ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΝΗΣΕΩΝ ΑΝΑΤΙΝΑΞΕΩΝ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΟΔΙΚΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΣΤΑ ΤΕΜΠΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΕ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΗΜΑΣΙΑΣ ΜΝΗΜΕΙΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΥΦΗΜΙΑ Α. ΜΠΑΡΜΠΟΠΟΥΛΟΥ

Εξεταστική επιτροπή

Ζαχαρίας Αγιουτάντης, καθηγητής (επιβλέπων)
Μιχαήλ Γαλετάκης, επίκουρος καθηγητής
Ηλίας Μπαλικτσής, Μεταλλειολόγος Μηχανικός

Χανιά
Ιούλιος, 2012

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

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα Διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Το θέμα που διαπραγματεύεται αφορά ένα από τα πιο νευραλγικά τεχνικά έργα στον Ελληνικό χώρο και συγκεκριμένα την διάνοιξη της μεγαλύτερης οδικής Σήραγγας των Βαλκανίων, στα πλαίσια του Έργου ‘’ Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου’’ (MKC Project).

Στο σημαντικό αυτό έργο είχα την ευκαιρία να συνεργαστώ με την εταιρεία ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε, συμβούλου σε θέματα ανατινάξεων και δονημετρικού ελέγχου των Αναδόχων κατασκευής της Σήραγγας ΑΕΓΕΚ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΑΤΕ, της κοινοπραξίας ΟΛΥΜΠΙΑ (ΑΚΤΩΡ – HOCHTIEF) αλλά και της κατασκευαστικής κοινοπραξίας (Κ/Ξ ΜΚC) του συνολικού Έργου.

Το συγκεκριμένο τεχνικό έργο αποτέλεσε μεγάλο επίτευγμα και ορόσημο στον Ελληνικό κατασκευαστικό τομέα αφού με την λειτουργία αυτής της Σήραγγας (και των δύο γειτονικών της) παρακάμπτεται πλέον οδικά, η κοιλάδα των Τεμπών.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής και συγκεκριμένα:

- Στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ζαχαρία Αγιουτάντη και στον επίκουρο καθηγητή κ. Μιχαήλ Γαλετάκη για τις χρήσιμες συμβουλές και επισημάνσεις τους.
- Στον κ. Ηλία Μπαλικτσή, Μεταλλειολόγο Μηχανικό, Πρόεδρο και Διευθύνοντα Σύμβουλο της εταιρείας ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε., που υπήρξε καθοριστικός αρωγός και καθοδηγητής μου καθ’ όλη την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής, αλλά και για την ευκαιρία που μου παρείχε για την απόκτηση των πρώτων εμπειριών μου στον εργοταξιακό χώρο που αναζητά ένας νέος Μηχανικός.
- Στο προσωπικό της εταιρείας ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε για την εποικοδομητική συνεργασία.
- Στην οικογένεια μου για την πολύτιμη στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια συμβάλλοντας καθοριστικά στην παρούσα εξέλιξη μου.
- Στον Γιάννη Αλεξανδράκη για την ουσιαστική βοήθεια του σε όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.
- Στους φίλους μου, των οποίων την συμβολή και στήριξη θεωρώ ανεκτίμητη.

Αφιερώνεται στον πατέρα μου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής εργασίας ήταν η διαχείριση - επεξεργασία - αξιολόγηση μεγάλου όγκου δεδομένων προερχόμενα από συστήματα καταγραφής δονήσεων ανατινάξεων κατά την διάνοιξη της Σήραγγας (Τ2), στα πλαίσια της κατασκευής του Έργου ''Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου'' στην περιοχή της κοιλάδας των Τεμπών.

Οι διαθέσιμες καταγραφές , προέρχονταν από τις ανατινάξεις για την διάνοιξη της Σήραγγας T2S και αφορούσαν τις καταγραφές εδαφικών δονήσεων από σταθμούς μέτρησης που ήταν εγκατεστημένοι στην ανωδομή και στην βάση θεμελίωσης του Βυζαντινού Μνημείου *''Κάστρο Ωριάς''*.

Κατά την διάνοιξη της σήραγγας η εταιρεία ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε ανέλαβε να υλοποιήσει ένα συστηματικό πρόγραμμα ελέγχου των προκαλούμενων δονήσεων και κλήθηκε να πραγματοποιεί διαρκή αξιολόγηση της επικινδυνότητας αυτών, αλλά και ανάλογη προσαρμογή των υπόγειων ανατινάξεων διάνοιξης της Σήραγγας.

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η λεπτομερής μελέτη των διαθέσιμων δεδομένων και η σύγκριση αυτών με θεωρητικές εκτιμήσεις προερχόμενες από τα ανάλογα μαθηματικά μοντέλα ''ανηγμένης απόστασης'' (Scaled Distance).

Έγινε προσπάθεια ''βελτιστοποίησης'' των εκτιμητών των παραπάνω μοντέλων και εξετάστηκε εκτενέστερα η αξιοπιστία τους σε δεδομένα προερχόμενα από υπόγειες ανατινάξεις.

Επίσης εκτιμήθηκε υπολογιστικά ο λόγος ''ανταπόκρισης'' της ανωδομής σε σχέση με την βάση θεμελίωσης του Μνημείου αξιολογώντας δεδομένα τιμών συχνοτήτων και ταχυτήτων εδαφικών δονήσεων.

Λαμβάνοντας υπόψη τις διεθνείς προδιαγραφές ελέγχου των δονήσεων λόγω ανατινάξεων, αναλύθηκε ένας πολύ μεγάλος όγκος δεδομένων και αξιολογήθηκε η επικινδυνότητα που προκύπτει με βάση τις τιμές ταχύτητας εδαφικής δόνησης. Βασικό στοιχείο, τόσο του έργου που υλοποίησε η ΕΞΟΡΥΞΗ ΑΕ, όσο και της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, ήταν η αξιοποίηση ''ενόργανων'' παρατηρήσεων – μετρήσεων, για την αξιόπιστη διαχείριση του κινδύνου που προκύπτει από τις προκαλούμενες δονήσεις ανατινάξεων.

Η προσπάθεια αποκτά πρόσθετη βαρύτητα και εξαιρετική σημασία, δεδομένου ότι η διαχείριση των σχετικών κινδύνων αφορά σε ένα Βυζαντινό Μνημείο, το οποίο ήταν μια πολύ ευπαθής και σε κακή κατάσταση λιθοδομή.

Σε κάθε περίπτωση, κυρίαρχη απαίτηση ήταν η αξιόπιστη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων και φυσικά η ανταπόκριση στην αναγκαιότητα του ελέγχου δονήσεων σε κατασκευές (και μάλιστα ιστορικής σημασίας) πλησίον έργων διάνοιξης με την υλοποίηση ανατινάξεων.

ABSTRACT

This thesis dealt with the processing and evaluation of a large amount of recorded data originated from vibration monitoring systems during construction of MKC project in the area of Tebi.

Vibration data were recorded in order to monitor the effects of underground blasting at the T2S tunnel to a surface Byzantine Monument (Oria Castle). Two monitoring stations were installed at the Castle location: one close to its foundation and another on the first floor. During tunnel construction, EXORIXI SA was contracted to monitor the resulting vibrations and also to evaluate the risk on surface structures due to these vibrations.

The purpose of the thesis was the detailed study of the available recordings and their comparison, the development of ‘’scaled distance’’ mathematical models for the prediction of peak particle velocities. In addition, the ‘’scaled distance’’ models were further investigated for underground blasting application.

More specifically, all recordings were analyzed and the potential risk to the structure was evaluated. The ratio of ‘’response’’ of the superstructure in relation to the foundation of the Monument was evaluated by examining recorded data of frequency and ground vibrations velocity values.

Finally, it should be noted that after establishing reliable mathematical models for vibration prediction, EXORIXI SA modified the initial blasting design, in order to reduce the ground vibrations at the Byzantine Monument.

Πίνακας Συντομογραφιών

FFT	Fast Fourier Transform
g	γραμμάριο (gram)
Hz	Hertz (μονάδα μέτρησης συχνότητας)
Kg	χιλιόγραμμο (kilogram)
Kg/XE	χιλιόγραμμο/ χρόνος επιβράδυνσης
m	μέτρο (meter)
Max	μέγιστο (maximum)
Min	ελάχιστο (minimum)
mm	χιλιοστό (millimeter)
ms	χιλιοστό του δευτερολέπτου (millisecond)
N°	Number
PPV	Μέγιστη ταχύτητα εδαφικής δόνησης (peak particle velocity)
SD	Scaled distance
T2	Tunnel 2 (συντομογραφία για σήραγγα 2)
T2S	Tunnel 2 South (συντομογραφία για νότιο στόμιο εισόδου σήραγγας 2)
ΒΑ/κή	Βορειοανατολική
ΙΓΜΕ	Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών ερευνών
Κ/Ξ	Κοινοπραξία
ΚΜΛΕ	Κανονισμός Μεταλλευτικών και Λατομικών εργασιών
ΛΕΑ	Λωρίδα έκτακτης ανάγκης
Μ.Ο	Μέσος Όρος
ΝΔ/κή	Νοτιοδυτική
ΤΕΕ	Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος
ΧΕ	Χρόνος επιβράδυνσης
ΧΘ	Χιλιομετρική θέση

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξόρυξη πετρωμάτων χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορα τεχνικά έργα που σχετίζονται με την ανάπτυξη, κυριότερα των οποίων είναι η κατασκευή δημοσίων έργων, η παραγωγή μεταλλεύματος και η παραγωγή αδρανών υλικών. Η εκτέλεση μεγάλων τεχνικών έργων, συνεπάγεται κατά κανόνα μεγάλο όγκο βραχωδών εκσκαφών, επομένως πλήθος ανατινάξεων και ευρεία χρήση εκρηκτικών υλών. Δεν ήταν λίγα τα τεχνικά έργα στα οποία σημαντικό μέρος του προϋπολογισμού τους και πολύ μεγάλο μέρος της εργοταξιακής δραστηριότητας αφορούσε βραχώδεις εκσκαφές και υλοποίηση ανατινάξεων.

Η μακροχρόνια αλλά και εκτεταμένη χρήση εκρηκτικών υλών, δημιούργησε την ανάγκη ανάπτυξης ορισμένων κανόνων γύρω από αυτή με σκοπό την προστασία του ανθρώπου και του περιβάλλοντος. Ένας από τους κύριους κανόνες αυτούς, βασίζεται στην αναγκαιότητα του ελέγχου των δονήσεων που προκαλούνται από την χρήση των εκρηκτικών υλών και την υλοποίηση ανατινάξεων. Η καταγραφή και η μελέτη των δονήσεων, οι οποίες θα μπορούσαν να προξενούν βλάβες ή ανεπιθύμητες επιπτώσεις σε γειτονικές κατασκευές - δομές, γίνεται με την χρήση σύγχρονου και αξιόπιστου καταγραφικού εξοπλισμού και διαδικασιών αξιολόγησης.

Κατά αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατή η εκτίμηση, η πρόληψη και η διαχείριση κινδύνου πρόκλησης δομικών ζημιών σε γειτονικές κατασκευές από τις εδαφικές δονήσεις.

Ειδικής μεταχείρισης τυγχάνουν οι ευαίσθητες δομές και τα αρχαιολογικά ή ιστορικής σημασίας ευρήματα. Στην περίπτωση αυτή ο σχεδιασμός των ανατινάξεων πρέπει να προσαρμόζεται στην προστασία και διαφύλαξη των ευαίσθητων αυτών δομών.

Είναι διεθνώς αποδεκτό ότι η ταχύτητα και η συχνότητα των εδαφικών δονήσεων αποτελούν τις βασικές παραμέτρους για την λεπτομερή και αξιόπιστη εξέταση - διαχείριση του θέματος των προκαλούμενων δονήσεων. Η κατάλληλη επέμβαση στον εκάστοτε σχεδιασμό ανατίναξης και η χρησιμοποίηση σύγχρονων δονησιογράφων που καθιστούν αξιόπιστη την συλλογή και επεξεργασία των καταγραφών, οδήγησε σε μια ικανοποιητική προσέγγιση της επικινδυνότητας των προκαλούμενων δονήσεων και τον έλεγχο - αξιολόγηση τους.

Η αυστηρή τήρηση των διεθνών προδιαγραφών και οι σύγχρονοι μέθοδοι εργασίας που περικλείουν εμπειρία σε διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας από την χρήση των εκρηκτικών υλών, οδηγούν στην ασφαλή ολοκλήρωση ενός μεγάλου τεχνικού έργου και στην προστασία των υπεισερχομένων σε αυτό, παραμέτρων.

Κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν δυνατή η διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων που αφορούσε την διάνοιξη της μεγαλύτερης οδικής σήραγγας των Βαλκανίων στα πλαίσια του συνολικού έργου Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου στα Τέμπη.

Από την σχολαστική ανάλυση και την περαιτέρω επεξεργασία που υπέστησαν τα δεδομένα αυτά, εξήχθησαν αξιόλογα συμπεράσματα που αφορούσαν τις καταγραφές εδαφικών δονήσεων σε αρχαιολογικό Μνημείο εξαιτίας των ανατινάξεων διάνοιξης. Οι αυστηρές διεθνείς προδιαγραφές ελέγχου επικινδυνότητας των εδαφικών δονήσεων και η συλλογή των δεδομένων από αξιόπιστα μηχανήματα καταγραφής τους, οδήγησε σε συγκρίσιμα συμπεράσματα των καταγραφών και της θεωρητικής εκτίμησης τους μέσω της χρήσης μαθηματικών μοντέλων.

Στο παρακάτω κεφάλαιο γίνεται μια πρώτη αναφορά σε βασικές έννοιες που κρίνονται απαραίτητες για τις μετέπειτα αναλύσεις σε επόμενα κεφάλαια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΕΞΟΡΥΞΗΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο εξόρυξη καλείται η τμηματική απόσπαση (ή θραύση) του πετρώματος από την φυσική του θέση. Η απόσπαση διενεργείται σε μικρά ή μεγάλα τεμάχια του πετρώματος σύμφωνα με τις μετέπειτα απαιτήσεις αλλά και τον χρησιμοποιούμενο τρόπο εξόρυξης. Η εξόρυξη των πετρωμάτων διενεργείται με δυο τρόπους:

- **Εξόρυξη χωρίς εκρηκτική ύλη**
- **Εξόρυξη με χρήση εκρηκτικής ύλης**

2.2 ΚΥΚΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΜΕΤΩΠΟ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Η τεχνική της εξόρυξης των πετρωμάτων στα υπόγεια μέτωπα παρουσιάζει περισσότερες δυσμενείς συνθήκες από την αντίστοιχη τεχνική των επιφανειακών. Κατά την διάνοιξη στοών και σηράγγων τα μέτωπα παρουσιάζουν μια μόνο ελεύθερη επιφάνεια, αυτή του μετώπου η οποία είναι πολύ περιορισμένης εκτάσεως. Ο παράγοντας αυτός καθώς και ο τύπος του πετρώματος έχει μεγάλη σημασία για την εφαρμοζόμενη τεχνική της εξόρυξης.

Σε κάθε περίπτωση ο πλήρης κύκλος εξόρυξης του πετρώματος με χρήση εκρηκτικών υλών σε μέτωπο με μορφή σήραγγας περιλαμβάνει τις εξής φάσεις εργασίας (Τσουτρέλης 2001):

- Κατάρτιση του σχεδίου ανατινάξεως
- Εφαρμογή του σχεδίου ανατινάξεως στην πράξη (διάτρηση διατρημάτων-γόμωση-επιγόμωση-ανατίναξη)
- Αερισμός μετώπου και έλεγχος οροφής
- Φόρτωση και αποκόμιση του εξορυχθέντος πετρώματος
- Εφαρμογή μέτρων προσωρινής υποστηρίξεως (αγκύρια, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, σιδηρά και / ή ξύλινα πλαίσια)
- Μόνιμη υποστήριξη (οπλισμένο σκυρόδεμα, δακτύλιοι από σκυρόδεμα κτλ.

Η πρώτη φάση εργασίας που συνιστά την κατάρτιση του σχεδίου ανατινάξεως (design of blasting pattern), αρχίζει από την επιλογή της διάταξης των διατρημάτων (drilling pattern) μέχρι την ανατίναξη. Σύνηθες κριτήριο του σχεδιασμού της φάσης αυτής είναι η επίτευξη της αποδοτικότερης από πλευράς κόστους προχώρησης αλλά σε μερικές περιπτώσεις, το σχέδιο ανατίναξης τροποποιείται ανάλογα για την επίτευξη μεγαλύτερης ταχύτητας προχώρησης ή για την μείωση των παραγόμενων από τις εκρήξεις δονήσεων, ή επειδή επιβάλλεται για την αποφυγή ρωγματώσεων του περιβάλλοντος πετρώματος η χρήση ελεγχόμενης ανατίναξης (Τσουτρέλης, 2001).

2.3. ΜΕΤΩΠΟ ΕΞΟΡΥΞΗΣ

Είναι το περιορισμένο τμήμα του πετρώματος εντός του οποίου λαμβάνει χώρα η εξόρυξη του. Το μέτωπο εξόρυξης μπορεί να είναι μια στοά, ένα φρέαρ ακόμα και μια οποιαδήποτε φυσική επιφάνεια του πετρώματος (Τσουτρέλης 2001).

2.4. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΩΝ

1. **Διάμετρος διατρημάτων**

Κρίσιμο θέμα κάθε ανατίναξης είναι η προχώρηση του μετώπου. Συνήθως είναι της τάξεως του 90% του μήκους των διατρημάτων προεκσκαφής η οποία φτάνει το 95% σε μικρού μήκους διατρήματα. Αύξηση της διαμέτρου των διατρημάτων οδηγεί σε μείωση του αριθμού των απαιτούμενων διατρημάτων αλλά και σε αύξηση του μεγέθους των παραγόμενων τεμαχίων του πετρώματος. Η επιλογή της διαμέτρου πρέπει να γίνεται μετά από αξιολόγηση του αποτελέσματος σε συνδυασμό με το είδος του πετρώματος. Τα χρησιμοποιούμενα διατρήματα είναι συνήθως διαμέτρου 32-50mm με προτίμηση εκείνα μεταξύ 42-46mm (Τσουτρέλης 2001).

2. **Μήκος (βάθος) διατρήσεως**

Το μήκος διατρήσεως πρέπει να είναι τέτοιο ώστε ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του πετρώματος και το σχέδιο ανατίναξης που υιοθετείται, να επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη δυνατή προχώρηση.

3. **Αριθμός διατρημάτων**

Ο αριθμός των διατρημάτων που θα διανοιχθεί συνολικά στο μέτωπο εξαρτάται από την διατομή και το σχήμα του, το είδος του πετρώματος, τον επιθυμητό βαθμό θρυμματισμού, την διάμετρο των διατρημάτων και την διάταξη τους που θα ακολουθήσει για την εξόρυξη του πετρώματος (Τσουτρέλης 2001).

2.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΩΝ

Οι επιμέρους τεχνικές όρυξης των διατρημάτων εξαρτώνται από τις διαστάσεις της εγκάρσιας διατομής της σήραγγας , τα δομικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του πετρώματος και τις απαιτήσεις του έργου. Σε κάθε περίπτωση το σύνολο των διατρημάτων που συνιστά την διάταξη τους διατάσσεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε με την χρήση επιβραδυνόμενων μέσων έναυσης οι εκρήξεις να γίνονται σταδιακά με σκοπό κάθε επόμενο στάδιο να εκμεταλλευτεί τις ελεύθερες επιφάνειες που δημιούργησε το προηγούμενο.

Ο αριθμός των διατρημάτων όπως επίσης και το βάθος, το εύρος μετώπου, η μεταξύ τους απόσταση και η διάμετρος εξαρτώνται από τον υπολογισμό της γόμωσης. Κατά το σχέδιο διάτρησης διακρίνονται τρεις κατηγορίες διατρημάτων (Τσουτρέλης, 2001):

- **Διατρήματα προεκσκαφής (cut)**

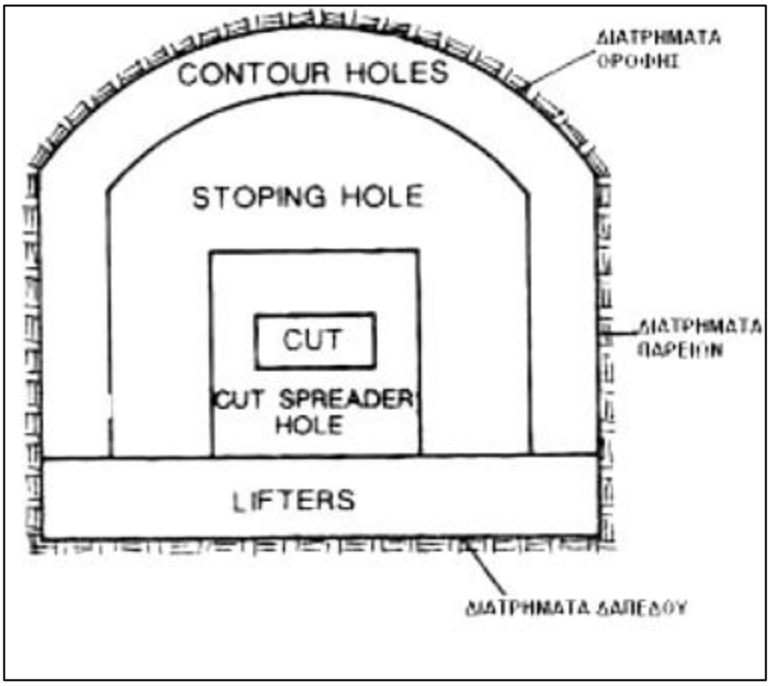
Αυτά αποσκοπούν με την έκρηξη τους να δημιουργήσουν στο πέτρωμα μια κατάλληλης μορφής εκσκαφή της οποίας η επιφάνεια θα χρησιμεύσει ως επιφάνεια ανάκλασης του κρουστικού κύματος από τις εκρήξεις της επόμενης σειράς διατρημάτων.

- **Διατρήματα κύριας εκσκαφής (B- stopping holes)**

Διατάσσονται γύρω από τα διατρήματα της προεκσκαφής και εκρήγνυνται με σειρά κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξορύξουν το πέτρωμα σταδιακά σε όλη σχεδόν την διατομή της σήραγγας αφήνοντας μόνο περιμετρικά μικρό πάχος πετρώματος.

- **Περιμετρικά διατρήματα ή περιφερειακά (perimeter or contour holes)**

Τα διατρήματα αυτά υποδιαιρούνται σε <u>διατρήματα οροφής</u> (roof holes), σε <u>διατρήματα δαπέδου</u> (lifters or floor holes) και σε <u>πλευρικά διατρήματα</u> (wall holes). Τα διατρήματα αυτής της κατηγορίας αποσκοπούν στο να εξορύξουν το πέτρωμα στην ακριβή διατομή της σήραγγας αποφεύγοντας τόσο την υπέρθραυση (overbreak) όσο και την πρόκληση ρωγματώσεως (blast damage effect) στο περιβάλλον πέτρωμα (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1 – Διάταξη διατρημάτων σε σχεδιασμό υπόγειων ανατινάξεων (Jimeno et al, 1995).

2.6 ΓΟΜΩΣΗ ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΩΝ

2.6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γόμωση είναι η εισαγωγή των εκρηκτικών υλών και των καψυλλίων στα διατρήματα προκειμένου με την πυροδότηση τους να επιτευχθεί η διάρρηξη και η απόσπαση του πετρώματος από την φυσική του θέση.

Παρακάτω γίνεται αναφορά στις κατηγορίες των εκρηκτικών υλών και του μέσου εναύσεως που χρησιμοποιήθηκαν για την διάνοιξη της σήραγγας T2S.

2.6.2 ΖΕΛΑΤΙΝΟΔΥΝΑΜΙΤΙΔΕΣ

Η ζελατοδυναμίτιδα (gelatin) είναι εκρηκτικό με υψηλές τιμές ενέργειας, πυκνότητας και ταχύτητας έκρηξης. Τα κύρια συστατικά του είναι το νιτρικό αμμώνιο, η νιτρογλυκόλη και η νιτροκυτταρίνη. Είναι το πλέον κατάλληλο εκρηκτικό για ανατινάξεις σε σκληρά πετρώματα και δύσκολες κλιματολογικές συνθήκες. Έχει ικανοποιητική αντοχή στο νερό και η έναυση της μπορεί να πραγματοποιηθεί με πυροκροτητή No 8. Ανάλογα με το μέγεθος του διατρήματος η ζελατοδυναμίτιδα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις επιφανειακές και υπόγειες ανατινάξεις, είτε σαν εκρηκτικό έναυσης, είτε σαν κύριο εκρηκτικό πυθμένα, ακόμα και σε όλο το μήκος του διατρήματος. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της συνοψίζονται στον Πίνακα 1.1) (www.extraco.gr).

Πίνακας 1.1- Τεχνικά χαρακτηριστικά ζελατοδυναμίτιδας.

Πυκνότητα	1.5 g/cm^3
Σχετική κ.β ισχύς	86%
Ταχύτητα έκρηξης	6000 m/s
Ισχύς (Trauzl lead block test)	395 ml
Θραυστικότητα	17 mm
Ενέργεια έκρηξης	4100 kJ/kg
Όγκος εκρηκτικών αερίων	858 lt/kg
Θερμοκρασία έκρηξης	3000 ^{o}C
Ισοζύγιο οξυγόνου	+ 2.22%

2.6.3 ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ

Τα εκρηκτικά γαλακτώματα (emulsion explosives) παρασκευάζονται από διάλυμα νιτρικού αμμωνίου, ελαιώδη συστατικά, γαλακτωματοποιητή κ.α. Σε αρκετές περιπτώσεις προστίθεται αλουμίνιο για την αύξηση της ισχύος του προϊόντος. Έχουν άριστη αντοχή σε υδάτινες συνθήκες και κατά την έκρηξη δεν παράγονται τοξικές ουσίες όπως συμβαίνει με τα νιτρογλυκερινούχα εκρηκτικά (Εικόνα 1.1) (www.extraco.gr).

Εικόνα 1.1- Εκρηκτικό Γαλάκτωμα διαστάσεων Ø38

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των εκρηκτικών γαλακτωμάτων απεικονίζονται στον Πίνακας 1.2, (www.extraco.gr).

Πίνακας 1.2- Τεχνικά χαρακτηριστικά εκρηκτικών γαλακτωμάτων.

Πυκνότητα	1.2 gr/cm^3
Σχετική κ.β ισχύς	80%
Ταχύτητα έκρηξης	5700 m/s
Ισχύς (Trauzl lead block test)	300 ml
Θραυστικότητα	24 mm
Ενέργεια έκρηξης	3200 kJ/kg
Όγκος εκρηκτικών αερίων	920 lt/kg

2.7 ΜΕΣΑ ΕΝΑΥΣΕΩΣ ΚΑΙ ΠΥΡΟΔΟΤΗΣΕΩΣ

Τα μέσα εναύσεως και πυροδοτήσεως διαχωρίζονται σε 3 κατηγορίες:

- Μη ηλεκτρικά μέσα (non electric)
- Ηλεκτρικά και
- Ηλεκτρονικά

2.7.1. ΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΑΥΣΗΣ NONEL

Το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε για αντικαταστήσει πλήρως τις περιπτώσεις, που υπάρχουν παρασιτικά ηλεκτρικά ρεύματα ή συνθήκες ανεπιθύμητων – ανεξέλεγκτων εναύσεων. Με την χρησιμοποίηση του μη ηλεκτρικού αυτού κυκλώματος οι κίνδυνοι ανεξέλεγκτης έκρηξης εξαφανίζονται και το κύκλωμα πυροδοτήσεως απλοποιείται σημαντικά χωρίς όμως να χάνονται τα πλεονεκτήματα του ηλεκτρικού καψυλλίου από πλευράς δυνατότητας επιλογής πολλών ελεγχόμενων χρόνων επιβράδυνσης, που είναι ιδιαίτερα επιθυμητοί σε υπόγειες ανατινάξεις. Το σύστημα NONEL αναπτύχθηκε κατά την δεκαετία του 1960 και σήμερα είναι γνωστό με το εμπορικό όνομα NONEL από τα αρχικά των λέξεων NON-Electric (Τσουτρέλης 1997).

Το σύστημα NONEL συνίσταται από τρία μέρη:

- Το καψύλλιο (NONEL GT detonator), που συνδέεται από λεπτό πλαστικό αγωγό
- Τους συνδέσμους (connectors ή connector blocks) NONEL. Αυτοί συνίσταται από διάφορα μήκη πλαστικού αγωγού, που απολήγουν στο ένα ή και στα δύο άκρα τους, ανάλογα αν είναι μονού (single connector GT1) ή διπλού τύπου (twin connector GT2) σε πλαστικό υποδοχέα.
- Την γραμμή πυροδοτήσεως. Αυτή συνίσταται επίσης από πλαστικό αγωγό NONEL που διατίθεται σε ρολά.

