ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

Αξιολόγηση δονημετρικών δεδομένων από υδρόφωνα εντός διατρήματος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΣΠΗΛΙΑΔΗΣ

<u>Εξεταστική Επιτροπή</u>

Αγιουτάντης Ζαχαρίας, καθηγητής (επιβλέπων)

Εξαδάκτυλος Γεώργιος, καθηγητής

Δρ Κακλής Κωνσταντίνος

Πρόλογος – Ευχαριστίες

Η διπλωματική αυτή εργασία διαπραγματεύεται τον συσχετισμό των επιφανειακών δονήσεων που προκαλούνται από τη χρήση εκρηκτικών υλών με τις αντίστοιχες μεταβολές που προκαλούνται στην υδροστατική πίεση εντός υδρογεωτρήσεων.

Τα πειράματα που χρειάστηκαν έλαβαν χώρο στην περιοχή της λίμνης Υλίκης Ευβοίας στα πλαίσια έργου οδοποιίας που πραγματοποιούνταν στην περιοχή.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή Ζαχαρία Αγιουτάντη για την πολύτιμη καθοδήγησή του, καθώς και τον καθηγητή Γεώργιο Εξαδάκτυλο και Κωνσταντίνο Κακλή για τις χρήσιμες συμβουλές και επισημάνσεις τους. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πρόεδρο και διευθύνοντα σύμβουλο της εταιρείας ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε. Ηλία Μπαλικτσή για την συνεργασία του καθώς και για τον εξοπλισμό αλλά και για όλο το απαραίτητο υλικό που μου παρείχε. Ακόμα όλο το προσωπικό της ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε. για την βοήθειά τους.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω τους Σταθογιάννη Φωτεινή, Μαυριγιαννάκη Στέλιο αλλά και όλους τους φίλους μου για τη σημαντική βοήθειά τους.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και ειδικά τους γονείς μου για την στήριξή και την αμέριστη συμπαράστασή τους όλα αυτά τα χρόνια, στους οποίους αφιερώνεται και η παρούσα εργασία.

Περίληψη

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε διερεύνηση της μετάδοσης σεισμικών κυμάτων, που δημιουργήθηκαν από τη χρήση εκρηκτικών υλών, εντός διατρημάτων τα οποία ήταν πλήρη με νερό. Στα πλαίσια αυτής της προσπάθειας είχε στηθεί στο πεδίο μια πειραματική διάταξη η οποία περιλάμβανε ταυτόχρονη χρήση υδροφώνων και γεωφώνων. Η αξιολόγηση των δεδομένων περιλάμβανε χρήση ειδικού λογισμικού ώστε να γίνει δυνατός ο συσχετισμός των δεδομένων των υδροφώνων και των επιφανειακών δονήσεων. Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν γραφήματα που παρουσιάζουν το συσχετισμό της μεταβολής της υδροστατικής πίεσης (υδρόφωνα) με τις επιφανειακές δονήσεις (γεώφωνα).

<u>Περιεχόμενα</u>

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Στη σημερινή εποχή οι εκρηκτικές ύλες βρίσκουν πολλές εφαρμογές στα τεχνικά έργα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως έχουν βελτιωθεί κατά πολύ οι μέθοδοι παραγωγής τους αλλά και ο τρόπος χρήσης αυτών. Η τεχνική κατάρτιση που διακρίνει τους σημερινούς μηχανικούς τους καθιστά απόλυτα ικανούς να μπορούν να χειρίζονται τις εκρηκτικές ύλες ώστε να πετυχαίνουν το βέλτιστο αποτέλεσμα αλλά ταυτόχρονα να ελαχιστοποιούν τους κινδύνους που προκαλούνται από τη χρήση τέτοιων υλικών.

Ένα από τα πιο φυσικά επακόλουθα από τη χρήση των εκρηκτικών υλών είναι η δημιουργία δονήσεων. Οι δονήσεις αυτές πλέον μπορούν να μετρηθούν με τη χρήση των δονησιογράφων.

Με τη βοήθεια των δονησιογράφων και της μεθόδου της **ανηγμένης απόστασης** είναι δυνατό πλέον να μπορεί να δημιουργηθεί μια “δονημετρική ταυτότητα” της εκάστοτε περιοχής. Αυτό σημαίνει πως με τη μέθοδο αυτή ο μηχανικός είναι σε θέση να αναμένει, κατά κάποιο τρόπο, συγκεκριμένες τιμές εδαφικών δονήσεων, σε οποιοδήποτε σημείο του πεδίου, χωρίς να χρειάζεται να πραγματοποιήσει μετρήσεις στο σημείο αυτό, πράγμα που διευκολύνει κατά πολύ τη διαδικασία σχεδιασμού μιας ανατίναξης.

Σε περιπτώσεις τώρα που υπάρχει η ανάγκη να πραγματοποιηθούν μετρήσεις σε υδάτινο περιβάλλον (υδρογεωτρήσεις) οι δονησιογράφοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό καθώς είναι σε θέση να συνδέονται με υδρόφωνα. Σε αυτήν την περίπτωση οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται δεν αφορούν πλέον τιμές εδαφικής δόνησης αλλά τιμές μεταβολής της υδροστατικής πίεσης. Στις περιπτώσεις μετρήσεων εδαφικών δονήσεων, τα αποτελέσματα αξιολογούνται μέσω της μεθόδου της ανηγμένης απόστασης. Όπως αναφέρεται και στο αντίστοιχο κεφάλαιο της εργασίας η μέθοδος της ανηγμένης απόστασης έχει προταθεί από το 1980 από μελέτες του γραφείου μεταλλείων των Η.Π.Α. και αποτελεί πια μια καταξιωμένη μέθοδο για την εκτίμηση των επιπτώσεων των δονήσεων σε κατασκευές. Αντίστοιχες μελέτες έχουν γίνει για την εκτίμηση της επίδρασης της αέριας δόνησης (ωστικού κύματος) σε κατασκευές, χρησιμοποιώντας μια αντίστοιχη μεθοδολογία ανηγμένης απόστασης.

Στην περίπτωση των μετρήσεων υπερπίεσης ή διαφοράς πίεσης σε υδρόφωνα δεν υπάρχουν αντίστοιχες μελέτες οι οποίες να μπορούν να ποσοτικοποιήσουν επιπτώσεις σε κατασκευές ή σε έμβια όντα λόγω των δονήσεων που παράγονται από μια ανατίναξη.

Η διπλωματική αυτή έχει σαν βασικό αντικείμενο μελέτης την διερεύνηση πιθανού συσχετισμού των εδαφικών δονήσεων μιας περιοχής με τις αντίστοιχες μεταβολές υδροστατικής πίεσης. Με τον τρόπο αυτό ένας μηχανικός θα μπορούσε, έχοντας πραγματοποιήσει τη μέθοδο ανηγμένης απόστασης, να μπορεί να κάνει μία πρόβλεψη για τη μεταβολή της υδροστατικής πίεσης σε οποιοδήποτε σημείο του πεδίου που πραγματοποιείται μια ανατίναξη.

Για τους παραπάνω λόγους στήθηκε στην περιοχή της λίμνης Υλίκης μια πειραματική διάταξη αποτελούμενη από δυο υδρογεωτρήσεις. Στις υδρογεωτρήσεις αυτές είχαν τοποθετηθεί δονησιογράφοι οι οποίοι ήταν συνδεδεμένοι ταυτόχρονα και με υδρόφωνα ώστε να μετρούνται οι μεταβολές της υδροστατικής πίεσης μέσα σε αυτές αλλά και με γεώφωνα ώστε να μετρούνται οι τιμές των εδαφικών δονήσεων.

Με αυτόν τον τρόπο έγινε συλλογή δεδομένων που αποτελούνταν από ζεύγη μετρήσεων εδαφικής δόνησης και μεταβολής υδροστατικής πίεσης. Τα δεδομένα αυτά αναλύθηκαν με τη βοήθεια λογισμικού προγράμματος (blastware) αλλά και στατιστικής ανάλυσης.

Κεφάλαιο 2: Βασικά στοιχεία εκρηκτικών

2.1 Εισαγωγή

Πολύ συχνά, σε διάφορα τεχνικά έργα αλλά και σε μεταλλεία παρατηρείται η χρήση εκρηκτικών υλών ώστε να επιτευχθεί ο καλύτερος κατακερματισμός του εκάστοτε πετρώματος, σε πολύ μικρότερο χρόνο απ'ότι θα χρειαζόταν με τη χρήση άλλων μεθόδων.

Τα εκρηκτικά, όταν χρησιμοποιούνται σωστά, αποτελούν ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για τον άνθρωπο. Η λανθασμένη χρήση τους όμως μπορεί να προκαλέσει όχι μόνο ανεπιθύμητα για το έργο αποτελέσματα αλλά και κάποιο τραυματισμό ή σε κάποιες περιπτώσεις ακόμα και απώλεια ανθρώπινης ζωής.

2.1.1 Εκρηκτικά-Εκρηκτικές ύλες

Τα εκρηκτικά ή εκρηκτικές ύλες, αποτελούν υλικά ή σύμπλεγμα υλικών (μίγμα) τα οποία έχουν την ιδιότητα, όταν εναυθούν, να αποσυντίθενται πολύ γρήγορα παράγοντας μεγάλες ποσότητες αερίων και θερμότητας.

Η γρήγορη αυτή αποσύνθεση αποτελεί μια εξώθερμη χημική αντίδραση που καλείται "έκρηξη".

Αποτελούνται συνήθως από ένα καύσιμο (fuel) και ένα οξειδωτικό παράγοντα (oxidizer).

Τα προϊόντα μιας έκρηξης είναι συμπιεσμένα αέρια σε μεγάλες πιέσεις, στα οποία δρα μια αυξανόμενη θερμοκρασία που έχει ως αποτέλεσμα την επιπλέον αύξηση της πίεσης με μεγάλη ταχύτητα.

Σε αυτή την γρήγορη αύξηση της θερμοκρασίας και συνεπώς και πίεσης οφείλεται και η δημιουργία του κρουστικού κύματος το οποίο κινείται σε όλο το μήκος του ανενεργού εκρηκτικού.

Η ταχύτητα της έναυσης κυμαίνεται περίπου από 1500 μέχρι 9000m/s, που είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την ταχύτητα του ήχου (Partha das Sharma, 2009, Holmberg et. al., 1994).

2.1.2 Ιδιότητες των εκρηκτικών

Τα εκρηκτικά έχουν κάποιες βασικές ιδιότητες οι οποίες είναι χρήσιμες, όχι μόνο στην αξιολόγηση του κάθε εκρηκτικού, αλλά και στη σωστή επιλογή αυτού ώστε να επιτευχθεί το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα στο εκάστοτε έργο.

2.1.2.1 Ισχύς

Ο όρος **ισχύς** ενός εκρηκτικού αναφέρεται στην ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την έκρηξη. Είναι ένα σημαντικό μέτρο σύγκρισης στην επιλογή του σωστού εκρηκτικού καθώς για πετρώματα μεγάλης σκληρότητας χρειάζεται μεγάλη ισχύς ώστε να επιτευχθεί ικανοποιητικός θρυμματισμός. Σε αντίθετη περίπτωση όμως, δηλαδή σε πέτρωμα με μικρή σκληρότητα, αν χρησιμοποιηθεί ένα εκρηκτικό με μεγάλη ισχύ θα έχει ως αποτέλεσμα να υπάρξει ένα μεγάλο πλεόνασμα ενέργειας το οποίο όχι μόνο δεν θα χρησιμοποιηθεί στο θρυμματισμό αλλά μπορεί να δημιουργήσει και σημαντικά προβλήματα όπως είναι οι δονήσεις.

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 (Αγιουτάντης, 2005).

Στη σημερινή εποχή πολλοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν την **υποβρύχια μέθοδο δοκιμής (underwater method test)**. Κατά τη δοκιμή αυτή μια μετρημένη ποσότητα εκρηκτικού πυροδοτείται σε συγκεκριμένο βάθος μιας λίμνης με γνωστές διαστάσεις. Η ενέργεια που απελευθερώνεται από την έκρηξη μιας τέτοιας γόμωσης κάτω από το νερό μπορεί να μετρηθεί σε δυο μορφές: την κρουστική ενέργεια (πίεση έναυσης) και την ενέργεια φυσαλίδας (πίεση διατρήματος) (Gregory, 1993).

2.1.2.2 Ευαισθησία

Ο όρος ευαισθησία μπορεί να χωριστεί σε δυο έννοιες. Η πρώτη ονομάζεται **ευαισθησία επικινδυνότητας** και έχει να κάνει με τους σχετικούς κινδύνους που εμπεριέχονται κατά την επεξεργασία, το χειρισμό, την αποθήκευση και τη μεταφορά των εκρηκτικών.

Η δεύτερη έννοια συνήθως αναφέρεται ως **ευαισθησία απόδοσης** και αναφέρεται σε τρείς διαφορετικές πλευρές αξιοπιστίας της απόδοσης του εκρηκτικού κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες.

Η πρώτη πλευρά ονομάζεται **ευαισθησία έναυσης (initiation sensitivity)** και δηλώνει την ευκολία με την οποία μπορεί να εναυθεί ένα εκρηκτικό. Τα περισσότερα εκρηκτικά μπορούν να εναυθούν με ένα καψύλι No. 6.

Η δεύτερη πλευρά της ευαισθησίας απόδοσης είναι γνωστή με τον όρο **ευαισθησία διάδοσης (propagation sensitivity)** και έχει να κάνει με την ικανότητα ενός εκρηκτικού να υποστηρίξει ή να ενισχύσει μια έναυση που έχει προηγηθεί. Συνήθως το μέτωπο της χημικής αντίδρασης μειώνεται με τη μείωση της διαμέτρου του εκρηκτικού, έτσι η ευαισθησία διάδοσης εκφράζεται συνήθως από την κρίσιμη διάμετρο.

Η τρίτη πλευρά της ευαισθησίας απόδοσης αναφέρεται ως **ευαισθησία διάδοσης διαμέσου κενών (gap sensitivity)** και διαπραγματεύεται την απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών φυσιγγίων εκρηκτικού, το κενό δηλαδή που υπάρχει μεταξύ τους, σε περιπτώσεις που έχουμε γόμωση με φυσίγγια. Ακόμα συνδέεται και με την απόσταση μεταξύ διατρημάτων σε περίπτωση που εφαρμόζεται συμπαθητική ενεργοποίηση (Gregory, 1993, Αγιουτάντης, 2005).

2.1.2.3 Πυκνότητα

Ο όρος πυκνότητα έχει να κάνει με την πυκνότητα του μίγματος όπως παρασκευάζεται από τον κατασκευαστή (Αγιουτάντης, 2005). Σε περίπτωση που χρησιμοποιείται εκρηκτικό που βρίσκεται υπό μορφή φυσιγγίων, η πυκνότητα εκφράζεται είτε ως ειδικό βάρος είτε ως αριθμός φυσιγγίων. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή το εκρηκτικό δεν είναι σε μορφή φυσιγγίων αλλά διατίθεται χύδην, η πυκνότητα διακρίνεται σε **πυκνότητα γόμωσης** και είναι η ποσότητα εκρηκτικού ανά μονάδα μήκους (Gregory, 1993). Η πυκνότητα γόμωσης είναι σημαντικό να υπολογίζεται μετά το τέλος της διαδικασίας της γόμωσης καθώς εξαρτάται από τον τρόπο που είναι γομωμένη η εκρηκτική στήλη, δηλαδή αν η γόμωση γίνεται χύδην, με τη βαρύτητα, πνευματικά κλπ. Σε περιπτώσεις δε που η γόμωση γίνεται σε περιβάλλον με αυξημένη υγρασία ή μέσα σε νερό, αυτό θα πρέπει να αφαιρείται από τους υπολογισμούς της πυκνότητας (Gregory, 1993). Με βάση τα παραπάνω είναι εύκολο να αντιληφθεί κανείς ότι η πραγματική πυκνότητα που θα έχει ένα διάτρημα θα διαφέρει από αυτήν που υπολογίστηκε θεωρητικά.

2.1.2.4 Ταχύτητα της έκρηξης

Ο όρος ταχύτητα της έκρηξης αναφέρεται στην ταχύτητα που διατρέχει το κρουστικό κύμα το μήκος της εκρηκτικής στήλης. Προκύπτει από το πηλίκο του μήκους της εκρηκτικής στήλης προς το χρόνο που χρειάστηκε το κρουστικό κύμα για να την διατρέξει.

Η ταχύτητα της έκρηξης ή αλλιώς VOD (Velocity of Detonation), αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο ώστε να αξιολογηθεί το κατά πόσον ένα εκρηκτικό, όταν εναύεται σε συνθήκες εκρηκτικής στήλης, μπορεί να δώσει τον κρουστικό παλμό που προβλέπεται θεωρητικά. Ως γνωστόν το μέγεθος του κρουστικού παλμού είναι άμεση συνάρτηση της ταχύτητας έκρηξης. Η ταχύτητα έκρηξης ενός εκρηκτικού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι η πυκνότητα, η σύσταση, το μέγεθος του κόκκου, η διάμετρος του διατρήματος, ο βαθμός περιορισμού, η αναλογία εκρηκτικών και το μέγεθος του πρωτεύοντος εκρηκτικού.

Μερικοί κατασκευαστές μετρούν την ταχύτητα έκρηξης ενός εκρηκτικού χωρίς αυτό να βρίσκεται περιορισμένο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ταχύτητα που μετράται να αντιστοιχεί στο 75% της ταχύτητας που θα είχε το εκρηκτικό υπό περιορισμό (Gregory, 1993). Η ταχύτητα έκρηξης ενός υπό περιορισμό εκρηκτικού αυξάνεται με τη διάμετρο του διατρήματος, όχι όμως γραμμικά.

Ο υπολογισμός της ταχύτητας γίνεται πλέον με τη βοήθεια ηλεκτρονικών VOD recorder που έχουν τη δυνατότητα να αποδίδουν την ταχύτητα της έκρηξης μιας εκρηκτικής στήλης με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Το VOD recorder αποτελείται από μια κεντρική μονάδα και από ένα ειδικά σχεδιασμένο καλώδιο. Το καλώδιο αυτό είναι στην ουσία δυο μικρά καλώδια ενωμένα με τέτοιο τρόπο ώστε όταν είναι συνδεδεμένο με την κεντρική μονάδα να κλείνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Η ηλεκτρική αντίσταση του καλωδίου είναι γνωστή από τον κατασκευαστή. Κατά την διάρκεια της μέτρησης το καλώδιο αυτό "γομώνεται" στην ουσία μαζί με τα εκρηκτικά έτσι ώστε να διατρέχει όλο το μήκος της στήλης. Έτσι κατά την διάρκεια της έκρηξης το μηχάνημα μετρά το ρυθμό με τον οποίο καταστρέφεται το καλώδιο (εφόσον μειώνεται η ηλεκτρική αντίσταση) και αποδίδει στο τέλος την ταχύτητα της έκρηξης του διατρήματος (Εικόνα 2.1). Είναι σημαντικό να προστεθεί ότι τα μηχανήματα αυτά έχουν τη δυνατότητα να αποδίδουν ξεχωριστά την ταχύτητα έκρηξης του μέρους του διατρήματος που αντιστοιχεί στο ενισχυτικό και ξεχωριστά του κυρίως εκρηκτικού. Με αυτόν τον τρόπο με ένα διάτρημα μπορεί να αξιολογηθεί και το κυρίως εκρηκτικό αλλά και το εκάστοτε ενισχυτικό. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η ταχύτητα της έκρηξης κυμαίνεται από 1500 έως 9000m/s (Partha das Sharma, 2009).

Εικόνα 2.1: Συσκευή μέτρησης VOD

2.1.2.5 Ανθεκτικότητα στο νερό

Με τον όρο ανθεκτικότητα στο νερό εκφράζεται η δυνατότητα ενός εκρηκτικού να εκραγεί όταν βρίσκεται κάτω από συνθήκες μεγάλης υγρασίας ή ακόμα και καταβυθισμένο στο νερό. Όταν ένα εκρηκτικό είναι χαμηλής ανθεκτικότητας στο νερό και έρθει σε επαφή με αυτό, τότε η υγρασία που διεισδύει μέσα στη μάζα του εκρηκτικού το αλλοιώνει με αποτέλεσμα αυτό να αδρανοποιείται. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ευαισθησίας του εκρηκτικού πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να ενεργοποιηθεί ανεξέλεγκτα ή και καθόλου.

Τα εκρηκτικά ζελατινώδους υφής έχουν την ιδιότητα να μην επιτρέπουν στο νερό να εισχωρήσει στην μάζα τους και γι'αυτό το λόγο ενδείκνυνται για ανατινάξεις σε υγρό περιβάλλον (Αγιουτάντης, 2005, Gregory, 1993).

2.1.2.6 Κρίσιμη διάμετρος

Γενικά έχει αποδειχθεί ότι όσο μεγαλώνει η διάμετρος ενός διατρήματος αυξάνεται και η ταχύτητα της έκρηξης. Αντίθετα, όσο μικραίνει η διάμετρος μειώνεται η ταχύτητα. Έτσι τα εκρηκτικά δεν ενεργοποιούνται αποτελεσματικά και κατά συνέπεια ο θρυμματισμός του πετρώματος δεν είναι ικανοποιητικός.

Σύμφωνα με τα παραπάνω καταλήγουμε ότι η κρίσιμη διάμετρος ενός εκρηκτικού είναι η ελάχιστη διάμετρος που απαιτείται ώστε να διατηρηθεί η διαδικασία της έκρηξης μέσα στο εκρηκτικό (το εκρηκτικό είναι πλευρικά περιορισμένο) (Gregory, 1993).

2.1.2.7 Πίεση έκρηξης

Ως πίεση έκρηξης ορίζεται η πίεση που δημιουργείται κατά τη διάρκεια της έκρηξης στη μάζα του εκρηκτικού, αφού αυτό έχει ενεργοποιηθεί πλήρως. Εξαρτάται άμεσα από την πυκνότητα του εκρηκτικού και από την ταχύτητα της έκρηξης (VOD). Αποτελεί μια πολύ σημαντική ιδιότητα καθώς όσο μεγαλύτερη πίεση αναπτύσσεται από την ενεργοποίηση του εκρηκτικού τόσο καλύτερα θραύεται το πέτρωμα.

Τη χρονική στιγμή που το κρουστικό κύμα έχει διατρέξει όλο το μήκος της εκρηκτικής στήλης και τα αέρια έχουν πληρώσει το διάτρημα, η πίεση μέσα σε αυτό έχει αποκτήσει την μέγιστη τιμή της (Gregory, 1993).

2.1.3 Τύποι εκρηκτικών

Ένα εκρηκτικό αποτελείται συνήθως από ένα καύσιμο και ένα οξειδωτικό παράγοντα τα οποία όταν αντιδράσουν δημιουργείται αυτό που έχει περιγράφει παραπάνω ως έκρηξη.

Ανάλογα με τη σύστασή τους τα εκρηκτικά μπορούν να χωριστούν σε τρείς βασικές κατηγορίες.

- Εκρηκτικά με βάση την νιτρογλυκερίνη.
- Εκρηκτικά υγρής φάσης και γαλακτώματα.

- Εκρηκτικά μέσα όπως για παράδειγμα ANFO (Ammonium Nitrate – Fuel Oil).

2.1.3.1 Εκρηκτικά με βάση τη νιτρογλυκερίνη

Η νιτρογλυκερίνη ήταν ένα από τα πρώτα εκρηκτικά που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος και έχει χαρακτηριστεί ως ένα από τα πιο ισχυρά βιομηχανικά εκρηκτικά. Πρόκειται για ένα ημιδιαφανές υγρό κίτρινου χρώματος το οποίο προκύπτει από την ανάμιξη του νιτρικού οξέος με την γλυκερίνη. Λόγω της σύστασής της όμως έχει το μεγάλο μειονέκτημα ότι είναι πολύ ευαίσθητη, πράγμα που την καθιστά πολύ επικίνδυνη στο να χρησιμοποιείται στην υγρή μορφή της. Έχει ώς σημείο πήξης τους 13 ^{o}C όπου και παγώνει υπό μορφή κρυστάλλων.

Το 1860 περίπου ο Σουηδός χημικός Άλφρεντ Νόμπελ ανακάλυψε πως αν η νιτρογλυκερίνη προσροφηθεί από αδρανή ή ενεργά υλικά, αποκτά πολύ μεγάλη σταθερότητα. Μέσω αυτής της διαδικασίας ο Νόμπελ έφτιαξε τη γνωστή σε όλους δυναμίτιδα.

Στην σημερινή εποχή πολλά από τα σύγχρονα βιομηχανικά εκρηκτικά βασίζονται στην νιτρογλυκερίνη αλλά χωρίς να είναι το ίδιο ευαίσθητα. Τα εκρηκτικά αυτά προκύπτουν από την ανάμειξη νιτρογλυκερίνης με νιτροκυτταρίνη, και σχηματίζουν ενώσεις με ζελατινώδη υφή. Όταν σε αυτού του είδους την ανάμειξη αντικαταστήσουμε ένα μέρος της νιτρογλυκερίνης με νιτρικό αμμώνιο τότε προκύπτουν διάφορες συνθέσεις ζελατίνης, ζελατοδυναμίτιδων, αμμωνιοδυναμίτιδων και άλλα (Εικόνες 2.2-2.3).

Εικόνα 2.2: Ζελατοδυναμίτιδα

Εικόνα 2.3: Μασούρια ζελατινοδυναμίτιδας έτοιμα προς γόμωση

2.1.3.2 Εκρηκτικά υγρής φάσης και γαλακτώματα

Τα εκρηκτικά υγρής φάσης αποτελούνται κυρίως από ένα ή περισσότερα καύσιμα, από νιτρικό αμμώνιο ή νιτρικό ασβέστιο, καθώς και ένα ποσοστό 10 έως 30% νερό. Η προσθήκη νερού προσδίδει στο μίγμα μια πλαστικότητα. Επίσης το μίγμα αναμειγνύεται με ένα είδος κόλλας ή κάποιο άλλο υλικό που αποτρέπει την διάχυση του νερού από και προς το εκρηκτικό. Ταυτόχρονα λόγω του ότι τα υλικά αυτά είναι υδρόφιλα εξασφαλίζουν και μια ανθεκτικότητα στο νερό.

Συνήθως για να αυξηθεί η ισχύς των εκρηκτικών αυτών, προστίθενται και μικρές ποσότητες κάποιου ισχυρού εκρηκτικού όπως είναι το TNT (τρινιτροτολουόλη). Τα γαλακτώματα αποτελούν μια εξέλιξη των παραπάνω εκρηκτικών.

Αποτελούνται από μικροσταγονίδια υδατικού διαλύματος νιτρικού αμμωνίου τα οποία συγκρατούνται μεταξύ τους με παραφίνη ή κάποια άλλα ελαιώδη παράγωγα σε υγρή ή στερεά φάση. Το μίγμα περιβάλλεται από μια μεμβράνη πάχους μόλις 1 μm που αποτελείται από ελαιώδεις ουσίες. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μεγάλη ελεύθερη επιφάνεια ώστε να μπορέσει να επιτευχθεί ακαριαία ενεργοποίηση. Επίσης τα γαλακτώματα έχουν υψηλότερες ταχύτητες έκρηξης.

Τα εκρηκτικά υγρής φάσης και τα γαλακτώματα λόγω του τρόπου παρασκευής τους μπορούν να χρησιμοποιούνται σε υγρό περιβάλλον χωρίς να δημιουργηθεί καμία αλλοίωση στις ιδιότητές τους (Gregory, 1993, Αγιουτάντης, 2005).

2.1.3.3 ANFO

Το ANFO (Ammonium Nitrate – Fuel Oil) ή αλλιώς πετραμμωνίτης αποτελείται από κόκκους νιτρικού αμμωνίου μεγάλης ειδικής επιφάνειας και από ένα καύσιμο που συνήθως είναι το πετρέλαιο. Η αναλογία των δυο συστατικών θα πρέπει να είναι περίπου 94:6. Είναι ένα εκρηκτικό που χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό λόγω της καλής του λειτουργίας αλλά και της χαμηλής, σχετικά με τα υπόλοιπα εκρηκτικά, τιμής του (Εικόνες 2.4-2.5).

