

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ
ΤΥΠΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ – ΑΝΑΤΙΝΑΞΗΣ**

ΘΩΜΑΣ Δ. ΒΑΛΛΑΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΖΑΧΑΡΙΑΣ ΑΓΙΟΥΤΑΝΤΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ – ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΕΞΑΔΑΚΤΥΛΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΜΙΧΑΛΗΣ ΓΑΛΕΤΑΚΗΣ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ

ΧΑΝΙΑ
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2004

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας, είχα την ουσιαστική βοήθεια και συμπαράσταση ορισμένων προσώπων τα οποία θα ήθελα να ευχαριστήσω:

Τον Επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Αγιουτάντη Ζαχαρία, για τη συνεργασία, την καθοδήγηση και τις ουσιαστικές συμβουλές του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Εξαδάχτυλο Γεώργιο και τον Λέκτορα του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Γαλετάκη Μιχάλη, για τις παρατηρήσεις και την συμμετοχή τους στην αξιολόγηση της εργασίας αυτής.

Τον Καθηγητή Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης κ. Καγιά Μανόλη και την φοιτήτρια του τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος του Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης Παπαδημητρίου Γεωργία για την αμέριστη βοήθεια και συμπαράστασή τους κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πατέρα μου Δημήτρη, την μητέρα μου Ελένη καθώς και όλους όσους με στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου στο Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	3
ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΗ VISUAL BASIC	3
2.1. Εισαγωγή	3
2.2. Σύντομη περιγραφή της Visual Basic	3
2.3. Ευκολίες που παρέχει η Visual Basic	4
2.4 Το περιβάλλον της Visual Basic	4
2.4.1 Εργαλεία	5
2.4.2 Γεγονότα	7
2.4.3 Ιδιότητες	8
2.4.4 Ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης	8
2.4.5 Διαδικασία ενσωμάτωσης εξωτερικών εργαλείων	11
2.5 Δομή ενός προγράμματος σε Visual Basic	12
2.6 Βασικοί τύποι δεδομένων στη Visual Basic	13
2.7 Χρήση συναρτήσεων των Windows από τη Visual Basic	15
2.8 Τυπική μορφή βασικού αρχείου της Visual Basic (*.vbp)	16
2.9 Γιατί επιλέχτηκε η Visual Basic	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	18
ΘΕΩΡΙΑ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΥΛΩΝ	18
3.1 Εισαγωγή	18
3.2 Ορισμοί εκρηκτικών υλών	18
3.3 Ιστορική αναδρομή	19
3.3 Θραύση του πετρώματος με χρήση εκρηκτικών υλών	20
3.4 Κρουστική φάση	21
3.4.1 Θραύση του πετρώματος γύρω από το θάλαμο της έκρηξης	21
3.4.2 Θραύση από ανάκλαση	23
3.5 Ωστική φάση	24
3.6 Χημική σύσταση και χαρακτηριστικά διαφόρων εκρηκτικών	24
3.6.1 Πυρίτιδες	25
3.6.2 Νιτρικό αμμώνιο	25
3.6.3 Εκρηκτικά με βάση τη νιτρογλυκερίνη	26
3.6.4 Πετρελαιοαμμωνίτες	26
3.6.5 Εκρηκτικά υγρής φάσης και γαλακτώματα	27
3.6.6 Άλλα οργανικά και ανόργανα εκρηκτικά	28
3.7 Ιδιότητες των εκρηκτικών υλών	29
3.7.1 Ισχύς των εκρηκτικών	30
3.7.2 Ταχύτητα έκρηξης	32
3.7.3 Εκλυόμενη ενέργεια	34
3.7.4 Πίεση έκρηξης	35
3.7.5 Πυκνότητα εκρηκτικής ύλης	36
3.7.6 Ανθεκτικότητα στο νερό	37
3.7.7 Ευαισθησία	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	41
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΣΕ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ-ΑΝΑΤΙΝΑΞΗΣ	41
4.1 Εισαγωγή	41
4.2 Καθορισμός του φορτίου σε εξορύξεις βαθμίδων	41
4.2.1 Εμπειρική εξίσωση του Anderson	45
4.2.2 Εμπειρική εξίσωση του Ash	46

4.2.3 Εμπειρική εξίσωση του Fraenkel.....	48
4.2.4 Εμπειρική εξίσωση του Konya	49
4.2.5 Εμπειρική εξίσωση του Langefors.....	50
4.2.6 Εμπειρική εξίσωση του Pearse	52
4.3 Καθορισμός απόστασης διατρημάτων και άλλων παραμέτρων	53
4.3.1 Εμπειρικές σχέσεις του Pearse	56
4.3.2 Εμπειρικές σχέσεις του Langefors.....	56
4.3.3 Εμπειρικές σχέσεις του Ash.....	58
4.4 Γόμωση των διατρημάτων	59
4.5 Επιβραδύνσεις	60
4.6 Υπολογισμός συντελεστών ανατίναξης	61
4.7 Μελέτη δονήσεων του εδάφους.....	66
4.8 Προστασία των κατασκευών από τις δονήσεις εδάφους.....	71
4.8.1 Κανονισμός Η.Π.Α	71
4.8.2 Κανονισμός Γερμανίας	75
4.8.3 Κανονισμός Ισπανίας	78
4.8.4 Άλλοι ισχύοντες κανονισμοί.....	80
4.8.5 Επίδραση της συχνότητας δονήσεως στην κατασκευή	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	84
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	84
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	85

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σκοπός της διπλωματικής αυτής είναι η δημιουργία ενός λογισμικού, για την επίλυση τυπικών προβλημάτων διάτρησης – ανατίναξης, σε περιβάλλον Windows. Πιο συγκεκριμένα με το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε είναι να δυνατόν να υπολογισθεί άμεσα το φορτίο, με βάση τους διάφορους εμπειρικούς τύπους ερευνητών (Ash, Konya, Langefors κα.) και οι παράμετροι μιας ανατίναξης, όπως είναι για παράδειγμα ο συντελεστής ειδικής κατανάλωσης, ο συντελεστής διάτρησης και η ταχύτητα δονήσεως του εδάφους λόγω ανατίναξης.

Επιπρόσθετα, με το λογισμικό αυτό είναι δυνατόν να εκτιμηθεί η επικινδυνότητα μιας έκρηξης, με βάση τα ασφαλή όρια δονήσεων του εδάφους, όπως αυτά προκύπτουν από τους ισχύοντες κανονισμούς χωρών, όπως η Γερμανία και οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.

Το πρόγραμμα αυτό απευθύνεται τόσο στους φοιτητές του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων οι οποίοι παρακολουθούν το μάθημα «Διάτρηση – Ανατίναξη», όσο και σε μηχανικούς οι οποίοι θέλουν αφενός μεν να καταλάβουν πως γίνεται κάποια συγκεκριμένη διαδικασία υπολογισμών, αφετέρου δε να κάνουν γρήγορα κάποιους υπολογισμούς κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού μιας ανατίναξης.

Βασικό βοήθημα για την κατασκευή του λογισμικού που περιγράφεται στην εργασία αυτή αποτελούν οι σημειώσεις του Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Αγιουτάντη Ζαχαρία με τίτλο «Τεχνολογία Εξόρυξης – Διάτρηση και Ανατίναξη», από το οποίο αντλήθηκαν τόσο το θεωρητικό υπόβαθρο όσο και οι εξισώσεις που περιγράφονται στη συνέχεια.

Η επιλογή των εννοιών που συμπεριλήφθηκαν στο λογισμικό αυτό έγινε σε συνεργασία με τον Καθηγητή κ. Αγιουτάντη Ζαχαρία και είχε σαν στόχο να περιληφθούν όσο το δυνατόν περισσότερες έννοιες της διάτρησης - ανατίναξης. Η διπλωματική εργασία αποτελεί ουσιαστικά ένα είδος εγχειριδίου στο οποίο περιγράφεται η χρήση του προγράμματος (με παραδείγματα) όπως αυτό εμφανίζεται σε περιβάλλον Windows.

Κατά την συγγραφή της διπλωματικής εργασίας έγινε μεγάλη προσπάθεια να αντιστοιχηθούν οι αγγλικοί όροι που περιγράφουν στοιχεία και λειτουργίες της γλώσσας προγραμματισμού, με ελληνικούς όρους. Η προσπάθεια αυτή δεν έγινε δυνατόν να υλοποιηθεί πλήρως εφ' όσον πάρα πολλοί όροι είτε δεν είναι δυνατόν να αποδοθούν στα ελληνικά είτε και να αποδοθούν χάνουν το νόημα τους. Έτσι πολλές φορές στο κείμενο παρεμβάλλονται αγγλικοί όροι με στόχο την καλύτερη κατανόηση των διαδικασιών που περιγράφονται.

Το πρόγραμμα αυτό ονομάστηκε WinBlast σαν συντομογραφία των λέξεων Windows και Blast (ανατίναξη).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΗ VISUAL BASIC

2.1. Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια γρήγορη επισκόπηση σχετικά με το τι είναι η Visual Basic, τους τρόπους με τους οποίους χειρίζεται κάποιος το περιβάλλον της Visual Basic, καθώς και το πώς αναπτύσσεται ένα πρόγραμμα σε Visual Basic.

2.2. Σύντομη περιγραφή της Visual Basic

Η Visual Basic είναι μια γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου, η οποία εξελίχτηκε από την προηγούμενή της σε Dos έκδοση, που ονομαζόταν BASIC (**B**eginners' **A**ll-purpose **S**ymbolic **I**nstruction **C**ode). Η γλώσσα αυτή είναι τύπου Visual, δηλαδή αποτελεί ένα εργαλείο που επιτρέπει να αναπτυχθούν εφαρμογές σε περιβάλλον Windows (Graphic User Interface – GUI). Οι εφαρμογές αυτού του τύπου έχουν εμφάνιση προσιτή προς τον χρήστη (Smith, 1999).

Επιπρόσθετα η Visual Basic είναι μία γλώσσα αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού (object-oriented programming) με τη γενικότερη έννοια του όρου. Ο αντικειμενοστραφής προγραμματισμός είναι μία μέθοδος προγραμματισμού η οποία ασχολείται με στοιχεία δεδομένων τα οποία αντιπροσωπεύουν αντικείμενα με μεθόδους και ιδιότητες, παρόμοια με αυτά της Visual Basic. Η Visual Basic δεν υποστηρίζει πλήρως και με ακρίβεια το μοντέλο του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού, αν και στην πράξη δείχνει να ικανοποιεί τους στόχους του καλύτερα σχεδόν από όλες τις γλώσσες «πραγματικού» αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού (Perry, 1998).

Η Visual Basic είναι μια γλώσσα προγραμματισμού βασισμένη σε γεγονότα (event driven), πράγμα το οποίο σημαίνει ότι ο κώδικας παραμένει ανενεργός μέχρι να ζητηθεί από κάποιο γεγονός (πχ. Click ενός κουμπιού, χρήση menu, συμπλήρωση ενός textbox κτλ.). Η Visual Basic βασίζεται σε έναν επεξεργαστή γεγονότων (event processor). Τίποτα δεν συμβαίνει έως ότου ανιχνευθεί κάποιο γεγονός. Μόλις ανιχνευθεί κάποιο γεγονός, ο κώδικας που αντιστοιχεί σε αυτό

το γεγονός (event procedure) εκτελείται και κατόπιν ο έλεγχος του προγράμματος επιστρέφεται στον επεξεργαστή γεγονότος (Smith, 1999).

2.3. Ευκολίες που παρέχει η Visual Basic

Η Visual Basic παρέχει πολλές καινοτομίες και χαρακτηριστικά που κάνουν πιο εύκολη την ανάπτυξη μιας εφαρμογής. Μερικά από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι (Smith, 1999):

- Πλήρες πακέτο αντικειμένων (objects) ώστε να δημιουργείται η εφαρμογή σύμφωνα με τις επιθυμίες του προγραμματιστή.
- Πληθώρα εικόνων και εικονιδίων έτοιμα προς χρήση.
- Αλληλεπίδραση σε κινήσεις του ποντικιού και του πληκτρολογίου.
- Πρόσβαση σε εκτυπωτές και πρόχειρο.
- Μαθηματικές και γραφικές λειτουργίες.
- Χειρισμός γραμματοσειρών.
- Χειρισμός σταθερών (fixed) και δυναμικών (dynamic) μεταβλητών (variable) και πινάκων ελέγχου (control arrays).
- Πολύ χρήσιμο ανιχνευτή λαθών (debugger).
- Ισχυρά εργαλεία διαχείρισης και προσπέλασης σε βάσεις δεδομένων.
- Εργαλεία διαχείρισης σύγχρονων εφαρμογών πολυμέσων (multimedia).

2.4 Το περιβάλλον της Visual Basic

Στους σύγχρονους υπολογιστές το περιβάλλον διεπαφής με το χρήστη βασίζεται στα παράθυρα (windows), τα εικονίδια (icons), τα μενού (menus) και το δείκτη (pointer). Το περιβάλλον αυτό σχεδιάστηκε για πρώτη φορά στο Palo Alto Research Center της Xerox (PARC) και υλοποιήθηκε με επιτυχία από την Apple για τους υπολογιστές Macintosh και από τη Microsoft με την οικογένεια των Windows. Η επιφάνεια εργασίας χρησιμοποιεί ως βάση τη μεταφορά του γραφείου (desktop metaphor). Ο χρήστης μετακινεί πάνω στην οθόνη παράθυρα με τη χρήση του δείκτη όπως θα κινούσε έγγραφα στο γραφείο με τα χέρια του. Βασικά τεχνολογικά στοιχεία για τη λειτουργία του περιβάλλοντος αυτού είναι η οθόνη χαρτογραφικής απεικόνισης (bitmap display) και το ποντίκι (mouse) ή κάποιος άλλος αντίστοιχος μηχανισμός που επιτρέπει στο χρήστη να δείχνει αντικείμενα στην οθόνη. Με τη χρήση εικονιδίων ορισμένα στοιχεία του

περιβάλλοντος μπορούν να παρασταθούν με αμεσότητα, ενώ τα μενού κάνουν τις λειτουργίες του περιβάλλοντος προσιτές χωρίς να χρειάζεται ο χρήστης να απομνημονεύει εντολές και τη σύνταξή τους (Σπινέλλης, 2004).

Το περιβάλλον προγραμματισμού Visual Basic επιτρέπει τη γραφική σχεδίαση εφαρμογών με τη χρήση εργαλείων (controls) και τον άμεσο ορισμό κώδικα που θα αποκρίνεται σε συγκεκριμένα γεγονότα. Για το σκοπό αυτό η Visual Basic απλοποιεί το περιβάλλον προγραμματισμού που ορίζουν τα Windows δίνοντας στο χρήστη μια σειρά από εξειδικευμένα εργαλεία (βασισμένα σε αυτά των Windows) καθώς και έναν τρόπο με τον οποίο ορίζει ο χρήστης την εμφάνιση του κάθε εργαλείου, τις λειτουργίες του και τον τρόπο που αυτό ανταποκρίνεται σε γεγονότα. Έτσι, κάθε εργαλείο παριστάνεται ως ένα αντικείμενο που διαθέτει (Σπινέλλης, 2004):

- Ιδιότητες (properties) όπως είναι για παράδειγμα η θέση και το χρώμα του
- Μεθόδους (methods) που μπορούν να κληθούν για εκτέλεση όπως είναι για παράδειγμα η μέθοδος της επανασχεδίασης
- Γεγονότα (events) στα οποία μπορεί ο χρήστης να συνδέσει κώδικα όπως είναι για παράδειγμα το γεγονός click

Ο έλεγχος που έχει ο χρήστης πάνω στα όργανα διαφέρει ανάλογα με την κατάσταση της εφαρμογής (Σπινέλλης, 2004):











- Κατά τη διάρκεια σχεδιασμού της εφαρμογής, ο χρήστης μπορεί να διαβάσει και να αλλάξει τιμή στις περισσότερες ιδιότητες καθώς και να συνδέσει κώδικα με όλα τα γεγονότα του κάθε εργαλείου
- Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της εφαρμογής, το πρόγραμμα μπορεί να διαβάσει και να αλλάξει τιμή στις περισσότερες ιδιότητες καθώς και να καλέσει τις μεθόδους του κάθε εργαλείου. Όταν παραλαμβάνεται από την εφαρμογή ένα γεγονός, αυτό προωθείται αυτόματα στον κώδικα που έχει συνδεθεί με το αντίστοιχο εργαλείο. Αν δεν υπάρχει τέτοιος κώδικας, τότε η εφαρμογή εκτελεί αυτόματα κώδικα ο οποίος εκτελεί τη βασική λειτουργία για το αντίστοιχο γεγονός

2.4.1 Εργαλεία

Τα εργαλεία τοποθετούνται μέσα στην εφαρμογή με γραφικό τρόπο κατά την υλοποίησή της. Κάθε εργαλείο διακρίνεται από το όνομά του και μπορεί να εφαρμόζεται απεριόριστες φορές. Αν πολλά εργαλεία ίδιου τύπου έχουν το ίδιο

όνομα τότε αυτά ορίζουν έναν πίνακα εργαλείων τον οποίο μπορούμε να διατρέξουμε με τη χρήση ενός δείκτη. Τα εργαλεία που εμφανίζονται στην αρχική εργαλειοθήκη της Visual Basic ονομάζονται εσωτερικά εργαλεία (intrinsic controls), ενώ τα εργαλεία ActiveX που έχουν κατάληξη .ocx θεωρούνται εξωτερικά εργαλεία, τα οποία μπορούν να προστεθούν στην εργαλειοθήκη ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε εφαρμογής. Στον πίνακα 2.1 εμφανίζονται και περιγράφονται τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στο πρόγραμμα WinBlast, ενώ στον πίνακα 2.2 εμφανίζονται τα προθέματα που χρησιμοποιούνται στα ονόματα των διαφόρων αντικειμένων, ώστε ο κώδικας να είναι περισσότερο «ευανάγνωστος».

Πίνακας 2.1: Βασικά εργαλεία του προγράμματος WinBlast

Εικονίδιο εργαλείου	Όνομα εργαλείου	Περιγραφή εργαλείου
	Textbox	Εργαλείο για εισαγωγή κειμένου
	Label	Εργαλείο εμφάνισης κειμένου
	Commandbutton	Κουμπί εντολής
	Listbox	Λίστα με επιλογές
	Optionbutton	Επιλογή τύπου ναι/όχι (δεν επιτρέπει πολλαπλή επιλογή)
	PictureBox	Εργαλείο για εμφάνιση γραφικών
	Frame	Εργαλείο με το οποίο ομαδοποιούνται πολλά και διαφορετικά εργαλεία
	MSChart	Εργαλείο με το οποίο είναι δυνατόν να κατασκευαστούν διαγράμματα
	Line	Εργαλείο με το οποίο σχεδιάζονται γραμμές και σχήματα
	CommonDialog	Εργαλείο με το οποίο καλείται η φόρμα αποθήκευσης των Windows

Πίνακας 2.2: Προθέματα που χρησιμοποιούνται στα ονόματα των αντικειμένων

Πρόθεμα	Τύπος αντικειμένου
cbo	Combo Box
cmd	Command Button
fra	Frame
frm	Form
img	Image
lbl	Label
lin	Line
lst	List Box
mnu	Menu
opt	Option Button
txt	Text Box

2.4.2 Γεγονότα

Κάθε εργαλείο έχει το δικό του σύνολο από γεγονότα τα οποία μπορεί να δεχτεί. Γεγονότα μπορούν να λαμβάνουν τόσο οι φόρμες, όσο και τα εργαλεία που περιέχουν. Ορισμένα από τα γεγονότα που αφορούν πολλά εργαλεία της Visual Basic είναι (Σπινέλλης, 2004):

- Click: Click του ποντικιού πάνω στο εργαλείο
- DblClick: Διπλό click του ποντικιού πάνω στο εργαλείο
- GotFocus: Το εργαλείο γίνεται η εστία εισόδου
- LostFocus: Το εργαλείο παύει να είναι η εστία εισόδου
- KeyDown: Ένα πλήκτρο πατιέται πάνω από το εργαλείο
- KeyUp: Ένα πλήκτρο αφήνεται πάνω από το εργαλείο
- KeyPress: Ένας χαρακτήρας γράφεται πάνω από το εργαλείο
- MouseDown: Ένα πλήκτρο του ποντικιού πατιέται πάνω από το εργαλείο
- MouseUp: Ένα πλήκτρο του ποντικιού αφήνεται πάνω στο εργαλείο.
- MouseMove: Το ποντίκι κινείται πάνω από το εργαλείο
- Change: Τα δεδομένα που περιέχει το εργαλείο άλλαξαν

2.4.3 Ιδιότητες

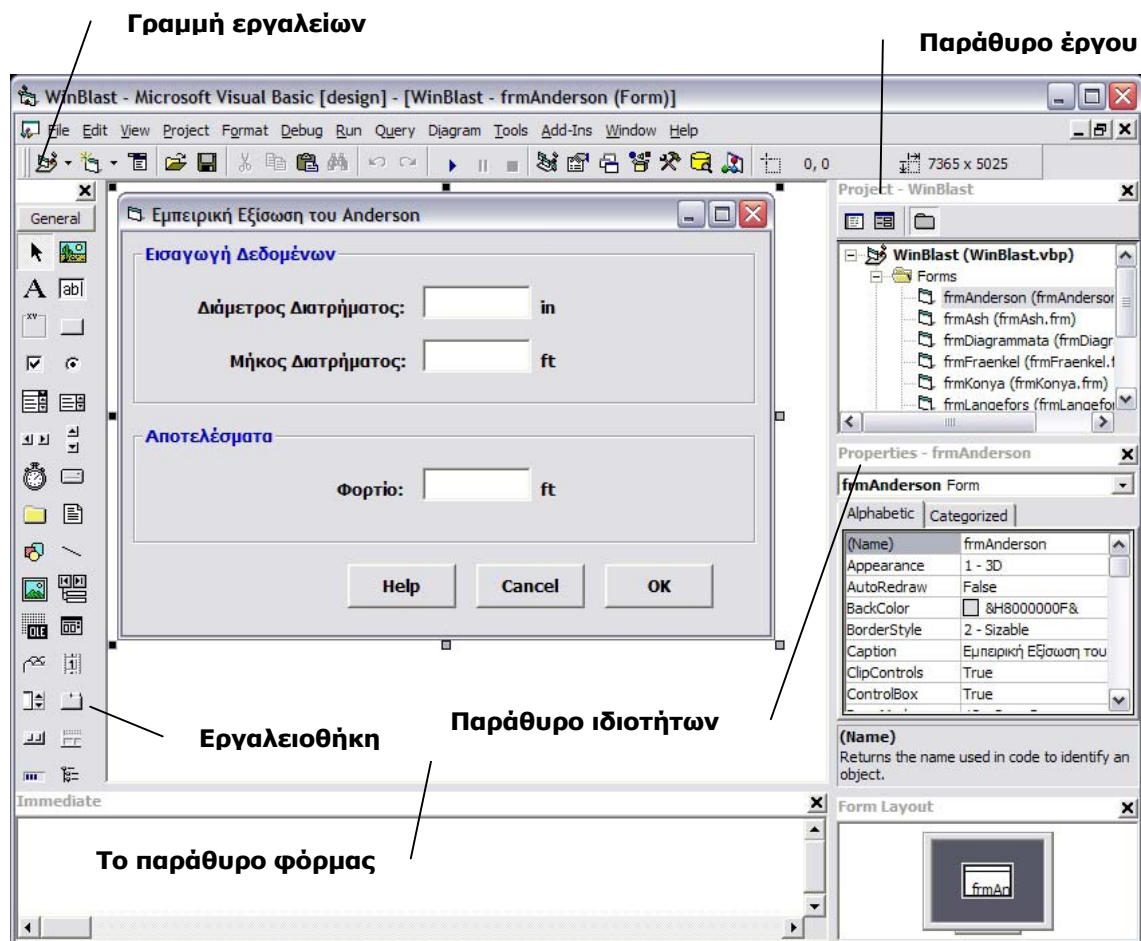
Οι ιδιότητες που αφορούν κάθε εργαλείο μπορούν να μεταβληθούν τόσο κατά το σχεδιασμό, όσο και κατά την εκτέλεση της εφαρμογής. Όλα τα εργαλεία έχουν προεπιλεγμένες τιμές σε όλες τις ιδιότητες τους. Αμέσως μόλις τοποθετηθεί κάποιος μηχανισμός στο παράθυρο μιας εφαρμογής η Visual Basic χρησιμοποιεί ένα σύνολο προεπιλεγμένων τιμών για την ιδιότητά του. Επιπρόσθετα η Visual Basic αναθέτει προεπιλεγμένα ονόματα (name) και λεζάντες (caption) στα εργαλεία. Ορισμένες ιδιότητες που εμφανίζονται σε πολλά εργαλεία είναι (Perry, 1998):

- Name: Το όνομα του συγκεκριμένου εργαλείου
- BackColor: Το χρώμα του φόντου
- ForeColor: Το χρώμα σχεδίασης
- Enabled: Αληθές αν το εργαλείο είναι ενεργό
- Visible: Αληθές αν το εργαλείο είναι ορατό
- Text: Το κείμενο που περιέχει το εργαλείο
- Caption: Το κείμενο που εμφανίζει το εργαλείο
- Value: Η τιμή που έχει το εργαλείο (π.χ. αληθές/ψευδές)
- ToolTipText: Το αναδυόμενο κείμενο σύντομης βοήθειας
- Height: Το ύψος του εργαλείου
- Left: Η θέση του εργαλείου στη φόρμα από αριστερά
- Top: Η θέση του εργαλείου στη φόρμα από πάνω
- Width: Το πλάτος του εργαλείου

2.4.4 Ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης

Μια εφαρμογή Visual Basic υλοποιείται με βάση διάφορες φόρμες (forms) που ορίζουν τα περιεχόμενα για αντίστοιχα παράθυρα. Κάθε φόρμα έχει, όπως και τα όργανα, ιδιότητες και μεθόδους. Στο σχήμα 2.1 εμφανίζεται το περιβάλλον ανάπτυξης της Visual Basic. Τα πιο κοινά στοιχεία του είναι (Perry, 1998):

- Η γραμμή εργαλείων
- Η εργαλειοθήκη
- Το παράθυρο φόρμας
- Το παράθυρο έργου (project)
- Το παράθυρο ιδιοτήτων (properties)



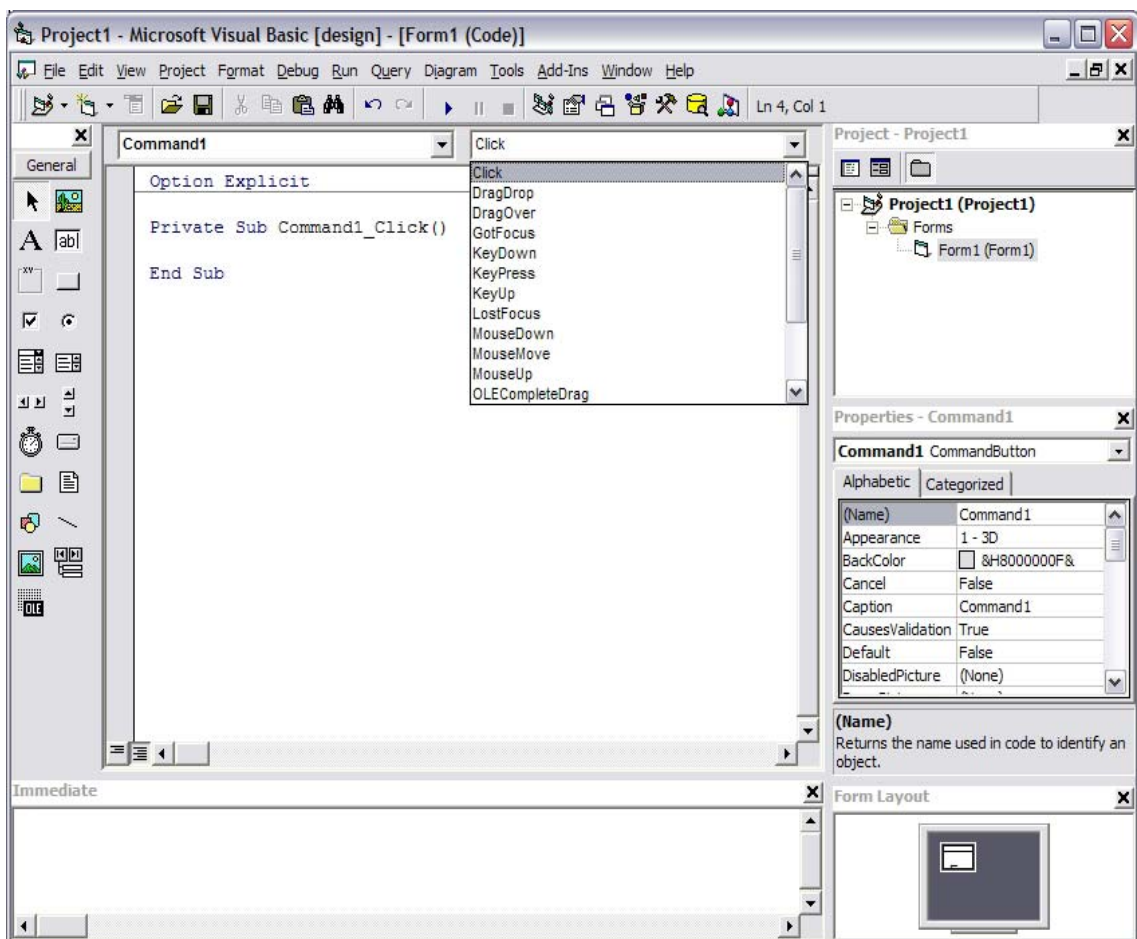
Σχήμα 2.1: Το περιβάλλον ανάπτυξης της Visual Basic και τα σημαντικότερα στοιχεία του

Η γραμμή εργαλείων η οποία φαίνεται στο σχήμα 2.1 κάτω από την γραμμή των μενού αλλάζει καθώς χρησιμοποιεί ο χρήστης την Visual Basic. Συνολικά η Visual Basic διαθέτει τέσσερις γραμμές εργαλείων, οι οποίες είναι (Perry, 1998):

- Βασική (standard): η προεπιλεγμένη γραμμή εργαλείων
- Διόρθωση λαθών (debug): αυτή η γραμμή εργαλείων εμφανίζεται όταν χρησιμοποιούνται τα διαλογικά εργαλεία διόρθωσης λαθών για τον εντοπισμό και τη διόρθωση των σφαλμάτων που ενδέχεται να παρουσιάζει κάποια εφαρμογή
- Επεξεργασία (edit): αυτή η γραμμή εργαλείων βοηθά στην επεξεργασία και τροποποίηση του κώδικα
- Συντάκτης φορμών (form editor): αυτή η γραμμή εργαλείων βοηθά στο να προσαρμόζονται τα αντικείμενα κάποιας φόρμας

Η εργαλειοθήκη (toolbox) είναι μία συλλογή εργαλείων τα οποία μπορούν να τοποθετηθούν σε μία φόρμα. Το παράθυρο φόρμας είναι η περιοχή όπου σχεδιάζεται η φόρμα. Στο παράθυρο έργου είναι δυνατόν ο χρήστης να επιλέξει τις φόρμες της εφαρμογής καθώς και να επιλέξει για τα διάφορα όργανα μεταξύ γραφικής εμφάνισης και εμφάνισης κώδικα. Με το παράθυρο ιδιοτήτων μπορεί ο χρήστης να διαβάσει και να τροποποιήσει τις ιδιότητες για το εκάστοτε επιλεγμένο όργανο (Σπινέλλης, 2004).

Για να οριστεί ο κώδικας που εκτελείται για κάποιο γεγονός θα πρέπει ο χρήστης να κάνει διπλό κλικ σε κάποιο εργαλείο και αυτόματα δημιουργείται η δήλωση για τη συνάρτηση που αφορά το πιο χρήσιμο γεγονός για το αντίστοιχο εργαλείο (Σχήμα 2.2). Από επιλογές στην κορυφή του παραθύρου είναι δυνατόν να επιλεγθεί το εργαλείο και το γεγονός για τα οποία επιθυμεί ο χρήστης να αντιστοιχίσει κώδικα (Σπινέλλης, 2004).