Στους Πίνακες 1.3 και 1.4 αναλύονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των καψυλλίων και του σωλήνα NONEL (www.extraco.gr)

Πίνακας 1.3- Τεχνικά χαρακτηριστικά καψυλλίων τύπου NPED.

ΚΑΨΥΛΛΙΑ	
Τύπος	NPED
Ισχύς	Ισοδύναμη με αντίστοιχη καψυλλίου No 8
Ποσότητα εκρηκτικής ύλης	1 gr (PETN/RDX)
Κυάθιο	Αλουμίνιο
Διάμετρος κυαθίου	7.5 mm
Μήκος κυαθίου	62-95 mm (εξαρτάται από χρόνο και σύνθεση ύλης επιβράδυνσης)

Πίνακας 1.4 – Χαρακτηριστικά σωλήνα NONEL 3L.

ΣΩΛΗΝΑΣ	
Τύπος	Σωλήνας NONEL τύπου 3L
Διάμετρος	3 mm

2.8 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΘΡΑΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ

Η χρήση των εκρηκτικών υλών που στοχεύουν σε αποτελεσματική θραύση του πετρώματος, προυποθέτουν την γνώση του μηχανισμού κατά τον οποίον θραύεται το πέτρωμα. Πρόκειται για σύνθετο μηχανισμό που λαμβάνει χώρα σε δύο ξεχωριστές φάσεις από τις οποίες η πρώτη οφείλεται στο κρουστικό κύμα που δημιουργήθηκε κατά την έκρηξη και η δεύτερη που έπεται χρονικά, στην δράση των αερίων της έκρηξης (Τσουτρέλης 2001).

2.8.1 ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΦΑΣΗ

Όταν η εκρηκτική ύλη διεγείρεται εντός του διατρήματος η χημική αντίδραση που προκαλείται κινείται με ταχύτητα της τάξεως των 3000-6000 m/s ανάλογα με τον τον τύπο της εκρηκτικής ύλης, την πυκνότητα της γόμωσης και την διάμετρο του διατρήματος. Στην ζώνη της αντίδρασης αυτής η πίεση εκρήξεως κυμαίνεται συνήθως από 5-10 GPa. Στην εντατική κατάσταση που υποβάλλεται το πέτρωμα κατά την έκρηξη μιας ποσότητας εκρηκτικής ύλης, οφείλεται και η θραύση του κατά την κρουστική φάση. Στην φάση αυτή η διέλευση της χημικής αντιδράσεως στο πέτρωμα είναι της τάξεως των μερικών εκατοντάδων μs (Persson et al, 1994).

2.8.2 ΩΣΤΙΚΗ ΦΑΣΗ

Από ενεργειακής πλεράς, η ενέργεια που περιέχεται στην ωστική φάση έιναι ποσοτικώς πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της κρουστικής. Σε αυτή την φάση τα αέρια προιόντα της έκρηξης εκτονώνονται και εισχωρούν σε ρωγμές που έχουν ήδη δημιουργηθεί με σκοπό να ασκούν ουσιαστικά μια στατική πίεση με αποτέλεσμα τα τεμάχια των πετρωμάτων να μετατοπίζονται από την αρχική τους θέση και να διευρύνονται οι υπάρχουσες ρωγμές (Αγιουτάντης, 2009).

Οι δύο φάσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την έκρηξη, αποτελούν αιτία για πρόκληση δονήσεων. Οι δονήσεις αυτές απαιτούν έναν λεπτομερή και αυστηρό έλεγχο για τις επιπτώσεις τους στις γύρω κατασκευές - δομές. Η καταγραφή των δονήσεων που προέρχεται από την ενέργεια εκτόνωσης μιας ανατίναξης, γίνεται με την χρήση ειδικών συστημάτων δονημετρικού ελέγχου – καταγραφής, τους δονησιογράφους. Οι σύγχρονοι δονησιογράφοι, έχουν την δυνατότητα καταγραφής της εδαφικής και της αέριας δόνησης.

Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε βασικές έννοιες που αφορούν στις προκαλούμενες δονήσεις, στις βασικές αρχές, στην επικινδυνότητα και στον έλεγχο αυτών από τα συστήματα δονημετρικού ελέγχου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΔΟΝΗΣΕΙΣ ΑΝΑΤΙΝΑΞΕΩΝ

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση εκρηκτικών υλών για την εξόρυξη πετρωμάτων συνοδεύεται από ορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις οι κυριότερες από τις οποίες είναι (αναφορα):

- Πρόκληση δονήσεων στο έδαφος ή εδαφικές δονήσεις (ground vibration)
- Δημιουργία ωστικού κύματος στην ατμόσφαιρα ή αέριας δόνησης (air blast) ή θορύβου.
- Εκτόξευση λίθων (flyrock)

Η πιο σημαντική επίπτωση είναι εκείνη των προκαλούμενων κατά τις ανατινάξεις δονήσεων στο έδαφος, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν ζημιά σε κατασκευές ευρισκόμενες πλησίον του χώρου της δραστηριότητας. Επιπλέον μπορεί να δημιουργηθούν και προβλήματα στην λειτουργία ευαίσθητων οργάνων – συστημάτων, καθώς και δυσάρεστες οχλήσεις ή πρόκληση ανησυχίας στον άνθρωπο.

3.2. ΕΙΔΗ ΚΥΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΝΑΤΙΝΑΞΕΙΣ

Όταν μια ποσότητα εκρηκτικής ύλης εκραγεί στο πέτρωμα πέρα από την περιοχή θραύσεως και ρωγματώσεως του πετρώματος, εμφανίζεται μία οικογένεια ελαστικών κυμάτων τα οποία καθώς διαδίδονται στο πέτρωμα θέτουν σε διαταραχή τα σωματίδια του πετρώματος γύρω από την θέση ισορροπίας τους με αποτέλεσμα να προκληθούν δονήσεις (vibrations). Τα κύματα αυτά, που έχουν ως πηγή προελεύσεως την πρόσκρουση των μορίων των προϊόντων της εκρήξεως στο πέτρωμα, έχουν ανόμοια μεταξύ τους χαρακτηριστικά με αποτέλεσμα η επίδραση τους στις κατασκευές και τον άνθρωπο να διαφοροποιείται. Εκτιμάται ότι μεταφέρουν 10-20% της χημικής ενέργειας της εκρηκτικής ύλης (αναφορά).

Τα υπόψη κύματα αυτά διαχωρίζονται σε:

- **κύματα χώρου (body waves)**
- **επιφανειακά (surface waves)**.

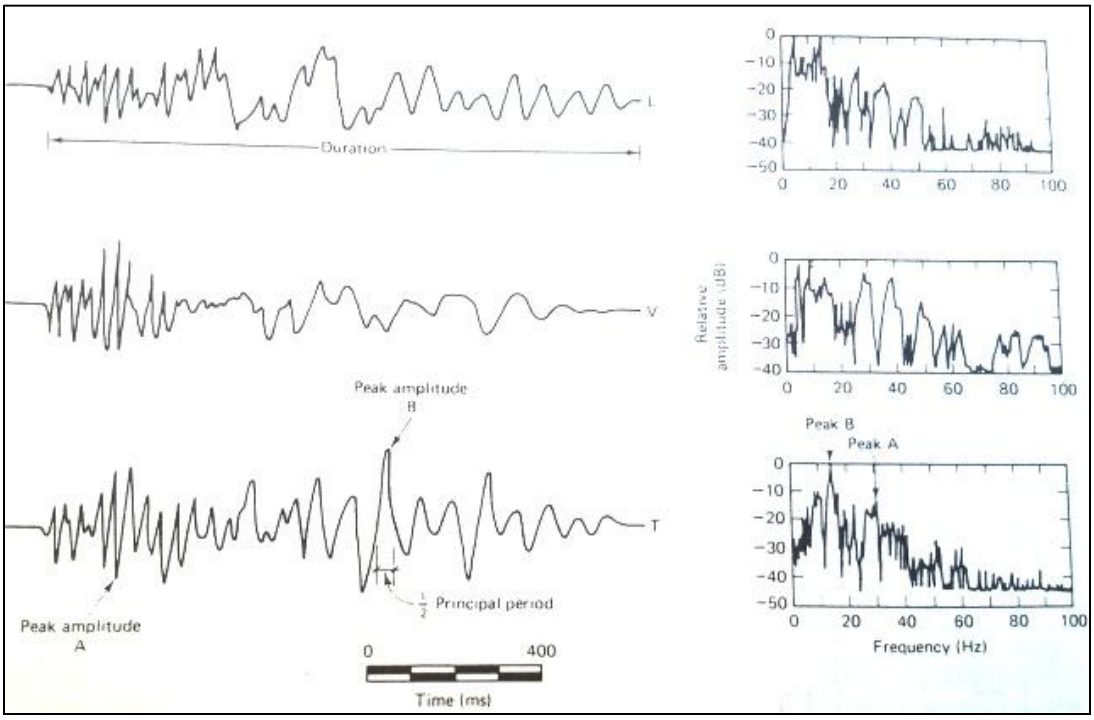
Τα κύματα χώρου που οδεύουν εντός του φλοιού της γης, διακρίνονται σε α) θλιπτικά (P) και β) διατμητικά κύματα (S).

Τα επιφανειακά που είναι επίσης διαφόρων μορφών, οδεύουν στην επιφάνεια του εδάφους. Τα κύματα χώρου φτάνουν πρώτα. Το ταχύτερο από αυτά είναι το διαμήκες θλιπτικό κύμα (P), το οποίο είναι το ίδιο κύμα που μεταφέρει τον ήχο στο νερό ή στον αέρα. Το κύμα αυτό έχει την μεγαλύτερη συχνότητα και προκαλεί την μικρότερη μετατόπιση (Τσουτρέλης, 2001).

Το διατμητικό κύμα (S) έχει μεγαλύτερη συχνότητα και επομένως προκαλεί μεγαλύτερη μετατόπιση. Τέλος φτάνουν τα επιφανειακά κύματα με κυριότερο το κύμα Rayleigh (R) το οποίο κινείται με ταχύτητα μικρότερη του S.

Πλησίον του χώρου της ανατίναξης και οι 3 τύποι κυμάτων οδεύουν κατά έναν σύνθετο τρόπο, ώστε να είναι δυσχερής ο διαχωρισμός τους. Μακρύτερα από την πηγή ο διαχωρισμός τους γίνεται πιο σαφής και για τον λόγο αυτό η χρονική διάρκεια δονήσεως γίνεται μεγαλύτερη, ενώ η ένταση όλων των κυμάτων μειώνεται με την απόσταση.

Τα κύματα που προέρχονται από ανατινάξεις (P, S, R), μπορούν να προσεγγισθούν ως ημιτονοειδείς συναρτήσεις του χρόνου (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1 – Τυπικές καταγραφές των τριών συνιστωσών της ταχύτητας εδαφικής δόνησης σε λατομείο αδρανών και ανάλυση των συχνοτήτων κατά Fourier (Bhandari 1997).

3.3 ΒΑΣΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΥΜΑΤΩΝ

Οι βασικοί παράμετροι των κυμάτων αναλύονται στα επόμενα μεγέθη (Τσουτρέλης, 2001):

- Πλάτος κύματος (Amplitude): ορίζεται ως η μέγιστη απόσταση μετατόπισης ενός υλικού από την θέση ισορροπίας του και επίσης ως η ένταση του κύματος με χαρακτηριστική τιμή εκείνη της μέγιστης εντάσεως.
- Ταχύτητα ταλαντώσεως ή ταχύτητα δονήσεως (V): ορίζεται ως η ταχύτητα που τα σωματίδια κινούνται γύρω από την θέση ισορροπίας.
- Περίοδος (T): απαιτούμενος χρόνος για να εκτελεστεί μια πλήρης παλινδρομική κίνηση.
- Επιτάχυνση (α): λόγος της ταχύτητας ως προς τον χρόνο.
- Συχνότητα (f): ορίζεται ως το αντίστροφο της περιόδου. $F = 1/T$. Ειδικότερα δεσπόζουσα συχνότητα (dominant frequency) ονομάζεται εκείνη η συχνότητα που παρουσιάζει τους μεγαλύτερους συντελεστές πλάτους και αναλύεται κατά Fourier.
- Μήκος κύματος (λ) : απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών του κύματος. $\lambda = C_p/f$.

Όσον αφορά την ταχύτητα διάδοσης, για να περιγραφτεί η κίνηση των σωματιδίων γύρω από τα σημεία ισορροπίας τους γίνεται ανάλυση σε τρεις κάθετες μεταξύ τους συνιστώσες, οι οποίες μπορεί να καταγραφούν από ειδικά όργανα τους δονησιογράφους (vibration monitors) όταν αυτοί είναι εφοδιασμένοι με τριαξονικό αισθητήρα (γεώφωνο). Οι τρεις αυτές συνιστώσες είναι η ακτινική (L), η εγκάρσια (T), και η κατακόρυφη (V) .

3.4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

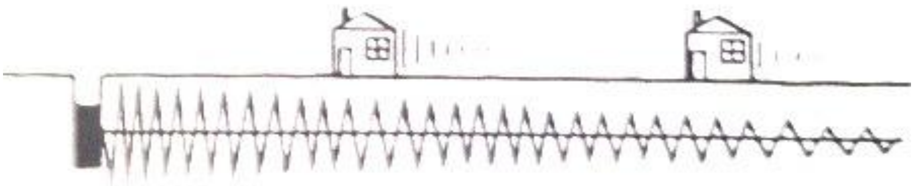
Παράγοντες όπως η απόσταση, η γεωλογία της περιοχής, η γεωμετρική διάταξη ανατινάξεως, η ποσότητα εκρηκτικής ύλης και η επιβράδυνση επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά των εδαφικών δονήσεων. Παρακάτω γίνεται λεπτομερής αναφορά:

3.4.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ

Ο κυματοπαλμός αποσβένεται σε συνάρτηση με την απόσταση R από το σημείο γενέσεως του και παράλληλα διαχέεται σε διαρκώς και μεγαλύτερο όγκο πετρώματος (Σχήμα 3.2).

$$v \propto \frac{1}{R^b} \tag{3.1}$$

Όπου, V η ταχύτητα και b σταθερά εξαρτώμενη από το είδος γεωλογικού υπόβαθρου εντός του οποίου οδεύει το κύμα και με τιμές γύρω από το 1.6



Σχήμα 3.2 – Επίδραση της απόστασης από το σημείο ανατίναξης (Τσουτρέλης, 2001).

3.4.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Σε ομοιογενή και συμπαγή πετρώματα η διάδοση των κυμάτων είναι ομοιόμορφη προς όλες τις διευθύνσεις. Σε αντίθετη περίπτωση η διάδοση τους διαφοροποιείται σε σχέση με την διεύθυνση διαδόσεως. Σε χαλαρά υλικά που έχουν μικρότερο μέτρο ελαστικότητας η ταχύτητα διαδόσεως μειώνεται καθώς και η συχνότητα της οποίας η μείωση συνοδεύεται από μεγαλύτερη διάρκεια επιδράσεως του κύματος δημιουργώντας αύξηση του κινδύνου προκλήσεως ζημιάς σε γειτονικές κατασκευές.

Μεγάλο μέρος της ενέργειας του κυματοπαλμού ευρίσκεται σε συχνότητες κάτω των 10 Hz, οι οποίες επάγουν μεγάλες μετατοπίσεις και υψηλές εντατικές καταστάσεις ικανές να προκαλέσουν ζημιά σε κατασκευές με ιδιοσυχνότητες μεταξύ 4-12 Hz. Η γεωλογία επηρεάζει επίσης την ταχύτητα διαδόσεως των κυμάτων. Επιπλέον οι ασυνέχειες του πετρώματος επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ταχύτητα διαδόσεως των κυμάτων (Τσουτρέλης, 2001).

3.4.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΑΝΑΤΙΝΑΞΗΣ

Δύο κατηγορίες παραμέτρων μπορούν να επηρεάσουν τα χαρακτηριστικά των κυμάτων. Η πρώτη αναφέρεται στην γόμωση και η δεύτερη έχει να κάνει με τα γεωμετρία του σχεδίου ανατίναξης.

– Είδος και ποσότητα εκρηκτικής ύλης

Όσο πιο μεγάλη είναι η πίεση εκρήξεως η οποία είναι συνάρτηση της πυκνότητας της εκρηκτικής ύλης και της ταχύτητας εκρήξεως, τόσο ισχυρότερη είναι και η κρουστική ενέργεια.

Από πλευράς ποσότητας εκρηκτικής ύλης, μικρές ποσότητες δημιουργούν δονήσεις υψίσυχνες με μικρό πλάτος κύματος, σε αντίθεση με μεγάλες ποσότητες που προκαλούν το αντίθετο αποτέλεσμα.

– Ποσότητα εκρηκτικής ύλης ανά χρόνο επιβράδυνσης

Η ποσότητα εκρηκτικής ύλης ανά χρόνο επιβραδύνσεως ασκεί την πιο καθοριστική επίδραση στην ένταση των προκαλούμενων δονήσεων και όχι η ολική ποσότητα εκρηκτικής ύλης της ανατίναξης, υπό την προϋπόθεση ότι, ο ελάχιστος χρόνος επιβραδύνσεως που παρεμβάλλεται μεταξύ των διαδοχικών εκρήξεων είναι αρκετός ώστε να αποφευχθεί η αθροιστική επίδραση μεταξύ των κυμάτων που παράγουν οι σταδιακές εκρήξεις λόγω επιβράδυνσης.

Ο χρόνος επιβραδύνσεως είναι δυνατόν να επηρεάσει επίσης την συχνότητα της δονήσεως για τις περιπτώσεις ταυτόχρονης εκρήξεως (Τσουτρέλης, 2001).

3.5 ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΑ ΜΕΓΕΘΗ ΣΤΗΝ ΕΔΑΦΙΚΗ ΔΟΝΗΣΗ

Είναι διεθνώς παραδεκτό ότι το κριτήριο που προσδιορίζει αν μια κατασκευή θα υποστεί ή όχι ζημιά από μια ανατίναξη, είναι η μέγιστη ταχύτητα εδαφικής δόνησης της οποίας η τιμή δεν εξαρτάται μόνο από το είδος και την ποιότητα της κατασκευής αλλά και από την δεσπόζουσα συχνότητα της δονήσεως (Τσουτρέλης, 2001).

Τα μεγέθη που μπορούν να διακριθούν και τα οποία ελέγχονται στην εδαφική δόνηση είναι τα παρακάτω (Μπαλικτσής κ.ά, 2003):

- Ταχύτητα (V)

Ταχύτητα δόνησης ή ταχύτητα ταλάντωσης είναι η ταχύτητα με την οποία κινούνται (ταλαντώνονται) τα σωματίδια από την θέση μέτρησης. Η μέγιστη ταχύτητα (PPV) χρησιμοποιείται ως χαρακτηριστικό μέγεθος για την διεύρυνση των πιθανών επιπτώσεων. Η ταχύτητα δόνησης καταγράφεται σε mm/s.

- Συχνότητα

Αναφέρεται στην επαναληψιμότητα μιας πλήρους κίνησης των σωματιδίων στην μονάδα του χρόνου. Ο αριθμός των ταλαντώσεων των σωματιδίων μετριέται σε πλήρεις κύκλους ανά δευτερόλεπτο ή Hertz (Hz).

Η υιοθέτηση αρχικά της μέγιστης ταχύτητας δονήσεως ως μοναδικού κριτηρίου προκλήσεως ζημιάς σε μια δομική κατασκευή από τις έρευνες, που έγιναν στην συνέχεια έδειξαν ότι το ανώτερο κριτήριο από μόνο του δεν επαρκεί και πρέπει να συσχετισθεί με την δεσπόζουσα συχνότητα. Η συνδυασμένη επίδραση μεγάλων ανατινάξεων, η παρουσία σημαντικού πάχους υπερκειμένων, ο καλός περιορισμός της γομώσεως και η διάδοση του κύματος σε μεγάλη απόσταση, που είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση χαμηλών συχνοτήτων δεδομένου ότι οι υψηλές συχνότητες αποσβένονται ταχύτερα, οδηγεί σε δονήσεις χαμηλών συχνοτήτων που είναι πλέον επίφοβες (Siskind et al, 1980).

- Μετατόπιση

Είναι η μέγιστη απόσταση ενός σημείου από την θέση ισορροπίας. Μετριέται σε mm.

- Επιτάχυνση

Εκφράζει τον ρυθμό αλλαγής της ταχύτητας προς τον χρόνο.

- Μέτρηση-καταγραφή

Για την καταγραφή και τον έλεγχο των δονήσεων χρησιμοποιούνται ειδικοί σεισμογράφοι, οι οποίοι έχει καθιερωθεί να ονομάζονται δονησιογράφοι (vibration monitors). Ένας μοντέρνος δονησιογράφος, είναι πλήρες ψηφιακό σύστημα με ενσωματωμένες τις εξελίξεις μικροϋπολογιστών ο οποίος διαθέτει 1 ή 2 γεώφωνα (τριαξονικά κατά κανόνα) για την καταγραφή της εδαφικής δόνησης και μικρόφωνο για καταγραφή της αέριας δόνησης (INSTANTEL 1995-2005, Μπαλικτσής κ.ά, 2003).

3.6 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΟΝΗΣΙΟΓΡΑΦΩΝ

3.6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι εδαφικές δονήσεις στηρίζονται στην θεωρία των κυμάτων. Κάθε κύμα αναλύεται σε τρεις συνιστώσες καταγραφών (3 διευθύνσεις). Στην θεωρία αυτή στηρίχτηκε η κατασκευή γεωφώνων που να μπορούν να καταγράψουν την συνολική κυματομορφή της καταγραφής και στις 3 διευθύνσεις. Αυτό οδήγησε στην κατασκευή και χρήση τριαξονικών γεωφώνων που αποτελούνται από 3 στοιχεία πηνίου/μαγνήτη τοποθετημένα σε ορθογωνική διάταξη μέσα σε ενιαίο περίβλημα. Το κάθε ένα είναι προσανατολισμένο με μία από τις τρεις συνιστώσες καταγραφής του κύματος.

3.6.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΟΝΗΜΕΤΡΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Οι δονησιογράφοι είναι φορητά όργανα κατά κανόνα πλήρως αυτόνομα. Η καταγραφή εδαφικών δονήσεων γίνεται με την βοήθεια του γεωφώνου που είναι ενσωματωμένο ή εξωτερικό - συνδεδεμένο με τον δονησιογράφο. Παράλληλα παρέχεται η δυνατότητα καταγραφής της αέριας δόνησης (αντίστοιχα και του θορύβου) με την χρήση του μικροφώνου.

Ανάλογα με τον τύπο του κάθε δονησιογράφου παρέχεται η δυνατότητα ενσωματωμένου γεωφώνου ή σύνδεσης με ένα ή περισσότερα εξωτερικά γεώφωνα ταυτόχρονα.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί μία ενεργοποίηση και καταγραφή συμβάντος (event) υπάρχουν διαθέσιμες δύο βασικές επιλογές για την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Η πρώτη είναι το recording mode που ορίζει το πώς ο δονησιογράφος θα λειτουργήσει και θα καταγράψει ένα συμβάν. Η δεύτερη επιλογή είναι ο ορισμός ενός ορίου τιμών, κάτω από το οποίο ο δονησιογράφος δεν θα ενεργοποιηθεί και φυσικά δεν θα καταγράφει το event (trigger). Κατά τον τρόπο αυτόν το όργανο ελέγχει αυτόματα τα επίπεδα των δονήσεων και προχωράει σε καταγραφή ή παραβλέπει το συμβάν.

Οι ρυθμίσεις του Recording mode είναι οι ακόλουθες:

1) <u>Απλή καταγραφή (single shot record mode)</u>

Η λειτουργία χρησιμοποιείται για την αυτόματη καταγραφή ενός event. Το μηχάνημα καταγράφει ένα συμβάν, το αναλύει και παρουσιάζει στην οθόνη τα αποτελέσματα, ενώ στη συνέχεια σταματάει να καταγράφει περαιτέρω συμβάντα.

2) Συνεχής καταγραφή (continuous record mode)

Ο δονησιογράφος καταγράφει περισσότερα από ένα συμβάντα συνεχόμενα μεταξύ τους. Όταν πραγματοποιηθεί μια καταγραφή το μηχάνημα παρουσιάζει το αποτέλεσμα και συνεχίζει να βρίσκεται σε αναμονή για την επόμενη ενεργοποίηση - καταγραφή. Κατά αυτόν τον τρόπο καταγράφονται όλα τα συμβάντα, οι τιμές των οποίων βρίσκονται πάνω από το προκαθορισμένο όριο ενεργοποίησης.

3) Μη αυτόματη καταγραφή (manual record)

Η λειτουργία χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που η αυτόματη εκκίνηση καταγραφής δεν καθίσταται δυνατή εξαιτίας ισχυρών ανέμων ή υπερβολικής κίνησης οχημάτων.

Σε περιπτώσεις που η πρόσβαση σε κάποιο σημείο εγκατάστασης του δονησιογράφου (σταθμού μέτρησης) είναι δύσκολη, υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης με πρόσθετη εξωτερική μπαταρία με σκοπό να αυξηθεί η λειτουργία του μηχανήματος. Επίσης είναι δυνατή η σύνδεση με GSM modem ώστε να πραγματοποιείται απομακρυσμένος έλεγχος του δονησιογράφου μέσω υπολογιστή. Με αυτό τον τρόπο μεταφέρονται τα δεδομένα καταγραφών από την μνήμη του δονησιογράφου στον υπολογιστή (INSTANTEL 1995 -1997).

3.7 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΚΑΛΟΥΜΕΝΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΟΝΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΝΑΤΙΝΑΞΕΙΣ ΜΕΣΩ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ

Η δονημετρική ''ταυτότητα'' μιας περιοχής προκύπτει από στατιστικά συμπεράσματα προερχόμενα από την δημιουργία του μαθηματικού μοντέλου ''ανηγμένης απόστασης'' (scaled distance). Το διάγραμμα αυτό είναι το τελικό αποτέλεσμα ενός λεπτομερούς προγράμματος δονημετρικού ελέγχου από δονησιογράφους.

Η συλλογή δεδομένων (άνω των 30 – 35 ομοειδών καταγραφών για να θεωρηθεί αξιόπιστο το μαθηματικό μοντέλο), η δημιουργία αρχείου που περιλαμβάνει τις μέγιστες τιμές ταχύτητας εδαφικής δόνησης, την απόσταση του δονησιογράφου από την θέση ανατίναξης και την μέγιστη ποσότητα εκρηκτικών ανά χρόνο επιβράδυνσης, οδηγούν σε μια στατιστική επεξεργασία για την ολοκλήρωση του μαθηματικού μοντέλου.

Σύμφωνα με το U.S.B.M το μοντέλο που προτείνεται για την πρόβλεψη δονήσεων είναι το ακόλουθο:

$$\mathrm{V}_{(\mathrm{mm}/_{\mathrm{s}})} = \mathrm{k} \cdot (\mathrm{SD})^{\mathrm{b}} \qquad (3.2)$$

Όπου:

$$\mathrm{SD}= \frac{D}{W^r} \qquad (3.3)$$

D: η απόσταση δονησιογράφου από την θέση ανατίναξης,

W: μέγιστη ποσότητα εκρηκτικών (γόμωσης) ανά χρόνο επιβράδυνσης,

r: 1/2 ή 1/3 ανάλογα με την μέθοδο που χρησιμοποιείται. Το 1/2 είναι καθιερωμένο για επιφανειακές ανατινάξεις ενώ το 1/3 συνιστάται για περιπτώσεις υπογείων ανατινάξεων και για μετρήσεις πιέσεως αέρα.

Ο παράγοντας SD καλείται ‘’ανηγμένη απόσταση’’.