Λόγω όμως της σύστασής του το ANFO δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υγρό περιβάλλον καθώς αδρανοποιείται. Επίσης ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι έχει σχετικά μεγάλη κρίσιμη διάμετρο (Holmberg et.al., 1994).

<u>Εικόνα 2.4:</u> Τσουβάλια ANFO έτοιμα για γόμωση χυδην

<u>Εικόνα 2.5:</u> ANFO

2.1.4 Κατηγορίες εκρηκτικών

Ανάλογα με τις ιδιότητές τους τα εκρηκτικά μπορούν να χωριστούν σε πέντε κατηγορίες:

- Εκρηκτικά έναυσης.
- Ισχυρά εκρηκτικά.

- Εκρηκτικά καύσης.
- Εκρηκτικοί παράγοντες.
- Εκρηκτικά δυο συστατικών.

Τα **εκρηκτικά έναυσης**, αφορούν τα εκρηκτικά εκείνα που λόγω του υψηλού κόστους τους αλλά και της μεγάλης ισχύος τους, χρησιμοποιούνται μόνο στο να εναύουν τα **ισχυρά εκρηκτικά** ή ως παράγοντες έναυσης, σε μικρές ποσότητες.

Όταν εναυθούν, παράγουν ένα πολύ ισχυρό κρουστικό κύμα το οποίο είναι ικανό να ενεργοποιήσει ένα ισχυρό εκρηκτικό. Αυτού του είδους τα εκρηκτικά συνήθως συμπιέζονται και γεμίζονται σε μικρούς σωλήνες αλουμινίου ή χαλκού ώστε να παρασκευαστούν τα καψύλλια. Σε άλλες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ως γόμωση στην ακαριαία θρυαλλίδα.

Τα **ισχυρά εκρηκτικά**, λόγω της σύστασής τους, όταν ενεργοποιηθούν δίνουν τιμές της ταχύτητας της έκρηξης που κυμαίνονται από 1500 μέχρι 9000 m/s. Επίσης εκλύουν μεγάλες ποσότητες αερίων καθώς και σημαντικές ποσότητες θερμότητας σε πολύ υψηλές πιέσεις. Η απόδοση συνεπώς αυτών των εκρηκτικών εξαρτάται κυρίως από την ένταση και την θερμοκρασία των αερίων που παράγονται αλλά και από την ταχύτητα της έκρηξης.

Τα ισχυρά εκρηκτικά συνήθως περιέχουν χημικά συστατικά τα οποία, λίγο πολύ, έχουν ασταθή μοριακή δομή. Τα συστατικά αυτά κατά την πυροδότηση έχουν την ιδιότητα της μοριακής αναδόμησης σε πιο σταθερές μορφές δυναμικής ενέργειας. Για αυτόν ακριβώς το λόγο τα εκρηκτικά αυτά μπορούν από μόνα τους (χωρίς κάποια ενίσχυση) να παράγουν μεγάλες ποσότητες αερίων σε μεγάλες θερμοκρασίες και πιέσεις. Τα προϊόντα μιας τέτοιας έκρηξης θα πρέπει να είναι σε αέρια μορφή καθώς τα συμπαγή προϊόντα έχουν την τάση να παράγουν καπνό.

Τα **εκρηκτικά καύσης**, ήταν από τα πρώτα που αναπτύχθηκαν. Μια έκρηξη με τέτοιου είδους εκρηκτικά στην πραγματικότητα αποτελεί ένα είδος πολύ γρήγορης καύσης, όπου τα σωματίδια καίγονται στην επιφάνεια του εκρηκτικού. Μόλις καεί αυτή η εξωτερική μάζα αποκαλύπτεται το εσωτερικό του εκρηκτικού όπου με τη σειρά του καίγεται και αυτό. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρις ότου να καταναλωθεί όλη η μάζα του εκρηκτικού.

Ένα κλασσικό παράδειγμα ενός τέτοιου εκρηκτικού είναι η μαύρη πυρίτιδα ή αλλιώς μπαρούτι, η οποία αποτελείται από συστατικά που ελκύουν το οξυγόνο και από συστατικά που πλούσια σε αυτό. Η πιο κοινή μορφή της μαύρης πυρίτιδας αποτελείται από ένα μίγμα από κάλιο ή νιτρικό νάτριο με θείο και τέλος κάρβουνο.

Στην πράξη χαρακτηρίζονται πιο πολύ για την ικανότητα που έχουν για ώθηση ή ανύψωση παρά για έκρηξη ή θρυμματισμό.

Μια πολύ συνηθισμένη εφαρμογή των εκρηκτικών καύσης είναι ως προωθητικά σε πυρομαχικά. Η αργή και σταθερή αύξηση της πίεσης η οποία δημιουργείται στην θαλάμη του όπλου επιτρέπει την επίτευξη της μεγάλης ταχύτητας του βλήματος αλλά και της κατάλληλης τροχιάς αυτού χωρίς να προκληθεί ζημιά στην κάννη του όπλου.

Οι **εκρηκτικοί παράγοντες** είναι μίγματα τα οποία αποτελούνται από ένα καύσιμο και έναν οξειδωτικό παράγοντα και εξασφαλίζουν πως το τελικό προϊόν δεν μπορεί να εναυθεί με καψύλι νούμερο 8.

Οι εκρηκτικοί παράγοντες περιέχουν κυρίως ανόργανο νάτριο και κάποιο ανθρακούχο καύσιμο, ενώ μπορεί να περιέχουν επιπρόσθετα κάποιες μη εκρηκτικές ουσίες όπως σκόνη αλουμινίου ή σιδηροπυρίτη. Ο πιο γνωστός εκρηκτικός παράγων είναι το ANFO, το οποίο χρησιμοποιείται τόσο σε επιφανειακές όσο και σε υπόγειες ανατινάξεις και φτάνει ταχύτητες έκρηξης από 3000 μέχρι 4500 m/s.

Εκτός από το ANFO όμως υπάρχουν και άλλοι εκρηκτικοί παράγοντες όπως ζελατίνες και γαλακτώματα τα οποία έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα, μεγαλύτερη ταχύτητα έκρηξης και πολύ μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στο νερό.

Τα **εκρηκτικά δυο συστατικών** αποτελούνται από δυο ξεχωριστά συστατικά, καθένα από τα οποία είναι πολύ ασφαλές. Όταν αναμιχθούν και εναυθούν όμως, αποδίδουν μια έκρηξη πολύ μεγάλης ισχύος (Gregory, 1993).

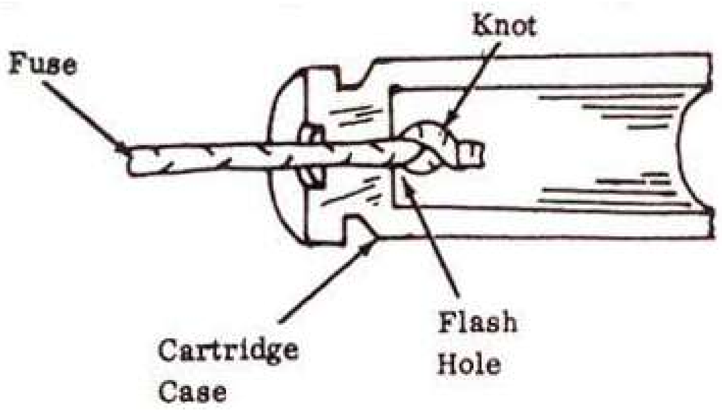
2.2 Συστήματα έναυσης-πυροδότησης

Τα συστήματα έναυσης, είναι η συνηθέστερη ονομασία των συστημάτων που απαιτούνται ώστε να εναυθούν τα κυρίως εκρηκτικά. Αποτελούνται από μια πληθώρα προϊόντων, όπως φυτίλια, πυροκροτητές και ενισχυτικές γομώσεις. Τα συστήματα έναυσης σήμερα είναι απαραίτητα στο να εναυθούν πολλές γομώσεις σε διαφορετικά διατρήματα και με προκαθορισμένες χρονικές καθυστερήσεις, οι οποίες είναι απαραίτητες ώστε να επιτευχθεί ο βέλτιστος θρυμματισμός, οι ελάχιστες εδαφικές δονήσεις αλλά και στο να μην έχουμε εκτοξεύσεις βράχων (Holmberg et. al., 1994).

2.2.1 Απλοί πυροκροτητές (καψύλια)

Πρόκειται για το πιο απλό είδος πυροκροτητή και χρησιμοποιείται γενικότερα για χρήσεις κάτω από συνθήκες χωρίς υγρασία και ειδικά σε περιπτώσεις που πυροδοτούνται ανεξάρτητες γομώσεις. Αποτελείται από μικρούς μεταλλικούς σωλήνες (χάλκινους ή αλουμινίου) με κλειστό το ένα άκρο. Μέσα σε αυτούς πιέζεται μια μικρή ποσότητα PETN ή κάποιο άλλο εκρηκτικό έναυσης, το οποίο θα αποτελέσει το εκρηκτικό βάσης. Πάνω από αυτό τοποθετείται ένα μίγμα από κάποια ευαίσθητα εκρηκτικά, και ονομάζονται πρωτεύοντα εκρηκτικά, τα οποία χρησιμοποιούνται ώστε να εναυθεί το εκρηκτικό βάσης (Εικόνες 2.6-2.7).

Εικόνα 2.6: Καψύλι έναυσης



Εικόνα 2.7: Τομή καψυλίου έναυσης (http://www.instructables.com)

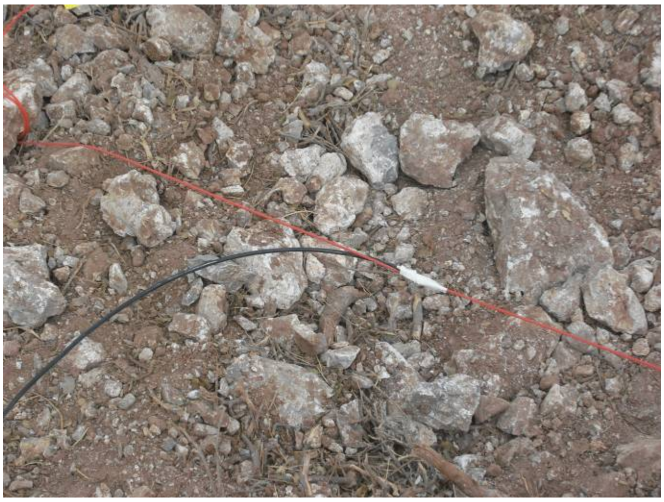
Το καψύλι εναύεται μέσω βραδύκαυστου φυτιλιού, το οποίο εισάγεται στο ανοιχτό άκρο αυτού, και ασφαλίζει στη θέση αυτή μέσω πίεσης που ασκείται στο σημείο εισόδου με κάποιο εργαλείο (συνήθως πένσα) (Εικόνα 2.8).

Τα καψύλια No.6 είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα. Έχουν περίπου διάμετρο 0,6 cm και μήκος περίπου 3,5 cm. Συνήθως συσκευάζονται σε πακέτα των 100 τεμαχίων.

Τα καψύλια No.8 χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου απαιτείται μια πιο ισχυρή πυροδότηση. Έχουν την ίδια διάμετρο με το No.6 αλλά έχουν μεγαλύτερο μήκος. Η ισχύς τους είναι περίπου διπλάσια από αυτή των καψυλίων No.6.

Τα καψύλια μπορούν να αποθηκευθούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα, αλλά είναι ιδιαιτέρως ευπαθή όταν εκτίθενται σε υγρό περιβάλλον.

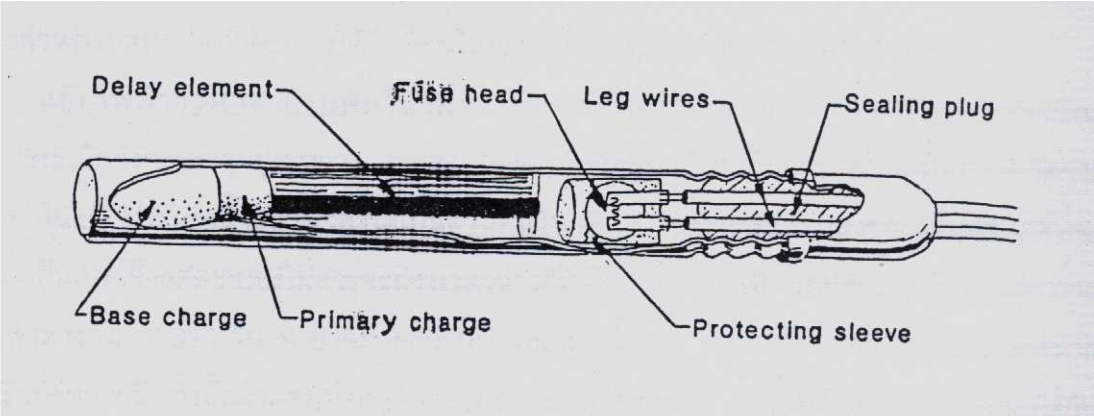
Σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται μια μικρή χρονική καθυστέρηση από την στιγμή που θα εναυθεί το καψύλι μέχρι τη στιγμή που θα ενεργοποιήσει το κυρίως εκρηκτικό. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω των καψυλίων με καθυστέρηση. Στα καψύλια αυτά έχει τοποθετηθεί ένα στοιχείο ανάμεσα στο σημείο που τελειώνει το φυτίλι και στο εκρηκτικό που βρίσκεται στο εσωτερικό του καψυλίου. Το στοιχείο αυτό έχει την ιδιότητα να καίγεται, κατά μήκος, σε προκαθορισμένο χρόνο δίνοντας έτσι την επιθυμητή καθυστέρηση (Gregory, 1993).



Εικόνα 2.8: Συνδεσμολογία βραδύκαυστου φυτιλιού με καψύλι

2.2.2 Ηλεκτρικοί πυροκροτητές (καψύλια)

Είναι της ίδιας κατασκευαστικής λογικής με τα απλά καψύλια με μια βασική διαφορά. Στην περίπτωση των ηλεκτρικών καψυλίων δεν χρησιμοποιείται φυτίλι για την έναυση τους αλλά ένα ηλεκτρικό καλώδιο. Το καλώδιο αυτό αποτελείται από δυο μικρότερα καλώδια τα οποία στο άκρο τους ενώνονται μέσω ενός σύρματος το οποίο ονομάζεται “γέφυρα”. Το άκρο που περιέχει την γέφυρα εισέρχεται μέχρι το μέρος του καψυλίου που περιέχει το πρωτεύον εκρηκτικό. Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διαπεράσει την γέφυρα αυτή αναφλέγεται και εναύει το πρωτεύον εκρηκτικό. Εύκολα αντιλαμβάνεται κανείς ότι το καψύλι αυτό πυροδοτείται την ίδια στιγμή που θα το διαπεράσει το ηλεκτρικό ρεύμα (Εικόνα 2.9).



Εικόνα 2.9: Ηλεκτρικό καψύλι

Για το λόγο αυτό σε περίπτωση που απαιτείται καθυστέρηση στο κάθε διάτρημα χρησιμοποιούνται ηλεκτρικά καψύλια με καθυστέρηση.

Τα καψύλια αυτά έχουν ένα στοιχείο που καίγεται ώστε να επιτευχθεί η καθυστέρηση (όπως και τα απλά καψύλια) όπου το ένα άκρο του στοιχείου βρίσκεται στο σημείο που είναι η γέφυρα και το άλλο στο σημείο που ξεκινά το πρωτεύων εκρηκτικό. Το μήκος του καλωδίου διαφέρει ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον εκάστοτε σχεδιασμό ανατίναξης.

Ένα βασικό πρόβλημα που παρατηρείται με την χρήση ηλεκτρικών καψυλίων είναι ότι το κάθε διάτρημα συνδέεται με την ανατίναξη μέσω ενός καλωδίου, που την διατρέχει σε όλο το μήκος της. Συνεπώς είναι απαραίτητο το καλώδιο αυτό να κλείνει κύκλωμα ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί η ανατίναξη. Επίσης τα ηλεκτρικά καψύλια είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε παρεμβολές που μπορεί να προκληθούν από καιρικά φαινόμενα, όπως είναι οι κεραυνοί, από τα σήματα των κεραιών που μπορεί να υπάρχουν στην περιοχή αλλά και την πιθανή υγρασία που μπορεί να υπάρχει (Gregory,1993, Holmberg et. al.,1994).

2.2.3 Ακαριαία θρυαλλίδα

Η ακαριαία θρυαλλίδα (detonating cord) αποτελείται από ένα λεπτό πυρήνα εκρηκτικού έναυσης (συνήθως PETN) το οποίο τυλίγεται με ένα πλαστικό περίβλημα το οποίο με τη σειρά του τυλίγεται με κάποιο υφασμάτινο υλικό. Λόγω της κατασκευής του είναι υδατοστεγές και εύκαμπτο. Εναύεται συνήθως με τη βοήθεια ενός καψυλίου (απλό ή ηλεκτρικό).

Η έκρηξη που παράγει είναι βίαιη και μεγάλης ισχύος, με ταχύτητες έκρηξης που φτάνουν τα 6500 m/s.

Η ακαριαία θρυαλλίδα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλο το μήκος της ανατίναξης αλλά επειδή η πυροδότησή της είναι στιγμιαία, σε περίπτωση που χρειαστεί τοποθετούνται ειδικά καψύλια καθυστέρησης που ενώνουν στην ουσία δυο ξεχωριστά κομμάτια ακαριαίας θρυαλλίδας με αποτέλεσμα η μετάδοση του παλμού πυροδότησης από το ένα κομμάτι στο άλλο να γίνεται με μια μικρή καθυστέρηση. Σε αυτή την περίπτωση όμως υπάρχει ο κίνδυνος το κομμάτι που πυροδοτείται νωρίτερα να προκαλέσει κάποια ζημιά σε κάποιο άλλο που βρίσκεται κοντά με αποτέλεσμα να μην συνεχιστεί η ανατίναξη.

Η ακαριαία θρυαλλίδα εξαιτίας της μεγάλης ισχύος της έχει την ικανότητα να ενεργοποιεί πολλά εκρηκτικά χωρίς τη βοήθεια κάποιου ενδιάμεσου συστήματος έναυσης.

Λόγω του ότι κατά την πυροδότησή της παράγει πολύ θόρυβο αλλά και λόγω των προβλημάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω, η ακαριαία θρυαλλίδα τείνει να αντικατασταθεί από το σύστημα NONEL (Εικόνες 2.10-2.11).

Εικόνα 2.10: Μπομπίνες ακαριαίας θρυαλλίδας

Εικόνα 2.11: Ακαριαία θρυαλλίδα συνδεδεμένη σε διάτρημα

2.2.4 Το σύστημα NONEL

Όπως προαναφέρθηκε, η ακαριαία θρυαλλίδα παράγει πολύ ανεπιθύμητο θόρυβο και υπάρχει κίνδυνος να “κόψει” την ανατίναξη με αποτέλεσμα αυτή να μην ολοκληρωθεί. Επίσης η έναυση με τη χρήση ηλεκτρικών καψυλίων εγκυμονεί πολλούς κινδύνους καθώς μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς εξωτερικούς παράγοντες αλλά και επειδή προκαλεί πολλά προβλήματα στο σχεδιασμό της ανατίναξης.

Λόγω όλων των παραπάνω προβλημάτων υπήρχε ζήτηση για την δημιουργία μιας μεθόδου έναυσης που δεν θα λειτουργούσε με ηλεκτρικό ρεύμα αλλά και που δεν θα είχε τα μειονεκτήματα της ακαριαίας θρυαλλίδας.

Το πρόβλημα αυτό λύθηκε με την ανάπτυξη του συστήματος NONEL (NON-ELECTRIC), το οποίο δεν επηρεάζεται από εξωτερικές παρεμβολές και δεν προκαλεί καθόλου θόρυβο.

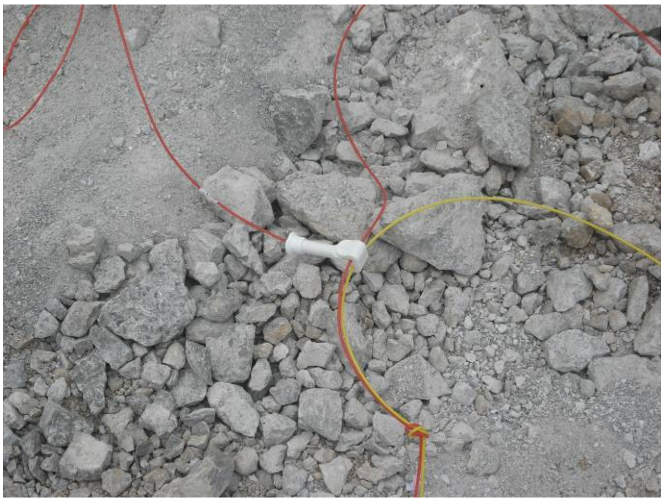
Αποτελείται από έναν εύκαμπτο πλαστικό σωλήνα το εσωτερικό του οποίου έχει ένα στρώμα εκρηκτικού, σε μορφή σκόνης, το οποίο όταν ενεργοποιηθεί δημιουργεί έναν κρουστικό παλμό ο οποίος διατρέχει όλο το μήκος του σωλήνα. Ο κρουστικός παλμός δημιουργείται από την αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του σωλήνα αλλά και από την διόγκωση των αερίων που παράγονται από την ενεργοποίηση του εκρηκτικού, και διατρέχει το σωλήνα με ταχύτητα περίπου 2000 m/s χωρίς να επηρεάζει το περιβάλλον έξω από αυτόν. Στο άκρο του σωλήνα NONEL υπάρχει ειδικό καψύλι το οποίο θα ενεργοποιήσει το εκάστοτε κυρίως εκρηκτικό μέσα στο διάτρημα (Εικόνες 2.12-2.13).

<u>Εικόνα 2.12:</u> Σύστημα NONEL

<u>Εικόνα 2.13:</u> Σύστημα NONEL συνδεδεμένο με ζελατοδυναμίτιδα

Εκτός από τα καψύλια με καθυστέρηση που υπάρχουν στα άκρα του σωλήνα NONEL υπάρχει η δυνατότητα το κάθε διάτρημα να συνδεθεί με επιφανειακούς συνδέσμους οι οποίοι παρέχουν πρόσθετη καθυστέρηση και καθορίζονται από τον σχεδιασμό της ανατίναξης (Holmberg et. al., 1994) (Εικόνα 2.14).

Όλες οι μέθοδοι που περιγράφηκαν παραπάνω μπορούν να προσαρμοστούν τόσο σε επιφανειακές όσο και σε υπόγειες ανατινάξεις.



Εικόνα 2.14: Σύστημα NONEL επιφανειακής επιβράδυνσης

2.3 Μηχανισμός θραύσης του πετρώματος από τη χρήση εκρηκτικών

Το φυσικό επακόλουθο μιας επιτυχημένης ανατίναξης, είναι ο θρυμματισμός του πετρώματος. Για να επιτευχθεί όμως αυτό κατά την διάρκεια της έκρηξης ενεργοποιείται μηχανισμός ο οποίος συμβάλει στη θραύση. Ο μηχανισμός αυτός έχει να κάνει κυρίως με την επίδραση του κρουστικού παλμού και της πίεσης των αερίων, που δημιουργούνται κατά την έκρηξη στο πέτρωμα.

2.3.1 Ζώνες θρυμματισμού

Κατά την διάρκεια μιας ανατίναξης η οποία λαμβάνει χώρα σε ένα διάτρημα ή γενικά σε περιορισμένο χώρο, δημιουργούνται στο περιβάλλον μέσω κάποιες ζώνες παραμόρφωσης. Οι ζώνες αυτές είναι συμμετρικές ως προς το κέντρο του διατρήματος και είναι οι εξής:

• **Ζώνη σύνθλιψης ή ρευστοδυναμική ζώνη**, όταν ο κρουστικός παλμός που δημιουργείται αρχίζει να μεταδίδεται, έχει ως αποτέλεσμα την επιβολή εξαιρετικά μεγάλων ακτινικών και διατμητικών τάσεων στο περιβάλλον πέτρωμα. Η ακτινική αυτή τάση ξεπερνάει κατά πολύ τα όρια δυναμικής αντοχής του πετρώματος που περιβάλλει το διάτρημα, καθώς μπορεί να φτάσει τα 10000 MPa, γεγονός που οδηγεί στο θρυμματισμό αυτού. Σε αυτή τη ζώνη καταναλώνεται το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας του κρουστικού παλμού και το πλάτος της κυμαίνεται από 1 μέχρι 3 d, όπου d είναι η διάμετρος του διατρήματος (Αγιουτάντης, 2005).

- **Θρυμματισμένη ζώνη**, το χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτής της ζώνης είναι η έντονη ρωγμάτωση του πετρώματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η ακτινική θλιπτική τάση που δέχεται το πέτρωμα μειώνεται. Οι ρωγμές αυτές είναι ακτινικής διεύθυνσης και εκτείνονται μέχρι το σημείου όπου η ακτινική τάση γίνεται μικρότερη από την αντοχή του πετρώματος σε θλίψη και σε διάτμηση. Όσο αυξάνεται η απόσταση από το σημείο της έκρηξης παρατηρούνται διαδοχικά φαινόμενα έντονου θρυμματισμού, πλαστικής παραμόρφωσης, μερικής θραύσης και αντίστοιχη αύξηση του μεγέθους των τεμαχίων του πετρώματος.

Η θρυμματισμένη ζώνη συνήθως χωρίζεται σε δυο υποπεριοχές. Την έντονα θρυμματισμένη περιοχή και την μέτρια θρυμματισμένη περιοχή.
Στην πρώτη παρατηρούνται ρωγμές οι οποίες οφείλονται στις διατμητικές τάσεις, ενώ στην δεύτερη αυτές οι ρωγμές μειώνονται και κυριαρχούν αυτές που προέρχονται από τις εφελκυστικές τάσεις (Αγιουτάντης, 2005).

- **Ελαστική ζώνη**, η ζώνη αυτή αρχίζει από το σημείο όπου η ακτινική συνιστώσα της τάσης του κρουστικού κύματος είναι μικρότερη από το δυναμικό όριο θραύσης του πετρώματος, και θεωρητικά εκτείνεται απεριόριστα. Στο σημείο αυτό αρχίζουν να κυριαρχούν οι εφελκυστικές τάσεις που λόγω της χαμηλής εφελκυστικής αντοχής του πετρώματος, συμβάλουν στη δημιουργία ακτινικών ρωγμών. Οι ρωγμές αυτές αναπτύσσονται μέχρι οι εφαπτομενικές τάσεις να γίνουν μικρότερες από την εφελκυστική αντοχή του πετρώματος.

Στην ελαστική ζώνη διακρίνονται δυο περιοχές. Την ελάχιστα θρυμματισμένη και την μη θρυμματισμένη περιοχή.

Στην πρώτη παρατηρείται ο σχηματισμός περιορισμένου αριθμού ακτινικών ρωγμών, μεγάλου σχετικά μήκους ενώ στη δεύτερη το πέτρωμα θεωρείται ακέραιο.

Αξίζει να σημειωθεί πως πειραματικά έχει υπολογισθεί πως λιγότερο από 20% της ολικής ενέργειας του εκρηκτικού καταναλώνεται στην ελαστική ζώνη (Αγιουτάντης, 2005).

2.3.2 Ωστική φάση

Σε αυτή τη φάση τα αέρια που εκλύονται κατά την έκρηξη εισχωρούν στις ρωγμές που δημιουργήθηκαν όπου και ασκούν μια σχεδόν στατική πίεση για μεγαλύτερο χρόνο από τον χρόνο δράσης του κρουστικού παλμού. Το αποτέλεσμα είναι να διευρύνονται οι υπάρχουσες ρωγμές και τα τεμάχια του πετρώματος να μετατοπίζονται από την αρχική τους θέση (Αγιουτάντης, 2005).