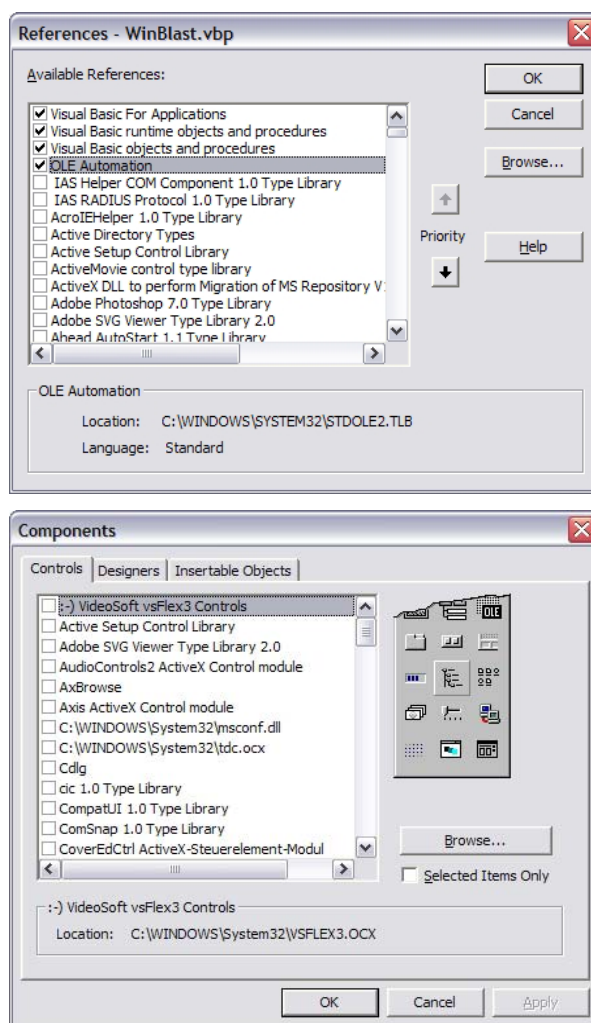


Σχήμα 2.2: Δημιουργία δήλωσης συνάρτησης για το γεγονός click στο εργαλείο Command1

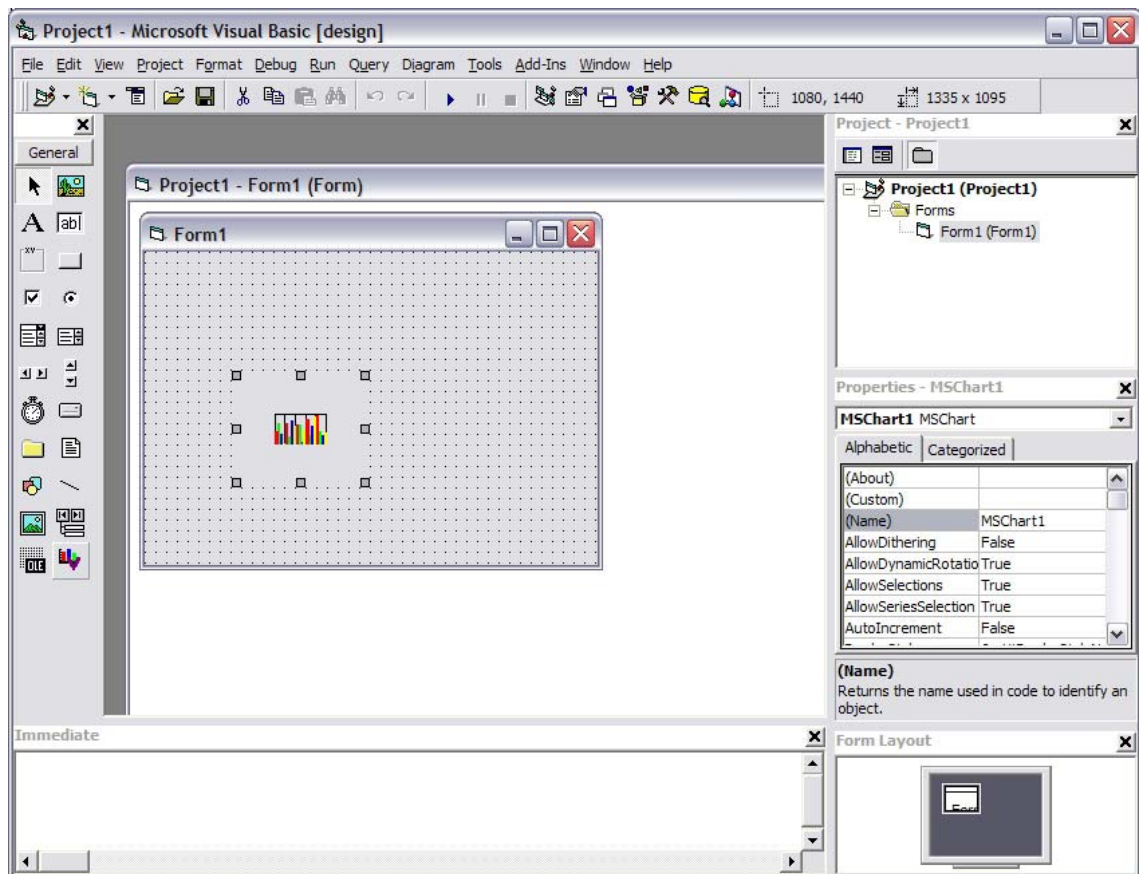
2.4.5 Διαδικασία ενσωμάτωσης εξωτερικών εργαλείων

Η διαδικασία ενσωμάτωσης και χρήσης ενός εξωτερικού εργαλείου (components ή references) στη Visual Basic είναι αρκετά απλή. Στο σχήμα 2.3 φαίνονται οι συλλογές από τέτοιου είδους εργαλεία. Η προσθήκη τους γίνεται εύκολα από την γραμμή του μενού με την επιλογή Project/ Reference ή Component. Μόλις παρουσιαστούν τα αντίστοιχα παράθυρα (σχήμα 2.3) απλά επιλέγεται το επιθυμητό εργαλείο για τη συγκεκριμένη εφαρμογή και ενσωματώνεται στην εργαλειοθήκη μαζί με τα υπόλοιπα βασικά εργαλεία.

Στο πρόγραμμα WinBlast απαιτούνταν η προσθήκη ενός εξωτερικού εργαλείου για τον σχεδιασμό και τη γραφική απεικόνιση γραφημάτων. Στο σχήμα 2.4 φαίνεται η ενσωμάτωση ενός τέτοιου εργαλείου που ονομάζεται MSChart (Microsoft Chart Control 6.0), αρχικά στην εργαλειοθήκη και έπειτα στην επιθυμητή φόρμα του προγράμματος.



Σχήμα 2.3: Παράθυρα επιλογής εξωτερικών εργαλείων



Σχήμα 2.4: Ενσωμάτωση του εργαλείου MSChart στην εφαρμογή

2.5 Δομή ενός προγράμματος σε Visual Basic

Κάθε πρόγραμμα Visual Basic είναι μια συλλογή από λειτουργικές μονάδες (modules) που περιέχουν κώδικα και εργαλεία του γραφικού περιβάλλοντος χρήσης. Το περιβάλλον της Visual Basic «πυροδοτεί» γεγονότα (events) τα οποία χειρίζεται ο κώδικας που γράφεται στην Visual Basic. Ο κώδικας μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες:

- Κώδικας που γράφεται για τον χειρισμό γεγονότων όπως το κλικ σε ένα πλήκτρο. Οι ρουτίνες αυτές ονομάζονται χειριστές συμβάντων (event handlers)
- Εξειδικευμένες διαδικασίες (custom procedures) με τις οποίες δημιουργείται η κύρια λειτουργικότητα του προγράμματος
- Διαδικασίες ιδιοτήτων (property procedures) που χρησιμοποιούνται σε modules φορμών

Όλα τα στοιχεία της γλώσσας δουλεύουν εξίσου καλά και στους τρεις τύπους κώδικα. Για παράδειγμα, δεν υπάρχουν περιορισμοί στο είδος του κώδικα που μπορεί να γραφτεί σε ένα συγκεκριμένο τύπο διαδικασίας.

Ένα γεγονός είναι πάντα το σημείο εκκίνησης για μια διαδικασία. Το γεγονός μπορεί είτε να δημιουργείται από το σύστημα (όπως για παράδειγμα το φόρτωμα κάποιας φόρμας) είτε να δημιουργείται από τον χρήστη (όπως για παράδειγμα να αλλάξει την τιμή σε textbox).

Εξειδικευμένες διαδικασίες μπορούν να γραφτούν σε κάθε είδους module. Κατά κανόνα σε modules που ανήκουν σε φόρμες θα πρέπει να περιέχονται μόνο ρουτίνες που αναφέρονται σε εργαλεία που ανήκουν στη φόρμα. Έτσι μια διαδικασία που δεν αναφέρεται σε κανένα εργαλείο της φόρμας, αλλά έχει γενική χρήση θα πρέπει να τοποθετηθεί σε κάποιο γενικό code module. Υπάρχουν τρία είδη διαδικασιών στη Visual Basic:

- Συναρτήσεις (functions)
- Διαδικασίες (procedures)
- Διαδικασίες ιδιοτήτων (property procedures)

Συνάρτηση είναι μια συλλογή από εντολές και παραστάσεις που εκτελούν μια συγκεκριμένη λειτουργία. Όταν ολοκληρώνεται η λειτουργία μιας συνάρτησης, αυτή επιστρέφει μια τιμή στην εντολή που έκανε την κλήση της. Η μόνη πραγματική διαφορά μεταξύ της συνάρτησης και της διαδικασίας (sub) είναι ότι η συνάρτηση επιστρέφει τιμή ενώ η διαδικασία δεν επιστρέφει. Θα μπορούσαν να χρησιμοποιούνται παντού αντί για διαδικασίες, συναρτήσεις που θα επέστρεφαν την τιμή true αν ολοκληρώθηκαν με επιτυχία και επέλεσαν τον σκοπό τους ή την τιμή false αν παρουσιάστηκε κάποιο λάθος κατά την εκτέλεσή τους. Οι διαδικασίες ιδιοτήτων είναι εξειδικευμένες διαδικασίες που αναθέτουν και ανακτούν τιμές σε εξειδικευμένες ιδιότητες των διαφόρων εργαλείων.

2.6 Βασικοί τύποι δεδομένων στη Visual Basic

Τα προγράμματα που γράφονται με τη Visual Basic απαιτούν τη χρήση και την επεξεργασία αρκετών τύπων δεδομένων (μεταβλητών), όπως για παράδειγμα αριθμοί μικρού μήκους. Η Visual Basic, όπως και πολλές άλλες γλώσσες προγραμματισμού, υποστηρίζει πολλούς τύπους δεδομένων (data types) κάνοντας έτσι εφικτή την αντιμετώπιση οποιασδήποτε ανάγκης προγραμματισμού. Η Visual Basic, όπως και άλλες γλώσσες προγραμματισμού, είναι «ιδιότροπη» σε θέματα τύπου δεδομένων. Συγκεκριμένα απαιτεί από το χρήστη πριν εργαστεί με μια τιμή δεδομένων, να δηλώσει επακριβώς τον τύπο της. Στον πίνακα 2.3

φαίνονται οι βασικότεροι τύποι δεδομένων της Visual Basic, η περιοχή τιμών τους και το μέγεθος αποθήκευσής τους (Perry, 1998).

Δύο βασικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν μια μεταβλητή είναι η εμβέλεια της (scope) και ο χρόνος ζωής της (lifetime). Εμβέλεια ονομάζεται ο χώρος μέσα στον οποίο μία μεταβλητή μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Μια μεταβλητή που ορίζεται μέσα σε μία συνάρτηση ή διαδικασία είναι τοπική για τη διαδικασία αυτή. Η εμβέλεια της είναι η διαδικασία, διότι έξω από αυτή δεν είναι δυνατόν να ανακτηθεί η τιμή της. Χρόνος ζωής είναι ο χρόνος κατά τον οποίο μια μεταβλητή ορίζεται και έχει τιμή. Μια μεταβλητή που ορίζεται μέσα σε μία συνάρτηση ή διαδικασία και είναι τοπική, έχει χρόνο ζωής όσο εκτελείται η ρουτίνα αυτή, με τον τερματισμό της οποίας παύει και η μεταβλητή να υπάρχει (Perry, 1998).

Πίνακας 2.3: Βασικοί τύποι δεδομένων της Visual Basic (Perry, 1998)

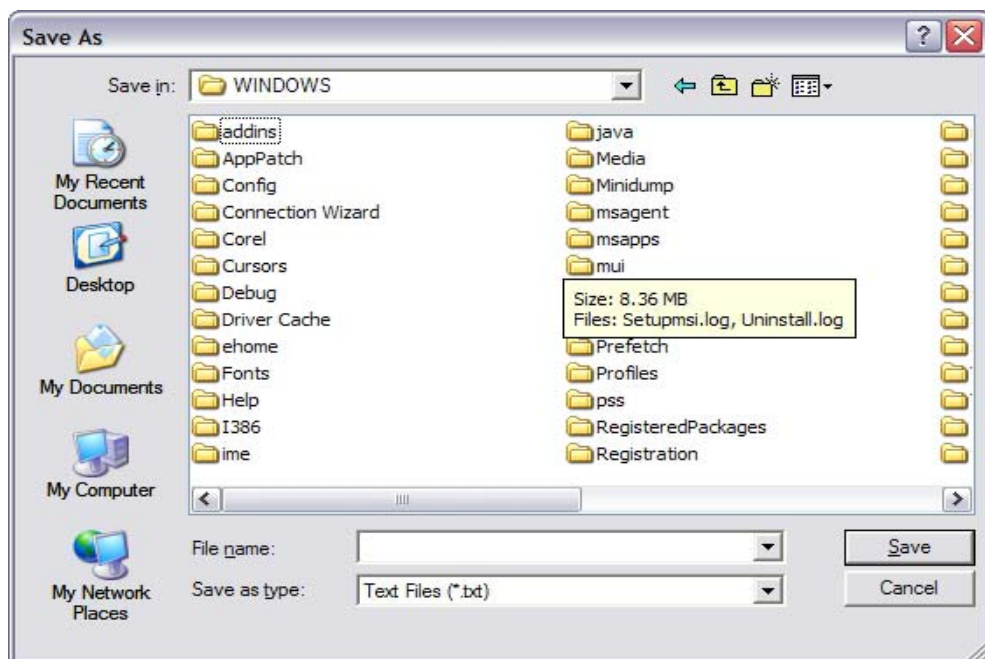
Ονομασία	Περιοχή τιμών	Μέγεθος σε bytes
Boolean	True - False	2 bytes
Byte	0 - 255	1 byte
Currency	-922.337.203.685.477,5808 – 922.337.203.685.477,5808	8 bytes
Date	1 January 100 – 31 December 9999	8 bytes
Double	-1,79769313486232E+308 – -4,94065645841247E-324 (αρνητικές) 1,79769313486232E+308 – 4,94065645841247E-324 (θετικές)	8 bytes
Integer	-32768 – 32767	2 bytes
Long	-2.147.483.648 – 2.147.483.647	4 bytes
Object	Οποιοδήποτε αντικείμενο	4 bytes
Single	-3,402823E+38 - -1,401298E-45 1,401298E-45 - 3,402823E+38	4 bytes
String	0 – 2 εκατομμύρια χαρακτήρες	10+μέγεθος string
Variant (character)	0 – 2 εκατομμύρια χαρακτήρες	22 bytes + μέγεθος string
Variant (number)	όπως το double	16 bytes

2.7 Χρήση συναρτήσεων των Windows από τη Visual Basic

Τα Windows παρέχουν ενσωματωμένες σε βιβλιοθήκες πολλές από τις κοινές λειτουργίες των προγραμμάτων. Για παράδειγμα τέτοιες λειτουργίες είναι το παράθυρο για τις διαδικασίες Save, Save As, Open και Print ενός αρχείου. Έτσι προγραμματίζοντας το ανάλογο εργαλείο (Common Dialog Control) είναι δυνατόν ο χρήστης να φορτώσει απευθείας τη φόρμα αποθήκευσης, ανοίγματος ή εκτύπωσης ενός αρχείου, χωρίς να χρειαστεί να ενσωματώσει στον κώδικα της εφαρμογής μία ρουτίνα η οποία θα έκανε αυτή τη λειτουργία. Παρακάτω παρουσιάζεται ο κώδικας για τον έλεγχο του Common Dialog Control (Smith, 1999):

```
Public Sub FileSaveAs()  
    CommonDialog1.Filter = "Text Files (*.txt)|*.txt"  
    CommonDialog1.ShowSave  
    CommonDialog1.CancelError = True  
    .....  
    .....  
    .....  
End Sub
```

Η παραπάνω ρουτίνα ανοίγει το παράθυρο διαλόγου Save As (Σχήμα 2.5) και σώζει ένα αρχείο ASCII στην ηλεκτρονική διεύθυνση και με το όνομα που επιθυμεί ο χρήστης.



Σχήμα 2.5: Παράθυρο διαλόγου Save As

2.8 Τυπική μορφή βασικού αρχείου της Visual Basic (*.vbp)

Το βασικό αρχείο της Visual Basic έχει κατάληξη vbp και περιλαμβάνει αναφορές σε όλα τα στοιχεία της εφαρμογής (project), δηλαδή στις φόρμες , στα modules στα εργαλεία κτλ. Παρακάτω φαίνεται η μορφή του βασικού αρχείου του προγράμματος WinBlast το οποίο έχει το όνομα WinBlast.vbp:

```
Type=Exe
Reference=*\G{00020430-0000-0000-C000-
000000000046}#2.0#0#..\..\..\..\WINDOWS\SYSTEM32\STDOLE2.TLB#OLE
Automation
Object={F9043C88-F6F2-101A-A3C9-08002B2F49FB}#1.2#0; COMDLG32.OCX
Form=frmMain.frm
Form=frmLangefors.frm
Form=frmAsh.frm
Form=frmKonya.frm
Form=frmAnderson.frm
Form=frmFraenkel.frm
Form=frmPearse.frm
Object={BDC217C8-ED16-11CD-956C-0000C04E4C0A}#1.1#0; TABCTL32.OCX
Module=winExplosive; winBlast.bas
Object={FE0065C0-1B7B-11CF-9D53-00AA003C9CB6}#1.1#0; COMCT232.OCX
Object={6B7E6392-850A-101B-AFC0-4210102A8DA7}#1.3#0; COMCTL32.OCX
Form=frmParametroi.frm
Form=frmDiagrammata.frm
Object={65E121D4-0C60-11D2-A9FC-0000F8754DA1}#2.0#0; MSCHRT20.OCX
Startup="Sub Main"
HelpFile=""
Command32=""
Name="WinBlast"
HelpContextID="0"
CompatibleMode="0"
MajorVer=1
MinorVer=0
RevisionVer=0
AutoIncrementVer=0
ServerSupportFiles=0
VersionCompanyName="***"
CompilationType=0
OptimizationType=0
FavorPentiumPro(tm)=0
CodeViewDebugInfo=0
NoAliasing=0
BoundsCheck=0
OverflowCheck=0
FlPointCheck=0
FDIVCheck=0
UnroundedFP=0
StartMode=0
Unattended=0
Retained=0
ThreadPerObject=0
MaxNumberOfThreads=1

[MS Transaction Server]
AutoRefresh=1
```

2.9 Γιατί επιλέχτηκε η Visual Basic

Όπως γίνεται αντιληπτό από την παραπάνω σύντομη παρουσίαση της, η Visual Basic είναι μία γλώσσα προγραμματισμού αρκετά απλή με τεράστιες δυνατότητες, που επιτρέπουν στον προγραμματιστή να σχεδιάσει και να προγραμματίσει οποιαδήποτε λειτουργία επιθυμεί χωρίς να απαιτούνται ιδιαίτερα εξειδικευμένες γνώσεις. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της Visual Basic είναι η ευκολία με την οποία μπορεί κάποιος προγραμματιστής να σχεδιάσει ένα περιβάλλον διεπαφής (interface) ιδιαίτερα απλό και εύχρηστο για τον απλό χρήστη ηλεκτρονικού υπολογιστή. Είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακό το γεγονός ότι ο προγραμματιστής απλώς ενσωματώνει τα διάφορα εργαλεία στην εφαρμογή του χωρίς να ασχολείται με το πώς δουλεύουν αυτά εσωτερικά ή με τον τρόπο που αυτά συνδέονται με το λειτουργικό σύστημα.

Εκτός από τις ευκολίες που παρέχει στα γραφικά, η Visual Basic περιλαμβάνει μια πολύ μεγάλη συλλογή μαθηματικών συναρτήσεων και τελεστών, στοιχεία απαραίτητα για την πραγματοποίηση αλγεβρικών πράξεων. Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι η Visual Basic διαθέτει μία από τις πληρέστερες βιβλιοθήκες (MSDN Libraries) με θέματα βοήθειας καθώς και παραδείγματα, γεγονός που καθιστά ακόμη πιο εύκολη την εκμάθηση της ακόμη και από αρχάριους χρήστες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΘΕΩΡΙΑ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΥΛΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται μερικά ιστορικά στοιχεία σχετικά με την εξέλιξη της τεχνολογίας των εκρηκτικών, κατόπιν περιγράφεται ο μηχανισμός θραύσης του πετρώματος λόγω ανατίναξης και στη συνέχεια αναφέρονται ορισμένα στοιχεία σχετικά με την χημική σύσταση και τις ιδιότητες των διαφόρων εκρηκτικών υλών.

3.2 Ορισμοί εκρηκτικών υλών

Εκρηκτική ύλη (explosive) χαρακτηρίζεται οποιαδήποτε χημική ένωση από την οποία εκλύονται μεγάλες ποσότητες αερίων και ενέργειας σαν συνέπεια της ακαριαίας αποσύνθεσής της. Το φαινόμενο της ακαριαίας αποσύνθεσης τέτοιων υλικών ονομάζεται έκρηξη (Αγιουτάντης, 1996).

Εκρηκτικό μέσο (blasting agent) χαρακτηρίζεται οποιοδήποτε υλικό ή μίγμα, το οποίο έχει εκρηκτικές ιδιότητες, αλλά του οποίου τα συστατικά δεν χαρακτηρίζονται σαν εκρηκτικές ύλες. Σύμφωνα με τυποποιημένες δοκιμές του γραφείου μεταλλείων των Η.Π.Α, εκρηκτικά μέσα θεωρούνται τα υλικά τα οποία δεν είναι αρκετά ευαίσθητα ώστε να μπορεί να εναυθούν με εκρηκτικό καψύλλιο ισχύος Νο.8 σε ελεύθερη (μη περιορισμένη) κατάσταση (Αγιουτάντης, 1996).

Οι εκρηκτικές ύλες και τα εκρηκτικά μέσα τα οποία γενικά αποκαλούνται εκρηκτικά υλικά ή εκρηκτικά έχουν την δυνατότητα να παράγουν σημαντικές ποσότητες ενέργειας σε μικρό χρονικό διάστημα και επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον θρυμματισμό των πετρωμάτων. Τα υλικά αυτά μπορούν να εναυθούν με τη βοήθεια θερμότητας, κρούσης, τριβής, κρουστικού κύματος ή με κάποιο συνδυασμό των προηγούμενων. Τα εκρηκτικά μίγματα ή ενώσεις συνήθως αποτελούνται από «καύσιμα» και «οξειδωτικούς παράγοντες» (Αγιουτάντης, 1996).

3.3 Ιστορική αναδρομή

Παρόλο που η μαύρη πυρίτιδα (black powder) είναι γνωστή από τον 13^ο αιώνα, η πρώτη εφαρμογή των εκρηκτικών υλών σε μεταλλευτική δραστηριότητα χρονολογείται από τις αρχές του 17^{ου} αιώνα. Η μαύρη πυρίτιδα όμως δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια πριν από την εφεύρεση της θρυαλλίδας ασφαλείας από τον Bickford το 1831 (Αγιουτάντης, 1996).

Η νιτρογλυκερίνη και η νιτροκυτταρίνη ανακαλύφθηκαν στα μέσα του 19^{ου} αιώνα από τον Asconia Sobrero στην Ιταλία και τον Shoenbein στην Ελβετία αντίστοιχα, αλλά δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στη βιομηχανία λόγω της ευαισθησίας τους σε κρούσεις 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 (ξύλαλευρο, wood pulp) για την παρασκευή μιγμάτων τα οποία ονομάζονται κοινές δυναμίτιδες ή δυναμίτες (straight dynamites). Ο πολτός του ξύλου χαρακτηρίζεται «ενεργό» συστατικό διότι, σε αντίθεση με το SiO_2 , μπορεί να οξειδωθεί και να αυξήσει την ενέργεια που εκλύει το μίγμα. Ο Nobel ανακάλυψε επίσης ότι όταν η νιτρογλυκερίνη αναμειχθεί με νιτροκυτταρίνη (νιτροβάμβακα) με μία σχέση 92:8 (κατά βάρος), τότε προκύπτει ένα πολύ ισχυρό εκρηκτικό που ονομάζεται εκρηκτική ζελατίνη (blasting gelatin) το οποίο αποτελεί το ισχυρότερο εκρηκτικό με βάση τη νιτρογλυκερίνη. Σήμερα παρασκευάζονται διαφόρων τύπων ζελατίνες σε αντιστοιχία με τις κοινές δυναμίτιδες με ισχύεις που κυμαίνονται από 20 έως 100% των ισχύων των αντίστοιχων δυναμίτιδων. Σημειώνεται ότι οι ζελατίνες έχουν το πλεονέκτημα ότι η πλαστικότητά τους επιτρέπει καλύτερη γόμωση των διατρημάτων (Αγιουτάντης, 1996).

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 στη 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 μία 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 τη δεκαετία του 1950, λόγω των μεγαλύτερων απαιτήσεων σε ασφάλεια, ευελιξία και παραγωγικότητα εμφανίστηκε η «νέα γενιά» εκρηκτικών που ονομάζονται εκρηκτικά μέσα (Αγιουτάντης, 1996).

Οι πρώτες προσπάθειες για την ανάπτυξη του εκρηκτικού μίγματος γνωστού σήμερα σαν ANFO (νιτρικό αμμώνιο και πετρέλαιο) δεν είχαν μεγάλη επιτυχία διότι το μίγμα του παρασκευαζόταν δεν είχε μεγάλη συνοχή. Η επιτυχημένη χρησιμοποίηση του ANFO αργότερα οφείλεται κυρίως στη αλλαγή του βιομηχανικού τρόπου παρασκευής του νιτρικού αμμωνίου το οποίο προοριζόταν για λίπασμα. Από το 1945, το νιτρικό αμμώνιο 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 προσαρμοστεί στις απαιτήσεις της παραγωγής. Η ανάγκη να ξεπεραστεί το πρόβλημα της υψηλής υγροσκοπικότητας του νιτρικού αμμωνίου ώθησε την ανάπτυξη των εκρηκτικών υγρής φάσης (Αγιουτάντης, 1996).

3.3 Θραύση του πετρώματος με χρήση εκρηκτικών υλών

Η αποδοτική χρήση των εκρηκτικών υλών για τη θραύση του πετρώματος καθώς και η επίτευξη ανατινάξεων κάτω από αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες προϋποθέτουν γνώση του μηχανισμού με τον οποίο θραύεται το πέτρωμα με χρήση εκρηκτικών υλών. Πρόκειται για έναν σύνθετο μηχανισμό που για περιγραφικούς λόγους μπορεί να θεωρηθεί ότι λαμβάνει χώρα σε δύο διακεκριμένες μεταξύ τους φάσεις, από τις οποίες η πρώτη οφείλεται στο κρουστικό κύμα που δημιουργήθηκε από την έκρηξη και η δεύτερη, που έπεται χρονικά, στη δράση των αερίων της εκρήξεως (Τσουτρέλης, 2001).

Διευκρινίζεται στο σημείο αυτό ότι, από καθαρά ενεργειακής πλευράς, η ενέργεια, που περιέχεται στη κρουστική φάση της εκρήξεως μίας εκρηκτικής ύλης, είναι ποσοτικώς πολύ μικρότερη της ενέργειας, που περιέχεται στην ωστική φάση, που ακολουθεί, χωρίς όμως να μπορεί να διατυπωθεί με βεβαιότητα ότι το αποδιδόμενο ωφέλιμο έργο είναι πραγματικά ανάλογο των διατιθέμενων σε κάθε φάση ποσών ενέργειας (Τσουτρέλης, 2001).

3.4 Κρουστική φάση

Όταν μια εκρηκτική ύλη διεγείρεται μέσα σε ένα διάτρημα η χημική αντίδραση που προκαλείται οδεύει με ταχύτητα μεταξύ 3000-6000 m/s ανάλογα με τον τύπο της εκρηκτικής ύλης, την πυκνότητα γομώσεως και την διάμετρο του διατρήματος. Στη ζώνη της αντίδρασης η πίεση έκρηξης (detonation pressure) στην περίπτωση των διαρρηκτικών εκρηκτικών υλών με πληρότητα γομώσεως του θαλάμου της εκρήξεως 100% κυμαίνεται από 0,5-20 GPa, και συννηθέστερα μεταξύ 5-10 GPa, ενώ η θερμοκρασία φτάνει μέχρι 3000-4000°K. Στη περίπτωση αυτή το πέτρωμα, που περιβάλλει το θάλαμο της εκρήξεως, τίθεται κατά τον χρόνο διέλευσης της αντίδρασης, που είναι της τάξης των μερικών δεκάδων μέχρι μερικών εκατοντάδων μs, υπό μία δυναμική εντατική κατάσταση, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της εκρηκτικής ύλης και εκείνα του πετρώματος (Τσουτρέλης, 2001).

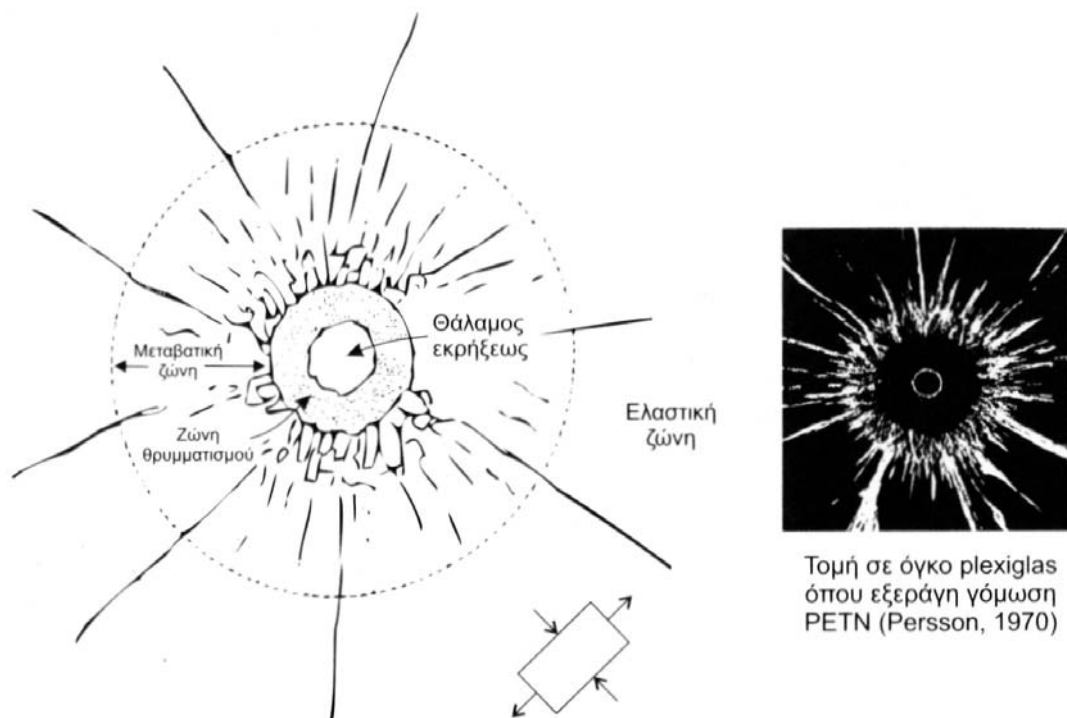
Στην εντατική αυτή κατάσταση, που υποβάλλεται το πέτρωμα κατά την έκρηξη μίας ποσότητας εκρηκτικής ύλης μέσα σε αυτό ή στη επιφάνειά του, οφείλεται η θραύση του πετρώματος κατά την κρουστική φάση (Τσουτρέλης, 2001).

3.4.1 Θραύση του πετρώματος γύρω από το θάλαμο της έκρηξης

Όπως δείχνει το Σχ. 3.1 γύρω από το θάλαμο της έκρηξης σχηματίζονται τρεις ζώνες θραύσης, που από μέσα προς τα έξω είναι:

- a) Ζώνη θρυμματισμού (crushing zone)
- b) Μεταβατική ζώνη (transient zone)
- c) Ελαστική ζώνη (elastic ή seismic zone)

Στην ζώνη θρυμματισμού, που αρχίζει από το τοίχωμα του θαλάμου της έκρηξης, λόγω της πολύ μεγάλης έντασης του κρουστικού κύματος, η οποία υπερβαίνει κατά πολύ τη δυναμική αντοχή του πετρώματος σε θλίψη, το πέτρωμα θραύεται κατά έναν περίπλοκο τρόπο, που οδηγεί τελικά σε λεπτομερή θρυμματισμό του. Η οποιασδήποτε αντοχή του πετρώματος στη ζώνη αυτή δεν παίζει κανένα ρόλο στο θρυμματισμό του, λόγω της μεγάλης έντασης του κρουστικού κύματος. Για τον λόγο αυτό το πέτρωμα θεωρείται ότι συμπεριφέρεται ως ρευστό (Τσουτρέλης, 2001).



