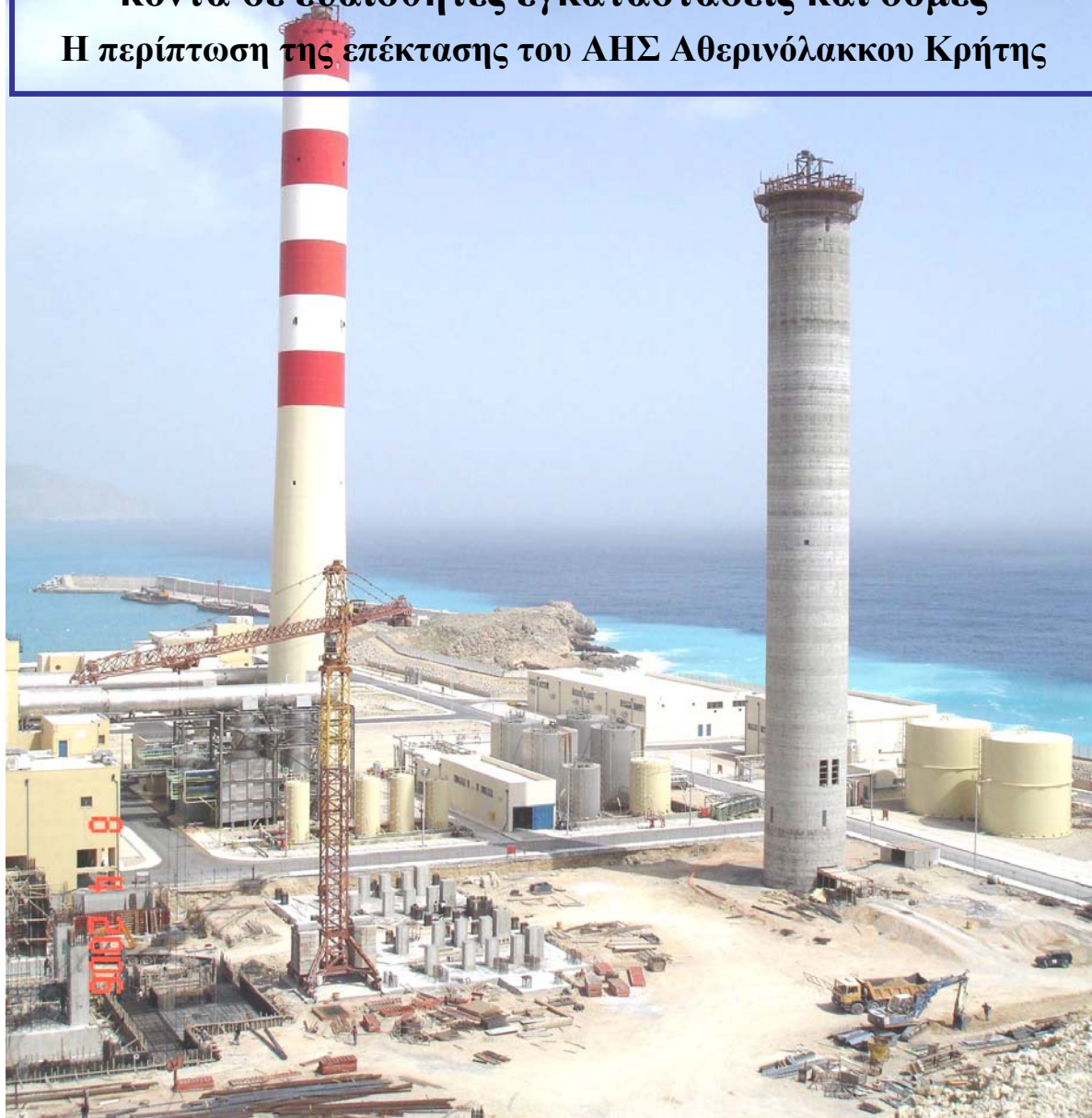


**Αποτελεσματική διαχείριση και πρόληψη επιπτώσεων
ανατινάξεων**

**κοντά σε ευαίσθητες εγκαταστάσεις και δομές
Η περίπτωση της επέκτασης του ΑΗΣ Αθρινόλακκου Κρήτης**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ – ΚΛΕΟΒΟΥΛΟΣ Η. ΜΠΑΛΙΚΤΣΗΣ

Εξεταστική Επιτροπή

Καθ. Ζαχαρίας Αγιουτάντης (επιβλέπων)

Καθ. Γεώργιος Εξαδάκτυλος

Δρ. Κωνσταντίνος Κακλής

Χανιά
Σεπτέμβριος, 2006

Πρόλογος – Ευχαριστίες

Η Διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Σπουδών μου στο Τμήμα “Μηχανικών Ορυκτών Πόρων” του Πολυτεχνείου Κρήτης. Το θέμα που διαπραγματεύεται αφορά σε Έργο της ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ Α.Ε., και ειδικότερα στην κατασκευή της 1^{ης} επέκτασης του ΑΗΣ Αθρινόλακκου Κρήτης. Στα πλαίσια αυτού του Έργου η εταιρεία ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε ανέλαβε και υλοποίησε προγράμματα σχεδιασμού και δονημετρικού ελέγχου ανατινάξεων.

Στο σημαντικό αυτό Έργο και ιδιαίτερα κατά την τελευταία εξέλιξή του, που συνέπεσε και με την ολοκλήρωση των σπουδών μου, είχα την ευκαιρία να απασχοληθώ από τα μέσα του 2005, συνεργαζόμενος με την ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε, συμβούλου σε θέματα ανατινάξεων και δονημετρικού ελέγχου της Αναδόχου Κοινοπραξίας (ΑΘΗΝΑ ΑΤΕ).

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

- Στον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Ζ. Αγιουτάντη για την πολύτιμη καθοδήγηση και τις χρήσιμες συμβουλές και επισημάνσεις του.
- Στον πατέρα μου, Πρόεδρο και Διευθύνοντα Σύμβουλο της εταιρείας ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε, Ηλία Μπαλικτσή για όλο το απαραίτητο υλικό και εξοπλισμό που μου παρείχε, αλλά και για την σημαντική βοήθεια, στήριξη και καθοδήγηση που μου πρόσφερε ποικιλοτρόπως καθ’ όλη τη διάρκεια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας.
- Στο προσωπικό της ΕΞΟΡΥΞΗ ΑΕ για την εποικοδομητική συνεργασία και την βοήθεια στη συλλογή στοιχείων υπαίθρου και αρχείου.

Την συνδρομή και στήριξη όλων, θεωρώ ανεκτίμητη και τιμητική, τόσο για την ολοκλήρωση της Διπλωματικής εργασίας μου, όσο και για την απόκτηση εμπειρίας και γνώσεων που αναζητά ένας νέος Μηχανικός.

ΧΑΝΙΑ 25/08/06

Αλέξανδρος - Κλεόβουλος Μπαλικτσή

Περίληψη

Σκοπός – αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας, ήταν ο σχεδιασμός – διαχείριση ανατινάξεων μέσα ή πολύ κοντά σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, και πιο συγκεκριμένα κατά τις εκσκαφές θεμελίωσης της 1^{ης} επέκτασης του ΑΗΣ Αθρινόλακκου Κρήτης. Ζητούμενο ήταν να αποφευχθούν πλήρως οι κίνδυνοι πρόκλησης βλαβών και δυσμενών επιπτώσεων από δονήσεις και εκτινάξεις στις εγκαταστάσεις του ΑΗΣ Αθρινόλακκου Κρήτης που βρισκόταν σε λειτουργία.

Ο σχεδιασμός ανατινάξεων και το πρόγραμμα ελέγχου δονήσεων αφορά στην 4^η Φάση του προγράμματος ελέγχου ανατινάξεων, το οποίο ανέλαβε και υλοποίησε η εταιρεία ΕΞΟΡΥΞΗ ΑΕ, και η οποία πραγματοποιήθηκε κατά την κατασκευή της 1^{ης} επέκτασης του ΑΗΣ Αθρινόλακκου Κρήτης και κυρίως κατά την εκσκαφή θεμελίωσης της 2^{ης} ψηλής καμινάδας της μονάδας.

Οι εξορυκτικές εργασίες – ανατινάξεις έπρεπε να πραγματοποιηθούν σε επαφή με την κύρια μονάδα και τις βοηθητικές εγκαταστάσεις της ή περιφερειακά δίκτυα. Βασικό στοιχείο του προγράμματος δονημετρικού ελέγχου αφορούσε στην αξιολόγηση των καταγραφικών δεδομένων, με την κατάλληλη επεξεργασία των οποίων επιδιώχθηκε να γίνει ασφαλής και τεκμηριωμένη διαχείριση του θέματος των ανατινάξεων και της πρόληψης των πιθανών κινδύνων και επιπτώσεων από τις προκαλούμενες δονήσεις.

Επίσης, εξ ίσου αποτελεσματική θα έπρεπε να είναι και η διαχείριση του θέματος πρόληψης κινδύνων από τις εκτινάξεις των ανατινάξεων. Η καθολική αποφυγή τους, αποτελούσε κριτήριο σχεδιασμού και υλοποίησης – προσαρμογής των ανατινάξεων

Ταυτόχρονα με την εφαρμογή του προγράμματος δονημετρικού ελέγχου, είχε αναληφθεί και πρόγραμμα σχεδιασμού και επιτόπου υποστήριξης εφαρμογής των ανατινάξεων σε ότι αφορά στις παραγωγικές τους παραμέτρους, δηλαδή γεωμετρία εκσκαφής και επιθυμητός θρυμματισμός.

Σε κάθε περίπτωση κυρίαρχο δεδομένο αποτελούσε η ταχύτατη ολοκλήρωση των εκσκαφών θεμελίωσης της 1^{ης} επέκτασης του ΑΗΣ, δίχως την παραμικρή υποχώρηση ή “συμβιβασμό” με τα θέματα ασφαλείας της κυρίως μονάδας που βρισκόταν σε λειτουργία..

Θέμα ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

Αποτελεσματική διαχείριση και πρόληψη επιπτώσεων ανατινάξεων κοντά σε ευαίσθητες εγκαταστάσεις και δομές

Η περίπτωση της επέκτασης του ΑΗΣ Αθερινόλακκου Κρήτης

Περιεχόμενα

Πρόλογος

Κατάλογος Σχημάτων, Πινάκων και Εικόνων

1 Το αντικείμενο των ανατινάξεων στο Έργο του ΑΗΣ Αθερινόλακκου Κρήτης

- 1.1 Περιγραφή και συνοπτική παρουσίαση του έργου
- 1.2 Γεωλογικά και γεωτεχνικά στοιχεία περιοχής
- 1.3 Ανάλυση αντικειμένου και φάσεων ελέγχου – αξιολόγησης στοιχείων ανατινάξεων
 - 1.3.1 Γενικά
 - 1.3.2 Φάση 1^η: Εργασίες γενικής διαμόρφωσης χώρου
 - 1.3.3 Φάση 2^η: Αξιολόγηση ανατινάξεων και πρόληψη επιπτώσεων κατά την σκυροδέτηση της 1^{ης} καμινάδας
 - 1.3.4 Φάση 3^η: Διάνοιξη χαντακιού μέσα στις εγκαταστάσεις
 - 1.3.5 Φάση 4^η: Εκσκαφές θεμελίωσης της πρώτης επέκτασης του σταθμού

2 Κίνδυνοι - Δονήσεις προερχόμενες από τις ανατινάξεις

- 2.1 Κίνδυνοι από τις ανατινάξεις και η συμμετοχή των δονήσεων
- 2.2 Γενικά για τις δονήσεις που προκαλούνται από ανατινάξεις
- 2.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη και παράμετροι των εδαφικών δονήσεων
 - 2.3.1 Κύματα εδαφικών δονήσεων
 - 2.3.2 Μετρήσιμα μεγέθη
- 2.4 Χαρακτηριστικά μεγέθη και παράμετροι αέριας δόνησης
- 2.5 Παράμετροι που επηρεάζουν το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά των εδαφικών δονήσεων
 - 2.5.1 Γενικά