2.4 Εφαρμογή των εκρηκτικών σε τεχνικά έργα και σε κατεδαφίσεις

Την σημερινή εποχή και με την συνεχή ανάπτυξη της τεχνολογίας στον χώρο των ανατινάξεων, τα εκρηκτικά βρίσκουν όλο και περισσότερες εφαρμογές. Τα παλιότερα χρόνια οι ανατινάξεις έβρισκαν εφαρμογή κυρίως σε ορυχεία, όπου χρησιμοποιούνταν για εξόρυξη, και σε έργα που είχαν να κάνουν με την κατασκευή σηράγγων για τις αμαξοστοιχίες.

Το βασικότερο πρόβλημα που καθιστούσε την χρήση των εκρηκτικών δύσκολη ήταν το στοιχείο του κινδύνου, καθώς τα εκρηκτικά που υπήρχαν ήταν πολύ ασταθή αλλά και πολύ ισχυρότερα απ'όσο χρειαζόταν. Τα σημερινά εκρηκτικά αλλά και τα συστήματα έναυσης είναι κατασκευασμένα σύμφωνα με πολύ αυστηρά κριτήρια ασφαλείας ώστε το στοιχείο του κινδύνου να ελαχιστοποιείται. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζουν και τα συστήματα παρακολούθησης τόσο της απόδοσης των εκρηκτικών όσο και των επιπτώσεων των ανατινάξεων στην περιοχή εφαρμογής (δονησιογράφοι, ρωγμήμετρα, συσκευές παρακολούθησης θορύβου κ.α.). Τα εκρηκτικά χρησιμοποιούνται σήμερα σε πολλά τεχνικά έργα αλλά και σε κατεδαφίσεις κτισμάτων.

Στην οδοποιία τα εκρηκτικά χρησιμοποιούνται στην διάνοιξη ορυγμάτων μέσα από βραχώδεις σχηματισμούς. Με την χρήση των εκρηκτικών ο χρόνος του έργου μειώνεται σε μεγάλο βαθμό καθώς αν η διάνοιξη γινόταν με συμβατικές μεθόδους, όπως για παράδειγμα, με τη χρήση εκσκαφέων ή σφυρών, το βήμα προχώρησης του έργου θα ήταν πολύ μικρότερο. Επίσης χρησιμεύουν και στην ασφαλή διαμόρφωση των πρανών στις παρειές των εθνικών οδικών δικτύων.

Μια άλλη σημαντική εφαρμογή των εκρηκτικών είναι στον τομέα των θεμελιώσεων. Για την κατασκευή ενός κτίσματος είναι απαραίτητη η κατάλληλη θεμελίωση του. Για να γίνει όμως αυτό πρέπει να σκαφθεί η περιοχή σε σημαντικό βάθος. Σε πολλές περιπτώσεις όμως, και ειδικά σε περιοχές επικρατεί κάποιος σχηματισμός που χαρακτηρίζεται από μεγάλη σκληρότητα, αυτό δεν είναι εύκολο να γίνει με συμβατικά μέσα όχι μόνο λόγω του αυξημένου χρόνου που θα χρειαστεί αλλά και λόγω του υψηλού κόστους. Σε τέτοιες περιπτώσεις λοιπόν μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκρηκτικά ώστε να επιτευχθεί και το επιθυμητό αποτέλεσμα πολύ πιο γρήγορα και με ακρίβεια αλλά και με μεγαλύτερο οικονομικό όφελος.

Ένας άλλος πολύ σημαντικός τομέας που βρίσκουν χρήση τα εκρηκτικά είναι αυτός των κατεδαφίσεων. Μέχρι τώρα η κατεδάφιση ενός κτίσματος (κτίριο, γέφυρα, καπνοδόχοι, κ.α.) γινόταν κυρίως με τη χρήση μηχανημάτων που κατέστρεφαν το κτίσμα μέσω κρούσης. Αυτή ήταν μια χρονοβόρος διαδικασία αλλά και με αυξημένο κόστος. Με την χρήση των εκρηκτικών μια κατεδάφιση γίνεται μέσα σε δευτερόλεπτα αλλά και με μεγάλη ακρίβεια.

Πρέπει να σημειωθεί πως η εφαρμογή των εκρηκτικών γίνεται μετά από μελέτη και μόνο από εξειδικευμένο προσωπικό ώστε να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα αλλά και για να ελαχιστοποιηθεί ο οποιοσδήποτε κίνδυνος

Κεφάλαιο 3: Δονήσεις λόγω ανατινάξεων

3.1 Εισαγωγή

Η χρήση εκρηκτικών υλών στα διάφορα τεχνικά έργα έχει ως συνέπεια ορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι επιπτώσεις αυτές είναι κάθε φορά οι ίδιες και διαφέρουν μόνο ως προς το μέγεθός τους. Οι κυριότερες από αυτές είναι οι εξής:

- Εδαφικές δονήσεις.
- Δονήσεις αέρος (air blast).
- Εκτόξευση λίθων (flyrock effect).

Η πιο σημαντική επίπτωση από αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι η πρόκληση εδαφικών δονήσεων λόγω της χρήσης εκρηκτικών υλών. Οι δονήσεις αυτές μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές υλικές ζημιές σε τυχόν κατασκευές που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από το σημείο που πραγματοποιείται η ανατίναξη, ενώ ταυτόχρονα προκαλούν δυσάρεστες οχλήσεις στον άνθρωπο (Τσουτρέλης, 2001).

3.1.1 Εδαφικές δονήσεις

Όταν μια ποσότητα εκρηκτικής ύλης εκραγεί μέσα σε ένα διάτρημα θα έχει ως φυσικό επακόλουθο, εκτός από την ρωγμάτωση και τη θραύση του πετρώματος, τη δημιουργία ελαστικών κυμάτων. Αυτό οφείλεται στην μετάδοση ενός μέρους της ενέργειας που απελευθερώθηκε κατά την έκρηξη και η οποία δεν δαπανήθηκε στην θραύση του πετρώματος.

Κατά την μετάδοση αυτή δημιουργείται μια διαταραχή λόγω της "ενεργοποίησης" των σωματιδίων του εδάφους τα οποία μόλις ενεργοποιηθούν αρχίζουν να ταλαντώνονται γύρω από τη θέση ισορροπίας τους. Αυτή η μεταφερόμενη διαταραχή των σωματιδίων του εδάφους καλείται **δόνηση**.

Τα ελαστικά αυτά κύματα, που έχουν ως πηγή προέλευσης την πρόσκρουση των μορίων των προϊόντων της έκρηξης στο πέτρωμα, έχουν ανόμοια μεταξύ τους χαρακτηριστικά με αποτέλεσμα η επίδρασή τους στις κατασκευές και τον άνθρωπο να διαφοροποιείται. Εκτιμάται ότι μεταφέρουν το 10-20% της χημικής ενέργειας της εκρηκτικής ύλης, ενώ κατά άλλους το 40%.

Τα κύματα αυτά, τα οποία μπορούν να γίνουν αντιληπτά τόσο από ειδικά μηχανήματα όσο και από τον άνθρωπο, μέσω των δονήσεων που προκαλούν, μπορούν να χωριστούν σε δυο μεγάλες κατηγορίες. Τα **κύματα χώρου** (body waves) και τα **επιφανειακά κύματα** (surface waves).

Στα κύματα της πρώτης κατηγορίας η διαταραχή διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις του στερεού σώματος, όπως της γης, και διακρίνονται σε **θλιπτικά ή διαμήκη κύματα** (compression waves) και σε **διατμητικά ή εγκάρσια κύματα** (shear waves). Στα κύματα της δεύτερης κατηγορίας η διαταραχή διαδίδεται σε διαχωριστικές επιφάνειες όπως είναι η επιφάνεια της γης. Τα κύματα χώρου φθάνουν πρώτα και όπως είπαμε χωρίζονται στα διαμήκη και στα εγκάρσια κύματα.

Το χαρακτηριστικό των διαμήκων κυμάτων είναι ότι η διεύθυνση ταλάντωσης των υλικών σημείων (μετατόπιση) συμπίπτει με την διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Τα διαμήκη κύματα συμβολίζονται με το “P” από το λατινικό Primus (πρώτο) καθώς λόγω του ότι διαδίδονται με την μεγαλύτερη ταχύτητα, φθάνουν στο σταθμό παρατήρησης πριν από τα άλλα είδη σεισμικών κυμάτων. Τα P κύματα έχουν συνήθως τη μεγαλύτερη συχνότητα και προκαλούν τη μικρότερη μετατόπιση. Η ταχύτητα διάδοσής τους στα πετρώματα κυμαίνεται από 1800-6000 m/s.

Στα εγκάρσια κύματα, η διεύθυνση ταλάντωσης των υλικών σημείων είναι κάθετη προς την διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Συμβολίζονται με το “S” από το λατινικό Secondus (δεύτερο) και αυτό διότι η ταχύτητά τους κυμαίνεται από 0,33-0,50 της ταχύτητας των P κυμάτων. Συνεπώς φτάνουν στο σταθμό παρατήρησης μετά από τα P κύματα (Βαφείδης, 1993).

Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα των S κυμάτων είναι πως μπορούν να διαδοθούν σε οποιοδήποτε μέσο, αρκεί να παρουσιάζει έστω και την ελάχιστη αντίσταση στην κάμψη δηλαδή ο συντελεστής ακαμψίας **μ** (ή μέτρο διατμητικής παραμόρφωσης) να είναι διάφορος του μηδενός. Στα ρευστά όπου ο συντελεστής **μ** ισούται με το μηδέν, η ταχύτητα των εγκαρσίων κυμάτων μηδενίζεται. Τα κύματα αυτά έχουν συνήθως μικρότερη συχνότητα από αυτήν των διαμήκων κυμάτων και προκαλούν μεγαλύτερη μετατόπιση.

Τελευταία φτάνουν τα επιφανειακά κύματα, από τα οποία τα κυριότερα είναι τα κύματα **Rayleigh**. Τα κύματα αυτά είναι σύνθετα κύματα και αποτελούνται από διαμήκη κύματα (P) και κάποιες κάθετες συνιστώσες των εγκαρσίων κυμάτων (SV) με αναλογία πλατών 1:1,5. Δηλαδή οι ταλαντώσεις των υλικών σημείων γίνονται στο κατακόρυφο επίπεδο το οποίο περιέχει την διεύθυνση διάδοσης των επιφανειακών κυμάτων. Οι ταλαντώσεις υλικού που αντιστοιχούν σε P και SV συνιστώσες της μετατόπισης είναι ίδιας συχνότητας αλλά διαφορετικής φάσης με αποτέλεσμα το υλικό σημείο να ακολουθεί ελλειπτική τροχιά με φορά αντίθετη της φοράς των δεικτών του ρολογιού. Η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων Rayleigh είναι μικρότερη από την ταχύτητα των εγκαρσίων κυμάτων και εξαρτάται από τις ελαστικές σταθερές και την πυκνότητα του εδάφους αλλά και από την συχνότητα (ή το μήκος κύματος), όταν αυτά διαδίδονται σε μη ομογενή μέσα.

Πλησίον του χώρου της ανατίναξης και οι τρεις τύποι κυμάτων οδεύουν μαζί κατά ένα σύνθετο τρόπο και είναι πολύ δυσχερής έως αδύνατος ο διαχωρισμός τους. Τα επιφανειακά κύματα μπορεί να απαιτούν μια απόσταση ίση προς το ήμισυ έως ένα μήκος κύματος τους μέχρι να αναπτυχθούν ικανοποιητικά, ενώ όταν η τοπογραφία της περιοχής είναι ανώμαλη δεν αναπτύσσονται κανονικά και μπορεί η διάδοσή τους να διακοπεί όταν συναντήσουν μια βαθιά τάφρο.

Μακρύτερα από την πηγή τους ο διαχωρισμός τους γίνεται σαφής και για τον λόγο αυτό η χρονική διάρκεια της δόνησης γίνεται μεγαλύτερη, ενώ η ένταση όλων των κυμάτων μειώνεται με την απόσταση.

Τα κύματα που προέρχονται από τις ανατινάξεις (P, S, R) μπορούν να προσεγγισθούν ικανοποιητικά ως ημιτονοειδείς συναρτήσεις του χρόνου, ώστε να εφαρμοσθούν σε αυτά απλές μαθηματικές σχέσεις.

Πειραματικές μετρήσεις έχουν δείξει πως η παραδοχή αυτή είναι ικανοποιητική σε μεγάλο βαθμό αλλά όμως δεν είναι πάντοτε ακριβής (Βαφείδης, 1993, Τσουτρέλης, 2001).

3.1.2 Στοιχεία και χαρακτηριστικά μεγέθη των εδαφικών δονήσεων

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι εδαφικές δονήσεις καθώς αυτές είναι που μπορεί να προκαλέσουν κάποια σοβαρή υλική ζημιά. Στα πλαίσια αυτού του σκεπτικού έχουν αναγνωριστεί κάποια συγκεκριμένα στοιχεία που αποτελούν χαρακτηριστικά γνωρίσματα των δονήσεων. Τα χαρακτηριστικά αυτά χρησιμεύουν στην ανάλυση του φαινομένου και κατ’ επέκταση στο να αναγνωριστεί ποιοί παράγοντες μπορούν να αλλάξουν ώστε να επιτευχθούν όσο το δυνατόν ελάχιστες δονήσεις.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των εδαφικών δονήσεων είναι τα εξής (Τσουτρέλης, 2001):

- Πλάτος κύματος (δόνησης), που ορίζεται ως η μέγιστη απόσταση μετατόπισης του υλικού σωματιδίου από τη θέση ισορροπίας του. Συχνά αναφέρεται και ως ένταση του κύματος και έχει ως χαρακτηριστική τιμή εκείνη της μέγιστης εντάσεως (peak amplitude).
- Ταχύτητα ταλάντωσης ή ταχύτητα δόνησης (V), ορίζεται ως η ταχύτητα με την οποία τα υλικά σωματίδια ταλαντώνονται γύρω από τη θέση ισορροπίας τους. Εκφράζεται πάντοτε με την μέγιστη τιμή της (peak particle velocity, PPV) και αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος για την διερεύνηση των πιθανοτήτων πρόκλησης ζημιών-επιπτώσεων.
- Ταχύτητα διάδοσης του κύματος (C_p), που ορίζεται ως η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται το κύμα στο πέτρωμα.
- Περίοδος (T), που ορίζεται ως ο χρόνος που χρειάζεται ένα υλικό σωματίδιο να πραγματοποιήσει μια πλήρη ταλάντωση.
- Επιτάχυνση, που ορίζεται ως ο λόγος της ταχύτητας V προς τον χρόνο t, δηλαδή α= V/t. Συνήθως μετριέται σε μονάδες επιτάχυνσης της βαρύτητας, όπου g=9814 mm/s^2. Συνεπώς μια επιτάχυνση 3000 mm/s^2 είναι 3000/9814= 0,30 g.
- Συχνότητα (f), που ορίζεται ως το αντίστροφο της περιόδου, δηλαδή f=1/T. Ειδικότερα δεσπόζουσα συχνότητα (dominant ή predominant ή principal frequency) ονομάζεται εκείνη η συχνότητα, που παρουσιάζει τους μεγαλύτερους συντελεστές πλάτους, εάν η χρονοϊστορία της δόνησης αναλυθεί κατά Fourier. Ο αριθμός των ταλαντώσεων του σωματιδίου που υπόκειται σε εδαφική δόνηση, μετράται και αναφέρεται σε πλήρεις κύκλους ανά δευτερόλεπτο ή Hertz (Hz). Η σημασία της συχνότητας στην ανάλυση και αξιολόγηση δονήσεων από ανατινάξεις είναι μεγάλη. Ο λόγος είναι ότι οι κατασκευές ανταποκρίνονται με διαφορετικό τρόπο σε δονήσεις διαφορετικών περιοχών συχνοτήτων.

- Μήκος κύματος (λ), που ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών κορυφών του κύματος, δηλαδή $\lambda = C_p/f$.

3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά των δονήσεων

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι εδαφικές δονήσεις, ανάλογα με το μέγεθός τους, μπορούν να προκαλέσουν μικρές αλλά και μεγάλες ζημιές στις κατασκευές. Υπάρχουν όμως κάποιοι παράγοντες που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά των δονήσεων και οι οποίοι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό μιας ανατίναξης. Με την σωστή προσαρμογή των παραγόντων αυτών στο σχεδιασμό της ανατίναξης μπορούν να επιτευχθούν πολύ "χαμηλές" δονήσεις, με αποτέλεσμα την μείωση του κινδύνου για τις πιθανές κατασκευές που βρίσκονται στην περιοχή γύρω από την ανατίναξη.

3.2.1 Επίδραση της απόστασης

Κάθε κυματοπαλμός αποσβένει σε συνάρτηση με την απόσταση από το σημείο γένεσής του, δηλαδή από το σημείο που έγινε η ανατίναξη. Η ενέργεια που μεταφέρει ο παλμός αναλώνεται για διάδοση αυτού και παράλληλα διαχέεται σε διαρκώς και μεγαλύτερο όγκο πετρώματος.

Σύμφωνα με το γραφείο μεταλλείων των Η.Π.Α (USBM) (Siskind et. al. 1980) η ταχύτητα δόνησης V μειώνεται με την απόσταση R σύμφωνα με την σχέση:

$$\mathbf{V \sim 1/R^b}$$

όπου **b** σταθερά εξαρτώμενη από το είδος του γεωλογικού υποβάθρου εντός του οποίου οδεύει το κύμα με τιμές γύρω από το 1,6.

Η ένταση του κύματος στους περισσότερους γεωλογικούς σχηματισμούς μειώνεται κατά το 1/3 περίπου της προηγούμενης τιμής της κάθε φορά που διπλασιάζεται η απόσταση. Επί παραδείγματι στα 60 m η ένταση της δόνησης αντιστοιχεί περίπου στο 1/3 εκείνης που σημειώνεται στα 30 m, ενώ στα 120 m είναι μόλις το 1/9. Η ίδια χονδρική σχέση ισχύει και αντιθέτως, δηλαδή η ένταση στα 30 m πρέπει να αναμένεται να είναι 9 φορές μεγαλύτερη από εκείνη που σημειώνεται στα 120 m.

Αξίζει να σημειωθεί πως το εδαφικό υλικό και τα πετρώματα “φιλτράρουν” τον κυματικό παλμό εξαλείφοντας τις υψηλές συχνότητες δόνησης με αποτέλεσμα σε μεγάλες αποστάσεις να επικρατούν χαμηλές συχνότητες (Τσουτρέλης, 2001).

3.2.2 Γεωλογία της περιοχής

Σε ομοιογενή και συμπαγή πετρώματα η διάδοση των κυμάτων είναι ομοιόμορφη προς όλες τις διευθύνσεις, πράγμα που δεν συμβαίνει σε σύνθετες γεωλογικές δομές, όπου η διάδοσή τους διαφοροποιείται σε συνάρτηση με την διεύθυνση διάδοσης με αποτέλεσμα να υπάρχουν διαφορετικοί δείκτες απόσβεσης.

Όταν το πέτρωμα καλύπτεται από σημαντικού πάχους χαλαρά υπερκείμενα, που έχουν μικρότερο μέτρο ελαστικότητας, η ταχύτητα διάδοσης μειώνεται καθώς και η συχνότητα, ενώ η μετατόπιση των σωματιδίων αυξάνει με το πάχος των υπερκειμένων. Η μείωση της συχνότητας συνοδεύεται από μεγαλύτερη διάρκεια της επίδρασης του κύματος δημιουργώντας αύξηση των κινδύνων πρόκλησης ζημιάς σε πιθανές γειτονικές κατασκευές (Τσουτρέλης, 2001).

3.2.3 Επίδραση του σχεδίου ανατίναξης

Δυο κατηγορίες παραμέτρων επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά των δονήσεων. Η πρώτη αναφέρεται στη γόμωση και περιλαμβάνει:

- Είδος και ποσότητα εκρηκτικής ύλης
- Ποσότητα εκρηκτικής ύλης ανά επιβράδυνση
- Διεύθυνση έναυσης των διατρημάτων
- Βαθμός αποζεύξεως

Η δεύτερη αναφέρεται στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του σχεδίου ανατίναξης και περιλαμβάνει:

- Κλίση διατρημάτων
- Διάμετρο διατρημάτων
- Σχέση ύψους βαθμίδας προς φορτίο
- Φορτίο
- Μήκος επιγόμωσης

- Υποδιάτρηση

3.2.3.1 Επίδραση των χαρακτηριστικών της εκρηκτικής ύλης

α. Είδος και ποσότητα εκρηκτικής ύλης

Όσο πιο μεγάλη είναι η πίεση έκρηξης, που είναι συνάρτηση της πυκνότητας της εκρηκτικής ύλης και της ταχύτητας έκρηξη, τόσο ισχυρότερη είναι η μεταδιδόμενη στο πέτρωμα κρούση, που δημιουργεί τον κυματικό παλμό. Σύμφωνα με τους Lopez Jimeno et al. (1995), όταν η ίδια ποσότητα ANFO συγκριθεί με ένα σύνηθες εκρηκτικό υγρής φάσης, τότε η ένταση των δονήσεων στην πρώτη περίπτωση θα είναι 2 με 2,4 φορές αντίστοιχα μικρότερη σε σύγκριση με αυτήν του εκρηκτικού υγρής φάσης.

Από πλευράς ποσότητας εκρηκτικής ύλης, μικρές ποσότητες παράγουν δονήσεις με υψηλές συχνότητες και μικρό πλάτος κύματος σε αντιδιαστολή με μεγάλες ποσότητες, που παράγουν το αντίθετο αποτέλεσμα (Τσουτρέλης, 2001).

β. Ποσότητα εκρηκτικής ύλης ανά επιβράδυνση

Στην περίπτωση ανατίναξης με επιβράδυνση η ποσότητα εκρηκτικής ύλης, που εκρήγνυται ανά χρόνο επιβράδυνσης, παίζει τον σημαντικότερο ρόλο όσον αφορά την ένταση της δόνησης και όχι η ολική ποσότητα εκρηκτικής ύλης ανά ανατίναξη. Βασική προϋπόθεση είναι ότι ο ελάχιστος χρόνος επιβράδυνσης που παρεμβάλλεται μεταξύ των διαδοχικών εκρήξεων να είναι αρκετός ώστε να αποφευχθεί η αθροιστική επίδραση μεταξύ των κυμάτων, που παράγουν οι σταδιακές εκρήξεις λόγω επιβραδύνσεων.

Κατά τους Duvall et al. (1963), με βάση τα αποτελέσματα δοκιμών σε λατομεία ασβεστόλιθου, ο ελάχιστος αυτός χρόνος επιβράδυνσης πρέπει να είναι μεγαλύτερος των 8 έως 9 ms για να μην προκληθεί αλληλοεπίδραση.

Κατά τους Langerfors και Kihlström (1963) χρόνοι επιβράδυνσης μεγαλύτεροι του τριπλασίου της περιόδου της δόνησης δεν προκαλούν αλληλοεπίδραση. Οι Wiss και Linehan (1978) θεωρούν ότι ονομαστικοί χρόνοι επιβράδυνσης μεταξύ διαδοχικών εκρήξεων 17 ms εξαφανίζουν τις αθροιστικές επιδράσεις, ενώ κατά την εταιρεία Nobel Explosives Co. της Μεγάλης Βρετανίας, διαφορές χρόνων με βήμα επιβράδυνσης μικρότερο από 25 ms ασκούν αλληλοεπίδραση.

Πρέπει να σημειωθεί πως στα συνήθη μέσα επιβράδυνσης υπάρχει χρονική απόκλιση μεταξύ του πραγματικού και του ονομαστικού βήματος επιβράδυνσης, το οποίο μπορεί να φτάσει μέχρι χρονικών επικαλύψεων. Η παρατήρηση αυτή έχει οδηγήσει στην κατασκευή ηλεκτρικών καψυλλίων υπερακριβείας, που περιορίζουν αυτόν τον κίνδυνο.

Ο χρόνος επιβραδύνσεως είναι δυνατόν να επηρεάσει επίσης την συχνότητα της δόνησης, για τις περιπτώσεις ταυτόχρονης έκρηξης και με βήματα επιβράδυνσης 9 με 34 ms (Τσουτρέλης, 2001).

γ. Διεύθυνση έναυσης των διατρημάτων

Με βάση μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε υπαίθρια ανθρακωρυχεία, η ταχύτητα δόνησης διαφοροποιείται ανάλογα με την διεύθυνση καταγραφής της σε σχέση με εκείνη της έναυσης. Είναι συνεπώς δυνατόν με την μεταβολή της διεύθυνσης έναυσης να επέλθει μείωση της ταχύτητας δόνησης προς την επιθυμητή διεύθυνση (Τσουτρέλης, 2001).

δ. Βαθμός αποζεύξεως

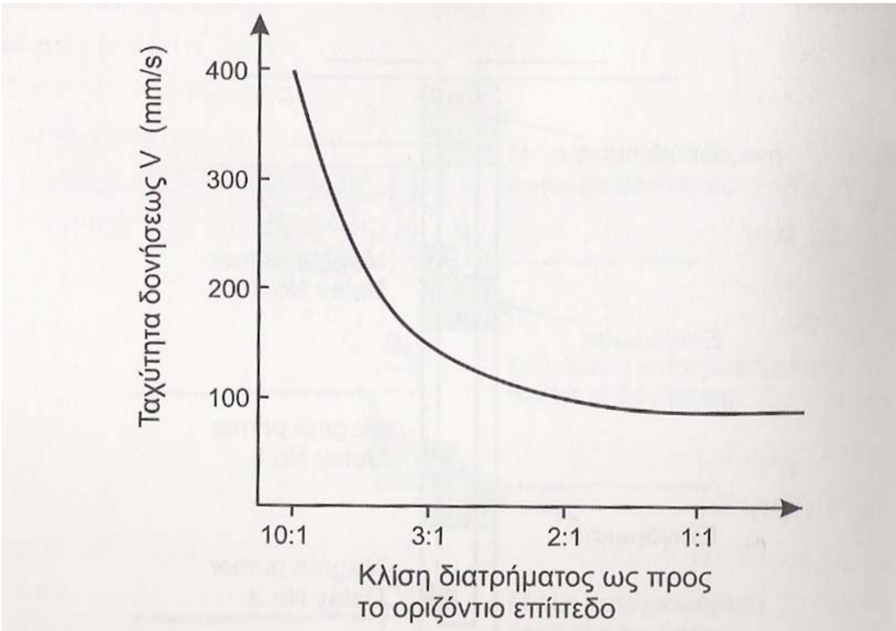
Η χρήση αποζευγμένης γόμωσης με παρεμβολή διακένου αέρα μεταξύ της εκρηκτικής ύλης και του τοιχώματος του διατρήματος μειώνει κατά εκθετικό τρόπο την αναπτυσσόμενη στο τοίχωμα πίεση έκρηξης και κατά συνέπεια την ταχύτητα δόνησης του περιβάλλοντος του διατρήματος πετρώματος. Η τεχνική αυτή όμως για την μείωση των παραγομένων από τις ανατινάξεις δονήσεων αποτελεί έσχατη λύση λόγω του υψηλού κόστους της, εκτός εάν επιβληθεί από την ανάγκη εφαρμογής, για την εξόρυξη του πετρώματος, μεθόδου ελεγχόμενης ανατίναξης οπότε παράλληλα επιτυγχάνεται και η μείωση των δονήσεων (Τσουτρέλης, 2001).

3.2.3.2 Επίδραση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών

α. Κλίση των διατρημάτων

Η κλίση των διατρημάτων παίζει σημαντικό ρόλο στη δημιουργία δονήσεων. Αυτό γιατί η κλίση ασκεί ευεργετική επίδραση στον θρυμματισμό του πετρώματος δεδομένου ότι περισσότερη ενέργεια της εκρηκτικής ύλης διατίθεται για την θραύση του πετρώματος με συνέπεια να περιορίζεται εκείνη, που αναλίσκεται για την παραγωγή δονήσεων στο πέτρωμα.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.1, η ταχύτητα δόνησης σχετίζεται άμεσα με την κλίση των διατρημάτων. Για παράδειγμα, η κλίση των διατρημάτων ως προς το οριζόντιο επίπεδο κατά 72^o (3:1), μειώνει περίπου στο 37% την ταχύτητα δόνησης σε σχέση προς εκείνη των κατακόρυφων διατρημάτων (90^o) (Τσουτρέλης, 2001).