Σχήμα 3.1: Ζώνες θραύσης του πετρώματος (Τσουτρέλης, 2001)

Ο χώρος ακριβώς γύρω από τη ζώνη θρυμματισμού αποτελεί την μεταβατική ζώνη. Η ζώνη αυτή, όπως και η προηγούμενη είναι μικρού πάχους, που είναι κατά 4-6 φορές μεγαλύτερο εκείνου της ακτίνας του θαλάμου της έκρηξης. Στη ζώνη αυτή το πέτρωμα συμπεριφέρεται σαν ένα μη γραμμικά ελαστικό στερεό σώμα, το οποίο υπόκειται σε πολύ έντονες παραμορφώσεις. Νέες ρωγμές δημιουργούνται και διαδίδονται μέσα στη ζώνη αυτή από την διέλευση του κρουστικού κύματος, οι οποίες είναι πολλές σε αριθμό αλλά μικρού μήκους, τριχοειδείς σε μορφή, σχεδόν ακανόνιστες σε διεύθυνση με κάποια επικράτηση των ακτινικών (Τσουτρέλης, 2001).

Η αντοχή του πετρώματος, παίζει στη ζώνη αυτή πολύ πιο ουσιαστικό ρόλο από ότι στην προηγούμενη, αλλά ακόμη μέχρι το εξωτερικό της όριο, όπου επέρχεται ισορροπία μεταξύ της δυναμικής αντοχής του πετρώματος σε θλίψη και της ακτινικής θλιπτικής συνιστώσας τάσεως του κρουστικού κύματος η ένταση του κύματος υπερβαίνει της δυναμική αντοχή του πετρώματος σε θλίψη και κατά συνέπεια η θραύση του πετρώματος είναι ακόμη έντονη (Τσουτρέλης, 2001).

Στην ελαστική ζώνη η εικόνα είναι περισσότερο σαφής και ο μηχανισμός θραύσης μπορεί να ερμηνευθεί εφαρμόζοντας την θεωρία της γραμμικής ελαστικότητας. Η ζώνη αυτή εξ ορισμού αρχίζει από την απόσταση εκείνη από το θάλαμο της έκρηξης όπου η ένταση της ακτινικής θλιπτικής συνιστώσας του

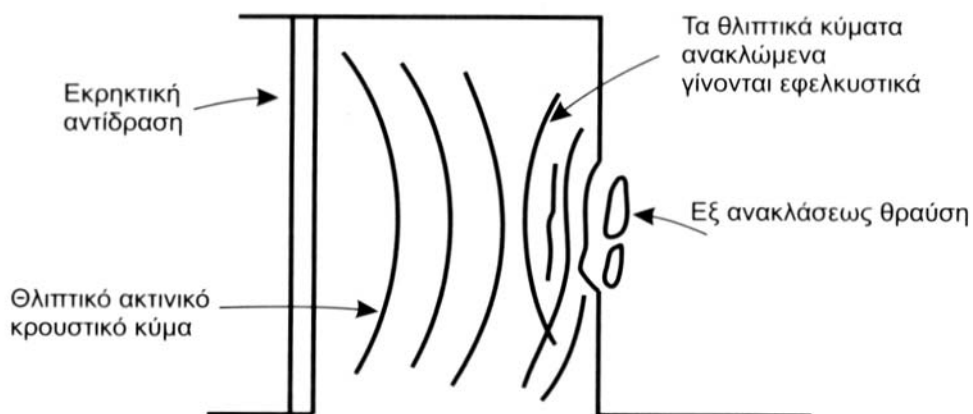
κρουστικού κύματος είναι μικρότερη της δυναμικής αντοχής του πετρώματος σε θλίψη, τελειώνει δε στο άπειρο για απεριόριστο υλικό. Συνεπώς οποιαδήποτε θραύση, που παρατηρείται στη ζώνη αυτή, θα οφείλεται στην επαπτομενική εφελκυστική συνιστώσα τάση, που δημιουργεί ο ακτινικός κρουστικός θλιπτικός παλμός καθώς διέρχεται από το πέτρωμα (Τσουτρέλης, 2001).

3.4.2 Θραύση από ανάκλαση

Εάν το πέτρωμα γύρω από τον θάλαμο της έκρηξης είναι απεριόριστο, τότε η προκαλούμενη θραύση και ρωγμάτωση του πετρώματος, η οποία είναι συνέπεια της δράσης του κρουστικού κύματος ολοκληρώνεται με όσα περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο (Τσουτρέλης, 2001).

Εάν όμως αντί απεριόριστου πετρώματος κοντά στο θάλαμο της έκρηξης υπάρχουν μία ή περισσότερες ελεύθερες επιφάνειες, τότε σε κάθε μία από αυτές εμφανίζεται μία ιδιόμορφη θραύση του πετρώματος, που ξεκινάει από έξω προς τα μέσα, με τις επιφάνειες θραύσης παράλληλες προς την ελεύθερη επιφάνεια. Η θραύση αυτή, γνωστή ως απολεπίωση (spalling) ή θραύση κατά πλάκας (slabbing), μελετήθηκε εκτενώς από τους Duvall και Atchison (1957), που πρώτοι διατύπωσαν την παραδεδομένη σήμερα θεωρία της θραύσης του πετρώματος από ανάκλαση (Τσουτρέλης, 2001).

Κατά την θεωρία αυτή στην περιοχή της ελεύθερης επιφάνειας, όταν αυτή απέχει μικρή απόσταση από τον θάλαμο της έκρηξης, το πέτρωμα θραύεται σε εφελκυσμό λόγω του δημιουργούμενου από την ανάκλαση του θλιπτικού κρουστικού κύματος εφελκυστικού κύματος, όπως χαρακτηριστικά δείχνει το Σχ. 3.2 (Τσουτρέλης, 2001).



Σχήμα 3.2: Θραύση του πετρώματος από ανάκλαση (Τσουτρέλης, 2001)

Το κύμα αυτό, αν και έχει μέγιστη ένταση πολύ μικρότερη του προσπίπτοντος στην ελεύθερη επιφάνεια θλιπτικού κύματος, εν τούτοις είναι ικανό να θραύσει το πέτρωμα, γιατί το τελευταίο έχει κατά πολύ μικρότερη αντοχή σε εφελκυσμό από ότι σε θλίψη (Τσουτρέλης, 2001).

3.5 Ωστική φάση

Η εκλυόμενη κατά τη χημική αντίδραση μια εκρηκτικής ύλης ενέργεια κατανέμεται κυρίως σε εκείνη που περιέχεται στο κρουστικό κύμα (strain wave energy) και σε εκείνη που περιέχεται στα αέρια προϊόντα που βρίσκονται κάτω από υψηλή ακόμη πίεση μέσα στο θάλαμο της έκρηξης (δηλ. μόρια CO_2 , H_2O , N_2 , O_2 , κτλ. με μεγάλη κινητική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι μόνο το 10-20% της συνολικής ενέργειας περιέχεται στο κρουστικό κύμα, ενώ το υπόλοιπο βρίσκεται συνδεδεμένο με τα αέρια της έκρηξης. Κατά συνέπεια είναι λογικό να αναμένεται ότι η συνεισφορά της ωστικής φάσης της έκρηξης στην θραύση του πετρώματος θα είναι πολύ σημαντική (Τσουτρέλης, 2001).

Ο τρόπος όμως με τον οποίο θραύεται το πέτρωμα κάτω από την επίδραση της ωστικής φάσης, που εκδηλώνεται αφενός με την επέκταση και διεύρυνση των ήδη υπαρχόντων ρωγμών και αφετέρου με την δημιουργία νέων ρωγμών σε θεωρούμενες ως σχεδόν στατικές συνθήκες (quasi-static stress field), είναι ακόμη αρκετά ασαφής, διότι η κατάσταση που επικρατεί στην περιοχή γύρω από τον θάλαμο της έκρηξης αμέσως μετά την διέλευση του κρουστικού κύματος, δεν παρέχει τη δυνατότητα πειραματικής μελέτης του μηχανισμού θραύσης του πετρώματος κάτω από την πίεση των αερίων της έκρηξης (Τσουτρέλης, 2001).

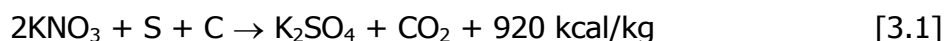
3.6 Χημική σύσταση και χαρακτηριστικά διαφόρων εκρηκτικών

Μία εκρηκτική ύλη αποτελείται συνήθως από ένα καύσιμο (fuel) και ένα οξειδωτικό παράγοντα (oxidizer) τα οποία όταν αντιδρούν μεταξύ τους εκλύουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας σε λίγο χρόνο και μεγάλες ποσότητες θερμών αερίων, λόγω εξωθερμικών αντιδράσεων. Τα αέρια αυτά δημιουργούν υψηλές πιέσεις στο χώρο της έκρηξης και συμβάλλουν στη θραύση και μετατόπιση του πετρώματος από την αρχική του θέση (Αγιουτάντης, 1996).

Μία χαρακτηριστική ιδιότητα των οξειδωτικών παραγόντων που περιλαμβάνονται στη σύνθεση των εκρηκτικών υλών (και ιδιαίτερα αυτών που χαρακτηρίζονται από υψηλή διαρρηκτικότητα) είναι ότι το οξυγόνο που περιέχουν μπορεί εύκολα να απελευθερωθεί από τα μόρια των οξειδωτικών παραγόντων και να χρησιμοποιηθεί για τον σχηματισμό πιο σταθερών μορίων (πχ. CO₂, H₂O, κλπ). 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. Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι για τη μείωση της τοξικότητας των παραγομένων αερίων (ιδίως σε εφαρμογές σε υπόγεια έργα) είναι απαραίτητο οι εκρηκτικές ύλες να μην έχουν αρνητικό ισοζύγιο οξυγόνου, δηλαδή να παρέχεται αρκετό οξυγόνο στο μίγμα για την πλήρη οξείδωση όλων των προϊόντων της χημικής αντίδρασης (Αγιουτάντης, 1996).

3.6.1 Πυρίτιδες

Οι πυρίτιδες 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: 62-75% KNO₃, 20-15% C και 18-10% S. Η χημική αντίδραση είναι της μορφής:



Η χρήση των πυρίτιδων στην σύγχρονη μεταλλευτική βιομηχανία είναι πολύ περιορισμένη και αναφέρεται μόνο σε εφαρμογές που απαιτείτε εξόρυξη μεγάλων όγκων αδιατάρακτου πετρώματος όπως πχ. όγκων μαρμάρου σε λατομεία. Στις περιπτώσεις αυτές γίνεται κυρίως εκμετάλλευση της ωστικής ενέργειας των αερίων που παράγονται από την ανάφλεξη (Αγιουτάντης, 1996).

3.6.2 Νιτρικό αμμώνιο

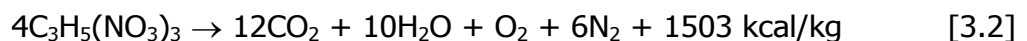
Το νιτρικό αμμώνιο (ammonium nitrate, NH₄NO₃) είναι δυνατόν κάτω από ορισμένες συνθήκες να δράσει σαν εκρηκτική ύλη. Η ενέργεια που εκλύεται από την διάσπαση του καθαρού νιτρικού αμμωνίου είναι 343 kcal/kg. Το νιτρικό αμμώνιο βρήκε όμως μεγαλύτερη εφαρμογή σαν συστατικό (οξειδωτικός παράγοντας διαφόρων μιγμάτων) καθώς η χρήση του μειώνει το κόστος παρασκευής των διαφόρων εκρηκτικών, ιδιαίτερα στη περίπτωση εκρηκτικών με βάση τη νιτρογλυκερίνη. Η πιο σημαντική ίσως εφαρμογή του νιτρικού αμμωνίου είναι η

χρησιμοποίησή του για την παρασκευή του ANFO και των αντιστοίχων εκρηκτικών υγρής φάσης. Ένα άλλο πλεονέκτημα που προκύπτει από τη χρήση του νιτρικού αμμωνίου είναι ότι όταν αποσυντίθεται δεν αφήνει στερεά κατάλοιπα σε αντίθεση με άλλα νιτρικά άλατα (Αγιουτάντης, 1996).

Τα μειονεκτήματα που συνδέονται με τη βιομηχανική χρήση του νιτρικού αμμωνίου είναι πρώτον ότι είναι υγροσκοπικό και επομένως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υγρό περιβάλλον και δεύτερον ότι έχει μεγάλη σχετικά κρίσιμη διάμετρο (Αγιουτάντης, 1996).

3.6.3 Εκρηκτικά με βάση τη νιτρογλυκερίνη

Πολλά σύγχρονα εκρηκτικά βασίζονται στη νιτρογλυκερίνη (nitroglycerin, τρινιτρογλυκερίνη, $C_3H_5O_9N_3$), η οποία όμως είναι πολύ ευαίσθητη για να χρησιμοποιείται στη καθαρή μορφή της. Όπως ήδη αναφέρθηκε, για την ασφαλή χρήση της νιτρογλυκερίνης είναι απαραίτητη η προσρόφησή της από αδρανή ή «ενεργά» υλικά από όπου προκύπτουν οι κοινές δυναμίτιδες (straight dynamites). Το ποσοστό νιτρογλυκερίνης σε μίγματα με αδρανή υλικά (πχ. Διατομίτες) φτάνει στο 75%, ενώ όταν αναμιγνύεται με «ενεργά» υλικά τότε φθάνει το 60% χωρίς αυτό όμως να μειώνει την αποτελεσματικότητά της. Στη πράξη το ποσοστό νιτρογλυκερίνης σε μίγματα που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία κυμαίνεται από 30-60%. Η χημική αντίδραση διάσπασης της νιτρογλυκερίνης είναι της μορφής:



Από την ανάμιξη της νιτρογλυκερίνης με νιτροκυτταρίνη (nitrocellulose, $C_6H_7(NO_3)_3O_2$), προκύπτουν ενώσεις με ζελατινώδη υφή. Όταν στα μίγματα αυτά μέρος της νιτρογλυκερίνης αντικατασταθεί από νιτρικό αμμώνιο τότε προκύπτουν διάφορες συνθέσεις ζελατίνης (straight gelatin), ζελατινοδυναμίτιδων (ammonia gelatin), αμμωνιοδυναμίτιδων (high density ammonia dynamite), αμμωνιτών (low density ammonia dynamite) καθώς και μία σειρά δυναμίτιδων ασφαλείας (permissible dynamites) (Αγιουτάντης, 1996).

3.6.4 Πετρελαιοαμμωνίτες

Ο πετρελαιοαμμωνίτης ή πετραμμωνίτης (ANFO – Ammonium Nitrate-Fuel Oil) αποτελεί μίγμα πορώδους νιτρικού αμμωνίου και καυσίμου υδρογονάνθρακα. Συνήθως το καύσιμο αποτελείται από πετρέλαιο No.2, αλλά είναι δυνα-

τόν να χρησιμοποιηθεί πετρέλαιο θέρμανσης ή ακόμη και πολύ λεπτομερής άνθρακας. Η συνήθης αναλογία (κατά βάρος) νιτρικού αμμωνίου και πετρελαίου είναι 94:6. Η προηγούμενη σχέση αναλογίας προκύπτει από την παρατήρηση ότι το ποσό του καυσίμου που προστίθεται πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να μπορεί να καταναλώσει όλο το οξυγόνο που εκλύεται από τη διάσπαση του νιτρικού αμμωνίου. Στις αντιδράσεις με μηδενικό ισοζύγιο οξυγόνου υπάρχει αρκετό οξυγόνο για την πλήρη οξείδωση όλου του καυσίμου αλλά δεν υπάρχει περίσσεια οξυγόνου για την οξείδωση του αζώτου (Αγιουτάντης, 1996).

Το πορώδες νιτρικό αμμώνιο (ammonium nitrate prills) που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του ANFO έχει συνήθως πυκνότητα η οποία κυμαίνεται από 0.67 έως 0.80 g/cm³ (42 έως 50 lbs/ft³). Οι κόκκοι του νιτρικού αμμωνίου επικαλύπτονται με ένα λεπτό στρώμα από αργιλικό υλικό (clay) για να ελαττωθεί η συσσωμάτωση του νιτρικού αμμωνίου λόγω υγρασίας (Αγιουτάντης, 1996).

Σημειώνεται ότι για την αύξηση της ισχύος των διαφόρων μιγμάτων ANFO είναι δυνατόν να προστεθεί στα μίγματα κονιοποιημένο αργίλιο (Al) σαν καύσιμο. 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 αργιλίου προς οξειδίο του αργιλίου (Αγιουτάντης, 1996).

3.6.5 Εκρηκτικά υγρής φάσης και γαλακτώματα

Τα εκρηκτικά υγρής φάσης (water gels, slurries, υδραμμωνίτες, πολτώδη μίγματα) αποτελούνται από μίγμα νιτρικού αμμωνίου και ενός ή περισσότερων καυσίμων. Επιπλέον τα μίγματα αυτά παρέχουν από 10 έως 30% νερό καθώς και υδρόφιλα κολλοειδή (πχ. guar gum) τα οποία προσδίδουν μία πλαστικότητα στο υλικό και εξασφαλίζουν την ανθεκτικότητά 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. Για την αύξηση της εκρηκτικής τους ικανότητας, μέσα στα προηγούμενα μίγματα περιλαμβάνονται και μικρές ποσότητες ισχυρών εκρηκτικών όπως η TNT ή/και μικρές ποσότητες κονιοποιημένων μετάλλων (πχ. αργίλιο) (Αγιουτάντης, 1996).

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 διαλύματος νιτρικού αμμωνίου τα οποία συγκρατούνται σε παραφίνη, ή ελαιώδη παράγωγα σε υγρή ή στερεή φάση. Τα σταγονίδια αυτά διαχωρίζονται από μία λεπτή μεμβράνη από ελαιώδεις ουσίες πάχους μικρότερου από ένα μm, δημιουργώντας έτσι μεγάλη ελεύθερη επιφάνεια και τις προϋποθέσεις για ακαριαία αντίδραση. Συγχρόνως η μεμβράνη αυτά καθιστά το υλικό ανθεκτικό σε νερό. Η ένταση του κρουστικού κύματος μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη στο μίγμα μικροφυσαλλίδων αέρα (Αγιου-τάντης, 1996).

3.6.6 Άλλα οργανικά και ανόργανα εκρηκτικά

Δύο ισχυρά εκρηκτικά τα οποία διασπώνται εύκολα με μικρή προσφορά ενέργειας και χρησιμοποιούνται κυρίως για την έναυση άλλων εκρηκτικών υλών (πχ. σε εκρηκτικά καψύλλια) είναι:

- a) το αζίδιο του μολύβδου (lead azide) το οποίο αποσυντίθεται σύμφωνα με τη σχέση:



- b) ο κροτικός υδράργυρος (mercury fulminate, βροντώδης υδράργυρος) ο οποίος αποσυντίθεται σύμφωνα με τη σχέση:



Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι οι παρακάτω οργανικές ενώσεις αποτελούν ισχυρά εκρηκτικά που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία και σε ειδικές εφαρμογές:

- a) η TNT (τρινιτροτολουόλη, $\text{C}_6\text{H}_2\text{CH}_3(\text{NO}_2)_3$ ή τροτύλη), με πυκνότητα $1,56 \text{ g/cm}^3$ και ταχύτητα έκρηξης περίπου 6700 m/s
- b) το PETN (pentaerythrotetranitrate, τετρανιτρικός εστέρας του πενταερυθρίτη, $\text{C}(\text{CH}_2\text{ONO}_2)_4$ ή πενθρίτης) με πυκνότητα $1,76 \text{ g/cm}^3$ και ταχύτητα έκρηξης μεγαλύτερη από 7600 m/s
- c) ο πεντολίτης (pentolite), που αποτελείται από ίσα μέρη TNT και PETN με πυκνότητα $1,65 \text{ g/cm}^3$ και ταχύτητα έκρηξης μεταξύ 7300 και 7600 m/s
- d) το RDX (κυκλο-τριμεθυλενο-τρινιτραμίνη, $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6$, κυκλωνίτης ή εξογόνο), με πυκνότητα $1,70 \text{ g/cm}^3$ και ταχύτητα έκρηξης περίπου 8200 m/s
- e) η σύνθεση B (composition B), που αποτελείται από μίγμα RDX και TNT με πυκνότητα $1,65 \text{ g/cm}^3$ και ταχύτητα έκρηξης περίπου 7600 m/s και το

οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς (Αγιουτάντης, 1996).

3.7 Ιδιότητες των εκρηκτικών υλών

Η σωστή επιλογή της κατάλληλης εκρηκτικής ύλης για τις συγκεκριμένες απαιτήσεις μίας υπόγειας ή επιφανειακής εξόρυξης βασίζεται στην αξιολόγηση των διαφόρων ιδιοτήτων των εκρηκτικών υλικών ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του πετρώματος (Αγιουτάντης, 1996).

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 τη γόμωση των διατρημάτων και την ευαισθησία του στις επικρατούσες συνθήκες. Σημειώνεται ότι ο καλύτερος τρόπος 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 όμως η μέθοδος αυτή είναι εξαιρετικά δαπανηρή στην πράξη χρησιμοποιούνται οι δείκτες που προκύπτουν από μικρής κλίμακας πειραματικές δοκιμές ή από θεωρητικά στοιχεία (Αγιουτάντης, 1996).

Οι ακόλουθοι παράγοντες χρησιμοποιούνται συχνά για τη σύγκριση της αποδοτικότητας και καταλληλότητας των διαφόρων εκρηκτικών υλικών:

- α) η ισχύς,
- β) η ταχύτητα έκρηξης (στη σταθερή κατάσταση),
- γ) η παραγόμενη ενέργεια ή θερμότητα,
- δ) η πίεση έκρηξης,
- ε) η πυκνότητα της εκρηκτικής ύλης,
- στ) η ανθεκτικότητα στο νερό και
- ζ) η ευαισθησία

Χαρακτηριστικά στοιχεία σύγκρισης μερικών εκρηκτικών υλικών παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1 (Αγιουτάντης, 1996).

Πίνακας 3.1: Στοιχεία σύγκρισης μερικών εκρηκτικών (Αγιουτάντης, 1996)

Εκρηκτικό Υλικό	Πυκνότητα [g/cm ³]	Ταχύτητα Έκρηξης [m/s]	Θερμότητα Αντίδρασης [kcal/kg]	Πίεση Έκρηξης [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

3.7.1 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 ισχύς για το θρυμματισμό σκληρών πετρωμάτων αφετέρου υπάρχουν σημαντικές απώλειες ενέργειας από την εφαρμογή ισχυρών εκρηκτικών σε μαλακά ή θρυμματισμένα πετρώματα (Αγιουτάντης, 1996).

Στο παρελθόν η ισχύς υπολογιζόταν με βάση τη δοκιμή όλμου (ballistic mortar test), κατά την οποία μετρείται η γωνία απόκλισης ενός εκκρεμούς λόγω έκρηξης 10g εκρηκτικού σε σύγκριση με την έκρηξη 10g κοινής δυναμίτιδας. Επειδή σήμερα υπάρχουν πολλοί τρόποι υπολογισμού της ισχύος ενός εκρηκτικού, θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να αναφέρεται ο τρόπος μέτρησης της ισχύος (Αγιουτάντης, 1996).

Σήμερα οι ισχύεις των διαφόρων εκρηκτικών μπορούν να εκφραστούν είτε με το συντελεστή βάρους ή την ισχύ κατά βάρους (weight strength), είτε με το συντελεστή όγκου ή την ογκομετρική ισχύ (bulk strength) ως προς ένα εκρηκτικό αναφοράς (πχ. ζελατίνη, ANFO). Εξ ορισμού η ισχύς κατά βάρος και η ογκομετρική ισχύς είναι ίσες για πυκνότητα εκρηκτικού ίση με 1,4 g/cm³, δηλαδή με την πυκνότητα των περισσότερων κοινών δυναμίτιδων (Αγιουτάντης, 1996).

Για παράδειγμα, η σουηδική μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του συντελεστή βάρους ενός εκρηκτικού ως προς ένα άλλο εκρηκτικό βασίζεται στη ακόλουθη εξίσωση:

$$s = \frac{1}{6} \frac{V}{V_o} + \frac{5}{6} \frac{Q}{Q_o} \quad [3.5]$$

όπου s	=	ο συντελεστής βάρους (σχετικά με ένα άλλο εκρηκτικό)
Q_0	=	η ενέργεια που εκλύεται κατά την έκρηξη 1 kg από το εκρηκτικό αναφοράς
Q	=	η ενέργεια που εκλύεται κατά την έκρηξη από 1 kg από το εκρηκτικό που αξιολογείται
V_0	=	ο όγκος των αερίων που εκλύεται από 1 kg από το εκρηκτικό αναφοράς
V	=	ο όγκος αερίων που εκλύεται από 1 kg από το Εκρηκτικό που αξιολογείται

Ο πίνακας 3.2 παρουσιάζει τους συντελεστές βάρους (ως προς τρία διαφορετικά εκρηκτικά) που υπολογίστηκαν για μερικά άλλα εκρηκτικά υλικά (Αγιουτάντης, 1996).

Άλλες μέθοδοι εκτίμησης της ισχύος ενός εκρηκτικού περιλαμβάνουν α) το θεωρητικό υπολογισμό της εκλυόμενης ενέργειας, β) το θεωρητικό υπολογισμό του έργου εκτόνωσης, γ) τη μέτρηση του κρουστικού παλμού και της ενέργειας των εκλυόμενων αερίων σε πειράματα κάτω από νερό (underwater shock and bubble energy), δ) τη μέτρηση του κρουστικού κύματος και του τασικού παλμού σε στερεά (shock wave impulse and stress waves), ε) δοκιμές κρατήρα (crater tests), ζ) δοκιμές σε σώματα από μόλυβδο (πχ. Trauzl lead block test, Crucher test, Gutmann test), κλπ (Αγιουτάντης, 1996).

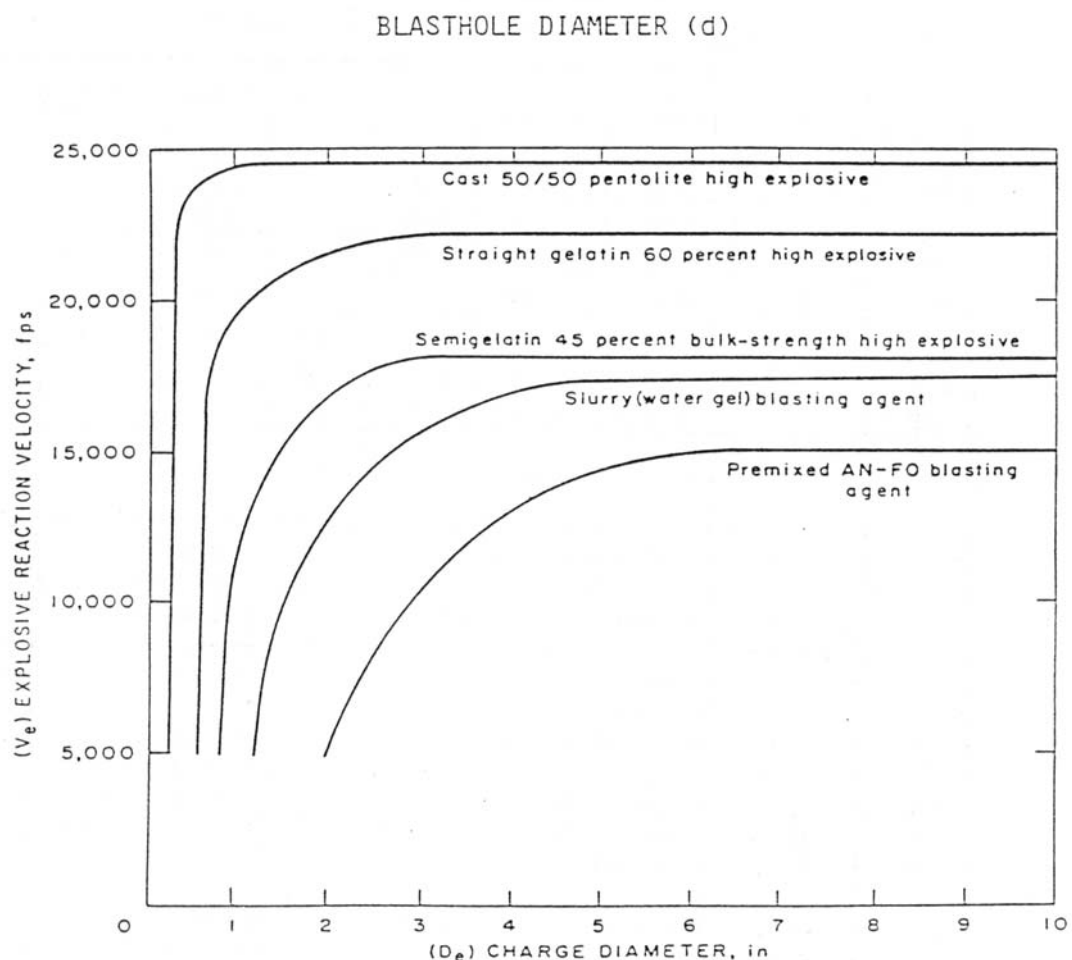
Πίνακας 3.2: Συντελεστής βάρους κατά τη Σουηδική μέθοδο (Αγιουτάντης 1996)

Εκρηκτικό Υλικό (τύπος ή εμπορικό όνομα)	Q [MJ/kg]	V [m ³ /kg]	s_{LFB}	s_{DXB}	s_{ANFO}	Πυκνότητα [g/cm ³]
Δυναμίτιδα LFB	5.00	0.850	1.00	1.09	1.19	
Dynamex B (DXB)	4.60	0.765	0.92	1.00	1.19	1.45
ANFO	3.92	0.973	0.84	0.91	1.00	0.90
TNT	4.10	0.690	0.82	0.89	0.98	1.59
PETN	6.12	0.780	1.17	1.27	1.39	
NABIT	4.10	0.892	0.86	0.93	1.02	1.00
GURIT	3.73	0.425	0.71	0.77	0.85	1.00

3.7.2 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/s έως 7600 m/s (5000 ft/s έως 25000 ft/s) (Αγιουτάντης, 1996).

Η ταχύτητα έκρηξης εξαρτάται από τη διάμετρο, το βαθμό περιορισμού, τον τρόπο έναυσης του εκρηκτικού και την πυκνότητα γόμωσης. Γενικά όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος του εκρηκτικού τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα έκρηξης. Αυτό ισχύει μέχρι να επιτευχθούν υδροδυναμικές συνθήκες (hydrodynamic conditions), οπότε επιτυγχάνεται η μέγιστη ταχύτητα έκρηξης για δεδομένη πυκνότητα εκρηκτικού (Αγιουτάντης, 1996).



Σχήμα 3.3: Μεταβολή της ταχύτητας έκρηξης μερικών εκρηκτικών με τη διάμετρο διατρήματος (Αγιουτάντης, 1996)

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 από τη διάμετρο του διατρήματος. Το σχήμα 3.3 παρουσιάζει τη μεταβολή της ταχύτητας έκρηξης διαφόρων εκρηκτικών υλών που υπάρχουν στο εμπόριο σαν συνάρτηση της διαμέτρου 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. Στον πίνακα 3.3 δίνονται χαρακτηριστικές τιμές ταχυτήτων έκρηξης για μερικές εκρηκτικές ύλες σε διάφορες διαμέτρους (Αγιουτάντης, 1996).

Ο βαθμός περιορισμού αναφέρεται στο πόσο περιορισμένη (confinement) είναι μια ποσότητα εκρηκτικού από πλευρικές πιέσεις (πχ. βάρος υπερκείμενης στήλης, τρόπος γόμωσης, κλπ.) 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 (Αγιουτάντης, 1996).

