαίνονται οι δύο διαφορετικοί κάνναβοι ανατίναξης ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο κοπτικό άκρο. Έτσι συνοψίζοντας από τα παραπάνω προκύπτουν:

- Η διατήρηση του καννάβου στην διάσταση 5 x 5 m αν θεωρηθεί ικανοποιητική αλλά με αποκλειστική χρήση κοπτικών άκρων διαμέτρου 7 7/8 in. Στην περίπτωση αυτή είναι σαφή τα πλεονεκτήματα με την απαίτηση μικρότερων ποσοτήτων εκρηκτικών υλών ανά διάτρημα για το ίδιο αποτέλεσμα, μικρότερων ποσοτήτων επιγόμωσης και μικρότερου χρόνου διάτρησης στον κύκλο εργασίας.
- Η αύξηση των διαστάσεων του καννάβου σε 5.7 x 5.7 m για τα διατρήματα των
  9 in με την προϋπόθεση, όπως ήδη αναφέρθηκε, ότι η παραγόμενη κατανομή τεμαχίων του θραυσμένου υλικού είναι ικανοποιητική όσον αφορά την φόρτωση και την μεταφορά του με εργολαβικά αυτοκίνητα.

# 8 Συμπεράσματα - Προτάσεις

## 8.1 Συμπεράσματα

Στη παρούσα εργασία έγινε στατιστική ανάλυση των δεδομένων των ανατινάξεων που γίνονται στο ορυχείο Νοτίου πεδίου στο ΛΚΔΜ της ΔΕΗ για τα έτη 2004, 2005, 2006 και 2007

Συνολικά για τα παραπάνω έτη είναι καταγεγραμμένες 3255 ανατινάξεις οι οποίες αναλύονται ως εξής:

- Για το έτος 2004 καταγράφηκαν 488 ανατινάξεις
- Για το έτος 2005 καταγράφηκαν 1151 ανατινάξεις
- Για το έτος 2006 καταγράφηκαν 934 ανατινάξεις
- Για το έτος 2007 καταγράφηκαν 682 ανατινάξεις

Από τη στατιστική ανάλυση η οποία έγινε στα παραπάνω στοιχεία προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Το πάχος των φακών των σκληρών σχηματισμών εκτιμάται έμμεσα από την ανάλυση των δεδομένων. Από την ανάλυση των δεδομένων προκύπτει ότι κατά το έτος 2004 το πάχος των σκληρών σχηματισμών κυμαίνεται από 0.2 m έως 2 m. Το έτος 2005 παρατηρείται μια αύξηση του μέγιστου πάχους των σκληρών σχηματισμών κατά 0.7 m περίπου. Τέλος το 2006 και το 2007 παρατηρείται μια σταδιακή μείωση του μέγιστου πάχους των σκληρών σχηματισμών σχηματισμών σχηματισμών κατά 2.3 m και 2 m αντίστοιχα.
- Τα βάθη διάτρησης για τα έτη 2004 και 2006 κυμαίνονται από 1.5m έως 8.5m, το 2005 από 1.5m έως 12m ενώ το 2007 παρατηρείται μια μείωση του εύρους του βάθους διάτρησης το οποίο κυμαίνεται από 2.5m σε 7m.
- Ο όγκος του ανατινασσόμενου υλικού εκτιμάται έμμεσα από τον κάνναβο της ανατίναξης και το μέσο βάθος των διατρημάτων. Συγκρίνοντας τα τέσσερα χρόνια για τα οποία υπάρχουν δεδομένα, προκύπτει ότι κατά το έτος 2005 παρατηρείται μια μεγιστοποίηση του όγκου του ανατινασσόμενου υλικού. Στο 107
ίδιο έτος υπάρχει και το μεγαλύτερο πάχος των σκληρών σχηματισμών κάτι που είναι αναμενόμενο με βάση τα παραπάνω. Στη συνέχεια εμφανίζεται μια σταδιακή μείωση του όγκου του ανατινασσόμενου υλικού. Επίσης κατά το έτος 2005 παρατηρείται και μέγιστο πλήθος ανατινάξεων κάτι που πιθανόν να δηλώνει μεγαλύτερη ανάγκη για προχαλάρωση των σκληρών σχηματισμών. Επιπλέον τα διατρήματα που διατρήθηκαν κατά το έτος αυτό φαίνεται να φθάνουν μέχρι βάθους και τα 12 m που είναι σχετικά μεγάλη τιμή σε σχέση με τα άλλα έτη. Η παρατήρηση αυτή καταδεικνύει ότι οι σκληροί σχηματισμοί πρέπει να βρίσκονταν κατά πλειοψηφία στο κατώτερο σημείο της βαθμίδας. Σημειώνεται ότι στην αξιολόγηση των παραπάνω δεν λήφθηκε υπόψη αν υπάρχουν παραπάνω από ένας ορίζοντας σκληρών σχηματισμών ανά ανατίναξη. Εφόσον δεν γίνεται ή δεν καταγράφεται διακεκομμένη γόμωση δύο ή περισσότεροι ορίζοντες σκληρών σχηματισμών εμφανίζονται σαν ένας. Έτσι είναι πιθανόν στα διατρήματα μεγάλου βάθους να απαντήθηκαν παραπάνω από ένας ορίζοντες σκληρών σχηματισμών.