Σχήμα 3.1: Σχέση κλίσης διατρήματος ως προς το οριζόντιο επίπεδο (Τσουτρέλης, 2001)

β. Διάμετρος διατρημάτων

Η διάμετρος των διατρημάτων επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την ταχύτητα δόνησης. Αν ένα διάτρημα περιγραφεί ως ένας κύλινδρος τότε η αύξηση ή η μείωση της διαμέτρου θα αυξομειώσει αντίστοιχα και τον όγκο του κυλίνδρου. Συνεπώς αν αυξηθεί η διάμετρος των διατρημάτων αυξάνεται ταυτόχρονα και η ποσότητα της εκρηκτικής ύλης που εκρήγνυται ανά χρόνο επιβράδυνσης. Η περίπτωση αυτή μπορεί να ελεγχθεί με χρήση διακεκομμένης γόμωσης (decked charges) και έναυση σε διαφορετικούς χρόνους (Τσουτρέλης, 2001).

γ. Ύψος βαθμίδας

Γενικά θα πρέπει να τηρείται η σχέση $H_b/B>2$ (H_b το ύψος της βαθμίδας και B το φορτίο), ώστε να εξασφαλίζεται καλός θρυμματισμός και ικανοποιητική θραύση του πετρώματος στο πόδι της βαθμίδας. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μείωση των δονήσεων, αφού το μεγαλύτερο μέρος της διατιθέμενης ενέργειας της εκρηκτικής ύλης αναλίσκεται για την παραγωγή ωφέλιμου έργου (Τσουτρέλης, 2001).

δ. Φορτίο

Όταν το φορτίο είναι μεγάλο, ο θρυμματισμός του πετρώματος δεν είναι ικανοποιητικός, καθώς το αποτέλεσμα είναι ένα έντονα ρωγματωμένο πέτρωμα ή σε άλλη περίπτωση παρατηρείται η παραγωγή μεγάλων τεμαχίων που θα πρέπει να υποστούν δευτερογενή θραύση ώστε να αξιοποιηθούν. Σε αυτήν την περίπτωση μεγάλο μέρος της ενέργειας της εκρηκτικής ύλης διοχετεύεται στο περιβάλλον πέτρωμα με την μορφή σεισμικής ενέργειας, η οποία οδηγεί στην αύξηση της έντασης των εδαφικών δονήσεων. Στον αντίποδα, μικρό φορτίο έχει ως αποτέλεσμα τον λεπτομερή θρυμματισμό του πετρώματος, την μείωση των εδαφικών δονήσεων αλλά και την εκτόξευση τεμαχίων του πετρώματος σε μεγάλη απόσταση με παράλληλη δημιουργία στην ατμόσφαιρα έντονου κύματος πίεσης.

Είναι σαφές πως μεταξύ των δυο αυτών ακραίων περιπτώσεων, πρέπει να αναζητηθεί η ορθή επιλογή του φορτίου, ώστε να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα, δηλαδή, ο καλός θρυμματισμός και η ελάχιστη ένταση εδαφικών δονήσεων (Τσουτρέλης 2001).

ε. Μήκος επιγόμωσης

Μεγάλο μήκος επιγόμωσης έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του περιορισμού της εκρηκτικής ύλης και κατά συνέπεια την αύξηση της έντασης των εδαφικών δονήσεων (Τσουτρέλης, 2001).

στ. Μήκος υποδιάτρησης

Αύξηση του μήκους της υποδιάτρησης πέραν από το ελάχιστο αναγκαίο επιβάλλει την τοποθέτηση περισσότερης εκρηκτικής ύλης βαθύτερα στο διάτρημα, το οποίο σημαίνει δημιουργία ανώμαλου δαπέδου και επιπλέον δαπάνη διατρήσεως.

Εκτός αυτών όμως υπάρχει μεγαλύτερη ποσότητα της εκρηκτικής ύλη περιορισμένη στην υποδιάτρηση, καθώς είναι πλευρικά περιορισμένη, πράγμα που έχει ως αποτέλεσμα το μεγαλύτερο ποσοστό της εκρηκτικής ενέργειας να μετατρέπεται σε σεισμική ενέργεια με αποτέλεσμα να εντείνεται η εδαφική δόνηση (Τσουτρέλης, 2001).

3.3 Δονησιογράφοι

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω η χρήση εκρηκτικών υλών έχει ως φυσικό επακόλουθο την δημιουργία δονήσεων. Έτσι, δημιουργήθηκε η ανάγκη να μπορούν να μετρηθούν αυτές οι δονήσεις με σκοπό την μελέτη τους. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ειδικά μηχανήματα τα οποία ονομάζονται **δονησιογράφοι** (Εικόνες 3.1-3.2).

Οι δονησιογράφοι είναι μηχανήματα τα οποία έχουν την δυνατότητα να μετρούν και να καταγράφουν δονήσεις, είτε αυτό συνεπάγεται εδαφικές δονήσεις είτε δονήσεις αέρος (air blast). Αυτό επιτυγχάνεται καθώς οι δονησιογράφοι μπορούν να συνδεθούν και με γεώφωνα αλλά και με μικρόφωνα. Τα μηχανήματα αυτά στη σημερινή εποχή είναι σχεδιασμένα ώστε να διευκολύνουν το έργο του μηχανικού τόσο λόγω του λογισμικού τους αλλά και λόγω του μικρού μεγέθους τους. Έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλά μηχανήματα, τοποθετημένα σε διαφορετικά σημεία, ώστε να καταγραφεί ένα **γεγονός** (event). Ως γεγονός ορίζεται μια μέτρηση που πραγματοποιήθηκε και μετρήθηκε από ένα δονησιογράφο.

Μια πολύ σημαντική λειτουργία που διαθέτουν οι δονησιογράφοι είναι ότι μπορούν να συνδεθούν με υδρόφωνα και να πραγματοποιήσουν μετρήσεις κάτω από το νερό. Σε αυτές τις περιπτώσεις βέβαια οι μετρήσεις δεν αναφέρονται σε δονήσεις αλλά σε μεταβολή της υδροστατικής πίεσης.

<u>Εικόνα 3.1:</u> Δονησιογράφος συνδεδεμένος με γεώφωνο και μικρόφωνο

<u>Εικόνα 3.2:</u> Δονησιογράφος με ενσωματωμένο γεώφωνο συνδεδεμένος με μικρόφωνο

3.3.1 Γεώφωνα

Το **γεώφωνο** είναι μια συσκευή η οποία μετατρέπει την εδαφική κίνηση (μετατόπιση) σε δυναμικό, το οποίο μπορεί να μετρηθεί και να καταγραφεί από έναν σταθμό καταγραφής. Η απόκλιση (διαφορά) του μετρούμενου αυτού δυναμικού από μια ορισμένη τιμή ονομάζεται σεισμική απόκριση και βοηθάει στην ανάλυση της δομής του εδάφους.

Τα γεώφωνα από τη δημιουργία τους χαρακτηρίζονται ως παθητικές αναλογικές συσκευές. Αποτελούνται από μια μαγνητική μάζα που βρίσκεται τοποθετημένη στην άκρη ενός ελατηρίου το οποίο κινείται μέσα σε ένα πηνίο δημιουργώντας έτσι ένα ηλεκτρικό σήμα. Στη σημερινή εποχή ο σχεδιασμός τους βασίζεται κυρίως στην μικροηλεκτρομηχανική τεχνολογία, η οποία έχει την δυνατότητα να παράγει μια ηλεκτρική απόκριση σε οποιαδήποτε εδαφική κίνηση. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ενός ενεργού κυκλώματος ανάδρασης στο οποίο είναι προσαρτημένο ένα μικρό κομμάτι σιλικόνης τοποθετημένο σε συγκεκριμένη θέση. Με οποιαδήποτε εδαφική κίνηση το κομμάτι αυτό ταλαντώνεται από τη θέση ισορροπίας του με αποτέλεσμα το κύκλωμα να αποδίδει την αντίστοιχη ηλεκτρική απόκριση.

Η απόκριση των γεωφώνων πηνίου/μαγνήτη είναι ανάλογη της εδαφικής ταχύτητας ενώ τα μικροηλεκτρομηχανικά συστήματα ανταποκρίνονται ανάλογα με την εδαφική επιτάχυνση. Για τον λόγο αυτό τα συστήματα αυτά έχουν πολύ μεγαλύτερα επίπεδα θορύβου έναντι των γεωφώνων και χρησιμοποιούνται μόνο σε μεγάλες εδαφικές κινήσεις ή σε ενεργές σεισμικές εφαρμογές.

Η συχνότητα απόκρισης των γεωφώνων είναι αντίστοιχη ενός αρμονικού ταλαντωτή, αυστηρά καθορισμένου από την γωνιακή συχνότητα (περίπου 10 Hz) και του συντελεστή απόσβεσης (περίπου 0,707). Μιας και η γωνιακή συχνότητα είναι της αντίστροφης ρίζας της κινούμενης μάζας τα γεώφωνα με χαμηλή γωνιακή συχνότητα (< 1 Hz) δεν είναι πρακτικά. Η γωνιακή συχνότητα είναι δυνατόν να μειωθεί ηλεκτρονικά έχοντας όμως ως κόστος υψηλότερες τιμές θορύβου αλλά και κόστους (www.Wikipedia.com)..

Οι δονήσεις εδάφους αναλύονται με βάση την θεωρία των κυμάτων. Ένα κύμα από τη φύση του αναλύεται σε τρεις διευθύνσεις. Τα γεώφωνα όμως στην αρχική τους μορφή ήταν κατασκευασμένα να ανταποκρίνονται σε μια διεύθυνση, η οποία ήταν η κάθετη. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη να κατασκευαστούν γεώφωνα που να μπορούν να μετρήσουν όλη την κυματομορφή, δηλαδή και στις τρεις διευθύνσεις

Αυτό επιτεύχθηκε με την κατασκευή των τριαξονικών γεωφώνων, που στην αναλογική τους μορφή αποτελούνται από τρία στοιχεία πηνίου/μαγνήτη τοποθετημένα πάνω σε μια ορθογωνική διάταξη μέσα σε ένα ενιαίο περίβλημα. Το κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία είναι προσανατολισμένο με μια από τις διευθύνσεις του κύματος.

Τα αναλογικά γεώφωνα αποτελούν πολύ ευαίσθητες συσκευές, οι οποίες έχουν την δυνατότητα να ανιχνεύουν δονήσεις που προέρχονται από πηγές που μπορεί να βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από αυτά. Οι δονήσεις αυτές ή αλλιώς σήματα, λόγω της απόστασης, έχουν πολύ μικρό πλάτος και γι'αυτό το λόγο είναι δύσκολο να χαρακτηριστούν ως δονήσεις και όχι ως θόρυβος. Σε πολλές περιπτώσεις μάλιστα αυτές οι "μικρές" δονήσεις μπορεί να επικαλυφθούν από μεγαλύτερες, οι πηγές των οποίων βρίσκονται πολύ κοντινότερα. Ο μόνος τρόπος να ανιχνευτούν είναι να γίνει συσχετισμός των μετρήσεων από πολλά γεώφωνα τα οποία είναι τοποθετημένα σε διαφορετικά σημεία στην περιοχή των μετρήσεων.

Ένα σήμα λοιπόν το οποίο έχει καταγραφεί μόνο από ένα ή από πολύ λίγα γεώφωνα αποδίδεται σε κάποιο τοπικό αίτιο και κατά συνέπεια δεν λαμβάνεται υπόψη. Με βάση τα παραπάνω είναι αντιληπτό πως μια τέτοια μικρή δόνηση μπορεί να αποδοθεί σε κάποιο μακρινό και ως εκ τούτου σημαντικό γεγονός μόνο αν αυτή έχει καταγραφεί από όλα τα γεώφωνα που είναι τοποθετημένα στην περιοχή (www.Wikipedia.com) (Εικόνα 3.3).

Εικόνα 3.3: Τριαξονικό γεώφωνο

3.3.2 Υδρόφωνα

Το υδρόφωνο αποτελεί το όργανο με τη βοήθεια του οποίου μπορούν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις κάτω από το νερό. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω με τις συσκευές αυτές μετράται η μεταβολή της υδροστατικής πίεσης. Στην παρούσα διπλωματική εργασία ενδιαφέρον παρουσιάζει η μεταβολή της υδροστατικής πίεσης που προκαλείται από την χρήση εκρηκτικών υλών.

Ένα υδρόφωνο αποτελεί στην ουσία ένα μικρόφωνο το οποίο είναι ειδικά κατασκευασμένο για να μπορεί να πραγματοποιήσει καταγραφές κάτω από το νερό. Τα περισσότερα υδρόφωνα είναι κατασκευασμένα με βάση κάποιο πιεζοηλεκτρικό στοιχείο ώστε να μετατρέπουν το ηχητικό σήμα σε ηλεκτρικό ώστε να μπορεί αυτό να μετρηθεί και κατά συνέπεια να καταγραφεί. Τα πιεζοηλεκτρικά στοιχεία έχουν την δυνατότητα, όταν ασκηθεί πάνω τους οποιοδήποτε είδος πίεσης, να παράγουν ηλεκτρισμό. Αυτή τους η ιδιότητα, καθώς και το γεγονός ότι ο ήχος αποτελεί ένα κύμα πίεσης, τα καθιστά ιδανικά στην κατασκευή των υδροφώνων.

Η κατασκευή τους είναι τέτοια ώστε να έχουν πολύ καλή ακουστική αντίσταση μέσα στο νερό. Ένα υδρόφωνο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε μετρήσεις έξω από το νερό αλλά η ευαισθησία του θα μειωνόταν σημαντικά. Αυτό οφείλεται στην διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στην πυκνότητα του νερού με τον αέρα. Αντίστροφα ένα μικρόφωνο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις κάτω από το νερό, εφόσον έχει τοποθετηθεί μέσα σε κάποιο αδιάβροχο περίβλημα, αλλά λόγω των όσων αναφέρθηκαν παραπάνω η απόδοσή του θα ήταν πολύ χαμηλή (www.Wikipedia.com) (Εικόνα 3.4).

Εικόνα 3.4: Υδρόφωνα που συνδέονται με δονησιογράφους

3.3.3 Λειτουργίες δονησιογράφων

Οι δονησιογράφοι όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι φορητά μηχανήματα και αρκετά αυτόνομα. Μπορούν να μεταφερθούν σε οποιοδήποτε σημείο στο πεδίο και ο μοναδικός τους περιορισμός είναι η διάρκεια της μπαταρίας τους και το μέγεθος της μνήμης τους. Η πραγματοποίηση των μετρήσεων γίνεται με τη βοήθεια του γεωφώνου που είναι συνδεδεμένο με τον δονησιογράφο καθώς και με ένα μικρόφωνο. Το γεώφωνο είναι το όργανο που θα μετρήσει τις εδαφικές δονήσεις, που δημιουργούνται είτε από ανατινάξεις είτε από οποιοδήποτε άλλο λόγο, και το μικρόφωνο αντίστοιχα θα μετρήσει τις δονήσεις αέρος.

Ένας δονησιογράφος ανάλογα με τον τύπο του μπορεί να διαθέτει ενσωματωμένο γεώφωνο, να μπορεί να συνδεθεί με ένα γεώφωνο ή με πολλά γεώφωνα την ίδια στιγμή.

Κάθε φορά που πραγματοποιείται μία ανατίναξη, τα αποτελέσματα της οποίας καταγράφονται από ένα δονησιογράφο, τότε η καταγραφή αυτή ονομάζεται **event.** Για την καταγραφή ενός event οι δονησιογράφοι διαθέτουν δύο βασικά "εργαλεία" ώστε να διευκολυνθεί η διαδικασία της καταγραφής αλλά και για να γίνει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη οικονομία στην μνήμη και την μπαταρία του μηχανήματος. Το πρώτο εργαλείο είναι το **Recording mode,** το οποίο χωρίζεται σε επιμέρους λειτουργίες, στην ουσία ορίζει πως το εκάστοτε μηχάνημα θα καταγράψει ένα event. Το δεύτερο εργαλείο είναι η δυνατότητα του να μπορεί να οριστεί μία τιμή εδαφικής ή αέριας δόνησης και σε περίπτωση υπέρβασης αυτής της τιμής ο δονησιογράφος ξεκινάει αυτόματα να καταγράφει το event. Παίζει δηλαδή τον ρόλο μιας αυτόματης "σκανδάλης" (trigger). Με αυτόν τον τρόπο ο υπεύθυνος μηχανικός δεν χρειάζεται να βρίσκεται στον χώρο καταγραφής για να πραγματοποιηθεί μια μέτρηση καθώς το μηχάνημα ελέγχει αυτόματα τα επίπεδα των δονήσεων και αναλόγως πραγματοποιεί ή όχι μια μέτρηση. Αυτό γίνεται με δυο τρόπους, ή ρυθμίζοντας το δονησιογράφο να παρακολουθεί τις εδαφικές δονήσεις και να χρησιμοποιήσει σαν trigger τις τιμές του γεωφώνου ή ρυθμίζοντας το δονησιογράφο να παρακολουθεί τις δονήσεις αέρα και να χρησιμοποιήσει ως trigger τις τιμές του μικροφώνου.

Οι επιμέρους ρυθμίσεις του Recording mode που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι οι εξής:

α. Καταγραφή ανατίναξης απλού διατρήματος (single shot record mode)

Αυτή η λειτουργία χρησιμοποιείται για την αυτόματη καταγραφή ενός event. Ο δονησιογράφος καταγράφει ένα event, δείχνει το αποτέλεσμα στην οθόνη και σταματάει να λειτουργεί χωρίς να πραγματοποιεί περεταίρω μετρήσεις. Η καταγραφή ξεκινά αυτόματα όταν οι δονήσεις υπερβούν τις τιμές που έχουν οριστεί.

β. Συνεχείς καταγραφές (continuous record mode)

Σε αυτή τη λειτουργία ο δονησιογράφος καταγράφει περισσότερα από ένα event χωρίς να υπάρχει "νεκρός" χρόνος ανάμεσά τους. Δηλαδή όταν πραγματοποιηθεί μια καταγραφή το μηχάνημα δείχνει το αποτέλεσμα στην οθόνη και συνεχίζει να βρίσκεται σε αναμονή για να καταγράψει και επόμενο event εάν και εφόσον αυτό χρειαστεί. Με αυτόν τον τρόπο καταγράφονται όλα τα event οι τιμές των οποίων υπερβούν τις τιμές που έχουν οριστεί.

γ. Μη αυτόματες καταγραφές (manual record mode)

Αυτή η λειτουργία χρησιμοποιείται στην περίπτωση που η αυτόματη εκκίνηση καταγραφής δεν είναι δυνατή, εξαιτίας υπερβολικού ανέμου ή υπερβολικής κίνησης οχημάτων στην περιοχή, ή στην περίπτωση που χρειάζεται η καταγραφή του "θορύβου" του περιβάλλοντος του πεδίου.

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις πρέπει να αναφερθεί πως ο τρόπος που σταματάνε οι καταγραφές ορίζεται από τον μηχανικό. Δηλαδή ένας δονησιογράφος μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να πραγματοποιήσει μία μέτρηση ξεκινώντας μία καθορισμένη χρονική στιγμή και να σταματήσει μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα ή μπορεί να ρυθμιστεί να σταματήσει όταν οι τιμές των δονήσεων πέσουν κάτω από τα επιτρεπτά όρια.

Επίσης επειδή σε πολλές περιπτώσεις η πρόσβαση σε κάποιο σημείο στο οποίο πρέπει να τοποθετηθεί ένας δονησιογράφος είναι δύσκολη υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης με πρόσθετη μπαταρία ή, αν το επιτρέπει ο περιβάλλον χώρος, ηλιακού συλλέκτη ώστε να αυξηθεί η διάρκεια λειτουργίας του μηχανήματος. Ακόμα είναι δυνατή η σύνδεσή του με GSM modem ώστε να πραγματοποιείται απομακρυσμένος έλεγχος του δονησιογράφου μέσω υπολογιστή (Εικόνα 3.5). Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να μεταφέρονται οι καταγεγραμμένες μετρήσεις από το μηχάνημα στον υπολογιστή ώστε να μην υπάρξει πρόβλημα κορεσμού της μνήμης του δονησιογράφου αλλά και για να πραγματοποιείται οποιαδήποτε αλλαγή στις ρυθμίσεις του.

Εικόνα 3.5: Δονησιογράφος συνδεδεμένος με GSM modem

3.3.4 Ανηγμένη απόσταση (Scaled distance)

Η ανηγμένη απόσταση αποτελεί ένα από τα πιο χρήσιμα εργαλεία στον τομέα των ανατινάξεων και εφαρμόζεται σε δονημετρικούς ελέγχους.

Ως ανηγμένη απόσταση (SD), ορίζεται ο ακόλουθος λόγος:

$$\mathbf{SD = D/W^{r}}$$

Όπου:

D= απόσταση από τη θέση της ανατίναξης μέχρι την κατασκευή που ελέγχεται ή εξετάζεται (θέση εγκατάστασης του δονησιογράφου).

W= η μέγιστη ποσότητα εκρηκτικής ύλης ανά χρόνο επιβράδυνσης

r= 1/2 ή 1/3 ανάλογα με τη μέθοδο υπολογισμού που χρησιμοποιείται (το 1/2 είναι πιο γνωστό και καθιερωμένο αλλά για το air blast χρησιμοποιείται το 1/3)

Η σχέση του SD μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συμπλήρωμα ή τελικό αποτέλεσμα ενός συστηματικού προγράμματος δονημετρικού ελέγχου με δονησιογράφους.

Όπου υπάρχει διαθέσιμος σημαντικός αριθμός καταγραφών από δονησιογράφους, για ορισμένα προγράμματα (όπως το Blastware), απαιτούνται τουλάχιστον 30 καταγραφές για να θεωρηθεί το διάγραμμα στατιστικά αποδεκτό. Το διάγραμμα του SD αποτελεί ουσιαστικά το "στατιστικό συμπέρασμα" ή καλύτερα την πιο αντικειμενική "δονημετρική ταυτότητα" της περιοχής που έχει ελεγχθεί.

Σε ένα διάγραμμα, η τιμή του SD χρησιμοποιείται στον οριζόντιο άξονα X και η μέγιστη ταχύτητα δόνησης, όπως καταγράφεται από δονησιογράφο (PPV για δόνηση εδάφους) στον άξονα Y. Καθώς υπάρχει άμεση σχέση ανάμεσα στις τιμές SD και PPV χαράσσεται ευθεία γραμμή, με βάση την οποία κάθε σημείο έχει ίση πιθανότητα (50 %) να είναι πάνω ή κάτω από αυτή. Παράλληλα προς αυτή χαράσσεται στη συνέχεια η γραμμή για την οποία το 95 % των σημείων βρίσκονται κάτω από αυτή.

Η πιο γνωστή σχέση που συνδέει την ταχύτητα δόνησης (PPV) με το Scaled Distance διατυπώνεται ως εξής:

$$\mathbf{PPV= H^* (SD)^{\beta} \quad ή \quad PPV= H * (D/W^{r})^{\beta}}$$

Όπου

PPV= Η μέγιστη ταχύτητα δόνησης (SD)

W= η μέγιστη ποσότητα εκρηκτικών ανά χρόνο επιβράδυνσης

D= απόσταση ανατίναξης από τον δονησιογράφο

H= σταθερά

r= 1/2 συνήθως για εδαφική δόνηση

β= σταθερά

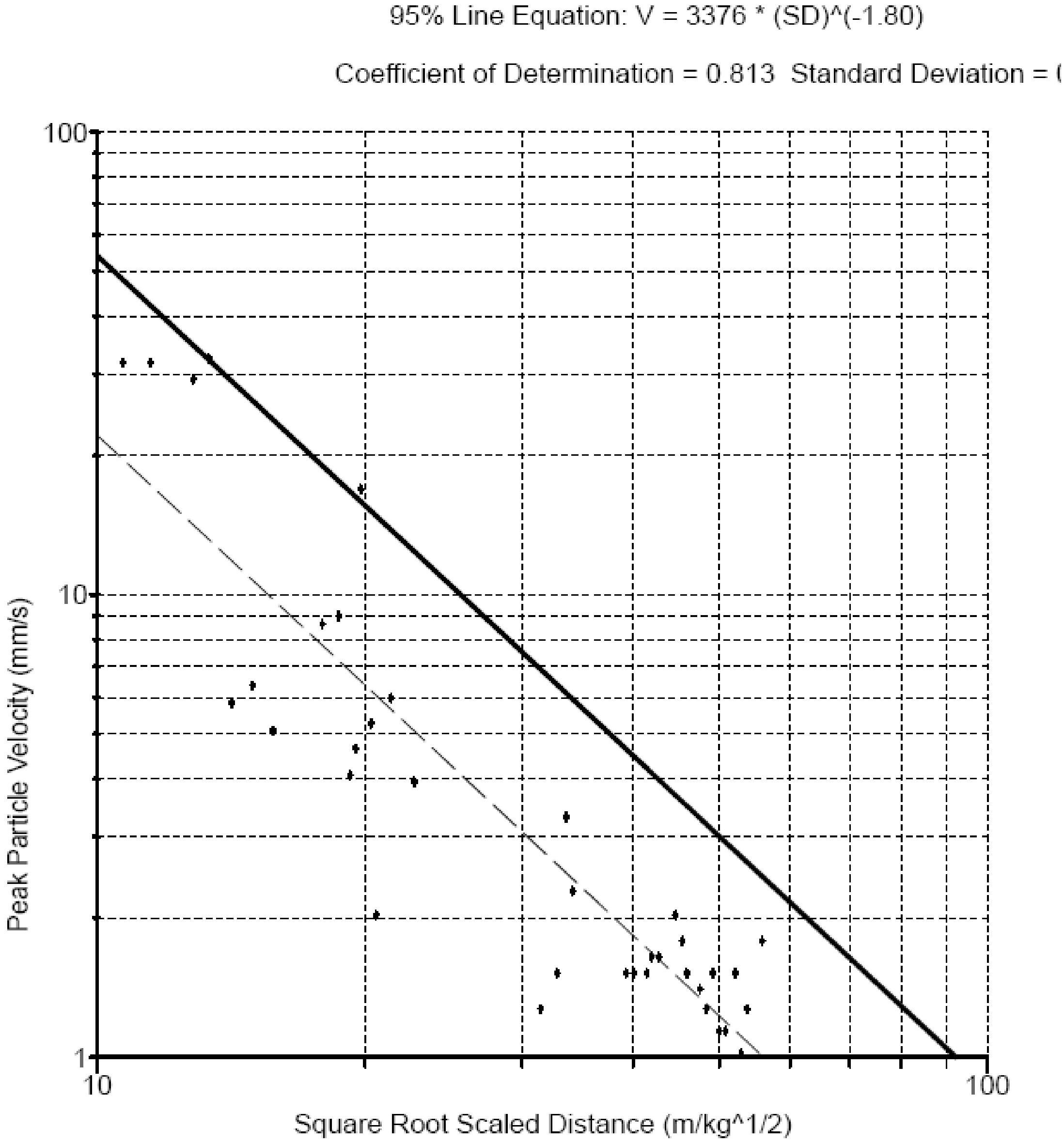
Υπάρχουν προγράμματα υπολογιστών που μπορούν να ετοιμάζουν το διάγραμμα SD, λαμβάνοντας μάλιστα δεδομένα απευθείας από τις ψηφιακές εγγραφές δονησιογράφων, μερικοί από τους οποίους δέχονται δεδομένα και υπολογίζουν-παρουσιάζουν την τιμή του SD στις αναφορές τους. Τα ίδια προγράμματα μπορούν να υπολογίζουν και να παρουσιάζουν ταυτόχρονα και πίνακες συσχετισμού ποσότητας εκρηκτικού/απόστασης, σε διάφορες μορφές, πολύ χρήσιμες για το σχεδιασμό ανατινάξεων στην περιοχή και κυρίως τον τεκμηριωμένο καθορισμό της μέγιστης επιτρεπόμενης ποσότητας εκρηκτικών υλών ανά χρόνο επιβράδυνσης ανάλογα με την απόσταση κτισμάτων και τα αποδεκτά επίπεδα-όρια ταχύτητας δόνησης.