Πίνακας 3.3: Ταχύτητες έκρηξης για διάφορες διαμέτρους διατρημάτων (Αγιουτάντης, 1996)

Εκρηκτικό υλικό	Διάμετρος 1 ¼"		Διάμετρος 3"		Διάμετρος 9"	
	Ταχύτητα (x 1000)					
	M/s	Ft/s	M/s	Ft/s	M/s	Ft/s
Δυναμίτιδα	2,1-5,8	7-19				
Ζελατίνη	3,7-7,6	12-25				
Εκρ. Υγρής φάσης (φυσίγγια)	4,0-4,6	13-15	4,3-4,9	14-16		
Εκρ. Υγρής φάσης (χύδην)			4,3-4,9	14-16	3,7-5,8	12-19
ANFO (πνευματική γόμωση)	2,1-3,0	7-10	3,7-4,0	12-13	4,3-4,6	14-15
ANFO (χύδην)	1,8-2,1	6-7	3,0-3,3	10-11	4,3-4,6	14-15
ANFO (φυσίγγια)			3,0-3,7	10-12	4,3-4,6	14-15

Η επιλογή του κατάλληλου ενισχυτικού εναύσματος συνεπάγεται τη γρηγορότερη ανάπτυξη της μέγιστης ταχύτητας έκρηξης για τις δεδομένες συνθήκες. Αν ο αρχικός κρουστικός παλμός δεν είναι αρκετά ισχυρός τότε ενδέχεται να σταματήσει η έκρηξη ή η έκρηξη να εκφυλιστεί σε ανάφλεξη (Αγιουτάντης, 1996).

Όταν η ταχύτητα έκρηξης είναι υψηλή, τότε η εκρηκτική ύλη χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη διαρρηκτικότητα και τα κρουστικά φαινόμενα (shattering effects) 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 (high brisance explosives) χαρακτηρίζονται από ταχύτητα έκρηξης μεγαλύτερη από 5000 m/s, ενώ υλικά με χαμηλή διαρρηκτική ικανότητα χαρακτηρίζονται από ταχύτητα έκρηξης μικρότερη από 2500 m/s (Αγιουτάντης, 1996).

3.7.3 Εκλυόμενη ενέργεια

Η ενέργεια που εκλύεται κατά την αποσύνθεση μίας εκρηκτικής ύλης είναι συνάρτηση της χημικής σύνθεσης του υλικού και των αντιδράσεων που γίνονται στις επιτόπου συνθήκες. Η απόδοση ενός εκρηκτικού δεν εξαρτάται μόνο από τη συνολική ενέργεια που εκλύεται, αλλά από το ρυθμό έκλυσης της ενέργειας και τον τρόπο χρησιμοποίησης της ενέργειας αυτής για τη θραύση ή/και μετατόπιση του πετρώματος. Επομένως το μέγεθος της εκλυόμενης ενέργειας αποτελεί ένα επιπλέον κριτήριο εκτίμησης της ισχύος ενός εκρηκτικού που ενδεχομένως είναι καλύτερο από τους αντίστοιχους συντελεστές βάρους (Αγιουτάντης, 1996).

Η ενέργεια που εκλύεται από την αποσύνθεση ενός εκρηκτικού μπορεί να προσδιορισθεί με τους ακόλουθους τρόπους:

Δοκιμές κάτω από το νερό: οι δοκιμές αυτές βασίζονται στη υπόθεση ότι η κρουστική ενέργεια (sock energy) που εκλύεται λόγω έκρηξης που γίνεται κάτω από νερό αποτελεί μέτρο της διαρρηκτικής (shattering action) ενός εκρηκτικού, ενώ η αντίστοιχη ενέργεια ώθησης (bubble energy) αποτελεί μέτρο της ικανότητας του εκρηκτικού να μετατοπίσει το θραυσμένο υλικό (heaving). Η κρουστική ενέργεια προκύπτει από τον υπολογισμό της επιφάνειας σε ένα διάγραμμα πίε-

σης συναρτήσει του τετραγώνου του χρόνου, που μετρείται σε δεδομένη απόσταση από το σημείο της έκρηξης. Η ενέργεια ώθησης μετρείται από το χρόνο που πέρασε μέχρι την πρώτη υποχώρηση της φουσαλίδας που δημιουργείται κατά τη δοκιμή.

Θεωρητικά εκλυόμενη ενέργεια: είναι η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που απαιτείται για τη σύνθεση των προϊόντων της έκρηξης και της ενέργειας που απαιτείται για τη σύνθεση του εκρηκτικού υλικού. Σημειώνεται ότι η ενέργεια αυτή αναφέρεται σε ατμοσφαιρική πίεση. Όταν εξετάζεται η ενέργεια που παρέχεται στη στιγμή της έκρηξης, τότε πρέπει να ληφθεί υπόψη το έργο που προσφέρουν τα αέρια προϊόντα καθώς εκτονώνονται από την πίεση και θερμοκρασία της έκρηξης σε ατμοσφαιρικές συνθήκες (Αγιουτάντης, 1996).

Σημειώνεται επίσης η χρήση του δείκτη της απόλυτης ισχύος ενός εκρηκτικού (absolute strength value, ASV) ο οποίος εκφράζει την ενέργεια (Joule) που παράγεται από 0,1 kg εκρηκτικής ύλης. Οι ενεργειακές μέθοδοι εκτίμησης της ισχύος ενός εκρηκτικού μειονεκτούν κατά το ότι δεν περιλαμβάνουν ένα μέτρο της διαρρηκτικής ικανότητας ή «θραυστικότητας» (brisance) του εκρηκτικού που συνδέεται με την πίεση έκρηξης (Αγιουτάντης, 1996).

3.7.4 Πίεση έκρηξης

Η πίεση έκρηξης (detonation pressure) είναι η πίεση του κρουστικού κύματος που προηγείται από τη ζώνη χημικής αντίδρασης. Το μέγεθος της παραμέτρου αυτής που κυμαίνεται από 5 έως 150 kbar (500 έως 15000 Mpa) είναι καθοριστικό για την αποτελεσματικότητα του εκρηκτικού υλικού και τον τρόπο θραύσης του πετρώματος. Σημειώνεται ότι η πίεση έκρηξης είναι συνάρτηση της πυκνότητας του εκρηκτικού, της ταχύτητας έκρηξης και την μοριακής ταχύτητας του υλικού (particle velocity). Στα συμπυκνωμένα εκρηκτικά η μοριακή ταχύτητα είναι περίπου το ένα τέταρτο της ταχύτητας έκρηξης. Η πίεση έκρηξης είναι δυνατόν να υπολογισθεί από διάφορες εμπειρικές εξισώσεις:

Εξίσωση κατά Brown:

$$P = 4.18 \cdot 10^{-7} C^2 \frac{\rho}{1 + 0.80\rho} \quad [3.6]$$

όπου P είναι η πίεση έκρηξης σε kbar (1bar = 14.504 psi = 0.1 Mpa), ρ είναι η πυκνότητα σε g/cm³ και C είναι η ταχύτητα έκρηξης σε ft/s.

Εξίσωση κατά Dupont:

$$P = 2.5 \cdot 10^{-6} \rho D^2 \quad [3.7]$$

όπου P είναι η πίεση έκρηξης σε kbar, ρ είναι η πυκνότητα σε g/cm³ και D είναι η ταχύτητα έκρηξης σε m/s.

Εξίσωση κατά Atlas:

$$P = 2.325 \cdot 10^{-7} \rho C^2 \quad [3.8]$$

όπου P είναι η πίεση έκρηξης σε kbar, ρ είναι η πυκνότητα σε g/cm³ και C είναι η ταχύτητα έκρηξης σε ft/s (Αγιουτάντης, 1996).

3.7.5 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 την θεωρητική ποσότητα του εκρηκτικού που τοποθετείται σε δεδομένο διάτρημα. Σε εκρηκτικά υλικά που διατίθενται χύδην διακρίνεται η πυκνότητα γόμωσης (bulk, loading density) που είναι η τελική πυκνότητα του υλικού μετά την γόμωση του διατρήματος. Η πυκνότητα γόμωσης εξαρτάται από τον τρόπο γόμωσης (πχ. χύδην, πνευματικά, με την βαρύτητα, κλπ.), 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 φυσιγγία (cartridge) (Αγιουτάντης, 1996).

Πίνακας 3.4: Πυκνότητες μερικών εκρηκτικών υλών (Αγιουτάντης, 1996)

Εκρηκτικό υλικό	Πυκνότητα [g/cm ³]
Δυναμίτιδα	0,8 – 1,4
Ζελατίνη	1,0 – 1,7
Εκρηκτικά υγρής φάσης (φυσιγγία)	1,1 – 1,3
Εκρηκτικά υγρής φάσης (χύδην)	1,1 – 1,6
ANFO (πνευματική γόμωση)	0,8 – 1,0
ANFO (χύδην)	0,80 – 0,85
ANFO (φυσιγγία)	1,1 – 1,2

Για την καλύτερη θραύση του πετρώματος όταν το φορτίο είναι μεγάλο, απαιτείται η χρήση εκρηκτικών με μεγάλη πυκνότητα, ενώ όταν το πέτρωμα είναι μαλακό ή προτιμάται μία ομαλότερη κατανομή της ενέργειας του εκρηκτικού συνιστάται η χρήση εκρηκτικών με χαμηλή πυκνότητα. Η πυκνότητα των εκρηκτικών κυμαίνεται από 0,8 έως 1,6 g/cm³. Αν το εκρηκτικό έχει χαμηλότερη πυκνότητα από το νερό (1 g/cm³), τότε επιπλέει με συνέπεια να είναι δύσκολη η γόμωσή του σε υγρά διατρήματα (Αγιουτάντης, 1996).

Στην περίπτωση των δυναμίτιδων αύξηση της πυκνότητας συνεπάγεται και αύξηση της προσφερόμενης ενέργειας το οποίο όμως δεν συμβαίνει στην περίπτωση εκρηκτικών υγρής φάσης. Ο πίνακας 3.4 παρουσιάζει τυπικές τιμές πυκνότητας για μερικές εκρηκτικές ύλες οι οποίες γομώνονται χύδην ή σε φυσίγγια (Αγιουτάντης, 1996).

Υπερβολική αύξηση της πυκνότητας ενός εκρηκτικού επιφέρει σημαντική μείωση της ευαισθησίας του. Όταν ένα εκρηκτικό φτάσει ή υπερβεί την κρίσιμη πυκνότητα (critical density), τότε δεν είναι δυνατόν να εναυθεί ακόμα και με ισχυρά ενισχυτικά εναύσματα. Η κατάσταση στην υπερσυμπύεση των εκρηκτικών είναι μεν ανεπιθύμητη αλλά μπορεί όμως να δημιουργηθεί σε όλα τα εκρηκτικά που αποτελούνται από κόκκους (κοκκώδη, granular explosives). Πρακτικά αυτό μπορεί να συμβεί σε μίγματα ANFO όταν οι υπερβολικές πιέσεις που δημιουργούνται σε γειτονικά διατρήματα συμπυκνώσουν το ANFO που βρίσκεται σε μη ενεργοποιημένα διατρήματα, τόσο ώστε να μην είναι δυνατή η έναυσή του (Αγιουτάντης, 1996).

3.7.6 Ανθεκτικότητα στο νερό

Η ανθεκτικότητα στο νερό (water resistance) ενός εκρηκτικού εκφράζει τη δυνατότητά του να εκραγεί κάτω από υγρές συνθήκες, ή ισοδύναμα, την ικανότητά του να εμποδίσει την είσοδο του νερού μέσα 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 εκραγεί από εκρηκτικό καψύλλιο ισχύος No.6 (Αγιουτάντης, 1996).

Ο πίνακας 3.5 παρουσιάζει μία ταξινόμηση των εκρηκτικών σε κλάσεις ανάλογα με την ανθεκτικότητά τους στο νερό, ενώ ο πίνακας 3.6 παρουσιάζει ποιοτικά την ανθεκτικότητα μερικών εκρηκτικών (Αγιουτάντης, 1996).

Πίνακας 3.5: Ταξινόμηση των εκρηκτικών ανάλογα με την ανθεκτικότητά τους στο νερό (Αγιουτάντης, 1996)

Κλάση	1	2	3	4	5	6	7
Χρόνος (ώρες)	>71	32-71	16-31	8-15	4-7	1-3	<1

Πίνακας 3.6: Ανθεκτικότητα στο νερό μερικών εκρηκτικών (Αγιουτάντης, 1996)

Εκρηκτικό Υλικό	Συμπεριφορά κάτω από υγρές συνθήκες
Δυναμίτιδα	μέτρια – καλή
Ζελατίνη	καλή – άριστη
Εκρηκτικά υγρής φάσης (φυσίγγια)	πολύ καλή
Εκρηκτικά υγρής φάσης (χύδην)	πολύ καλή
ANFO (πνευματική γόμωση)	μέτρια
ANFO (χύδην)	μέτρια
ANFO (φυσίγγια)	πολύ καλή

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 έχουν 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, 1996).

Για την αποφυγή των προβλημάτων αυτών συνιστάται α) η πυροδότηση των λιγότερο ανθεκτικών στο νερό εκρηκτικών αμέσως μετά τη γόμωση, β) η χρήση ισχυρότερων ενισχυτικών εναυσμάτων όπου είναι δυνατόν και γ) η διατήρηση της συσκευασίας του εκρηκτικού σε καλή κατάσταση (προκειμένου για φυσίγγια) (Αγιουτάντης, 1996).

3.7.7 Ευαισθησία

Ο όρος ευαισθησία (sensitivity) χρησιμοποιείται κατά δύο κυρίως τρόπους. Ο πρώτος αναφέρεται κυρίως στην ευαισθησία έναυσης του εκρηκτικού, δηλαδή στην ελάχιστη ενέργεια (κρουστική, θερμική, τριβής, κλπ.) που απαιτείται για το σκοπό αυτό και στην ευαισθησία διάδοσης της έκρηξης. Ο δεύτερος

αναφέρεται στο πόσο επικίνδυνο (ευαίσθητο) είναι ένα εκρηκτικό όσο αναφορά την παρασκευή, μεταφορά, αποθήκευση, κλπ (Αγιουτάντης, 1996).

Η ευαισθησία έναυσης (initiation sensitivity) ενός εκρηκτικού αναφέρεται στο πόσο εύκολα αυτό είναι δυνατόν να ενεργοποιηθεί. Οι περισσότερες εκρηκτικές ύλες μπορούν να εναυθούν χρησιμοποιώντας ένα απλό εκρηκτικό καψύλλιο ισχύος No.6. Στην περίπτωση των εκρηκτικών μέσων η ευαισθησία εκφράζεται σαν το ελάχιστο ενισχυτικό έναυσμα (booster) ή τον ελάχιστο αριθμό εκρηκτικών καψυλλίων ισχύος No.6 που απαιτείται για την έναυσή τους. Σημειώνεται ότι οι κατασκευαστές εκρηκτικών υλών εκφράζουν συνήθως την ευαισθησία από την ελάχιστη ισχύ ενός εκρηκτικού καψυλλίου που προκαλεί έναυση της εκρηκτικής ύλης (Αγιουτάντης, 1996).

Η ευαισθησία διάδοσης της έκρηξης (propagation sensitivity) αναφέρεται στην ικανότητα του εκρηκτικού να διατηρήσει 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 (Αγιουτάντης, 1996).

Η ευαισθησία διάδοσης διαμέσου κενών αέρα (gap sensitivity) αναφέρεται στο πόσο εύκολα μπορεί να ενεργοποιηθεί ένα εκρηκτικό που γομώθηκε σε φυσίγγια και προσδιορίστηκε από το μήκος του κενού ανάμεσα από τα δύο γειτονικά φυσίγγια εκρηκτικού στο ίδιο διάτρημα. Επίσης συνδέεται και με την απόσταση μεταξύ διατρημάτων σε περιπτώσεις όπου εφαρμόζεται η συμπαθητική ενεργοποίηση (sympathetic detonation) γειτονικών διατρημάτων. Το φαινόμενο της συμπαθητικής έκρηξης αφορά κυρίως εκρηκτικές ύλες μεγάλης διαρρηκτικής ικανότητας (Αγιουτάντης, 1996).

Πίνακας 3.7: Επικινδυνότητα και ευαισθησία έναυσης για μερικά εκρηκτικά (Αγιουτάντης, 1996)

Εκρηκτικό υλικό	Επικινδυνότητα	Ευαισθησία έναυσης
Δυναμίτιδα	μέτρια – υψηλή	άριστη
Ζελατίνη	μέτρια	άριστη
Εκρηκτικά υγρής φάσης (φυσίγγια)	χαμηλή	καλή – πολύ καλή
Εκρηκτικά υγρής φάσης (χύδην)	χαμηλή	καλή – πολύ καλή
ANFO (πνευματική γόμωση)	χαμηλή	μέτρια – καλή
ANFO (χύδην)	χαμηλή	μέτρια – καλή
ANFO (φυσίγγια)	χαμηλή	καλή – πολύ καλή

Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ της ισχύος μίας εκρηκτικής ύλης και της ευαισθησίας της, αλλά σε γενικές γραμμές όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς τόσο μεγαλύτερη είναι και η ευαισθησία (Αγιουτάντης, 1996).

Ο πίνακας 3.7 παρουσιάζει μία ποιοτική εκτίμηση της ευαισθησίας μερικών εκρηκτικών υλών. Συγκεκριμένα συγκρίνεται η ευαισθησία ενός εκρηκτικού σε τυχαία έναυση (επικινδυνότητα) με την ευαισθησία ενεργοποίησης του εκρηκτικού σε ένα διάτρημα (Αγιουτάντης, 1996).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΣΕ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ-ΑΝΑΤΙΝΑΞΗΣ

4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται θεωρητική αναφορά στον τρόπο υπολογισμού των διαφόρων παραμέτρων και συντελεστών μιας ανατίναξης, στη μελέτη δονήσεων του εδάφους καθώς και στη προστασία των κατασκευών από τις προκαλούμενες από τις ανατινάξεις δονήσεις. Επιπροσθέτως αναφέρεται και επεξηγείται με παραδείγματα ο τρόπος που αντιμετωπίζονται τα προβλήματα αυτά με τη χρήση του προγράμματος WinBlast.

4.2 Καθορισμός του φορτίου σε εξορύξεις βαθμίδων

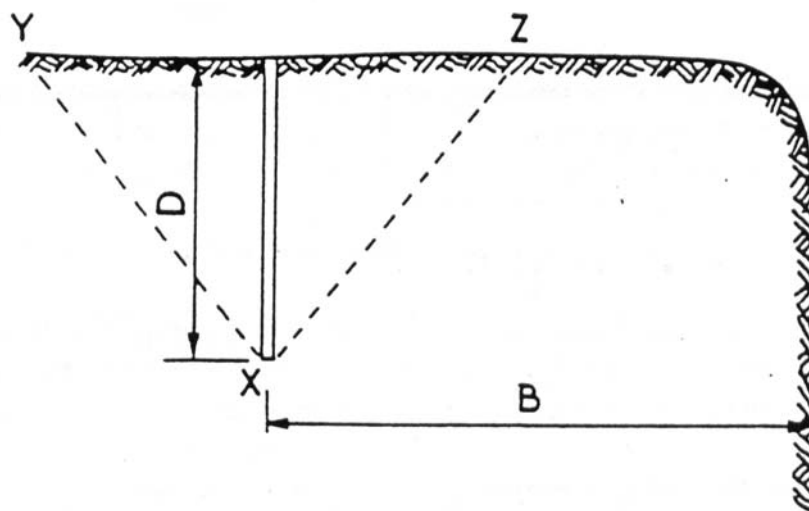
Το φορτίο ορίζεται από την απόσταση από ένα διάτρημα μέχρι την πλησιέστερη ελεύθερη επιφάνεια. Για τον σωστό υπολογισμό του φορτίου πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ιδιότητες του πετρώματος και του εκρηκτικού, η ποσότητα του εκρηκτικού καθώς και η γεωμετρία του διατρήματος (Αγιουτάντης, 1996).

Θεωρώντας τη περίπτωση όπου το βάθος του διατρήματος είναι μικρότερο από το φορτίο (σχήμα 4.1), τότε το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία κρατήρα. Στην περίπτωση όπου το βάθος του διατρήματος είναι ίσο με το φορτίο (σχήμα 4.2), τότε αν το εκρηκτικό είναι αρκετά δυνατό, το πέτρωμα είναι δυνατόν να σπάσει κατά μήκος ευθείας με κλίση 45° ως προς την οριζόντιο αλλιώς μπορεί να δημιουργηθεί κρατήρας γύρω από το διάτρημα. Το σχήμα 4.3 παρουσιάζει τις περιπτώσεις όπου το μήκος του διατρήματος είναι μικρότερο και ίσο με το ύψος της βαθμίδας (και σαφώς μεγαλύτερο από το φορτίο). Το σχήμα 4.4α παρουσιάζει τη διάδοση του κρουστικού παλμού από τη σημειακή έκρηξη στον πυθμένα του διατρήματος, όπου παρατηρείται ότι μέρος μόνο του παλμού θα ανακλαστεί στην ελεύθερη επιφάνεια. Το εκρηκτικό πρέπει να είναι αρκετά ισχυρό για να θραύσει το πέτρωμα και να δημιουργήσει το νέο πάτωμα της βαθμίδας. Σε αντίθετη περίπτωση (σχήμα 4.4β) παραμένει το λεγόμενο πόδι της βαθμίδας (toe), το οποίο δυσχεραίνει σημαντικά τη διαδικασία αποκομιδής και επομένως πρέπει

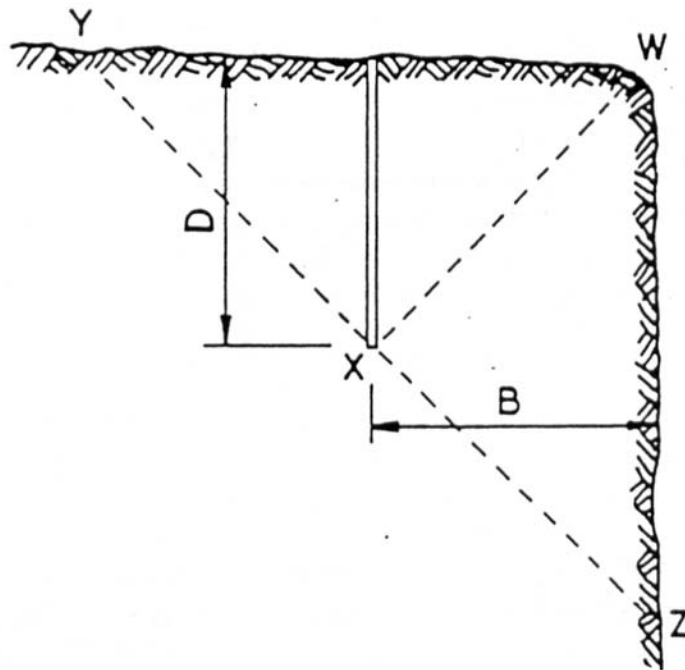
να εξορυχτεί σε δεύτερη φάση αυξάνοντας έτσι το συνολικό κόστος εξόρυξης (Αγιουτάντης, 1996).

Τα τελευταία χρόνια έχει ευρεία εφαρμογή η όρυξη κεκλιμένων διατρημάτων (παράλληλων προς το μέτωπο της βαθμίδας) τα οποία δημιουργούν τις προϋποθέσεις για α) καλύτερο θρυμματισμό, β) μειωμένα προβλήματα στη βάση της βαθμίδας λόγω καλύτερης ανάκλασης του κρουστικού κύματος, γ) καλύτερη διαμόρφωση του νέου μετώπου, δ) μείωση της κατανάλωσης εκρηκτικών, κλπ (σχήμα 4.5). Τα μειονεκτήματα από την όρυξη κεκλιμένων διατρημάτων είναι ότι α) το μήκος του είναι μεγαλύτερο από τα κατακόρυφα (για ορισμένο ύψος βαθμίδας), β) δημιουργούνται προβλήματα παρέκκλισης του διατρήματος από την επιθυμητή πορεία (ευθυγράμμιση), γ) παρατηρείται εκτόξευση τεμαχίων σε μεγαλύτερη απόσταση και δ) γενικά παρουσιάζουν μεγαλύτερη δυσκολία στην όρυξή τους (Αγιουτάντης, 1996).

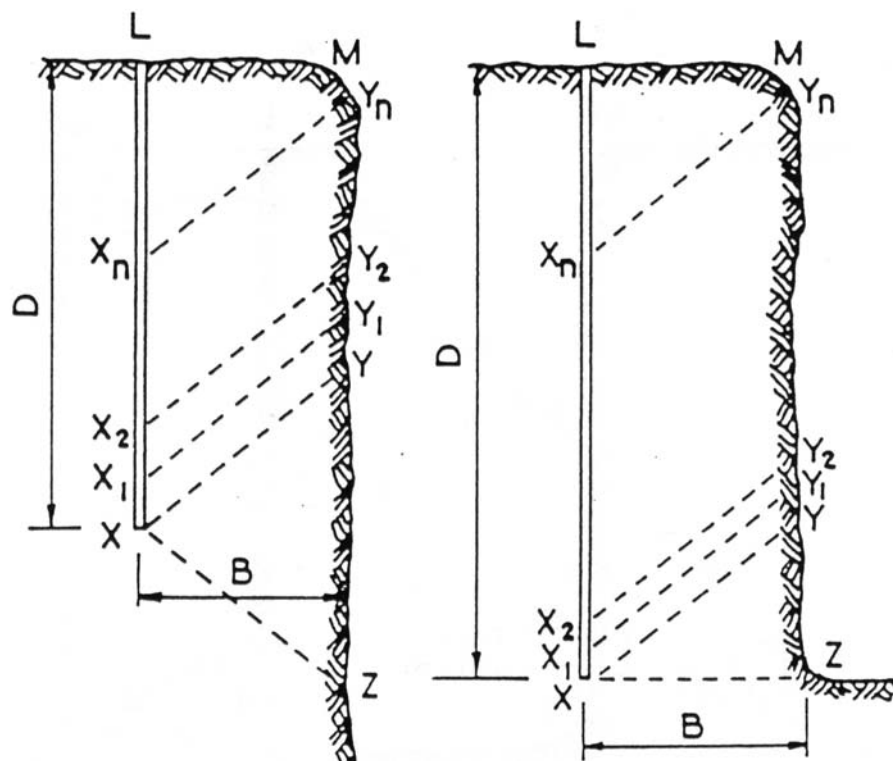
Επειδή ο καθορισμός του φορτίου βασίζεται κατά μεγάλο μέρος στη εμπειρία, στην συνέχεια αναπτύσσονται οι εμπειρικές εξισώσεις που έχουν προταθεί από διάφορους ερευνητές. Σημειώνεται ότι το φορτίο που υπολογίζεται από την πλειοψηφία των μεθόδων αυτών είναι το ενεργό φορτίο, δηλαδή το φορτίο που αντιστοιχεί σε κάθε διάτρημα σύμφωνα με τη γεωμετρία και το χρόνο ανατίναξης και όχι μόνο σύμφωνα με τη γεωμετρία (Αγιουτάντης, 1996).



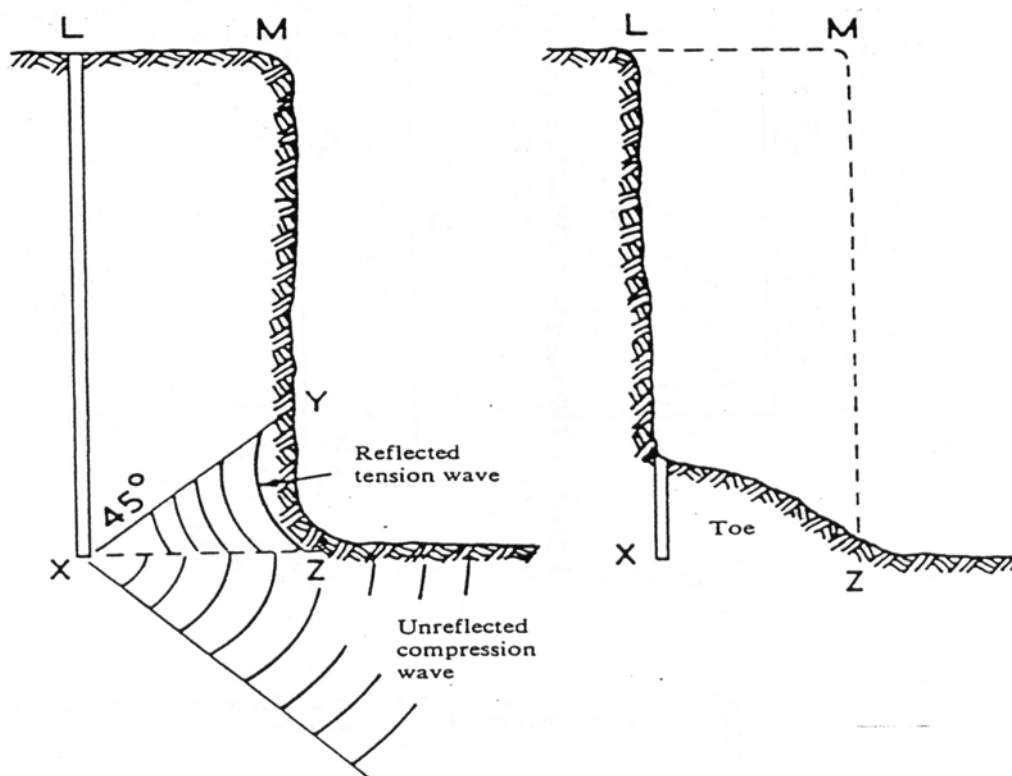
Σχήμα 4.1: Γεωμετρία διατρημάτων όπου το μήκος της εκρηκτικής στήλης είναι μικρότερο από το φορτίο (Αγιουτάντης, 1996)



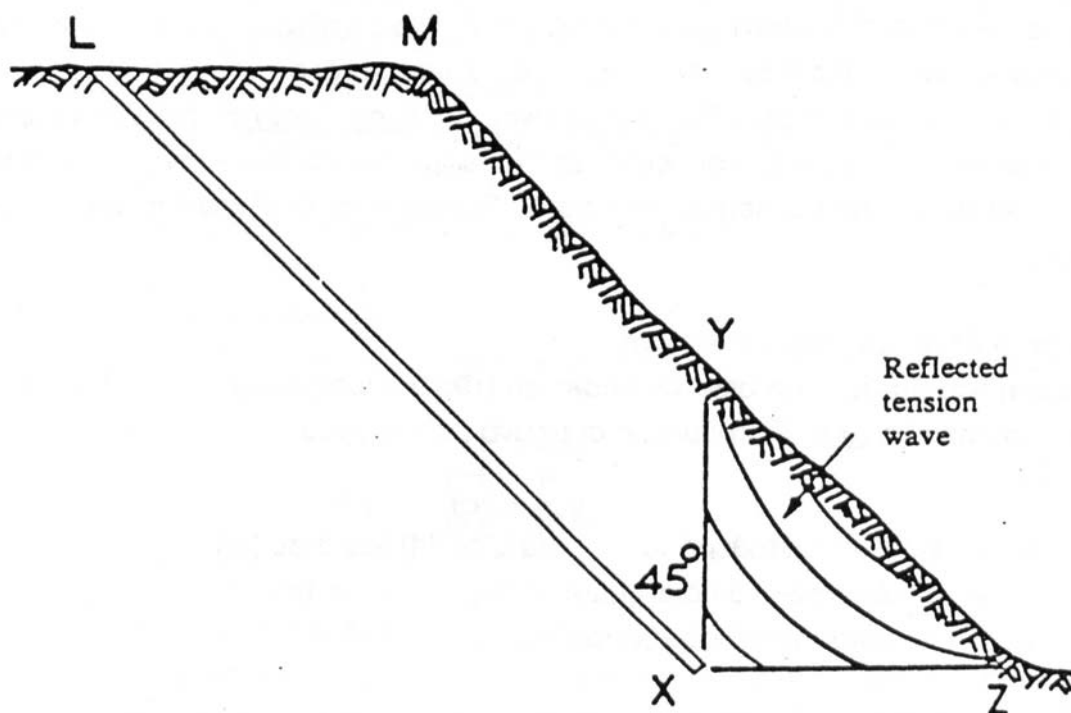
Σχήμα 4.2: Γεωμετρία διατρημάτων όπου το μήκος του διατρήματος (μέγιστο βάθος γόμωσης) είναι ίσο με το φορτίο (Αγιουτάντης, 1996).