- 2.5.2 Επίδραση της απόστασης από το σημείο ανατίναξης
- 2.5.3 Επίδραση των χαρακτηριστικών της εκρηκτικής ύλης και του σχεδίου ανατίναξης
- 2.6 Εκτίμηση των προκαλούμενων εδαφικών και αέριων δονήσεων από ανατινάξεις
 - 2.6.1 Η “ανηγμένη απόσταση” ως ένας χρήσιμος εκτιμητής
 - 2.6.2 Αξιοποίηση του μαθηματικού μοντέλου - διαγράμματος “ανηγμένης απόστασης”
- 2.7 Προδιαγραφές ελέγχου επιπτώσεων - επικινδυνότητας των εδαφικών δονήσεων
 - 2.7.1 Ελληνικές προδιαγραφές
 - 2.7.2 Διεθνείς Προδιαγραφές και DIN4150
 - 2.7.3 Προδιαγραφές - όρια δονήσεων ανατινάξεων: Οι συμβατικές υποχρεώσεις για το Έργο

3 Προετοιμασία, σχεδιασμός και υλοποίηση των ανατινάξεων του έργου επέκτασης του ΑΗΣ Αθρινόλακκου Κρήτης κατά την περίοδο 11–12/2005 (4^η Φάση)

- 3.1 Περιγραφή και στοιχεία των εκσκαφών θεμελίωσης
- 3.2 Αξιοποίηση διαθέσιμων στοιχείων και προηγούμενης εμπειρίας για τον σχεδιασμό και την διαχείριση των ανατινάξεων της 4^{ης} φάσης
- 3.3 Βασικός σχεδιασμός – παραδοχές – στοιχεία προετοιμασίας των ανατινάξεων
- 3.4 Αποτύπωση και στοιχεία του χώρου εκσκαφής και του περιβάλλοντος χώρου – εντοπισμός και ανάλυση κινδύνων
- 3.5 Προδιαγραφές και δεδομένα σχεδιασμού με βάση την μεθοδολογία Scaled Distance
- 3.6 Σταθμοί μέτρησης δονήσεων – Εξοπλισμός και σύστημα ελέγχου
- 3.7 Το πρόβλημα της διαμέτρου διάτρησης
- 3.8 Ανατινάξεις που πραγματοποιήθηκαν
- 3.9 Δίκτυο δονησιογράφων και σταθμοί μέτρησης
- 3.10 Μέτρα περιορισμού εκτινάξεων
- 3.11 Μέτρα περιορισμού της περιβάλλουσας ζώνης διάρρηξης

4 Δεδομένα καταγραφής και αξιολόγηση προγράμματος δονημετρικού ελέγχου

- 4.1 Συλλογή – αξιολόγηση δεδομένων καταγραφής συστήματος δονησιογράφων – Οι αναλυτικές αναφορές
- 4.2 Επανέλεγχος και αναθεώρηση του μαθηματικού μοντέλου “ανοιγμένης απόστασης”
- 4.3 Αξιολόγηση επικινδυνότητας και καθορισμός επιτρεπόμενων ποσοτήτων γόμωσης
- 4.4 Σύγκριση τιμών PPV που προκύπτουν από τα μοντέλα “ανοιγμένης απόστασης” με τις πραγματικές

5 Συμπεράσματα

- 5.1 Σύνοψη – Συμπεράσματα
- 5.2 Προτάσεις

6 Βιβλιογραφία - Αναφορές

**Παράρτημα: Οριζοντιογραφία – Τοπογραφικό διάγραμμα περιοχής
Χώρος πραγματοποίησης ανατινάξεων (βάση νέας καμινάδας) –
Απεικόνιση σταθμών μέτρησης δονήσεων
Αριθμός Σχεδίου: ΔΕ 01.00.Α**

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 2.1 - Σχηματική απεικόνιση της ακτινικής διάδοσης των σεισμικών κυμάτων κατά την πυροδότηση των εκρηκτικών υλών διατρήματος (Τσουτρέλης, 2001)	20
Σχήμα 2.2 - Τύποι παραγομένων από ανατίναξη σεισμικών κυμάτων (Jimeno et al., 1995)...23	
Σχήμα 2.3 - Σχηματική απεικόνιση των κυμάτων P (Jimeno et al., 1995, Konya, 1991).....21	
Σχήμα 2.4 - Σχηματική απεικόνιση των κυμάτων S (Jimeno et al., 1995, Konya, 2003).....22	
Σχήμα 2.5 – Επίδραση της απόστασης από το σημείο ανατίναξης (Τσουτρέλης, 2001).....27	
Σχήμα 2.6 – Επίδραση του χρόνου επιβράδυνσης στην μέγιστη ταχύτητα δόνησης (Nobel Explosives Co., 1998)	29
Σχήμα 2.7 – Διάγραμμα “ανηγμένης απόστασης” σε διπλολογαριθμικό χαρτί (λογισμικό BlastWare).....	33
Σχήμα 2.8 - Καμπύλες ταχύτητας δόνησης - συχνότητας για μετρήσεις στον χώρο των θεμελίων (DIN 4150 1: 2001 - 06, Structural vibration - Part 1: Predicting vibration parameters)	39
Σχήμα 2.9 - Τιμές ταχύτητας δόνησης σε σχέση με τις συχνότητες για τρεις κατηγορίες κατασκευών (L1, L2, L3) (DIN 4150 1: 2001 - 06, Structural vibration - Part 1: Predicting vibration parameters)	39
Σχήμα 3.1 - Κάτοψη και τομή της εκσκαφής θεμελίωσης της 2 ^{ης} ψηλής καμινάδας.....41	
Σχήμα 3.2 - Διάγραμμα – μαθηματικό μοντέλο “ανηγμένης απόστασης” ανατινάξεων Έργου ΑΗΣ Αθρινόλακκου (κωδικός SD1). Προτάθηκε και χρησιμοποιήθηκε για τον αρχικό σχεδιασμό των ανατινάξεων της 4 ^{ης} Φάσης	46
Σχήμα 3.3 – Γόμωση διατρήματος 105 mm με χρήση κενού πλαστικού σωλήνα για την μείωση της “διαμέτρου γόμωσης”	56
Σχήμα 3.4 - Στάδια εξέλιξης των ανατινάξεων.....	61
Σχήμα 4.1 - Τυπική αναφορά δονησιογράφου (πρόγραμμα επεξεργασίας: Instantel - BlastWare).....	70
Σχήμα 4.2 - Υπόμνημα και καταγραφικών δεδομένων της αναφοράς δονημετρικού ελέγχου (πρόγραμμα επεξεργασίας: Instantel - BlastWare).....	71
Σχήμα 4.3 - Διάγραμμα – μαθηματικό μοντέλο “ανηγμένης απόστασης” ανατινάξεων Έργου ΑΗΣ Αθρινόλακκου (SD4)	74
Σχήμα 4.4 – Αναθεώρηση του SD1 με προσθήκη στην βάση επεξεργασίας του των δεδομένων καταγραφής της 4ης Φάσης (SD14)	75
Σχήμα 4.4 - Ανάλυση συχνοτικού περιεχομένου	76

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1 - Έργα κατασκευής - Φάσεις υλοποίησης προγράμματος ελέγχου ανατινάξεων .2	
Πίνακας 2.1 - Παράμετροι που επηρεάζουν τις εδαφικές δονήσεις	26
Πίνακας 3.1 - Στοιχεία δονησιογράφων που χρησιμοποιήθηκαν	47
Πίνακας 3.2 - Συγκεντρωτικά στοιχεία σχεδιασμού και υλοποίησης ανατινάξεων περιόδου 30/11 - 17/12/05	59
Πίνακας 3.3 - Σταθμοί μέτρησης – θέσεις εγκατάστασης δονησιογράφων ⁽¹⁾	60
Πίνακας 4.1 - Στοιχεία – αποτελέσματα δονημετρικού ελέγχου ανατινάξεων για τον υπολογισμό του διαγράμματος “ανηγμένης απόστασης” (εφαρμογή λογισμικού BlastWare INSTANTEL).....	69

Πίνακας 4.2 - Προτεινόμενο εύρος αποδεκτών τιμών μέγιστης ταχύτητας εδαφικής δόνησης (PPV), με βάση το κριτήριο DIN4150	76
Πίνακας 4.3α - Μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα γόμωσης ανά χρόνο επιβράδυνσης (PPV = 10 mm/sec)	77
Πίνακας 4.3β - Μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα γόμωσης ανά χρόνο επιβράδυνσης (PPV = 30 mm/sec)	78
Πίνακας 4.4 - Σύγκριση πραγματικών τιμών εδαφικής δόνησης με τις αναμενόμενες τιμές από τα μαθηματικά μοντέλα "ανηγμένης απόστασης"	79

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 - Γενική άποψη του χώρου εργασιών του ΑΗΣ Αθρινόλακκου Κρήτης κατά την 1 ^η φάση του προγράμματος ελέγχων	5
Εικόνα 2 - Άποψη του χώρου όπου πραγματοποιήθηκαν χερσαίες ανατινάξεις με παραγωγή ογκολίθων (ως προστασία ακτογραμμής και κυματοθραύστες)	6
Εικόνα 3 - Εργασίες μεταφοράς ογκολίθων για την ενίσχυση του κυματοθραύστη, των νότιων πρανών και της ακτογραμμής	7
Εικόνα 4 - Γενική άποψη του χώρου πραγματοποίησης των υποθαλάσσιων ανατινάξεων	7
Εικόνα 5 - Υποθαλάσσια ανατίναξη	8
Εικόνα 6 - Σταθμός μέτρησης - ελέγχου δονήσεων	8
Εικόνα 7 - Δίκτυο σταθμών μέτρησης προγράμματος ελέγχου δονήσεων - υποστήριξη και υποδομή γραφείου	10
Εικόνα 8 - Κατά την προετοιμασία της ανατίναξης - διάτρηση	12
Εικόνα 9 - Γενική άποψη του χώρου κατασκευής του ΑΗΣ κατά την διάρκεια της 3 ^{ης} Φάσης	12
Εικόνα 10 - Επιπλέον μέτρα προστασίας για την αποφυγή εκτινάξεων	14
Εικόνα 11 - Υλικό - σωρός που προέκυψε μετά την ανατίναξη	14
Εικόνα 12 - Στοιχεία Έργου. Διακρίνεται η 1 ^η ψηλή καμινάδα (μονάδα σε λειτουργία)	15
Εικόνα 13 - Γενική άποψη του χώρου κατά την έναρξη εργασιών της 4ης Φάσης	16
Εικόνα 14 - Άποψη του χώρου εκσκαφής θεμελίωσης της 2 ^{ης} ψηλής καμινάδας. Διακρίνεται το Μηχανοστάσιο, το Κτήριο Κεντρικού Ελέγχου καθώς και τμήματα της 1 ^{ης} ψηλής καμινάδας και των δεξαμενών λαδιού	17
Εικόνα 15 - Διατρητικό μηχάνημα κατά την διάτρηση για την 1 ^η ανατίναξη	43
Εικόνα 16 - Φυσίγγιο αμμωνίτη μαζί με ακαριαία θρυαλλίδα	44
Εικόνα 17 - Σταθμός μέτρησης δονήσεων δίπλα από τον αγωγό ύδατος	48
Εικόνα 18 - Σταθμός μέτρησης δονήσεων σε δεξαμενή λαδιού	48
Εικόνα 19 - Σταθμός μέτρησης δονήσεων σε δεξαμενή λαδιού	49
Εικόνα 20 - Σταθμός μέτρησης δονήσεων στο Κτήριο Ελέγχου	50
Εικόνα 21 - Σταθμός μέτρησης δονήσεων στο Κτήριο του Χημείου	51
Εικόνα 22 - Σταθμός μέτρησης δονήσεων στις δεξαμενές ύδατος	52
Εικόνα 23 - Σταθμός μέτρησης δονήσεων μέσα σε δεξαμενή καυσίμου	53
Εικόνα 24 - Ένας από τους δύο μόνιμα εγκατεστημένους σταθμούς μέτρησης, ο συγκεκριμένος στο Κτήριο του Χημείου, για συνεχή καταγραφή δονήσεων και επικοινωνία μέσω modem	54
Εικόνα 25 - Κατά την γόμωση. Πλαστικός σωλήνας και ANFO χύδην	57
Εικόνα 26 - Προβλήματα γεωλογίας του μετώπου εργασίας	62
Εικόνα 27 - Δημιουργία προστατευτικού αναχώματος ως μέτρο προστασίας εκτινάξεων	63
Εικόνα 28 - Δημιουργία προστατευτικού αναχώματος ως μέτρο προστασίας εκτινάξεων	64