Δικαιολογημένα λοιπόν η σχέση SD αποτελεί την "δονημετρική ταυτότητα" της περιοχής ανατινάξεων-μετρήσεων.

Πρακτικά εξασφαλίζεται μια εύχρηστη υπολογιστική βάση ικανή να δίνει γρήγορες και αξιόπιστες απαντήσεις σε εναλλακτικά σενάρια σχεδιασμού ανατινάξεων ή σε βασικά ερωτήματα όπως για παράδειγμα:

- Ποια είναι η «επιτρεπόμενη» γόμωση ανά χρόνο επιβράδυνσης μιας σχεδιαζόμενης ανατίναξης, έτσι ώστε δεδομένης της απόστασης της από κτίριο ή κατασκευή, η αναμενόμενη ταχύτητα δόνησης (PPV) να μην υπερβεί την «αποδεκτή» ή επιτρεπόμενη ή «ασφαλή» τιμή.
- Ποια είναι η «αναμενόμενη» ταχύτητα δόνησης (PPV) μιας σχεδιαζόμενης ανατίναξης όταν για αυτήν είναι δεδομένη η γόμωση ανά χρόνο επιβράδυνσης και η απόσταση της από το σημείο μέτρησης ή αναφοράς.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα στατιστικά συμπεράσματα και όρια (οδηγίες) που προκύπτουν από την επεξεργασία του διαγράμματος SD αποδεικνύεται ότι είναι συνήθως πολύ πιο αυστηρά από ότι διαπιστώνεται στην πράξη με τις μεμονωμένες εγγραφές. Έτσι η μεθοδολογία αυτή προσφέρει μια συντηρητική ή ικανοποιητικά ασφαλή προσέγγιση για τον ζητούμενο σχεδιασμό ανατίναξης (Μπαλικτσής, 2009) (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα ανηγμένης απόστασης (Μπαλικτσής, 2009)

3.3.5 Μετρήσεις δονησιογράφων

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων που πραγματοποιούνται με τη χρήση των δονησιογράφων καταγράφονται οι εδαφικές δονήσεις ή οι δονήσεις αέρος.

Οι συνήθεις μετρήσεις καταγράφουν αναλυτικά τρείς διαφορετικές συνιστώσες μιας δόνησης. Τα κύματα που καταγράφονται είναι τα εγκάρσια (**transverse**), η κάθετη συνιστώσα αυτών (**vertical**) και τα διαμήκη κύματα (**long**).

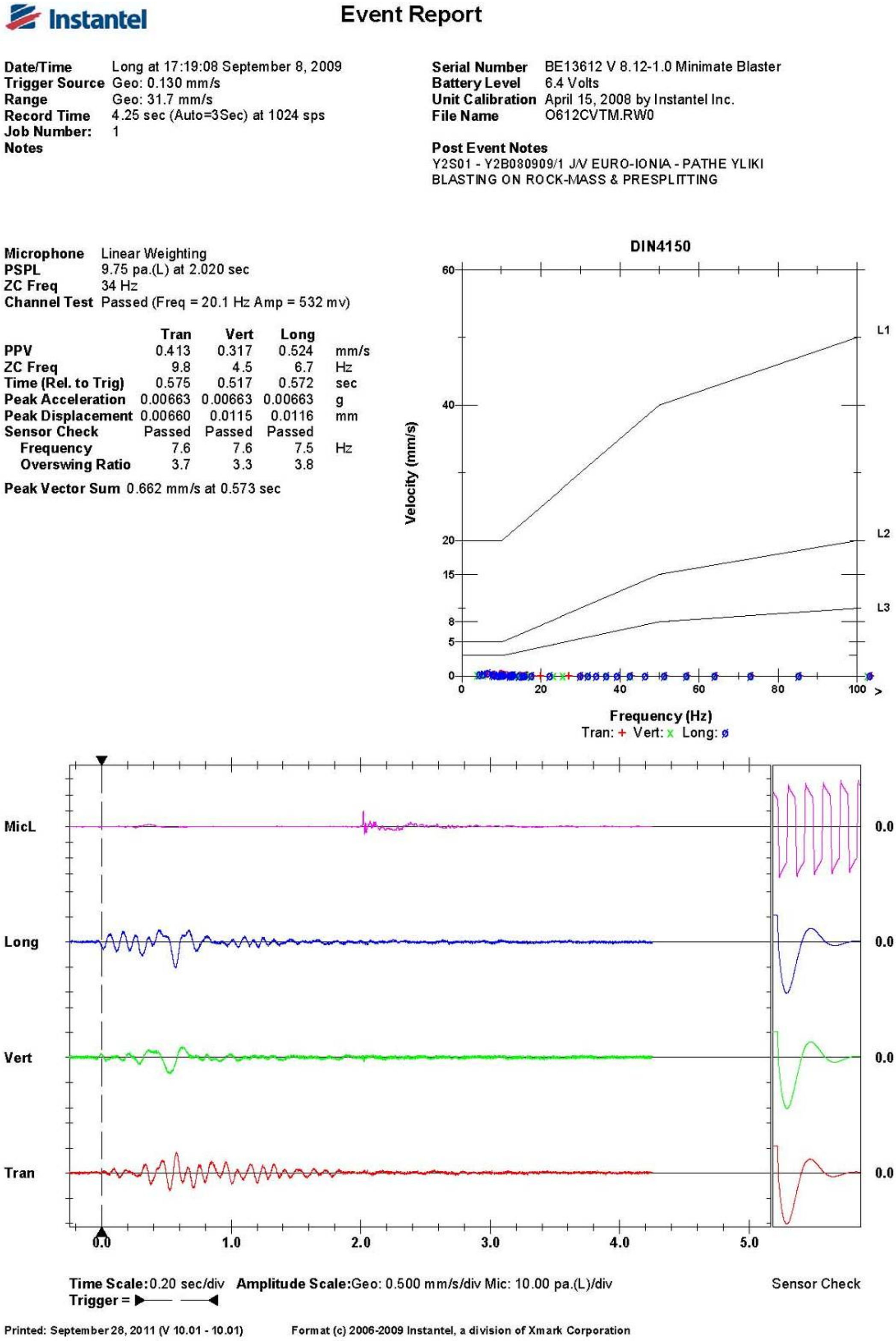
Η αναφορά που προκύπτει από το λογισμικό του δονησιογράφου παραθέτει την μέγιστη ταχύτητα που καταγράφηκε για κάθε ένα από τα παραπάνω κύματα συμπεριλαμβάνοντας και τις μετρήσεις του μικροφώνου καθώς και τις αντίστοιχες κυματομορφές αυτών.

Ταυτόχρονα στην αναφορά αποδίδεται το διάγραμμα που έχει να κάνει με το κριτήριο **DIN4150**. Το διάγραμμα αυτό έχει στον οριζόντιο άξονα την συχνότητα (frequency) του κάθε κύματος σε Hz και στον κάθετο άξονα, σε λογαριθμική κλίμακα, είναι η ταχύτητα (velocity) του κάθε κύματος αντίστοιχα σε mm/s. Σύμφωνα με το DIN4150 όλες οι κατασκευές έχουν χωρισθεί σε τρείς μεγάλες κατηγορίες με βάση τον τρόπο κατασκευής τους και άρα και την μέγιστη αντοχή που θα έχουν αν υποβληθούν σε δόνηση. Αυτός ο διαχωρισμός φαίνεται πάνω στο διάγραμμα συχνότητας-ταχύτητας με τρεις γραμμές οι οποίες ονομάζονται L1, L2 και L3. Οι γραμμές αυτές αναλογούν:

- L3 σε αρχαιότητες ή πρόχειρες κατασκευές (παράγκες).
- L3 σε μέτριες κατασκευές με οπλισμό όπως είναι οικίες.
- L3 βαριές κατασκευές και μεγάλα τεχνικά έργα.

Με αυτόν τον τρόπο βλέποντας κανείς ένα τέτοιο διάγραμμα μπορεί να καταλάβει, ανάλογα με το ποια κατηγορία ενδιαφέρεται, εάν θα υπάρχει κίνδυνος αστοχίας για την εκάστοτε περίπτωση.

Ένα βασικό σημείο που προκύπτει από τα παραπάνω είναι πως για να υπάρξει αστοχία σε μια κατασκευή δεν παίζει μοναδικό ρόλο η μέγιστη ταχύτητα δόνησης αλλά ο συνδυασμός ταχύτητας δόνησης με την συχνότητα (Σχήμα 3.2).



Instantel **Event Report**

Date/Time	Long at 17:19:08 September 8, 2009
Trigger Source	Geo: 0.130 mm/s
Range	Geo: 31.7 mm/s
Record Time	4.25 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps
Job Number:	1
Notes	

Serial Number	BE13612 V 8.12-1.0 Minimate Blaster
Battery Level	6.4 Volts
Unit Calibration	April 15, 2008 by Instantel Inc.
File Name	O612CVTM.RW0

Post Event Notes
Y2S01 - Y2B080909/1 J/V EURO-IONIA - PATHE YLIKI
BLASTING ON ROCK-MASS & PRESPLITTING

Microphone	Linear Weighting
PSPL	9.75 pa.(L) at 2.020 sec
ZC Freq	34 Hz
Channel Test	Passed (Freq = 20.1 Hz Amp = 532 mv)

	Tran	**Vert**	**Long**	
PPV	0.413	0.317	0.524	mm/s
ZC Freq	9.8	4.5	6.7	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.575	0.517	0.572	sec
Peak Acceleration	0.00663	0.00663	0.00663	g
Peak Displacement	0.00660	0.0115	0.0116	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.6	7.6	7.5	Hz
Overswing Ratio	3.7	3.3	3.8	

Peak Vector Sum 0.662 mm/s at 0.573 sec

Time Scale: 0.20 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 0.500 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
Trigger = ▶— —◀
Sensor Check

Printed: September 28, 2011 (V 10.01 - 10.01) Format (c) 2006-2009 Instantel, a division of Xmark Corporation

Σχήμα 3.2: Παράδειγμα παρουσίασης αναφοράς από το πρόγραμμα Blastware

Κεφάλαιο 4: Διερεύνυση δυνατότητας καταγραφών δονήσεων με υδρόφωνα

4.1 Γενικά

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω ένα πολύ σημαντικό εργαλείο στα χέρια του μηχανικού είναι η εφαρμογή της ανηγμένης απόστασης για το σχεδιασμό ανατινάξεων. Με τη χρήση αυτού μπορεί να γίνει μια πρόβλεψη για τις τιμές των εδαφικών δονήσεων που αναμένονται σε οποιαδήποτε απόσταση από το σημείο μιας ανατίναξης, χωρίς να χρειάζεται να πραγματοποιηθούν μετρήσεις στην απόσταση αυτή.

Μία ανατίναξη όμως δεν προκαλεί μόνο εδαφικές δονήσεις και δονήσεις αέρα. Σε περίπτωση που στην ευρύτερη περιοχή του πεδίου της ανατίναξης υπάρχει κάποια υδρογεώτρηση θα προκληθεί μεταβολή της υδροστατικής πίεσης στο νερό που εμπεριέχεται σε αυτή. Η μεταβολή αυτή, η οποία είναι ανάλογη της απόστασης από την ανατίναξη, σε περίπτωση που είναι μικρή δεν θα αποτελέσει κάποιο πρόβλημα, σε περίπτωση όμως που αυτή η μεταβολή είναι μεγάλη μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα.

Επίσης μια ανατίναξη έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή της υδροστατική πίεσης μέσα σε μια υδρογεώτρηση. Η αυξομείωση της υδροστατικής πίεσης μπορεί να μετρηθεί με τη χρήση δονησιογράφων, καθώς υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης αυτών με υδρόφωνα που μετρούν αυτή τη μεταβολή.

Ένα μεγάλο πρόβλημα όμως είναι πως δεν είναι πάντοτε δυνατό να τοποθετηθεί υδρόφωνο μέσα σε μία υδρογεώτρηση είτε γιατί δεν υπάρχει πρόσβαση σε αυτή είτε διότι δεν γίνεται πρακτικά λόγω έλλειψης μηχανημάτων.

Η κεντρική ιδέα λοιπόν της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία μιας αντίστοιχης ανηγμένης απόστασης η οποία θα αποδίδει μια πρόβλεψη για τη μεταβολή της υδροστατικής πίεσης χρησιμοποιώντας τα δεδομένα μιας κλασικής ανηγμένης απόστασης για εδαφικές δονήσεις.

4.2 Πειραματική διάταξη

Με βάση τα όσα έχουν αναφερθεί έπρεπε να γίνει ένας συσχετισμός των εδαφικών δονήσεων με τη μεταβολή της υδροστατικής πίεσης. Για το σκοπό αυτό στήθηκε μια πειραματική διάταξη στην περιοχή της λίμνης Υλίκη και πιο συγκεκριμένα σε έργο οδοποιίας. Το συγκεκριμένο έργο περιλάμβανε πραγματοποίηση ανατινάξεων, ώστε να επιτευχθεί η διαπλάτυνση του δρόμου, οι οποίες και χρησιμοποιήθηκαν ως δονήσεις διέγερσης στην πειραματική διάταξη που περιγράφεται παρακάτω.

Για την εγκατάσταση των υδροφώνων κατασκευάστηκαν δυο διατρήματα σε μικρή απόσταση το ένα με το άλλο, διαμέτρου Ø95 (mm) και βάθος περίπου 15 m. Σε αυτά τα διατρήματα τοποθετήθηκαν ειδικές σακούλες αντίστοιχου μήκους και διαμέτρου. Στην κορυφή αυτών των διατρημάτων τοποθετήθηκαν σωλήνες PVC μήκους 3 m και διαμέτρου Ø89 (mm), στους οποίου είχε τοποθετηθεί ειδικό εξάρτημα διαστολής, ώστε να μην είναι δυνατό να εισχωρήσουν στα διατρήματα πέρα από ένα συγκεκριμένο μήκος, καθώς και ειδικό πώμα ώστε να μην εισέλθει τίποτε ανεπιθύμητο μέσα στην διάταξη (Εικόνες 4.1-4.2).

Εικόνα 4.1: Εξαρτήματα σωλήνων πειραματικής διάταξης

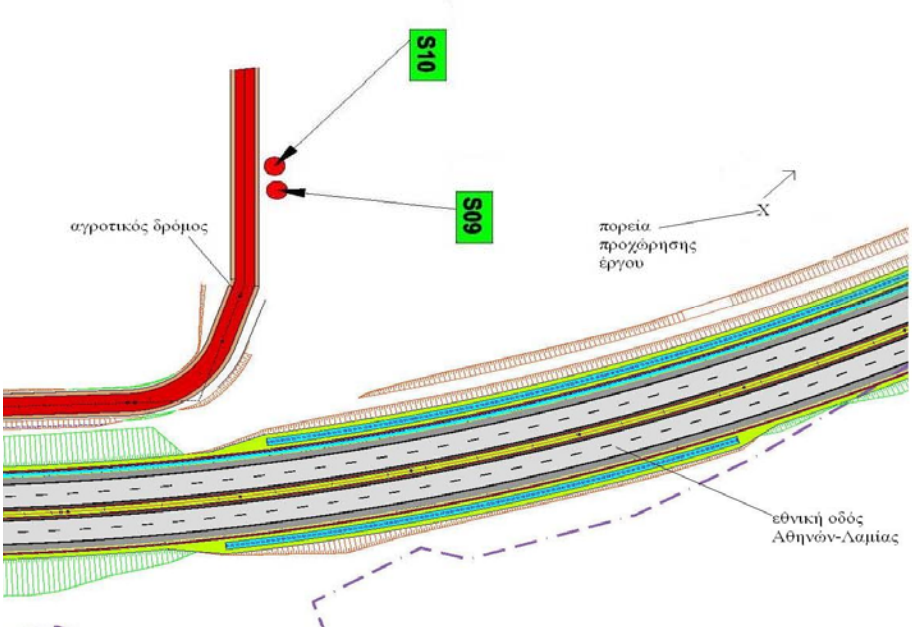
Εικόνα 4.2: Σωλήνες πειραματικής διάταξης

Μέσα στις σακούλες τοποθετήθηκε νερό τόσο ώστε να είναι γνωστό το μήκος της υδάτινης στήλης που δημιουργήθηκε. Ταυτόχρονα καθώς οι σακούλες γέμιζαν με νερό τα τοιχώματά τους ταυτίζονταν με τα τοιχώματα των διατρημάτων. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε μια διάταξη που εξομοίωνε μια κανονική υδρογεώτρηση (Εικόνες 4.3-4.4).

Εικόνα 4.3: Τοποθέτηση σωλήνων πειραματικής διάταξης

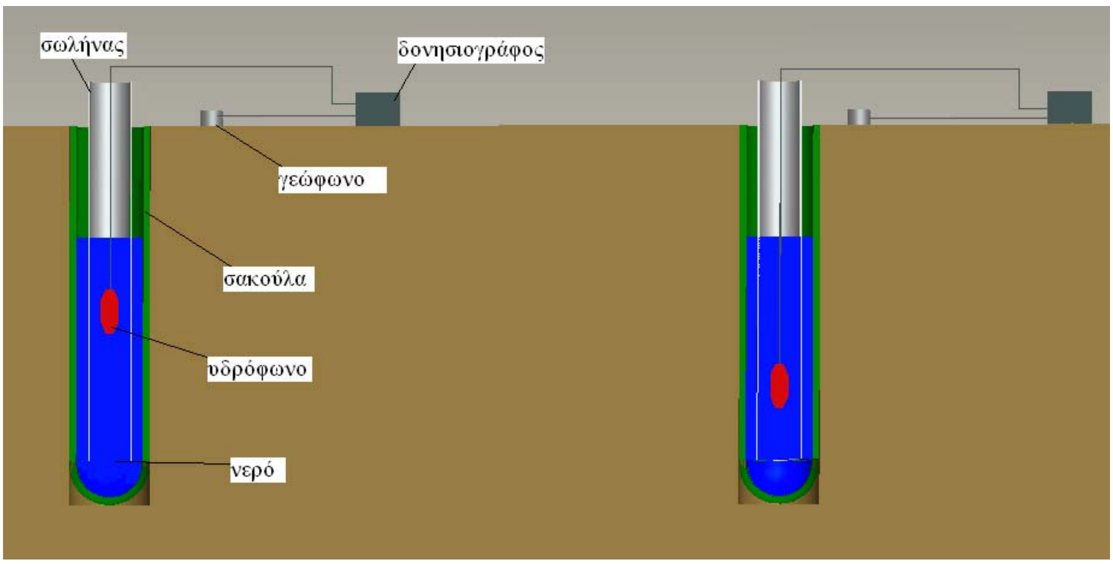
Εικόνα 4.4: Τελική πειραματική διάταξη

Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν δονησιογράφοι ακριβώς στις άκρες των διατρημάτων στους οποίους είχαν συνδεθεί ταυτόχρονα και γεώφωνα αλλά και υδρόφωνα. Τα υδρόφωνα τοποθετούνταν μέσα στα διατρήματα σε γνωστά βάθη. Με αυτόν τον τρόπο για κάθε διάτρημα μετρούνταν ταυτόχρονα και η επιφανειακή δόνηση αλλά και η μεταβολή της υδροστατικής πίεσης στο εκάστοτε βάθος. Η απόσταση από το μέτωπο της ανατίναξης μεταβαλλόταν παράλληλα με την ανάπτυξη του έργου (Εικόνα 4.5).



Εικόνα 4.5: Ενδεικτική οριζοντιογραφία της τοποθεσίας πραγματοποίησης των ανατινάξεων

Επίσης μεταβάλλονταν τα βάθη που τοποθετούνταν κάθε φορά τα υδρόφωνα ώστε να πραγματοποιηθούν μετρήσεις σε διάφορα βάθη (Εικόνες 4.6-4.7).



Εικόνα 4.6: Σχηματική τομή των γεωτρήσεων εντός των οποίων τοποθετήθηκαν υδρόφωνα

Εικόνα 4.7: Εικόνα της διάταξης κατά την πραγματοποίηση μετρήσεων

4.3 Μετρήσεις

Μέσω αυτής της διάταξης ελήφθησαν μετρήσεις οι οποίες αποτελούνταν από ζεύγη εδαφικών δονήσεων και υδροστατικής πίεσης στην ίδια ανατίναξη, για διαφορετικές αποστάσεις από το μέτωπο και για διαφορετικά βάθη. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μετρήσεις από τα υδρόφωνα (kPa) και τα γεώφωνα (mm/s) καθώς και οι αποστάσεις από το μέτωπο της ανατίναξης. Επίσης φαίνονται το μήκος του διατρήματος, το μήκος της στήλης νερού και η απόσταση του υδροφώνου από την επιφάνεια του νερού (Πίνακας 4.1).

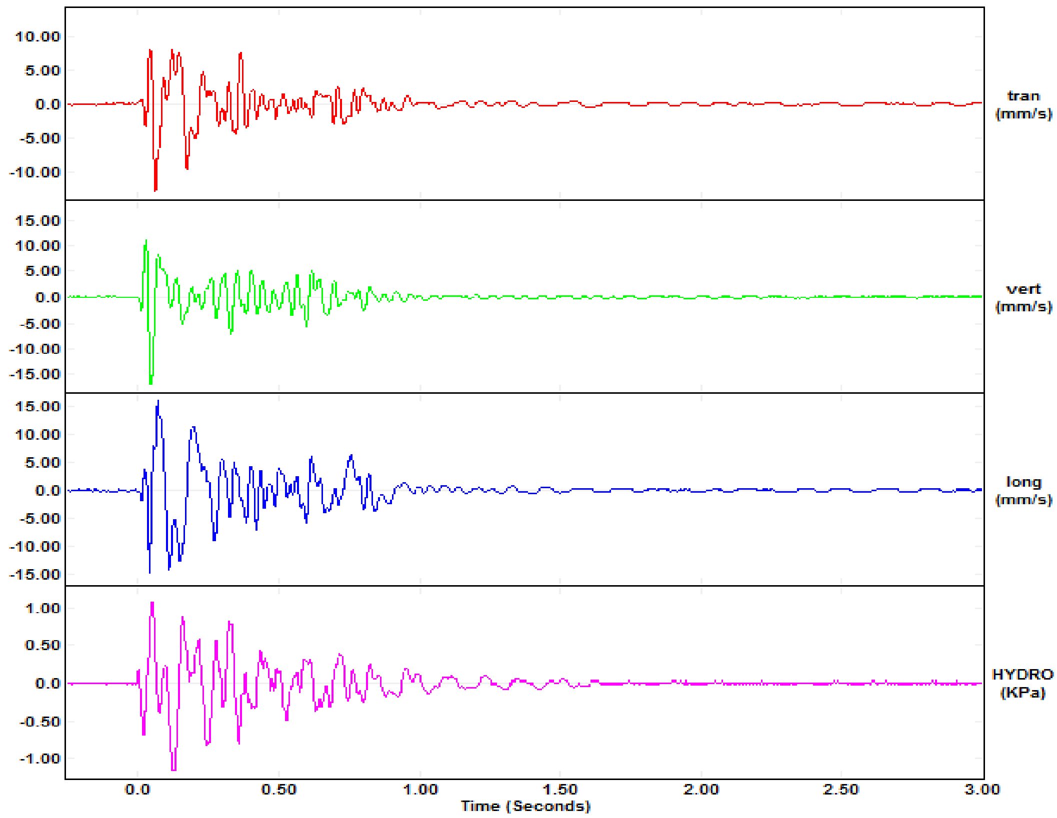
Πίνακας 4.1: Μετρήσεις στις γεωτρήσεις ΥΔ9 και ΥΔ10 σε διαφορετικές χρονικές περιόδους

	4/6/2009		11/6/2009		16/6/2009		8/9/2009				8/10/2009		22/10/2009		29/10/2009	
	ΥΔ9	ΥΔ10	ΥΔ9	ΥΔ10	ΥΔ9	ΥΔ10	ΥΔ9	ΥΔ10	ΥΔ9	ΥΔ10	ΥΔ9	ΥΔ10	ΥΔ9	ΥΔ10	ΥΔ9	ΥΔ10
Μήκος διατρήματος (m)	4.3	7	4.2	3.4	4.3	3.3	7.3	6.4	7.3	6.4	7.3	6.4	7.3	6.4	7.3	6.4
Μήκος στήλης νερού (m)	0.3	3	2.5	2.7	1	0.5	5.3	2	5.3	2	2.5	2	2.50	2.00	2.8	1.4
Απόσταση επιφάνειας από υδρόφωνο (m)	1.0	4.0	1.5	0.4	3.3	2.8	2.0	4.4	2.0	4.4	4.8	4.4	4.8	4.4	4.5	5.0
Μέγιστη τιμή (mm/s)	17	16.8	3.91	3.65	2.54	2.16	17.4	15.7	10.1	9.65	17.7	23.7	4.43	4.44	6.86	8.25
Τιμή υδροφώνου (kPa)	1.32	0.822	0.226	0.226	0.0822	0.247	1.87	0.822	1.36	0.658	1.19	1.11	0.473	0.267	0.596	0.329
Απόσταση από την ανατίναξη (m)	75	75	155	155	110	110	82	82	82	82	104	104	136	136	106	106

Στη συνέχεια παρατίθεται ενδεικτικά μια αναφορά με τις μετρήσεις, όπως τις παρουσιάζει το λογισμικό των δονησιογράφων, blastware (Εικόνα 4.8). Στο Παράρτημα στο τέλος της εργασίας παρουσιάζονται όλες οι μετρήσεις για κάθε ανατίναξη.

Παρατηρείται πως οι κυματομορφές από τις καταγραφές της πίεσης είναι παρόμοιες με τις αντίστοιχες κυματομορφές των δονήσεων, ώς προς τη μορφή. Σε πολλές περιπτώσεις όμως οι κυματομορφές δεν παρουσιάζουν τη συνήθη μορφή καταγραφών, πράγμα που πιθανός οφείλεται στην παρουσία “θορύβου” μπορεί να προέρχεται από τις μονώσεις και τις συνδέσεις των καλωδίων αλλά και από την απόσταση των υδροφώνων από τους δονησιογράφους.

Channel	Name	Peak	Time (sec)	Trigger Level	Gain	Range	Units
1	tran	13.2	0.060	0.250	8x	31.7	mm/s
2	vert	17.7	0.044	0.250	8x	31.7	mm/s
3	long	16.0	0.069	0.250	8x	31.7	mm/s
4	HYDRO	1.19	0.122	0.164	8x	41.1	KPa



Εικόνα 4.8: Κυματομορφές μετρήσεων

4.4 Επεξεργασία μετρήσεων

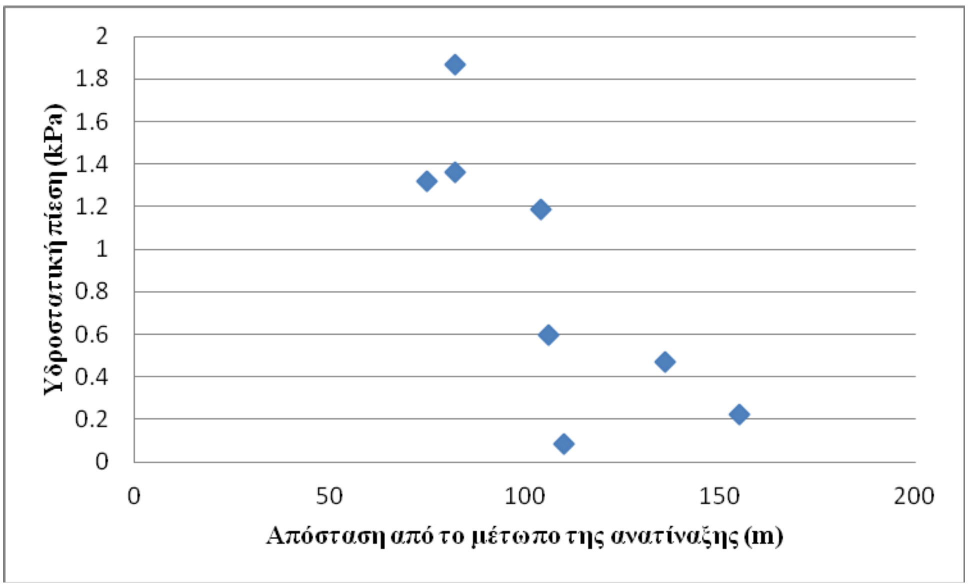
Τα δεδομένα που συλλέχτηκαν με την παραπάνω διαδικασία, καταρχήν παραθέτονται σε γραφήματα ώστε να είναι δυνατή η επισκόπηση της μεταβολής των τιμών της μέγιστης δόνησης σε σχέση με την απόσταση από την ανατίναξη καθώς και να είναι δυνατή η συσχέτιση της μεταβολής της υδροστατικής πίεσης με τη μέγιστη τιμή δόνησης, σε σχέση πάντα με την απόσταση από το μέτωπο της ανατίναξης.