Σχήμα 4.3: Γεωμετρία διατρημάτων όπου το μήκος του διατρήματος είναι μικρότερο ή ίσο από το ύψος της βαθμίδας (Αγιουτάντης, 1996)



Σχήμα 4.4: α) Διάδοση του κρουστικού παλμού από σημειακή έκρηξη στον πυθμένα του διατρήματος
β) σχηματισμός του «ποδιού» της βαθμίδας λόγω αδυναμίας του εκρηκτικού (Αγιουτάντης, 1996)



Σχήμα 4.5: Όρυξη κεκλιμένων διατρημάτων (Αγιουτάντης, 1996)

4.2.1 Εμπειρική εξίσωση του Anderson

Η εξίσωση που προτείνεται από τον Anderson (1952) προσδιορίζει το φορτίο, που αντιστοιχεί στην ανατίναξη ενός διατρήματος σύμφωνα με τη σχέση:

$$B = c\sqrt{dL} \quad [4.1]$$

όπου c = εμπειρική σταθερά ($c = 1$, για L σε [ft] και d σε [in])

d = η διάμετρος του διατρήματος [in]

L = το μήκος του διατρήματος [ft]

Τα μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι α) αντιστοιχεί στην ανατίναξη ενός διατρήματος, β) δεν λαμβάνει υπόψη τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας, γ) δε λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά του κάθε εκρηκτικού και δ) η τιμή της σταθεράς c μεταβάλλεται για ισχυρά εκρηκτικά. Παρόλα αυτά η μέθοδος είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί σαν πρώτη προσέγγιση στον σχεδιασμό μιας ανατίναξης. (Αγιουτάντης, 1996)

Στο σχήμα 4.6 φαίνεται η φόρμα του προγράμματος WinBlast όπου υπολογίζεται το φορτίο σύμφωνα με την εμπειρική εξίσωση του Anderson. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει χρησιμοποιηθεί διάμετρος διατρήματος $d = 4$ in (10,16 cm) και μήκος διατρήματος $L = 30$ ft (9,14 m). Εξακρίβωση της ορθότητας του αποτελέσματος μπορεί να γίνει από την σχέση [4.1], από την οποία με αντικατάσταση προκύπτει:

$$B = 1 \times \sqrt{4 \times 30} = 10,95 \text{ ft} \quad [4.2]$$

Εμπειρική Εξίσωση του Anderson

Εισαγωγή Δεδομένων

Διάμετρος Διατρήματος: 4 in 10.16 cm

Μήκος Διατρήματος: 30 ft 9.14 m

Αποτελέσματα

Φορτίο: 10.95 ft 3.34 m

Help Cancel OK

Σχήμα 4.6: Φόρμα εισαγωγής δεδομένων για τον υπολογισμό του φορτίου με βάση την εμπειρική εξίσωση του Anderson

4.2.2 Εμπειρική εξίσωση του Ash

Ο Ash (1963) πρότεινε την ακόλουθη εμπειρική εξίσωση για τον υπολογισμό του ενεργού φορτίου (Αγιουτάντης, 1996):

$$B_{eff} = K_B \frac{d_e}{12} \quad [4.3]$$

όπου B_{eff} = το ενεργό φορτίο [ft]
 d_e = διάμετρος της εκρηκτικής στήλης [in]
 K_B = συντελεστής φορτίου (burden ratio) που κυμαίνεται από 25 έως 35 ανάλογα με το εκρηκτικό που χρησιμοποιείται και με τα χαρακτηριστικά του πετρώματος

Ο συντελεστής φορτίου μπορεί να υπολογιστεί με βάση τις ακόλουθες παραδοχές (Αγιουτάντης, 1996):

K_B = 25 για εκρηκτικά χαμηλού ειδικού βάρους (ANFO)
 K_B = 30 για εκρηκτικά μέσου ειδικού βάρους (δυναμίτιδα) πχ. εκρηκτικά πυκνότητας 1,3 και ταχύτητας 3700 m/s (12000 ft/s)
 K_B = 35 για εκρηκτικά υψηλής πυκνότητας (ζελατίνες, εκρηκτικά υγρής φάσης)

Για περιπτώσεις όπου τα χαρακτηριστικά των εκρηκτικών ή/και του πετρώματος είναι διαφορετικά τότε ο συντελεστής K_B υπολογίζεται με βάση τη σχέση (Αγιουτάντης, 1996):

$$K_B = 30 \left[\frac{\gamma_0}{\gamma_r} \right]^{\frac{1}{3}} \left[\frac{\rho_1 V_1^2}{\rho_0 V_0^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad [4.4]$$

όπου γ_0 = το ειδικό βάρος του πετρώματος αναφοράς (2,57 g/cm³)
 γ_r = το ειδικό βάρος του πετρώματος που εξορύσσεται
 $\rho_0 V_0$ = οι παράμετροι (πυκνότητα, ταχύτητα) του εκρηκτικού αναφοράς ($\rho_0 = 1,3$ g/cm³, $V_0 = 12000$ ft/s)
 $\rho_1 V_1$ = οι παράμετροι ανατίναξης (πυκνότητα, ταχύτητα) του εκρηκτικού που χρησιμοποιείται

Στο σχήμα 4.7 φαίνεται η φόρμα του προγράμματος WinBlast όπου υπολογίζεται το ενεργό φορτίο με βάση την εμπειρική εξίσωση του Ash. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει χρησιμοποιηθεί διάμετρος εκρηκτικής ύλης $d_e = 4$ in (10,16 cm) και συντελεστής φορτίου $K_B = 30$. Εξακρίβωση της ορθότητας του

αποτελέσματος μπορεί να γίνει από τη σχέση [4.3], από την οποία με αντικατάσταση προκύπτει:

$$B_{eff} = 30 \times \frac{4}{12} = 10 \text{ ft} \quad [4.5]$$

Στο σχήμα 4.8 φαίνεται η φόρμα του προγράμματος WinBlast όπου υπολογίζεται ο συντελεστής φορτίου K_B με βάση τη σχέση [4.4]. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει χρησιμοποιηθεί ειδικό βάρος πετρώματος αναφοράς $\gamma_0 = 2,57 \text{ g/cm}^3$, ειδικό βάρος εξορυσσόμενου πετρώματος $\gamma_r = 2,7 \text{ g/cm}^3$, πυκνότητα εκρηκτικού αναφοράς $1,3 \text{ g/cm}^3$, πυκνότητα χρησιμοποιούμενου εκρηκτικού $1,2 \text{ g/cm}^3$, ταχύτητα εκρηκτικού αναφοράς 3700 m/s και ταχύτητα χρησιμοποιούμενου εκρηκτικού 3100 m/s . Εξακρίβωση της ορθότητας του αποτελέσματος μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας τη σχέση [4.4], από την οποία με αντικατάσταση προκύπτει:

$$K_B = 30 \times \left[\frac{2,57}{2,7} \right]^{\frac{1}{3}} \times \left[\frac{1,2 \times 3100^2}{1,3 \times 3700^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 30 \times 0,984 \times 0,865 = 25,53 \quad [4.6]$$

Στην εξίσωση [4.6] όπως φαίνεται υπάρχει διαφορά στο αποτέλεσμα (στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο 25,53 και 25,54) που δίνει το πρόγραμμα από αυτό που προκύπτει από αντικατάσταση. Αυτό συμβαίνει λόγω των διαφόρων στρογγυλοποιήσεων που πραγματοποιεί το πρόγραμμα.

Σχήμα 4.7: Φόρμα εισαγωγής δεδομένων για τον υπολογισμό του φορτίου με βάση την εμπειρική εξίσωση του Ash

Σχήμα 4.8: Φόρμα εισαγωγής δεδομένων για τον υπολογισμό του συντελεστή φορτίου K_B

4.2.3 Εμπειρική εξίσωση του Fraenkel

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από τον Fraenkel (1952) στο Ινστιτούτο Εκρηκτικών στη Σουηδία (Detonic Research Institute) (Αγιουτάντης, 1996):

$$B = \frac{RL^{0,3} H_c^{0,3} d^{0,8}}{50} \quad [4.7]$$

- όπου B = το φορτίο [m]
 R = η «αντίσταση» στην έκρηξη (resistance to blasting) που κυμαίνεται από 1 έως 6 ανάλογα με το πέτρωμα
 L = το μήκος του διατρήματος [m]
 H_c = το ύψος της εκρηκτικής στήλης [m]
 d = η διάμετρος του διατρήματος [mm]

Στο σχήμα 4.9 φαίνεται η φόρμα του προγράμματος WinBlast όπου υπολογίζεται το φορτίο με βάση την εμπειρική εξίσωση του Fraenkel. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει χρησιμοποιηθεί διάμετρος διατρήματος $d = 100$ mm, μήκος διατρήματος $L = 10$ m, ύψος εκρηκτικής στήλης $H_c = 7$ m και «αντίσταση» στην έκρηξη $R = 2$.

Εμπειρική Εξίσωση του Fraenkel

Εισαγωγή Δεδομένων

Διάμετρος Διατρήματος: 100 mm

Μήκος Διατρήματος: 10 m

Ύψος Εκρηκτικής Στήλης: 7 m

Αντίσταση στην Έκρηξη: 2

Αποτελέσματα

Φορτίο: 5.70 m

Help Cancel OK

Σχήμα 4.9: Φόρμα εισαγωγής δεδομένων για τον υπολογισμό του φορτίου με βάση την εμπειρική εξίσωση του Fraenkel

Εξακρίβωση της ορθότητας του αποτελέσματος μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας τη σχέση [4.7], από την οποία με αντικατάσταση προκύπτει:

$$B = \frac{2 \times 10^{0,3} \times 7^{0,3} \times 100^{0,8}}{50} = 5,70m \quad [4.8]$$

4.2.4 Εμπειρική εξίσωση του Konya

Η εξίσωση αυτή αποτελεί βελτίωση της εξίσωσης του Ash και εξαρτάται από τη διάμετρο του διατρήματος και τα ειδικά βάρη του εκρηκτικού και του πετρώματος σύμφωνα με τη σχέση (Αγιουτάντης, 1996):

$$B = 3,15d \times \sqrt[3]{\frac{\gamma_e}{\gamma_r}} \quad [4.9]$$

όπου B = το φορτίο [ft]
d = η διάμετρος του εκρηκτικού [in]
 γ_e = το ειδικό βάρος του εκρηκτικού
 γ_r = το ειδικό βάρος του πετρώματος

Εμπειρική Εξίσωση του Konya

Εισαγωγή Δεδομένων

Διάμετρος του Εκρηκτικού: 4 in 10.16 cm

Ειδικό Βάρος Εκρηκτικού: 1.2 g/cm³

Ειδικό Βάρος Πετρώματος: 2.7 g/cm³

Αποτελέσματα

Φορτίο: 9.62 ft 2.93 m

Help Cancel OK

Σχήμα 4.10: Φόρμα εισαγωγής δεδομένων για τον υπολογισμό του φορτίου με βάση την εμπειρική εξίσωση του Konya

Στο σχήμα 4.10 φαίνεται η φόρμα του προγράμματος WinBlast όπου υπολογίζεται το φορτίο με βάση την εμπειρική εξίσωση του Konya. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει χρησιμοποιηθεί διάμετρος του εκρηκτικού $d = 4$ in (10,16 cm), ειδικό βάρος εκρηκτικού $\gamma_e = 1,2$ g/cm³ και ειδικό βάρος πετρώματος 2,7 g/cm³. Εξακρίβωση της ορθότητας του αποτελέσματος μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας τη σχέση [4.9], από την οποία με αντικατάσταση προκύπτει:

$$B = 3,15 \times 4 \times \sqrt[3]{\frac{1,2}{2,7}} = 9,62 \text{ ft} = 2,93 \text{ m} \quad [4.10]$$

4.2.5 Εμπειρική εξίσωση του Langefors

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από τον Langefors στο Ινστιτούτο Εκρηκτικών στη Σουηδία τη δεκαετία του 1950 (Αγιουτάντης, 1996):

$$B_m = \frac{d}{33} \times \sqrt{\frac{Ps}{cf(\frac{S}{B})}} \quad [4.11]$$

όπου B_m	=	το μέγιστο φορτίο [m]
d	=	η διάμετρος του διατρήματος [mm]
P	=	ο βαθμός συμπύκνωσης του εκρηκτικού (σημειώνεται ότι η τιμή αυτή είναι συνήθως λίγο μεγαλύτερη της πυκνότητας του εκρηκτικού λόγω της συμπύκνωσης του κατά τη γόμωσή των διατρημάτων ($P = 1 - 1,6 \text{ kg/dm}^3$))
s	=	η ισχύς του εκρηκτικού κατά βάρος (πχ. για ζελατίνη $s = 1,3$)
c	=	σταθερά που εξαρτάται από το πέτρωμα (συνήθως $c=0,45$)
f	=	συντελεστής που εξαρτάται από την κλίση του διατρήματος για κλίση 3:1 (κλίση πρανούς 72°), $f = 0,9$ για κλίση 2:1 (κλίση πρανούς 63°), $f = 0,85$ για κλίση $\infty:1$ (κατακόρυφο πρανές), $f = 1$
S/B	=	λόγος απόστασης των διατρημάτων προς φορτίο, $S/B=1,25$

Αξιζει να σημειωθεί ότι οι εμπειρικές εξισώσεις που αναπτύχθηκαν στη Σουηδία χαρακτηρίζονται από τα ακόλουθα: α) λαμβάνουν υπόψη τους τη θεωρία αλλά και την εμπειρία και β) αναφέρονται κυρίως σε εκρηκτικά με βάση τη νιτρογλυκερίνη και σε διατρήματα μικρών διαμέτρων.

Στο σχήμα 4.11 φαίνεται η φόρμα του προγράμματος WinBlast όπου υπολογίζεται το φορτίο με βάση την εμπειρική εξίσωση του Langefors. Στη κάτω αριστερή γωνία της φόρμας εμφανίζεται σχηματικά η κλίση του διατρήματος, ανάλογα με την επιλογή του χρήστη στο αντίστοιχο πεδίο, ώστε να γίνονται πιο εύκολα αντιληπτές οι έννοιες κλίση 3:1, κλίση 2:1 κτλ. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει χρησιμοποιηθεί διάμετρος διατρήματος $d = 100 \text{ mm}$, βαθμός συμπύκνωσης του εκρηκτικού $P = 1,2 \text{ kg/dm}^3$, ισχύς του εκρηκτικού κατά βάρος $s = 1,3$, σταθερά πετρώματος $c = 0,45$, συντελεστής κλίσης διατρήματος $f = 0,9$ (κλίση πρανούς 72°) και λόγος απόστασης των διατρημάτων προς το φορτίο $S/B = 1,25$. Εξακρίβωση της ορθότητας του αποτελέσματος μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας τη σχέση [4.11], από την οποία με αντικατάσταση προκύπτει:

$$B_m = \frac{100}{33} \times \sqrt{\frac{1,2 \times 1,3}{0,45 \times 0,9 \times 1,25}} = 5,32m \quad [4.12]$$

Εμπειρική Εξίσωση του Langefors

Εισαγωγή Δεδομένων

Διάμετρος Διατρήματος: 100 mm

Βαθμός Συμπύκνωσης Εκρηκτικού: 1.2 kg/dm³

Ισχύς Κατά Βάρος του Εκρηκτικού: 1.3

Σταθερά Πετρώματος: 0.45

Συντελεστής Κλίσης Διατρήματος: κλίση 3:1 c=0.90

Λόγος Απόστασης Διατρημάτων Προς Φορτίο: 1.25

Αποτελέσματα

Μέγιστο Φορτίο: 5.32 m

Κλίση Πρανούς 72°

Help Cancel OK

Σχήμα 4.11: Φόρμα εισαγωγής δεδομένων για τον υπολογισμό του φορτίου με βάση την εμπειρική εξίσωση του Langefors

4.2.6 Εμπειρική εξίσωση του Pearse

Ο Pearse (1955) προτείνει τον υπολογισμό του φορτίου σαν συνάρτηση του συντελεστή ανατίναξης (rock blastability factor) σύμφωνα με τη σχέση (Αγιουτάντης, 1996):

$$B = K \times 10^{-3} d \sqrt{\frac{P_s}{T_0}} \quad [4.13]$$

- όπου B = το φορτίο [m]
- K = ο συντελεστής ανατίναξης που κυμαίνεται από 0,7 έως 1,2 ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του πετρώματος
- d = η διάμετρος του διατρήματος [mm]
- P_s = η πίεση έκρηξης στη σταθερή κατάσταση [MPa] (reaction stability pressure)
- T₀ = η αντοχή του πετρώματος σε εφελκυσμό [MPa]

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο συντελεστής ανατίναξης K είναι δυνατόν να συσχετισθεί με δείκτες ποιότητας του πετρώματος όπως το RQD.

Εμπειρική Εξίσωση του Pearse

Εισαγωγή Δεδομένων

Διάμετρος Διατρήματος: 100 mm

Συντελεστής Ανατίναξης: 1

Πίεση Έκρηξης: 8000 MPa 1160320.00 psi

Αντοχή Πετρώματος σε Εφελκυσμό: 12 MPa 1740.48 psi

Αποτελέσματα

Φορτίο: 2.58 m

Help Cancel OK

Σχήμα 4.12: Φόρμα εισαγωγής δεδομένων για τον υπολογισμό του φορτίου με βάση την εμπειρική εξίσωση του Pearse

Στο σχήμα 4.12 φαίνεται η φόρμα του προγράμματος WinBlast όπου υπολογίζεται το φορτίο με βάση την εμπειρική εξίσωση του Pearse. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει χρησιμοποιηθεί διάμετρος διατρήματος $d = 100$ mm, συντελεστής ανατίναξης $K = 1$, πίεση έκρηξης $P_s = 8000$ MPa (1.160.320 psi) και αντοχή του πετρώματος σε εφελκυσμό $T_0 = 12$ MPa (1.740,48 psi). Εξακρίβωση της ορθότητας του αποτελέσματος μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας τη σχέση [4.13] από την οποία με αντικατάσταση προκύπτει:

$$B = 10^{-3} \times 100 \times \sqrt{\frac{8000}{12}} = 2,58m \quad [4.14]$$

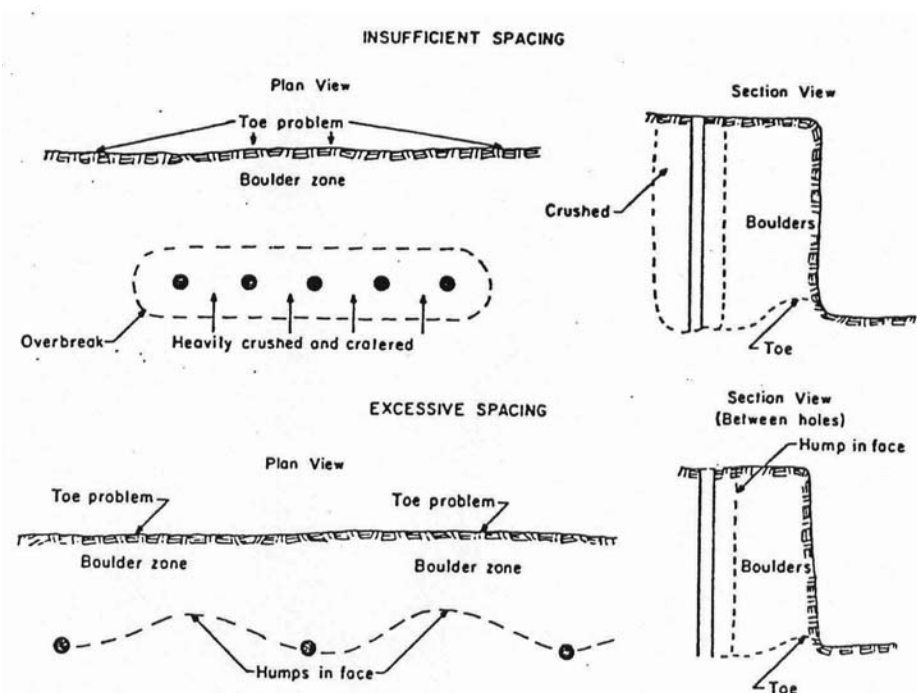
4.3 Καθορισμός απόστασης διατρημάτων και άλλων παραμέτρων

Η απόσταση μεταξύ γειτονικών διατρημάτων υπολογίζεται πάντοτε κάθετα προς το φορτίο. Επίσης η απόσταση των διατρημάτων καθορίζεται σαν συνάρτηση του φορτίου και της επιβράδυνσης μεταξύ των διατρημάτων. Όταν η απόσταση είναι πολύ μικρή τότε δημιουργούνται κρατήρες και το θραυσμένο πέτρωμα έχει μεγάλο κλάσμα λεπτομερών, ενώ όταν η απόσταση είναι πολύ με-

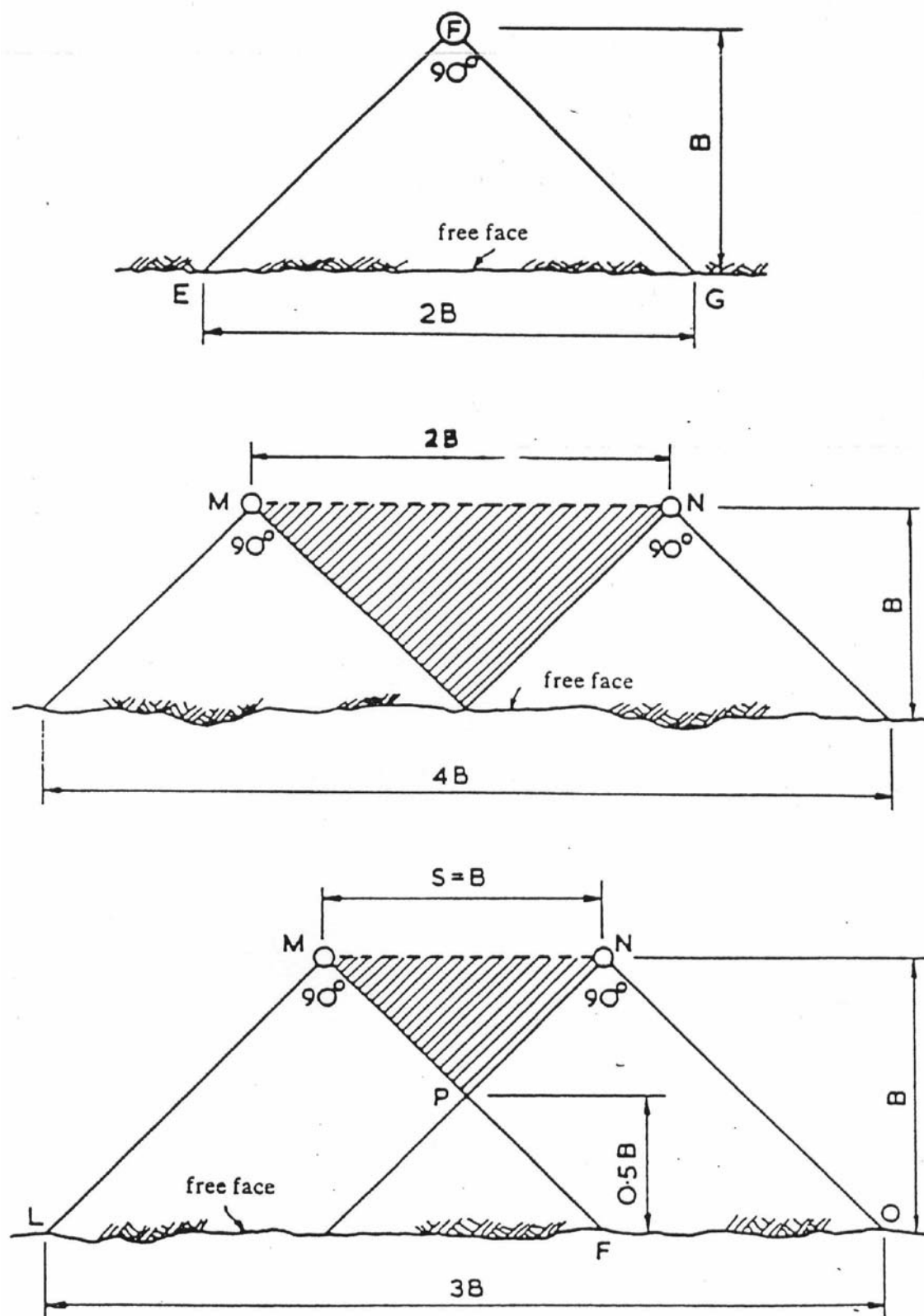
γάλη τότε η τελική διαμόρφωση του μετώπου της βαθμίδας δεν είναι ομαλή (Σχήμα 4.13) (Αγιουτάντης, 1996).

Το σχήμα 4.14α παρουσιάζει σε κάτοψη το τμήμα της βαθμίδας που θρυμματίζεται και απομακρύνεται λόγω ανατίναξης μίας στήλης, ενώ το σχήμα 4.14β παρουσιάζει την περίπτωση της πυροδότησης δύο διατρημάτων που απέχουν μεταξύ τους απόσταση διπλάσια του φορτίου ($S = 2B$). Θεωρητικά το τμήμα του πετρώματος που βρίσκεται ανάμεσα από τα δύο τρίγωνα θα πρέπει να παραμείνει άθικτο, παρόλο που στη πράξη το τμήμα αυτό θα υποστεί μερικό θρυμματισμό ανάλογα με τις επιτόπου συνθήκες. Το σχήμα 4.14γ παρουσιάζει την περίπτωση όπου η απόσταση των διατρημάτων είναι ίση με το φορτίο ($S = B$), όπου η περιοχή που θεωρητικά παραμένει ακέραια είναι μικρότερη. Σε συνήθεις συνθήκες εξόρυξης η τιμή της απόστασης των διατρημάτων κυμαίνεται από μία έως δύο φορές την τιμή του φορτίου ($B \leq S \leq 2B$). Η συνθήκες αυτές στην πράξη εκφράζονται με τον λόγο S/B (Αγιουτάντης, 1996).

Η εμπειρία δείχνει ότι σε περιπτώσεις σύγχρονης πυροδότησης μίας σειράς διατρημάτων εφαρμόζεται η σχεδίαση με $S = 2B$ ενώ σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται επιβραδύνσεις μικροχρόνου η σχέση αυτή κυμαίνεται από $1,2B \leq S \leq 1,8B$. Συνήθως οι μεγάλες διάμετροι διατρημάτων απαιτούν μικρότερες σχέσεις S/B (Αγιουτάντης, 1996).



Σχήμα 4.13 Διαμόρφωση μετώπου σε περιπτώσεις μικρότερης και μεγαλύτερης απόστασης μεταξύ των διατρημάτων από την απαιτούμενη (Αγιουτάντης, 1996)



Σχήμα 4.14 α) περιοχή επίδρασης μίας εκρηκτικής στήλης
 β) Περιοχή επίδρασης δύο εκρηκτικών στηλών που απέχουν $2B$
 γ) Περιοχή επίδρασης δύο εκρηκτικών στηλών που απέχουν B
 (Αγιουτάντης, 1996)

Επειδή ο καθορισμός της απόστασης μεταξύ των διατρημάτων καθώς και των υπολοίπων παραμέτρων που υπεισέρχονται στο σχεδιασμό των υπαιθρίων ανατινάξεων (όπως ο υπολογισμός της υποδιάτρησης, επιγόμεωσης και των συντελεστών γόμωσης, κλπ) βασίζεται κατά μεγάλο μέρος στην εμπειρία, στη συνέχεια αναπτύσσεται ένας αριθμός από μεθόδους που έχουν προταθεί από διάφορους ερευνητές (Αγιουτάντης, 1996).

4.3.1 Εμπειρικές σχέσεις του Pearse

Μετά τον προσδιορισμό του φορτίου σύμφωνα με τον τρόπο που αναφέρεται σε προηγούμενη παράγραφο είναι δυνατόν ο υπολογισμός των υπολοίπων παραμέτρων σχεδιασμού μίας ανατίναξης από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$S = 2B \quad [4.15]$$

$$L = H + 0,15H \quad [4.16]$$

$$H_c = H - 1,25B \quad \text{για} \quad B \leq 0,4H \quad [4.17]$$

όπου H = το ύψος της βαθμίδας
 H_c = το ύψος της εκρηκτικής στήλης
 L = το μήκος του διατρήματος (Αγιουτάντης, 1996).

4.3.2 Εμπειρικές σχέσεις του Langefors

Μετά από εκτεταμένες έρευνες ο Langefors (1963) οργάνωσε τα αποτελέσματα των παρατηρήσεων του σε πίνακες από όπου προκύπτουν αρκετές παράμετροι σχεδιασμού μίας ανατίναξης ως συνάρτηση της διαμέτρου και κλίσης του διατρήματος και του ύψους της βαθμίδας. Ο πίνακας 4.1 παρουσιάζει τα στοιχεία που προκύπτουν για διατρήματα διαμέτρου 64 mm με κλίση 3:1 ως συνάρτηση του ύψους της βαθμίδας. Τα στοιχεία του πίνακα 4.1 μπορούν να χρησιμοποιηθούν με βάση τις ακόλουθες παραδοχές (Αγιουτάντης, 1996):

- το πραγματικό φορτίο υπολογίζεται μετά από διορθώσεις λόγω απόκλισης των διατρημάτων. Οι διορθώσεις αυτές προκύπτουν σύμφωνα με τη σχέση:

$$F = 0,05 + 0,03H \text{ [m]}$$

- η πραγματική απόσταση των διατρημάτων υπολογίζεται από τη σχέση:

$$S = 1,25B_{\text{πραγμ}}$$

- η επιγόμεωση υπολογίζεται ίση με το φορτίο

- το μήκος της γόμωσης πυθμένα υπολογίζεται ίσο με $1,3B_{\max}$ όπου $0,3B_{\max}$ είναι η υποδιάτρηση
- το μήκος της γόμωσης στήλης είναι το συνολικό μήκος του διατρήματος μείον το μήκος επιγόμωσης και γόμωσης πυθμένα
- η πυκνότητα (βαθμός συμπίκνωσης) του εκρηκτικού είναι $P = 1,27 \text{ g/cm}^3$
- η ειδική κατανάλωση αναφέρεται σε ένα διάτρημα και για τον υπολογισμό της κατανάλωσης για N διατρήματα η τιμή του πίνακα πολλαπλασιάζεται με $N/(N-1)$

Πίνακας 4.1: Παράμετροι διατρημάτων διαμέτρου 64mm, κλίσης 3:1 και $S/B=1,25$ (Αγιουτάντης, 1996)

Ύψος Βαθ- μίδας	Μήκος Διατρή- ματος	Μέγιστο Φορτίο	Πραγ- ματικό Φορτίο *	Πραγμα- τική Απόσταση	Γόμωση Πυθμέ- να $P=1,27$	Γόμωση Στήλης	Συνολι- κή Γόμωση	Ειδική Κατανά- λωση
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[kg]	[kg]	[kg/διά- τρημα]	Kg/m^3
2,0	2,4	1,00	1,00	1,25	0,60	0,50	1,10	0,48
3,0	3,6	1,50	1,35	1,65	2,10	1,00	3,10	0,46
4,0	4,8	2,00	1,80	2,25	5,20	1,50	6,70	0,41
5,0	6,0	2,50	2,20	2,75	7,80	2,70	10,50	0,35
6,0	7,2	2,88	2,60	3,25	15,30	1,70	17,00	0,34
7,0	8,3	2,88	2,55	3,20	15,30	4,00	19,30	0,34
8,0	9,3	2,88	2,55	3,20	15,30	6,00	21,30	0,33
9,0	10,4	2,88	2,50	3,10	15,30	10,30	30,00	0,35
10,0	11,4	2,88	2,50	3,10	15,30	10,30	25,60	0,33
11,0	12,5	2,88	2,45	3,05	15,30	12,60	27,90	0,34
12,0	13,5	2,88	2,40	3,00	15,30	14,70	30,00	0,35
13,0	14,6	2,88	2,40	3,00	15,30	16,70	32,00	0,34
14,0	15,6	2,88	2,35	2,90	15,30	19,00	34,30	0,36
15,0	16,7	2,88	2,30	2,85	15,30	21,30	36,60	0,37
*λόγω απόκλισης διατρημάτων								

4.3.3 Εμπειρικές σχέσεις του Ash

Μετά τον υπολογισμό του φορτίου σύμφωνα με τον τρόπο που αναφέρεται σε προηγούμενη παράγραφο είναι δυνατός ο υπολογισμός της απόστασης των διατρημάτων, του μήκους της υποδιάτρησης, του μήκους της επιγόμωσης, και του συνολικού μήκους του διατρήματος σύμφωνα με τις ακόλουθες εμπειρικές σχέσεις (Αγιουτάντης, 1996):

$$S_{eff} = K_S B_{eff} \quad [4.18]$$

$$J = K_J B_{eff} \quad [4.19]$$

$$L = K_L B_{eff} \quad [4.20]$$

$$T = K_T B_{eff} \quad [4.21]$$

όπου	S_{eff}	=	η απόσταση των διατρημάτων
	K_S	=	ο συντελεστής απόστασης
	J	=	το μήκος της υποδιάτρησης
	K_J	=	ο συντελεστής υποδιάτρησης
	T	=	το μήκος της επιγόμωσης
	K_T	=	ο συντελεστής επιγόμωσης
	L	=	το μήκος του διατρήματος
	K_L	=	ο συντελεστής μήκους

Οι τιμές των συντελεστών αυτών διαμορφώνονται ως εξής:

- Ο συντελεστής απόστασης, K_S , κυμαίνεται από 1,8 έως 2,0 για ταυτόχρονη έναυση διατρημάτων κάθετων στην κίνηση του υλικού (σειρά διατρημάτων). Όταν στην ίδια σειρά διατρημάτων υπάρχει επιβράδυνση τότε το K_S κυμαίνεται από 1 έως 1,2. Σημειώνεται ότι στη γενική περίπτωση ο συντελεστής αυτός κυμαίνεται μεταξύ 1 και 2 και η τελική του τιμή καθορίζεται από τις συνθήκες ανατίναξης.
- Ο συντελεστής επέκτασης ή υποδιάτρησης, K_J , δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 0,2 και συνήθως λαμβάνει την τιμή 0,3. Στις περιπτώσεις όπου υπάρχουν στρωσιγενείς σχηματισμοί, ο συντελεστής μπορεί να πάρει την τιμή μηδέν, ενώ για εξαιρετικά συμπαγές πέτρωμα χωρίς επίπεδα αδυναμίας οι τιμές του συντελεστή κυμαίνονται από 0,4 έως 0,5.
- Ο συντελεστής επιγόμωσης, K_T , κυμαίνεται από 0,7 έως 1,3 ανάλογα με την σκληρότητα των σχηματισμών ώστε α) να μην διαδίδονται οι δονήσεις (ωστικό κύμα) στον αέρα (air blast), β) να είναι μειωμένο το ποσοστό των

θραυσμάτων που εκτοξεύεται στον αέρα και γ) να μειώνονται οι πιθανότητες δημιουργίας κρατήρα στην επιφάνεια.