Εικόνα 29 - Μέτρα προστασίας για την αποφυγή εκτινάξεων. Δομικό πλεύγμα πάνω από γεώφασμα	64
Εικόνα 30 - Προϊόν της Α01 στην οποία δεν υπήρχε ελεύθερη επιφάνεια – μέτωπο	65
Εικόνα 31 - Προϊόν της Α04 η οποία είχε ελεύθερη επιφάνεια	66
Εικόνα 32 - Δημιουργία ζώνης ανάσχεσης (προρηγμάτωσης) των σεισμικών κυμάτων από τις κοντινότερες κατασκευές (όπως διακρίνεται σε πρώτο πλάνο ο αγωγός νερού)	67
Εικόνα 33 - LaserAce300. Όργανο Laser που χρησιμοποιήθηκε για την άμεση μέτρηση των αποστάσεων και την αποτύπωση των σταθμών μέτρησης.....	72
Εικόνα 34 - LaserAce300. Όργανο Laser που χρησιμοποιήθηκε για την άμεση μέτρηση των αποστάσεων και την αποτύπωση των σταθμών μέτρησης.....	73
Εικόνα 35 - Άποψη του χώρου του ΑΗΣ κατά την διάρκεια κατασκευής των εγκαταστάσεων της 2 ^{ης} μονάδας και 2 ^{ης} ψηλής καμινάδας	83

Κεφάλαιο 1: Το αντικείμενο των ανατινάξεων στο έργο του ΑΗΣ Αθερινόλακκου Κρήτης

1.1 Περιγραφή και συνοπτική παρουσίαση του έργου

Σε τέσσερις διακριτές (χρονικά και τεχνικά) φάσεις η εταιρία ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε., ανέλαβε και υλοποίησε προγράμματα σχεδιασμού και δονημετρικού ελέγχου ανατινάξεων στα πλαίσια κατασκευής του **ΑΗΣ ΑΘΕΡΙΝΟΛΑΚΚΟΥ ΚΡΗΤΗΣ**. Από τα προγράμματα αυτά (και κυρίως από το πιο πρόσφατο), προέρχονται τα στοιχεία της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Κύριος των Έργων Κατασκευής και επέκτασης του ΑΗΣ, ήταν η **ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ (ΔΕΗ) Α.Ε. - ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΜΕΛΕΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΘΗΕ**.

Πρόκειται για τον νεότερο Σταθμό Ηλεκτροπαραγωγής (ΑΗΣ) της Κρήτης, στην περιοχή του Αθερινόλακκου, του Νομού Λασιθίου, στο Νοτιοανατολικό άκρο του νησιού. Στα πλαίσια της κατασκευής του ΑΗΣ, ανατέθηκαν τρία Έργα – Εργολαβίες (Πίνακας 1.1), στα οποία περιλαμβάνονταν η γενική εκσκαφή – διαμόρφωση του χώρου, η εξασφάλιση επιφανειών θεμελίωσης των κύριων και βοηθητικών εγκαταστάσεων του ΑΗΣ Αθερινόλακκου, η ανέγερση των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων και πρόσφατα, η πρώτη επέκταση του Σταθμού (υπό συνθήκες λειτουργίας της κύριας μονάδας).

Οι κάθε είδους εργασίες εκσκαφής, έγιναν κυρίως σε βραχώδη ασβεστολιθικό – λατυποκροκαλοπαγή σχηματισμό, για την εξόρυξη του οποίου ήταν απαραίτητη η εφαρμογή ανατινάξεων.

Το πρόγραμμα σχεδιασμού - υλοποίησης ανατινάξεων και εφαρμογής προγράμματος ελέγχου των προκαλούμενων δονήσεων που ανέλαβε και εφάρμοσε η εταιρεία ΕΞΟΡΥΞΗ ΑΕ, αποσκοπούσε στην αποτελεσματική διαχείριση του αντικειμένου των ανατινάξεων και στην πρόληψη των δυσμενών επιπτώσεων, κινδύνων πρόκλησης βλαβών. Μπορεί να διακριθεί - χωρισθεί σε τέσσερις φάσεις (Πίνακας 1.1), με την πρώτη φάση να ξεκινάει τον Οκτώβριο, 2002, ενώ οι εργασίες για την τέταρτη φάση,

η οποία αποτελεί και το κύριο αντικείμενο της παρούσας, ξεκίνησαν τον Οκτώβριο, 2005.

Πίνακας 1.1 - Έργα κατασκευής - Φάσεις υλοποίησης προγράμματος ελέγχου ανατινάξεων
(ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε., 2002 – 2006)

Κατασκευή του ΑΗΣ Αθρινόλακκου Κρήτης		Πρόγραμμα σχεδιασμού - ελέγχου ανατινάξεων που υλοποίησε η ΕΞΟΡΥΞΗ ΑΕ		
Διαδοχικά έργα - Εργολαβίες κατασκευής		Ανάδοχος Έργου	Φάσεις προγράμματος	Περίοδος υλοποίησης φάσεων
1	Γενική διαμόρφωση χώρου, χωματουργικά και λιμενικά έργα	Κ/Ξ ΤΕΒ – ΠΑΡΝΩΝ	1 ^η Φάση	1-7/10/02
			2 ^η Φάση	16/10/02-06/11/02
2	Κατασκευή της 1 ^{ης} μονάδας (συμπεριλαμβανομένης και της 1 ^{ης} ψηλής καμινάδας)	Κ/Ξ ΑΘΗΝΑ Α.Τ.Ε – FOSTER WHEELER IBERIA S.A	3 ^η Φάση	13-14/01/04
3	Κατασκευή της 1 ^{ης} επέκτασης του ΑΗΣ Αθρινόλακκου Κρήτης και της 2 ^{ης} ψηλής καμινάδας (Δυτικά των υφισταμένων και σε λειτουργία εγκαταστάσεων)	Κ/Ξ ΑΘΗΝΑ Α.Τ.Ε - FOSTER WHEELER IBERIA S.A	4 ^η Φάση (*)	30/11/05-29/3/06

(*) Αντικείμενο της Διπλωματικής Εργασίας

1.2 Γεωλογικά και γεωτεχνικά στοιχεία περιοχής

Στοιχεία υπαίθρου, και κυρίως η εικόνα του χώρου εξορυκτικών εργασιών, μαζί με στοιχεία που συγκεντρώθηκαν από τα συμβατικά τεύχη του Έργου, αποτέλεσαν τη βάση για τα σχόλια που ακολουθούν.

Τα κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθοι αποτελούσαν τον κύριο «βραχώδη» ή «σκληρό» σχηματισμό, στο χώρο όπου αναπτύσσονταν οι εργασίες. Ειδικά για την γεωλογία του χώρου ανάπτυξης της 4^{ης} Φάσης, αναφέρονται τα εξής:

Για την περιοχή της εκσκαφής θεμελίωσης της βάσης της καμινάδας, είχαν πραγματοποιηθεί κάποιες δοκιμαστικές γεωτρήσεις για να διερευνηθεί το υπόβαθρο και οι ενδεχόμενες κοιλότητες που υπήρχαν. Στην συνέχεια αυτές οι γεωτρήσεις

χρησιμοποιήθηκαν για την έγχυση ενέματος έτσι ώστε να μην υπάρχουν έγκοιλα και ασθeneίς ζώνες κάτω από τον χώρο θεμελίωσης της καμινάδας.

Με αυτές επιβεβαιώθηκε ότι η περιοχή της βάσης θεμελίωσης είναι σε βραχώδη σχηματισμό, ενώ στο πάνω μέρος υπήρχε ένας χαλαρός ορίζοντας με υλικά από την διαμόρφωση του χώρου και με το πάχος να κυμαινόταν από 0.5 m έως 0.8 m. Από κάτω άρχιζε ο ασβεστόλιθος, ο οποίος σε κάποιες θέσεις είχε εναλλαγές με άλλους σχηματισμούς (κροκαλοπαγή και μαργαϊκά υλικά), με ανοίγματα ή ενστρώσεις μη βραχώδους υλικού.

Ειδικά για τα εξορυσσόμενα κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθους, διατυπώθηκαν οι εξής σκέψεις και προβληματισμοί:

1. Επειδή παρουσίαζαν συμπεριφορά βραχώδους σχηματισμού για την εξόρυξή τους απαραίτητη προϋπόθεση ήταν η καθολική σχεδόν χρήση – εφαρμογή ανατινάξεων. Όμως, ο σχηματισμός αυτός, δεν ήταν ομοιόμορφος και ομοιογενής (όπως τουλάχιστον θα αναμενόταν από έναν τυπικό βραχώδη σχηματισμό), και αυτό επηρέαζε τόσο την εξορυξιμότητά του, όσο και την κοκκομετρία, θρυμματισμό και τα «ποιοτικά» χαρακτηριστικά των προϊόντων της ανατίναξης. Ταυτόχρονα, η βραχώμαζα (ως σύνολο) παρουσιαζόταν ακατάστατη σε ότι αφορά τα μηχανικά της χαρακτηριστικά και συμπεριφορά.
2. Δύο κυρίως παράμετροι, ευθυνόταν για τα πιο πάνω:
 - οι συχνές εναλλαγές σκληρής μάζας, με κενά (έγκοιλα) και μαλακά υλικά,
 - το συνδετικό υλικό στα κροκαλοπαγή.
3. Φαίνεται ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση, το συνδετικό υλικό, ήταν το καθοριστικό στοιχείο, που καθόριζε τη συμπεριφορά της βραχώμαζας, την εξορυξιμότητα και θρυμματισμό, αλλά κυρίως τη «διαβρωσιμότητα». Εξετάζοντας ορισμένους ογκολίθους από κροκαλοπαγή (προϊόντα παλαιότερων ανατινάξεων), παρατηρήθηκε ότι σε αυτούς το συνδετικό υλικό, μπορούσε να είναι:
 - μαλακό, με όψη γαιώδους υλικού, γενικά εύκολα αποσπώμενου,
 - μαλακό έως εύθρυπτο, με αμμώδη όψη ή σύσταση,

- σκληρό μεν, αλλά να διασχίζεται από ζώνες (πλάτους μερικών cm), με γαιώδη ή μαλακά υλικά,
- σκληρό, έως «τσιμεντοποιημένο», τόσο που η συνολική μάζα του κροκαλοπαγούς να έχει την ίδια συμπεριφορά με εκείνη των κροκάλων.

Από την ίδια τη φύση και τη δομή του εξορυσσόμενου γεωλογικού σχηματισμού, προέκυπταν προβλήματα και σημαντικές δυσχέρειες τόσο στην εφαρμογή (υλοποίηση) των ανατινάξεων, όσο και στην επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος (θρυμματισμού και γεωμετρίας εκσκαφών).

Γι' αυτό ευθύνεται το γεγονός ότι τα κροκαλοπαγή, ακόμη και όταν έχουν σκληρό - συνεκτικό συνδετικό υλικό, παρουσιάζουν πολύ κακή, έως απροσδιόριστη, «ανταπόκριση» στα εκρηκτικά. Η «ευθραυστότητά» τους διαφέρει κατά πολύ ενός ασβεστόλιθου για παράδειγμα, ενώ ο θρυμματισμός που προκύπτει από την ανατίναξη, σπάνια ακολουθεί τους σχετικούς κανόνες, όπως και δύσκολα συσχετίζεται με τη γεωμετρία – διάταξη των διατρημάτων και την κατανομή της γόμωσης.

Ακόμη, τουλάχιστον στο τμήμα του χώρου όπου αναπτυσσόταν οι εξορυκτικές εργασίες, εντοπίζονταν στα μέτωπα εξόρυξης (ή στο τμήμα όπου διανοίγονταν τα διατρήματα των ανατινάξεων) εναλλαγές σκληρού υλικού (κροκαλοπαγούς και ασβεστολίθου) και οριζόντων μαλακού υλικού ή κενών με ή δίχως υλικά πλήρωσης. Αυτό, έκανε τη λειτουργία των εκρηκτικών υλών (τουλάχιστον για την εφαρμοζόμενη τεχνική γόμωσης των διατρημάτων) ιδιαίτερα προβληματική και φυσικά εάν δεν λαμβανόταν τα κατάλληλα μέτρα, η εξόρυξη μπορεί να αποβεί λίγο ή καθόλου αποτελεσματική. Κατά κανόνα, η δράση (και τα αέρια) των εκρηκτικών κατά την ανατίναξη, «σπαταλώνται» ή χάνονται στο μαλακό ή κενό τμήμα που έχει διαπεράσει το διάτρημα, με αποτέλεσμα να μην παράγεται το επιθυμητό έργο, ούτε να επιτυγχάνεται ο στοιχειώδης πολλές φορές θρυμματισμός του εξορυσσόμενου υλικού (Πολυχρονόπουλος, 1979).