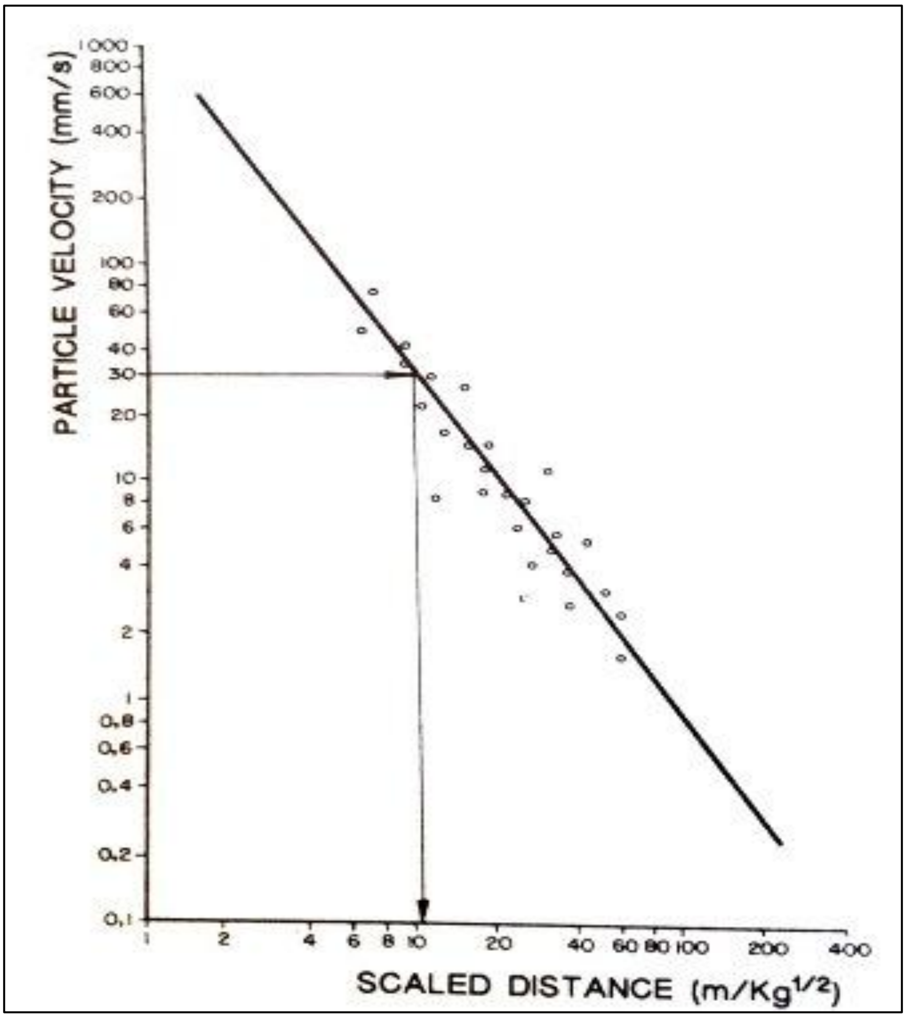
V : μέγιστη ταχύτητα δόνησης (η μέγιστη τιμή από τις 3 συνιστώσες καταγραφής).

k , b : σταθερές που εξαρτώνται από τις συνθήκες της περιοχής.

Σε διπλολογαριθμικό γράφημα από τα δεδομένα μπορεί να κατασκευαστεί μια ευθεία γραμμή, με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων μετασχηματίζοντας την σχέση (3.2) ως εξής:

$$\log V = \log k + b \log(\frac{D}{W^{1/_2}}) \qquad (3.4)$$

Στο σχήμα 3.3 απεικονίζεται ένα τυπικό διάγραμμα ‘’ανηγμένης απόστασης’’.

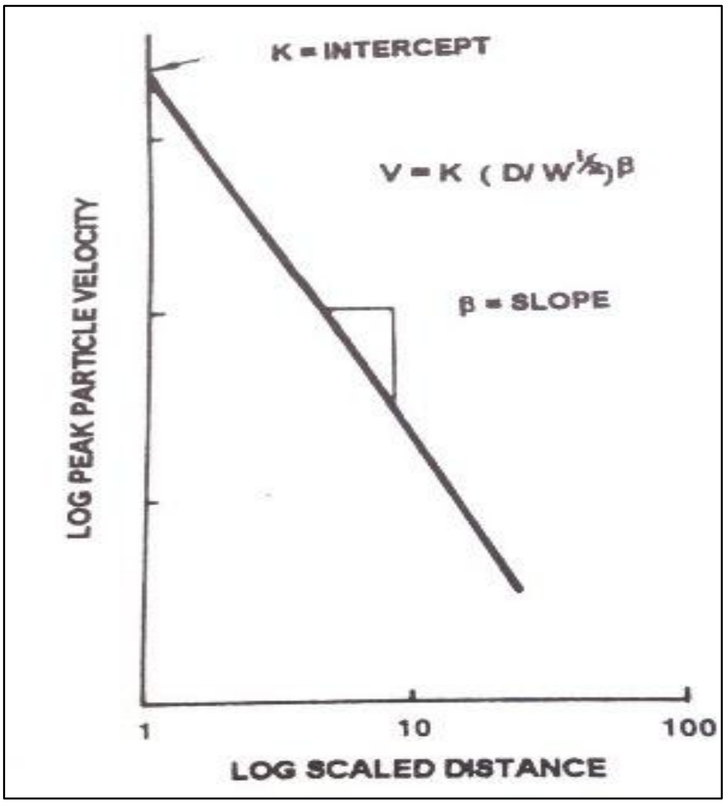


Σχήμα 3.3- Διάγραμμα ''ανηγμένης απόστασης'' σε διπλολογαριθμικό χαρτί (Jimeno et al 1995).

Σε ένα τέτοιο διάγραμμα το εύρος των τιμών SD συγκεντρώνεται στον οριζόντιο άξονα και το αντίστοιχο εύρος της μέγιστης ταχύτητας εδαφικής δόνησης στον κατακόρυφο. Η ευθεία που χαράσσεται στο διάγραμμα προσδιορίζει ότι κάθε σημείο έχει την ίδια πιθανότητα (50%) να βρίσκεται πάνω ή κάτω από αυτή.

Υπολογίζοντας την τυπική απόκλιση των τιμών, χαράσσεται μια δεύτερη ευθεία κάτω από την οποία βρίσκεται το 95% των σημείων ώστε να χρησιμοποιηθεί ως συντελεστής ασφαλείας στην επιλογή της μέγιστης ποσότητας της εκρηκτικής ύλης.

Οι σταθερές k, b (αποτέμνουσα και κλίση) υπολογίζονται πειραματικά με βάση μετρήσεις από δονησιογράφους των 3 συνιστωσών της ταχύτητας δονήσεως και της αντίστοιχης ανηγμένης απόστασης από την συνιστώσα με την υψηλότερη τιμή. Στο διάγραμμα έχοντας δεδομένα τις τιμές D, W προκύπτουν οι σταθερές k, b (Σχήμα 3.4) (INSTANTEL).



Σχήμα 3.4- Διάγραμμα ''ανηγμένης απόστασης'' με απεικόνιση των δύο σταθερών k, b (Bhandari, 1997).

Ένα μαθηματικό μοντέλο ανηγμένης απόστασης αυξάνει την αξιοπιστία του όταν ο συντελεστής:

- Συσχέτισης, τείνει στο 1 και,
- Σφάλματος εκτίμησης, στο 0.

Το πιο σημαντικό στοιχείο που προκύπτει από ένα αξιόπιστο μαθηματικό μοντέλο ''ανηγμένης απόστασης'', είναι η σχέση του που συνδέει την ταχύτητα δόνησης με τις δύο κύριες παραμέτρους της ανατίναξης:

1) Ποσότητα γόμωσης ανά χρόνο επιβράδυνσης (max kg/XE) και,
2) Απόσταση της ανατίναξης από το σημείο αναφοράς (ή σταθμό μέτρησης).

Δικαιολογημένα λοιπόν το μαθηματικό μοντέλο ''ανηγμένης απόστασης'' αποτελεί την δονημετρική ταυτότητα της περιοχής μετρήσεων- ανατινάξεων.

Πρακτικά εξασφαλίζει μια εύχρηστη υπολογιστική βάση, ικανή να δίνει γρήγορες και αξιόπιστες απαντήσεις σε εναλλακτικά σενάρια σχεδιασμού ανατινάξεων ή σε βασικά κύρια ερωτήματα όπως:

- Ποια είναι η επιτρεπόμενη ποσότητα γόμωσης ανά χρόνο επιβράδυνσης μιας σχεδιαζόμενης ανατίναξης, ώστε δεδομένης της απόστασης της από το σημείο αναφοράς (κτίριο, κατασκευή, αρχαιολογικό μνημείο) η αναμενόμενη μέγιστη ταχύτητα δόνησης να μην υπερβαίνει την μέγιστη επιτρεπόμενη ή αποδεκτή τιμή.
- Ποια η αναμενόμενη μέγιστη ταχύτητα δόνησης μιας ανατίναξης δεδομένης της απόστασης από το σημείο μέτρησης και της μέγιστης ποσότητας γόμωσης ανά χρόνο επιβράδυνσης.

Κατά αυτόν τον τρόπο η μεθοδολογία αυτή προσφέρει μια συντηρητική μεν, αλλά ικανοποιητικά ασφαλή προσέγγιση για τον ζητούμενο σχεδιασμό ανατίναξης (Μπαλικτσής και Κατσαμπάνης, 2000, Μπαλικτσής κ.ά., 2003).

Σε επόμενο κεφάλαιο θα γίνει αναλυτική προσέγγιση στην χρήση του μαθηματικού μοντέλου ΄΄ανηγμένης απόστασης ‘’ προκειμένου για υπόγειες ανατινάξεις, θα εκτιμηθεί η αξιοπιστία του, καθώς και η χρηστικότητα του στην πραγματικότητα ενός τεχνικού έργου, λαμβάνοντας υπόψη το πλήθος των παραμέτρων που δεν μπορούν να ενσωματωθούν σε αυτό.

3.8 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΡΟΚΑΛΟΥΜΕΝΕΣ ΔΟΝΗΣΕΙΣ ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΑΝΑΤΙΝΑΞΕΩΝ – ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ

Ο Κανονισμός Μεταλλευτικών και Λατομικών εργασιών του 1984 στο άρθρο 84 με σκοπό να προστατεύσει από ενδεχόμενες ζημιές κατοικίες από τις προκαλούμενες από τις ανατινάξεις δονήσεις, έθετε ως κριτήριο προκλήσεως ζημιάς την μέγιστη ταχύτητα δόνησης των σωματιδίων του εδάφους στον χώρο κατασκευής καθορίζοντας ως μέγιστη ασφαλή τιμή τα 50 mm/s.

Από μελέτες που έγιναν στην συνέχεια έχει γίνει πλέον διεθνής η αναγνώριση ότι πέραν της μέγιστης ταχύτητας εδαφικής δόνησης, η συχνότητα του κυματοπαλμού αποτελεί τη δεύτερη παράμετρο που υπεισέρχεται στο πρόβλημα της προστασίας των κατασκευών από τις προκαλούμενες δονήσεις εξαιτίας των ανατινάξεων (Τσουτρέλης κ.α., 3ο Συνέδριο Ορυκτού Πλούτου, 2000).

Από τον Ιούνιο του 2011 ο ΚΜΛΕ αναθεωρήθηκε. Στο άρθρο 88 (ΦΕΚ 1227/Β/14.6.2011) υιοθετήθηκε το Γερμανικό πρότυπο DIN4150 ως διεθνές κριτήριο ελέγχου επικινδυνότητας των προκαλούμενων δονήσεων.

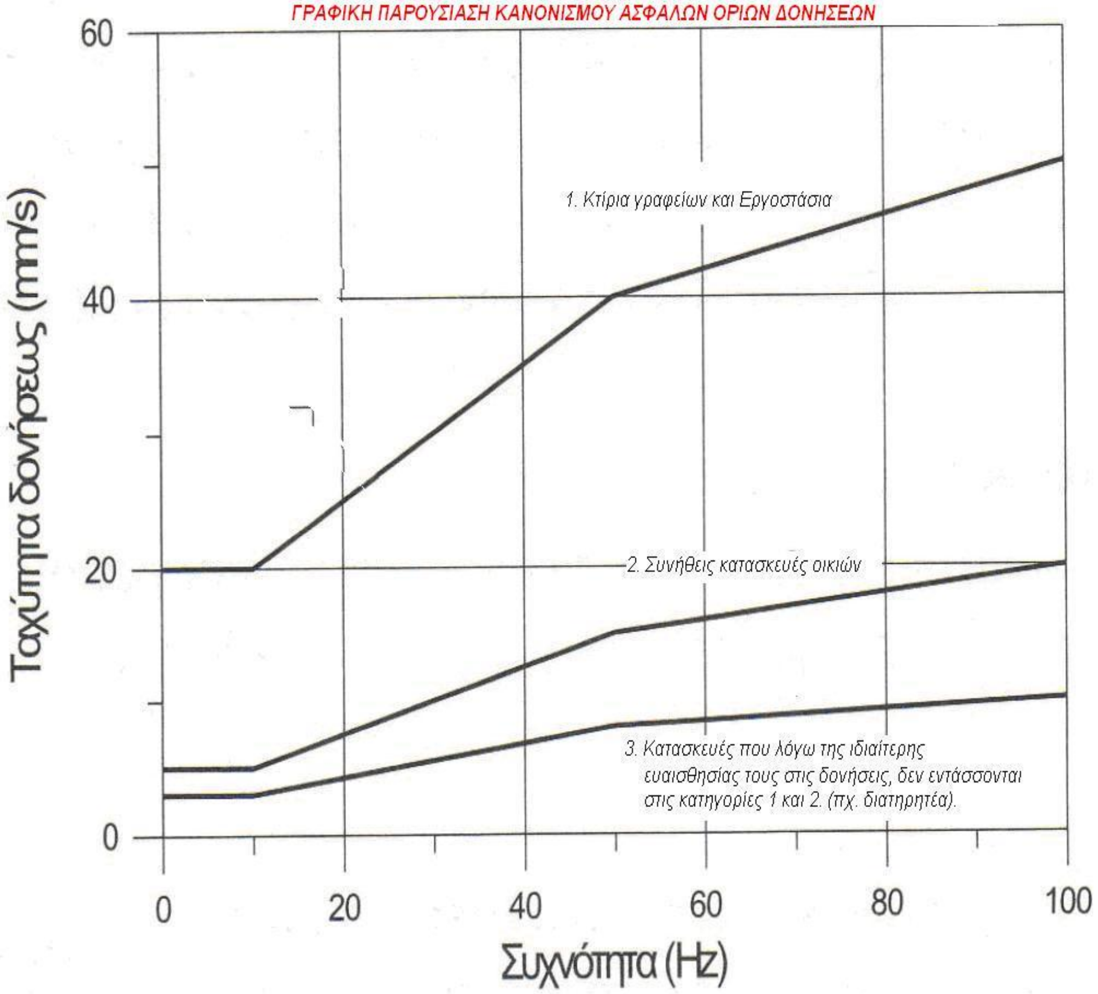
Με την παρούσα τροποποίηση οι αξιολογήσεις και οι συσχετισμοί γίνονται με βάση τις Γερμανικές προδιαγραφές που είναι πλέον Εθνικές προδιαγραφές και σύγχρονος – σημερινός κανονισμός.

Δύο κύριες διεθνώς αποδεκτές προδιαγραφές είναι:

- Οι Γερμανικές προδιαγραφές DIN4150 και
- Οι Αμερικάνικες USBM RI8507/OSM.

Οι Γερμανικές προδιαγραφές DIN4150 που υιοθετήθηκαν για την αξιολόγηση των εδαφικών δονήσεων στο Έργου ΜΚΣ στα Τέμπη είναι ιδιαίτερα αυστηρές και επιβεβαιώθηκε ότι ήταν σκόπιμη και επιβεβλημένη η χρησιμοποίηση τους.

Στην παρούσα Διπλωματική εργασία, η εξέταση στις καταγραφές των εδαφικών δονήσεων και η μετέπειτα αξιολόγηση τους, έγινε με βάση το Γερμανικό πρότυπο DIN4150. Το κριτήριο DIN4150 απεικονίζεται στο σχήμα 3.5 και στον πίνακα 3.1.



Σχήμα 3.5- Γραφική παρουσίαση του Γερμανικού κανονισμού ασφαλών ορίων δονήσεων του εδάφους DIN4150.

Πίνακας 3.1- Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές ταχύτητας δονήσεως σε συνάρτηση με την συχνότητα για τρεις κατηγορίες κατασκευών με βάση το κριτήριο DIN4150.

Line	Type of Structure	Vibration velocity, v_i in mm/s			
		Foundation			Plane of floor of uppermost full story
		At a Frequency of			Frequency mixture
		1-10 Hz	10 - 50 Hz	50 - 100*Hz	
1	Buildings used for commercial purpose Industrial buildings and buildings of similar design	20	20 to 40	40 to 50	40
2	Dwellings and buildings of similar design and/or use	5	5 to 15	15 to 20	15
3	Structures that, because of their particular sensitivity to vibration, do not correspond to those listed lines 1 and 2 and are of great intrinsic value (e.g. Buildings that are under preservation order)	3	3 to 8	8 to 10	8
*) For frequencies above 100 Hz at least the values specified in the column shall be applied.					

Μια κατασκευή θεωρείται ασφαλής όταν οι μετρούμενες μέγιστες τιμές ταχύτητας εδαφικής δόνησης συναρτήσει της συχνότητας, βρίσκονται κάτω από την αντίστοιχη καμπύλη του διαγράμματος (Σχήμα 3.5).

Πιο συγκεκριμένα, στα πλαίσια υλοποίησης του Έργου ΜΚΣ στα Τέμπη, η διάνοιξη της σήραγγας T2S έλαβε χώρα πλησίον αρχαιολογικού χώρου και συγκεκριμένα σε κοντινή απόσταση από το Βυζαντινό Μνημείο ‘’Κάστρο της Ωριάς’’. Η κατασκευή αυτή κατατάσσεται στην τρίτη (κατώτατη) καμπύλη (ή L3) του διαγράμματος (Σχήμα 3.5), καθώς εμφανίζει ιδιαίτερη ευαισθησία στις εδαφικές δονήσεις οι οποίες προκαλούνται από τις ανατινάξεις διάνοιξης της Σήραγγας T2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΛΕΓΧΟΣ – ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΔΟΝΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ''ΚΑΣΤΡΟ ΤΗΣ ΩΡΙΑΣ''

4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ-ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΜΚC

Ο Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου (Μαλιακός – Κλειδί ή MKC Project) ξεκινάει από το Κλειδί Ημαθίας και καταλήγει στις Ράχες (μετά το πέταλο Μαλιακού). Τα πιο σημαντικά τμήματα του έργου είναι οι δίδυμες Σήραγγες περιοχής Τεμπών-Πλαταμώνα, γνωστές και ως Τ1, Τ2, Τ3, συνολικού μήκους 22km. Καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος του υπό κατασκευήν Αυτοκινητόδρομου στο τμήμα από τον οικισμό Ευαγγελισμού Λάρισας μέχρι την Σκοτίνα Πιερίας.

Η Σήραγγα Τ1 βρίσκεται στις αρχές της κοιλάδας των Τεμπών στην περιοχή Ευαγγελισμού με Χ.Θ 378+320 – 380+320 και έχει μήκος 1,9 km.

Η Τ2 είναι η μεγαλύτερη οδική Σήραγγα στην Ελλάδα και στα Βαλκάνια με μήκος 6,1 km και Χ.Θ 381+290 – 387+280. Διασχίζει τα Στενά των Τεμπών στο ύψος των Αμπελακίων.

Τέλος, η σήραγγα Τ3 βρίσκεται στην περιοχή Πλαταμώνα Τεμπών και κάτω από τον οικισμό Ν. Παντελεήμονα με μήκος 3,2 km και Χ.Θ 401+140 – 404+410 (Σχήμα 4.1).

Σχήμα 4.1- Χάραξη νέας εθνικής οδού (Μπαλικτσής, 2010)

Η κατασκευαστική Κ/Ξ ΜΚC, είχε την ευθύνη, αρμοδιότητα και διαχείριση όλων των κατασκευαστικών εργασιών του Αυτοκινητοδρόμου.

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στη σήραγγα Τ2. Το νότιο τμήμα της, το οποίο ονομάζεται T2S (πλευρά εισόδου) είχε ανατεθεί στην ΑΕΓΕΚ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΑΤΕ και το βόρειο τμήμα της ή T2N (πλευρά εξόδου) στην κοινοπραξία Κ/Ξ ΟΛΥΜΠΙΑ (ΑΚΤΩΡ-HOCHTIEF).

Την 30η Μαΐου 2011 ολοκληρώθηκε η διάνοιξη στα δύο μέτωπα μετά από 2 χρόνια και 9 μήνες εργασιών. Οι εργασίες στην σήραγγα ξεκίνησαν τον Αύγουστο του 2008 και από τα δύο μέτωπα ταυτόχρονα. Η ΜΚC έχει αναλάβει να ολοκληρώσει ένα νευραλγικό έργο που στόχο του έχει να εξαλείψει κατ’ εξοχήν επικίνδυνα σημεία της οδικής σύνδεσης Αθήνας- Θεσσαλονίκης. Πρόκειται για έργο τεράστιας εθνικής σημασίας με μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα κοινωνικά-οικονομικά οφέλη για ολόκληρη την χώρα. Η διάνοιξη της μεγαλύτερης σήραγγας των Βαλκανίων εντός του χρονοδιαγράμματος που είχε τεθεί, αποτελεί ίσως το μεγαλύτερο επίτευγμα των κατασκευαστικών εταιριών, αφού με την λειτουργία αυτής της σήραγγας παρακάμπτεται πλέον η κοιλάδα την Τεμπών.

Η σήραγγα Τ2 αποτελείται από δύο κλάδους (δίδυμη Σήραγγα), έναν για κάθε κατεύθυνση κυκλοφορίας, διαθέτει δύο κατακόρυφα φρέατα και μια οριζόντια σήραγγα αερισμού. Κάθε κλάδος έχει πλάτος δαπέδου 14,7 m, διαθέτει δύο λωρίδες κυκλοφορίας και μία ΛΕΑ. Το συνολικό ύψος ανέρχεται σε 10,5 m.

Η εκσκαφή - διάνοιξη έγινε στο μεγαλύτερο μήκος της με ανατινάξεις. Οι εργασίες εκσκαφής που ολοκληρώθηκαν εντός του προβλεπόμενου χρονοδιαγράμματος αφορούσαν σε συνολικό όγκο πάνω από 1.620.000 m^3. Για προσωρινή υποστήριξη χρησιμοποιήθηκαν πάνω από 80.000 m^3 σκυροδέματος και για την τελική επένδυση στο 80% της, χρησιμοποιήθηκαν πάνω από 250.000 m^3 σκυροδέματος (όσο περίπου χρειάζονται για την κατασκευή 1500 μονοκατοικιών).

4.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

4.2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ

Η περιοχή εκτέλεσης του έργου σύμφωνα με τον χάρτη του ΙΓΜΕ (1987) – Φύλλο ''Ραψάνη'', τις βιβλιογραφικές αναφορές και τις παρατηρήσεις της επιτροπής του ΤΕΕ, αποτελείται από τεφρούς έως μελανότεφρους κρυσταλλικούς ασβεστολίθους Μεσοζωικής έως Ηωκαινικής ηλικίας, πτυχώμενους και έντονα διερρηγμένους, με εμφανή τα ίχνη της καρστικής διεργασίας που έχουν υποστεί. Οι ασβεστόλιθοι αυτοί εντάσσονται στο τεκτονικό παράθυρο της ενότητας Όσσας-Ολύμπου και εμφανίζονται λεπτο-μεσοστρωματώδεις ή με ατελή στρώση. Κατά θέσεις εντοπίζονται παρεμβολές φυλλιτών που συχνά παίρνουν την μορφή ενστρώσεων πάχους μέχρι και 50 m. Η κλίση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων είναι μικρή και γενικώς αντίρροπη σε σχέση με το πρανές.

Σύμφωνα με τους Ανδρονόπουλο - Κούκη (1979) τα ρήγματα είναι σχεδόν κατακόρυφα, έχουν κατά κανόνα διεύθυνση ΒΑ/κή –ΝΔ/κή έως Α/κή –Δ/κή, παρατηρούνται όμως και ρήγματα που τέμνουν εγκάρσια τα προηγούμενα, έχουν δηλαδή διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Αυτά τα ρήγματα εκτιμάται ότι έχουν παίξει σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση του σημερινού αναγλύφου, αλλά και στις συνθήκες ευστάθειας. Πάνω στην σειρά των ασβεστολίθων έχουν επωθηθεί κατά το Ηώκαινο οι σχηματισμοί της ενότητας των Αμπελακίων, αποτελούμενοι κυρίως από μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους, αμφιβολίτες, γνεύσιους και μάρμαρα. Οι σχηματισμοί αυτοί εμφανίζονται στο νότιο τμήμα της κοιλάδας.

4.2.2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Η κοιλάδα των Τεμπών έχει διαμορφωθεί ως μια ρηξιγενής ζώνη με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ/κή κατά μήκος του Πηνειού ποταμού, που διατρέχει την περιοχή και εκφορτίζει τις επιφανειακές απορροές του Θεσσαλικού κάμπου προς την θάλασσα. Οι δευτερεύοντες υδρογραφικοί άξονες έχουν διεύθυνση κάθετη στον κύριο άξονα του Πηνειού. Τα ύψη στα οποία αναπτύσσεται το φυσικό ανάγλυφο των κλιτύων κυμαίνονται από 10 έως 350 m περίπου με μορφολογικές κλίσεις που κυμαίνονται από 20^o έως 75^o περίπου. Η υπάρχουσα Εθνική Οδός κινείται σε υψόμετρα από 13-50m στο απότομο δεξιό (ανατολικό) πρανές όπου αναπτύσσονται ακόμα και αρνητικές κλίσεις (Γκαζέτας, 2010).

4.3 ΒΥΖΑΝΤΙΝΟ ΜΝΗΜΕΙΟ ''ΚΑΣΤΡΟ ΩΡΙΑΣ''

4.3.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Κατά την παράδοση, στην κοιλάδα των Τεμπών είχε αυτοεξοριστεί ο θεός Απόλλωνας όταν σκότωσε το τέρας Πύθωνα στους Δελφούς. Για τους αρχαιότερους χρόνους η κοιλάδα των Τεμπών είχε στρατηγική σημασία γιατί ήταν μοναδικό πέρασμα από την βόρεια προς την νότια Ελλάδα. Γι' αυτό την είχαν οχυρώσει με ισχυρά φρούρια. Λείψανα από τα οχυρά σώζονται κοντά στο στόμιο των Τεμπών, στην όχθη όπου βρισκόταν η αρχαία πόλη Γόννη. Άλλα λείψανα οχυρού βρίσκονται σε απότομο βράχο πάνω από τον σημερινό δρόμο.

Η παραπάνω αναφορά γίνεται στο Κάστρο της Ωριάς (Εικόνα 4.1) τα ερείπια του οποίου σωζόμενου πύργου, βρίσκονται σε μια κορυφή της δυτικής κατακόρυφου παρειάς ενός βαθύτατου φαραγγιού στην πλευρά του Κισσάβου, σε απόσταση 6 km ΒΑ κάτω από το δάσος του προφήτη Ηλία, στην περιοχή Αμπελακίων. Οι δυο σχεδόν κατακόρυφες παρειές αυτού του φαραγγιού δημιουργούν εκεί ένα αμφιθεατρικό άνοιγμα.

Ο πύργος είχε αμυντικό χαρακτήρα αφού από κει επόπτευαν τα Στενά των Τεμπών. Το σύστημα άμυνας του Κάστρου αποτελούνταν από δύο περιβόλους σε διαφορετικά επίπεδα, εκ των οποίων το άνω που βρισκόταν στην κορυφή του βράχου είχε κατεξοχήν την εποπτεία της διάβασης. Η θέση του Κάστρου της Ωριάς δημιούργησε τον μύθο της ωραίας νεαρής βασιλοπούλας που πέφτει από κει πάνω για να γλιτώσει από τα χέρια των Τούρκων. Η προσπέλαση στο Κάστρο σήμερα είναι πολύ εύκολη. Η κοινότητα Αμπελακίων κατασκεύασε δρόμο από τα Αμπελάκια μέχρι το χείλος του γκρεμού όπου βρίσκεται το Κάστρο παρακάμπτοντας το παλιό μονοπάτι που οδηγούσε εκεί μέσω Προφήτη Ηλία.

Εικόνα 4.1- Κάστρο Ωριάς

4.3.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Παρατηρώντας το Κάστρο της Ωριάς διαπιστώνεται ότι πρόκειται για ένα πύργο προσεγμένης κατασκευής, κτισμένο με πέτρες γκρίζου ασβεστολίθου μεταφερμένες από κοντινό λατομείο που ως συνδετικό υλικό έχει πλούσιο λευκό ασβεστοκονίαμα. Μεταξύ των λίθων είναι εντοιχισμένα και κομμάτια κεραμίδων κάνοντας την κατασκευή πιο συμπαγή λόγω της μεγάλης συνεκτικότητας μεταξύ κεράμων και ασβεστοκονιάματος. Μια κατασκευή που φαίνεται καθαρά ότι έχει οικοδομηθεί εξολοκλήρου μια συγκεκριμένη περίοδο χωρίς νεότερες επισκευές και βελτιώσεις σε κανένα σημείο της.