- Ο συντελεστής μήκους, K_L , κυμαίνεται από 1,5 έως 4 με συνήθη τιμή το 2,6. Καθώς το μήκος του διατρήματος δεν μπορεί να είναι μικρότερο του φορτίου ($L > B$) για να μην δημιουργούνται κρατήρες, πρέπει $K_L > 1$. Σημειώνεται ότι για K_L μεγαλύτερο του 4 είναι δυνατόν να εμφανιστούν προβλήματα στο πόδι της βαθμίδας.

4.4 Γόμωση των διατρημάτων

Ο τρόπος γόμωσης ενός διατρήματος επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τον τελικό θρυμματισμό του πετρώματος. Στον πυθμένα του διατρήματος τοποθετούνται συνήθως ισχυρότερα εκρηκτικά (bottom charge), που συνεπάγεται τοπική αύξηση της ειδικής κατανάλωσης, με συνέπεια τον καλύτερο θρυμματισμό του πετρώματος στην αντίστοιχη περιοχή. Το μήκος της γόμωσης πυθμένα κυμαίνεται από 0,3 ($B_t + J$) έως 0,6 ($B_t + J$), όπου B_t είναι το φορτίο στο πόδι της βαθμίδας και J το μήκος υποδιάτρησης. Η ισχύς της γόμωσης προκύπτει συνήθως από την εμπειρία. Στο κύριο μέρος της εκρηκτικής στήλης (column charge), λόγω του μικρότερου συντελεστή κατανάλωσης ο θρυμματισμός είναι γενικά μικρότερος. Σε ιδανικές συνθήκες ομογενούς πετρώματος θα υπήρχε μία σχεδόν γραμμική σχέση ανάμεσα στο μέσο μέγεθος τεμαχίων και στην κατανάλωση ανά μέτρο εκρηκτικής στήλης. Τα τμήματα του διατρήματος στα οποία δεν τοποθετούνται εκρηκτικά δεν συνεισφέρουν στο θρυμματισμό και συμβάλλουν στην δημιουργία μεγάλων τεμαχίων πετρώματος (Αγιουτάντης, 1996).

Ένας εμπειρικός κανόνας που συχνά εφαρμόζεται ανάλογα βέβαια και με την γεωλογία της περιοχής, είναι ότι το μισό της συνολικής ποσότητας του εκρηκτικού πρέπει να τοποθετείται στο χαμηλότερο ένα τρίτο της εκρηκτικής στήλης. Είναι επίσης συνήθης η εναλλαγή ισχυρών και ασθενέστερων εκρηκτικών υλών σε μία στήλη ώστε να προσαρμόζονται καλύτερα στις μεταβαλλόμενες ιδιότητες του πετρώματος (Αγιουτάντης, 1996).

Η επιγόμωση (stemming) συνίσταται στη συμπλήρωση της στήλης με προϊόντα διάτρησης (θρύμματα) ή μίγματα άμμου και αργίλου, ώστε η εκρηκτική ενέργεια να μην χάνεται στην ατμόσφαιρα αλλά να κατευθύνεται στο πέτρωμα. Η βέλτιστη επιγόμωση κυμαίνεται από 0,67 έως 2 φορές το φορτίο. Όταν η επιγόμωση είναι πολύ μικρή τότε έχει σαν αποτέλεσμα την εκτόξευση θραυσμά-

των στον αέρα (flyrock), ενώ όταν είναι πολύ μεγάλη, τότε α) μειώνεται σημαντικά η ποσότητα του εκρηκτικού στην στήλη με συνέπεια την μείωση του θρυμματισμού και β) αυξάνονται οι πιθανότητες υπέρμετρου θρυμματισμού του νέου μετώπου που δημιουργείται λόγω μεγαλύτερης αντίστασης στην εκτόνωση των αερίων (Αγιουτάντης, 1996).

Εμπειρικές παρατηρήσεις δείχνουν ότι η επιγύμωση κυμαίνεται από 12d για σκληρά πετρώματα (με $C_0 > 30000$ psi) μέχρι 30d για μαλακά πετρώματα (με $C_0 \approx 5000$ psi), όπου d η διάμετρος του διατρήματος.

4.5 Επιβραδύνσεις

Το μέγεθος των επιβραδύνσεων που θα χρησιμοποιηθούν εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες :

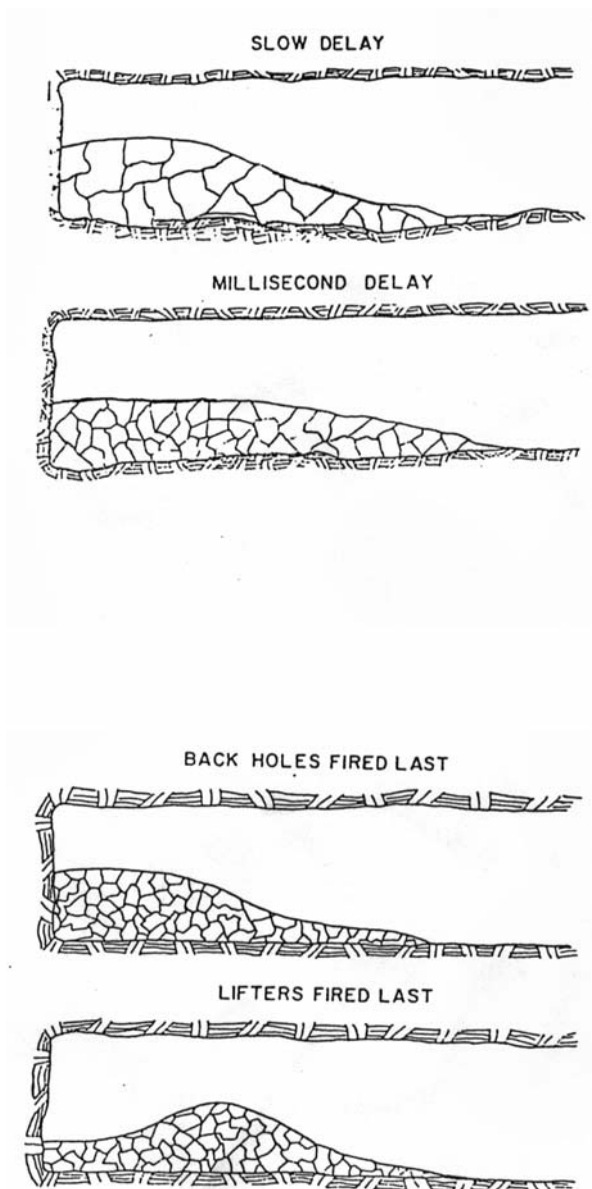
- Το μέγεθος του ανοίγματος
- Τον επιθυμητό θρυμματισμό
- Τον τύπο του σωρού του σπασμένου πετρώματος (συγκεντρωμένο κοντά στο μέτωπο ή μακριά από το μέτωπο, (σχήμα 4.15) (Αγιουτάντης, 1996).

Σε μικρά ανοίγματα και ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται παράλληλες κοπές, είναι απαραίτητη η χρήση μεγάλων επιβραδύνσεων (δηλαδή επιβραδύνσεων 0,5 s αντί για επιβραδύνσεις ms) (Αγιουτάντης, 1996).

Η ακόλουθη εμπειρική σχέση (Dupont) περιγράφει την ταχύτητα κίνησης του φορτίου σε μία σφηνοειδή κοπή σαν συνάρτηση ενός συντελεστή κατανάλωσης για τα διατρήματα μέσα στην αρχική κοπή και για ένα συγκεκριμένο εκρηκτικό (Αγιουτάντης, 1996):

$$v = 75 \frac{1}{\sqrt{L_d}} \quad [4.22]$$

όπου v = η μέγιστη ταχύτητα κίνησης του φορτίου [ft/s]
 L_d = ο συντελεστής κατανάλωσης για την αρχική κοπή [ton/lbs]



Σχήμα 4.15: Σχήμα του σωρού εκσκαφής σαν συνάρτηση της διάταξης των επιβραδύνσεων (Αγιουτάντης, 1996)

4.6 Υπολογισμός συντελεστών ανατίναξης

Ο σχεδιασμός της ανατίναξης σε μία εκμετάλλευση απαιτεί τον υπολογισμό ορισμένων συντελεστών της ανατίναξης. Η συστηματική καταγραφή και παρακολούθηση των συντελεστών αυτών είναι δυνατόν να οδηγήσει στη βελτιστοποίηση των παραμέτρων μιας ανατίναξης καθώς και στην ασφαλέστερη και οικονομικότερη διεξαγωγή της. Οι συνηθέστεροι τέτοιου είδους συντελεστές είναι:

- Η ποσότητα του εκρηκτικού ανά διάτρημα που εκφράζει το βάρος του εκρηκτικού σε κάθε διάτρημα (kg)

- Ο συντελεστής ειδικής κατανάλωσης (powder factor) ή η ειδική κατανάλωση (specific charge), PF, που αποδίδει το βάρος του εκρηκτικού που απαιτείται για τη θραύση είτε μιας μονάδας όγκου πετρώματος ($\text{kg}_\varepsilon/\text{m}^3_\pi$) είτε μιας μονάδας βάρους πετρώματος ($\text{kg}_\varepsilon/\text{ton}_\pi$)
- Ο συντελεστής διάτρησης, DF, που αποδίδει το μήκος της διάτρησης που απαιτείται για τη θραύση είτε μιας μονάδας όγκου πετρώματος ($\text{m}_\delta/\text{m}^3_\pi$) είτε μιας μονάδας βάρους πετρώματος ($\text{m}_\delta/\text{ton}_\pi$)
- Η ποσότητα του εκρηκτικού ανά επιβράδυνση, W, που εκφράζει το βάρος του εκρηκτικού για κάθε επιβράδυνση (kg)

Για τον υπολογισμό των συντελεστών αυτών είναι απαραίτητη η γνώση της διαμέτρου του διατρήματος, του φορτίου, των συντελεστών επιγόμεωσης και υποδιάτρησης, της απόστασης μεταξύ των διατρημάτων, του αριθμού των επιβραδύνσεων, του ύψους της βαθμίδας και της επιθυμητής παραγωγής. Στη συνέχεια ακολουθεί παράδειγμα με συγκεκριμένες τιμές των παραπάνω παραμέτρων, όπου υπολογίζονται βήμα προς βήμα οι συντελεστές της ανατίναξης.

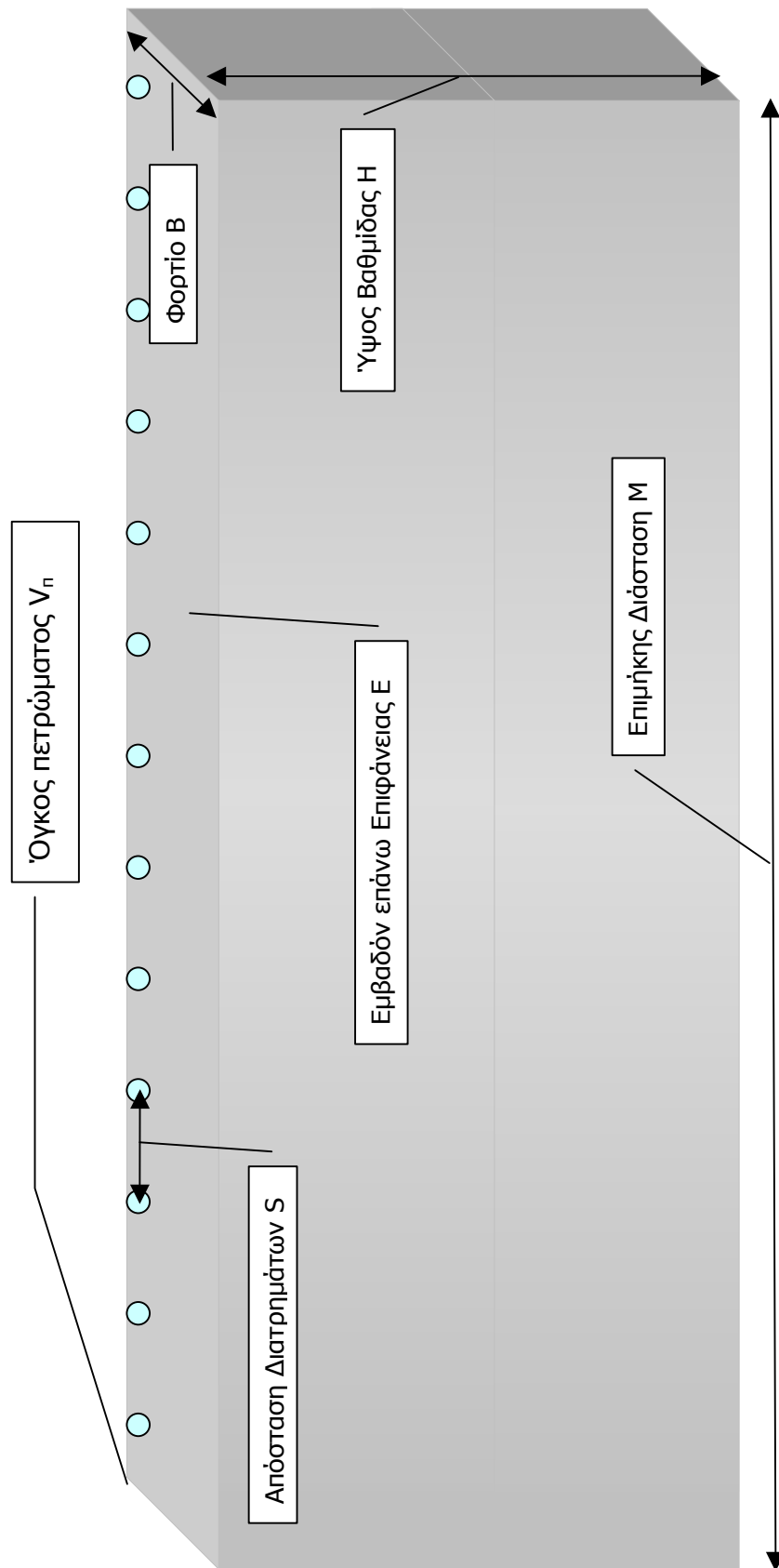
Έστω ότι σε μία εκμετάλλευση η επιθυμητή παραγωγή είναι $M_\pi = 4000$ ton πετρώματος και το ύψος της βαθμίδας 12 m. Το εκρηκτικό που χρησιμοποιείται είναι ANFO σε φυσίγγια με ειδικό βάρος $\gamma_\varepsilon = 1,2 \text{ g/cm}^3$ και το πέτρωμα ασβεστόλιθος με ειδικό βάρος $\gamma_\pi = 2,7 \text{ g/cm}^3$. Το φορτίο έχει υπολογισθεί με κάποια από τις εμπειρικές εξισώσεις και είναι $B = 3 \text{ m}$. Η διάμετρος του διατρήματος είναι $d = 80 \text{ mm}$ και η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών διατρημάτων έχει υπολογισθεί ίση με το φορτίο, δηλαδή $S = 3 \text{ m}$. Ο συντελεστής επιγόμεωσης είναι $K_r = 1$ και ο συντελεστής υποδιάτρησης είναι $K_j = 0,3$, και επομένως το μήκος της επιγόμεωσης και της υποδιάτρησης είναι αντίστοιχα $J = 3 \text{ m}$ και $T = 0,9 \text{ m}$ σύμφωνα με τις σχέσεις [4.19] και [4.21].

Το ειδικό βάρος όπως είναι γνωστό είναι το πηλίκο της μάζας προς τον όγκο. Επομένως το ειδικό βάρος του πετρώματος θα είναι:

$$\gamma_\pi = \frac{M_\pi}{V_\pi} \quad [4.23]$$

Από την σχέση [4.23] με αντικατάσταση προκύπτει ο «επιθυμητός» όγκος του προς ανατίναξη πετρώματος:

$$V_\pi = \frac{M_\pi}{\gamma_\pi} = \frac{4000 \times 10^6 \text{ g}}{2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 1481,48 \times 10^6 \text{ cm}^3 = 1481,48 \text{ m}^3 \quad [4.24]$$



Σχήμα 4.16: Σχηματική αναπαράσταση του προς ανατίναξη όγκου

Ο όγκος του πετρώματος δίνεται από τη σχέση:

$$V_{\pi} = E \times H \quad [4.25]$$

Από τη σχέση [4.25] με αντικατάσταση προκύπτει το εμβαδόν της άνω επιφάνειας, το οποίο είναι:

$$E = \frac{V_{\pi}}{H} = \frac{1481,48m^3}{12m} = 123,46m^2 \quad [4.26]$$

Το εμβαδόν της άνω επιφάνειας δίνεται από τη σχέση:

$$E = B \times M \quad [4.27]$$

Από τη σχέση [4.27] με αντικατάσταση προκύπτει η επιμήκης διάσταση Μ, η οποία είναι:

$$M = \frac{E}{B} = \frac{123,46m^2}{3m} = 41,15m \quad [4.28]$$

Εάν θεωρηθεί ότι η απόσταση των ακραίων διατρημάτων από τις αντίστοιχες ακμές του παραλληλεπιπέδου προς ανατίναξη όγκου είναι S/2 τότε ο αριθμός των διατρημάτων ν είναι ίσος με το ακέραιο μέρος του πηλίκου της επιμήκους διάστασης προς την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών διατρημάτων:

$$v = \frac{M}{S} = \frac{41,15}{3} = 13,7 \Rightarrow v = 13 \quad [4.29]$$

Η διόρθωση αυτή καθιστά αναγκαίο τον υπολογισμό της πραγματικής παραγωγής και του πραγματικού όγκου (για ν = 13), για τα οποία από τις σχέσεις [4.23], [4.25], [4.27] και [4.29] με αντικατάσταση έχουμε:

$$V_{\pi(\text{πραγματικός})} = B \times v \times S \times H = 3m \times 13 \times 3m \times 12m = 1404m^3 \quad [4.30]$$

$$M_{\pi(\text{πραγματικό})} = V_{\pi(\text{πραγματική})} \times \gamma_{\pi} = 1404m^3 \times 2,7 \frac{\text{ton}}{m^3} = 3790,8\text{ton} \quad [4.31]$$

Το ύψος του διατρήματος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$H_{\delta} = H + J - T = 12m + 0,9m - 3m = 9,9m \quad [4.32]$$

Ο όγκος του κάθε διατρήματος υπολογίζεται με βάση τον όγκο του κυλίνδρου και επομένως θα δίνεται από τη σχέση:

$$V_{\delta} = H_{\delta} \times \frac{\pi d^2}{4} \quad [4.33]$$

Από τη σχέση [4.33] με απλή αντικατάσταση προκύπτει:

$$V_{\delta} = 990cm \times \frac{3,1415 \times 8^2 cm^2}{4} = 49761,36cm^3 \quad [4.34]$$

Η ποσότητα του εκρηκτικού ανά διάτρημα δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{W_{\varepsilon}}{\text{διάτρημα}} = V_{\delta} \gamma_{\varepsilon} = 49761,36cm^3 \times 1,2 \frac{g}{cm^3} = 59714g = 59,71kg \quad [4.35]$$

Είναι προφανές ότι το συνολικό βάρος των εκρηκτικών υπολογίζεται από τη σχέση:

$$W_{\varepsilon} = \frac{W_{\varepsilon}}{\text{διάτρημα}} \times \nu = 59,71kg \times 13 = 776,23kg \quad [4.36]$$

Ο συντελεστής ειδικής κατανάλωσης είναι το πηλίκο του συνολικού βάρους των εκρηκτικών προς τον συνολικό όγκο του πετρώματος και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$PF = \frac{W_{\varepsilon}}{V_{\pi(\text{πραγματικός})}} = \frac{776,23kg}{1404m^3} = 0,55 \frac{kg_{(\text{εκρηκτικού})}}{m^3_{(\text{πετρώματος})}} \quad [4.37]$$

ή

$$PF = \frac{W_{\varepsilon}}{M_{\pi(\text{πραγματική})}} = \frac{776,23kg}{3790,8ton} = 0,20 \frac{kg_{(\text{εκρηκτικού})}}{ton_{(\text{πετρώματος})}} \quad [4.38]$$

Ο συντελεστής διάτρησης είναι το πηλίκο του συνολικού μήκους της εκρηκτικής στήλης προς τον συνολικό όγκο του πετρώματος και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$DF = \frac{\nu H_{\delta}}{V_{\pi(\text{πραγματικός})}} = \frac{13 \times 9,9m_{(\text{εκρηκτικού})}}{1404m^3_{(\text{πετρώματος})}} = 0,09 \frac{m_{(\text{εκρηκτικού})}}{m^3_{(\text{πετρώματος})}} \quad [4.39]$$

ή

$$DF = \frac{\nu H_{\delta}}{M_{\pi(\text{πραγματική})}} = \frac{13 \times 9,9m_{(\text{εκρηκτικού})}}{3790,8ton_{(\text{πετρώματος})}} = 0,03 \frac{m_{(\text{εκρηκτικού})}}{ton_{(\text{πετρώματος})}} \quad [4.40]$$

Αν υποθεθεί ότι ο αριθμός των επιβραδύνσεων στη συγκεκριμένη ανατίναξη είναι $i = 3$, τότε η ποσότητα του εκρηκτικού ανά επιβράδυνση θα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$W = \frac{W_e}{i} = \frac{776,23kg}{3} = 258,74kg \quad [4.41]$$

Στο σχήμα 4.17 εμφανίζεται η φόρμα εισαγωγής δεδομένων του προγράμματος WinBlast για τον υπολογισμό των διαφόρων παραμέτρων και συντελεστών μιας ανατίναξης. Οι τιμές που εμφανίζονται είναι τα δεδομένα του παραδείγματος που προηγήθηκε. Αξίζει να σημειωθεί ότι στη φόρμα αυτή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα είτε να εισάγει την τιμή του φορτίου όπως έχει υπολογισθεί με βάση τις διάφορες εμπειρικές σχέσεις, είτε να εισάγει την τιμή του φορτίου σύμφωνα με την κρίση του. Επίσης είναι δυνατή η απευθείας εμφάνιση της κάθε φόρμας υπολογισμού του φορτίου, πατώντας το αντίστοιχο κουμπί **s** που εμφανίζεται δίπλα από κάθε εμπειρική εξίσωση, ώστε να μπορεί να γίνει πιο άμεσος ο υπολογισμός.

Στο σχήμα 4.18 φαίνεται η φόρμα του προγράμματος WinBlast, όπου εμφανίζονται τα αποτελέσματα των τιμών των διαφόρων συντελεστών. Τα αποτελέσματα αυτά εμφανίζονται όταν ο χρήστης πατήσει τον τίτλο της αντίστοιχης «καρτέλας» που έχει τον τίτλο «Υπολογισμός Παραμέτρων Ανατίναξης». Συγκρίνοντας τις τιμές που υπολογίσθηκαν με το πρόγραμμα WinBlast με αυτές που υπολογίσθηκαν βήμα προς βήμα στο προηγούμενο παράδειγμα, παρατηρείται ασήμαντη απόκλιση στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο στην τιμή του συνολικού βάρους των εκρηκτικών καθώς και στην τιμή της ποσότητας των εκρηκτικών ανά επιβράδυνση, η οποία οφείλεται στις διάφορες στρογγυλοποιήσεις που πραγματοποιεί το πρόγραμμα.

4.7 Μελέτη δονήσεων του εδάφους

Οι ζημιές που παρατηρούνται σε διάφορες κατασκευές (πχ. οικήματα) είναι συνάρτηση του τύπου της κατασκευής, της απόστασης της κατασκευής από το σημείο ανατίναξης και της ποσότητας του εκρηκτικού ανά επιβράδυνση (charge per delay). Από διάφορες μελέτες προκύπτει ότι το μέγεθος των ζημιών μπορεί να συνδεθεί με τη μέγιστη μοριακή ταχύτητα του εδάφους με μία σχέση της μορφής (Αγιουτάντης, 1996):

$$v = K \times \left[\frac{R}{\sqrt{W}} \right]^{-n} \quad [4.42]$$

όπου v = η μέγιστη μοριακή ταχύτητα (peak particle velocity)
 R = η απόσταση μεταξύ περιοχής ανατίναξης και κατασκευής
 W = η μέγιστη ποσότητα εκρηκτικού ανά επιβράδυνση

Υπολογισμός Παραμέτρων Ανατίναξης

Εισαγωγή Δεδομένων Ανατίναξης Υπολογισμός Παραμέτρων Ανατίναξης Μελέτη Δονήσεων Εδάφους

Επιλογή Υπολογισμού Φορτίου

☒ Εμπειρική Εξίσωση του Anderson ☐

☐ Εμπειρική Εξίσωση του Ash ☐

☐ Εμπειρική Εξίσωση του Fraenkel ☐

☐ Εμπειρική Εξίσωση του Konya ☐

☐ Εμπειρική Εξίσωση του Langefors ☐

☐ Εμπειρική Εξίσωση του Pearse ☐

☐ Εισαγωγή Φορτίου από Χρήστη

3.00 m

Εισαγωγή Συντελεστών Συνάρτησης Φορτίου

Συντελεστής Επιγώμωσης: 1.00 *B 3.00 m

Συντελεστής Υποδιάτρησης: 0.30 *B 0.90 m

Απόσταση Διατρημάτων: 1.00 *B 3.00 m

Εισαγωγή Στοχέων Ανατίναξης

Διάμετρος Διατρήματος: 80 mm

Ειδικό Βάρος Εκρηκτικού: 1.20 g/cm³

Ειδικό Βάρος Πετρώματος: 2.70 g/cm³

Ύψος Βαθμίδας: 12.00 m

Επιθυμητή Παραγωγή: 4000 ton

Αριθμός Επιβραδύνσεων: 3

Help Cancel Ok

Σχήμα 4.17: Φόρμα εισαγωγής δεδομένων για τον υπολογισμό των διαφόρων παραμέτρων και συντελεστών μίας ανατίναξης

Υπολογισμός Παραμέτρων Ανατίναξης

Εισαγωγή Δεδομένων Ανατίναξης Υπολογισμός Παραμέτρων Ανατίναξης Μελέτη Δονήσεων Εδάφους

Φορτίο = 3 m

Αριθμός Διατρημάτων = 13

Πραγματική Παραγωγή = 3790.80 ton ή 1404.00 m³

Συνολικό Βάρος Εκρηκτικών = 776.28 kg

Βάρος Εκρηκτικών ανά Διάτρημα = 59.71 kg

Συντελεστής Ειδικής Κατανάλωσης = 0.55 kg(εκρ.) / m³(πετρ.) ή 0.20 kg(εκρ.) / ton(πετρ.)

Συντελεστής Διάτρησης = 0.09 m(διατρ.) / m³(πετρ.) ή 0.03 m(διατρ.) / ton(πετρ.)

Βάρος Εκρηκτικών ανά Επιβράδυνση = 258.76 kg

Help Cancel Ok

Σχήμα 4.18: Φόρμα εμφάνισης των υπολογισθέντων παραμέτρων και συντελεστών μίας ανατίναξης

K, n = σταθερές που εξαρτώνται από γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Το σχήμα 4.19 παριστάνει ένα νομόγραμμα που κατασκευάστηκε για $K = 160$ και $n = 1,6$ από όπου υπολογίζονται οι μέγιστες μοριακές ταχύτητες σαν συνάρτηση της ανηγμένης απόστασης (scaled distance) που ορίζεται από την ποσότητα R/\sqrt{W} . Οι μονάδες των μεγεθών για το νομόγραμμα αυτό έχουν ως εξής (Αγιουτάντης, 1996):

- Ταχύτητα (in/s)
- Βάρος εκρηκτικού (lbs)
- Απόσταση (ft)

Σημειώνεται ότι ένα τέτοιο διάγραμμα πρέπει πάντοτε να χρησιμοποιείται σαν πρώτη προσέγγιση του προβλήματος κατά την φάση του σχεδιασμού μίας ανατίναξης και όταν δεν υπάρχουν μετρήσεις για την συγκεκριμένη περιοχή. Επίσης η εξίσωση αυτή συνήθως δίνει ανακριβή αποτελέσματα για τις ακόλουθες περιπτώσεις (Αγιουτάντης, 1996):

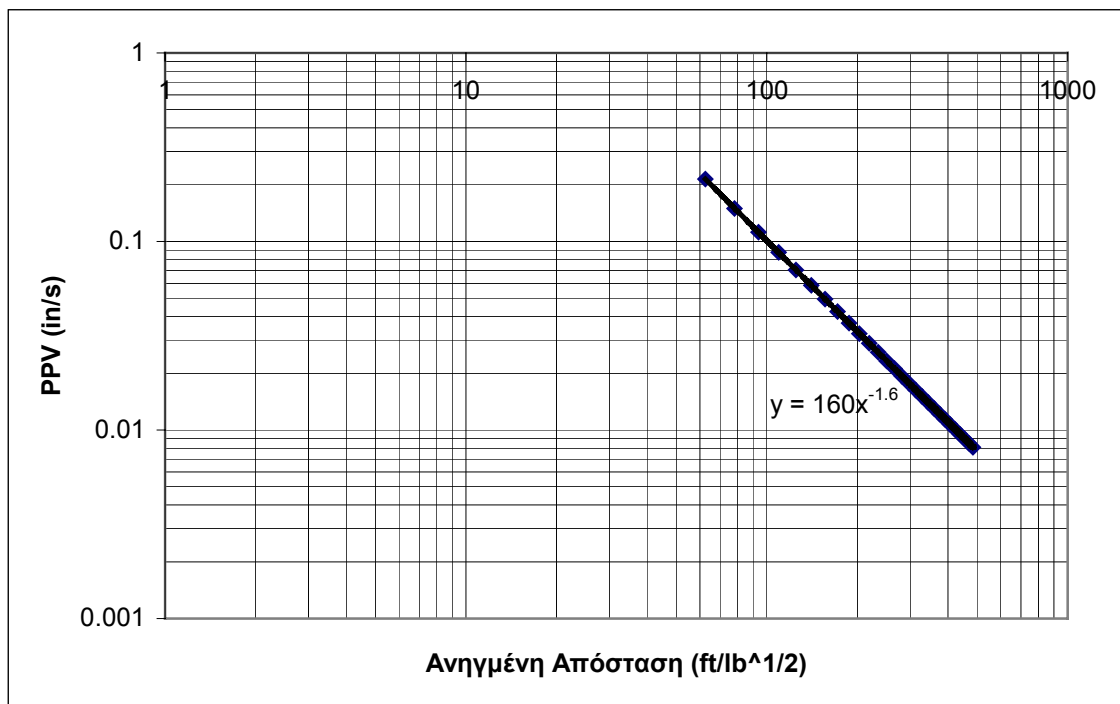
- Εκρήξεις εξαιρετικά μεγάλης ισχύος (πχ. πυρηνικές εκρήξεις)
- Εκρήξεις με μεγάλο βαθμό περιορισμού (πχ. αρχική διάνοιξη μετώπου, πρό-τμηση, κλπ), όπου δεν υπάρχουν αρκετές ελεύθερες επιφάνειες
- Εκρήξεις με πολύπλοκες διατάξεις διατρημάτων όπου υπάρχουν πολλά διατρήματα με μικρές σχετικά γομώσεις στον ίδιο χρόνο λόγω της διασποράς των χρόνων έναυσης και της κατανομής στον χώρο των σημείων έναυσης

Από έρευνες του Γραφείου μεταλλείων των Η.Π.Α (USBM) το όριο ανοχής για συνήθεις κατασκευές υπολογίστηκε σε μία μέγιστη τιμή μοριακής ταχύτητας 2 in/s ή αντίστοιχα μία ελάχιστη τιμή ανηγμένης απόστασης $50 \text{ ft/lbs}^{1/2}$ (Αγιουτάντης, 1996).