- Πραγματοποιήθηκε σύγκριση αρκετών κατανομών και τέλος έγιναν αποδεκτές οι κατανομές Normal και η Student. Οι δύο αυτές κατανομές επιλέχθηκαν με βάση την μέθοδο μεγίστου λογαρίθμου πιθανοφάνειας όπου καμία από της άλλες κατανομές δεν έδινε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Όσον αφορά την συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων την καλύτερη προσαρμογή την έδινε η γραμμική για τους συσχετισμούς του βάθους διατρήματος με το πάχος του φακού και του όγκου του ανατιναγμένου υλικού με το βάθος του διατρήματος. Για την συσχέτιση του όγκου του ανατιναγμένου υλικού με το πάχος του φακού την καλύτερη προσαρμογή έδινε η εκθετική συνάρτηση. Η επιλογή των συσχετίσεων κρίθηκε από τον συντελεστή συσχέτισης.
- Επιπλέον στον πίνακα 7.1 παρουσιάζεται η συνολική κατανάλωση εκρηκτικών ανά έτος, τα μέτρα διάτρησης ανά έτος, ο συνολικός όγκος ανατιναγμένου υλικού ανά έτος καθώς και οι συντελεστές διάτρησης και κατανάλωσης ανά έτος.

Έτος	Εκρηκτικά (kg)	Ογκος	Μέτρα	Συντελεστής	Συντελεστής
		ανατιναγμένου	διάτρησης	διάτρησης	κατανάλωσης
		υλικού (x $10^3 \text{ m}^3$ )	(m)	$(m/m^3)$	$(kg/m^3)$
2004	1.348.860	4886,00	176.209	0,03606	0.2760
2005	3.988.012	14029,11	515.985	0.03678	0.2842
2006	3.332.100	11717,00	423.850	0.03617	0.2843
2007	2.212.800	8031,29	291.819	0.03633	0.2755

Πίνακας 7.1: Στοιχεία καταγραφών

Είναι φανερό ότι κατά το έτος 2005 υπήρχε το μεγαλύτερο κόστος παραγωγής διότι υπήρχε η μεγαλύτερη κατανάλωση εκρηκτικών υλών, μεγαλύτερος όγκος ανατιναγμένου υλικού καθώς και τα περισσότερα μέτρα διάτρησης. Παρόλα αυτά οι συντελεστές διάτρησης και κατανάλωσης παραμένουν σταθεροί διαχρονικά και είναι της τάξης του 0.036m/m<sup>3</sup> και 0.28 kg/m<sup>3</sup> αντίστοιχα.

## 8.2 Προτάσεις που προκύπτουν από την επεξεργασία των δεδομένων

- Για να αποφευχθούν αναποτελεσματικές ανατινάξεις προτείνεται να γίνει μια ομαδοποίηση των θέσεων των σκληρών σχηματισμών ώστε με βάση την εκάστοτε γεωλογία του χώρου της ανατίναξης να μπορεί να γίνει ο κατάλληλος σχεδιασμός ανατίναξης. Έτσι θα μπορούν να αποφευχθούν απώλειες χρόνου κατά την διαδικασία της ανατίναξης, οικονομία εκρηκτικών υλών, κλπ.
- 2. Σήμερα η γεωλογική αποτύπωση των σκληρών σχηματισμών γίνεται περίπου κάθε εξάμηνο. Προτείνεται η αποτύπωση αυτή να γίνεται ανά μικρότερο χρονικό διάστημα καθώς τα μεγέθη αυτά μεταβάλλονται σχεδόν κάθε εβδομάδα και αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την βελτιστοποίηση της διαδικασίας των ανατινάξεων.