Οι εξωτερικές διαστάσεις είναι 6,30 X 6,10 m με πάχος τοίχων 1,20 – 1,30 m και μέγιστο σωζόμενο ύψος 6,15 m στο ανατολικό άκρο του βορινού τοίχου (Εικόνα 4.2). Εσωτερικά το εμβαδόν του χώρου είναι 15 m^2.

Χαρακτηριστικό είναι ότι οι δύο τοίχοι που βρίσκονται βόρεια και ανατολικά έφεραν κατά μήκος του τοίχου οριζόντια χοντρές ξύλινες δοκούς στο ύψος του πατώματος του Α και Β ορόφου αντίστοιχα. Στις οπές που διακρίνονται υπήρχαν χοντρά δοκάρια το ένα μέσα στο πάχος του τοίχου και τα άλλα διαπερνούσαν τον ένα τοίχο μέχρι τον απέναντι και έτσι στήριζαν στατικά τον πύργο αλλά και τα ξύλινα πατώματα του.

Ο πύργος φαίνεται τελείως απομονωμένος χωρίς να υπάρχουν άλλα κτίσματα ή οποιαδήποτε σημάδια κάποιας κατοίκησης στον χώρο. Το μόνο που διακρίνεται είναι ένα κακοκτισμένο προτείχισμα καμωμένο από λίθους τοποθετημένους χωρίς επιμέλεια και χωρίς συνδετικό υλικό, σχεδόν ολοκληρωτικά κατεστραμμένο (Αμπελάκια Τέμπη, Ιστορική αναδρομή- Προοπτικές, 2004).

Εικόνα 4.2- Κάστρο Ωριάς

4.4 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΟΝΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΒΥΖΑΝΤΙΝΟ ΜΝΗΜΕΙΟ ‘’ΚΑΣΤΡΟ ΩΡΙΑΣ’’

4.4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η εταιρεία ΕΞΟΡΥΞΗ ΑΕ ανέλαβε να υλοποιήσει πρόγραμμα ελέγχου καταγραφής δονήσεων από τις ανατινάξεις διάνοιξης των 3 σηράγγων του έργου ΜΚΣ. Η συλλογή και αξιολόγηση αξιόπιστων δεδομένων καταγραφών, προτάθηκε και υιοθετήθηκε από την Κ/Ξ ΜΚΣ, ως ο ασφαλέστερος και πλέον τεκμηριωμένος τρόπος πρόληψης – αποφυγής δυσμενών επιπτώσεων και βλαβών από τις δονήσεις των ανατινάξεων διάνοιξης των Σηράγγων του Έργου.

Η έναρξη του δονημετρικού ελέγχου που αφορούσε στο Βυζαντινό μνημείο ‘’Κάστρο Ωριάς’’ εξαιτίας των ανατινάξεων διάνοιξης της Σήραγγας Τ2 (και κυρίως της

T2S), ξεκίνησε ως πρώτη φάση τον Νοέμβριο του 2009 ενώ η δεύτερη φάση τον Μάρτιο του 2010. Κατά την διάνοιξη υλοποιήθηκαν ανατινάξεις Α’ φάσης (άνω τμήμα διατομής) και Β’ φάσης (κάτω τμήμα διατομής) σε ασβεστολιθικό πέτρωμα.

Σε μεγάλο τμήμα της Σήραγγας T2S, κυρίως από την έναρξη της από το Στόμιο Εισόδου, οι εργασίες διάνοιξης γινόταν με μηχανικά μέσα, σε μαλακό σχηματισμό, κυρίως φυλλίτες. Τα μέτωπα ανατινάξεων διάνοιξης της σήραγγας απείχαν κατά τον Δεκέμβριο 2010 περίπου 800 m από το πλησιέστερο πρανές του υφιστάμενου αυτοκινητόδρομου (Μπαλικτσής, 2010).

Επιπρόσθετα, το Κάστρο της Ωριάς αποτελούσε μια εκτεταμένη αρχαιολογική περιοχή η οποία περιελάμβανε και ένα εξωτερικό περιτοίχισμα σε επαφή με την σημερινή Εθνική οδό (ΠΑΘΕ) στο οποίο είχε εγκατασταθεί ολοκληρωμένο σύστημα δονημετρικού ελέγχου. Στο τοιχείο αυτό, δόθηκε και εστίαση στην καταγραφή της αέριας δόνησης από την κυκλοφορία της Εθνικής οδού (διέλευση βαρέων οχημάτων). Από τα ολοκληρωμένα συστήματα καταγραφών, διαπιστώθηκε ότι οι ανατινάξεις διάνοιξης δεν αποτέλεσαν αιτία για υψηλές καταγραφές βάσει κριτηρίων ασφαλείας.

4.4.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΔΟΝΗΣΕΩΝ

Για τον έλεγχο – καταγραφή των προκαλούμενων εδαφικών δονήσεων, η ΕΞΟΡΥΞΗ ΑΕ, χρησιμοποιούσε ψηφιακούς δονησιογράφους, του Καναδικού οίκου INSTANTEL (Εικόνα 4.3)

Εικόνα 4.3- Δονησιογράφος INSTANTEL, τύπου MiniMate Plus, με εξωτερικό τριαξονικό γεώφωνο, μέσα σε κουτί φύλαξης – προστασίας.

Οι εν λόγω δονησιογράφοι είναι 4καναλικοί και έχουν δυνατότητα μέτρησης-καταγραφής στην θέση εγκατάστασης τους, της ταχύτητας εδαφικής δόνησης (PPV) σε 3 συνιστώσες (διαμήκη, κάθετη, κατακόρυφη) (Εικόνα 4.3), καθώς και της αέριας δόνησης.

Οι καταγραφές κυμαίνονται σε ένα εύρος τιμών με ελάχιστη τιμή το επιλεγμένο όριο ενεργοποίησης του οργάνου και μέγιστη τιμή 31,7 mm/s που για τις συγκεκριμένες ρυθμίσεις του δονησιογράφου, αποτελούσε το άνω φράγμα τιμών στις καταγραφές. Θεωρήθηκε ως μια τιμή αρκετά υψηλή καθώς τα συμβάντα που θα προκαλούσαν ενεργοποιήσεις - καταγραφές, βρισκόταν σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα, αν αναλογιστεί κανείς ότι οι τιμές PPV που καταγράφτηκαν από τις ανατινάξεις και δόθηκαν για επεξεργασία στα πλαίσια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής δεν υπερβαίνουν τα 3 mm/s.

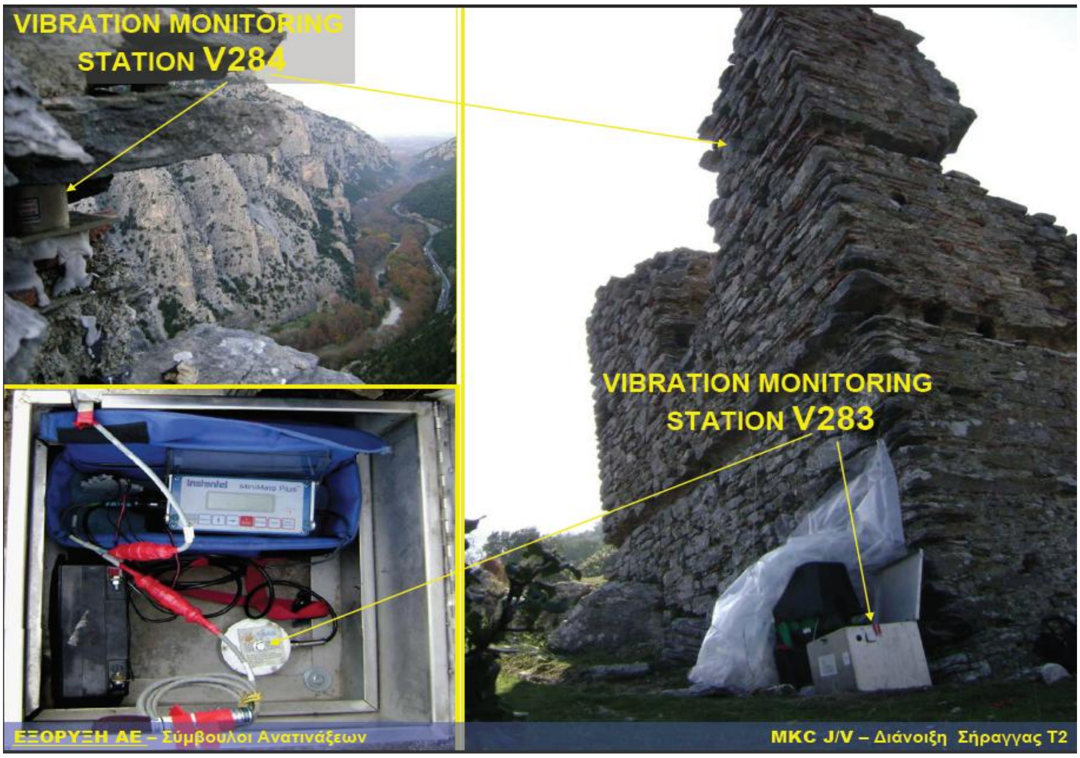
Εικόνα 4.4- Τριαξονικό γεώφωνο καταγραφής εδαφικών δονήσεων.

4.4.3 ΘΕΣΕΙΣ ΔΟΝΗΣΙΟΓΡΑΦΩΝ (ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ)

Στο Βυζαντινό μνημείο τοποθετήθηκε και λειτουργούσε επί 24ωρης βάσης ομάδα σταθμών μέτρησης και καταγραφής δονήσεων. Χρησιμοποιήθηκε ένα 8καναλικό σύστημα δονημετρικού ελέγχου με το οποίο γινόταν συνεχής καταγραφή δονήσεων. Περιελάμβανε 2 τριαξονικά γεώφωνα.

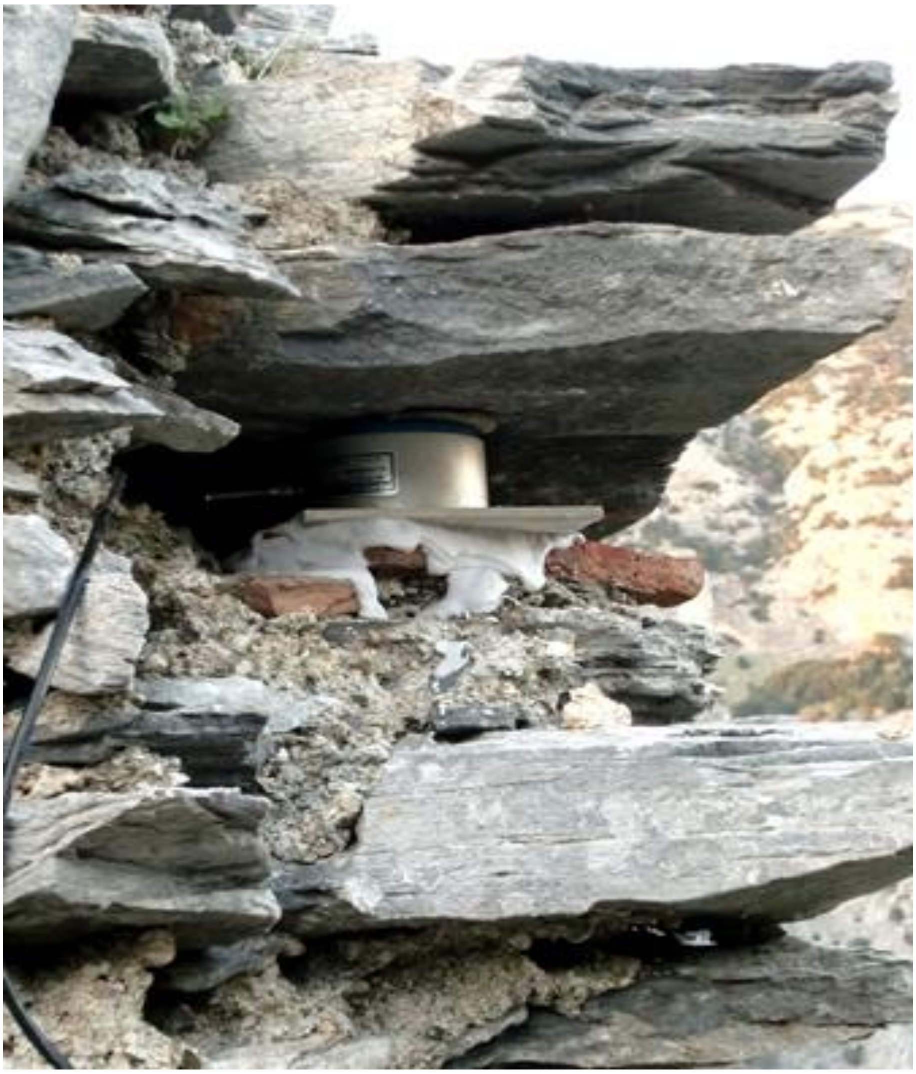
Η τοποθέτηση του ενός γεωφώνου έγινε στην βάση (γεωλογικό σχηματισμό) θεμελίωσης του Κάστρου (σταθμός μέτρησης με κωδικό V283) και του άλλου στην ανωδομή (αντίστοιχα V284), όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.5. Όπως είναι φυσικό και αναμενόμενο καταγράφηκαν υψηλότερες τιμές ταχυτήτων εδαφικής δόνησης στο γεώφωνο της ανωδομής το οποίο εξαιτίας του σημείου που ήταν εγκατεστημένο ήταν πιο ‘’ευαίσθητο’’ σε καταγραφές δονήσεων, διαθέτοντας μεγαλύτερη ‘’ελευθερία’’ και εντονότερη τάση για ταλάντωση σε σχέση με το γεώφωνο στη βάση θεμελίωσης.

Ο σταθμός μέτρησης με κωδικό V283 τοποθετήθηκε στην βάση του μνημείου και ο αντίστοιχος V284 στην ανωδομή του (Σχήμα 4.5). Πρόκειται για 2 σταθμούς μέτρησης συνεχούς καταγραφής δονήσεων.



Εικόνα 4.5- Θέση σταθμών μέτρησης V283 και V284 στο Βυζαντινό μνημείο ‘’Κάστρο Ωριάς’’

Εικόνα 4.6 – Σταθμός μέτρησης V283 στην βάση θεμελίωσης



Εικόνα 4.7 – Σταθμός μέτρησης V284 επί της ανωδομής

Η επεξεργασία των δεδομένων από τις καταγραφές έγινε με το λογισμικό Blastware της INSTANTEL και παρουσιάζονται σε διαγράμματα στα οποία απεικονίζονται αναλυτικά οι τιμές ταχυτήτων εδαφικής δόνησης στις 3 συνιστώσες καταγραφών (εγκάρσια, διαμήκη, κατακόρυφη). Επιπλέον, δίνεται και η δυνατότητα υπολογισμού μέσω διαγραμμάτων FFT (Fast Fourier Transform) της δεσπόζουσας συχνότητας εδαφικής δόνησης για κάθε συνιστώσα. Τυπική αναφορά καταγραφής δονησιογράφου για τους σταθμούς μέτρησης V283 και V284 απεικονίζεται παρακάτω (Σχήμα 4.6)

Date/Time	Vert2 at 02:28:48 October 5, 2010	**Serial Number**	BE7389 V 10.06-8.17 MiniMate Plus/8
Trigger Source	Geo 2:	**Battery Level**	6.8 Volts
Range	Geo: 31.7 mm/s	**Unit Calibration**	February 11, 2010 by Instantel Inc.
Record Time	10.25 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps	**File Name**	I389DFYE.W00
Job Number:			

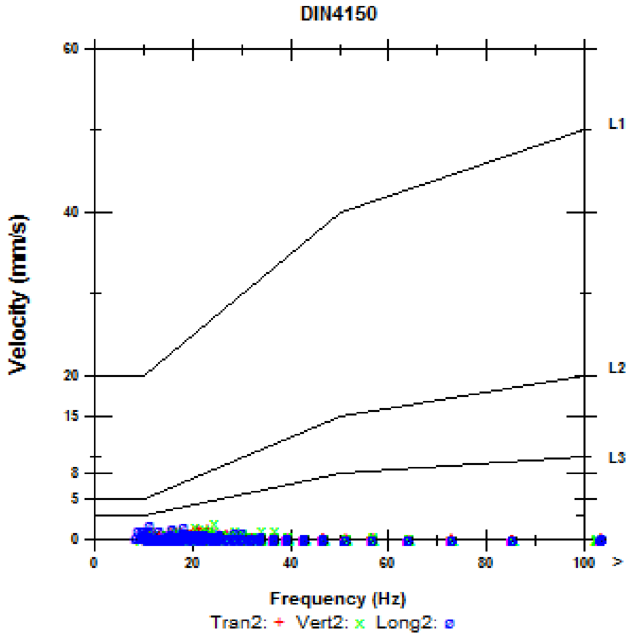
Notes
Location: V283 - V284
Client: MKC - TUNNEL T2
User Name:
General: BLAST VIBRATION MONITORING PROGRAM

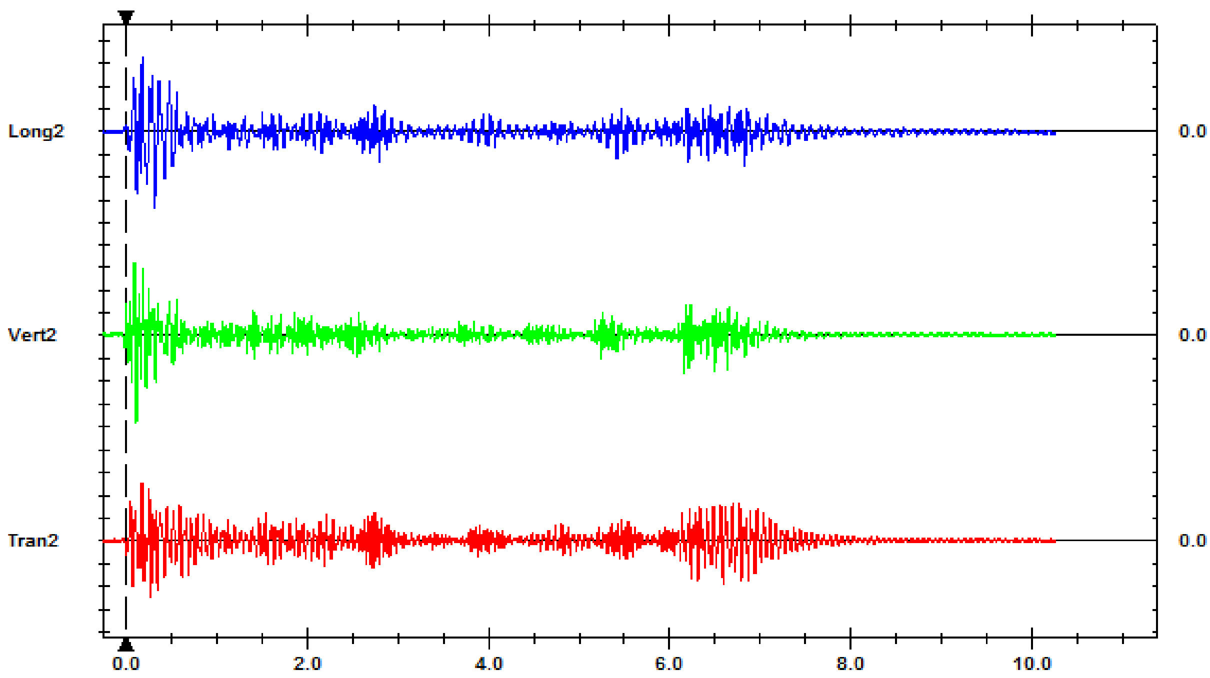
Post Event Notes
B

Extended Notes
V283 - V284 - BLAST VIBRATION MONITORING PROGRAM
AT THE REMAININGS OF ORIA'S CASTLE'S TOWER ON THE HILL

	Tran2	Vert2	Long2	
PPV	1.27	1.94	1.70	mm/s
ZC Freq	21	24	11	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.177	0.114	0.317	sec
Peak Acceleration	0.0199	0.0298	0.0215	g
Peak Displacement	0.00929	0.0116	0.0206	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 2.33 mm/s at 0.115 sec





Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 0.500 mm/s/div
Trigger =

Σχήμα 4.6- Τυπική αναφορά δονησιογράφου μέσω λογισμικού BlastWare της INSTANTEL.

ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ και ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΡΓΑΝΟΥ (setups)

Date/Time	Προέλευση, ώρα και ημερομηνία ενεργοποίησης
Trigger Source	Πηγή και όριο εκκίνησης - ενεργοποίησης δονησιογράφου γεώφωνο, όριο ενεργοποίησης ταχύτητα δόνησης .... mm/sec μικρόφωνο, όριο ενεργοποίησης ένταση .... dB(L)
Range	Κλίμακα μέτρησης (μέγιστη τιμή)
Record Time	Χρόνος - διάρκεια καταγραφής
Serial Number	Αριθμός σειράς οργάνου,έκδοση προγράμματος,τύπος οργάνου
Battery Level	Στάθμη μπαταρίας
Calibration	Ελεγχος, ρύθμιση οργάνου
File Name	Κωδικός αρχείου εγγραφής στοιχείων δονημετρικού ελέγχου
Scaled Distance	Σχέση γομώσεως - αποστάσεως (αυτόματος υπολογισμός από το πρόγραμμα, όταν δίδονται στοιχεία)
Notes	Σημειώσεις - παρατηρήσεις
Location:	Θέση
Client:	Πελάτης - επωνυμία εταιρίας
User Name:	Χειριστής - υπεύθυνος δονησιογράφου
Converted:	Ημερομηνία και ώρα μετατροπής εγγραφής από σειρά II σε III
Extended Notes	Χώρος εκτεταμένων σημειώσεων (εισάγονται πρίν την εγκατάσταση και εγγραφή)
Post Event Notes	Σημειώσεις που εισάγονται μετά την εγγραφή

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΜΙΚΡΟΦΩΝΟΥ (δόνηση - πίεση αέρος, θόρυβος)

Microphone	Ρύθμιση - είδος εγγραφής μικροφώνου
PSPL	Μέγιστη τιμή εγγραφής μικροφώνου (θόρυβος, πίεση αέρος)
ZC Freq	Συχνότητα μέγιστης τιμής (Hz)
Channel Test	Αυτοέλεγχος καναλιού μικροφώνου (ένδειξη Passed όταν περνάει επιτυχώς το τέστ)

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΓΕΩΦΩΝΟΥ (δόνηση εδάφους)

PPV	Μέγιστη ταχύτητα ταλάντωσης (δόνησης) σωματιδίου (mm/sec) στη θέση μετρήσεως, ανάλυση στις τρείς συνιστώσες: **Tran** εγκάρσια συνιστώσα, στο οριζόντιο επίπεδο **Vert** κατακόρυφη συνιστώσα **Long** διαμήκης συνιστώσα, στο οριζόντιο επίπεδο
ZC Freq	Συχνότητα στην οποία διαπιστώνονται οι μέγιστες ταχύτητες (Hz
Time (Rel. to Trig)	Χρόνος που εντοπίζονται οι μέγιστες ταχύτητες, από την ενεργοποίηση του δονησιογράφου
Peak Acceleration	Μέγιστη μεταβολή επιτάχυνσης (g)
Peak Displacement	Μέγιστη μετατόπιση σημείου (mm)
Sensorcheck	Αυτοέλεγχος των 3 καναλιών του γεωφώνου (Passed: πέρασε επιτυχώς - Failed: απέτυχε στο τέστ)
Peak Vector Sum	Συνισταμένη ταχύτητα ταλάντωσης (δόνησης) και χρόνος που εντοπίζεται από την ενεργοποίηση του δονησιογράφου

Σχήμα 4.7- Υπόμνημα - επεξηγήσεις αναφοράς δονημετρικού ελέγχου (λογισμικό BlastWare-Instantel)

4.5 ΒΑΣΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΑΤΙΝΑΞΕΩΝ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ T2S

Κατά την διάνοιξη της σήραγγας T2S έλαβε χώρα μια αλληλουχία ανατινάξεων βάση προβλεπόμενης μελέτης σχεδιασμού που αφορούσε την Α και Β φάση προχώρησης μετώπου αντίστοιχα. Τα δεδομένα που αφορούσαν τις ανατινάξεις διάνοιξης και που δόθηκαν για μελέτη της παρούσας διπλωματικής, αντιστοιχούν σε ομοειδείς ανατινάξεις Α φάσης. Οι εργασίες διάνοιξης έγιναν κυρίως σε ασβεστολιθικό πέτρωμα με περιπτώσεις εμφάνισης φυλλιτών. Χρησιμοποιήθηκαν ως κύρια εκρηκτικά, ζελατοδυναμίτιδες και εκρηκτικά γαλακτώματα σε φυσίγγια διαμέτρου Ø38. Η έναυση πραγματοποιήθηκε με την χρήση μη ηλεκτρικών καψυλίων τύπου NONEL με καθολική εφαρμογή σε όλη την σήραγγα για λόγους ασφαλείας.

Στον Πίνακα 4.1 συνοψίζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της Α φάσης διάνοιξης.

Πίνακας 4.1- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και στοιχεία καθορισμού ανατίναξης Α’ φάσης διάνοιξης σήραγγας T2S

Διάμετρος διατρήματος	45 mm
Απόσταση S διατρημάτων	1 - 1,5 m
Πλάτος (δάπεδο)	14 ή 14,7 m
Εμβαδόν	89 – 93 m^2
Ύψος	7 ή 7,3 m
Βάθος (μήκος) διατρήματος	3,20 m
Μέθοδος ανατίναξης	Παράλληλα μεταξύ τους διατρήματα και κάθετα στο μέτωπο, με κεντρικό αγόμωτο μεγάλης διαμέτρου και διάταξη διατρημάτων προεκσκαφής και διεύρυνσης

Στους πίνακες 4.2 και 4.3 συγκεντρώνονται αναλυτικά οι ποσότητες γόμωσης και οι εκρηκτικές ύλες που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε χρόνο επιβράδυνσης (ΧΕ). Επιπρόσθετα, γίνεται αναφορά στις ομάδες διατρημάτων και στο αντίστοιχο πλήθος καψυλίων της κάθε μιας ξεχωριστά.

Πίνακας 4.2 - Κατανομή ποσοτήτων γόμωσης στους αντίστοιχους χρόνους επιβράδυνσης βάση σχεδιασμού διάνοιξης της σήραγγας T2S

Αριθμός περιόδου - No καψυλίου	*Ονομαστικός χρόνος επιβράδυνσης (msec)*	*Πλήθος καψύλιων - διατρημάτων*	*Φυσίγγια εκρ. γαλακτώματος (διαστ.38X380mm) ανά διάτρημα*	*Συνολικός αριθμός φυσιγγιων εκρ. γαλακτώματος*	*Ποσότητα γόμωσης (kg) με φυσίγγια εκρ. γαλακτώματος (0.5kg/φυσ.)*	*Φυσίγγια ζελατοδυναμίτιδος (διαστ.38X380mm) ανά διάτρημα*	*Ποσότητα γόμωσης (kg) με φυσίγγια ζελατοδυναμίτιδος (0.6kg/φυσ.)*	*Συνολική ποσότητα γόμωσης ή εκρηκτικών / Χρόνο Επιβράδυνσης (kg/ΧΕ)*
0	25	2	2X3	6	3	1	0,6	3,6
1	100	1	1X6	6	3	0,5	0,3	3,3
2	200	1	1X7	7	3,5	0,5	0,3	3,8
3	300	1	1X7	7	3,5	0,5	0,3	3,8
4	400	1	1X6	6	3	0,5	0,3	3,3
5	500	1	1X6	6	3	0,5	0,3	3,3
6	600	1	1X6	6	3	0,5	0,3	3,3
7	700	1	1X6	6	3	0,5	0,3	3,3
8	800	1	1X6	6	3	0,5	0,3	3,3
9	900	1	1X6	6	3	0,5	0,3	3,3
10	1000	4	4X6	24	12	2	1,2	13,2
12	1200	3	3X6	18	9	2	1,2	10,2
14	1400	4	2X6+2X5	22	11	2	1,2	12,2
16	1600	4	2X6+2X5	22	11	2	1,2	12,2
18	1800	4	2X7+2X6	26	13	2	1,2	14,2
20	2000	2	2X6	12	6	3	1,8	7,8
25	2500	5	2X6+3X5	27	13,5	2,5	1,5	15
30	3000	4	2X7+2X5	24	12	3	1,8	13,8
35	3500	4	4X5	20	10	3	1,8	11,8
40	4000	4	4X5	20	10	3	1,8	11,8
45	4500	8	8X5	40	20	3	1,8	21,8
50	5000	9	9X5	45	22,5	3	1,8	24,3
55	5500	7	7X7	49	24,5	3	1,8	**26,3**
60	6000	6	6X7	42	21	3	1,8	22,8
ΣΥΝΟΛΑ	-	***79***	-	*453*	*226,5*	*42*	*25,2*	***251,7***

Ομάδα διατρημάτων - περιοχή του μετώπου ανατίναξης	*Πλήθος καψυλίων*
Προεκσκαφή	11
Κύρια εκσκαφή	38
Περιμετρικά	17
Δαπέδου	13
ΣΥΝΟΛΟ	***79***

Πίνακας 4.3 – Σύνοψη ομάδων διατρημάτων και πλήθους καψυλίων με βάση τον προβλεπόμενο σχεδιασμό ανατίναξης διάνοιξης Α’ φάσης σήραγγας T2S

Με βάση τους πίνακες 4.2 και 4.3 παρατηρούνται τα εξής:

- Τα καψύλλια με N^{o} 1 έως 9 αντιστοιχούσαν στα διατρήματα *προεκσκαφής* και *διεύρυνσης*. Στην ομάδα αυτή, η μέγιστη ποσότητα γόμωσης αντιστοιχούσε στις επιβραδύνσεις των 200 και 300 ms.
- Στην *κύρια εκσκαφή* τοποθετήθηκαν καψύλλια Νο 10 – 40 σε σύνολο 38 διατρημάτων.
- Η μέγιστη ποσότητα γόμωσης ήταν τα 26.3 kg και αντιστοιχούσε στα καψύλλια N^{o} 55. Τα καψύλλια N^{o} 55 και N^{o} 60 χρησιμοποιήθηκαν για την έναυση των *διατρημάτων δαπέδου* και λόγω της κατανομής μεγάλων ποσοτήτων γόμωσης σε αυτά, έγιναν αιτία για τις καταγραφές των υψηλότερων τιμών ταχύτητας δόνησης.