Τα πιο πάνω αποτελούσαν τους παράγοντες της εξόρυξης που δεν επιδεχόταν επέμβαση ή έλεγχο. Αποτελούσαν όμως τα δεδομένα με βάση τα οποία θα έπρεπε να προσαρμοσθούν και να επιλεγούν (όσο αυτό είναι εφικτό) οι παράμετροι – επιλογές σχεδιασμού και προετοιμασίας των ανατινάξεων.

1.3 Ανάλυση αντικειμένου φάσεων ανατινάξεων

1.3.1 Γενικά

Για λόγους πληρέστερης παρουσίασης των αντικειμένων που εξελίχθηκαν σε σχέση με τη διαχείριση των ανατινάξεων, κρίθηκε σκόπιμο να δοθούν ορισμένα συνοπτικά στοιχεία για τις φάσεις που προηγήθηκαν της τελευταίας (4^η φάση) και η οποία αναφέρεται λεπτομερώς και διαπραγματεύεται στην παρούσα εργασία.

1.3.2 Φάση 1^η: Εργασίες γενικής διαμόρφωσης χώρου

Στην φάση αυτή περιλαμβάνονταν οι ανατινάξεις των βασικών εργασιών γενικής διαμόρφωσης χώρου, εξασφάλισης του κύριου επιπέδου εγκατάστασης του ΑΗΣ, η μόρφωση των πρανών, η τοποθέτηση υλικών προστασίας της ακτογραμμής (Εικόνα 1). Επίσης περιλαμβάνονταν υποθαλάσσιες ανατινάξεις για την εκβάθυνση και διαμόρφωση του λιμανιού (ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε., 2001).



Εικόνα 1 - Γενική άποψη του χώρου εργασιών του ΑΗΣ Αθρινόλακκου Κρήτης κατά την 1^η φάση του προγράμματος ελέγχων

Κύριος στόχος του δονημετρικού ελέγχου κατά την 1^η Φάση, ήταν να ελεγχθούν – καταγραφούν αναγνωριστικά οι προκαλούμενες δονήσεις των ανατινάξεων του έργου διαμόρφωσης χώρων, και να διαπιστωθούν προκαταρκτικά τα χαρακτηριστικά τους. Επίσης σημαντική προσπάθεια καταβλήθηκε για την βελτίωση του θρυμματισμού των υλικών των ανατινάξεων, αλλά και για την “ελεγχόμενη” παραγωγή ογκολίθων που απαιτούσαν οι εκτεταμένες λιμενικές – παράκτιες κατασκευές (ως κυματοθραύστες) (Εικόνες 2, 3).



Εικόνα 2 - Άποψη του χώρου όπου πραγματοποιήθηκαν χερσαίες ανατινάξεις με παραγωγή ογκολίθων (ως προστασία ακτογραμμής και κυματοθραύστες)



Εικόνα 3 - Εργασίες μεταφοράς ογκολίθων για την ενίσχυση του κυματοθραύστη, των νότιων πρανών και της ακτογραμμής
Κατά την περίοδο των αναγνωριστικών μετρήσεων της 1^{ης} Φάσης του προγράμματος (01/10/2002 - 07/10/2002), πραγματοποιήθηκαν και ελέγχθηκαν, για τις δονήσεις που προκάλεσαν, συνολικά τέσσερις ανατινάξεις, δύο υποθαλάσσιες (Εικόνες 4, 5) και δυο χερσαίες.



Εικόνα 4 - Γενική άποψη του χώρου πραγματοποίησης των υποθαλάσσιων ανατινάξεων



Εικόνα 5 - Υποθαλάσσια ανατίναξη

Ο αναγνωριστικός έλεγχος – καταγραφή των προκαλούμενων δονήσεων των ανατινάξεων πραγματοποιήθηκε με την δημιουργία πέντε σταθμών μέτρησης, ο ένας εκ των οποίων χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά για τη μέτρηση δονήσεων από υποθαλάσσιες ανατινάξεις (Εικόνα 6).



Εικόνα 6 – Σταθμός μέτρησης – ελέγχου δονήσεων

Με βάση τον σχεδιασμό και την εφαρμογή ενιαίου συστήματος ταξινόμησης - κωδικοποίησης των σταθμών μέτρησης, οι σταθμοί αυτοί ονομάστηκαν AVS01, AVS02, AVS03, AVS04 και AVS05 (το AVS, ορίζεται από τα αρχικά των λέξεων Atherinolakkos Vibration Station). Ο σταθμός που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση δονήσεων από υποθαλάσσιες ανατινάξεις ήταν ο AVS01 (ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε., 2002).

1.3.3 Φάση 2^η: Αξιολόγηση ανατινάξεων και πρόληψη επιπτώσεων κατά την σκυροδέτηση της 1^{ης} καμινάδας

Στόχος του προγράμματος κατά τη 2^η Φάση του, ήταν να διαπιστωθεί αν δημιουργούνται ή πιθανολογούνται κίνδυνοι ή δυσμενείς επιπτώσεις στους χώρους των εργασιών σκυροδέτησης που επρόκειτο να πραγματοποιηθούν ενώ ακόμη βρισκόταν σε εξέλιξη οι εξορυκτικές εργασίες με ανατινάξεις. Ο έλεγχος δυσμενών επιπτώσεων και η διατύπωση "οδηγιών ασφαλείας" ήταν ακόμη πιο αναγκαία κατά τη σκυροδέτηση της 1^{ης} υψηλής καμινάδας, η οποία έπρεπε να είναι συνεχής. Να σημειωθεί ότι οι εργασίες σκυροδετήσεων, θα έπρεπε να συμβαδίζουν:

- με τις ανατινάξεις ολοκλήρωσης της γενικής διαμόρφωσης του χώρου,
- με τις εκσκαφές των θεμελιώσεων του ΑΗΣ και
- με τις υποθαλάσσιες ανατινάξεις.

Το αντικείμενο αυτό ανατέθηκε στην εταιρεία ΕΞΟΡΥΞΗ ΑΕ από τον Κύριο του Έργου (ΔΕΗ). Ζητούμενο ήταν να διατυπωθούν βασικές οδηγίες και περιορισμοί για την προετοιμασία και υλοποίηση των ανατινάξεων που θα ακολουθούσαν, αλλά και να προταθούν προδιαγραφές και κριτήρια ασφαλείας για τις προκαλούμενες δονήσεις σε συνάρτηση με την ηλικία – αντοχή του σκυροδέματος. Με τη φάση αυτή υιοθετήθηκαν και αποτέλεσαν στη συνέχεια την συμβατική υποχρέωση, οι προδιαγραφές DIN4150 (βλέπε ενότητα 2.5.2 - 2.5.3).

Συγκεντρώθηκαν για το σκοπό της 2^{ης} Φάσης πρόσθετα καταγραφικά δεδομένα και μέσα από την αξιολόγηση – επεξεργασία τους επιχειρήθηκε να διατυπωθούν σχετικές οδηγίες προσαρμογής – σχεδιασμού των μελλοντικών ανατινάξεων, έτσι που να τηρηθούν σχετικές προδιαγραφές και να αποφευχθούν κίνδυνοι πρόκλησης βλαβών και δυσμενών επιπτώσεων, ιδιαίτερα στους χώρους σκυροδετήσεων.

Ο έλεγχος – καταγραφή των προκαλούμενων δονήσεων στη διάρκεια της 2^{ης} Φάσης του προγράμματος δονημετρικού ελέγχου των ανατινάξεων, πραγματοποιήθηκε κατά την περίοδο από 16/10/2002 έως και 06/11/2002. Δημιουργήθηκαν τέσσερις σταθμοί μέτρησης επιπλέον των πέντε που προϋπήρχαν από την 1^η Φάση, απαρτίζοντας έτσι ένα πυκνό δίκτυο από εννέα σταθμούς μέτρησης (Εικόνα 7).



Εικόνα 7 – Δίκτυο σταθμών μέτρησης προγράμματος ελέγχου δονήσεων – υποστήριξη και υποδομή γραφείου

Με βάση το σχεδιασμό και την εφαρμογή του ενιαίου συστήματος ταξινόμησης - κωδικοποίησης των σταθμών μέτρησης που προαναφέρθηκε, οι νέοι αυτοί σταθμοί, ονομάστηκαν AVS06, AVS07, AVS08, AVS09 ως συνέχεια των προηγούμενων

σταθμών. Όλοι οι σταθμοί χρησιμοποιήθηκαν για μετρήσεις - έλεγχο τόσο των χερσαίων όσο και των υποθαλάσσιων ανατινάξεων.

Στην 2^η Φάση του προγράμματος πραγματοποιήθηκαν και ελέγχθηκαν, για τις δονήσεις που προκάλεσαν, δώδεκα ανατινάξεις, από τις οποίες οι τέσσερις ήταν υποθαλάσσιες και οι οκτώ ήταν χερσαίες.

Έτσι στις δύο πρώτες φάσεις του προγράμματος συμμετείχαν συνολικά 16 ανατινάξεις και συγκεντρώθηκαν συνολικά 111 πλήρεις καταγραφές, από τις οποίες οι 40 προήλθαν από τις υποθαλάσσιες και οι 71 από τις χερσαίες ανατινάξεις (ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε., 2002).

Τα καταγραφικά δεδομένα αξιολογήθηκαν συνολικά για να διατυπωθούν οδηγίες και περιορισμοί με βάση την μεθοδολογία “ανηγμένης απόστασης” (Scaled Distance ή SD).

1.3.4 Φάση 3^η: Διάνοιξη χαντακιού μέσα στις εγκαταστάσεις

Κατά την περίοδο εγκατάστασης των Μονάδων Diesel No1 και No2, και ενώ ολοκληρωνόταν τόσο το μηχανοστάσιο όσο και τα λοιπά μέρη του ΑΗΣ, ζητήθηκε η κατεπείγουσα διάνοιξη χαντακιού, με την πραγματοποίηση ανατίναξης, ανάμεσα στο κτίριο Ηλεκτροπαραγωγής¹ και το κτίριο Βοηθητικών Εγκαταστάσεων¹ (Εικόνα 8). Επρόκειτο για χαντάκι μήκους 6 m περίπου και πλάτους 3,2 m, το οποίο βρισκόταν σε επαφή με τα δύο προαναφερθέντα κτίρια και κυριολεκτικά στο κέντρο του ΑΗΣ. Ο σχεδιασμός και η τεχνική υποστήριξη του αντικειμένου, έβαζε ως βασικό ζητούμενο την αποτελεσματική πρόληψη και αποφυγή των δυσμενών επιπτώσεων και του κινδύνου πρόκλησης βλαβών (εξ αιτίας των δονήσεων και των εκτινάξεων), στα πλησιέστερα ήδη κατασκευασμένα και υπό κατασκευή κτίρια και δομές (Εικόνα 9).

¹ POWER HOUSE και BLACK START DIESEL GENERATOR SET BUILDING, όπως αυτά αναφέρονται στο Σχέδιο ΔΕ 01.00.Α



Εικόνα 8 – Κατά την προετοιμασία της ανατίναξης – διάτρηση



Εικόνα 9 - Γενική άποψη του χώρου κατασκευής του ΑΗΣ κατά την διάρκεια της 3^{ης} Φάσης

Από τα στοιχεία του προγράμματος ελέγχου δονήσεων που είχε υλοποιηθεί στις προηγούμενες φάσεις, για τις χερσαίες ανατινάξεις διαμόρφωσης χώρων, τα στοιχεία

που συγκεντρώθηκαν επεξεργάστηκαν για τον υπολογισμό του μαθηματικού μοντέλου "ανηγμένης απόστασης". Έτσι είχαν προκύψει πολύ χρήσιμα συμπεράσματα για τον συσχετισμό της μέγιστης ταχύτητας εδαφικής δόνησης (Peak Particle Velocity ή PPV) με την απόσταση και με την ποσότητα γόμωσης ανά χρόνο επιβράδυνσης.

Η αξιολόγηση και τα αποτελέσματα του παραπάνω προγράμματος αποτέλεσαν τον «οδηγό» για το σχεδιασμό και προετοιμασία της «απαιτητικής» αυτής ανατίναξης του Έργου και για τη λήψη βασικών μέτρων πρόληψης του κινδύνου δυσμενών επιπτώσεων και ζημιών στα γύρω κτίρια – κατασκευές, αυτές τουλάχιστον που προέρχονται από τις προκαλούμενες δονήσεις.