Στο σχήμα 4.1 και 4.3 παρουσιάζεται η μεταβολή της μέγιστης τιμής δόνησης σε σχέση με την απόσταση από το μέτωπο της ανατίναξης για τις υδρογεωτρήσεις ΥΔ9 και ΥΔ10 αντίστοιχα.

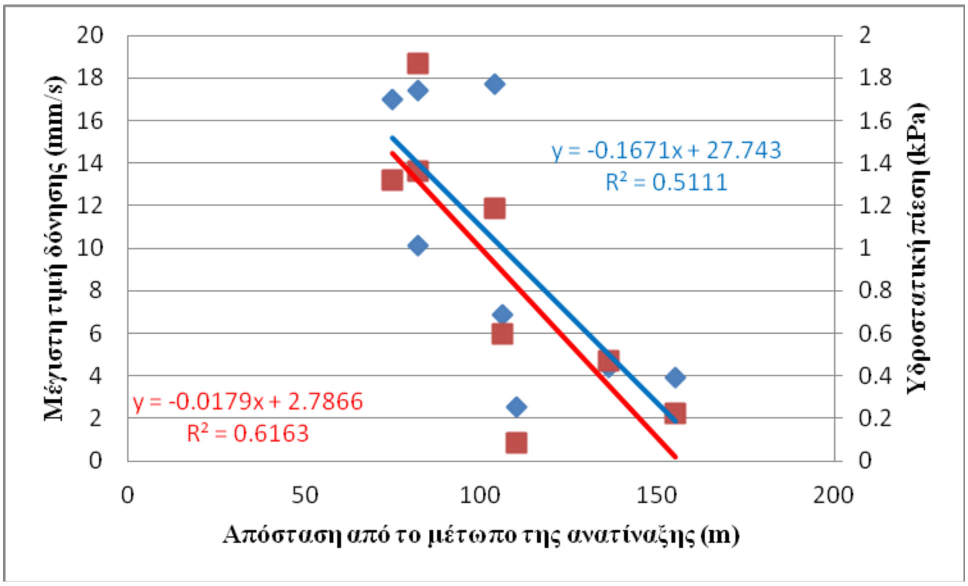
Στο σχήμα 4.2 και 4.4 συγκρίνεται η μεταβολή της υδροστατικής πίεσης με την μέγιστη τιμή δόνησης σε σχέση με την απόσταση για τις υδρογεωτρήσεις ΥΔ9 και ΥΔ10 αντίστοιχα.

Παρατηρείται ότι υπάρχουν δυο ίδιες τιμές απόστασης διότι σε δυο διαφορετικές ανατινάξεις και αντίστοιχα δυο διαφορετικές χρονικές στιγμές, η απόσταση του μετώπου από τις υδρογεωτρήσεις ήταν ίδια.

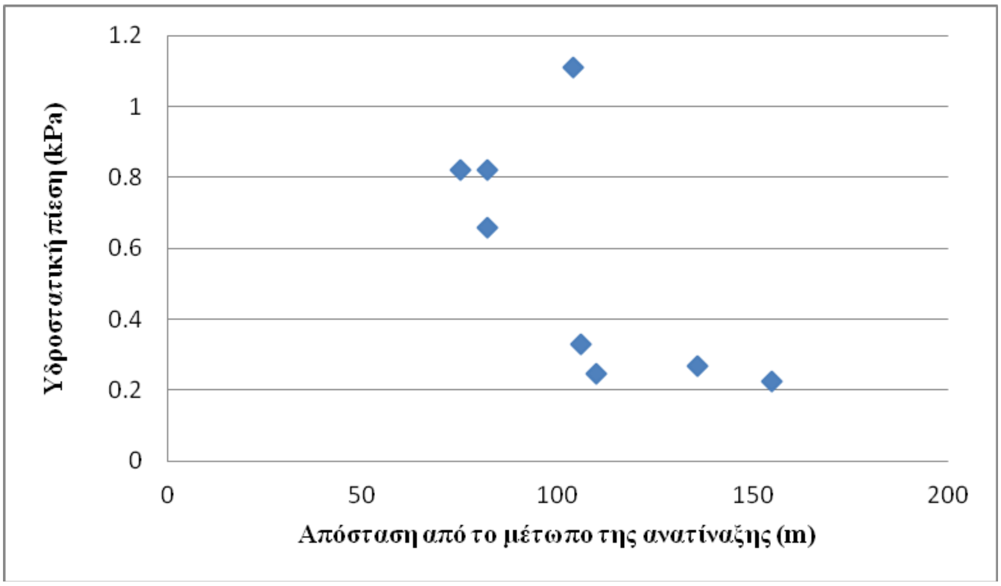
Στο σχήμα 4.5 και 4.6 παρατηρείται η μεταβολή της υδροστατικής πίεσης σε σχέση με το βάθος που είχε τοποθετηθεί το υδρόφωνο και για τις δυο υδρογεωτρήσεις.



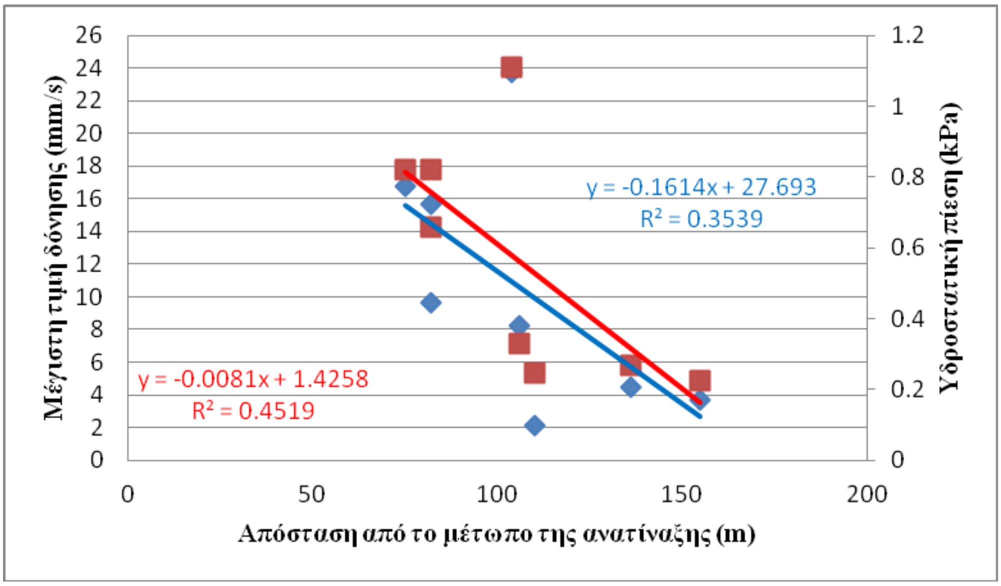
Σχήμα 4.1: Διάγραμμα μεταβολής της υδροστατικής πίεσηςς σε σχέση με την απόσταση από το μέτωπο της ανατίναξης για την υδρογεώτρηση ΥΔ9



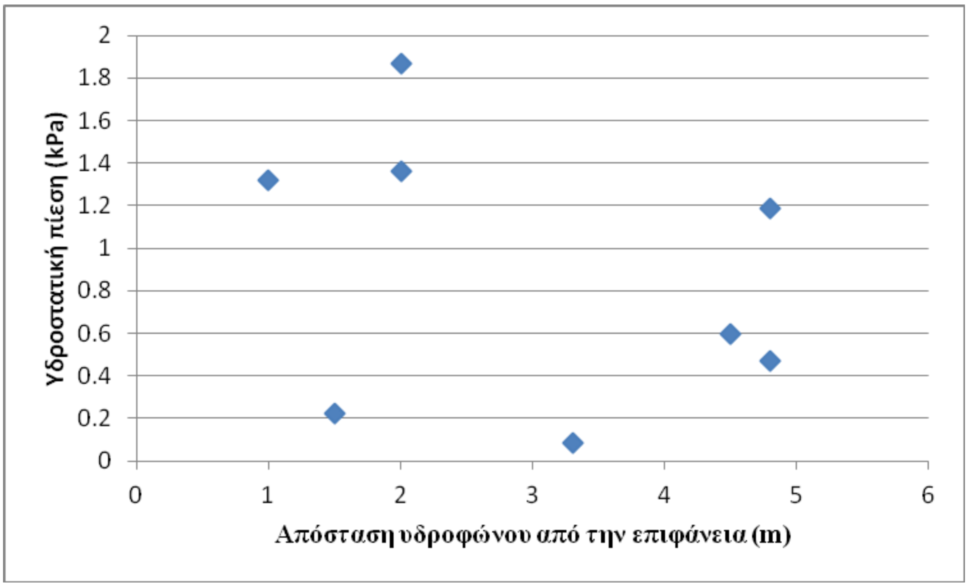
<u>Σχήμα 4.2:</u> Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της υδροστατικής πίεσης με την μέγιστη τιμή δόνησης, σε σχέση με την απόσταση από το μέτωπο της ανατίναξης για την υδρογεώτρηση ΥΔ9



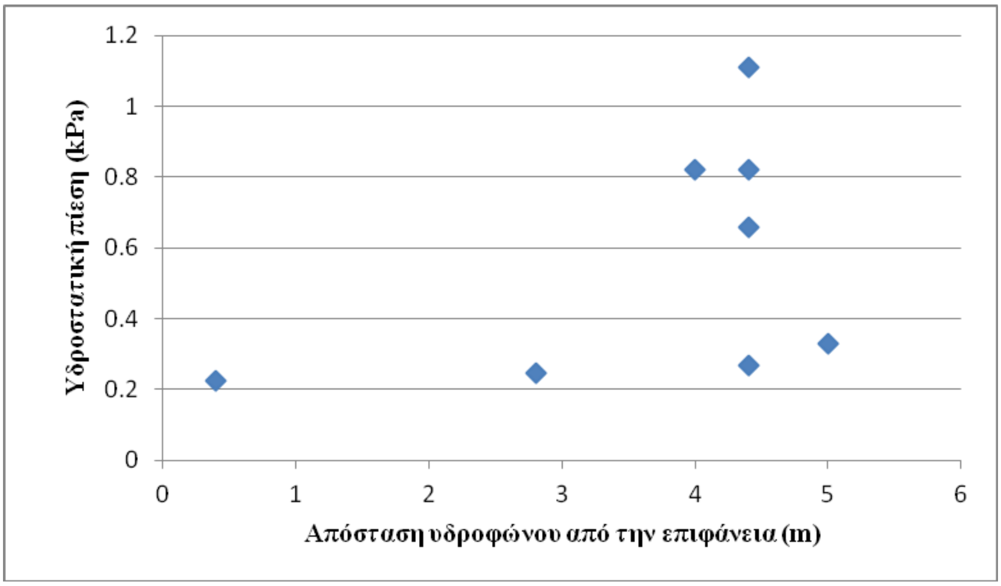
<u>Σχήμα 4.3:</u> Διάγραμμα μεταβολής της υδροστατικής πίεσης σε σχέση με την απόσταση από το μέτωπο της ανατίναξης για την υδρογεώτρηση ΥΔ10



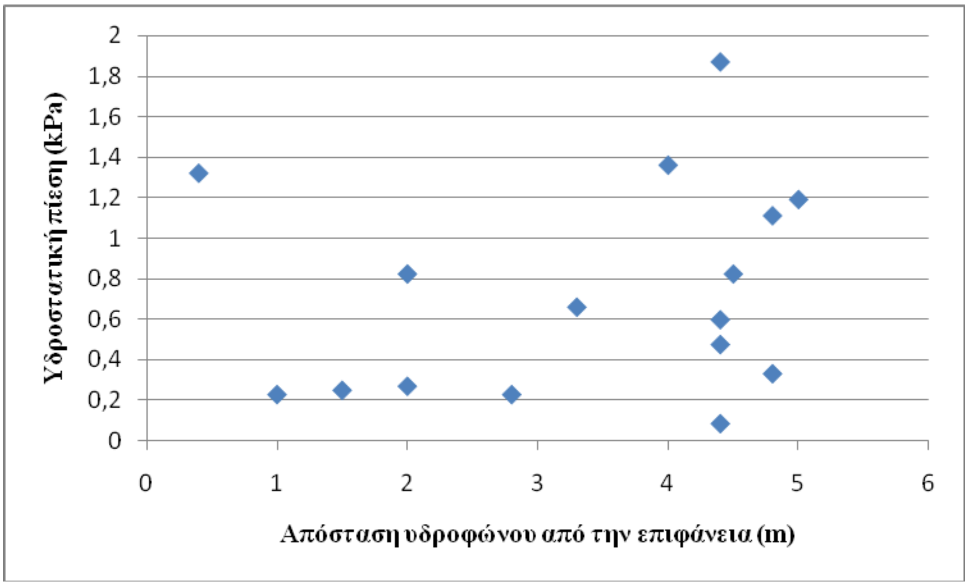
<u>Σχήμα 4.4:</u> Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της υδροστατικής πίεσης με την μέγιστη τιμή δόνησης σε σχέση με την απόσταση από το μέτωπο της ανατίναξης για την υδρογεώτρηση ΥΔ10



<u>Σχήμα 4.5:</u> Διάγραμμα μεταβολής της υδροστατικής πίεσης σε σχέση με το βάθος τοποθέτησης του υδροφώνου για την υδρογεώτρηση ΥΔ9



<u>Σχήμα 4.6:</u> Διάγραμμα μεταβολής της υδροστατικής πίεσης σε σχέση με το βάθος τοποθέτησης του υδροφώνου για την υδρογεώτρηση ΥΔ10



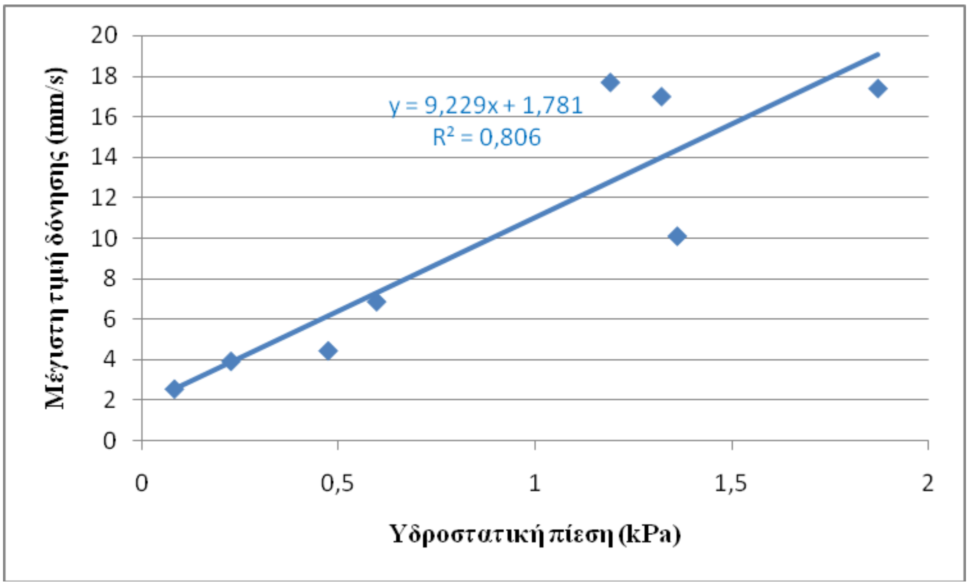
<u>Σχήμα 4.7:</u> Συνολικό διάγραμμα της υδροστατικής πίεσης σε σχέση με το βάθος τοποθέτησης του υδροφώνου και για τις δυο υδρογεωτρήσεις

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί πως λόγω του ότι δεν υπήρχε η δυνατότητα να ληφθούν πληροφορίες σχετικά με την ποσότητα των εκρηκτικών ανά χρονική επιβράδυνση, δεν ήταν δυνατό να παρατεθεί ανάλυση με τη μέθοδο της ανηγμένης απόστασης.

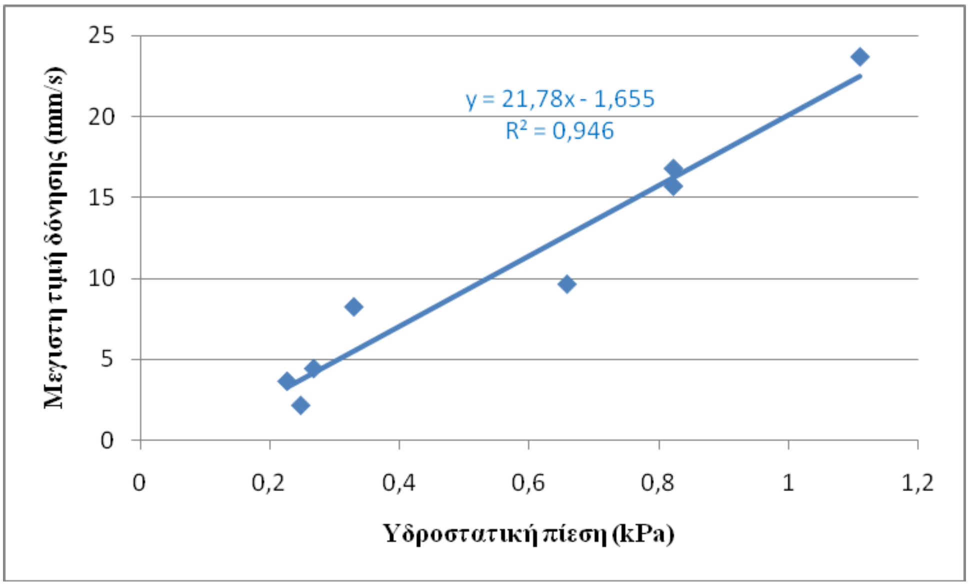
Στα σχήματα 4.2 και 4.4 φαίνονται οι γραμμές τάσεις τόσο για τις τιμές της μέγιστης τιμής δόνησης όσο και για τη μεταβολή της υδροστατικής πίεσης. Ακόμα παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης οι οποίοι όμως λόγω του ότι κυμαίνονται από 0,35 μέχρι 0.61 δεν μπορούν να μας δώσουν κάποιο ασφαλές συμπέρασμα.

Στα σχήματα 4.5, 4.6 και 4.7 δεν μπορεί να εξαχθεί κανένα συμπέρασμα όσων αφορά την κατανομή των τιμών καθώς όπως φαίνεται ο συσχετισμός των δυο μεταβλητών δεν είναι καλός.

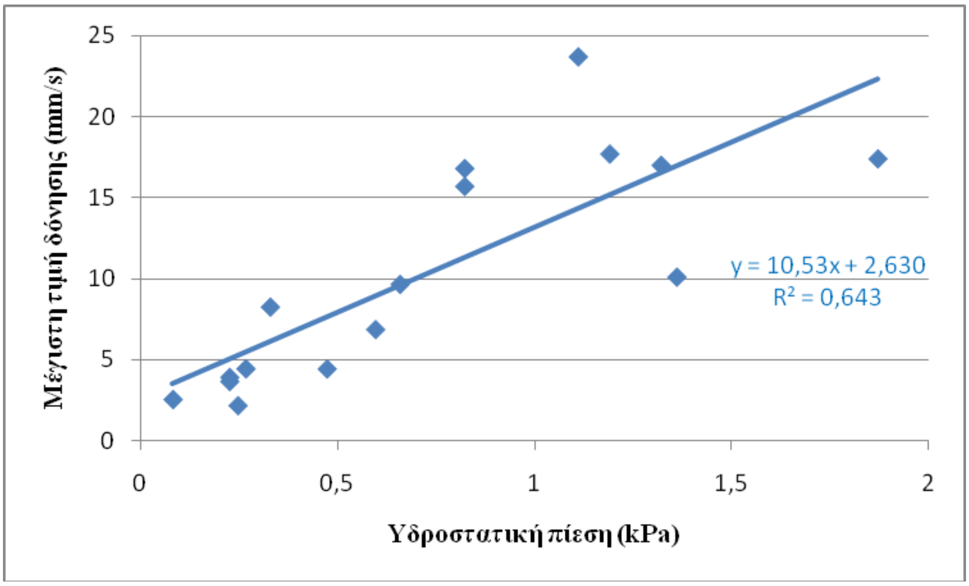
Επίσης ακολουθούν τα σχήματα 4.8 και 4.9 όπου φαίνεται η τιμή της εδαφικής δόνησης σε σχέση με την μεταβολή της υδροστατικής πίεσης για κάθε υδρογεώτρηση ξεχωριστά και το σχήμα 4.10 όπου γίνεται συσχέτιση των δυο παραπάνω μεγεθών και για τις δυο υδρογεωτρήσεις μαζί.



<u>Σχήμα 4.8:</u> Διάγραμμα της υδροστατικής πίεσης σε σχέση με την μέγιστη τιμή εδαφικής δόνησης για την υδρογεώτρηση ΥΔ9



Σχήμα 4.9: Διάγραμμα της υδροστατικής πίεσης σε σχέση με την μέγιστη τιμή εδαφικής δόνησης για την υδρογεώτρηση ΥΔ10



Σχήμα 4.10: Διάγραμμα της υδροστατικής πίεσης σε σχέση με την μέγιστη τιμή εδαφικής δόνησης και για τις δυο υδρογεωτρήσεις μαζί

Στα παραπάνω διαγράμματα έχουν τοποθετηθεί οι αντίστοιχες γραμμές τάσεις αλλά και οι συντελεστές συσχέτισης. Στα σχήματα 4.8 και 4.9 οι συντελεστές αυτοί πλησιάζουν τη μονάδα, όμως λόγω του ότι το πλήθος των μετρήσεων είναι σχετικά μικρό δεν μπορεί να βγεί ένα σίγουρο αποτέλεσμα, όμως μπορεί να παρατηρηθεί πως όσο αυξάνεται η τιμή της μέγιστης τιμής δόνησης αυξάνεται και η υδροστατική πίεση.

Στο σχήμα 4.10 ο συντελεστής συσχέτισης δεν είναι αρκετά μεγάλος οπότε δεν μπορεί να βγεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα. Σαν γενική παρατήρηση αναφέρεται ότι η τιμή της πίεσης αυξάνεται με την αύξηση και η τιμή της δόνησης.

Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα και προτάσεις

5.1 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής έγινε καταγραφή μέσω δονησιογράφων, της μέγιστης εδαφικής δόνησης στην επιφάνεια καθώς και της μεταβολής τηςπίεσης εντός διατρήματος.

Η διεξαγωγή του πειράματος δεν παρουσίασε μεγάλο επίπεδο δυσκολίας καθώς ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε δεν ήταν τόσο εξεζητημένος.

Οι πιέσεις που μετρήθηκαν στα υδρόφωνα κυμαίνονται από 0 έως 2 kPa ενώ οι αντίστοιχες τιμές των εδαφικών δονήσεων κυμαίνονται από 2 έως 24 mm/s.

Η συσχέτιση μεταξύ μέγιστης εδαφικής δόνησης και μεταβολής υδροστατικής πίεσης σε διάτρημα γεμάτο με νερό, στην ίδια θέση, δεν είναι σαφής.

Πολλές φορές η μορφή της κυματομορφής που προέρχεται από το υδρόφωνο διαφέρει από τις αντίστοιχες μορφές των κυματομορφών των εδαφικών δονήσεων.

5.2 Προτάσεις

Για την βελτίωση της εργασίας αυτής προτείνονται τα παρακάτω:

- Να γίνει πιο συστηματική καταγραφή δεδομένων ώστε να είναι δυνατή η καλύτερη συσχέτιση των δεδομένων όπως π.χ. η εξαγωγή τιμών ανηγμένης απόστασης.

- Να δοκιμαστεί να καταγραφούν δονήσεις ταυτόχρονα από δυο υδρόφωνα, στην ίδια γεώτρηση και σε διαφορετικό βάθος

- Να μετρώνται τα αποτελέσματα μιας ανατίναξης, μέσω κάποιας αντίστοιχης πειραματικής διάταξης, από διαφορετικά σημεία ώστε να μπορεί να γίνει μια συγκριτική ανάλυση από όσο το δυνατό περισσότερους σταθμούς παρατήρησης.

- Να πραγματοποιηθούν παρόμοια πειράματα σε διαφορετικούς εδαφικούς σχηματισμούς, ώστε να αυξηθεί το εύρος των μεταβλητών προς σύγκριση.

Κεφάλαιο 6 Βιβλιογραφία

Ελληνική

1. Αγιουτάντης Ζ. (2009). Στοιχεία διάτρησης και ανατίναξης, εκδόσεις “ΙΩΝ”, Αθήνα.
2. Βαφείδης Α. (1993). Εφαρμοσμένη Γεωφυσική Ι σεισμικές μέθοδοι, πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης.
3. Μπαλικτσης Η. (2009). Προφορική επικοινωνία
4. Τσουτρέλης Χ. (2001). Εκρηκτικές ύλες και τεχνική των ανατινάξεων, τόμος 2ος: τεχνική των ανατινάξεων, Αθήνα.

Διεθνής

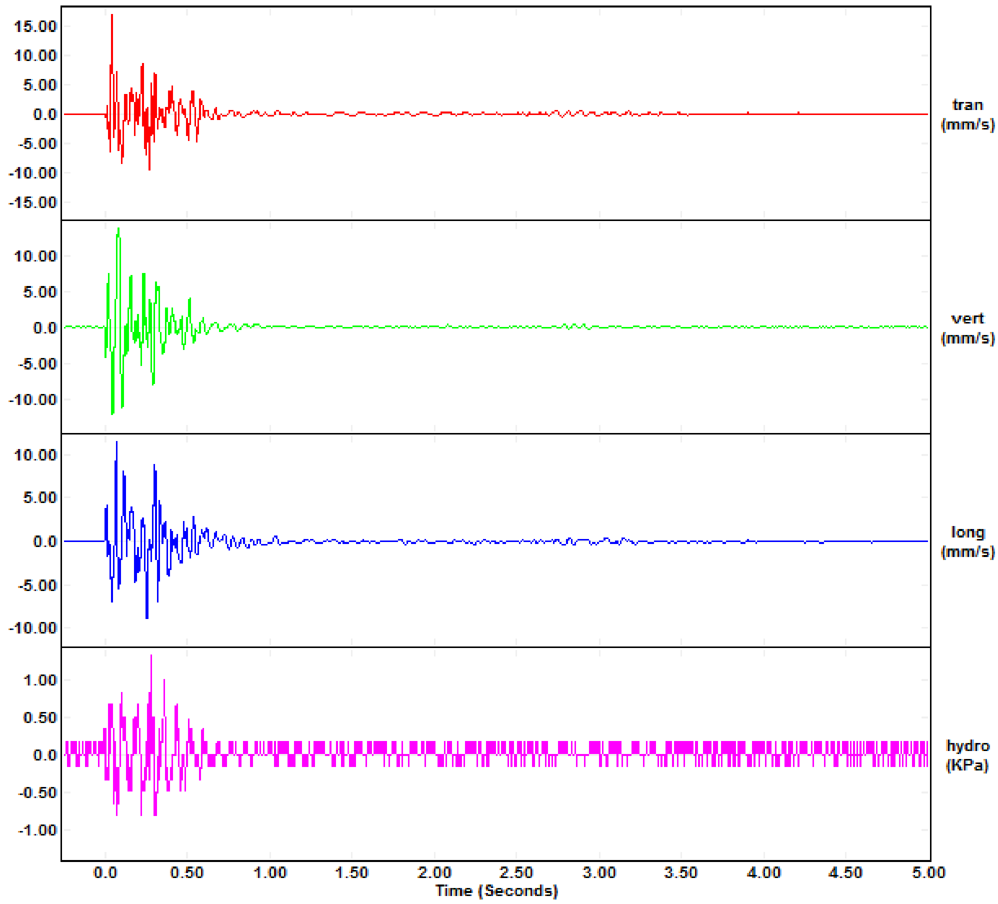
1. Das Sharma P. (2009). Explosives, Ground Vibration and Air Blast, http://miningandblasting.wordpress.com/2009/07/20/explosives-ground-vibration-and-air-blast/
2. Duvall W.T., Johnson C.F., Mayer A.V.C. and Devine J.F. (1963), Vibrations from instantaneous and millisecond delayed quarry blasts, U.S. Bureau of Mines, RI 6151, Washington D.C..
3. Gregory C.E. (1993). Explosives for engineers, fourth edition, trans tech publications.
4. Langefors U. and Kihlström B. (1963), the modern technique of rock blasting, John Wiley and sons, New York.
5. Persson P.A., Holmberg R., Lee J. (1994). Rock blasting and explosives engineering, CRC press, New York.
6. Siskind D.E, Stagg M.S., Kopp J.W. and Dowding C.H. (1980). Structure response and damage produced by ground vibrations from surface blasting, U.S. Bureau of Mines, R.I. 8507, Washington D.C.