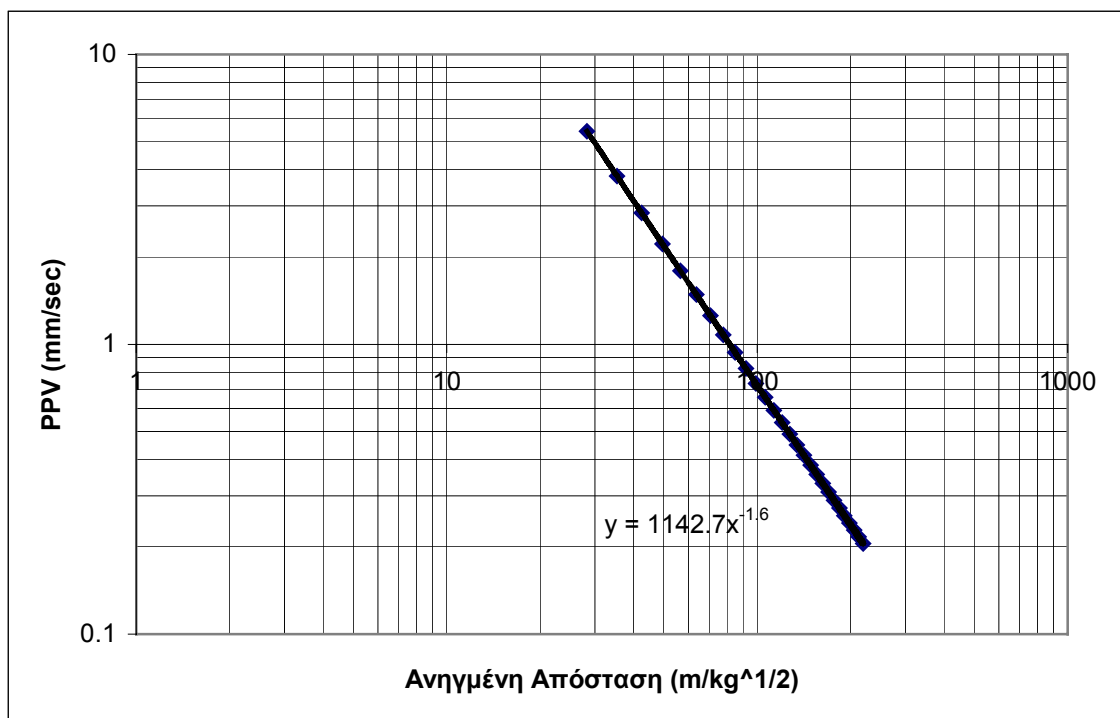
Το σχήμα 4.20 παριστάνει ένα νομόγραμμα το οποίο προέκυψε από μετασχηματισμό του νομογράμματος του σχήματος 4.19, ώστε οι μονάδες των μεγεθών να έχουν ως εξής:

- Ταχύτητα (mm/s)
- Βάρος εκρηκτικού (kg)
- Απόσταση (m)

Όπως φαίνεται από το σχήμα οι αντίστοιχες γεωλογικές σταθερές της εξίσωσης [4.38] είναι $K = 1142,7$ και $n = 1,6$.



Σχήμα 4.19: Διάγραμμα ανηγμένης απόστασης και μοριακής ταχύτητας του εδάφους



Σχήμα 4.20: Διάγραμμα ανηγμένης απόστασης και μοριακής ταχύτητας του εδάφους στο σύστημα SI

Στο σχήμα 4.21 εμφανίζεται η φόρμα του προγράμματος WinBlast όπου υπολογίζεται η μοριακή ταχύτητα ταλάντωσης του εδάφους σύμφωνα με τη σχέση [4.38]. Οι μονάδες που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα είναι του μετρικού συστήματος και επομένως οι γεωλογικές σταθερές που προτείνει το πρόγραμμα στο χρήστη είναι αυτές που υπολογίστηκαν με βάση το σχήμα 4.20, δηλαδή $K = 1142,7$ και $n = 1,6$. Αξίζει να αναφερθεί ότι η φόρμα αυτή αποτελεί μέρος (κάρτα) της φόρμας με την ονομασία «Υπολογισμός Παραμέτρων Ανατίναξης» και εμφανίζεται όταν ο χρήστης πατήσει τον αντίστοιχο τίτλο «Μελέτη Δονήσεων Εδάφους». Η τιμή της ποσότητας των εκρηκτικών ανά επιβράδυνση είναι αυτή που έχει υπολογισθεί μαζί με τις άλλες παραμέτρους και συντελεστές της ανατίναξης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ποσότητα του εκρηκτικού ανά επιβράδυνση είναι $W = 258,76 \text{ kg}$ ($570,46 \text{ lbs}$) και η απόσταση από την πηγή της ανατίναξης είναι $R = 600 \text{ m}$ ($1968,48 \text{ ft}$). Εξακρίβωση της ορθότητας του αποτελέσματος μπορεί να γίνει με βάση τη σχέση [4.42] από την οποία με αντικατάσταση προκύπτει:

$$v = 1142,7 \times \left[\frac{600}{\sqrt{258,76}} \right]^{-1,6} = 3,49 \text{ mm/s} = 0,14 \text{ in/s} \quad [4.43]$$

Σχήμα 4.21: Φόρμα εισαγωγής δεδομένων για τον υπολογισμό της μοριακής ταχύτητας ταλάντωσης του εδάφους

4.8 Προστασία των κατασκευών από τις δονήσεις εδάφους

Στις συμβάσεις μεγάλων δημοσίων έργων, που περιλαμβάνουν στα αντικείμενά τους και εξορύξεις πετρωμάτων με χρήση εκρηκτικών υλών, περιέχεται συχνά ο όρος σύμφωνα με τον οποίο ο ανάδοχος του έργου οφείλει χρησιμοποιώντας κατάλληλο εξοπλισμό να παρακολουθεί την προκαλούμενη από τις ανατινάξεις μέγιστη ταχύτητα δόνησης του εδάφους (peak particle velocity) (Τσουτρέλης κ.α., 2000).

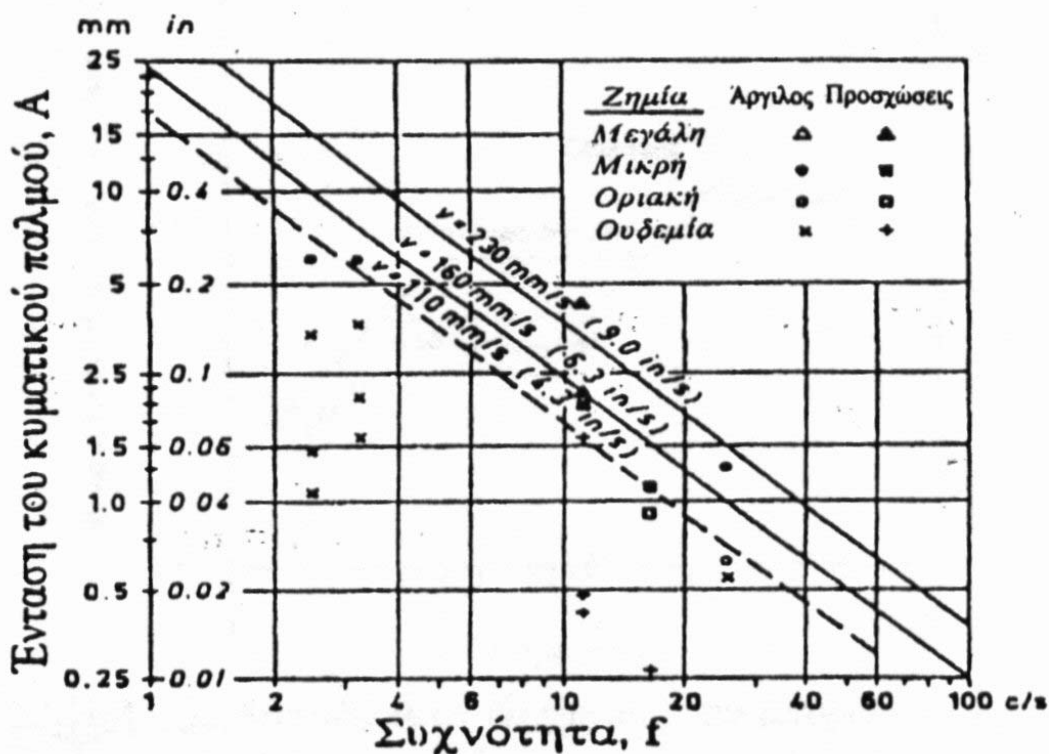
Η ίδια υποχρέωση επιβάλλεται από τις Επιθεωρήσεις Μεταλλείων της Χώρας στις περιπτώσεις εκείνες, που λατομεία αδρανών υλικών λειτουργούν κοντά σε περιοχές όπου υφίσταται ανθρώπινη δραστηριότητα ή μνημεία (Τσουτρέλης κ.α., 2000).

Και στις δύο περιπτώσεις αν και δεν διατυπώνεται συγκεκριμένη αριθμητική αναφορά ως προς το μέγεθος της επιτρεπόμενης μέγιστης ταχύτητας δόνησης του εδάφους και επομένως εννοείται εκείνη των 50 mm/s, που καθορίζει η παράγραφος 1 εδάφιο β του άρθρου 84 του Κανονισμού Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών (Κ.Μ.Λ.Ε.) του 1982, εν τούτοις είναι σαφής η βούληση αποτελεσματικότερου ελέγχου των προκαλούμενων από τις ανατινάξεις δονήσεων από εκείνον που καθορίζει ο Κ.Μ.Λ.Ε., ώστε να προστατεύονται οι υφιστάμενες κατασκευές καλύτερα και η όχληση στον άνθρωπο να είναι μικρότερη, αφού είναι κοινά παραδεκτό ότι η τιμή των 50 mm/s δεν ανταποκρίνεται πλέον στα σημερινά δεδομένα (Τσουτρέλης κ.α., 2000).

Εξίσου σημαντικό όμως στοιχείο είναι η διεθνής πλέον αναγνώριση ότι πέραν της μέγιστης ταχύτητας δόνησης του εδάφους η συχνότητα του κυματοπαλμού αποτελεί την δεύτερη παράμετρο που υπεισέρχεται στο πρόβλημα της προστασίας των κατασκευών από της προκαλούμενες σε αυτά δονήσεις από τις ανατινάξεις (Τσουτρέλης κ.α., 2000).

4.8.1 Κανονισμός Η.Π.Α

Από το 1963 οι Langefors και Kihlstrom με βάση διάφορες βιβλιογραφικές αναφορές, όπως δείχνει το σχήμα 4.22, συσχέτισαν την ένταση του κυματικού παλμού A και την συχνότητά του f με το μέγεθος της ζημιάς, που προκαλείται σε μία κατασκευή (Τσουτρέλης κ.α., 2000).



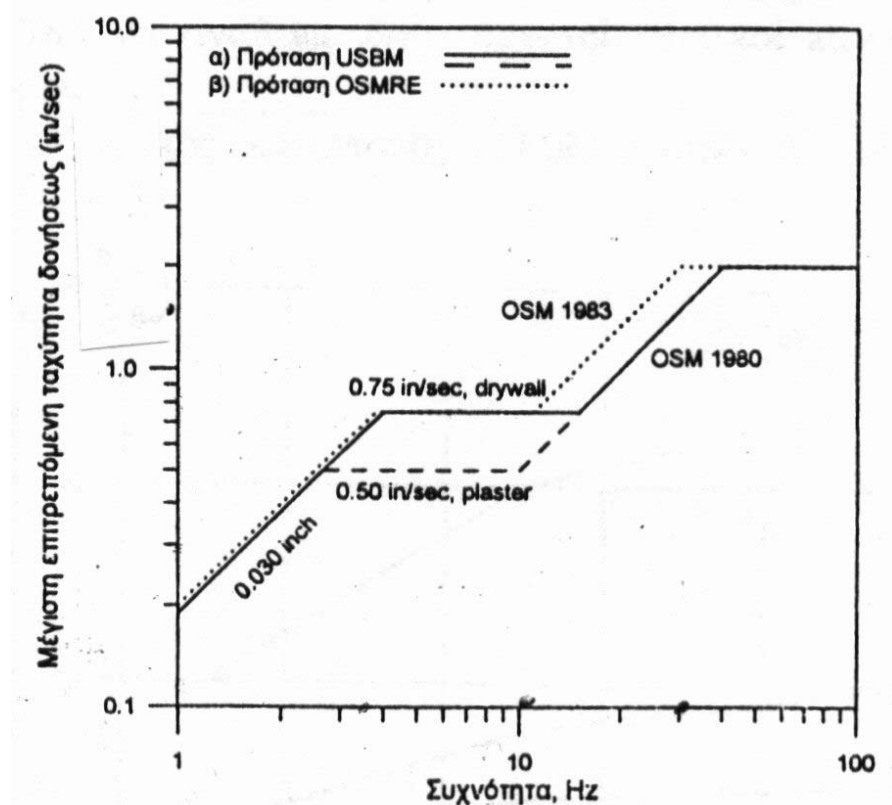
Σχήμα 4.22: Σχέση μεταξύ έντασης και συχνότητας με το επίπεδο ζημιάς μίας συνήθους κατασκευής (Τσουτρέλης κ.α., 2000)

Το 1971 το Γραφείο Μεταλλείων των Η.Π.Α (USBM) εξέδωσε το κλασσικό για την εποχή του Bulletin 656, στο οποίο αξιολογήθηκαν όλα τα μέχρι τότε δεδομένα που προέρχονταν από δεκαετή έρευνα σε 25 λατομεία και υπαίθρια μεταλλεία των Η.Π.Α (Τσουτρέλης κ.α., 2000).

Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή η μέγιστη ταχύτητα δόνησης των σωματιδίων του εδάφους, που σημειώνεται κατά τη διέλευση ενός κύματος προερχόμενου από υπαίθρια ανατίναξη, συσχετίζεται καλύτερα με την προκαλούμενη ζημιά στην κατασκευή απ' ό,τι η ένταση ή η επιτάχυνση του κύματος. Θέσεις που καταγράφονται μέγιστες ταχύτητες μικρότερες των 2 in/s (50 mm/s) θεωρούνται ασφαλείς για το φάσμα συχνοτήτων 1-100 Hz. Παράλληλα οι συγγραφείς του Bulletin 656 απέδειξαν ότι στην περίπτωση υπαίθριων ανατινάξεων η υπόψη ταχύτητα συνδέεται ικανοποιητικά με την απόσταση και την εκρηγνυόμενη ταυτοχρόνως ποσότητα της εκρηκτικής ύλης με τη σχέση [4.38] (Τσουτρέλης κ.α., 2000).

Γρήγορα έγινε σαφές από το Γραφείο Μεταλλείων των Η.Π.Α ότι το Bulletin 656 έπρεπε να αναθεωρηθεί δεδομένου ότι είχε παραληφθεί η επίδραση της συχνότητας της δόνησης στην κατασκευή, και ότι με χαμηλής συχνότητας δονήσεις (2,4-40 Hz) είχαν παρατηρηθεί ζημιές σε κατασκευές, που δέχθηκαν τα-

χύτητα δόνησης μικρότερη των 2 in/s αν και η ποιότητα της κατασκευής ήταν καλή. Το 1980 το Γραφείο Μεταλλείων των Η.Π.Α εξέδωσε τη μελέτη RI 8507 με την οποία αναθεώρησε τα προηγούμενα δεδομένα μετά από μία νέα μακρά σειρά πειραμάτων σε έξι πολιτείες όπου καταγράφηκαν 240 ανατινάξεις σε 76 σύγχρονες και παλαιότερες οικίες διάφορων καταστάσεων. Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή οι αναφερόμενες στον Πίνακα 4.2 τιμές θεωρούνται ασφαλείς για συνηθούς ποιότητας κατοικίες (residential type structures) ύψους μέχρι δύο ορόφων, συνήθων διαστάσεων και θεμελιωμένες σε γερό υπόβαθρο για τις συχνότητες και ταχύτητες δόνησης, που σημειώνονται στον πίνακα αυτόν, υπό την προϋπόθεση ότι η διάρκεια του κύματος δεν είναι μεγαλύτερη των μερικών δευτερολέπτων. Η ελάχιστη τιμή του πίνακα αυτού, 0,5 in/s, αφήνει ένα στατιστικό περιθώριο 5% να παρουσιαστούν ασήμαντες επιφανειακές ρωγμές στην υπόψη κατοικία. Σε αυτή τη μελέτη οι ίδιοι συγγραφείς πρότειναν ως εναλλακτικό κριτήριο πρόκλησης ζημιάς σε μία κατοικία το διάγραμμα του σχήματος 4.23, που συνδυάζει ταχύτητα δόνησης και συχνότητα (Τσουτρέλης κ.α., 2000).



Σχήμα 4.23: Ασφαλή όρια δόνησης που μπορεί να δεχθεί μια κατοικία με κριτήριο τον συνδυασμό ταχύτητας δόνησης και συχνότητας
α) Πρόταση USBM (1980) και β) πρόταση OSMRE (1983)
(Τσουτρέλης κ.α., 2000)

Πίνακας 4.2: Όρια ασφαλών τιμών μέγιστης ταχύτητας δόνησης του εδάφους (USBM, RI 8507, 1980) (Τσουτρέλης κ.α., 2000)

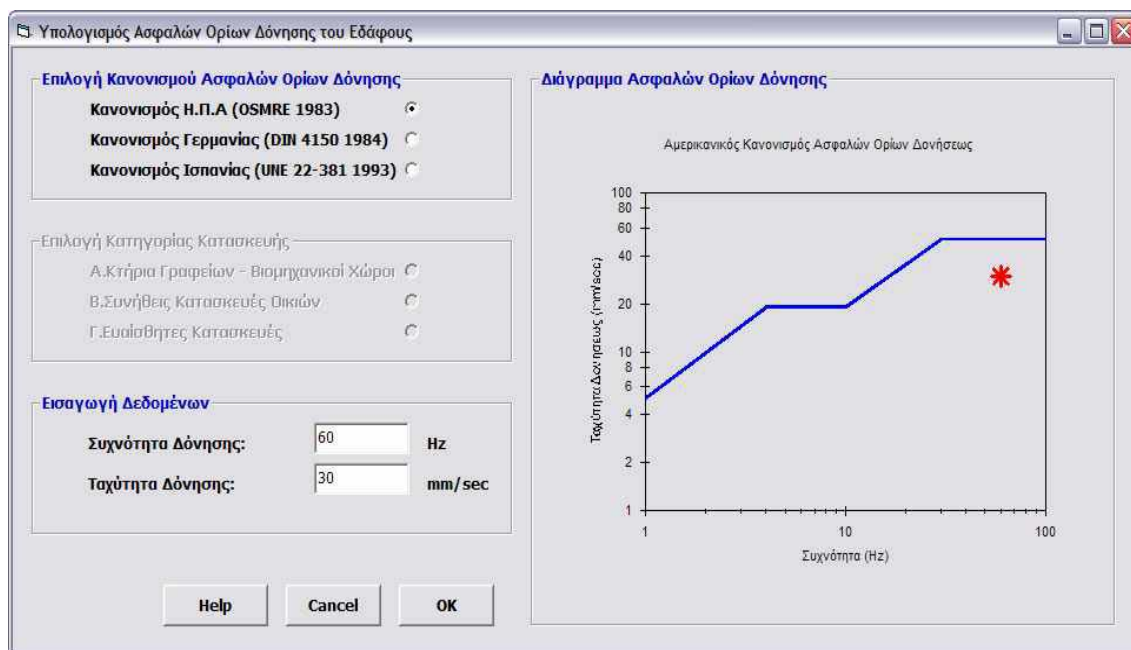
Κατηγορίες	Μέγιστη ταχύτητα σωματιδίων (in/s)	
	Χαμηλή συχνότητα <40Hz	Υψηλή συχνότητα >40Hz
Σύγχρονες κατοικίες	0,75	2,00
Παλαιότερες κατοικίες	0,50	2,00

Οι μελέτες του Γραφείου Μεταλλείων των Η.Π.Α συνεχίστηκαν από το τότε Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement (O.S.M.R.E.) των Η.Π.Α, οι οποίες οδήγησαν το 1983 στη διατύπωση μιας λίγο τροποποιημένης πρότασης σε σχέση με την εναλλακτική πρόταση του U.S.B.M., που έχει σήμερα υιοθετηθεί σε αρκετές πολιτείες των Η.Π.Α. Σύμφωνα με ο συνδυασμός της ταχύτητας δόνησης και της συχνότητας στην οποία καταγράφεται, παρέχει ακριβέστερο κριτήριο πρόβλεψής της ζημιάς σε μια κατασκευή από ότι παρείχε προηγουμένως μόνο η ταχύτητα δόνησης (Τσουτρέλης κ.α., 2000).

Η πρόταση του O.S.M.R.E των Η.Π.Α παρουσιάζεται γραφικά στο ίδιο σχήμα 4.23 για σύγκριση. Όπως δείχνει το σχήμα αυτό η αύξηση της συχνότητας της δόνησης επιτρέπει στην κατασκευή να δεχθεί με ασφάλεια μεγαλύτερες μέγιστες ταχύτητες δόνησης. Η τιμή αυτή φτάνει τα 50 mm/s (2 in/s) για συχνότητες μεγαλύτερες των 40 Hz (Τσουτρέλης κ.α., 2000).

Πρέπει να διευκρινιστεί εδώ ότι η πρόταση του O.S.M.R.E αναφέρεται και κατά συνέπεια καλύπτει συνήθους ποιότητας κατασκευές κατοικιών, από τις οποίες άλλωστε προέκυψαν τα δεδομένα για τη διατύπωση της πρότασης (Τσουτρέλης κ.α., 2000).

Στο σχήμα 4.24 φαίνεται η φόρμα του προγράμματος WinBlast όπου υπολογίζονται τα ασφαλή όρια δονήσεων του εδάφους. Ο χρήστης εισάγει τα δεδομένα που είναι η ταχύτητα δόνησης του εδάφους και η συχνότητα δόνησης και το πρόγραμμα υπολογίζει τη θέση τους στο διάγραμμα του σχήματος 4.23β που παριστά τα ασφαλή όρια δόνησης. Στα αριστερά της φόρμας φαίνεται η επιλογή του χρήστη «Κανονισμός Η.Π.Α (OSMRE 1983)» και στα αριστερά της φόρμας εμφανίζεται το αντίστοιχο διάγραμμα (σε σύστημα SI) καθώς και ένα σημείο το οποίο σχεδιάζεται με βάση τα δεδομένα που εισάγει ο χρήστης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει χρησιμοποιηθεί ταχύτητα δόνησης $v = 30 \text{ mm/s}$ και συχνότητα δόνησης $f = 60 \text{ Hz}$.



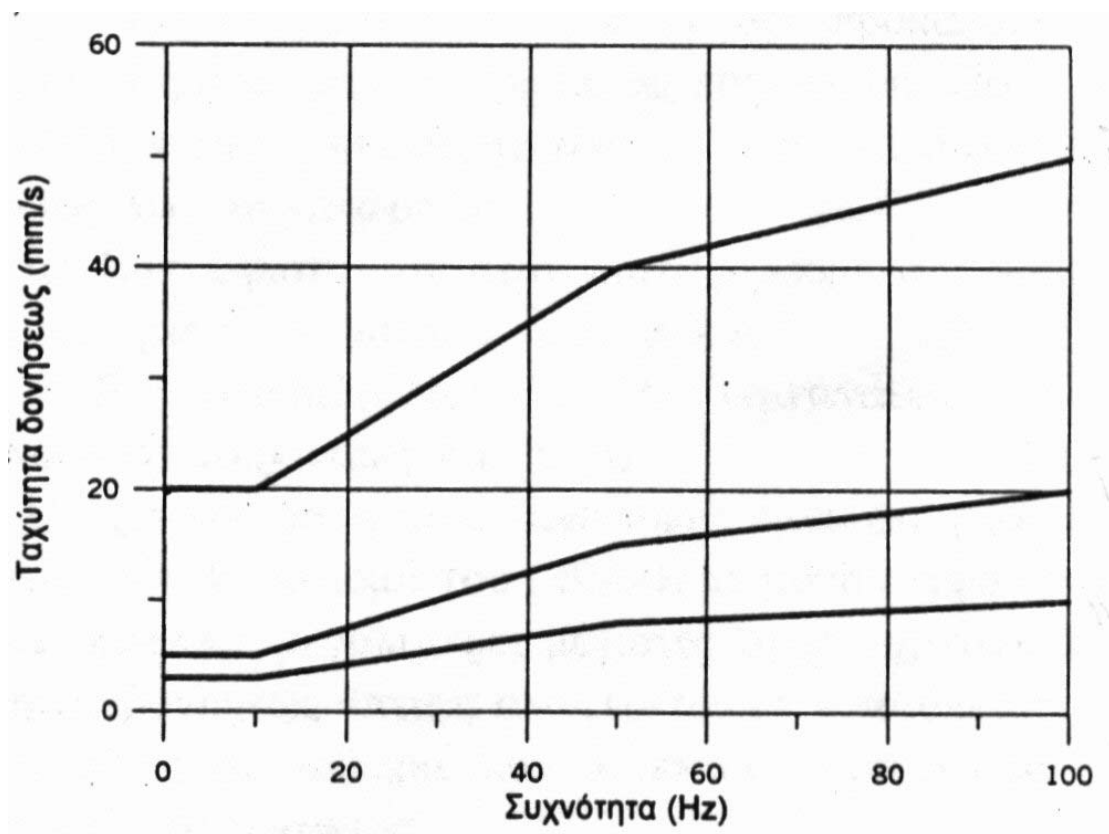
Σχήμα 4.24: Φόρμα εισαγωγής δεδομένων για τον υπολογισμό των ασφαλών ορίων δόνησης του εδάφους βάσει του κανονισμού των Η.Π.Α

4.8.2 Κανονισμός Γερμανίας

Αυστηρότερος του κανονισμού των Η.Π.Α είναι ο γερμανικός κανονισμός DIN 4150 του 1984. Ο νέος αυτός κανονισμός καθορίζει ότι το μεγαλύτερο από τα τρία διανυσματικά μεγέθη (v_L , v_T , v_V) της μέγιστης ταχύτητας δόνησης των σωματιδίων στην επιφάνεια του εδάφους παραπλεύρως της κατασκευής ή σε τοίχο θεμελίων, δεν πρέπει να υπερβαίνει τις του πίνακα 4.3 για να θεωρηθεί ασφαλής τιμή για διάφορες κλίμακες συχνοτήτων, που δέχονται διάφορα είδη κατασκευών (Τσουτρέλης κ.α., 2000).

Πίνακας 4.3: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές ταχύτητας δόνησης συναρτήσει της συχνότητας (Τσουτρέλης κ.α., 2000)

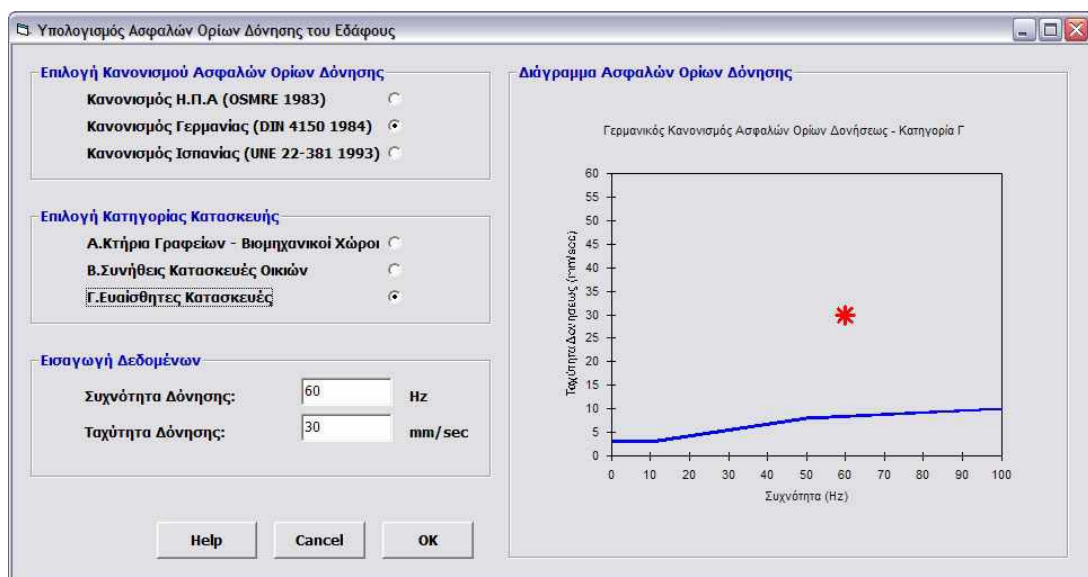
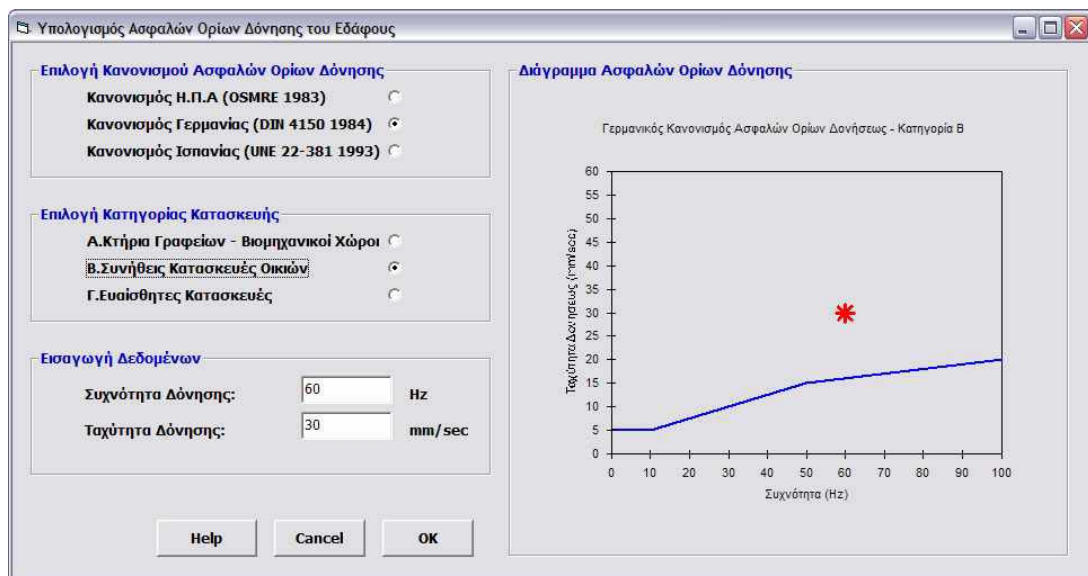
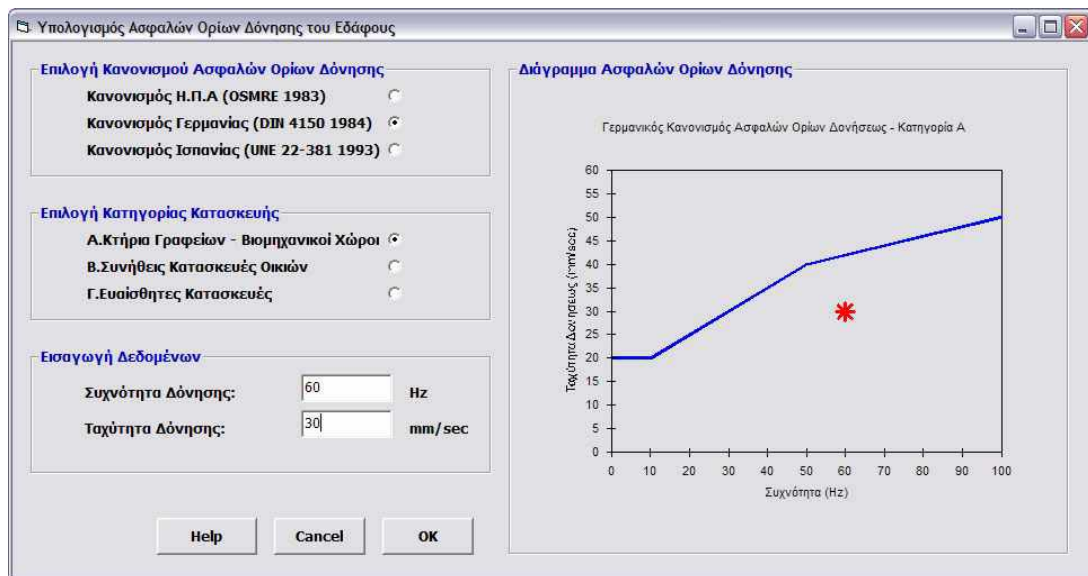
Κατηγορία κατασκευής	Μέγιστη ταχύτητα δονήσεως στα θεμέλια της κατασκευής (mm/s)		
	<10 Hz	10-50 Hz	50-100Hz
i) Κτίρια γραφείων και βιομηχανικοί χώροι	20	20-40	40-50
ii) Συνήθεις κατασκευές οικιών και παρόμοιες κατασκευές	5	5-15	15-20
iii) Κατασκευές οι οποίες λόγω ευαισθησίας δεν εντάσσονται στις κατηγορίες i και ii	3	3-8	8-10



Σχήμα 4.25: Γραφική παρουσίαση του γερμανικού κανονισμού ασφαλών ορίων δόνησης του εδάφους DIN 4150 (1984) (Τσουτρέλης κ.α., 2000)

Για συχνότητες μεγαλύτερες των 100 Hz εφαρμόζονται οι μέγιστες τιμές της τελευταίας δεξιάς στήλης. Η γραφική παρουσίαση του γερμανικού κανονισμού δίνεται στο σχήμα 4.25 (Τσουτρέλης κ.α., 2000).