- Η τιμή των 26.3 kg/XE αντιστοιχεί στα καψύλλια με N^{o} 55 και χρησιμοποιήθηκε στην δημιουργία των διαγραμμάτων ''ανηγμένης'' απόστασης που θα ακολουθήσουν, ως η τιμή που αντιπροσώπευε την μέγιστη ποσότητα γόμωσης/ XE στο σύνολο των kg της ανατίναξης.

Η εταιρεία ΕΞΟΡΥΞΗ ΑΕ πρότεινε αλλαγή στον σχεδιασμό των ανατινάξεων διάνοιξης της σήραγγας T2S με στόχο την ελαχιστοποίηση των προκαλούμενων εδαφικών δονήσεων. Με βάση την (απλούστερη και εύκολα υλοποιήσιμη) επέμβαση που επιλέχτηκε, οι ομάδες των καψυλλίων, δεν συνδέθηκαν να εναύονται ταυτόχρονα.

Το μέτωπο χωρίστηκε στην μέση (κατά τον κατακόρυφο άξονα της Σήραγγας) και η σύνδεση των δύο ομάδων έγινε με την προσθήκη ενός SL επιβραδυντή (των 17 ή 25 ms). Με τον σχετικά απλό αυτό τρόπο αυτό αυξήθηκαν (πρακτικά διπλασιάστηκαν) οι χρόνοι επιβράδυνσης και η μειώθηκε η ποσότητα γόμωσης ανά XE. Αυτό θεωρήθηκε ότι θα συνέβαλε στην μείωση των προκαλούμενων δονήσεων όπως και αποδείχτηκε. Η αλλαγή άρχισε να εφαρμόζεται την 27-10-2010 και η μέγιστη ποσότητα γόμωσης/XE μειώθηκε ''υπολογιστικά'' στα 15 kg/XE.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΟΝΗΣΕΩΝ ΑΝΑΤΙΝΑΞΕΩΝ

5.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΔΟΝΗΣΙΟΓΡΑΦΩΝ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΗΡΑΓΓΑΣ T2S

Το σύνολο των δεδομένων που δόθηκε για μελέτη, περιελάμβανε μετρήσεις από τις καταγραφές των δύο σταθμών μέτρησης (V283 και V284) που εγκαταστάθηκαν στο Κάστρο της Ωριάς για την χρονική περίοδο από 1-9 έως και 21-11-2010. Τα δεδομένα περιελάμβαναν πλήρεις αναφορές από κάθε ενεργοποίηση – καταγραφή δονησιογράφου, προερχόμενες από τις ανατινάξεις διάνοιξης της σήραγγας T2S (αριστερού και δεξιού κλάδου). Βασικό στοιχείο ήταν οι τιμές ταχύτητας εδαφικής δόνησης (PPV).

Οι καταγραφές οι οποίες ήταν διαθέσιμες για επεξεργασία προέρχονταν από 211 ανατινάξεις Α φάσης διάνοιξης. Υπήρχαν καταγραφές τιμών ταχυτήτων εδαφικής δόνησης και από τους 2 σταθμούς μέτρησης που είχαν εγκατασταθεί στο Κάστρο. Για κάθε ανατίναξη ξεχωριστά δόθηκαν οι αντίστοιχες καταγραφές τιμών ταχυτήτων εδαφικής δόνησης και για τις 3 συνιστώσες (Tran, Vert, Long). Εν συνεχεία από τις καταγραφές αυτές επιλέχτηκε για επεξεργασία η μέγιστη τιμή ταχύτητας εδαφικής δόνησης PPV (Peak Particle Velocity) για κάθε ανατίναξη ξεχωριστά.

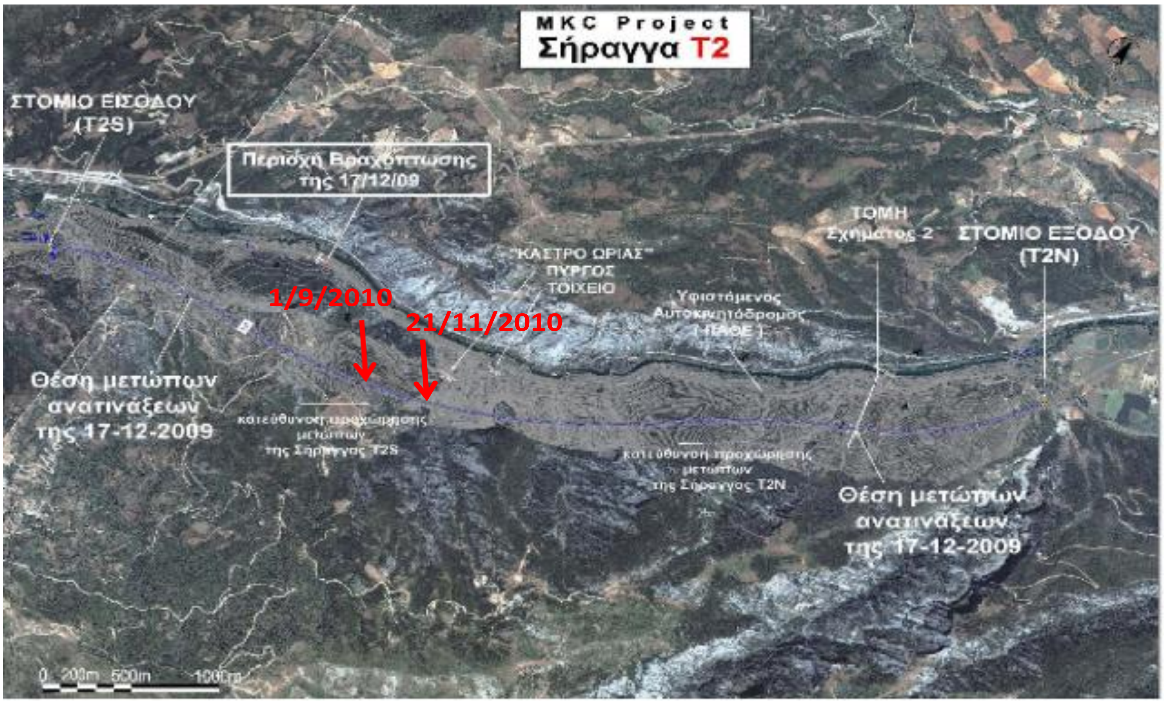
Στην πορεία της επεξεργασίας συγκεντρώθηκαν οι χιλιομετρικές θέσεις (ΧΘ) της κάθε ανατίναξης και η αντίστοιχη μέγιστη ποσότητα γόμωσης ανά επιβράδυνση μέσω του πίνακα στοιχείων ανατινάξεων που δινόταν από το εργοτάξιο.

Στο σημείο αυτό θα ήταν αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι από τον τεράστιο όγκο καταγραφών – ενεργοποιήσεων του δονησιογράφου που αρχικά δόθηκε, έγινε εντοπισμός των τιμών αυτών που προερχόταν από ανατινάξεις. Υπήρχε όγκος καταγραφών που δεν σχετιζόταν με ανατινάξεις (φυσικά αίτια, παρεμβολές και παράσιτα, διέλευση πολεμικών αεροσκαφών, ανθρώπινος παράγοντας, κλπ). Ο βασικός τρόπος διαχωρισμού των τιμών αυτών έγινε με βάση τον πίνακα - δελτίο ανατινάξεων και την εξέταση των κυματομορφών.

Σε κάθε περίπτωση οι καταγραφές αυτές αποτελούν απόδειξη της αξιοπιστίας και ‘’ευαισθησίας’’ του καταγραφικού συστήματος και προσφέρουν πολύτιμα συγκριτικά στοιχεία σε σχέση με δονήσεις προερχόμενες από ανατινάξεις. Επιπλέον να σημειωθεί ότι υπήρχαν περιπτώσεις όπου παρατηρήθηκε χρονική απόκλιση καταγραφής δεδομένων στους σταθμούς μέτρησης σε σχέση με τις αντίστοιχες αναφορές στο δελτίο ανατινάξεων του εργοταξίου. Κύριος βασικός παράγοντας της απόκλισης αυτής ήταν ο ανθρώπινος.

Το ρολόι του κάθε δονησιογράφου ελέγχεται και ''καλιμπράρεται'' κάθε φορά που υπάρχει επικοινωνία του οργάνου με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή παραλαβής δεδομένων καταγραφών. Υπάρχει συστηματικός έλεγχος και διόρθωση εφόσον απαιτείται της ''απεικόνισης'' του χρόνου που ενσωματώνει ο δονησιογράφος στην αναφορά του. Να σημειωθεί ότι οι δονησιογράφοι είναι ψηφιακά όργανα υψηλής πιστότητας δίχως να επηρεάζονται από εξωτερικές παραμέτρους (θερμοκρασία, υγρασία) και κατά κανόνα η λειτουργία μέτρησης του χρόνου παραμένει ανεξάρτητη από το γενικό ''καλιμπράρισμα'' του οργάνου. Επιπλέον με την εγκατάσταση 2 γειτονικών δονησιογράφων υπάρχει συσχετισμός χρόνου ανάμεσα σε 2 καταγραφές της ίδιας ανατίναξης.

Στην συνέχεια της επεξεργασίας και μέσω της οριζοντιογραφίας της T2S που δόθηκε και του σχεδιαστικού προγράμματος AutoCAD, μετρήθηκαν οι πραγματικές αποστάσεις του Κάστρου (των σταθμών μέτρησης δονήσεων) από την κάθε ανατίναξη. Χαρακτηριστικά αναφέρεται, ότι την 1-9-2010 το μέτωπο διάνοιξης της σήραγγας βρισκόταν σε απόσταση 540 m από το Κάστρο της Ωριάς και την 21-11-2010 η απόσταση ήταν 255 m (Σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1: Οριζοντιογραφία T2 με ενσωματωμένο ορθοφωτοχάρτη. Απεικόνιση θέσεων μετώπων ανατινάξεων διάνοιξης της 1-9 και 21-11-2010

Το υψόμετρο του Κάστρου μέσω των ισοϋψών της οριζοντιογραφίας που δόθηκε υπολογίστηκε στα +225 m. Θεωρώντας την σήραγγα οριζόντια σε όλο το μήκος της υπολογίστηκε το υψόμετρο της από την είσοδο στα +53 m για τον αριστερό κλάδο και στα +52 m για τον δεξιό. Με βάση το δελτίο ανατινάξεων του εργοταξίου το σημείο του μετώπου διάνοιξης την 1-9-2010 μετρήθηκε σε Χ.Θ: 6+893,65 και αντίστοιχα την 21-11-2010 η ΧΘ υπολογίστηκε σε 7+312,75.

Από τα στοιχεία αυτά υπολογίστηκε η συνολική προχώρηση του μετώπου διάνοιξης κατά το διάστημα αυτό σε 419 m.

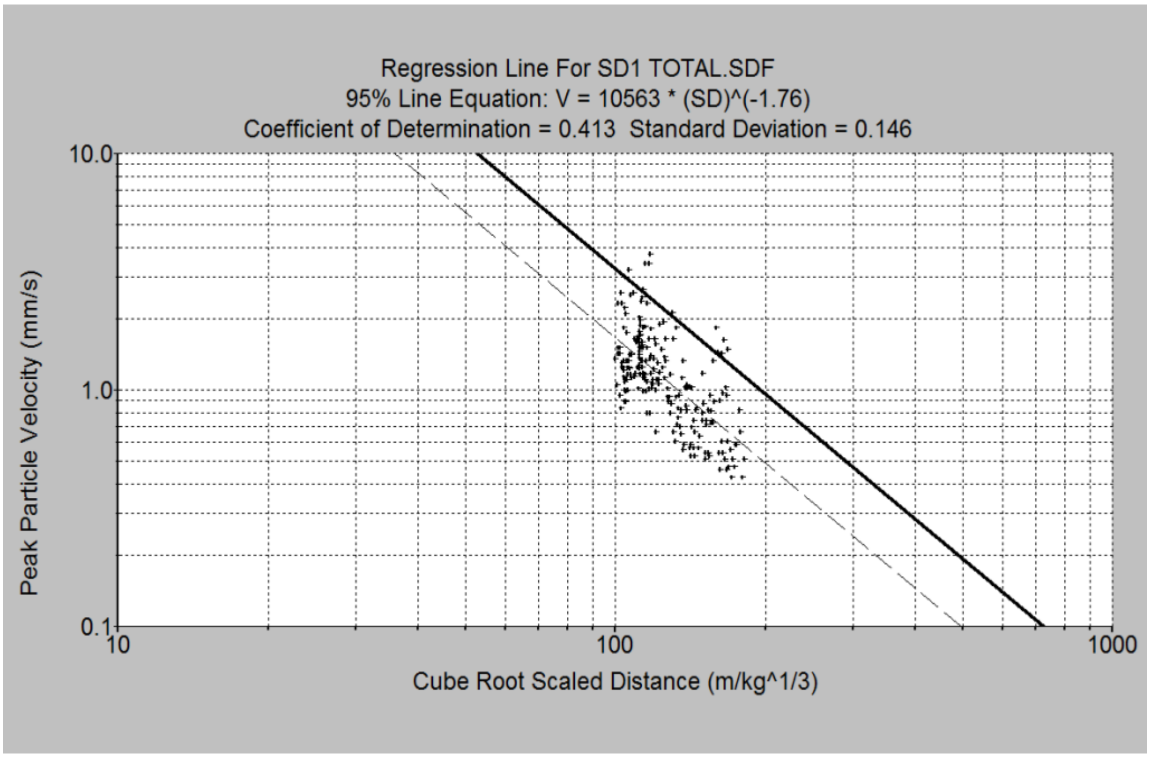
Η αποδοχή και παρουσίαση των παραπάνω δεδομένων γίνεται με κύριο σκοπό την προετοιμασία διαγραμμάτων ''ανηγμένης απόστασης'' που αφορούσαν την σήραγγα T2S για περαιτέρω σχολιασμούς και αναλύσεις που προκύπτουν.

5.2 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ (SCALED DISTANCE) ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ V284

Η διατύπωση του μαθηματικού μοντέλου ανηγμένης απόστασης που αφορά την διάνοιξη της σήραγγας T2S βασίστηκε στον σχεδιασμό των ανατινάξεων της Α φάσης διάνοιξης και στην συλλογή - επεξεργασία των δεδομένων καταγραφής από τα συστήματα δονημετρικού ελέγχου.

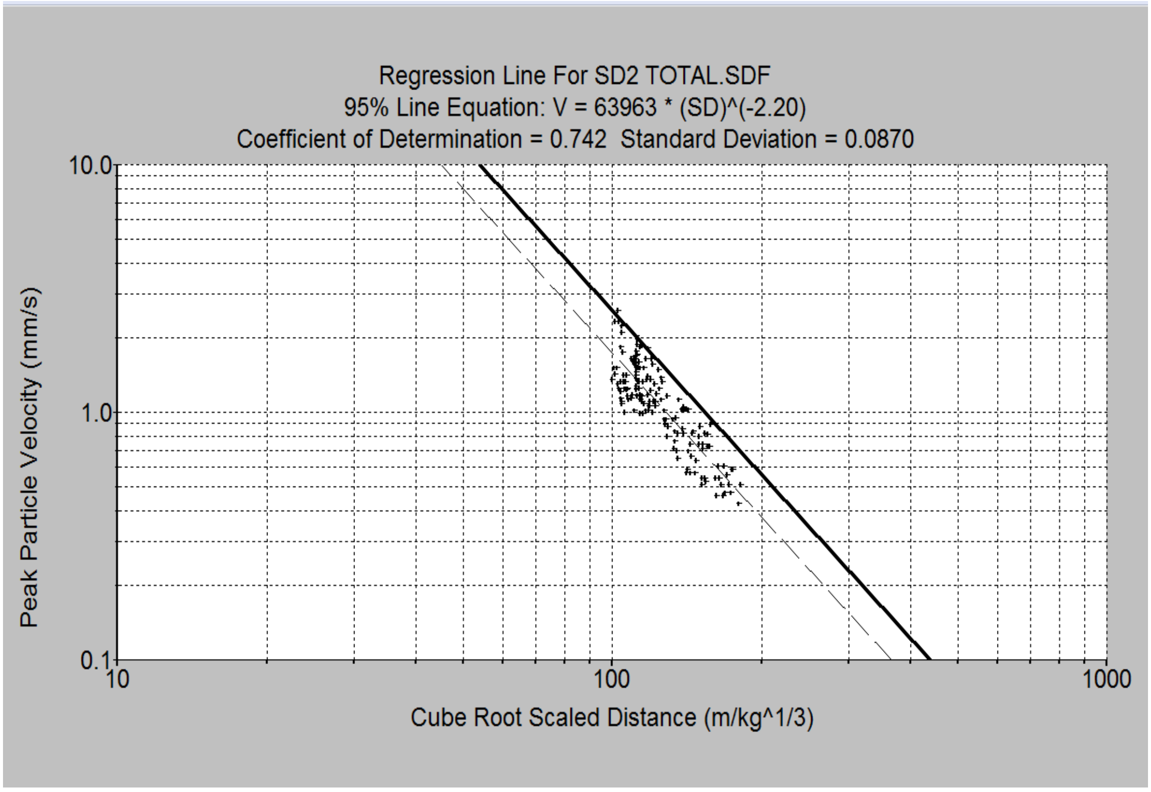
Θεωρώντας ότι οι προς ανάλυση καταγραφές, προέρχονται από ομοειδείς ανατινάξεις (Α' φάσης διάνοιξης της Σήραγγας), στον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό και για τους δύο κλάδους διάνοιξης, καθώς επίσης το γεγονός ότι ο σχεδιασμός ανατίναξης που αφορούσε στην σήραγγα στο σύνολο της ήταν κοινός, οδήγησαν στον υπολογισμό ενός συνολικού διαγράμματος που αφορούσε και τους 2 κλάδους της σήραγγας.

Με βάση τα δεδομένα καταγραφών και την περαιτέρω επεξεργασία τους, ολοκληρώθηκε το συνολικό διάγραμμα ''ανηγμένης απόστασης'' που αφορούσε την διάνοιξη της σήραγγας T2S για τον σταθμό μέτρησης V284 (Σχήμα 5.2).



Σχήμα 5.2: Διάγραμμα – μαθηματικό μοντέλο ΄΄ανηγμένης’’ απόστασης υπόγειων ανατινάξεων διάνοιξης Σήραγγας T2S του έργου MKC (κωδικός SD1 TOTAL) μέσω του λογισμικού BLASTWARE της INSTANTEL.

Εν συνεχεία, στοχεύοντας στην βελτίωση των συντελεστών μαθηματικής-στατιστικής επεξεργασίας του παραπάνω διαγράμματος, αφαιρέθηκαν οι τιμές που εκτιμήθηκε ότι δεν ακολουθούσαν την μέση εξέλιξη του μεγάλου όγκου καταγραφών, καταλήγοντας με αυτό τον τρόπο στην δημιουργία ενός νέου βελτιστοποιημένου μαθηματικού μοντέλου το οποίο θα προσέγγιζε συντελεστές μεγαλύτερης αξιοπιστίας. Έτσι προέκυψε το διάγραμμα SD2 TOTAL, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.3.



Σχήμα 5.3: Βελτιστοποιημένο διάγραμμα – μαθηματικό μοντέλο ΄΄ανηγμένης’’ απόστασης υπόγειων ανατινάξεων διάνοιξης Σήραγγας T2S του έργου ΜΚC (κωδικός SD2 TOTAL) μέσω λογισμικού BLASTWARE της INSTANTEL.

Στην συνέχεια της παρούσας εργασίας θα γίνει αναθεώρηση στο μαθηματικό μοντέλο ‘’ανηγμένης απόστασης’’ σε ότι αφορά την χρήση του στις υπόγειες ανατινάξεις. Παρουσιάζει ενδιαφέρον να γίνει περαιτέρω ανάλυση και εξέταση των παραμέτρων που συντέλεσαν στο χαμηλό συντελεστή αξιοπιστίας και στατιστικής ανάλυσης που παρατηρήθηκε (Σχήμα 5.2).

Σε επόμενη ενότητα θα εξεταστούν οι παράμετροι αυτές, με ιδιαίτερη έμφαση στην τεχνική των ανατινάξεων βάσει της επιρροής της στην αξιοπιστία του μαθηματικού μοντέλου.

Στο σημείο αυτό θα ήταν αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι η βελτίωση που υπέστη το αρχικό διάγραμμα είχε ως κύριο στόχο την απεικόνιση μιας ‘’ιδανικής περίπτωσης’’ με κύριο στόχο την χρήση του σε μια ακολουθία από αναλύσεις, σχολιασμούς και συμπεράσματα, περιορίζοντας με αυτόν τον τρόπο πιθανά σφάλματα που θα προέκυπταν αν δεν είχε προηγηθεί το βήμα αυτό.

5.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ – ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ

Στις υπόγειες ανατινάξεις παρατηρείται χαμηλή αξιοπιστία στους συντελεστές συσχέτισης και τυπικής απόκλισης των μαθηματικών μοντέλων σε σχέση με τις επιφανειακές. Κύριο αίτιο είναι οι μεγάλοι χρόνοι επιβράδυνσης που χρησιμοποιούνται με αποτέλεσμα μια ανατίναξη να χωρίζεται (για την απεικόνιση της καταγραφής) σε πολλές μικρές επιμέρους ανατινάξεις, μη γνωρίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο ποιος από τους χρόνους προκάλεσε την μέγιστη τιμή ταχύτητας δόνησης (PPV).

Υπάρχουν περιπτώσεις που οι αρχικοί χρόνοι (N^{o} καψυλλίων ή ΧΕ) μπορεί να προκαλέσουν την καταγραφή υψηλών τιμών PPV σε αντίθεση με τους ΧΕ εκείνους που αντιστοιχούν στη μέγιστη ποσότητα γόμωσης/ΧΕ και στους οποίους θα αναμένονταν θεωρητικά και οι υψηλότερες τιμές PPV. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι οι γομώσεις στα διατρήματα στο τμήμα *προεκσκαφής – διεύρυνσης* του μετώπου, εξαιτίας της έλλειψης ελεύθερης επιφάνειας δυσκολεύονται να εκτονώσουν την ενέργεια τους κατά την ανατίναξη και να την μετατρέψουν σε εξόρυξη και θραύση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να γίνονται αιτία για την πρόκληση υψηλότερων δονήσεων και αυξημένων τιμών PPV. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αναλύεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5.4) στο οποίο απεικονίζεται μια τυπική αναφορά δονησιογράφου από τον σταθμό μέτρησης V284.

Στην αναφορά αυτή καταγράφεται η μέγιστη τιμή ταχύτητας εδαφικής δόνησης στην διαμήκη (Long) συνιστώσα και σε χρόνο 0.313 s. Αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα καταγραφής, που θα μπορούσε να συνεισφέρει αρνητικά στην διατύπωση του μαθηματικού μοντέλου ‘’ανηγμένης’’ σε ότι αφορά τους συντελεστές στατιστικής ανάλυσης και αξιοπιστίας. Όμοια παραδείγματα παρατηρήθηκαν πολλά κατά την συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων. Αυτά αποτέλεσαν απόδειξη αρνητικής επιρροής που μπορεί να έχει η τεχνική των ανατινάξεων στην διατύπωση του μαθηματικού μοντέλου (SD1 TOTAL).