Για τις ανάγκες του υπολογιστικού μέρους της προετοιμασίας θεωρήθηκε ότι, ταχύτητα εδαφικής δόνησης $PPV = 50 \text{ mm/sec}$, θα μπορούσε να είναι αποδεκτή και ασφαλής για τις βαριές κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος που βρισκόταν κοντά στο χώρο της συγκεκριμένης ανατίναξης, δεδομένου μάλιστα ότι λόγω της μικρής απόστασης, αναμενόταν - και πράγματι προκλήθηκαν - υψίσυχνες δονήσεις. Από την επεξεργασία του μαθηματικού μοντέλου "ανηγμένης απόστασης" σε υπολογιστή, προέκυψε ότι, για προτεινόμενη $PPV = 50 \text{ mm/sec}$, μετρούμενη σε απόσταση 10 m από την ανατίναξη, η γόμωση ανά χρόνο επιβράδυνσης, της ανατίναξης, δεν θα έπρεπε να υπερβαίνει τα 4,11 kg.

Η λειτουργία του μαθηματικού μοντέλου "ανηγμένης απόστασης", φαίνεται ότι ήταν ιδιαίτερα αξιόπιστη, αφού όπως φαίνεται από τα στοιχεία που προέκυψαν, η ταχύτητα δόνησης που καταγράφηκε από δονησιογράφο σε απόσταση 10 m, ήταν ελαφρώς χαμηλότερη από την θεωρητικώς αναμενόμενη.

Ελήφθησαν ειδικά μέτρα ασφαλείας για την αποφυγή και τον περιορισμό της εκτίναξης υλικών (Εικόνα 10). Η προστατευτική κάλυψη και η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε, λειτούργησε ιδιαίτερα αποτελεσματικά, αφού αποφευχθήκαν πλήρως οι εκτινάξεις (Εικόνα 11).



Εικόνα 10 - Επιπλέον μέτρα προστασίας για την αποφυγή εκτινάξεων



Εικόνα 11 - Υλικό - σωρός που προέκυψε μετά την ανατίναξη

Δημιουργήθηκαν τέσσερις σταθμοί μέτρησης, θέσεις εγκατάστασης των δονησιογράφων, στα δύο κτίρια εκατέρωθεν της ανατίναξης, που ήταν και τα πλησιέστερα. Το κύριο βάρος (3 σταθμοί μέτρησης), δόθηκε στο κτίριο των μηχανών,

όπου μάλιστα βρισκόταν σε εξέλιξη εργασίες συναρμολόγησης του εξοπλισμού (μηχανές diesel).

Ως γενικό συμπέρασμα αναφέρεται, ότι στους τέσσερις σταθμούς μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν στον δονημετρικό έλεγχο της ανατίναξης της 14/1/04, δεν καταγράφηκαν τιμές ταχύτητας δόνησης που να επιβεβαιώνουν κίνδυνο δυσμενών επιπτώσεων ή βλαβών στα κτίρια και τις γειτονικές εγκαταστάσεις (ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε., 2004) .

1.3.5 Φάση 4^η: Εκσκαφές θεμελίωσης της πρώτης επέκτασης του σταθμού

Η 4^η Φάση υλοποιήθηκε από την ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε. στα πλαίσια του Έργου της ΔΕΗ: *ΜΕΛΕΤΗ, ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ, ΜΕΤΑΦΟΡΑ, ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΘΕΣΗ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΥΟ ΙΔΙΩΝ ΑΤΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ 50MW ΕΚΑΣΤΗ, ΜΕ ΚΑΥΣΙΜΟ ΜΑΖΟΥΤ ΧΑΜΗΛΟΥ ΘΕΙΟΥ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ, ΜΕΤΑ ΤΩΝ ΒΟΗΘΗΤΙΚΩΝ ΤΟΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ*, με κύριο Ανάδοχο την τεχνική εταιρεία ΑΘΗΝΑ Α.Τ.Ε.



Εικόνα 12 – Στοιχεία Έργου. Διακρίνεται η 1^η ψηλή καμινάδα (μονάδα σε λειτουργία)



Εικόνα 13 - Γενική άποψη του χώρου κατά την έναρξη εργασιών της 4ης Φάσης

Στα πλαίσια του Έργου, περιλαμβανόταν η εκσκαφή, διαμόρφωση και εξασφάλιση επιφανειών θεμελίωσης των νέων εγκαταστάσεων (1^{ης} επέκτασης) του ΑΗΣ Αθρινόλακκου (Εικόνες 12, 13). Στους χώρους εκσκαφής υπήρχε βραχώδης ασβεστολιθικός, λατυποκροκαλοπαγής σχηματισμός, για την εξόρυξη του οποίου ήταν απαραίτητη η εφαρμογή ανατινάξεων.

Το αντικείμενο της 4^{ης} Φάσης, η οποία υλοποιήθηκε κατά την εκσκαφή θεμελίωσης της 2^{ης} ψηλής καμινάδας και του μηχανοστασίου, ήταν να αποφευχθούν πλήρως οι κίνδυνοι δυσμενών επιπτώσεων και βλαβών στην μονάδα του ΑΗΣ που βρισκόταν σε λειτουργία. Οι εξορυκτικές εργασίες – ανατινάξεις έπρεπε να πραγματοποιηθούν σε επαφή με την κύρια μονάδα και τις βοηθητικές εγκαταστάσεις της ή περιφερειακά δίκτυα (Εικόνα 14).

Βασικό στοιχείο του προγράμματος αφορούσε στην αξιολόγηση των καταγραφικών δεδομένων, με την κατάλληλη επεξεργασία των οποίων επιδιώχθηκε να διαχειριστεί τεκμηριωμένα και με ασφάλεια το θέμα των ανατινάξεων και της πρόληψης των πιθανών κινδύνων και επιπτώσεων από τις προκαλούμενες δονήσεις (ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε., 2005 – 2006).



Εικόνα 14 – Άποψη του χώρου εκσκαφής θεμελίωσης της 2^{ης} ψηλής καμινάδας. Διακρίνεται το Μηχανοστάσιο, το Κτήριο Κεντρικού Ελέγχου καθώς και τμήματα της 1^{ης} ψηλής καμινάδας και των δεξαμενών λαδιού

Προϋπόθεση εφαρμογής του προγράμματος ήταν να συγκεντρωθεί πολύ γρήγορα ένα ικανοποιητικό πλήθος δεδομένων καταγραφής, για επεξεργασία και υπολογισμό του μαθηματικού μοντέλου “ανηγμένης απόστασης” ή αναθεώρηση αυτού που υιοθετήθηκε κατά την έναρξη – αρχικό σχεδιασμό των ανατινάξεων. Έτσι, θα γινόταν εφικτό να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα για τον συσχετισμό της μέγιστης ταχύτητας εδαφικής δόνησης με την απόσταση και με την ποσότητα γόμωσης και να εκτιμηθεί η “δονημετρική ταυτότητα” της περιοχής (με τον υπολογισμό του ανάλογου μαθηματικού μοντέλου “ανηγμένης απόστασης”), με βάση τα στοιχεία – δεδομένα καταγραφής του δονημετρικού ελέγχου.

Ταυτόχρονα με την εφαρμογή του προγράμματος δονημετρικού ελέγχου, είχε αναληφθεί και πρόγραμμα σχεδιασμού και υποστήριξης εφαρμογής των ανατινάξεων σε ότι αφορά στις παραγωγικές τους παραμέτρους, δηλαδή γεωμετρία εκσκαφής και επιθυμητό θρυμματισμό. Επίσης έγινε αποτελεσματική διαχείριση και του θέματος πρόληψης κινδύνων και αποτελεσματικής αποφυγής εκτινάξεων από τις ανατινάξεις (ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε., 2005) . Κατά κανόνα σε έργα ανατινάξεων, όπως το συγκεκριμένο του ΑΗΣ, η πρόληψη των εκτινάξεων ή η καθολική αποφυγή τους γίνεται παράμετρος εξίσου σημαντική με την πρόληψη των προκαλούμενων δονήσεων (Baliktsis, 2005 - 2006, Baliktsis and Baliktsis, 2006).

Κεφάλαιο 2: Κίνδυνοι - Δονήσεις προερχόμενες από τις ανατινάξεις

2.1 Κίνδυνοι από τις ανατινάξεις και η συμμετοχή των δονήσεων

Πραγματοποιώντας εξορυκτικές εργασίες με χρήση εκρηκτικών υλών, δηλαδή ανατινάξεις, σε επαφή ή μέσα σε μια βιομηχανική περιοχή, όπως στη περίπτωση του ΑΗΣ Αθρινολακκου Κρήτης, πρέπει να εξεταστούν και να αναλυθούν ορισμένοι κίνδυνοι οι οποίοι είναι πιθανές αιτίες πρόκλησης δυσμενών επιπτώσεων και ζημιών (Μπαλικτσής και Κατσαμπάνης, 2000, Πατσιλίβας, 2005).

Οι πιθανοί κίνδυνοι που πρέπει να σχολιαστούν – εξεταστούν είναι:

- Εδαφικές δονήσεις
- Αέριες δονήσεις
- Εκτινάξεις
- Υπερεκσκαφές και περιβάλλουσα “ζώνη διάρρηξης”

Ένα από τα ζητούμενα της 4^{ης} Φάσης ήταν η εξέταση και ο καλύτερος δυνατός έλεγχος των ανωτέρω κινδύνων. Κατά την διάρκεια του προγράμματος σημαντικά μέτρα πρόληψης - προστασίας από τις εκτινάξεις ελήφθησαν, με σκοπό την καθολική αποφυγή τους λόγω της εξαιρετικής ευαισθησίας των γύρω κατασκευών (Baliktsis and Baliktsis, 2004 and 2005). Για τον ίδιο λόγο, ο σχεδιασμός των ανατινάξεων έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφευχθεί πιθανή “ζώνη διάρρηξης” στην περιβάλλουσα περιοχή, ειδικά σε σημεία όπου οι ανατινάξεις βρισκόταν σε επαφή ή πολύ κοντά σε δίκτυα ή εγκαταστάσεις της μονάδας.

Όσον αφορά στους κινδύνους λόγω δονήσεων, οι αέριες δονήσεις δεν αποτελούσαν τον πιο πιθανό παράγοντα πρόκλησης βλαβών στο συγκεκριμένο έργο, παρόλα αυτά μετρήθηκαν και αναλύθηκαν εξίσου σχολαστικά με τις εδαφικές δονήσεις. Οι τελευταίες αποτελούσαν κύριο θέμα του προγράμματος δονημετρικού ελέγχου και από τις καταγραφές τους βγήκαν σημαντικά συμπεράσματα για την συνέχιση του Έργου. Από την επεξεργασία τους προήλθε το πολύ χρήσιμο διάγραμμα – μαθηματικό μοντέλο “ανηγμένης απόστασης”, το οποίο εξασφαλίζει πολύτιμα

υπολογιστικά "εργαλεία" με τον συσχετισμό της μέγιστης ταχύτητας εδαφικής δόνησης με την απόσταση και με την ποσότητα γόμωσης.

Στην συνέχεια γίνεται μια συνοπτική θεωρητική προσέγγιση των δονήσεων, ως του πιο σημαντικού κινδύνου πρόκλησης δυσμενών επιπτώσεων, όπως επίσης και θεμάτων σχετικών με αυτές (π.χ. μοντέλο "ανηγμένης απόστασης") για να γίνουν πιο κατανοητά τα όσα θα αναλυθούν στην συνέχεια σχετικά με την υλοποίηση του προγράμματος.

2.2 Γενικά για τις δονήσεις που προκαλούνται από ανατινάξεις

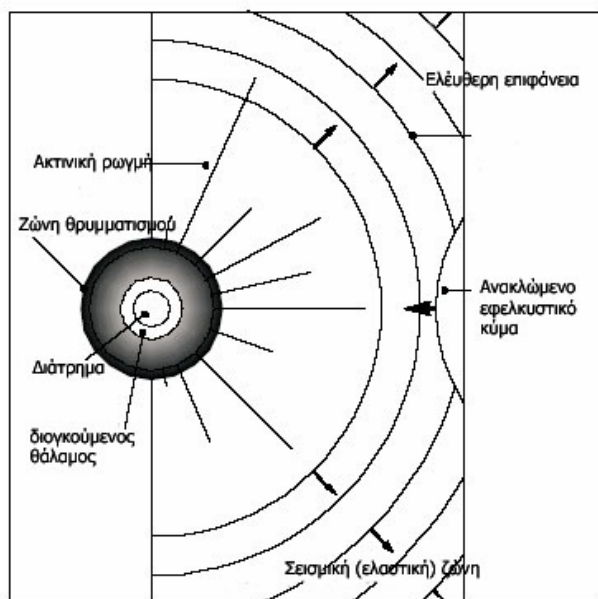
Ανάλογα με το μέσο μετάδοσης, οι δονήσεις που προκαλούνται από τις ανατινάξεις διακρίνονται σε (Μπαλικτσής κ.ά., 2003):

1. Δονήσεις εδάφους (ή εδαφικές δονήσεις)
2. Δονήσεις αέρος, που μπορεί όμως να αναφέρονται και ως θόρυβος ή πίεση αέρος από την ανατίναξη (ή air blasting)

Όταν γίνεται αναφορά σε "δονήσεις από ανατινάξεις", οι δονήσεις εδάφους είναι αυτές στις οποίες εστιάζεται το ενδιαφέρον. Σχεδόν πάντοτε γίνονται αντιληπτές σε αντίθεση με τις δονήσεις αέρος, που μερικές φορές δεν γίνονται αντιληπτές.