Στο σχήμα 4.26 φαίνεται η φόρμα του προγράμματος WinBlast όπου υπολογίζεται η ασφάλεια δόνησης του εδάφους. Ο χρήστης εισάγει τα δεδομένα που είναι η ταχύτητα δόνησης του εδάφους και η συχνότητα δόνησης και το πρόγραμμα υπολογίζει την θέση τους στο διάγραμμα του σχήματος 4.25 που παριστά τα ασφαλή όρια δόνησης. Στα αριστερά της φόρμας φαίνεται η επιλογή του χρήστη «Κανονισμός Γερμανίας (DIN 4150 1984)» καθώς και η επιλογή για κάθε μία από τις τρεις κατηγορίες κτιρίων. Στα αριστερά της φόρμας εμφανίζεται το αντίστοιχο διάγραμμα καθώς και ένα σημείο το οποίο σχεδιάζεται με βάση τα δεδομένα που εισάγει ο χρήστης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει χρησιμοποιηθεί ταχύτητα δόνησης $v = 30 \text{ mm/s}$ και συχνότητα δόνησης $f = 60 \text{ Hz}$. Όπως φαίνεται από το σχήμα η έκρηξη είναι ασφαλής για την πρώτη κατηγορία κτιρίων (i), ενώ για τις άλλες δύο κατηγορίες ξεπερνά κατά πολύ τα όρια ασφαλείας γεγονός που την καθιστά επικίνδυνη.

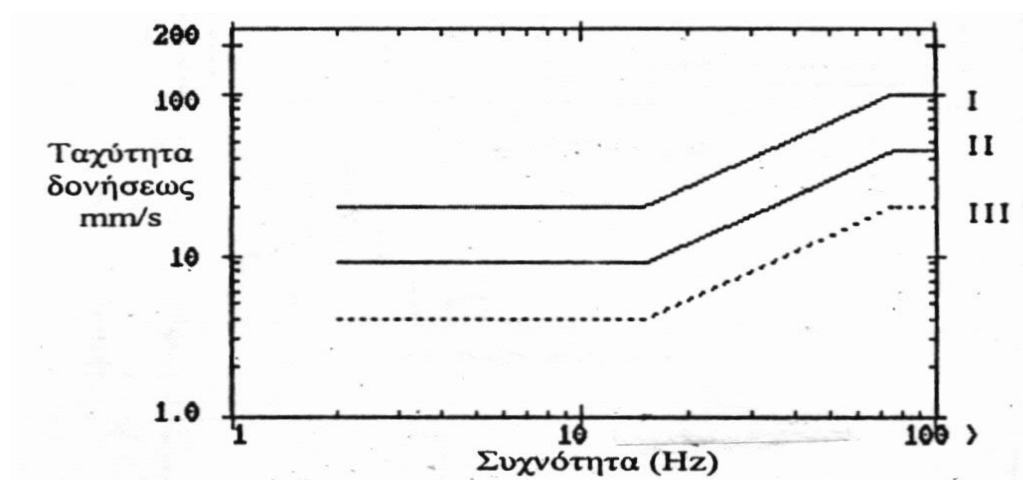


Σχήμα 4.26: Φόρμα εισαγωγής δεδομένων για τον υπολογισμό των ασφαλών ορίων δόνησης του εδάφους με βάση το γερμανικό κανονισμό.

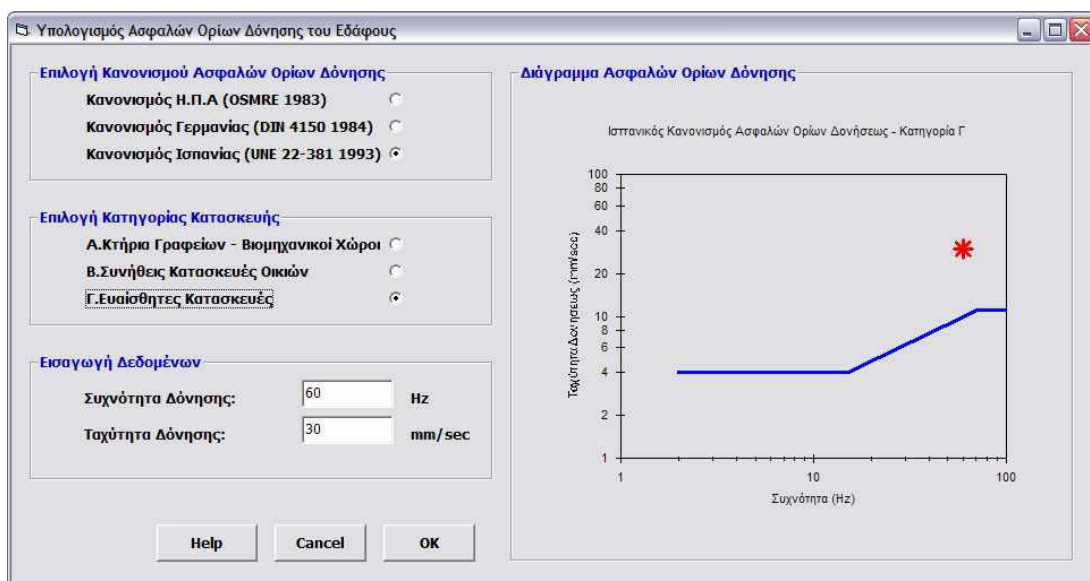
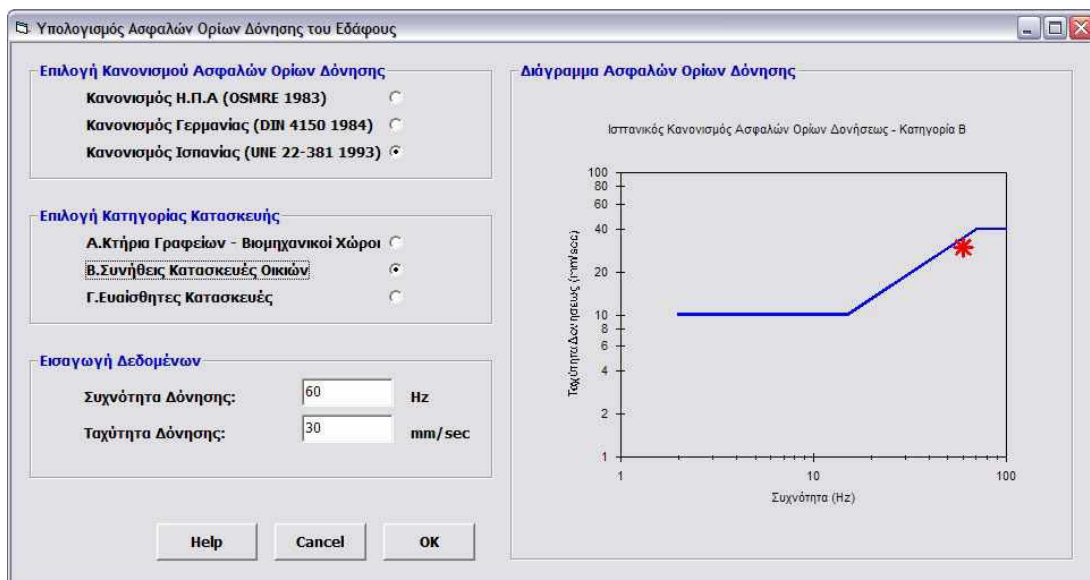
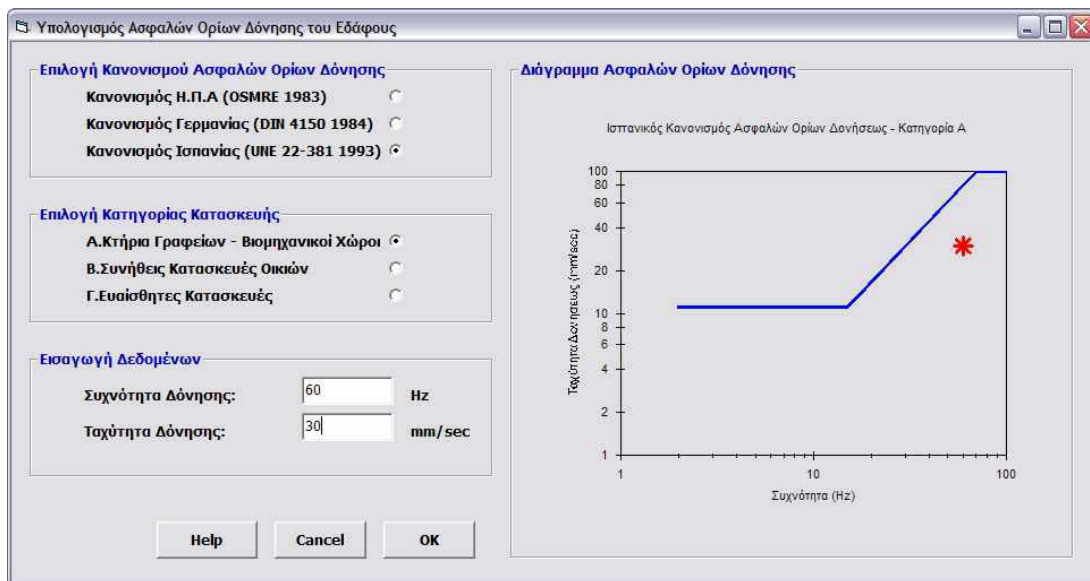
4.8.3 Κανονισμός Ισπανίας

Στο σχήμα 4.27 δίνεται ο ισπανικός κανονισμός UNE 22-381-93 (1993), ο οποίος καλύπτει τρεις κατηγορίες I, II, III ποιότητας κατασκευών ακολουθώντας ως προς το σημείο αυτό το γερμανικό κανονισμό. Στην κατηγορία I εμπίπτουν βιομηχανικά συγκροτήματα κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα ή χάλυβα. Στην κατηγορία II εμπίπτουν οι συνήθεις κατοικίες, κτίρια γραφείων, εμπορικά κέντρα καθώς και κτίρια αρχαιολογικής ή αρχιτεκτονικής σημασίας, που δεν παρουσιάζουν δομικά προβλήματα. Στην κατηγορία III εμπίπτουν κτίρια αρχαιολογικής, αρχιτεκτονικής ή ιστορικής σημασίας, που παρουσιάζουν δομικά προβλήματα (Τσουτρέλης κ.α., 2000).

Στο σχήμα 4.28 φαίνεται η φόρμα του προγράμματος WinBlast όπου υπολογίζεται η ασφάλεια δόνησης του εδάφους. Ο χρήστης εισάγει τα δεδομένα που είναι η ταχύτητα δόνησης του εδάφους και η συχνότητα δόνησης και το πρόγραμμα υπολογίζει την θέση τους στο διάγραμμα του σχήματος 4.27 που παριστά τα ασφαλή όρια δόνησης. Στα αριστερά της φόρμας φαίνεται η επιλογή του χρήστη «Κανονισμός Ισπανίας (UNE 22-381 1993)» καθώς και η επιλογή για κάθε μία από τις τρεις κατηγορίες κτιρίων. Στα αριστερά της φόρμας εμφανίζεται το αντίστοιχο διάγραμμα καθώς και ένα σημείο το οποίο σχεδιάζεται με βάση τα δεδομένα που εισάγει ο χρήστης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχει χρησιμοποιηθεί ταχύτητα δόνησης $v = 30 \text{ mm/s}$ και συχνότητα δόνησης $f = 60 \text{ Hz}$. Όπως φαίνεται από το σχήμα η έκρηξη είναι ασφαλής για την πρώτη και δεύτερη κατηγορία κτιρίων, ενώ για την τρίτη κατηγορία ξεπερνά κατά πολύ τα όρια ασφάλειας γεγονός που την καθιστά επικίνδυνη.



Σχήμα 4.27: Ισπανικός κανονισμός (UNE 22-381) (Τσουτρέλης κ.α., 2000)



Σχήμα 4.28: Φόρμα εισαγωγής δεδομένων για τον υπολογισμό των ασφαλών ορίων δόνησης του εδάφους με βάση τον ισπανικό κανονισμό.

4.8.4 Άλλοι ισχύοντες κανονισμοί

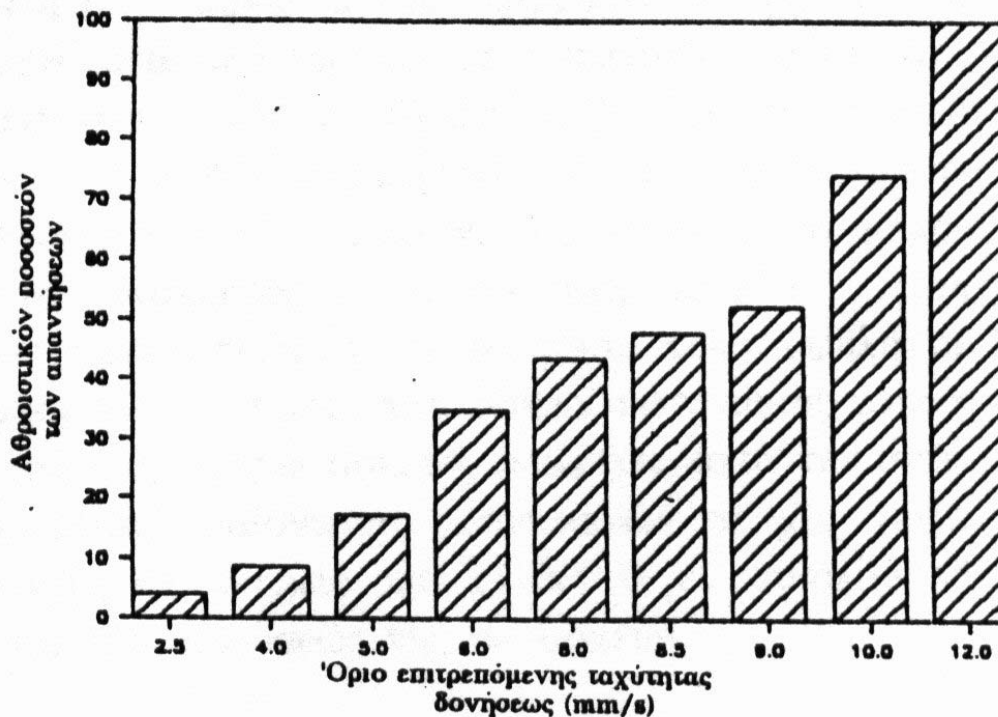
Ο ινδικός κανονισμός (CMRI standards, 1993) καθορίζει τις αναφερόμενες στον πίνακα 4.4 τιμές της μέγιστης ταχύτητας ταλάντωσης του εδάφους σε συσχέτισμό με τη συχνότητα δόνησης για διάφορες κατηγορίες κατασκευών (Τσουτρέλης κ.α., 2000).

Το Εθνικό Συμβούλιο Άνθρακος της Μεγάλης Βρετανίας στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις λιθάνθρακα είχε θέσει από το 1981 ως όριο επιτρεπόμενης μέγιστης τιμής για την ταχύτητα δόνησης, που καταγράφεται σε μία κατασκευή, την τιμή των 12 mm/s, η οποία είχε γίνει δεκτή ευρύτερα στη Μεγάλη Βρετανία για συχνότητες μικρότερες των 12 Hz. Στην περίπτωση υπογείων σε σήραγγες οι τιμές 10 και 25 mm/s έχουν γίνει δεκτές για τις περιπτώσεις πυκνοκατοικημένων και αραιοκατοικημένων περιοχών αντίστοιχα (Τσουτρέλης κ.α., 2000).

Αργότερα το ίδιο Συμβούλιο υπό την πίεση διαφόρων θιγομένων υιοθέτησε την τιμή 6,4 mm/s για τις υπαίθριες εξορύξεις λιθάνθρακα. Σύμφωνα με τη μελέτη του οίκου Jay Mineral Services Ltd (1988) οι διάφορες τοπικές αρχές της Μεγάλης Βρετανίας μέσω των αρμόδιων υπηρεσιών τους (Mineral Planning Authorities) έχουν θεσπίσει τοπικούς κανονισμούς των οποίων μια απογραφή έδωσε την αθροιστική συχνότητα κατανομής του σχήματος 4.29. Από το σχήμα αυτό προκύπτει ότι σε κάθε περίπτωση η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή δεν υπερβαίνει τα 12 mm/s (Τσουτρέλης κ.α., 2000).

Πίνακας 4.4: Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές της μεγαλύτερης συνιστώσας της ταχύτητας δονήσεως του εδάφους συναρτήσει της συχνότητας του κύματος (CMRI, 1993) (Τσουτρέλης κ.α., 2000)

Κατηγορία κατασκευής	Μέγιστη ταχύτητα δόνησης mm/s	
	Συχνότητα $f \leq 24$ Hz	Συχνότητα $f > 24$ Hz
Βιομηχανικά κτίρια από χάλυβα ή από οπλισμένο σκυρόδεμα	12,5	25,0
Συνήθεις κατασκευές οικιών, γέφυρες	5,0	10,0
Ιστορικά κτίρια, ευαίσθητες κατασκευές ηλικίας μεγαλύτερης των 50 ετών – κατασκευές ευρισκόμενες σε κακή κατάσταση	2,0	5,0



Σχήμα 4.29: Στατιστική επεξεργασία απογραφικών στοιχείων από διάφορες τοπικές αρχές της Μεγάλης Βρετανίας (Jay Mineral Services Ltd., 1988) (Τσουτρέλης κ.α., 2000)

Ο σχετικός σουηδικός κανονισμός μοιάζει αρκετά με τον κανονισμό του OSMRE με μόνη διαφορά ότι επιτρέπει μεγαλύτερες μέγιστες τιμές της ταχύτητας δόνησης επειδή αναφέρεται σε κατασκευές κτισμένες σε σκληρά και συνεκτικά πετρώματα (σουηδικός γρανίτης) (Τσουτρέλης κ.α., 2000).

Σύμφωνα με τον αυστραλιανό κανονισμό CA-23 για συχνότητες μικρότερες των 15 Hz η μέγιστη ένταση του μήκους κύματος A δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή των 0,008 in, ενώ για συχνότητες μεγαλύτερες των 15 Hz η μέγιστη ταχύτητα των σωματιδίων v δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή 0,75 in/s. Από την εφαρμογή του τύπου $v = 2\pi fA$ προκύπτουν οι επόμενες τιμές της μέγιστης ταχύτητας για τιμές της συχνότητας $f = 5, 10$ και 12 Hz (Τσουτρέλης κ.α., 2000):

Για	$f = 5$	$v = 0,25 \text{ in/s } (=6,25 \text{ mm/s})$
	$f = 10$	$v = 0,50 \text{ in/s } (=12,5 \text{ mm/s})$
	$f = 12$	$v = 0,60 \text{ in/s } (=15,0 \text{ mm/s})$

Ο ισχύων Ελληνικός Κανονισμός Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών καθορίζει ότι: «Η μέγιστη ταχύτητα ταλάντωσης των σημείων του εδάφους σε θέσεις κτισμάτων και δημοσίων έργων, που παρουσιάζουν ευαισθησία στις δονήσεις απαγορεύεται να είναι μεγαλύτερη από 50 mm/s. Ειδικά για την προστα-

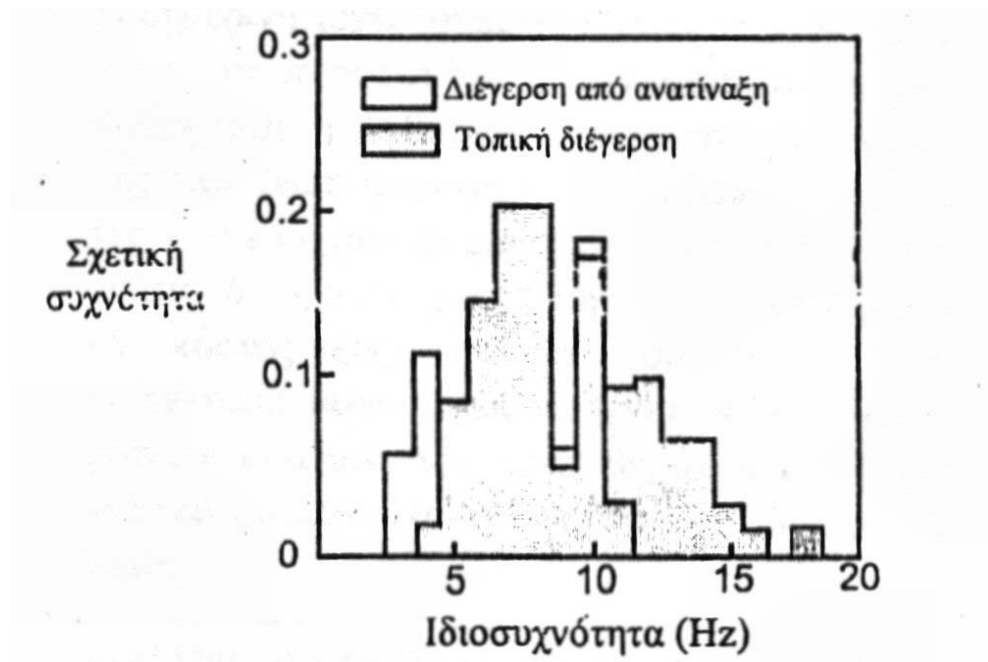
σία περιοχών ή κατασκευών, που παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία στις δονήσεις πρέπει να περιορίζεται το πιο πάνω όριο και να γίνεται χρήση δονησιογράφου» (Τσουτρέλης κ.α., 2000).

Οι ατέλειες του ελληνικού κανονισμού είναι προφανείς αφού: α) δεν λαμβάνει υπόψη του τη συχνότητα υπό την οποία σημειώνεται η μέγιστη ταχύτητα δόνησης, β) δεν καθορίζει εάν η τιμή των 50 mm/s αναφέρεται σε συνιστώσα ή την συνιστάμενη της μέγιστης ταχύτητας, γ) χρησιμοποιεί αδιακρίτως μια μόνο τιμή για όλα τα είδη των κατασκευών, η οποία είναι πολύ υψηλή σε σχέση με τις τιμές που δίνουν κανονισμοί άλλων χωρών, δ) αφήνει αρκετές ασάφειες κατά την αντιμετώπιση ευαίσθητων κατασκευών σε μια χώρα γεμάτη μνημεία και ε) δε θίγει καθόλου το θέμα της κόπωσης της κατασκευής (Τσουτρέλης κ.α., 2000).

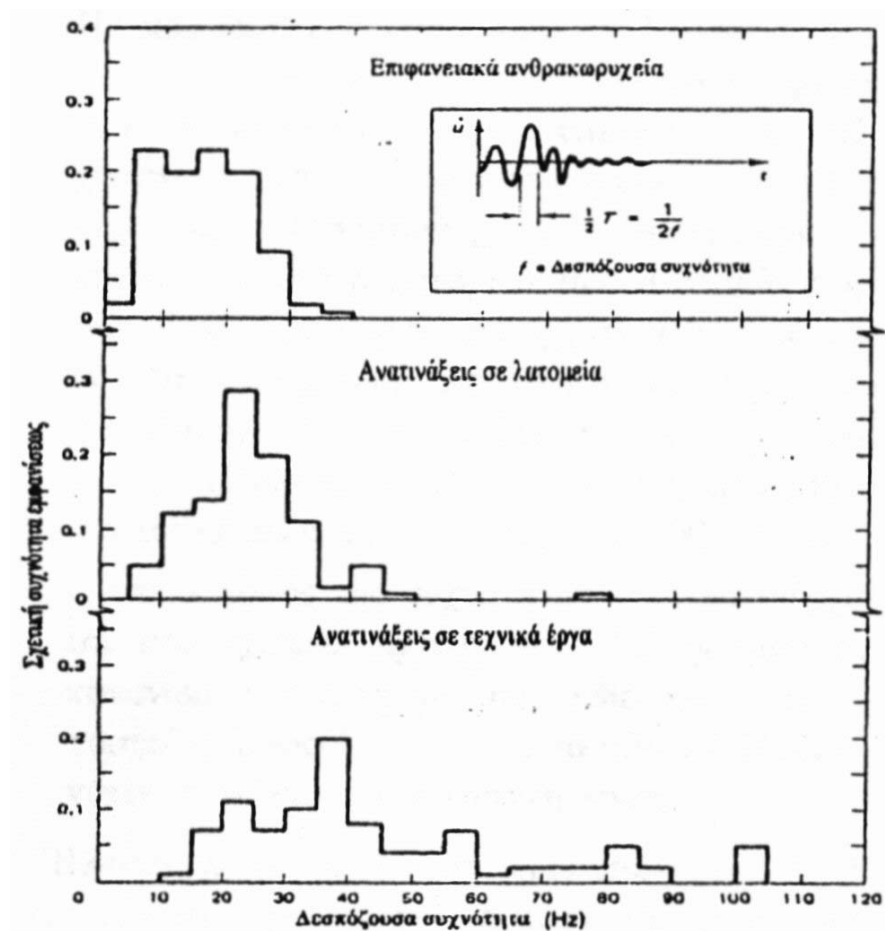
4.8.5 Επίδραση της συχνότητας δονήσεως στην κατασκευή

Είναι σαφές από την ανασκόπηση που προηγήθηκε ότι παράλληλα με την ταχύτητα δόνησης, προσοχή πρέπει να δοθεί στο θέμα της συχνότητας, ιδιαίτερα όταν στη θέση της κατασκευής η δόνηση έχει χαμηλή τιμή συχνότητας, διότι τότε υπάρχει κίνδυνος σύμπτωσης της συχνότητας δόνησης του εδάφους με την ιδιοσυχνότητα (φυσική συχνότητα) της κατασκευής. Η σύμπτωση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση της ταλάντωσης της κατασκευής (συντονισμός), επειδή τότε επέρχεται η μέγιστη μεταφορά ενέργειας προς την κατασκευή με συνέπεια να υφίσταται αυτή μέγιστη ταλάντωση και παραμόρφωση. Σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα η ιδιοσυχνότητα μιας κατασκευής είναι συνάρτηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της κατασκευής, της μάζας της και της ακαμψίας της, έχει δε τιμές μεταξύ 0,5 και 20 Hz. Σχετικό είναι το σχήμα 4.30 στο οποίο δίνεται το εύρος εντός του οποίου κυμαίνονται οι ιδιοσυχνότητες χαμηλορόφων κατασκευών (Τσουτρέλης κ.α., 2000).

Από την άλλη πλευρά οι προκαλούμενες από τις ανατινάξεις συχνότητες των δονήσεων, μετά από μια ταχεία εξαφάνιση των υψηλών τιμών τους, η οποία συμβαίνει σε αποστάσεις μέχρι του τριπλάσιου ή του τετραπλάσιου του μήκους του διατρήματος, έχουν τιμές από 1 Hz έως 100 Hz περίπου όπως χαρακτηριστικά δείχνει το σχήμα 4.31 για τρεις περιπτώσεις ανατινάξεων (Τσουτρέλης κ.α., 2000).



Σχήμα 4.30: Συχνόγραμμα ιδιοσυχνοτήτων χαμηλών κατασκευών (Τσουτρέλης κ.α., 2000).



Σχήμα 4.31: Συχνόγραμμα δεσπόζουσας συχνότητας για διάφορες κατηγορίες υπαίθριων ανατινάξεων (Τσουτρέλης κ.α., 2000).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στη διπλωματική αυτή εργασία περιγράφεται η ανάπτυξη ενός λογισμικού για την εμπέδωση βασικών εννοιών της Διάτρησης-Ανατίναξης. Στην εφαρμογή αυτή έγινε προσπάθεια να συμπεριληφθούν όσο το δυνατόν περισσότερα στοιχεία και ενότητες της Διάτρησης-Ανατίναξης καθώς και διάφορα προβλήματά της, τα οποία απαιτούν πολλούς υπολογισμούς και των οποίων η άμεση αριθμητική επίλυση αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο τόσο για τον φοιτητή όσο και για τον επαγγελματία μηχανικό που ασχολείται με τέτοιου είδους θέματα.

Η εφαρμογή αυτή αναπτύχθηκε στην ελληνική γλώσσα, δηλαδή όλες οι φόρμες του προγράμματος WinBlast περιέχουν ελληνικό κείμενο. Προτείνεται λοιπόν για τη βελτίωση και επέκταση της διπλωματικής αυτής εργασίας η μετατροπή του λογισμικού WinBlast και σε αγγλική γλώσσα ώστε να είναι δυνατή η χρήση του διεθνώς.

Επιπλέον, ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα που παρουσιάζει το λογισμικό WinBlast, είναι το γεγονός ότι δεν υπάρχει κάποιο ενιαίο σύστημα μονάδων, αλλά αυτές αλλάζουν ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε σχέσης (πχ. διάφορες εμπειρικές σχέσεις υπολογισμού του φορτίου). Αυτό οφείλεται στη διαφορετική εθνική καταγωγή των διαφόρων ερευνητών που πρότειναν μέσω πειραμάτων και θεωρητικών μελετών τις σχέσεις αυτές. Προτείνεται λοιπόν για τη βελτίωση της διπλωματικής εργασίας η μετατροπή όλων των σχέσεων που περιλαμβάνονται στο λογισμικό WinBlast, ώστε τα διάφορα μεγέθη που περιέχονται σε αυτές να μετρούνται στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (S.I).

Τέλος από το υποκεφάλαιο, 4.8 όπου αναλύεται το θέμα της προστασίας των κατασκευών από τις δονήσεις του εδάφους, λόγω ανατινάξεων, γίνεται σαφές ότι ο ισχύων ελληνικός κανονισμός του Κ.Μ.Λ.Ε. είναι ανεπαρκής λόγω του ότι δεν λαμβάνει υπόψη τη συχνότητα ταλάντωσης των μορίων του εδάφους καθώς και λόγω του ότι δεν διαφοροποιείται για τους διάφορους τύπους κατασκευών. Προτείνεται λοιπόν ως επέκταση της διπλωματικής αυτής εργασίας η συστηματική πειραματική μελέτη για την αναθεώρηση του ισχύοντος κανονισμού στη χώρα μας καθώς και η ενσωμάτωση του νέου αυτού κανονισμού στο πρόγραμμα WinBlast.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγιουτάντης, Ζ. (1996). *Τεχνολογία Εξόρυξης – Διάτρηση και Ανατίναξη*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
2. Σπινέλλης, Δ. (2004). Υλοποίηση Διεπαφών σε Visual Basic, <http://www.dmst.aueb.gr/dds/c3/vb/indexw.htm>.
3. Τσουτρέλης, Χ. (2001). *Εκρηκτικές Ύλες και Τεχνική των Ανατινάξεων*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π. Ν.Τ.Υ.Α. Press, Αθήνα.
4. Τσουτρέλης, Χ., Ν. Γκίκας και Π. Νομικός (2000). Προστασία των Κατασκευών από τις Προκαλούμενες από τις Ανατινάξεις Δονήσεις – Μια Πρόταση για την Τροποποίηση του Σχετικού Άρθρου του Κ.Μ.Λ.Ε., *Ορυκτός Πλούτος*, Τεύχος 114, σελ. 33-44.
5. Perry, G. (1998). *Εγχειρίδιο της Visual Basic 6*, Εκδόσεις Μ. Γκιούρδας, Αθήνα.
6. Smith, E. (1999). *Visual Basic 6 Bible*, Εκδόσεις Paperback.