Date/Time	Vert2 at 03:07:19 October 4, 2010
Trigger Source	Geo 2:
Range	Geo: 31.7 mm/s
Record Time	10.25 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps
Job Number:	2834

Notes

Location:	V283 - V284
Client:	MKC - TUNNEL T2
User Name:	EXORIXI SA - ELIAS BALIKTSIS -6932215287
General:	BLAST VIBRATION MONITORING PROGRAM

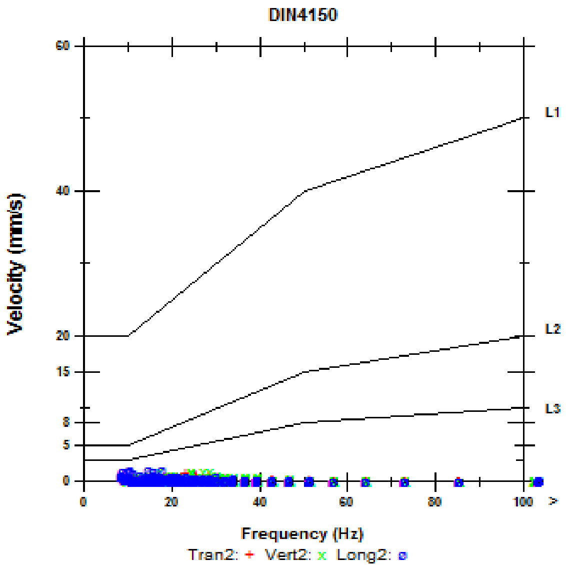
Extended Notes
V283 - V284 - BLAST VIBRATION MONITORING PROGRAM
AT THE REMAININGS OF ORIA'S CASTLE'S TOWER ON THE
HILL

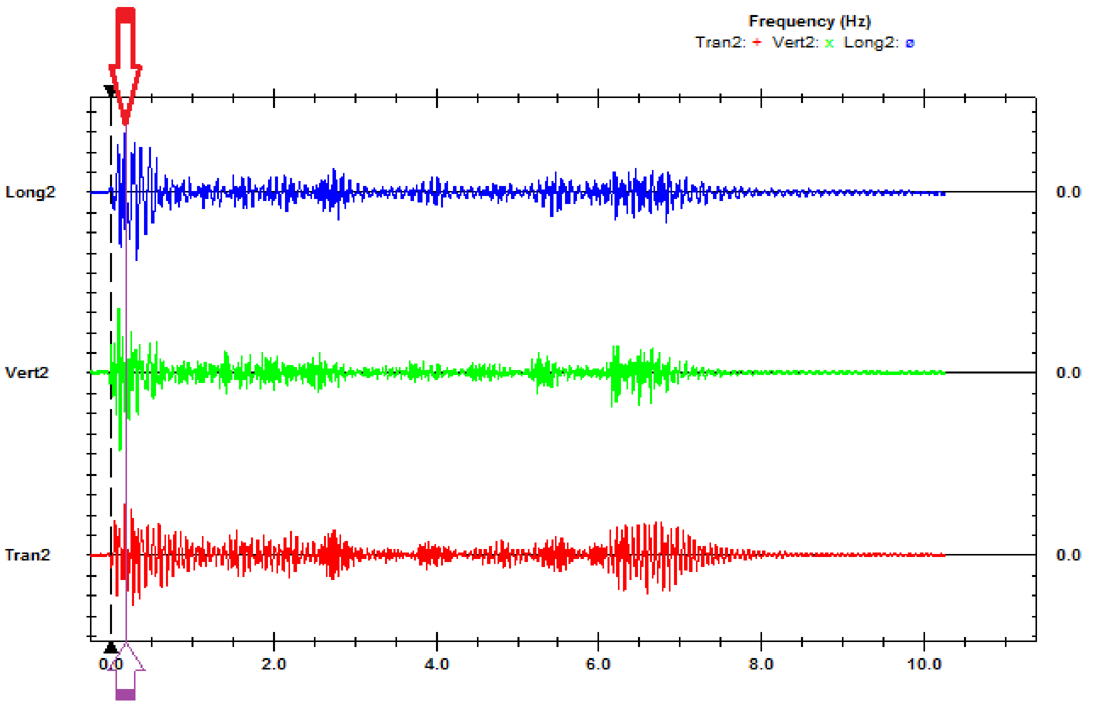
	Tran2	Vert2	Long2	
PPV	1.06	1.46	1.65	mm/s
ZC Freq	23	27	10	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.252	0.162	0.313	sec
Peak Acceleration	0.0166	0.0282	0.0232	g
Peak Displacement	0.00730	0.0102	0.0207	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 2.13 mm/s at 0.180 sec

Serial Number	BE7389 V 10.06-8.17 MiniMate Plus/8
Battery Level	6.8 Volts
Unit Calibration	February 11, 2010 by Instantel Inc.
File Name	I389DFWM.070

Post Event Notes
B

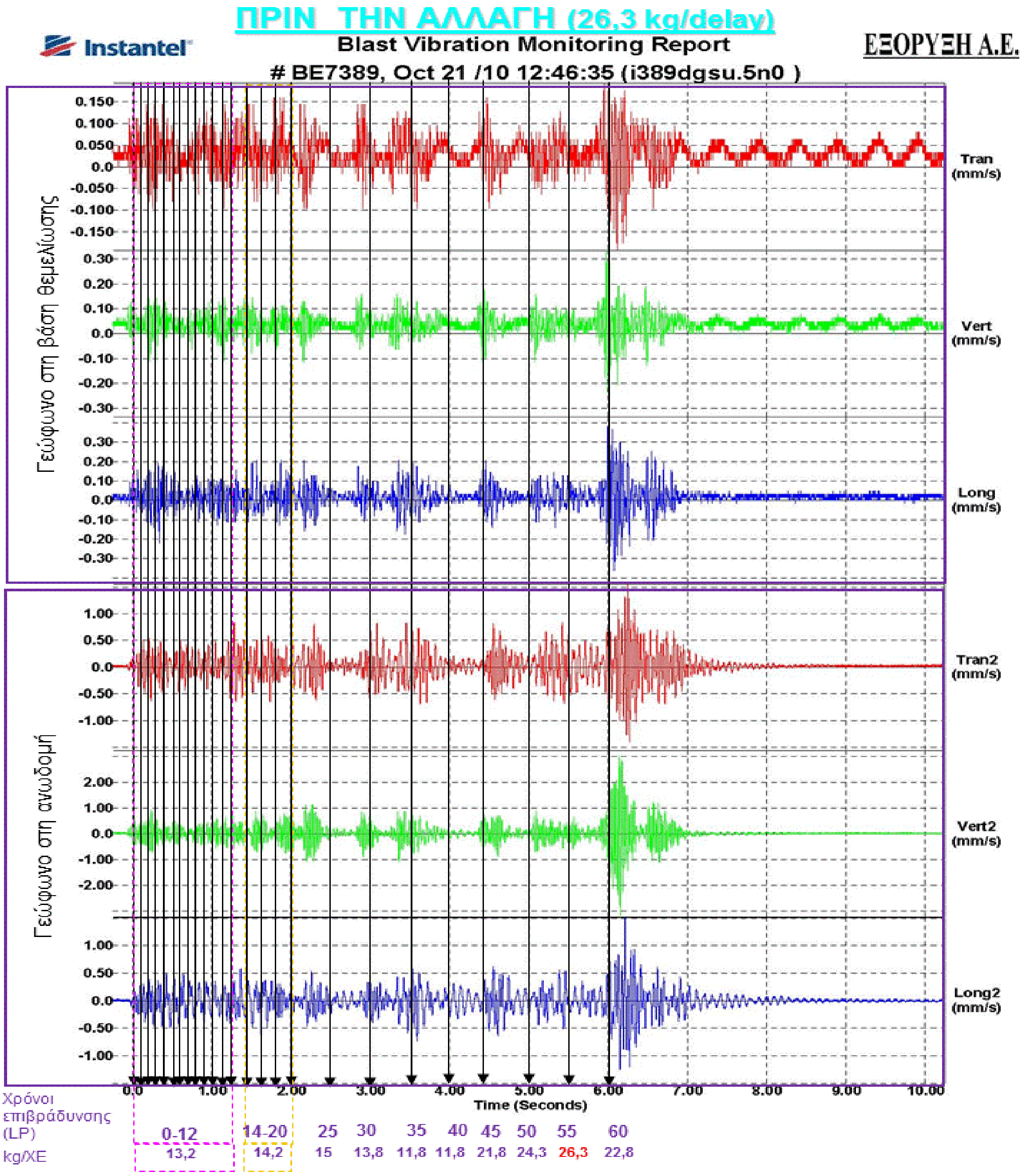




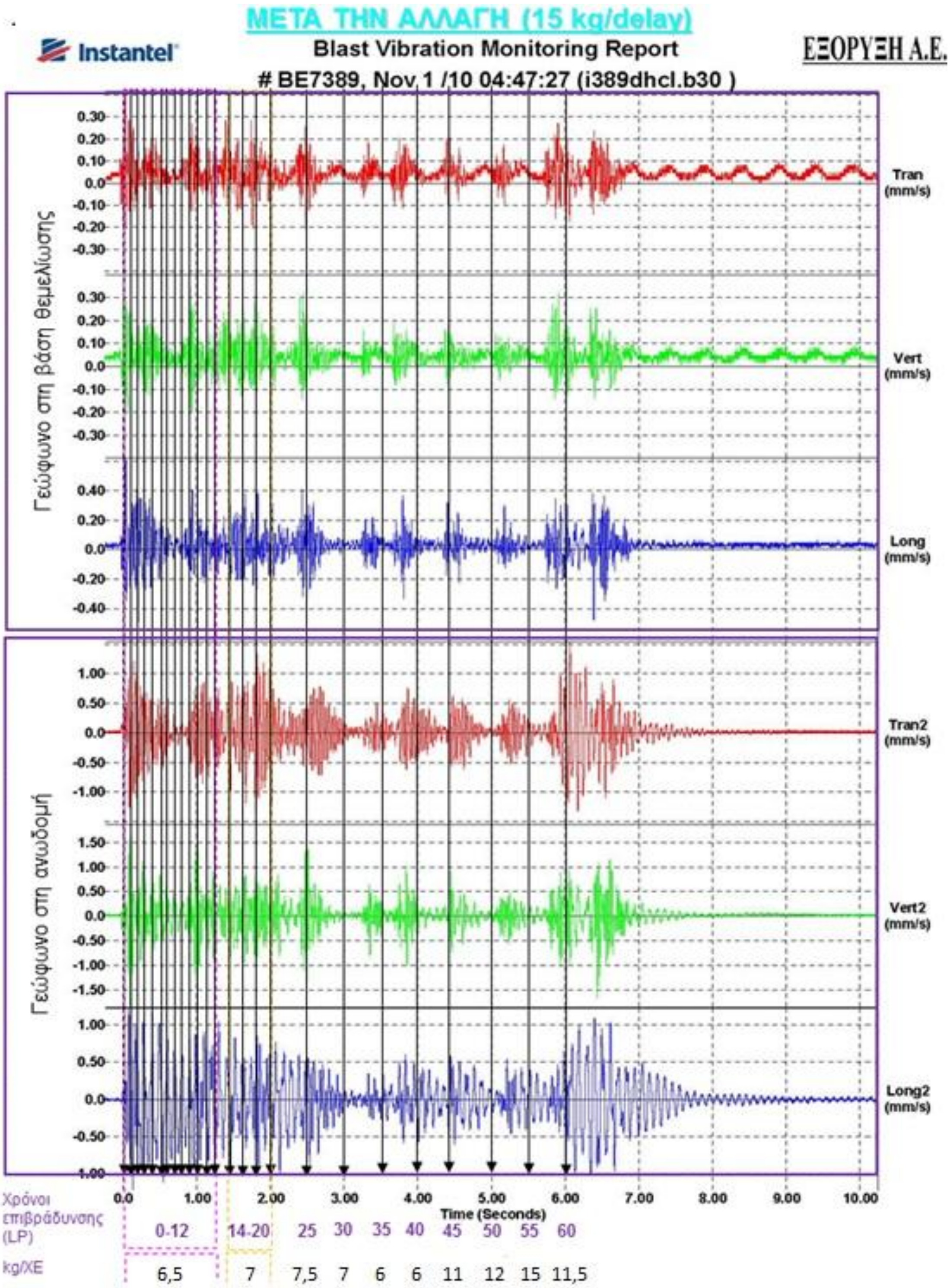
Time Scale: 0.50 sec/div **Amplitude Scale:** Geo: 0.500 mm/s/div
Trigger =

Σχήμα 5.4 – Τυπική αναφορά δονησιογράφου από τον σταθμό μέτρησης V284 πριν την πραγματοποίηση της αλλαγής του σχεδιασμού ανατίναξης διάνοιξης της Σήραγγας T2S. (λογισμικό επεξεργασίας BlastWare –Instantel). Οι μέγιστες τιμές PPV προκύπτουν από τους πρώτους ΧΕ (N^{o} καψυλίων)

Παρακάτω αναλύονται 2 περιπτώσεις καταγραφών PPV και από τους 2 σταθμούς μέτρησης που είχαν εγκατασταθεί στο Κάστρο, για πριν και μετά την αλλαγή του σχεδιασμού ανατινάξεων, στις οποίες παρατηρούνται λεπτομερώς οι αντιστοιχίες των τιμών αυτών στους χρόνους επιβράδυνσης (και τα N^{o} καψυλίων) για τις 3 συνιστώσες καταγραφής (Σχήμα 5.5. και Σχήμα 5.6).



Σχήμα 5.5: Αντιστοίχιση τιμών PPV των 3 συνιστωσών στους χρόνους επιβράδυνσης (No καψυλίων) για τους 2 σταθμούς μέτρησης (V283-V284) για πριν την αλλαγή του σχεδιασμού των ανατινάξεων.



Σχήμα 5.6: Αντιστοίχιση τιμών PPV των 3 συνιστωσών στους χρόνους επιβράδυνσης (N^{o} καψυλίων) για τους 2 σταθμούς μέτρησης (V283-V284) μετά την αλλαγή του σχεδιασμού των ανατινάξεων.

Από το σχήμα 5.5 γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι οι μέγιστες τιμές ταχυτήτων εδαφικής δόνησης που καταγράφηκαν, αντιστοιχούν σε μεγάλους χρόνους επιβράδυνσης. Από τον πίνακα κατανομής γόμωσης που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο (πίνακας 4.2), προκύπτει ότι οι μεγαλύτερες ποσότητες εκρηκτικών (γόμωσης) στα διατρήματα, βρίσκεται στους χρόνους επιβράδυνσης – N^o καψυλίων των 50, 55 και 60. Αυτό δικαιολογεί τις υψηλές τιμές PPV (Peak Particle Velocity) στους χρόνους αυτούς.

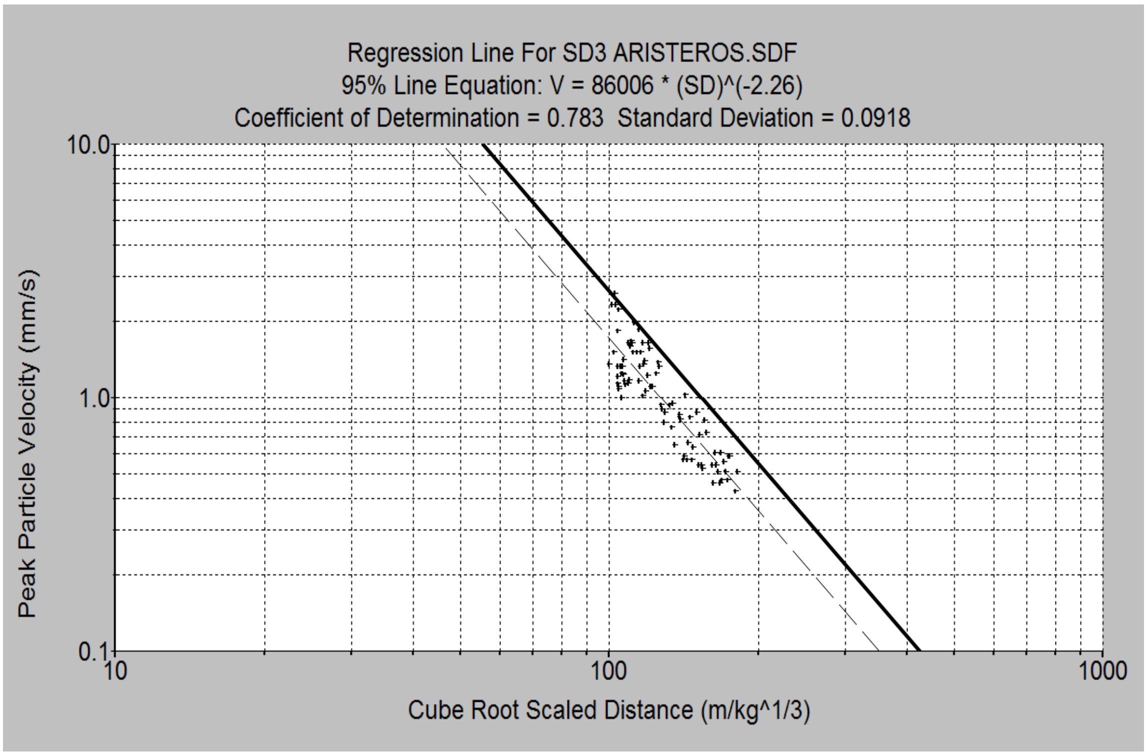
Στο σχήμα 5.6 συσχετίζεται η αλλαγή του σχεδιασμού με την αντιστοιχία υψηλών τιμών PPV σε μικρούς ΧΕ. Αναλυτικότερα, παρατηρείται η καταγραφή της μέγιστης τιμής PPV στην κατακόρυφη συνιστώσα και σε χρόνους επιβράδυνσης του τμήματος *προεκσκαφης - διεύρυνσης* (στους οποίους έχει γίνει κατανομή μικρών ποσοτήτων εκρηκτικών υλών). Αυτό το γεγονός αποδεικνύει το ‘’αδύνατο σημείο’’ της τεχνικής ανατινάξεως στα υπόγεια έργα σε ότι αφορά τον υπολογισμό του μαθηματικού μοντέλου ‘’ανηγμένης απόστασης’’ (Scaled distance).

Πέραν όμως της ‘’αρνητικής’’ συμβολής της τεχνικής ανατινάξεων στα διαγράμματα ‘’ανηγμένης’’ απόστασης υπάρχουν και άλλοι πιθανοί παράγοντες που συνεισφέρουν στην παρουσία σφαλμάτων στα διαγράμματα αυτά. Οι τιμές που αφαιρέθηκαν από το αρχικό διάγραμμα (SD1 TOTAL) και δεν ‘’ακολουθούσαν’’ τη μέση ή τυπική κατανομή, προέκυψαν από ενδεχόμενα σφάλματα και παραμέτρους που θα μπορούσαν να οφείλονται σε παράγοντες όπως:

- Ο γεωλογικός σχηματισμός (τοπικές διαφοροποιήσεις και τεκτονική, ασυνέχειες, ρήγματα, έγκοιλα)
- Ο ανθρώπινος παράγοντας. Υπήρχαν περιπτώσεις που παρατηρήθηκαν ‘’ασυνήθιστες’’ καταγραφές (που κατά κανόνα αντιστοιχούσαν σε υψηλές τιμές PPV) στον δονησιογράφο σε συγκεκριμένη βάρδια και ώρα.
- Η παράλειψη ή κακή επιλογή θέσης αγόμωτων – κενών διατρημάτων
- Σφάλματα στην διάνοιξη διατρημάτων και συχνά στη κλίση των διατρημάτων δαπέδου
- Η έλλειψη καψυλίων σε συγκεκριμένο N^0
- Σφάλματα στην συνδεσμολογία – κατανάλωση διαφορετικής ποσότητας εκρηκτικών από την προβλεπόμενη ή συνιστώμενη του σχεδιασμού
- Ανομοιομορφίες στην γεωμετρία και προφίλ του μετώπου ανατίναξης

5.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΔΕΞΙΟΥ ΚΑΙ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ ΚΛΑΔΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ V284

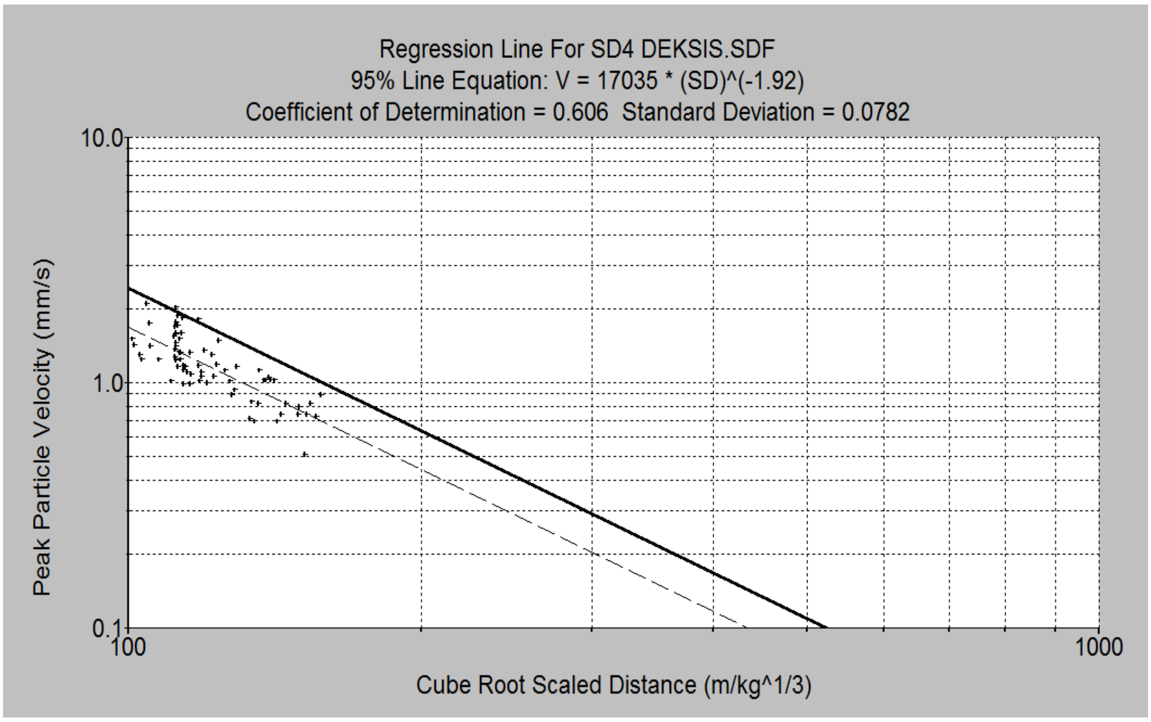
Από το μαθηματικό μοντέλο SD2 TOTAL έγινε η διατύπωση δύο επιμέρους διαγραμμάτων για τις ανατινάξεις διάνοιξης του Αριστερού και Δεξιού Κλάδου της Σήραγγας T2S (Σχήμα 5.7 και Σχήμα 5.8).



Σχήμα 5.7: Διάγραμμα ''ανηγμένης'' απόστασης για τις ανατινάξεις διάνοιξης του Αριστερού κλάδου της Σήραγγας T2S (Κωδικός SD3). Έχει προκύψει από το μαθηματικό μοντέλο SD2 TOTAL

Το παραπάνω διάγραμμα βασίζεται στο μαθηματικό μοντέλο ''ανηγμένης απόστασης'' SD2 TOTAL, από το οποίο έχουν αφαιρεθεί οι τιμές PPV που αφορούσαν στον Δεξιό κλάδο για τον σταθμό μέτρησης V284. Στο διάγραμμα αυτό παρατηρείται ένας αρκετά υψηλός συντελεστής συσχέτισης που σχεδόν πλησιάζει το 80%.

Ομοίως, έγινε και ο υπολογισμός ξεχωριστού διαγράμματος που αφορά τον δεξιό κλάδο, το οποίο απεικονίζεται στο Σχήμα 5.8)



Σχήμα 5.8: Διάγραμμα ''ανηγμένης'' απόστασης για τις ανατινάξεις διάνοιξης του Δεξιού κλάδου της Σήραγγας T2S (Κωδικός SD4). Έχει προκύψει από το μαθηματικό μοντέλο SD2 TOTAL.

Συγκρίνοντας τα 2 διαγράμματα (Σχήμα 5.7 και Σχήμα 5.8) φαίνεται ότι οι καταγραφές PPV του Αριστερού κλάδου συντέλεσαν θετικά στον υψηλό συντελεστή συσχέτισης του ολικού διαγράμματος (SD2 TOTAL).

Το διάγραμμα που αφορά στον Δεξιό κλάδο διάνοιξης (SD4) παρουσιάζει χαμηλότερο συντελεστή συσχέτισης σε σχέση με του Αριστερού κλάδου (SD3). Με βάση το αρχικό φύλλο excel καταγραφών τιμών PPV που μελετήθηκε, συμπεραίνεται ότι ένα μεγάλο φάσμα τιμών PPV που ανήκε στις καταγραφές του δεξιού κλάδου παρουσίασε απόκλιση από την μέση κατανομή του μεγάλου όγκου δεδομένων και αφαιρέθηκε.

Η παρουσία χαμηλού συντελεστή συσχέτισης στο μαθηματικό μοντέλο ''ανηγμένης'' απόστασης του Δεξιού κλάδου, δικαιολογείται για 2 κύριους λόγους. Η παρουσία σφαλμάτων σε μεγάλο πλήθος καταγραφών οδήγησε σε μικρό εύρος ''επιλεκτικών'' τιμών για την διατύπωση του διαγράμματος SD4.

Θα ήταν αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι οι τιμές PPV που καταγράφηκαν από τα συστήματα δονημετρικού ελέγχου και αφορούσαν τις ανατινάξεις μετά την αλλαγή του σχεδιασμού παρουσίασαν στην πλειοψηφία τους σφάλματα στην διατύπωση του μαθηματικού μοντέλου ανηγμένης απόστασης σε σύγκριση με της καταγραφές που αφορούσαν τις ανατινάξεις πριν την αλλαγή. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε παράγοντες που έχουν προαναφερθεί ή σε ένα ακόμα πιθανό αίτιο κατά την επεξεργασία, την μέτρηση των αποστάσεων κάθε μετώπου ανατίναξης από το Κάστρο σύμφωνα με την οριζοντιογραφία και το σχεδιαστικό πρόγραμμα.

Αναλυτικότερα, οι αποστάσεις που μετρήθηκαν μετά την αλλαγή με σκοπό την διατύπωση των μαθηματικών μοντέλων, είχαν πολύ μικρή διαφορά μεταξύ τους και όχι αντίστοιχη με το μήκος προχώρησης των εκάστοτε μετώπων ανατινάξεων. Έτσι, πολλές τιμές PPV καταγράφηκαν σε ‘’ίδιες’’ αποστάσεις ως δεδομένα για τον υπολογισμό των μαθηματικών μοντέλων. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι τα μέτωπα ανατινάξεων βρισκόταν σχεδόν ‘’κάτω’’ από το Κάστρο και τους σταθμούς μέτρησης.

5.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ PPV ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ SD2 ΜΕ ΤΙΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ V284

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενες ενότητες, η εταιρεία ΕΞΟΡΥΞΗ ΑΕ πρότεινε επέμβαση στον σχεδιασμό ανατινάξεων της Α' φάσης διάνοιξης, στοχεύοντας στην μείωση των τιμών PPV . Η αλλαγή σχεδίου εφαρμόστηκε από την 27-10-2010 και μετά. Την περίοδο αυτή το μέτωπο της σήραγγας πλησίαζε στο Κάστρο και κύριος στόχος ήταν να ελαχιστοποιηθούν οι τιμές PPV.

Πράγματι, οι τιμές PPV που καταγράφηκαν μετά την αλλαγή παρουσίασαν μείωση, κάτι που επιβεβαιώνει ότι ο σχεδιασμός λειτούργησε προς την κατεύθυνση που είχε επιλεγεί.

Στην συνέχεια της ενότητας αυτής, θα εξεταστούν οι τιμές αυτές και θα γίνει σύγκριση με τις αντίστοιχες θεωρητικά αναμενόμενες μέσω του μαθηματικού μοντέλου SD2.

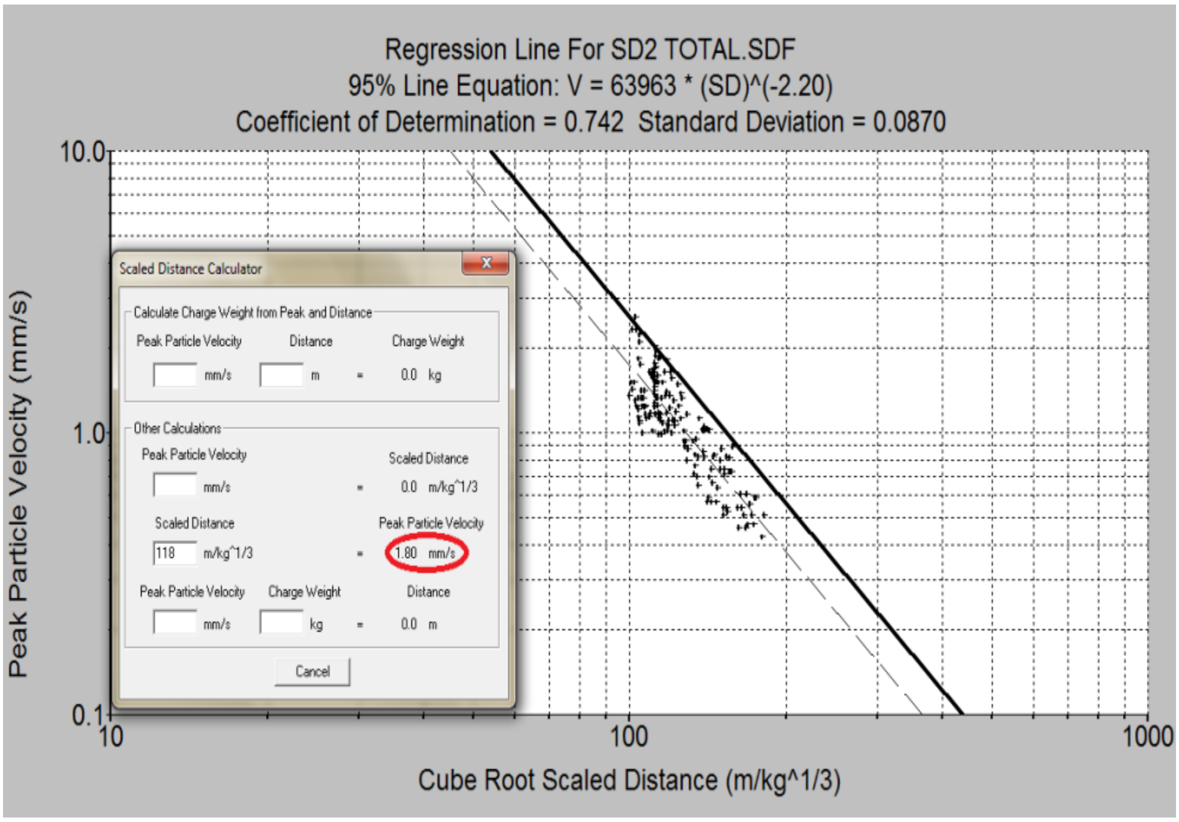
Επίσης, θα εξεταστούν μέσω του ίδιου διαγράμματος και οι τιμές που θα αναμένονταν να καταγραφούν στην περίπτωση που η εταιρεία ΕΞΟΡΥΞΗ ΑΕ δεν είχε προβεί σε αλλαγή του σχεδιασμού ανατινάξεων.