Οι εδαφικές δονήσεις χαρακτηρίζονται ως ταλαντώσεις των σωματιδίων του εδάφους. Αποτελούν ένα είδος ενέργειας που μεταφερόμενη μέσω των εδαφικών και βραχωδών σχηματισμών μπορεί να δημιουργήσει ζημιές σε γειτονικές κατασκευές όταν ξεπεράσουν ένα κατά περίπτωση ανώτατο όριο.

Κατά την διάρκεια μιας ανατίναξης (πυροδότησης εκρηκτικών υλών διατρήματος ή διατρημάτων) μέρος της ενέργειας που απελευθερώνεται διαδίδεται ακτινικά προς όλες τις κατευθύνσεις με διαφορετικές συχνότητες με την μορφή σεισμικών - ελαστικών κυμάτων (Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1 - Σχηματική απεικόνιση της ακτινικής διάδοσης των σεισμικών κυμάτων κατά την πυροδότηση των εκρηκτικών υλών διατρήματος (Τσουτρέλης, 2001)

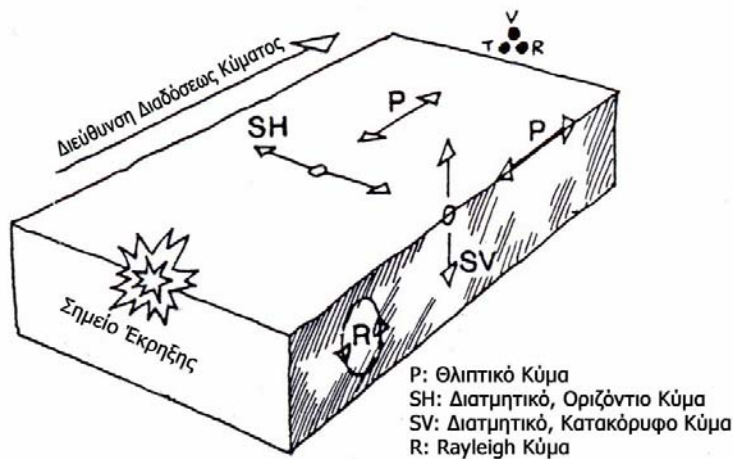
Η ενέργεια των σεισμικών αυτών κυμάτων εξασθενεί σε συνάρτηση με την απόσταση, ενώ τα κύματα με τις υψηλότερες συχνότητες αποσβένονται γρηγορότερα. Επίσης παρατηρείται ότι οι δεσπόζουσες συχνότητες των κυμάτων μιας ανατίναξης σε μικρή απόσταση έχουν τιμές υψηλές ενώ σε μεγαλύτερες αποστάσεις έχουν χαμηλές τιμές (Τσουτρέλης, 2001).

2.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη και παράμετροι των εδαφικών δονήσεων

2.3.1 Κύματα εδαφικών δονήσεων

Οι εδαφικές δονήσεις αποτελούν έναν πολύπλοκο τύπο σεισμικών κυμάτων και συνίστανται από διαφορετικά είδη κυμάτων. Για την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου παρουσιάζεται στην συνέχεια μια απλοποιημένη προσέγγιση της δημιουργίας και διάδοσής τους.

Όταν μια ποσότητα εκρηκτικής ύλης εκρήγνυται, πέραν από την περιοχή θραύσης και ρωγμάτωσης του πετρώματος, εμφανίζεται μια οικογένεια σεισμικών κυμάτων, τα οποία καθώς διαδίδονται στο πέτρωμα διαταράσσουν την ισορροπία των υλικών σωματιδίων του, με αποτέλεσμα να προκληθούν δονήσεις - ταλαντώσεις.



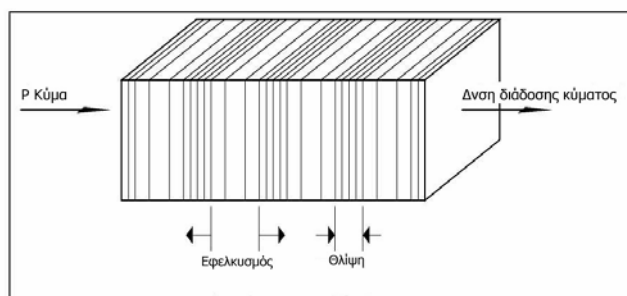
Σχήμα 2.2 - Τύποι παραγομένων από ανατίναξη σεισμικών κυμάτων (Jimeno et al., 1995)

Τα κύματα αυτά έχουν ανόμοια μεταξύ τους χαρακτηριστικά με αποτέλεσμα η επίδραση τους στις κατασκευές να διαφοροποιείται.

Διαχωρίζονται σε κύματα χώρου και σε επιφανειακά κύματα.

Τα κύματα χώρου διακρίνονται σε:

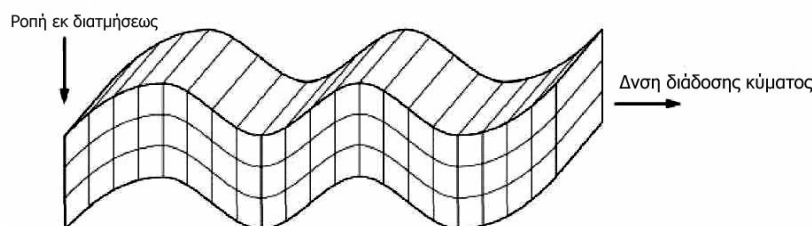
- P κύματα: Καλούνται και πρωτογενή ή θλιπτικά κύματα. Διαδίδονται με την μεγαλύτερη ταχύτητα μέσα στο έδαφος. Προκαλούν κίνηση των σωματιδίων του εδάφους κατά την ίδια διεύθυνση με την διεύθυνση διάδοσης του εκρηκτικού κύματος και δημιουργούν αλλαγές στην πυκνότητα του εδάφους (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3 - Σχηματική απεικόνιση των κυμάτων P (Jimeno et al., 1995, Konya, 1991)

- S κύματα: Καλούνται και δευτερογενή ή διατμητικά κύματα. Διαδίδονται με μικρότερη ταχύτητα από ότι τα P κύματα. Προκαλούν κίνηση των σωματιδίων του εδάφους κατά διεύθυνση κάθετη με την διεύθυνση διάδοσης του

εκρηκτικού κύματος και δημιουργούν αλλαγές στο σχήμα του εδάφους και όχι στην πυκνότητα του (Σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.4 - Σχηματική απεικόνιση των κυμάτων S (Jimeno et al., 1995, Konya, 2003)

- R κύματα (Rayleigh): Είναι επιφανειακά κύματα που αποσβένονται γρήγορα με το βάθος. Η ταχύτητα διάδοσής τους είναι μικρότερη από των P και S και τα σωματίδια του εδάφους κινούνται σε ελλειπτικές τροχιές σε κατακόρυφο επίπεδο, και κατά την ίδια διεύθυνση με την διεύθυνση διάδοσης του εκρηκτικού κύματος. Στην επιφάνεια οι μετακινήσεις που δημιουργούν είναι αντίθετες των μετακινήσεων των P και S κυμάτων.

Η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων εξαρτάται κυρίως από τον γεωλογικό σχηματισμό στον οποίο διαδίδονται, τις ελαστικές ιδιότητες και την πιθανή διάστρωση του, τον βαθμό κερματισμού της βραχώμαζας, κλπ. Γενικά, η ταχύτητα διάδοσης των P κυμάτων είναι μεγαλύτερη από των S κυμάτων, και είναι αυτή που κατά κανόνα καταγράφεται από τους δονησιογράφους στα προγράμματα δονημετρικού ελέγχου.

2.3.2 Μετρήσιμα μεγέθη

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

1. Ταχύτητα (V)

- Είναι η ταχύτητα με την οποία τα σωματίδια (στη θέση μέτρησης) κινούνται εμπρός - πίσω ή πάνω - κάτω (ταλάντωση). Ταχύτητα ταλάντωσης και ταχύτητα δόνησης χρησιμοποιούνται ως ταυτόσημοι όροι.
- Ο μέγιστος ρυθμός μετακίνησης των σωματιδίων αποτελεί την μέγιστη ταχύτητα (PPV), που χρησιμοποιείται και ως χαρακτηριστικό μέγεθος ή

τυπική αναφορά για την διερεύνηση των πιθανοτήτων πρόκλησης ζημιών - επιπτώσεων.

- Η ταχύτητα δόνησης, συνήθως καταγράφεται και αναφέρεται σε mm/s (χιλιοστά ανά δευτερόλεπτο).

2. Συχνότητα (f)

- Δηλώνει πόσες φορές το σωματίδιο (στη θέση μέτρησης) κινείται μπροστά - πίσω ή πάνω – κάτω στη μονάδα του χρόνου.
- Ο αριθμός των ταλαντώσεων του σωματιδίου που υπόκειται σε εδαφική δόνηση, μετράται και αναφέρεται σε πλήρεις κύκλους ανά δευτερόλεπτο ή Hertz (Hz).
- Συχνότητα 30 Hz για παράδειγμα σημαίνει ότι, εάν η δόνηση είχε διάρκεια ένα δευτερόλεπτο, το σωματίδιο στη θέση μέτρησης συμπλήρωσε ένα πλήρη κύκλο ταλάντωσης 30 φορές.
- Η σημασία της συχνότητας στην ανάλυση και αξιολόγηση δονήσεων από ανατινάξεις είναι μεγάλη. Ο λόγος είναι ότι οι κατασκευές ανταποκρίνονται με διαφορετικό τρόπο σε δονήσεις διαφορετικών περιοχών συχνοτήτων.

Σχεδόν όλες πλέον οι προδιαγραφές ελέγχου επιπτώσεων από δονήσεις ανατινάξεων, βασίζονται στο συσχετισμό συχνότητας και μέγιστης ταχύτητας δόνησης. Η τιμή της μέγιστης ταχύτητας δόνησης έπαυσε να είναι το μόνο και απόλυτο κριτήριο ελέγχου δονήσεων για πιθανές επιπτώσεις και ζημιές.

3. Μετατόπιση (D)

- Η μέγιστη απόσταση – μετακίνηση ενός σημείου σε σχέση με την θέση ισορροπίας (ηρεμίας). Μετράται σε mm.

4. Επιτάχυνση (A)

- Εκφράζει τον ρυθμό αλλαγής της ταχύτητας προς τον χρόνο. Συνδέεται με τα ανωτέρω με την σχέση $A = 2\pi fV = (2\pi f)^2 D$ αφού $V = 2\pi fD$. Για να μετατραπεί η επιτάχυνση σε g's, η τιμή σε inc/s^2 πρέπει να διαιρεθεί με το 386 (Dowding, 1985, Siskind, 2000).

5. Μέτρηση - καταγραφή

- Για την μέτρηση – καταγραφή των εδαφικών δονήσεων, χρησιμοποιούνται ειδικοί σειсмоγράφοι, πιο γνωστοί ως δονησιογράφοι (Instantel 1995 – 2005, Μπαλικτσής κ.ά., 2003). Ένας σύγχρονος δονησιογράφος είναι ψηφιακός, με ενσωματωμένες τις εξελίξεις των μικροϋπολογιστών, διαθέτει 1 – 2 τριαξονικά γεώφωνα και μικρόφωνο για την ταυτόχρονη καταγραφή της αέριας δόνησης.

2.4 Χαρακτηριστικά μεγέθη και παράμετροι της αέριας δόνησης

Όπως στην εδαφική δόνηση, έτσι και στην αέρια δόνηση τα χαρακτηριστικά μεγέθη είναι η ένταση και η συχνότητα.

Η ένταση (μέγεθος ανάλογο της ταχύτητας δόνησης PPV για τις εδαφικές δονήσεις) συνήθως μετράται σε μονάδες μέτρησης θορύβου, κατά κανόνα σε κλίμακα L ή dB(L) και σπανιότερα σε μονάδες πίεσης (Pa).