7. Wiss J.F. and Linehan P.W. (1978), control of vibration and blast noise from surface coal mining, research report, U.S. Bureau of Mines, contract 10255022, Washington D.C..
8. Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrophones
   http://en.wikipedia.org/wiki/Geophone
9. http://www.instructables.com/id/Detonators-Blasting-Caps/

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

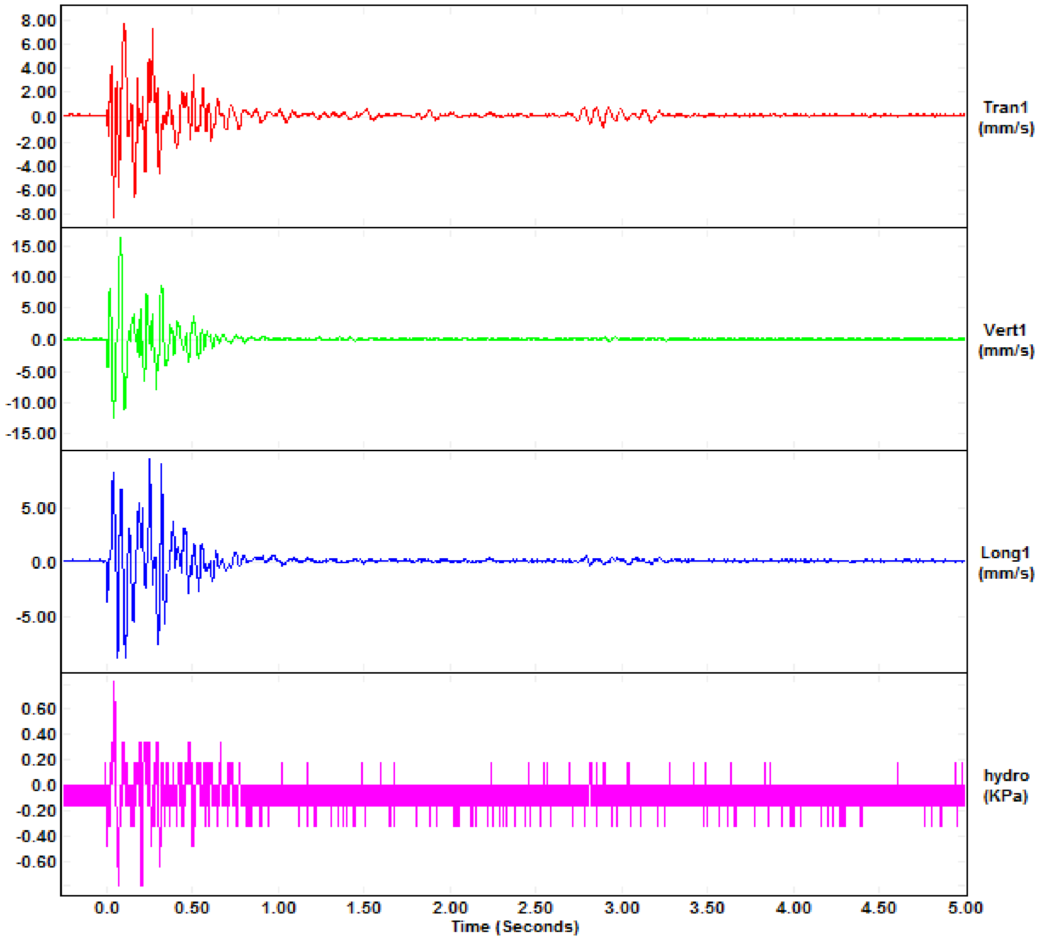
Διαγράμματα κυματομορφών των μετρήσεων για κάθε ανατίναξη

Channel	Name	Peak	Time (sec)	Trigger Level	Gain	Range	Units
1	tran	17.0	0.040	0.510	1x	254	mm/s
2	vert	13.8	0.077	0.510	1x	254	mm/s
3	long	11.6	0.068	0.510	1x	254	mm/s
4	hydro	1.32	0.279	0.700	1x	329	KPa



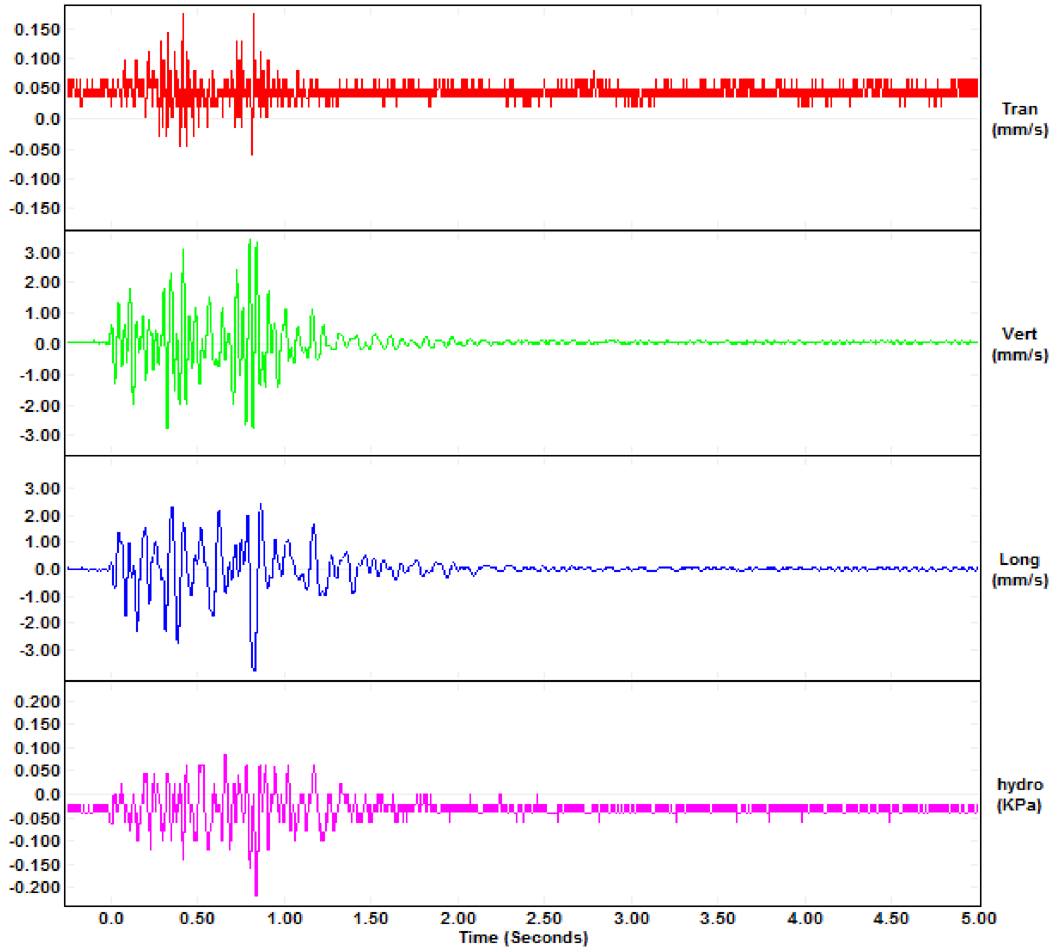
<u>Σχήμα Α1:</u> Κυματομορφές που αντιστοιχούν στις 4/6/2009 για την ΥΔ9

Channel	Name	Peak	Time (sec)	Trigger Level	Gain	Range	Units
1	Tran1	8.64	0.041	0.510	1x	254	mm/s
2	Vert1	16.8	0.078	0.510	1x	254	mm/s
3	Long1	9.65	0.252	0.510	1x	254	mm/s
4	hydro	0.822	0.044	0.700	1x	329	KPa



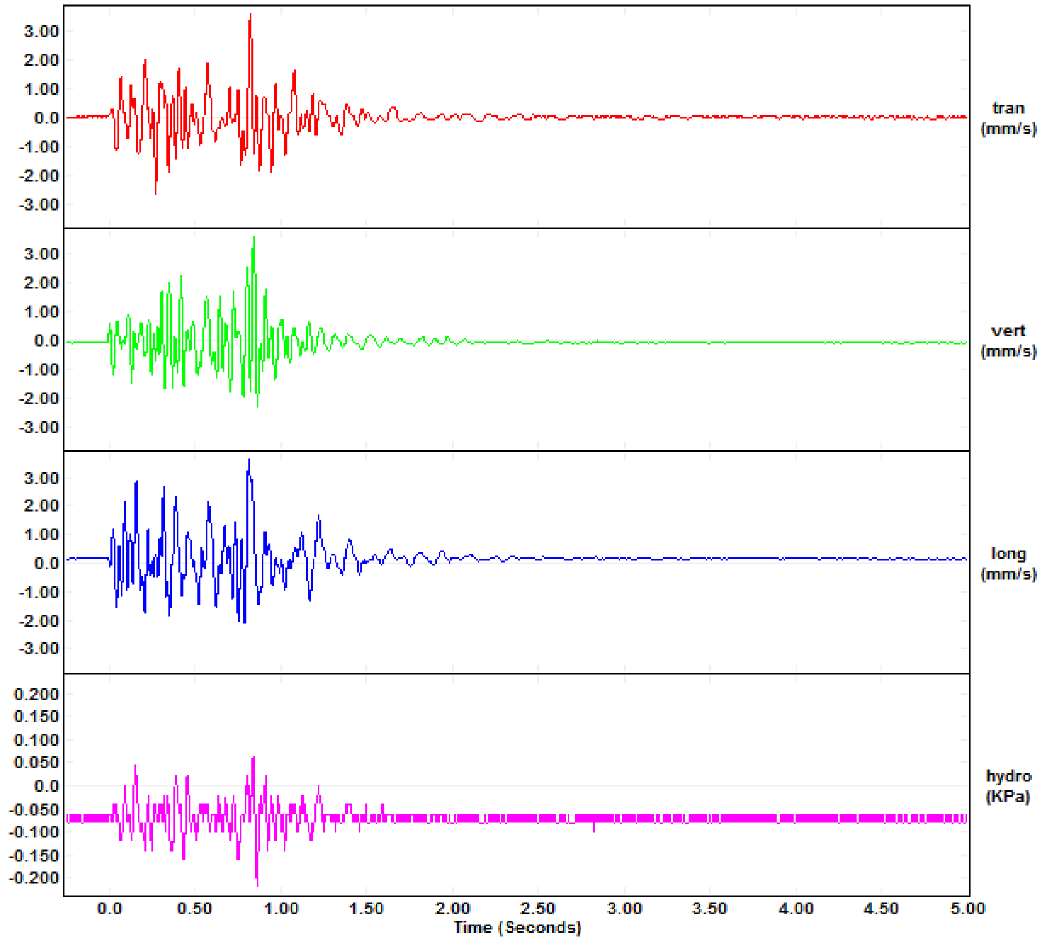
Σχήμα Α2: Κυματομορφές που αντιστοιχούν στις 4/6/2009 για την ΥΔ 10

Channel	Name	Peak	Time (sec)	Trigger Level	Gain	Range	Units
1	Tran	0.175	0.413	0.510	8x	31.7	mm/s
2	Vert	3.44	0.801	0.510	8x	31.7	mm/s
3	Long	3.91	0.825	0.510	8x	31.7	mm/s
4	hydro	0.226	0.836	0.700	8x	41.1	KPa



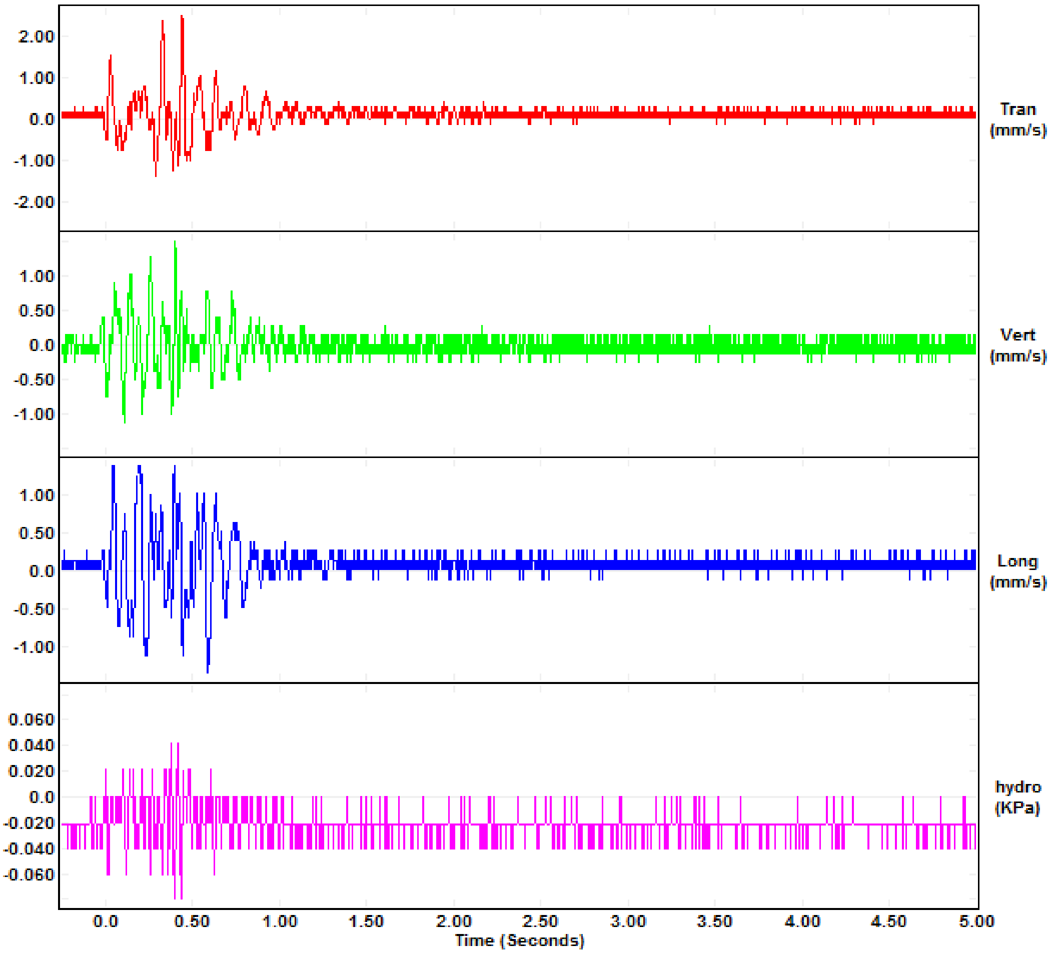
<u>Σχήμα Α3:</u> Κυματομορφές που αντιστοιχούν στις 11/6/2009 για την ΥΔ9

Channel	Name	Peak	Time (sec)	Trigger Level	Gain	Range	Units
1	tran	3.62	0.821	0.510	8x	31.7	mm/s
2	vert	3.62	0.841	0.510	8x	31.7	mm/s
3	long	3.65	0.813	0.510	8x	31.7	mm/s
4	hydro	0.226	0.859	0.700	8x	41.1	KPa



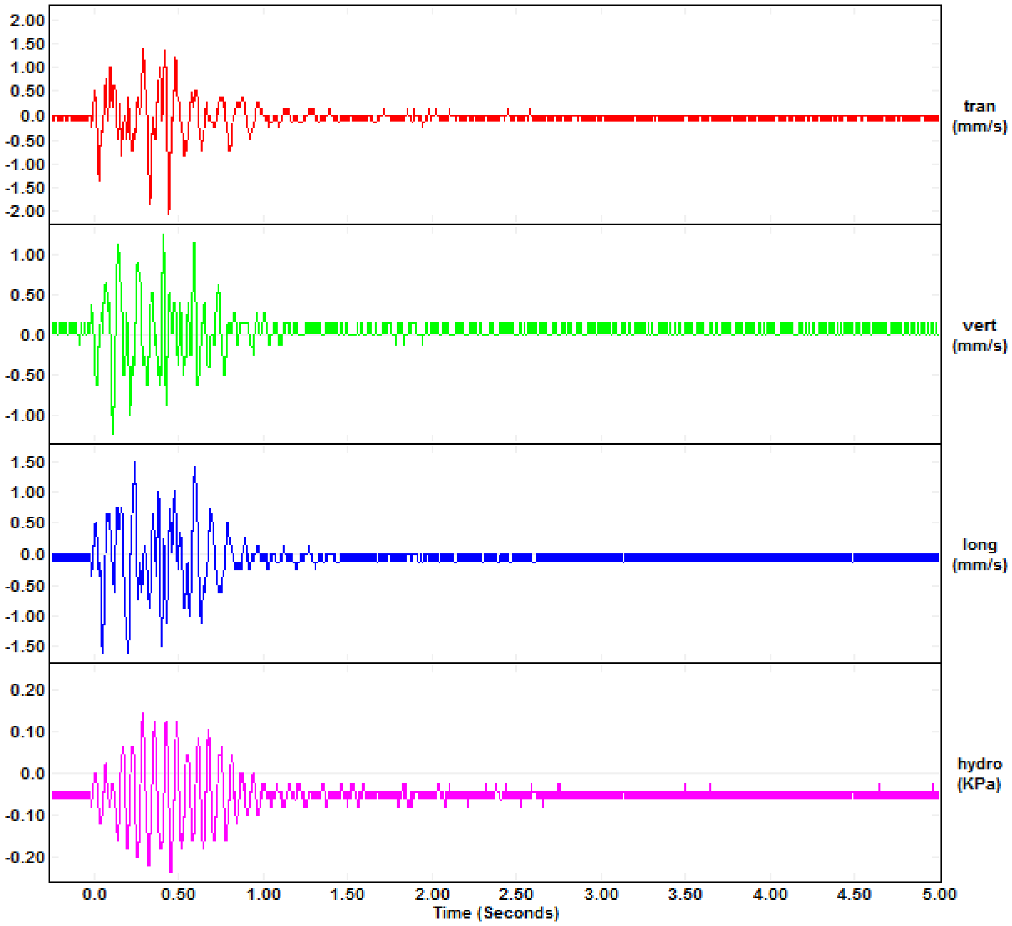
Σχήμα Α4: Κυματομορφές που αντιστοιχούν στις 11/6/2009 ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΔ10

Channel	Name	Peak	Time (sec)	Trigger Level	Gain	Range	Units
1	Tran	2.54	0.440	0.510	1x	254	mm/s
2	Vert	1.52	0.402	0.510	1x	254	mm/s
3	Long	1.40	0.046	0.510	1x	254	mm/s
4	hydro	0.0822	0.394	0.200	8x	41.1	KPa



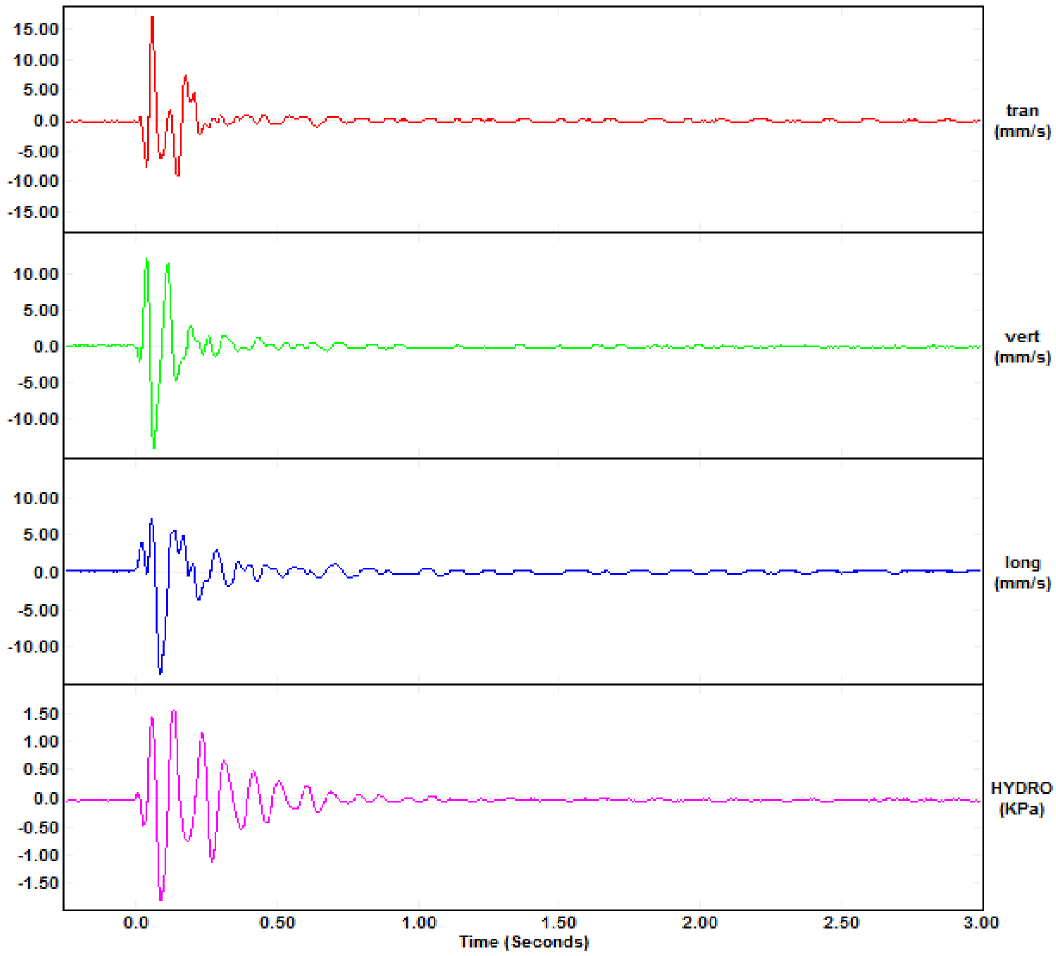
<u>Σχήμα Α5:</u> Κυματομορφές που αντιστοιχούν στις 16/6/2009 για την ΥΔ9

Channel	Name	Peak	Time (sec)	Trigger Level	Gain	Range	Units
1	tran	2.16	0.441	0.510	1x	254	mm/s
2	vert	1.27	0.108	0.510	1x	254	mm/s
3	long	1.65	0.048	0.510	1x	254	mm/s
4	hydro	0.247	0.452	0.200	8x	41.1	KPa



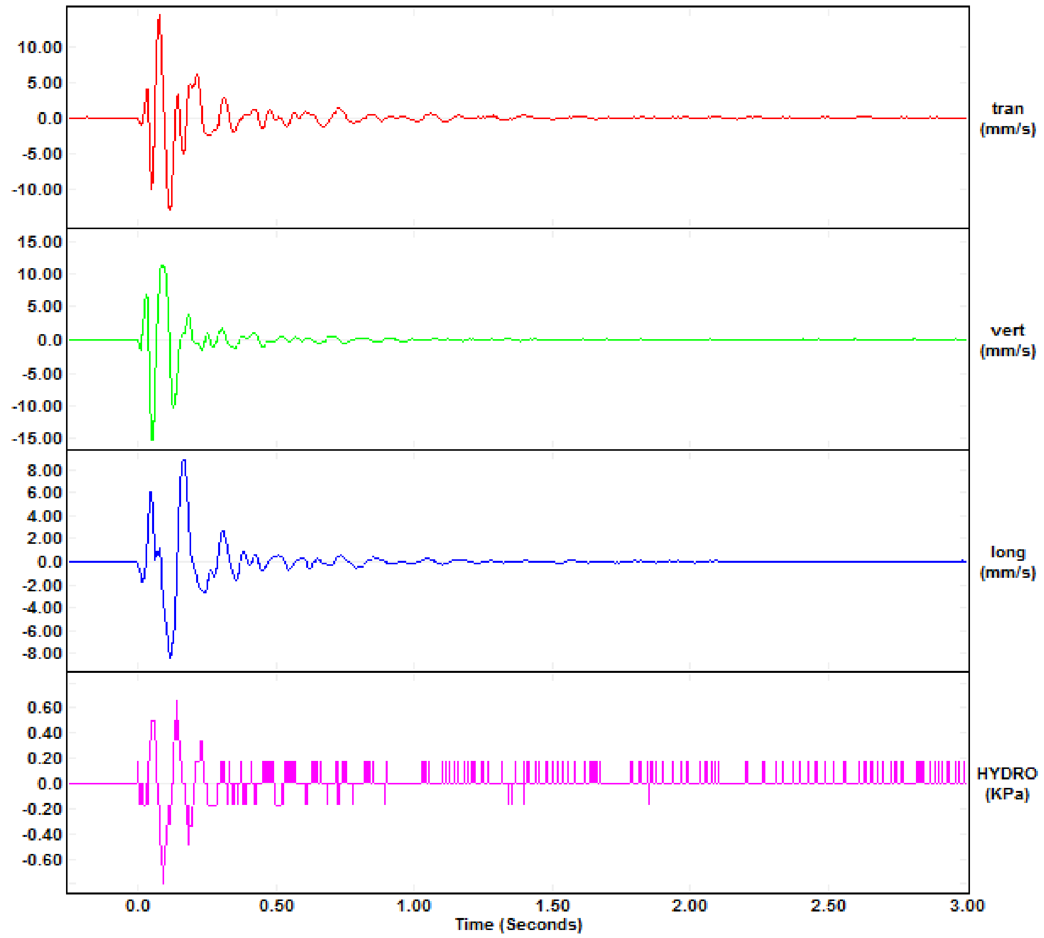
Σχήμα Α6: Κυματομορφές που αντιστοιχούν στις 16/6/2009 για την ΥΔ10

Channel	Name	Peak	Time (sec)	Trigger Level	Gain	Range	Units
1	tran	17.4	0.055	0.250	8x	31.7	mm/s
2	vert	14.5	0.060	0.250	8x	31.7	mm/s
3	long	14.2	0.083	0.250	8x	31.7	mm/s
4	HYDRO	1.87	0.084	0.164	8x	41.1	KPa