Αρχικά επιλέχτηκαν τιμές PPV από ανατινάξεις στον Αριστερό και Δεξιό κλάδο, καθώς και οι αντίστοιχες αποστάσεις αυτών. Η επιλογή των τιμών αυτών έγινε από ένα σύνολο που αντιστοιχούσε σε καταγραφές μετά την αλλαγή του σχεδιασμού και οι οποίες καταγράφηκαν στις πιο μικρές αποστάσεις από το Κάστρο και τους σταθμούς μέτρησης δονήσεων (πίνακας 5.1)

Πίνακας 5.1 – Καταγραφές PPVστον σταθμό μέτρησης V284 για δεδομένες αποστάσεις και για γόμωση 15 kg (μετά την αλλαγή σχεδιασμού)

PPV (mm/s) που καταγράφηκαν	**Απόσταση μετώπου ανατίναξης -Κάστρου (m)**
1.17	291
1.32	285
1.51	278
1.57	276
1.65	274
1.67	273

Με την χρήση του μαθηματικού μοντέλου ‘’ανηγμένης’’ απόστασης SD2 (σχήμα 5.9) υπολογίστηκαν για τις αποστάσεις του παραπάνω πίνακα (πίνακας 5.1) οι αναμενόμενες τιμές PPV για γόμωση 15 kg/XE (πίνακας 5.2)



Σχήμα 5.9: Διάγραμμα ''ανηγμένης'' απόστασης SD2 με βάση το οποίο έγινε ο υπολογισμός των αναμενόμενων τιμών PPV για γόμωση 15 kg/ΧΕ για τις αποστάσεις του πίνακα 5.1. Στο διάγραμμα είναι ενσωματωμένο και απόσπασμα από τα ''υπολογιστικά εργαλεία'' του λογισμικού.

Τα αποτελέσματα συγκεντρώθηκαν στον πίνακα 5.2

Πίνακας 5.2- Υπολογιστικά αναμενόμενες τιμές PPV με τη χρήση του διαγράμματος SD2 για γόμωση 15kg/ΧΕ και σύγκριση αυτών με τις αντίστοιχες πραγματικές του πίν.5.1

PPV (mm/s) υπολογισμένες με τη χρήση του SD2 (15kg/ΧΕ)	Απόσταση (m)	Διαφορά πραγματικών (του πιν. 5.1) με υπολογιστικά αναμενόμενων τιμών PPV	Ποσοστιαία διαφορά (%)
1.80	291	0.63	53.8
1.88	285	0.56	42.4
1.99	278	0.48	31.7
2.02	276	0.45	28.6
2.05	274	0.40	24.2
2.07	273	0.40	23.9

Από την σύγκριση του πίνακα 5.1 και πίνακα 5.2 γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι οι αναμενόμενες τιμές PPV που υπολογίστηκαν με τη χρήση του μαθηματικού μοντέλου SD2 παρουσιάζουν μικρή απόκλιση από τις πραγματικές. Ο υπολογισμός των αναμενόμενων τιμών PPV μέσω μαθηματικών μοντέλων, γίνεται βάσει μαθηματικής εξίσωσης ευθείας, χωρίς να μπορεί να γίνει ενσωμάτωση σε αυτή όλων των προαναφερθέντων παραμέτρων, γεγονός που δικαιολογεί την εμφάνιση αποκλίσεων στην σύγκριση των τιμών του πίνακα 5.2.

Επιπρόσθετα, να σημειωθεί ότι οι τιμές PPV που προκύπτουν από την επεξεργασία του μαθηματικού μοντέλου SD2 αποδεικνύεται ότι είναι πιο αυστηρές από ότι διαπιστώνεται στην πράξη με τις μεμονωμένες καταγραφές. Αυτό επιβεβαιώνει την άποψη ότι η μεθοδολογία αυτή αποτελεί ασφαλή και αυστηρή προσέγγιση για την διαχείριση ελέγχου και εκτίμησης της επικινδυνότητας των προκαλούμενων δονήσεων.

Στην συνέχεια της ενότητας υπολογίστηκαν οι αναμενόμενες τιμές PPV στις αντίστοιχες αποστάσεις με βάση την αρχική γόμωση των 26.3 kg/XE, θεωρώντας δηλαδή ότι δεν έγινε επέμβαση στον σχεδιασμό της ανατίναξης. Τα αποτελέσματα συγκεντρώθηκαν στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 5.3).

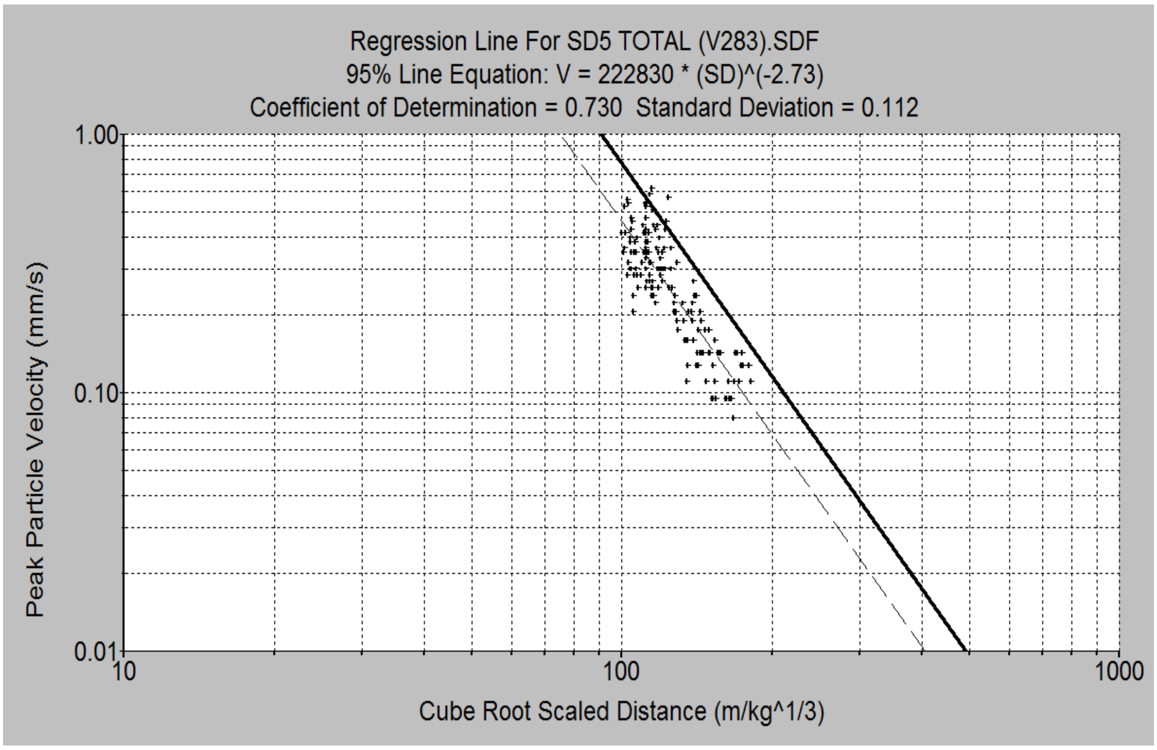
Πίνακας 5.3 – Υπολογιστικά αναμενόμενες τιμές PPV με την χρήση του διαγράμματος SD2 για γόμωση 26.3kg/XE

PPV(mm/s) μέσω SD2 (26.3kg/delay)	**Απόσταση (m)**
2.71	291
2.84	285
3.00	278
3.04	276
3.10	274
3.12	273

Από τον πίνακα 5.3 γίνεται αντιληπτό ότι οι αναμενόμενες PPV τιμές που υπολογίστηκαν είναι υψηλότερες από τις αντίστοιχες του πίνακα 5.2 λόγω διαφορετικής ποσότητας γόμωσης. Είναι προφανές λοιπόν και μέσω μαθηματικού μοντέλου ''ανηγμένης απόστασης'' ότι, η μείωση της ποσότητας γόμωσης/ΧΕ συντέλεσε στην μείωση των τιμών PPV στις καταγραφές του σταθμού μέτρησης.

5.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΝΗΓΜΕΝΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΠΟΥ ΑΦΟΡΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ V283 ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟΝ V284

Η διατύπωση του μαθηματικού μοντέλου ''ανηγμένης'' απόστασης για τον σταθμό μέτρησης V283 ολοκληρώθηκε με βασικό γνώμονα την εισαγωγή καταγραφών της ίδιας χρονικής περιόδου με το αντίστοιχο διάγραμμα του V284 (SD2 TOTAL) (Σχήμα 5.10).



Σχήμα 5.10: Βελτιστοποιημένο διάγραμμα – μαθηματικό μοντέλο ΄΄ανηγμένης'' απόστασης ανατινάξεων διάνοιξης σήραγγας T2S του έργου MKC για τον σταθμό μέτρησης V283 (κωδικός SD5 TOTAL) μέσω λογισμικού BLASTWARE της INSTANTEL.

Ο συντελεστής συσχέτισης του παραπάνω διαγράμματος κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα με τον αντίστοιχο του V284 (SD2 TOTAL). Η μόνη κύρια διαφορά ήταν στις καταγραφές των τιμών PPV. Όπως ήταν αναμενόμενο οι τιμές PPV που καταγράφηκαν στον σταθμό μέτρησης V283 ήταν κατά πολύ χαμηλότερες από τις τιμές του V284 για τις καταγραφές της ίδιας χρονικής περιόδου.

Το γεγονός ότι ο σταθμός μέτρησης V283 είχε εγκατασταθεί στην βάση θεμελίωσης του Κάστρου της Ωριάς δικαιολογεί τις χαμηλές καταγραφές τιμών PPV σε σύγκριση πάντα με τον V284 της ανωδομής. Ο λόγος ‘’ανταπόκρισης’’ της ανωδομής σε σχέση με την βάση και η επίδραση της στις καταγραφές PPV, θα εξεταστεί παρακάτω.

5.7 ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΔΟΝΗΣΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ V283 ΚΑΙ V284

Οι καταγραφές των τιμών PPV στους 2 σταθμούς μέτρησης του Κάστρου έγιναν αιτία για περαιτέρω εξέταση λόγω της αξιοσημείωτης απόκλισης που παρουσίασαν μεταξύ τους.

5.7.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΟΝΗΣΗΣ ΣΤΟΥΣ 2 ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Από τον συνολικό όγκο καταγραφών που υπήρχε διαθέσιμος, έγινε συλλογή σε φύλλο του excel όλων των τιμών PPV που καταγράφηκαν από τους 2 σταθμούς μέτρησης σε σύνολο 211 ανατινάξεων. Για κάθε ανατίναξη ξεχωριστά έγινε ο υπολογισμός του λόγου PPV για ανωδομή προς PPV βάσης.

Στην συνέχεια υπολογίστηκε ο Μ.Ο των τιμών αυτών με σκοπό να προσδιοριστεί ένας αντιπροσωπευτικός λόγος PPV ανωδομής/ PPV βάσης, ο οποίος είναι ίσος με:

$$\text{Μ.Ο} \quad \frac{PPV(\frac{mm}{s})\ ΑΝΩΔΟΜΗΣ}{PPV(\frac{mm}{s})\ ΒΑΣΗΣ\ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ} = 4.4$$

Ο υπολογισμός του λόγου ‘’ανταπόκρισης’’ της ανωδομής ως προς την βάση θεμελίωσης του Κάστρου, καθιστά σαφές το γεγονός ότι η ανωδομή λόγω της θέσης της και των χαρακτηριστικών της δομής, είναι πιο επιρρεπής στις ταλαντώσεις. Ουσιαστικά είναι πιο ‘’ευαίσθητη’’ σε δονήσεις και για τον λόγο αυτό οι καταγραφές των τιμών PPV αναμένονται κατά πολύ υψηλότερες σε σχέση με την βάση.

Αυτός είναι από τους κύριους λόγους που χρησιμοποιήθηκαν για επεξεργασία οι τιμές PPV που καταγράφηκαν από τον σταθμό μέτρησης V284, μελετώντας κατά αυτόν τον τρόπο την ''δυσμενέστερη'' περίπτωση επιπτώσεων από τις καταγραφές δονήσεων αλλά επίσης χρησιμοποιώντας υψηλότερες και πιο ''αναγνωρίσιμες'' τιμές PPV.

5.7.2 ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΥΧΝΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΟΝΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΣΤΡΟΥ

Σε προηγούμενες ενότητες έγινε αναφορά στις ταχύτητες εδαφικής δόνησης. Στην παρούσα ενότητα θα εξεταστεί η συχνότητα (το συχνοτικό περιεχόμενο), η οποία σε συνδυασμό με την ταχύτητα εδαφικής δόνησης μπορεί να επηρεάσει ή να καθορίσει δραστικά την επικινδυνότητα σε σχέση με τις προκαλούμενες δονήσεις.

Αρχικός σκοπός ήταν να μελετηθεί η συμπεριφορά της ανωδομής σε σχέση με την βάση θεμελίωσης σε ότι αφορά τις συχνότητες εδαφικών δονήσεων. Η εξέταση έγινε σε 2 φάσεις:

- Αρχικά μελετήθηκαν οι δεσπόζουσες συχνότητες των καταγραφών και για τις 3 συνιστώσες, μέσω FFT (Fast Fourier Transform)
- Στην συνέχεια έγινε ανάλυση στις συχνότητες που αντιστοιχούσαν στις μέγιστες PPV τιμές για κάθε καταγραφή ξεχωριστά.

Με την βοήθεια του λογισμικού BlastWare δίνεται η δυνατότητα ανάλυσης - αναζήτησης της δεσπόζουσας συχνότητας (Dominant frequency) των καταγραφών μέσω της επεξεργασίας – εφαρμογής FFT (Fast Fourier Transform). Το λογισμικό αναλύει τις 3 συνιστώσες καταγραφών εδαφικών δονήσεων για κάθε ανατίναξη, προβάλλοντας τις 3 αντίστοιχες κυματομορφές στις οποίες απεικονίζεται η δεσπόζουσα συχνότητα που αντιστοιχεί για καθεμία. Παρακάτω παρουσιάζεται μια τυπική αναφορά δονησιογράφου με ανάλυση FFT (σχήμα 5.11).

Date/Time	Vert at 04:47:27 November 1, 2010
Trigger Source	Geo 2:
Range	Geo: 31.7 mm/s
Record Time	10.25 sec (Auto=3Sec) at 1024 sps
Job Number:	2834

Serial Number	BE7389 V 10.06-8.17 MiniMate Plus/8
Battery Level	6.8 Volts
Unit Calibration	February 11, 2010 by Instantel Inc.
File Name	I389DHCL.B30

Notes

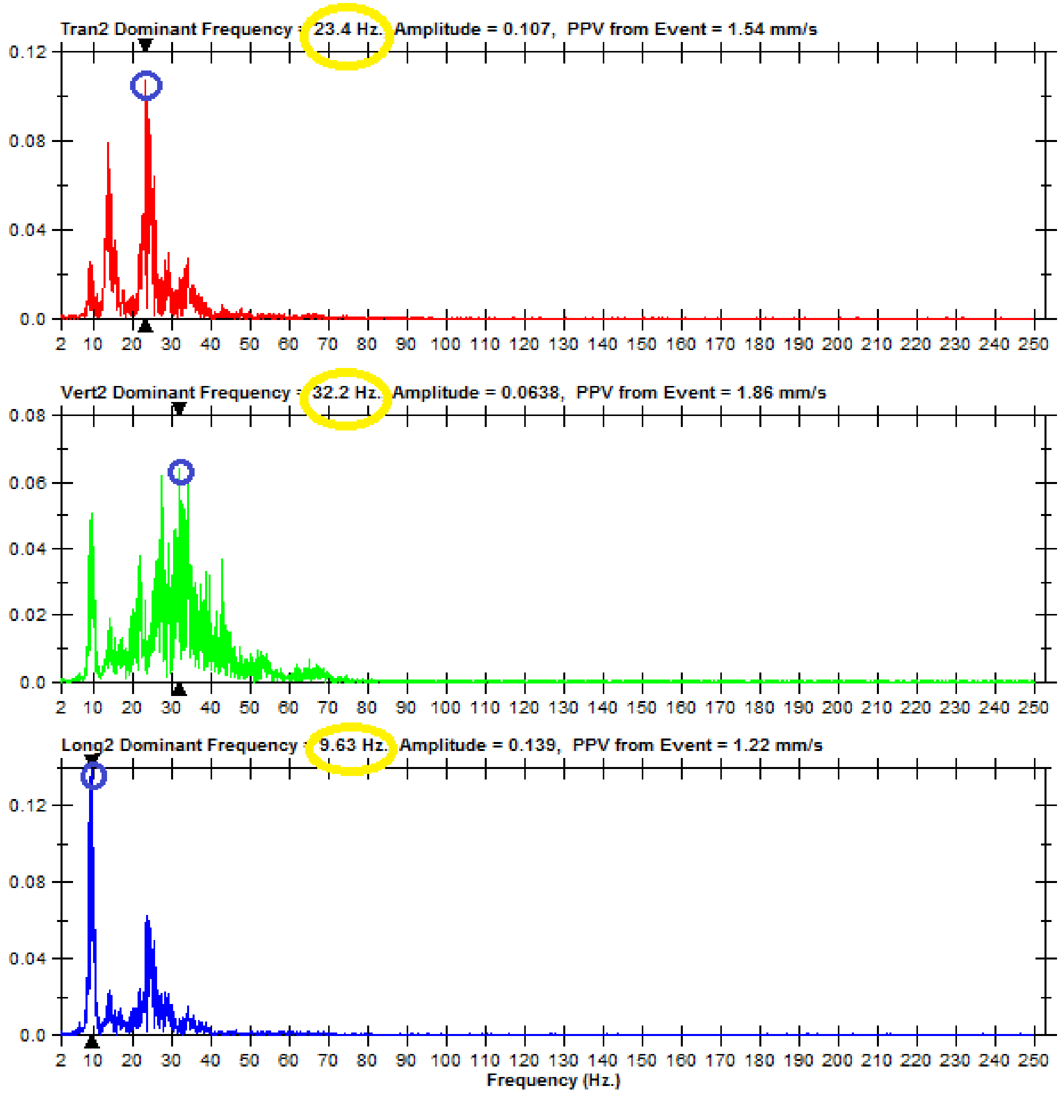
Location:	V283 - V284
Client:	MKC - TUNNEL T2
User Name:	EXORIXI SA - ELIAS BALIKTSIS
General:	BLAST VIBRATION MONITORING PROGRAM

Extended Notes

V283 - V284 - BLAST VIBRATION MONITORING PROGRAM AT THE REMAININGS OF ORIA'S CASTLE'S TOWER ON THE HILL

Post Event Notes

B

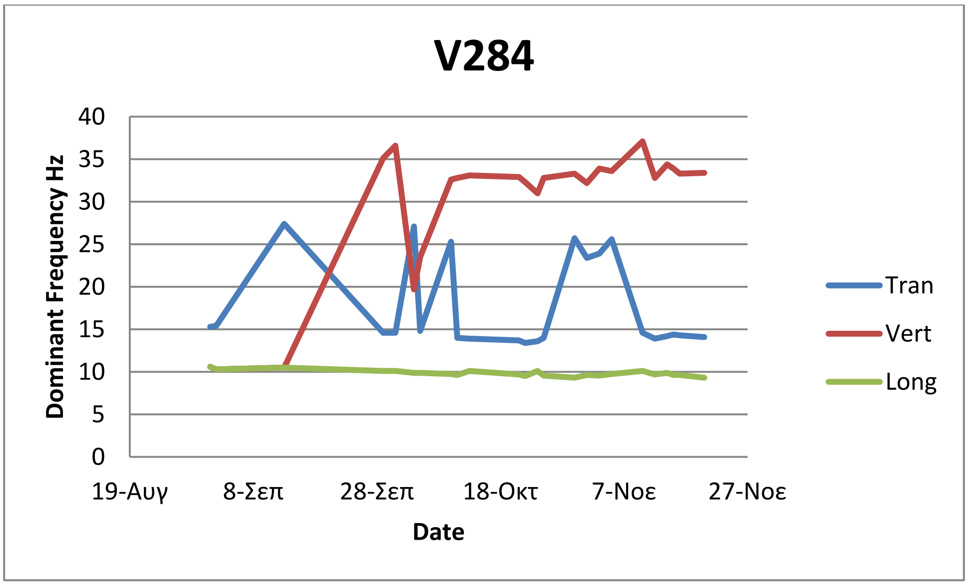


Σχήμα 5.11: Ανάλυση δεδομένων καταγραφών μέσω FFT (λογισμικό επεξεργασίας BlastWare-INSTANTEL)

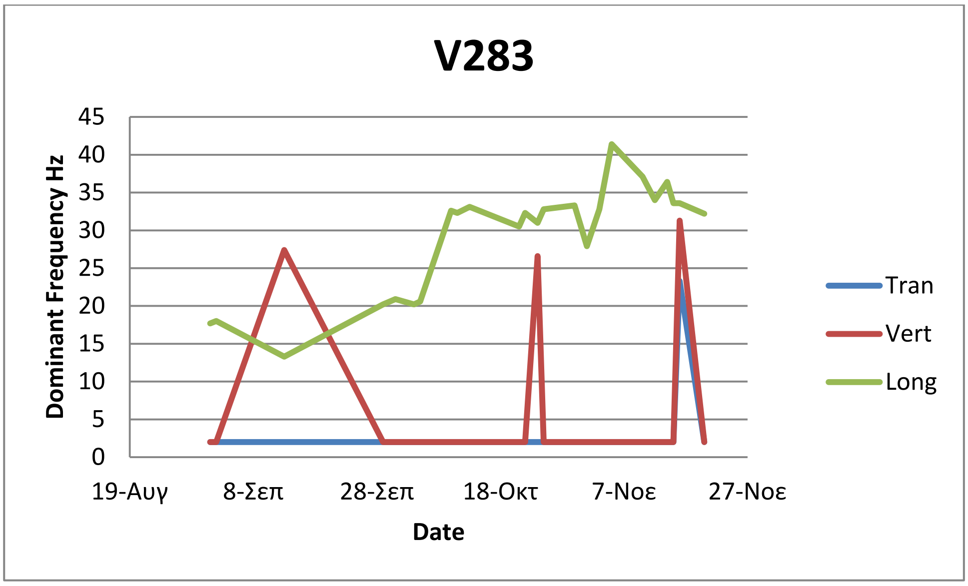
Η δεσπόζουσα συχνότητα καταγραφών εδαφικών δονήσεων δύναται να αποτελέσει κύρια αιτία επηρεασμού στην στατική συμπεριφορά μιας δομής-κατασκευής και για τον λόγο αυτό εξετάζεται. Η συχνότητα αυτή μεταφέρει την περισσότερη ενέργεια και δεν αντιστοιχεί πάντα στην μέγιστη τιμή PPV. Οι συχνότητες με τις οποίες καταγράφονται οι μέγιστες τιμές εδαφικών δονήσεων PPV θα εξεταστούν ξεχωριστά.

Στοχεύοντας να προσδιοριστεί ενδεικτικά ένας λόγος ''ανταπόκρισης'' της ανωδομής σε σχέση με την βάση του μνημείου που θα αφορούσε αυτή την φορά τις συχνότητες, έγιναν τα ακόλουθα βήματα:

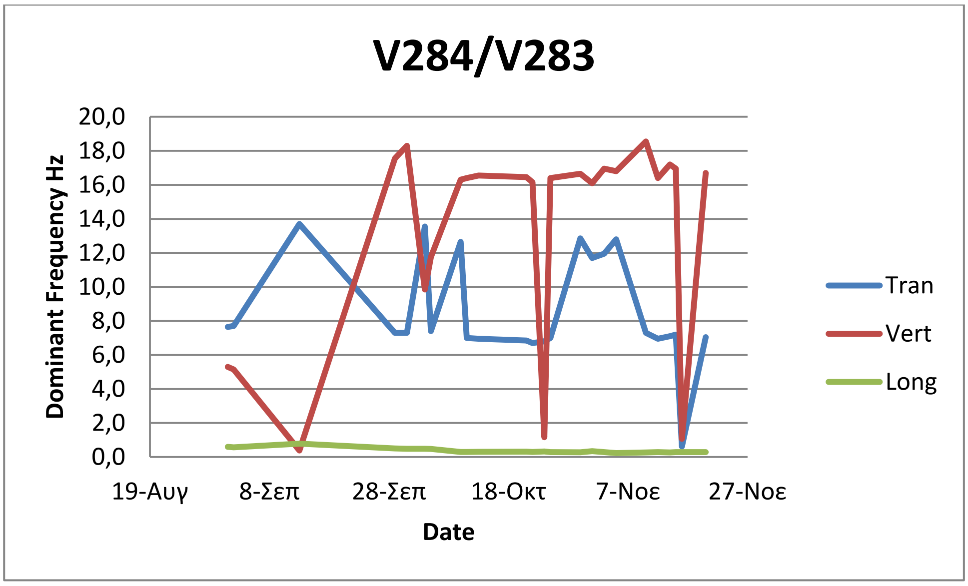
- ✓ Επιλέχτηκε ένα δείγμα 30 καταγραφών από τον συνολικό όγκο δεδομένων καταγραφών, το οποίο κατά κύριο λόγο αντιστοιχούσε σε υψηλές τιμές PPV
- ✓ Έγινε ανάλυση - επεξεργασία FFT
- ✓ Συγκεντρώθηκαν σε φύλλο excel οι δεσπόζουσες συχνότητες που καταγράφηκαν στις 3 συνιστώσες για τους 2 σταθμούς μέτρησης
- ✓ Προετοιμάστηκαν 2 διαγράμματα που αφορούσαν τους 2 σταθμούς μέτρησης και 1 επιπλέον που αντιστοιχούσε στον λόγο αυτών (σχήμα 5.12, 5.13 και 5.14)



Σχήμα 5.12 – Διάγραμμα διακύμανσης της δεσπόζουσας συχνότητας σ το δείγμα καταγραφών εδαφικών δονήσεων του σταθμού μέτρησης V284



Σχήμα 5.13 – Διάγραμμα διακύμανσης της δεσπόζουσας συχνότητας στο δείγμα καταγραφών εδαφικών δονήσεων του σταθμού μέτρησης V283



Σχήμα 5.14 – Διάγραμμα απεικόνισης του λόγου των 2 σταθμών μέτρησης που αφορά την διακύμανση της δεσπόζουσας συχνότητας στο δείγμα καταγραφών εδαφικών δονήσεων

Από τα παραπάνω διαγράμματα γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι οι τιμές των συχνοτήτων που καταγράφηκαν δεν έδωσαν κάποιο σαφές συμπέρασμα, ούτε καθίσταται εφικτός κάποιος ουσιαστικός σχολιασμός. Σε αντίθεση με την εξέταση των τιμών PPV, ο λόγος ‘’συμπεριφοράς’’ της ανωδομής σε σχέση με την βάση του Κάστρου, αναφορικά για τις συχνότητες, δεν οδήγησε σε αξιολογήσιμα συμπεράσματα.

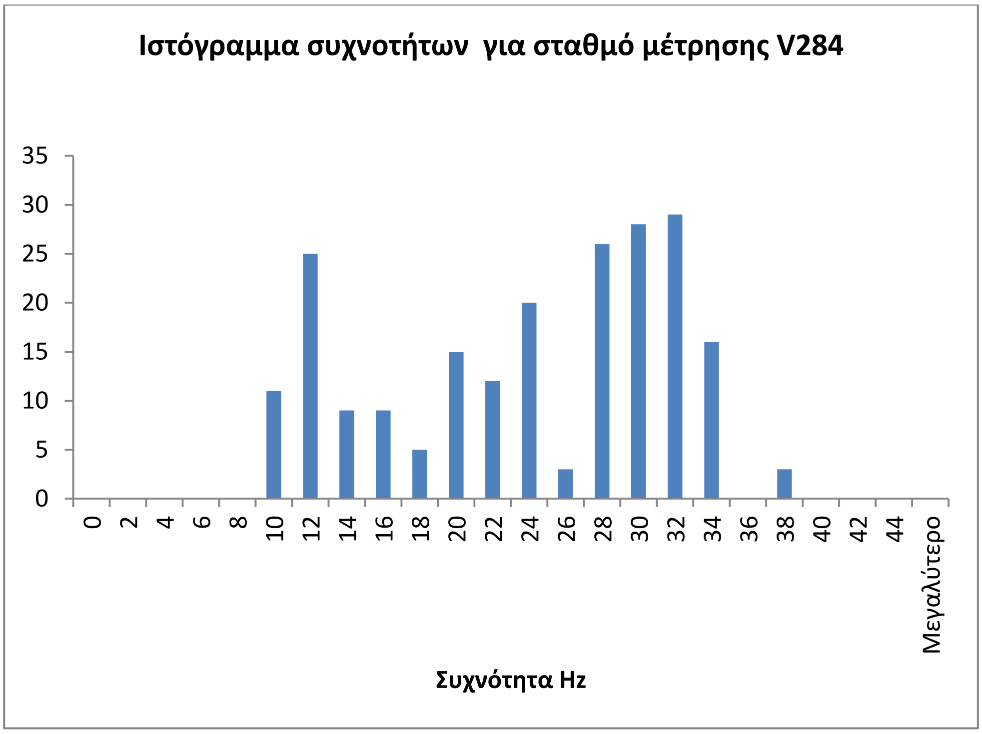
Ακολούθησε η δεύτερη φάση επεξεργασίας, εξετάζοντας αυτή την φορά τις συχνότητες που αντιστοιχούσαν στην μέγιστη PPV τιμή από τις 3 συνιστώσες και για όλο το φάσμα των καταγραφών.