Η συχνότητα μετρείται σε Hz. Για φάσμα συχνοτήτων πάνω από 20 Hz, τα κύματα της “αέριας δόνησης” είναι ακουστικά και η αναφορά γίνεται σε θόρυβο, ενώ κάτω από τα 20Hz είναι μη ακουστικά. Οι προδιαγραφές και οδηγίες που είναι σε χρήση (π.χ. Αμερική, Καναδάς) ορίζουν μεν ανώτατο επιτρεπόμενο όριο έντασης (dB), αλλά βασίζονται ή διαφοροποιούνται σε σχέση με το χαμηλότερο όριο ανταπόκρισης σε συχνότητες του εξοπλισμού μέτρησης.

Για την αξιολόγηση των δεδομένων καταγραφής και την εκτίμηση του κινδύνου πρόληψης βλαβών και δυσμενών επιπτώσεων σε κτιριακές εγκαταστάσεις εξαιτίας των αέριων δονήσεων όσον αφορά στην περίπτωση της επέκτασης του ΑΗΣ Αθερινόλακκου Κρήτης, θεωρήθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί η οδηγία USBM – RI8485, αφού δεν υπάρχουν άλλες αντίστοιχες σε Ελληνικούς Κανονισμούς. Σύμφωνα με αυτή, συνιστάται ως μέγιστο επιτρεπόμενο όριο αέριας δόνησης η τιμή 134 dB(L).

Για την μέτρηση – καταγραφή των αέριων δονήσεων χρησιμοποιούνται δονησιογράφοι, οι οποίοι καταγράφουν ταυτόχρονα και την εδαφική δόνηση.

2.5 Παράμετροι που επηρεάζουν το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά των εδαφικών δονήσεων

2.5.1 Γενικά

Ένα πλήθος παραγόντων επηρεάζουν σε διαφορετικό βαθμό το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά των προκαλούμενων από τις ανατινάξεις εδαφικών δονήσεων.

Ως σημαντικότεροι θεωρείται ότι είναι:

1. Η απόσταση από το σημείο ανατίναξης
2. Η γεωλογία και η τοπογραφία της περιοχής
3. Η ποσότητα της χρησιμοποιούμενης εκρηκτικής ύλης και κυρίως η ποσότητα εκρηκτικής ύλης που εκρήγνυται ανά χρόνο επιβράδυνσης
4. Οι μηχανικές ιδιότητες και η κατάσταση της βραχώμαζας
5. Οι παράμετροι σχεδιασμού και “εξέλιξης” της ανατίναξης

Μια προσπάθεια απλής ομαδοποίησης των σημαντικότερων παραμέτρων που επηρεάζουν το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά των προκαλούμενων από ανατινάξεις εδαφικών δονήσεων, παρατίθεται στον Πίνακα 2.1.

Οι παράμετροι αυτοί μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο βασικές κατηγορίες:

- σε παραμέτρους που είναι δυνατόν να ελεγχθούν (ελεγχόμενοι), και στους οποίους μπορούμε να επέμβουμε, και
- σε παραμέτρους που είναι δύσκολο ή αδύνατον να ελεγχθούν (μη ελεγχόμενοι), ή δεν είναι δυνατόν να επέμβουμε για να τους διαφοροποιήσουμε.

Πίνακας 2.1 - Παράμετροι που επηρεάζουν τις εδαφικές δονήσεις (ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε., 2001 – 2005, Baliktsis et al., 2001)

Ελεγχόμενοι					Μη ελεγχόμενοι
α/α	Διάτρηση	Γόμωση	Πυροδότηση	Άλλοι	
1	Φορτίο	Τύπος εκρηκτικής ύλης	Σύστημα έναυσης - πυροδότησης	Απόσταση από ανατίναξη	Κατάσταση βραχώμαζας
2	Απόσταση διατρημάτων	Πυκνότητα εκρηκτικής ύλης	Ελάχιστος χρόνος επιβράδυνσης μεταξύ διαδοχικών χρόνων	Θέση – προσανατολισμός σε σχέση με την ανατίναξη	Γεωλογία
3	Υποδιάτρηση	Παραγόμενη ενέργεια εκρηκτικής ύλης	Πλήθος διατρημάτων ανά Χρόνο Επιβράδυνσης (ΧΕ)	Εξοπλισμός ελέγχου - καταγραφής	Ιδιότητες πετρώματος
4	Ύψος βαθμίδας (μήκος – βάθος διατρημάτων)	Ταχύτητα έκρηξης (V.O.D)	Ακρίβεια μέσων έναυσης - πυροδότησης		Βαθμός κερματισμού του πετρώματος (ασυνέχειες, διακλάσεις)
5	Κλίση διατρήματος	Γομούμενο μήκος διατρήματος	Σχέδιο κυκλώματος έναυσης – πυροδότησης σε σχέση με την “εξέλιξη” της ανατίναξης		Τοπογραφία
6	Αριθμός σειρών διατρημάτων	Ειδική γόμωση - κατανάλωση	Σχέδιο κυκλώματος έναυσης – πυροδότησης σε σχέση με τις ελεύθερες επιφάνειες		Επικρατούσες καιρικές συνθήκες (κυρίως για αέριες δονήσεις)
7	Διατομή, μέτωπο – κάναβος διάτρησης σε σχέση με τις ελεύθερες επιφάνειες	Μέγιστη ποσότητα γόμωσης ανά ΧΕ	Σχέδιο κυκλώματος έναυσης – πυροδότησης σε σχέση με την κατεύθυνση “εξέλιξης” των ΧΕ	Υποκειμενική εκτίμηση και αντίληψη: <ul style="list-style-type: none"> • ανθρώπινοι παράγοντες • ανησυχία, όχληση περιοίκων • χαρακτηριστικά περιοχής – σεισμικότητα 	
8		Επιγόμωση			

2.5.2 Επίδραση της απόστασης από το σημείο ανατίναξης

Με βάση στοιχεία του Γραφείου Μεταλλείων των Η.Π.Α. (U.S.B.M.), η ταχύτητα δόνησεως του υλικού σημείου v (mm/s) μειώνεται με την απόσταση R (m) σύμφωνα με την σχέση:

$$v \approx \frac{1}{R^b} \quad (2.1)$$

όπου:

$b \approx 1,6$ εξαρτώμενο κυρίως από το είδος του γεωλογικού υποβάθρου εντός του οποίου μεταδίδεται ή κινείται το κύμα (είναι σταθερά και δεν εκφράζεται σε μονάδες).



Σχήμα 2.5 – Επίδραση της απόστασης από το σημείο ανατίναξης (Τσουτρέλης, 2001)

Σε μεγάλες αποστάσεις τα πετρώματα και το έδαφος “φιλτράρουν” τον κυματικό παλμό εξαλείφοντας τις υψηλές συχνότητες δόνησης με αποτέλεσμα σε μεγάλες αποστάσεις να επικρατούν (“μεταδίδονται”) οι χαμηλές συχνότητες. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την μεγαλύτερη συγκριτικά επιβάρυνση των κατασκευών που βρίσκονται σε απόσταση, αφού η ιδιοσυχνότητα των κτιρίων, ανάλογα βέβαια με τα χαρακτηριστικά τους, βρίσκεται στην χαμηλόσυχνη περιοχή (4 - 15 Hz), υπό την προϋπόθεση ότι η PPV διατηρεί υψηλές τιμές.

2.5.3 Επίδραση των χαρακτηριστικών της Εκρηκτικής

Ύλης και του σχεδίου Ανατίναξης

Το είδος - χαρακτηριστικά της χρησιμοποιούμενης εκρηκτικής ύλης και των γομούμενων διατρημάτων, μαζί με τον τρόπο διάταξης και τον σχεδιασμό του

συστήματος έναυσης - πυροδότησης τους, αποτελούν παράγοντες αποφασιστικής σημασίας για το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά των προκαλούμενων δονήσεων.

α. Είδος και ποσότητα Εκρηκτικής ύλης.

Εκρηκτικές ύλες με μεγάλη πυκνότητα γόμωσης και υψηλές ταχύτητες έκρηξης (V.O.D), όταν πυροδοτηθούν δημιουργούν υψηλές πιέσεις στο περιβάλλον πέτρωμα, με αποτέλεσμα πέραν της διατιθέμενης ενέργειας για την παραγωγή ωφέλιμου έργου (θραύση), να αυξάνονται και οι προκαλούμενες δονήσεις.

Ωστόσο, στην εκτίμηση – αξιολόγηση των προκαλούμενων δονήσεων, κατά κανόνα δεν λαμβάνεται υπόψη το είδος της εκρηκτικής ύλης, αλλά η ποσότητα αυτής. Στην συνήθη περίπτωση ανατίναξης με επιβραδύνσεις, η ποσότητα εκρηκτικής ύλης (γόμωσης) που πυροδοτείται ανά χρόνο επιβράδυνσης (XE) ασκεί την καθοριστική επίδραση, και όχι τόσο η συνολική ποσότητα εκρηκτικής ύλης της ανατίναξης.

Σύμφωνα με το Γραφείο Μεταλλείων των Η.Π.Α, η ταχύτητα δόνησης v του υλικού σωματιδίου (mm/s), συνδέεται με την πυροδοτούμενη ποσότητα της εκρηκτικής ύλης (kg) με την ακόλουθη προσεγγιστική σχέση:

$$v \sim Q^{0,8} \quad (2.2)$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο ελάχιστος χρόνος επιβράδυνσης που παρεμβάλλεται μεταξύ δυο ή περισσότερων διαδοχικά εναυόμενων καψυλλίων θα πρέπει να είναι αρκετός ούτως ώστε να αποφεύγεται η αθροιστική επίδραση μεταξύ των κυμάτων που παράγουν οι σταδιακές πυροδοτήσεις λόγω επιβράδυνσης.

Τα τελευταία χρόνια οι έρευνες των εταιριών παραγωγής, έχουν επικεντρωθεί στην επίτευξη υψηλής ακρίβειας στους χρόνους επιβράδυνσης των μέσων έναυσης - πυροδότησης. Ωστόσο, υπάρχει μια αναπόφευκτη χρονική απόκλιση μεταξύ μέσων έναυσης με τους ίδιους χρόνους ονομαστικής επιβράδυνσης. Η απόκλιση αυτή εξαρτάται κυρίως από μικρές διαφορές της χημικής σύνθεσης της εκρηκτικής ύλης που χρησιμοποιείται στο στοιχείο επιβράδυνσης του καψυλλίου, διαφοροποιήσεις της πυκνότητας γόμωσης του πυροτεχνικού υλικού, την ηλικία του μέσου έναυσης, κτλ.

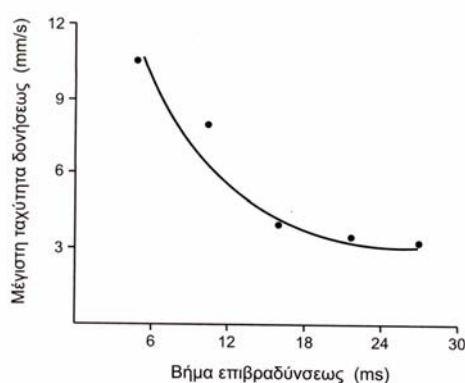
Για τα ηλεκτρικά καψύλλια μικροεπιβράδυνσης (ms), που ο χρόνος επιβράδυνσης μεταξύ των διαφορετικών περιόδων που διατίθενται (νούμερα καψυλλίων) είναι πολύ μικρός (0,025 sec), η πιθανότητα επικαλύψεων είναι σημαντική.

Για ένα μέσο έναυσης, επικάλυψη θεωρείται ότι συμβαίνει όταν ένα καψύλλιο με μεγαλύτερο χρόνο επιβράδυνσης εκρήγνυται νωρίτερα ή ταυτόχρονα με ένα καψύλλιο με μικρότερο χρόνο επιβράδυνσης.

Για να αποτραπούν τέτοια φαινόμενα απαιτείται υψηλή κατασκευαστική ακρίβεια με τρόπο τέτοιο ώστε οι χρόνοι επιβράδυνσης των καψυλλίων να μην αποκλίνουν πολύ από μια μέση τιμή, η οποία με την σειρά της, να μην διαφέρει σημαντικά από την ονομαστική επιβράδυνση τους. Υψηλή ακρίβεια για ένα μέσο έναυσης επιτυγχάνεται για μικρές αποκλίσεις από μια ορθή μέση τιμή.