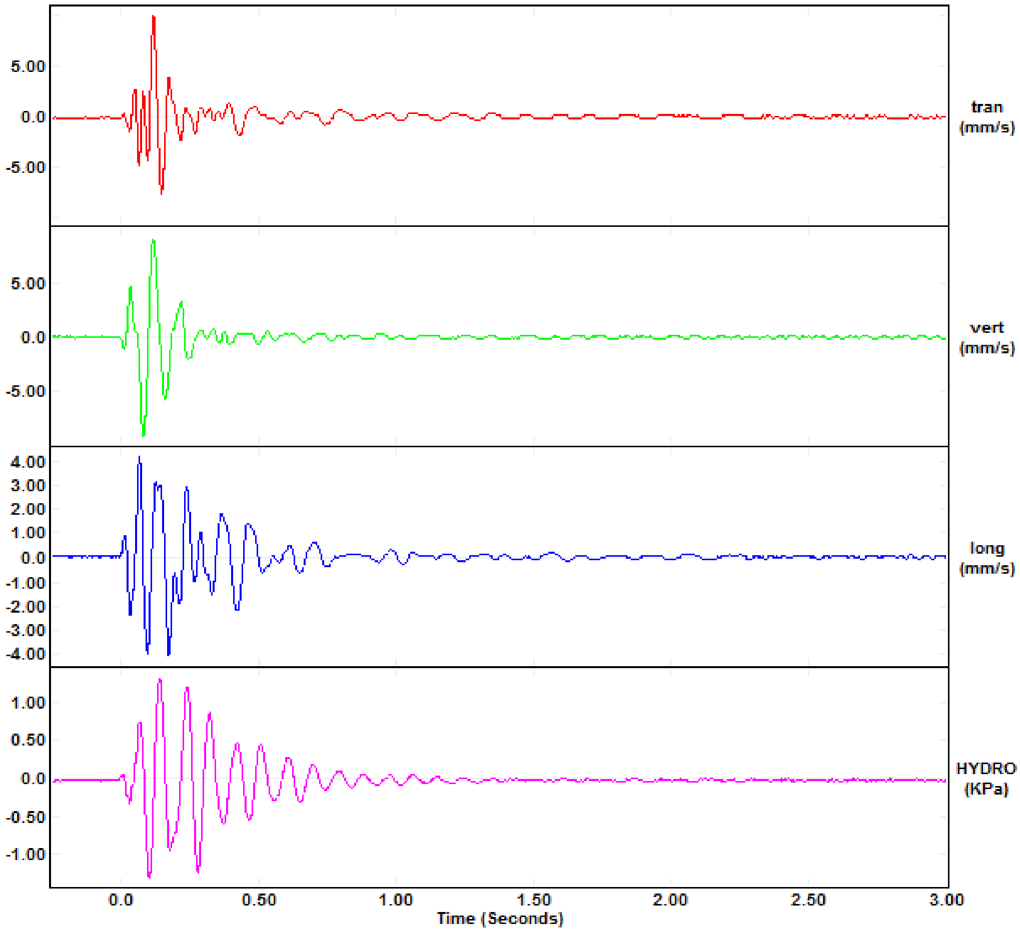
<u>Σχήμα Α7:</u> Κυματομορφές που αντιστοιχούν στις 8/9/2009 για την ΥΔ9 (πρώτη ανατίναξη)

Channel	Name	Peak	Time (sec)	Trigger Level	Gain	Range	Units
1	tran	14.6	0.075	0.510	1x	254	mm/s
2	vert	15.7	0.049	0.510	1x	254	mm/s
3	long	9.02	0.160	0.510	1x	254	mm/s
4	HYDRO	0.822	0.090	0.700	1x	329	KPa



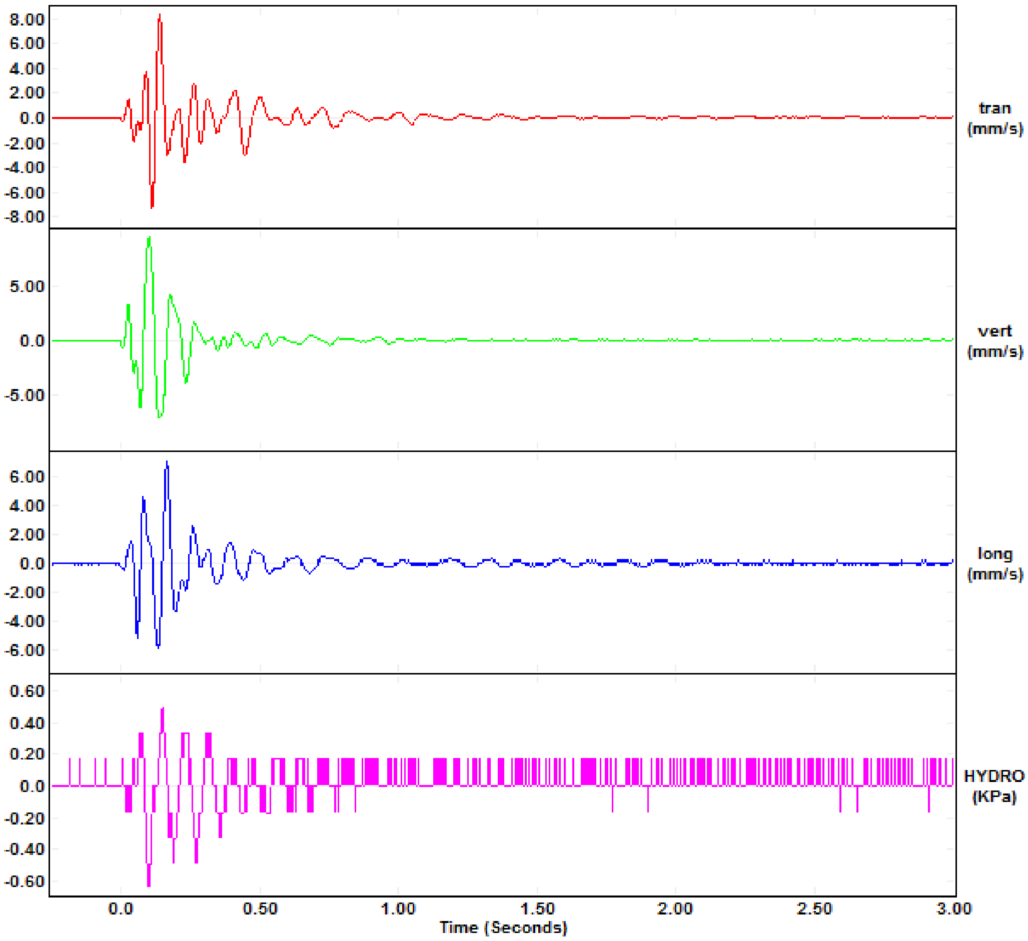
<u>**Σχήμα Α8:**</u> Κυματομορφές που αντιστοιχούν στις 8/9/2009 για την ΥΔ10 (πρώτη ανατίναξη)

Channel	Name	Peak	Time (sec)	Trigger Level	Gain	Range	Units
1	tran	10.1	0.115	0.250	8x	31.7	mm/s
2	vert	9.65	0.078	0.250	8x	31.7	mm/s
3	long	4.25	0.064	0.250	8x	31.7	mm/s
4	HYDRO	1.36	0.101	0.164	8x	41.1	KPa



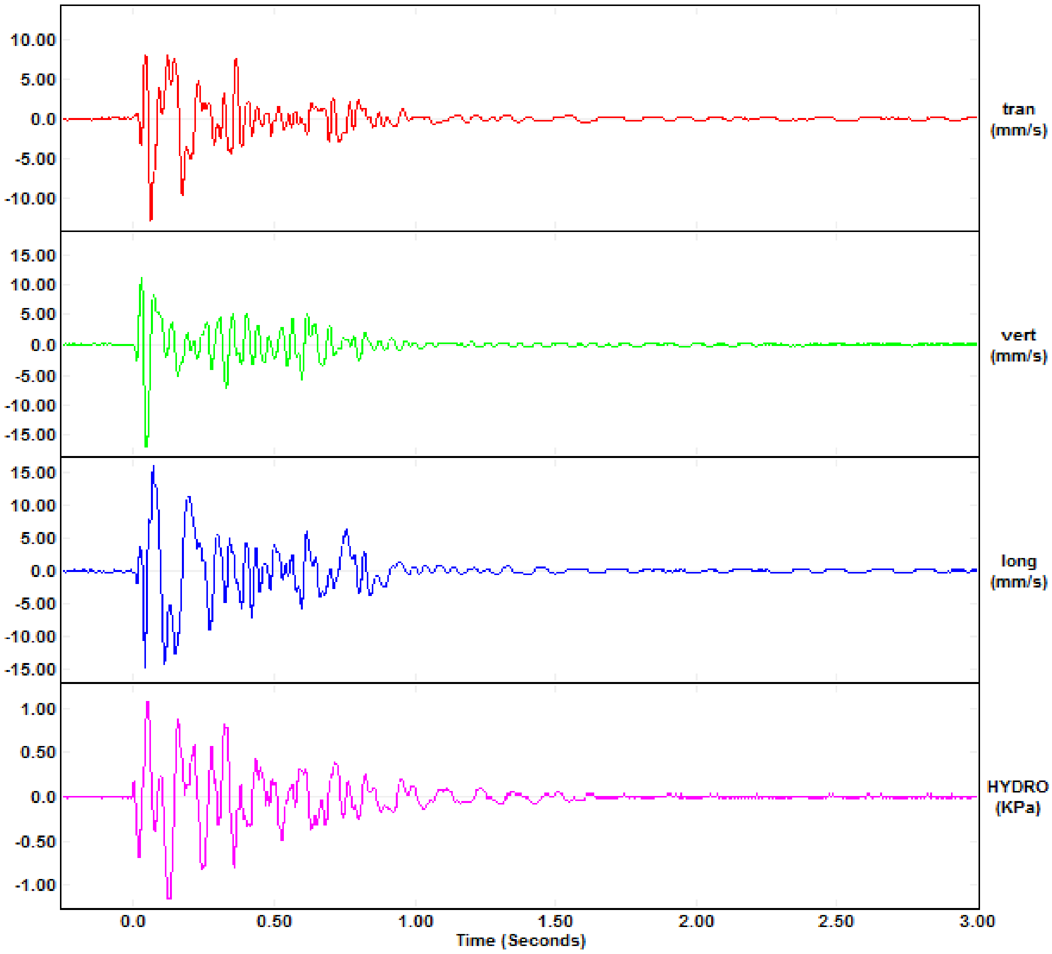
<u>Σχήμα Α9:</u> Κυματομορφές που αντιστοιχούν στις 8/9/2009 για την ΥΔ9 (δεύτερη ανατίναξη)

Channel	Name	Peak	Time (sec)	Trigger Level	Gain	Range	Units
1	tran	8.38	0.137	0.510	1x	254	mm/s
2	vert	9.65	0.097	0.510	1x	254	mm/s
3	long	7.24	0.162	0.510	1x	254	mm/s
4	HYDRO	0.658	0.095	0.700	1x	329	KPa



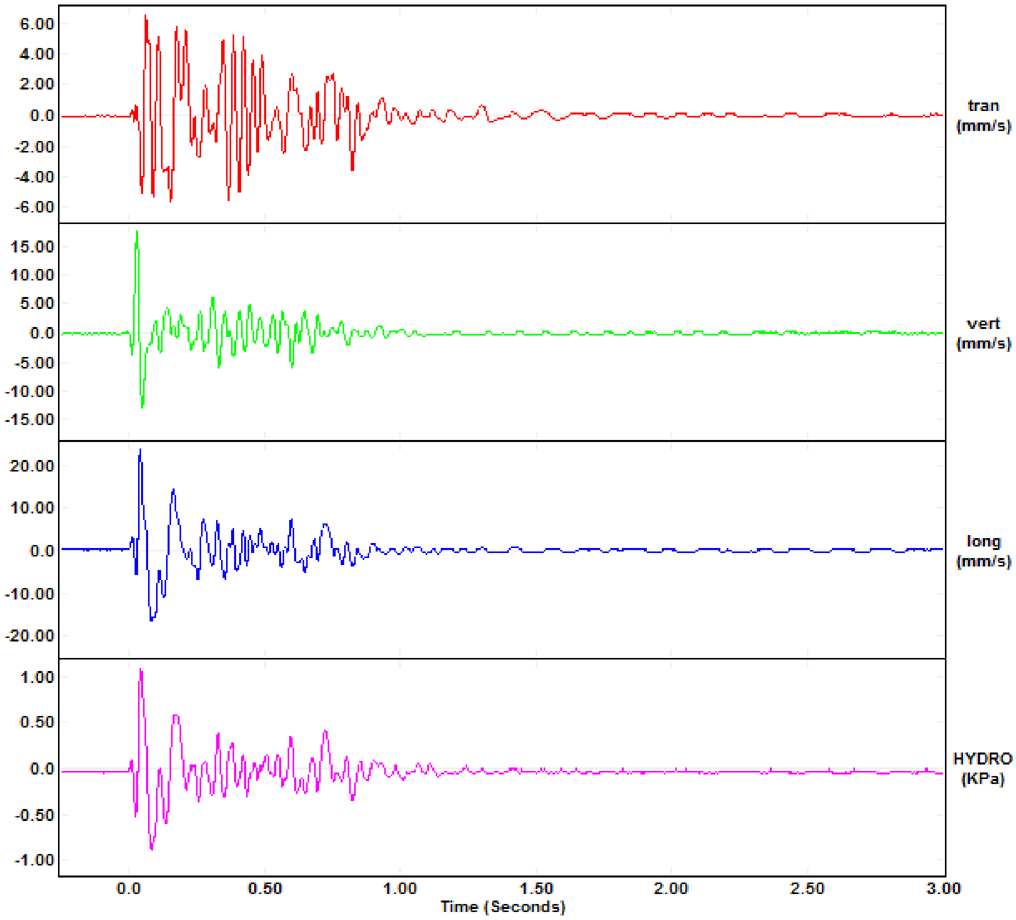
<u>Σχήμα Α10:</u> Κυματομορφές που αντιστοιχούν στις 8/9/2009 για την ΥΔ10 (δευτερη ανατίναξη)

Channel	Name	Peak	Time (sec)	Trigger Level	Gain	Range	Units
1	tran	13.2	0.060	0.250	8x	31.7	mm/s
2	vert	17.7	0.044	0.250	8x	31.7	mm/s
3	long	16.0	0.069	0.250	8x	31.7	mm/s
4	HYDRO	1.19	0.122	0.164	8x	41.1	KPa



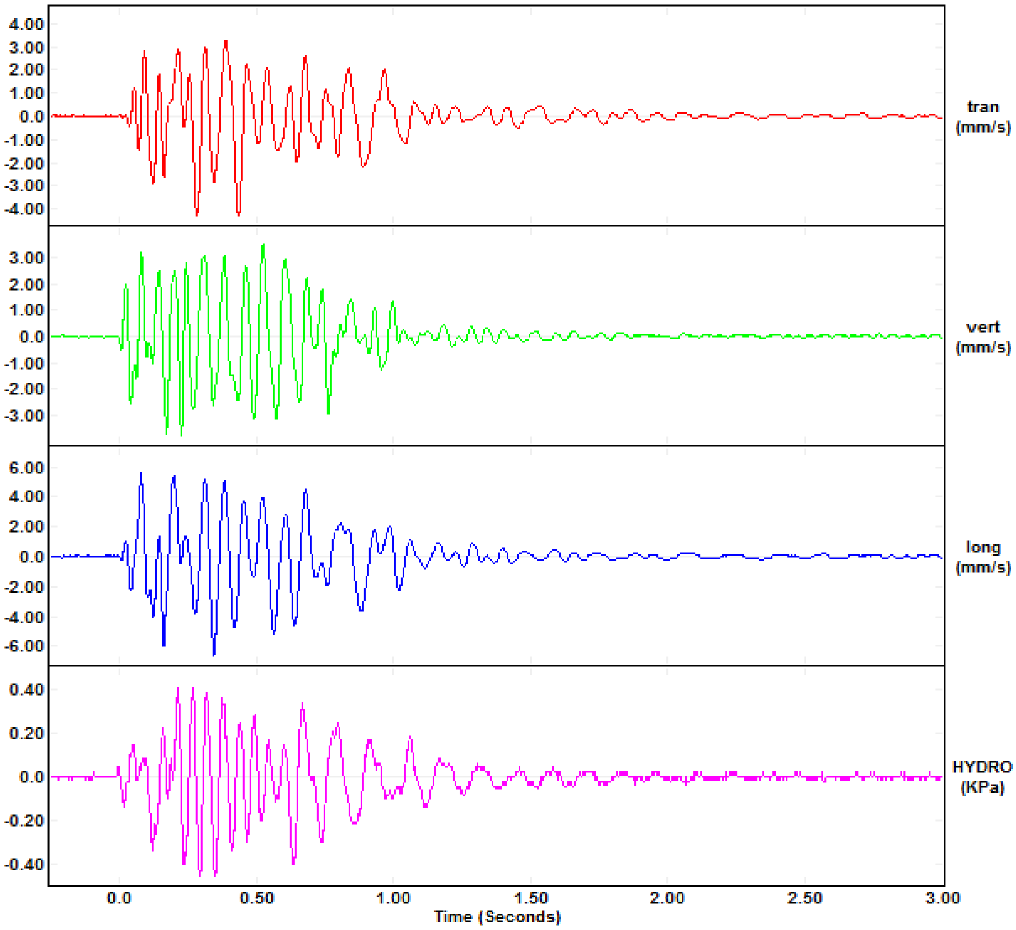
<u>Σχήμα Α11:</u> Κυματομορφές που αντιστοιχούν στις 8/10/2009 για την ΥΔ9

Channel	Name	Peak	Time (sec)	Trigger Level	Gain	Range	Units
1	tran	6.60	0.061	0.200	8x	31.7	mm/s
2	vert	17.7	0.027	0.200	8x	31.7	mm/s
3	long	23.7	0.039	0.200	8x	31.7	mm/s
4	HYDRO	1.11	0.040	0.164	8x	41.1	KPa



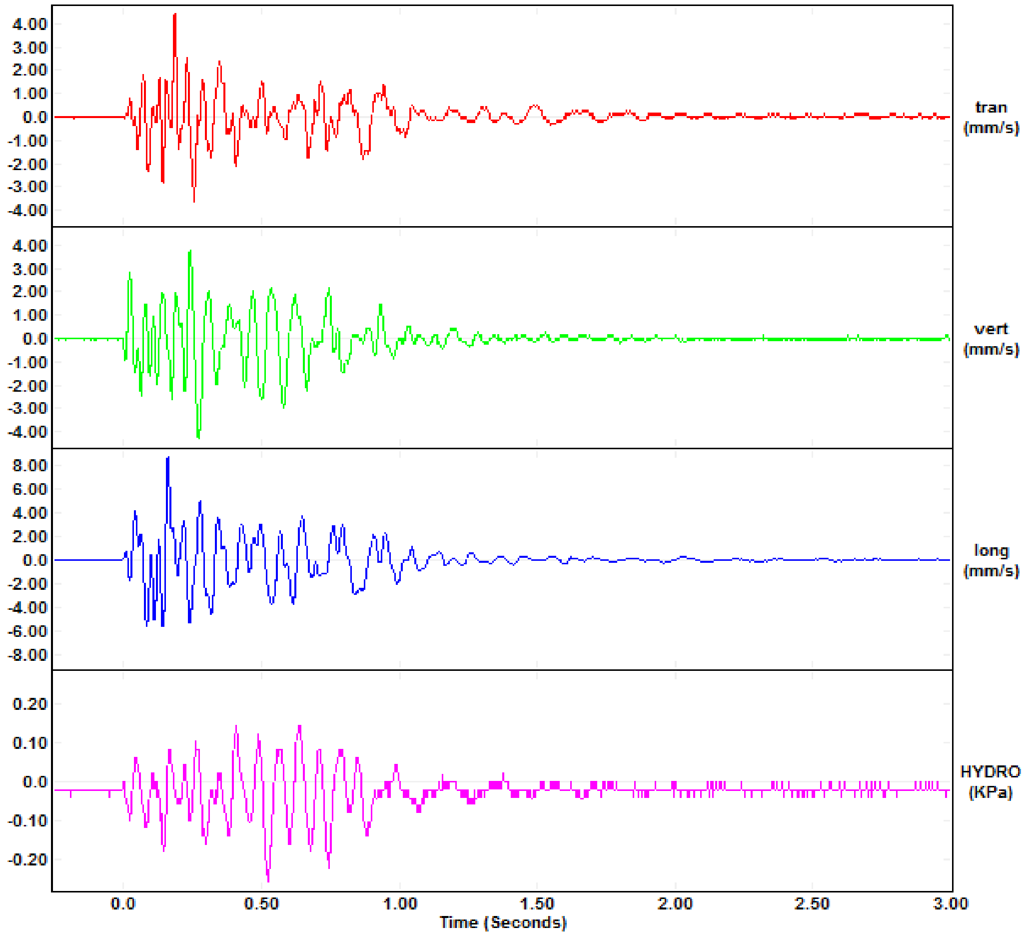
<u>Σχήμα Α12:</u> Κυματομορφές που αντιστοιχούν στις 8/10/2009 για την ΥΔ10

Channel	Name	Peak	Time (sec)	Trigger Level	Gain	Range	Units
1	tran	4.43	0.280	0.250	8x	31.7	mm/s
2	vert	3.94	0.224	0.250	8x	31.7	mm/s
3	long	6.91	0.343	0.250	8x	31.7	mm/s
4	HYDRO	0.473	0.291	0.164	8x	41.1	KPa



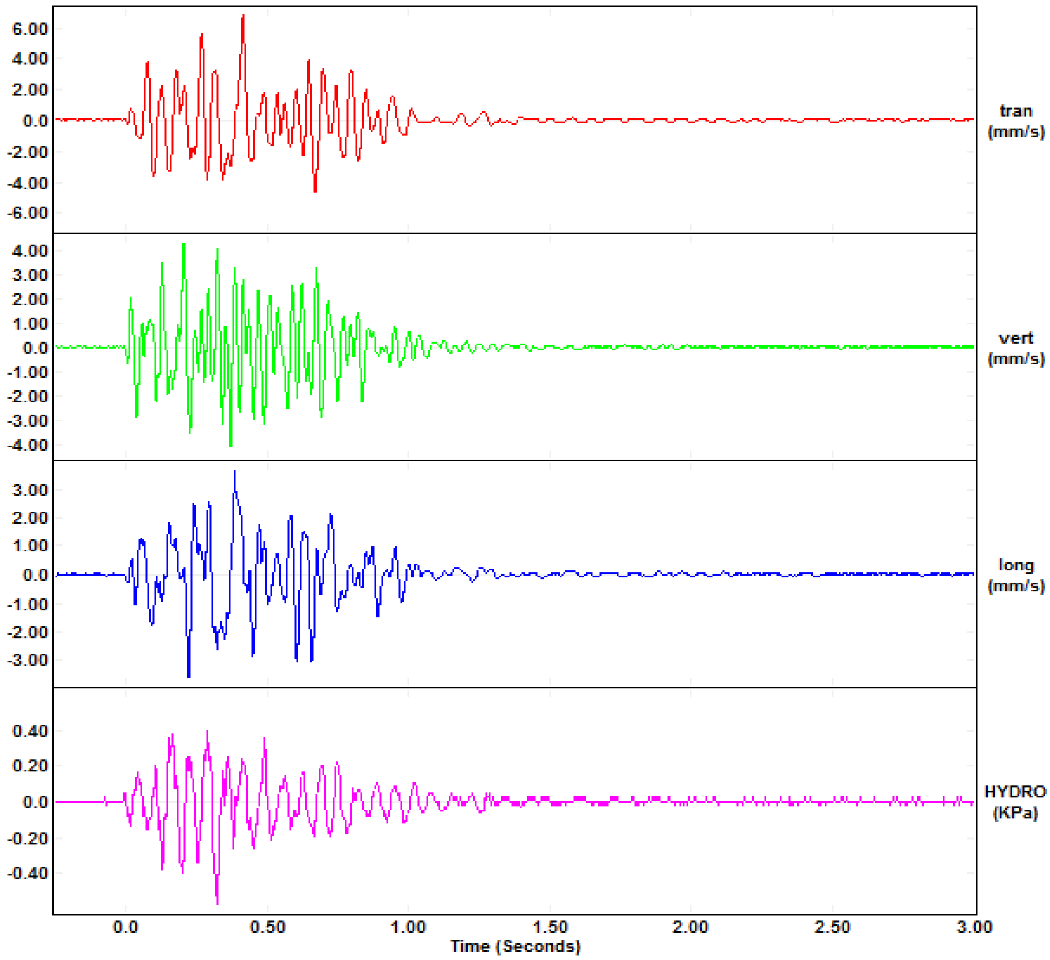
<u>Σχήμα A13:</u> Κυματομορφές που αντιστοιχούν στις 22/10/2009 για την ΥΔ9

Channel	Name	Peak	Time (sec)	Trigger Level	Gain	Range	Units
1	tran	4.44	0.184	0.510	1x	254	mm/s
2	vert	4.44	0.271	0.510	1x	254	mm/s
3	long	8.76	0.159	0.510	1x	254	mm/s
4	HYDRO	0.267	0.523	0.164	8x	41.1	KPa



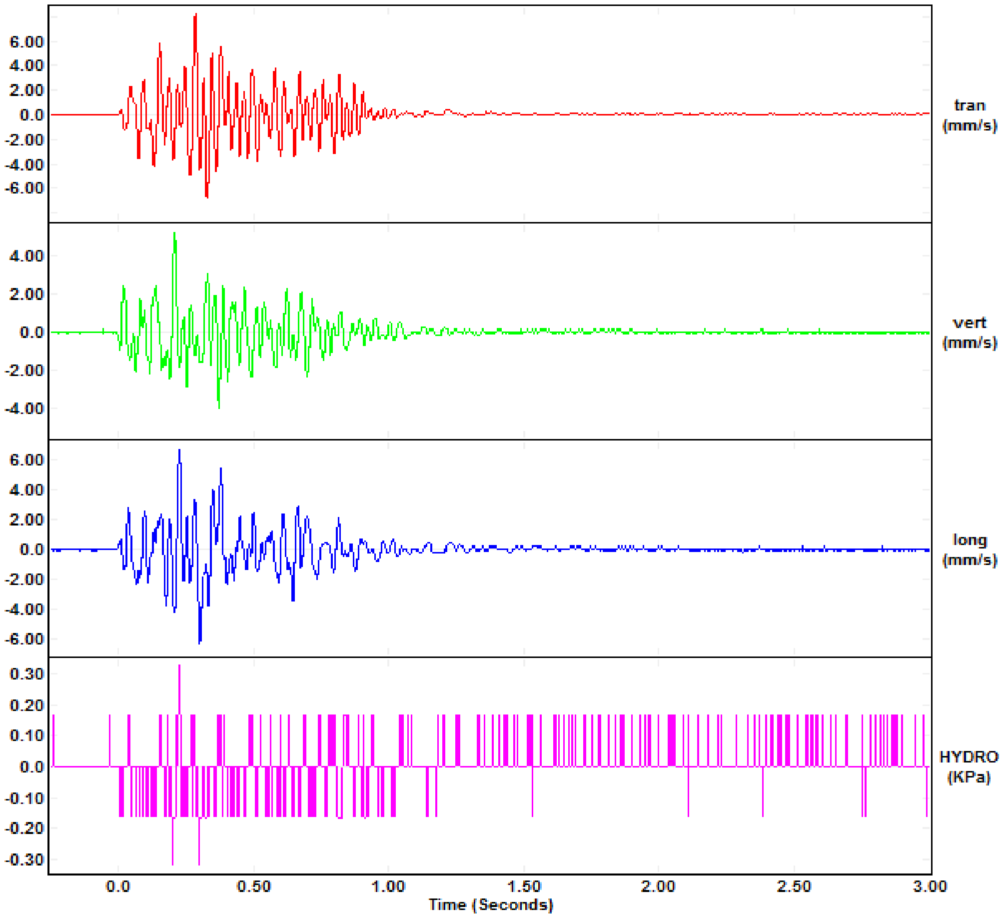
<u>Σχήμα Α14:</u> Κυματομορφές που αντιστοιχούν στις 22/10/2009 για την ΥΔ10

Channel	Name	Peak	Time (sec)	Trigger Level	Gain	Range	Units
1	tran	6.86	0.412	0.250	8x	31.7	mm/s
2	vert	4.40	0.202	0.250	8x	31.7	mm/s
3	long	3.73	0.383	0.250	8x	31.7	mm/s
4	HYDRO	0.596	0.320	0.164	8x	41.1	KPa



<u>Σχήμα Α15:</u> Κυματομορφές που αντιστοιχούν στις 29/10/2009 για την ΥΔ9

Channel	Name	Peak	Time (sec)	Trigger Level	Gain	Range	Units
1	tran	8.25	0.283	0.510	1x	254	mm/s
2	vert	5.33	0.206	0.510	1x	254	mm/s
3	long	6.73	0.224	0.510	1x	254	mm/s
4	HYDRO	0.329	0.202	0.700	1x	329	KPa



<u>Σχήμα Α16:</u> Κυματομορφές που αντιστοιχούν στις 29/10/2009 για την ΥΔ10