- 3. Προτείνεται να γίνει λεπτομερής αποτύπωση των σκληρών σχηματισμών στις περιοχές επέκτασης του ορυχείου, είτε με γεωλογικές, είτε με γεωφυσικές μεθόδους ή με συνδυασμό των παραπάνω, ώστε να υπάρχει ακριβέστερη πρόβλεψη του πάχους των σκληρών σχηματισμών στις περιοχές αυτές και να είναι ευκολότερος ο αντίστοιχος σχεδιασμός των ανατινάξεων.
- Προτείνεται να εισαχθεί σύστημα GPS ώστε να ορίζεται ακριβέστερα η περιοχή μίας ανατίναξης με παρόμοια χαρακτηριστικά. Αυτό θα οδηγήσει σε βελτιστοποίηση των ανατινάξεων.
- 5. Θα μπορούσε να εξεταστεί η περίπτωση διακεκομμένης γόμωσης σε περιπτώσεις πολλαπλών φακών των σκληρών σχηματισμών σε περιπτώσεις διακριτών αποστάσεων μεταξύ των φακών αυτών.

Ελληνική

- Αγιουτάντης, Ζ. (2005), «Στοιχεία Διάτρησης και Ανατίναξης», Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Βουρδούνης, Γ., (1998), «Η εφαρμογή της σύγχρονης τεχνολογίας των εκρηκτικών υλών και οι μέθοδοι διατρήσεων και ανατινάξεων στην προχαλάρωση των σκληρών υπερκείμενων σχηματισμών του Ορυχείου Νοτίου πεδίου», Διπλωματική Εργασία, Πτολεμαΐδα.
- ΔΕΗ (2004-2007) ετήσιες και μηνιαίες Εκθέσεις Δραστηριότητας του Ο.Ν.Π. & ημερολόγια ανατινάξεων και αρχεία.
- Καβουρίδης, Κ. (1990), «Βασικές αρχές σχεδιασμού επιφανειακών εκμεταλλεύσεων (Λιγνιτωρυχείο)», Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Καβουρίδης, Κ. και Παυλουδάκης, (2004) «Ο ρόλος των στερεών καυσίμων στην Ευρωπαϊκή και Παγκόσμια αγορά ενέργειας τον 21° αιώνα», Τεχνικά Χρονικά, ΤΕΕ, Ιανουάριος – Φεβρουάριος 2004.
- Μποζίνης, Σ. και Τριανταφύλλου, Μ. (2005), «Η εφαρμογή της σύγχρονης τεχνολογίας στην αντιμετώπιση των σκληρών του ορυχείου Νότιου πεδίου». Παρουσίαση, Ημερίδα Μηχ.Ο.Π., Χανιά
- Τσουτρέλης, Χ., (1997), «Εκρηκτικές ύλες και τεχνική των ανατινάξεων», Τόμος 1<sup>ος</sup>, Εκρηκτικές Ύλες, Αθήνα.
- Πολυχρονόπουλος, Γ., (1979), «Εκρηκτικές ύλες, Τεχνική εξορύξεως των πετρωμάτων, Καθαίρεση Κατασκευών», Αθήνα

## Διεθνείς

- Agioutantis Z, C. Kavouridis, S. Bozinis and K. Tsampis, "Assessment of vibration measurements due to blasting of the hard formations at the South Field lignite mine, Ptolemais, Greece", Proceedings, 9th International Symposium on Mine Planning & Equipment Selection, Athens, Greece -November 6-9, 2000.
- Agioutantis, Z., S. Bozinis, G. Panagiotou and C. Kavouridis, "Evaluation and Analysis of blasting procedures for removing hard formations at the South Field Lignite Mine, Ptolemais, Greece", IMCET 2001, 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, 19-22 June 2001, Ankara, Turkey.
- Dick, R.A., L.R. Fletcher and D.V.D'Andrea, (1983), "Explosives and Blasting Manual", Information Circular 8925, US Bureau of Mines, Washington, DC.
- Gregory, C.E., (1984), "Explosives For North American engineers", 3<sup>rd</sup> Edition, Trans Tech Publications.
- Hagan T.N. and J.K.Mercer, (1983), "Safe and Efficient Blasting in Open Mining". Proceedings of workshop held by ICI Australian Operations Pty Ltd at Karratha. 23 – 25 November.
- Hustrulid, W., (1999), "Blasting principles for open pit mining: General Desing concepts", Volume 1, Balkena.
- 7. Jimeno, C.L, E.L. Jimeno and F.J.A. Carcedo, (1995), "Drilling and Blasting of rocks", Balkema.
- Kavouridis, K., (2008), "Lignite industry in Greece within a world context: Mining, energy supply and environment", Energy policy 36 (2008) 1257 – 1272.