Από ένα σύνολο 211 ανατινάξεων, συγκεντρώθηκαν σε φύλλο excel οι τιμές των συχνοτήτων που αντιστοιχούσαν στην μέγιστη τιμή εδαφικής δόνησης από τις 3 συνιστώσες καταγραφών. Η διαδικασία αυτή έγινε και για τους 2 σταθμούς μέτρησης.

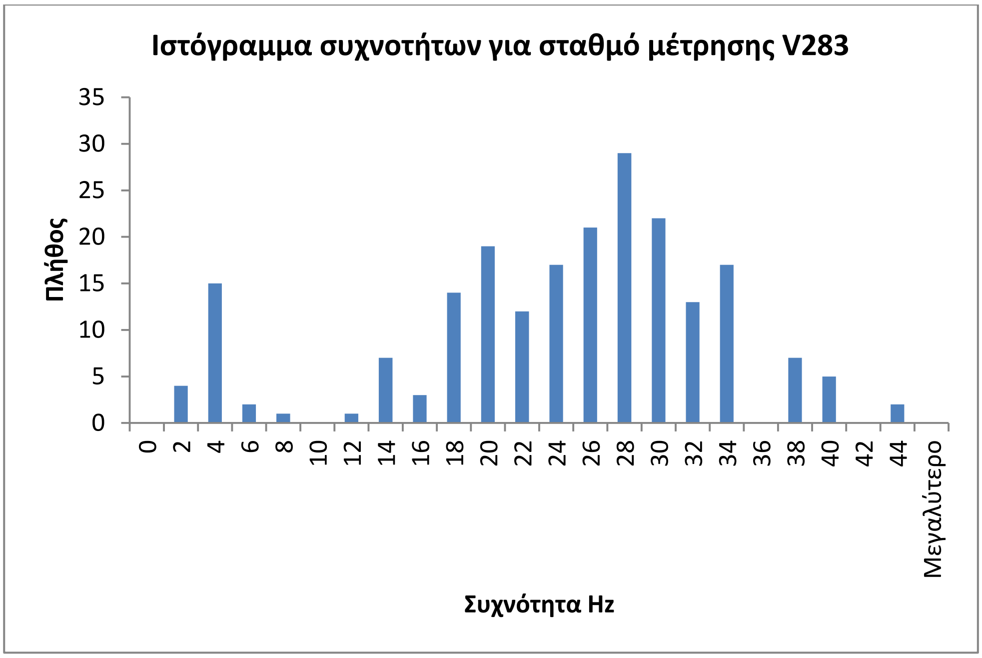
Στον πίνακα 5.4 συνοψίζονται τα πρώτα συμπεράσματα και ακολουθούν ιστογράμματα (σχήμα 5.15, 5.16) που αφορούν τους 2 σταθμούς μέτρησης στα οποία απεικονίζονται οι τιμές των συχνοτήτων που καταγράφηκαν, καθώς και η επαναληψιμότητα αυτών.

Πίνακας 5.4 – Πίνακας στατιστικής επεξεργασίας των τιμών συχνοτήτων εδαφικής δόνησης που αντιστοιχούν στις μέγιστες τιμές PPV για κάθε καταγραφή στους 2 σταθμούς μέτρησης

ΤΙΜΕΣ	**ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΟΝΗΣΕΩΝ (V284) ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ PPV**	**ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΔΟΝΗΣΕΩΝ (V283) ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ PPV**
MIN (Hz)	9.5	1.8
MAX (Hz)	37	43
AVERAGE (Hz)	24	24



Σχήμα 5.15 – Ιστόγραμμα τιμών συχνοτήτων εδαφικής δόνησης που αντιστοιχούν στις μέγιστες τιμές PPV για τον σταθμό μέτρησης V284



Σχήμα 5.16 -Ιστόγραμμα τιμών συχνοτήτων εδαφικής δόνησης που αντιστοιχούν στις μέγιστες τιμές PPV για τον σταθμό μέτρησης V283.

Από τα παραπάνω ιστογράμματα συμπεραίνεται ότι η επικρατούσα περιοχή συχνοτήτων ήταν από **10-12 Hz** και από **24-34 Hz** για τον σταθμό μέτρησης V284 και **20-34 Hz** για τον V283.

Επιπλέον, με βάση τα παραπάνω ιστογράμματα, παρατηρήθηκε μια διαφοροποίηση στις καταγραφές των συχνοτήτων στην ανωδομή και στην βάση του Μνημείου. Οι συχνότητες καθορίζονται κατά κύριο λόγο από το μέσο διάδοσης τους (γεωλογικό σχηματισμό), τα δομικά χαρακτηριστικά και την θέση της εκάστοτε κατασκευής.

Ο σταθμός μέτρησης της βάσης κατέγραψε συχνότητες οι οποίες καθορίστηκαν κυρίως από τον γεωλογικό σχηματισμό ως βασικό μέσο διάδοσης, ενώ το συχνοτικό περιεχόμενο στην ανωδομή παρουσίασε διαφοροποιήσεις λόγω πιθανής επιρροής και των δομικών χαρακτηριστικών του Μνημείου.

Οι συχνότητες συγκαταλέγονται στις παραμέτρους που πρακτικά δεν επηρεάζονται (non controllable parameters) ούτε μπορούν να υποστούν κάποια επέμβαση όπως συμβαίνει με την περίπτωση της ταχύτητας.

Εν συνεχεία, εξετάστηκε και αναλύθηκε το συχνοτικό περιεχόμενο των καταγραφών. Η παρουσία χαμηλόσυχνων/υψίσυχνων καταγραφών και η επικινδυνότητα αυτών, αποτελεί βασικό αίτιο ανάλυσης και ελέγχου, βάσει των προδιαγραφών – κριτηρίων ασφαλείας.

5.8 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΓΕΡΜΑΝΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ DIN4150 ΚΑΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΩΝ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ ΓΟΜΩΣΗΣ

Η αξιολόγηση των δεδομένων καταγραφών και η εκτίμηση της επικινδυνότητας σχετίζεται άμεσα με τον παράγοντα της μέγιστης ταχύτητας των εδαφικών δονήσεων. Ο συνδυασμός όμως συχνότητας και ταχύτητας εδαφικών δονήσεων κρίνεται σκόπιμος για να γίνουν περαιτέρω εκτιμήσεις επικινδυνότητας των προκαλούμενων δονήσεων.

Με βάση τις εκτιμήσεις που έγιναν σε προηγούμενη ενότητα (βλέπε 5.7.2) παρατηρήθηκε ότι η επικρατούσα συχνοτική περιοχή στις καταγραφές του σταθμού μέτρησης V284 κάλυψε σε μεγάλο βαθμό το συχνοτικό φάσμα τιμών του V283, γεγονός που καθιστά τις καταγραφές του V284 αναγκαίες για περαιτέρω ανάλυση και ελέγχου επικινδυνότητας. Γνωρίζοντας ότι οι χαμηλές συχνότητες καταγραφών θεωρούνται πιο επικίνδυνες στην δομή μιας κατασκευής λόγω πιθανής ταύτισης με την ιδιοσυχνότητα της, επιλέχτηκε να εξετασθεί το συχνοτικό φάσμα τιμών από 10-34 Hz που είναι και η επικρατούσα συχνοτική περιοχή (βλ. ιστογράμματα 5.15 και 5.16).

Στην συνέχεια προκύπτει ο πίνακας 5.5 με το προτεινόμενο εύρος τιμών μέγιστης ταχύτητας εδαφικής δόνησης βασιζόμενος στους καθορισμούς των Γερμανικών προδιαγραφών DIN 4150.

Πίνακας 5.5 – Προτεινόμενο εύρος τιμών μέγιστης ταχύτητας εδαφικής δόνησης (PPV) με βάση το κριτήριο DIN4150

Κατηγορία κτισμάτων σύμφωνα με τις προδιαγραφές DIN 4150 *	**Προτεινόμενο εύρος τιμών μέγιστης ταχύτητας εδαφικής δόνησης PPV (mm/s) για εύρος συχνοτήτων 10-34 Hz ****
L3	**3 έως 5**
* Θεωρήθηκε ότι αρχαιολογικοί χώροι και ευαίσθητες στις δονήσεις, κατασκευές όπως το Κάστρο της Ωριάς, εντάσσονται στην κατηγορία L3	
**Διαφοροποίηση των τιμών PPV με βάση το συχνοτικό περιεχόμενο δονήσεων	

Εξετάζοντας την δυσμενέστερη περίπτωση και στοχεύοντας σε ασφαλή διαχείριση του θέματος των ανατινάξεων, χρησιμοποιήθηκε η τιμή PPV = 3 mm/s με βάση τον πίνακα 5.5 με σκοπό τον υπολογισμό των επιτρεπόμενων (αποδεκτών) τιμών γόμωσης ανά χρόνο επιβράδυνσης για δεδομένες αποστάσεις (πίνακας 5.6).

Για την προετοιμασία του πίνακα 5.6 χρησιμοποιήθηκε το μαθηματικό μοντέλο ''ανηγμένης απόστασης'' SD2.

Πίνακας 5.6 – Μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα γόμωσης ανά Χ.Ε, για PPV = 3 mm/s

Απόσταση (m)	**Γόμωση ανά ΧΕ (kg/ΧΕ)**
500	153
475	131
450	112
425	94.1
400	78.5
375	64.7
350	52.6
325	42.1
300	33.1
275	25.5
250	19.2

Με βάση τα δεδομένα από τον σταθμό μέτρησης V284 και τα αποτελέσματα που συνοψίζονται στον πίνακα 5.6, με βάση το διάγραμμα SD2, προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η μέγιστη τιμή γόμωσης/ΧΕ των 33 kg/ΧΕ είναι επιτρεπόμενη σε απόσταση 300 m. Με βάση τα δεδομένα καταγραφών που ήταν διαθέσιμα, στην συγκεκριμένη απόσταση υλοποιήθηκε η αλλαγή του σχεδιασμού και η μέγιστη ποσότητα γόμωσης/ΧΕ μειώθηκε σε 15 kg/ΧΕ. Είναι προφανές λοιπόν ότι ακόμα και για τις πιο μικρές αποστάσεις από το Κάστρο οι καταγραφές δονήσεων δεν επηρέασαν την στατική δομή του Μνημείου.

- Οι καταγραφές PPV δεν ξεπέρασαν την τιμή των 2.5 mm/s σε σύνολο 211 ανατινάξεων (με εξαίρεση λίγες περιπτώσεις καταγραφών PPV > 2 mm/s αλλά για μακρινές αποστάσεις από το Κάστρο και με τιμές γόμωσης κάτω από τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια βάση του πίνακα 5.6) γεγονός που αποδεικνύει ότι ο σχεδιασμός ανατινάξεων διάνοιξης δεν προκάλεσε δυσμενείς επιπτώσεις στο Κάστρο.

Αναλύοντας λεπτομερώς όλες τις παραμέτρους που επηρέασαν τις τιμές των εδαφικών δονήσεων, έγινε κατανοητό ότι οι ποσότητες που επιλέχτηκαν ως μέγιστη γόμωση/ΧΕ για πριν και μετά την αλλαγή του σχεδιασμού, καθώς και οι αποστάσεις μετώπων – Κάστρου για τις οποίες καταγράφηκαν τιμές εδαφικών δονήσεων, αποτέλεσαν απόδειξη μιας ασφαλούς διαχείρισης και αυστηρού ελέγχου επικινδυνότητας σε ότι αφορά την πρόληψη επιπτώσεων σε κατασκευές ευαίσθητες σε δονήσεις όπως το ‘’Κάστρο της Ωριάς’’.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η διαχείριση – έλεγχος και επεξεργασία δεδομένων που κατεγράφησαν από τους σταθμούς μέτρησης δονήσεων που ήταν εγκατεστημένοι στο Βυζαντινό Μνημείο ''Κάστρο Ωριάς'' στα πλαίσια διάνοιξης με ανατινάξεις, της Σήραγγας T2S στα Τέμπη.

Ο έλεγχος της επικινδυνότητας έγινε με βάση τις αυστηρές προδιαγραφές του κριτηρίου DIN4150, αναλύοντας σχολαστικά καταγραφές τιμών ταχυτήτων και συχνοτήτων εδαφικής δόνησης.

Η χρήση των μαθηματικών μοντέλων ''ανηγμένης απόστασης'' κρίθηκε απαραίτητο κριτήριο για την εξαγωγή συμπερασμάτων, συγκρίνοντας με αυτό τον τρόπο τις πραγματικές με τις θεωρητικές εκτιμήσεις. Αυτά θεωρούνται ''πολύτιμα εργαλεία'' προς αυτή την κατεύθυνση.

Από το σύνολο της επεξεργασίας προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Όταν κατασκευάζονται Έργα, ακόμα και στις περιπτώσεις που γίνεται ελεγχόμενη ή με αυστηρά κριτήρια υλοποίηση ανατινάξεων, η πρόληψη των δυσμενών επιπτώσεων και η αποφυγή πρόκλησης βλαβών (ειδικά σε αρχαιολογικά και ιστορικής σημασία κτίσματα ή ευαίσθητες δομές), μπορούν να διαχειριστούν αποτελεσματικά με συστήματα ελέγχου των προκαλούμενων δονήσεων και αξιολόγηση – αξιοποίηση αξιόπιστων δεδομένων καταγραφών. Έτσι αποκτάται μια πολύ καλή τεκμηρίωση σε σχέση με τις συνθήκες διαχείρισης της επικινδυνότητας, αλλά επιπλέον διασφαλίζεται και η δυνατότητα αποτελεσματικής επέμβασης στο σχεδιασμό των ανατινάξεων και προσαρμογής – βελτιστοποίησης τουλάχιστον σε ότι αφορά τους κινδύνους των προκαλούμενων δονήσεων. Έτσι έγινε και στην περίπτωση του Βυζαντινού Μνημείου ''Κάστρο της Ωριάς'' σε σχέση με τις ανατινάξεις διάνοιξης της οδικής Σήραγγας T2S του Έργου της Κ/Ξ ΜΚC στα Στενά των Τεμπών.

- Ο κοινός σχεδιασμός ανατινάξεων που αφορά στους δύο κλάδους διάνοιξης της σήραγγας και η εξέταση των καταγραφών που προέρχονται από ομοειδείς ανατινάξεις στον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό, οδήγησε στον υπολογισμό ενός ενιαίου διαγράμματος ''ανηγμένης απόστασης'' για την σήραγγα T2S.
- Για την σωστή και πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση των προκαλούμενων δονήσεων, κρίθηκε απαραίτητη η αναθεώρηση - βελτιστοποίηση του μαθηματικού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε στην αρχική προσέγγιση του θέματος.
- Επιλέχτηκε και χρησιμοποιήθηκε η χρήση κυβικής ρίζας στα διαγράμματα ''ανηγμένης απόστασης'' (όπως συνιστάται σε περιπτώσεις υπόγειων ανατινάξεων), αυξάνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο την αξιοπιστία τους σε σχέση με την τετραγωνική.
- Το εύρος των τιμών ταχυτήτων εδαφικής δόνησης (PPV) για τους δύο σταθμούς μέτρησης κυμάνθηκε ως εξής (πίνακας 6.1):

Πίνακας 6.1 – Εύρος τιμών ταχυτήτων εδαφικής δόνησης.

Α/Α	**ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ**	
	V284	**V283**
MAX PPV (mm/s)	3,750	0.889
MIN PPV (mm/s)	0.429	0.079

- Το εύρος τιμών συχνοτήτων εδαφικής δόνησης που καταγράφηκε, κυμάνθηκε ως εξής (πίνακας 6.2):

Πίνακας 6.2 – Εύρος τιμών συχνοτήτων εδαφικής δόνησης.

Α/Α	**ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ**	
	V284	**V283**
MIN (Hz)	9.5	1.8
MAX (Hz)	37	43

- Η χρήση αξιόπιστου μαθηματικού μοντέλου ''ανηγμένης απόστασης'' και η σύγκριση των διαθέσιμων καταγραφών με βάση το κριτήριο DIN4150, πρόσφερε πιο αυστηρά όρια από ότι διαπιστώνεται στην πράξη με μεμονωμένες καταγραφές. Δικαίως λοιπόν τα μαθηματικά μοντέλα αυτά αποτελούν την ''δονημετρική'' ταυτότητα της περιοχής.
- Η ανωδομή θεωρείται πιο επιρρεπής στις εδαφικές δονήσεις σε σχέση με την βάση θεμελίωσης. Μελετώντας την συμπεριφορά της δόθηκαν πληροφορίες για τις τιμές που θα αναμένονταν να καταγραφούν στην ανωδομή ενός αρχαιολογικού κτιρίου παρόμοιων γεωμετρικών χαρακτηριστικών και κόπωσης, για ακόμα πιο κοντινές αποστάσεις μετώπων ανατίναξης και με καταγραφές PPV κατά πολύ υψηλότερες στην βάση.
- Με βάση την αξιολόγηση των δεδομένων καταγραφής από τους δύο σταθμούς μέτρησης, δεν φάνηκε να υπάρχουν δυσμενείς επιπτώσεις από τις ανατινάξεις που πραγματοποιήθηκαν. Οι τιμές των δονήσεων που προκλήθηκαν την συγκεκριμένη περίοδο ήταν κάτω από τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια με βάση τις προδιαγραφές DIN4150 για την κατηγορία κατασκευών L3.
- Επιλέχτηκε η χρήση του κριτηρίου DIN4150 που αφορά την βάση θεμελίωσης λόγω μεγαλύτερης αυστηρότητας και διεθνούς αποδοχής.
- Χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα ''ανηγμένης απόστασης'' SD2 για τον υπολογισμό των επιτρεπόμενων τιμών γόμωσης, εξαιτίας των πιο ικανοποιητικών συντελεστών επεξεργασίας - τροποποίησης.
- Η επέμβαση της ΕΞΟΡΥΞΗ ΑΕ στον αρχικό σχεδιασμό ανατίναξης συνέβαλε στην μείωση των προκαλούμενων δονήσεων. Κατά την επέμβαση αυτή, το μέτωπο χωρίστηκε στην μέση κατά τον κατακόρυφο άξονα της Σήραγγας και η σύνδεση των δύο ομάδων έγινε με την προσθήκη ενός SL επιβραδυντή. Με αυτό τον τρόπο πρακτικά διπλασιάστηκαν οι χρόνοι επιβράδυνσης και μειώθηκε η ποσότητα γόμωσης/ ΧΕ.
- Με βάση την εξέταση του συχνοτικού περιεχομένου των καταγραφών, συμπεραίνεται ότι η διαφοροποίηση τους στις καταγραφές των σταθμών μέτρησης, οφείλεται σε παράγοντες που δεν είναι εφικτό να γίνει επέμβαση (non – controllable parameters) όπως συμβαίνει με την ταχύτητα PPV. Για τον

λόγο αυτό, είναι απαραίτητη η εξέταση και ο έλεγχος της επικινδυνότητας αυτών από δονησιογράφους και η περαιτέρω αξιολόγηση τους με βάση διεθνή κριτήρια ασφαλείας τα οποία σε κάθε περίπτωση συσχετίζουν τιμές PPV με την συχνότητα (Hz).

- Η μελέτη της δεσπόζουσας συχνότητας των καταγραφών δεν οδήγησε σε αξιοσημείωτα συμπεράσματα για την συμπεριφορά της ανωδομής σε σχέση με την βάση θεμελίωσης της κατασκευής. Οι συχνότητες αυτές ‘’μεταφέρουν’’ την μεγαλύτερη ενέργεια διάδοσης των κυμάτων της έκρηξης και μπορεί να χαρακτηριστούν επιβλαβείς στην δομή, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την επεξεργασία τους. Ωστόσο, από την εξέταση τους δεν προέκυψε κάποιο σαφές αξιολογήσιμο συμπέρασμα.
- Με βάση τις αυστηρές προδιαγραφές του κριτηρίου DIN4150 εξετάστηκαν και οι περιπτώσεις καταγραφών PPV που αντιστοιχούν σε χαμηλές συχνότητες. Γνωρίζοντας ότι χαμηλές τιμές καταγραφών συχνοτήτων εδαφικής δόνησης μπορεί να αποτελέσουν αρνητική επιρροή στην στατική δομή του Μνημείου, (εξαιτίας πιθανής ταύτισης αυτών με την ιδιοσυχνότητα της κατασκευής) έγινε σαφές ότι για την συγκεκριμένη περίοδο οι δονήσεις που καταγράφηκαν δεν προκάλεσαν δυσμενείς επιπτώσεις στο Μνημείο.

Ολοκληρώνοντας μια λεπτομερέστατη εξέταση όλων των παραμέτρων που συμβάλλουν σε μια ασφαλή ανατίναξη και στην καταγραφή των προερχόμενων από αυτή, δονήσεων, έγινε σαφές ότι ο σχεδιασμός ανατινάξεων που επιλέχτηκε για την διάνοιξη της σήραγγας T2S δεν καθίσταται επιβλαβής στην δομή και ακεραιότητα του Κάστρου.

6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Λόγω της τεχνικής των υπόγειων ανατινάξεων και των υπεισερχομένων παραγόντων σε αυτές, προκύπτουν διαγράμματα μειωμένης αξιοπιστίας σε σχέση με τις επιφανειακές. Για την βελτίωση της εκτίμησης των συντελεστών προτείνεται:

– Ο προσδιορισμός του χρόνου επιβράδυνσης (και κατά συνέπεια της αντίστοιχης ποσότητας γόμωσης) που προκάλεσε την υψηλότερη καταγραφή PPV, με σκοπό την διόρθωση του μαθηματικού μοντέλου για το σύνολο των καταγραφών.

Με αυτό τον τρόπο το μαθηματικό μοντέλο θα πλησιάσει περισσότερο την πραγματική εικόνα των καταγραφών, ελαχιστοποιώντας τα σφάλματα που προκύπτουν.

Συνιστάται η μελέτη και ο προσδιορισμός της ιδιοσυχνότητας της κατασκευής που εξετάζεται, καθώς και η παρακολούθηση αυτής ταυτόχρονα και με άλλα συστήματα (όπως σύνθετα ψηφιακά ρωγμήμετρα), με σκοπό τον έλεγχο της επικινδυνότητας εξαιτίας δονήσεων χαμηλών συχνοτήτων.

Ο προσδιορισμός του λόγου PPV ανωδομής/ PPV βάσης του Μνημείου προσφέρει αρκετές πληροφορίες για περιπτώσεις ελέγχου επιπτώσεων σε κατασκευές με παρόμοια γεωμετρικά – τεχνικά χαρακτηριστικά.

Θα μπορούσε να προταθεί επανασχεδιασμός της διάταξης των ΧΕ και η ανακατανομή τους, με βασική εστίαση στην διάταξη των ΧΕ στα διατρήματα δαπέδου. Η ομάδα διατρημάτων δαπέδου αντιστοιχούσε στους χρόνους που προκάλεσαν τις μεγαλύτερες τιμές PPV. Εκτός από την χρήση καψυλίων N^o 55 και N^o 60, θα ήταν πιο υλοποιήσιμο και οικονομικό να είχαν προστεθεί περισσότερα N^o καψυλίων στα διατρήματα δαπέδου, γεγονός που θα συνεισέφερε αποτελεσματικά στην μείωση των προκαλούμενων δονήσεων.

Ο συσχετισμός των παραμέτρων που επηρεάσανε αρνητικά την αξιοπιστία των συντελεστών του μαθηματικού μοντέλου κρίνεται απαραίτητος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- Αγιουτάντης, Ζ. (2002). Στοιχεία Γεωμηχανικής, Μηχανική Πετρωμάτων, Εκδόσεις ''ΙΩΝ'' , Αθήνα.
- Αγιουτάντης, Ζ. (2009). Στοιχεία Διάτρησης και Ανατίναξης, Εκδόσεις ''ΙΩΝ'', Αθήνα.
- Αμπελάκια Τέμπη – Ιστορική Αναδρομή – Προοπτικές, (2004). Εκδόσεις ''Ελλα'', Λάρισα.
- Γκαζέτας, Γ. , Καβουνίδης, Δ. , Ρόζος, Δ. , Τσιάμπας, Γ. , (2010). Πόρισμα επιτροπής εμπειρογνωμόνων για τις καταπτώσεις στα Τέμπη, ΤΕΕ, Αθήνα.
- Μπαλικτσής, Η. (2000). Εξορυκτική δραστηριότητα σε μεγάλα κατασκευαστικά – τεχνικά έργα. Ανατινάξεις και έλεγχος δονήσεων. 3^{ο} Συνέδριο Ορυκτού Πλούτου, Αθήνα.
- Μπαλικτσής, Η. , Κατσαμπάνης, Δ. (2000). ''Τεχνολογία και Τεχνογνωσία Εκρηκτικών Ανατινάξεων'', 3^{ο} Συνέδριο Ορυκτού Πλούτου, Αθήνα.
- Μπαλικτσής, Η. και Συνεργάτες, ΕΤΕΚ Κύπρου – ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε (2003). Ημερίδα ''Τεχνολογία – Τεχνογνωσία Ανατινάξεων 2003'', Λευκωσία, Κύπρος.
- Μπαλικτσής, Α. (2006). Αποτελεσματική διαχείριση και πρόληψη επιπτώσεων ανατινάξεων κοντά σε ευαίσθητες εγκαταστάσεις και δομές – Η περίπτωση της επέκτασης του ΑΗΣ Αθερινόλακκου Κρήτης. Διπλωματική εργασία, Χανιά.
- Μπαλικτσής, Η. (2010). Η Βραχόπτωση της 17/12/09 στα Στενά των Τεμπών σε σχέση με τις δονήσεις των ανατινάξεων διάνοιξης της νέας οδικής Σήραγγας, 6^{ο} Συνέδριο Γεωτεχνικής – Περιβαλλοντικής Μηχανικής ΤΕΕ, Βόλος.
- Νέος ΚΜΛΕ
- Πολυχρονόπουλος, Ι. Γ. , (1979). Εκρηκτικές Ύλες - Τεχνική Εξορύξεως των Πετρωμάτων – Καθαίρεση Κατασκευών, Εκδόσεις ''Σελλούντος'', Αθήνα.

- Πολυχρονόπουλος, Ι. Γ. , (2001). Εκρηκτικές Ύλες - Τεχνική Εξορύξεως των Πετρωμάτων – Καθαίρεση Κατασκευών, Εκδόσεις ‘’Σέλκα’’, Αθήνα.
- Τσουτρέλης, Χ. Ε. , (1997). Εκρηκτικές ύλες και τεχνική των ανατινάξεων, Τόμος 1, Εκδόσεις Ε.Μ.Π. , Αθήνα.
- Τσουτρέλης, Χ. , (2001). Εκρηκτικές ύλες και τεχνική των ανατινάξεων, Τόμος 2, Εκδόσεις Ε.Μ.Π. , Αθήνα.
- Τσουτρέλης, Χ. , Γκίκας, Ν. , Νομικός, Π. , (2000). Προστασία των κατασκευών από τις προκαλούμενες από τις ανατινάξεις δονήσεις. – Μια πρόταση για την τροποποίηση του σχετικού άρθρου του Κ.Μ.Λ.Ε. , 3^{ο} Συνέδριο Ορυκτού Πλούτου, Αθήνα.
- www.exorixi.gr
- www.extraco.gr

ΔΙΕΘΝΗΣ

- Baliktsis E. and A. Baliktsis, Establishing acceptable PPV limits in high risk blasting projects that are outside conventional guidelines and standards, 9th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting and WORKSHOP on VIBRATION from BLASTING – 9th FRAGBLAST (September 13-17. 2009. Granada Spain)
- Bhandari, S. (1997). Engineering rock blasting operations, Balkema.
- Lopez Jimeno, C., Lopez Jimeno, E. and Javier Ayala, C.F. (1995). Drilling and blasting of rocks, A.A. Balkema, Rotterdam.
- James J. Snodgrass, David E. Siskind, (1974). ''Vibrations from underground blasting'' , US Bureau of Mines, Washington D.C
- Instantel, inc., Canada. (1995-1997). Minimate Plus, Blastware s/w Operator Manual
- Persson, P.A., R. Holmberg and J. Lee, (1994). ''Rock Blasting and Explosive engineering'', CRC Press, New York.
- Siskind, D.E., Stag, M.S., Kopp, J.W. and Dowding, C.H. (1980). ''Structure response and damage produced by underground vibrations from surface blasting'', US Bureau of Mines. , Washington D.C.
- www.sciencedirect.com