Σε υπαίθρια λατομεία αδρανών υλικών και γενικά σε επιφανειακές ανατινάξεις, με βάση αποτελέσματα δοκιμών, συνιστάται η ελάχιστη διαφορά ανάμεσα σε διαδοχικούς χρόνους επιβράδυνσης, έτσι ώστε να αποφεύγονται αλληλεπιδράσεις, να είναι της τάξης των 8 - 9 ms.

Σύμφωνα με την εταιρία Nobel Explosives Co. (Nobel's user's guide, 1998) βήματα επιβράδυνσης μικρότερα των 25 ms αυξάνουν σημαντικά την πιθανότητα αλληλεπίδρασης και την ταχύτητα των προκαλούμενων εδαφικών δονήσεων (Σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6 – Επίδραση του χρόνου επιβράδυνσης στην μέγιστη ταχύτητα δόνησης (Nobel Explosives Co., 1998)

Έχει διαπιστωθεί επίσης ότι ο χρόνος επιβράδυνσης είναι δυνατόν να επηρεάσει την συχνότητα δόνησης, μεταβάλλοντας τις συνθήκες πρόκλησης πιθανών επιπτώσεων και βλαβών σε γειτονικές κατασκευές.

β. Ειδική γόμωση

Ως ειδική γόμωση ή ειδική κατανάλωση, ορίζεται η απαιτούμενη (ή χρησιμοποιούμενη) ποσότητα εκρηκτικής ύλης για την εξόρυξη 1 m³ συμπαγούς πετρώματος (in situ). Αποτελεί δείκτη για κάθε πέτρωμα και το χαρακτηρίζει ως προς την εξόρυξη του με χρήση εκρηκτικών υλών.

Η υπέρβαση της μπορεί να σημαίνει αυξημένους κινδύνους εκτινάξεων, εδαφική δόνηση, θόρυβο κλπ. Στην περίπτωση που είναι πολύ χαμηλότερη από την βέλτιστη, οδηγεί σε κακή εξόρυξη, παραγωγή ογκολίθων, κακό σχήμα και μετατόπιση του σωρού ανατίναξης, δονήσεις (αφού η ενέργεια των εκρηκτικών δεν επαρκεί για εξόρυξη και μετατρέπεται σε εδαφική δόνηση), εκτινάξεις από τον χώρο της επιγόμωσης ή ασθενείς ζώνες του μετώπου, κλπ.. Έχει παρατηρηθεί ότι σε ανατινάξεις που η ειδική γόμωση μειώθηκε 20 % από το βέλτιστο, μετρήθηκαν δονήσεις δύο φορές υψηλότερες από τις αναμενόμενες.

γ. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά – κάναβος και σχέδιο ανατίναξης

- Διάμετρος των διατρημάτων: Αύξηση της διαμέτρου των διατρημάτων σημαίνει μεγαλύτερη ποσότητα εκρηκτικής ύλης που πυροδοτείται ανά χρόνο επιβράδυνσης και συνεπώς, σύμφωνα με τα προαναφερθέντα, αύξηση των προκαλούμενων δονήσεων
- Γομούμενο μήκος διατρήματος: Αύξηση του μήκους γομώσεως σημαίνει μεγαλύτερη ποσότητα εκρηκτικής ύλης ανά χρόνο επιβράδυνσης και αύξηση των προκαλούμενων δονήσεων
- Κλίση των διατρημάτων: Η κλίση των διατρημάτων (π.χ. έως και 3:1) ιδιαίτερα σε συνθήκες βαθμίδας, ασκεί ευεργετικά αποτελέσματα στον θρυμματισμό του πετρώματος και στην μείωση των προκαλούμενων δονήσεων.
- Φορτίο και απόσταση των διατρημάτων: Μεγάλο φορτίο ή μεγάλη απόσταση μεταξύ των διατρημάτων έχει σαν αποτέλεσμα τον μη ικανοποιητικό θρυμματισμό του πετρώματος και την ανάλωση της ενέργειας

της εκρηκτικής ύλης σε μη ωφέλιμο έργο (παραγωγή δονήσεων και εκτίναξη τεμαχίων πετρώματος).

- Ύψος βαθμίδας: Έχει παρατηρηθεί πως για σχέση ύψους βαθμίδας (H) προς φορτίο (B) μεγαλύτερο από δύο (δηλαδή $H/B > 2$), επιτυγχάνεται καλύτερος θρυμματισμός και μικρότερες δονήσεις.
- Μήκος επιγόμωσης: Μεγάλο μήκος επιγόμωσης περιορίζει την δράση της εκρηκτικής ύλης με αποτέλεσμα την αύξηση της εντάσεως των εδαφικών δονήσεων.

2.6 Εκτίμηση των προκαλούμενων εδαφικών και αέριων δονήσεων από ανατινάξεις

2.6.1 Η “ανηγμένη απόσταση” ως ένας χρήσιμος εκτιμητής

Η “ανηγμένη απόσταση” SD, ορίζεται από τη σχέση:

$$SD = \frac{D}{W^r} \quad (2.3)$$

όπου:

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

W = μέγιστη ποσότητα εκρηκτικής ύλης ανά χρόνο επιβράδυνσης,

r = 1/2 ή 1/3 ανάλογα με την μέθοδο υπολογισμού που χρησιμοποιείται (το 1/2 είναι πιο γνωστό και καθιερωμένο, αλλά για την πίεση αέρος χρησιμοποιείται πάντοτε 1/3).

Σε μερικές περιπτώσεις, η σχέση του SD μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συμπλήρωμα ή τελικό αποτέλεσμα ενός συστηματικού προγράμματος δονημετρικού ελέγχου με δονησιογράφους. Όπου υπάρχει σημαντικός διαθέσιμος αριθμός καταγραφών από δονησιογράφους (για ορισμένα προγράμματα επεξεργασίας, όπως το λογισμικό BlastWare της εταιρείας INSTANTEL, απαιτούνται περίπου 30-35 καταγραφές για να θεωρηθεί το διάγραμμα – μαθηματικό μοντέλο στατιστικά αποδεκτό), το διάγραμμα SD αποτελεί ουσιαστικά το “στατιστικό συμπέρασμα” ή καλύτερα την πιο

αντικειμενική “δονημετρική ταυτότητα” της περιοχής που έχει ελεγχθεί (Instantel 1995 – 2005).

Σε ένα τέτοιο διάγραμμα, η τιμή SD χρησιμοποιείται στον άξονα X και η μέγιστη ταχύτητα, όπως καταγράφεται από δονησιογράφο (PPV για δόνηση εδάφους, ή PSL για εγγραφή μικροφώνου από πίεση αέρος), στον άξονα των Ψ. Καθώς υπάρχει άμεση σχέση ανάμεσα στις τιμές SD και PPV, χαράσσεται ευθεία γραμμή, όταν οι κλίμακες στο διάγραμμα SD – PPV είναι λογαριθμικές, με βάση την οποία κάθε νέο σημείο έχει ίση πιθανότητα 50% να είναι πάνω ή κάτω από αυτή. Παράλληλα προς αυτή χαράσσεται στην συνέχεια η γραμμή, για την οποία το 95% των σημείων βρίσκονται κάτω από αυτή.

Η πιο γνωστή και απλή σχέση που συνδέει την μέγιστη ταχύτητα εδαφικής δόνησης με το SD, διατυπώνεται ως εξής (Konya, 2003):

$$\begin{aligned} PPV &= k \times (SD)^b \\ \text{ή} \\ PPV &= k \times \left(\frac{D}{W^r} \right)^b \end{aligned} \quad (2.4)$$

όπου:

PPV = μέγιστη ταχύτητα δόνησης (κατά κανόνα η μέγιστη από τις τρεις συνιστώσες V, T, L),

W = μέγιστη ποσότητα εκρηκτικών ανά χρόνο επιβράδυνσης,

D = απόσταση ανατίναξης από τον δονησιογράφο,

k = σταθερά (αποτέμνουσα),

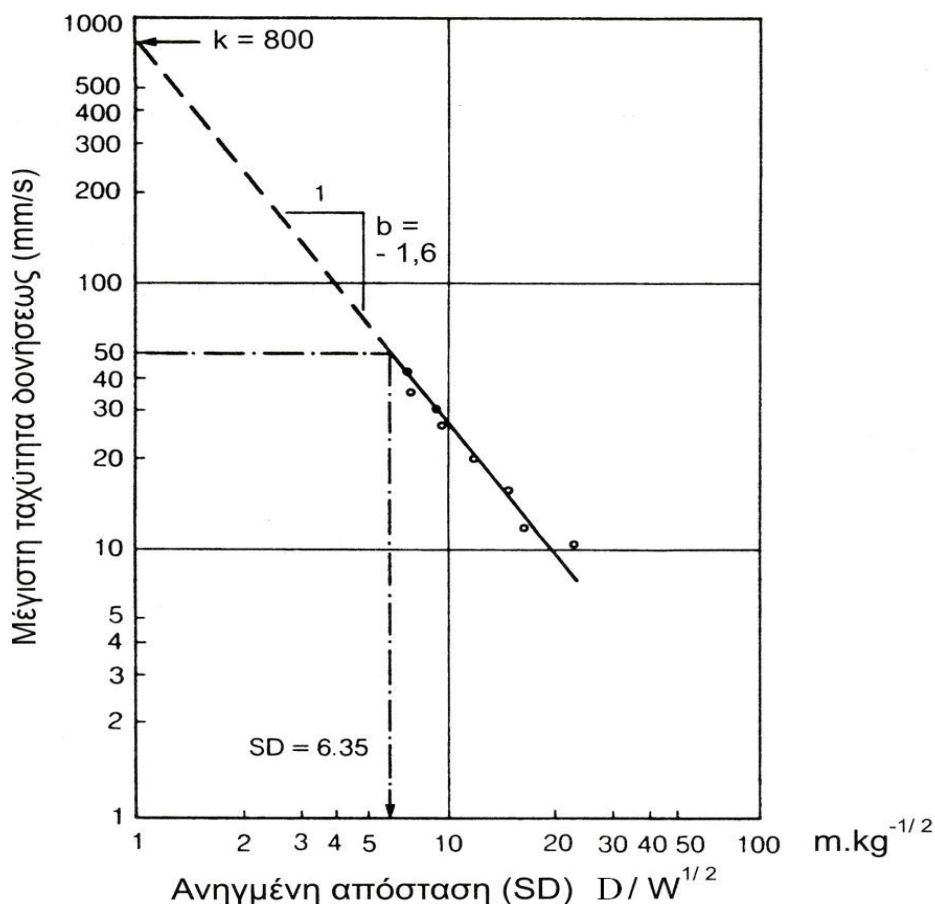
$r = 1/2$ συνήθως για εδαφική δόνηση στις επιφανειακές ανατινάξεις,

b = σταθερά.

Λογαριθμίζοντας την σχέση (2.4) κατά μέλη, προκύπτει:

$$\log PPV = \log k + b \log (D/W^{0.5}) \quad (2.5)$$

Η σχέση (2.5) γραφικά σε διπλολογαριθμικό χαρτί παριστά μια ευθεία γραμμή, όπως δείχνει το Σχήμα 2.7, η οποία εύκολα μπορεί να χαραχθεί με βάση τις μετρήσεις υπαίθρου (καταγραφές δονησιογράφων).



Σχήμα 2.7 – Διάγραμμα “ανηγμένης απόστασης” σε διπλολογαριθμικό χαρτί (λογισμικό BlastWare της INSTANTEL)

Οι σταθερές k και b (αποτέμνουσα και κλίση) της σχέσεως 2.5 υπολογίζονται πειραματικά με βάση μετρήσεις από δονησιογράφους των τριών συνιστωσών της ταχύτητας δονήσεως και υπολογισμού της αντίστοιχης ανηγμένης αποστάσεως από την συνιστώσα εκείνη, που έδωσε τις μεγαλύτερες τιμές. Από την χάραξη στο διπλολογαριθμικό χαρτί της σχέσης 2.5, έχοντας δεδομένα τα D και W , προκύπτουν οι τιμές k και b .

Στην πράξη κατά κανόνα δοκιμάζονται διάφορα εναλλακτικά σενάρια για την διατύπωση του πλέον αποδεκτού διαγράμματος και σχέσης SD , επιδιώκοντας την βελτίωση των συντελεστών στατιστικής επεξεργασίας:

- συσχέτισης (coefficient), που πρέπει να τείνει στο 1
- τυπικής απόκλισης (standard deviation), που πρέπει να τείνει στο 0

Υπάρχουν προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών (π.χ BlastWare της εταιρείας INSTANTEL, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα), που μπορούν να

ετοιμάζουν το διάγραμμα SD, λαμβάνοντας απευθείας δεδομένα από τις ψηφιακές εγγραφές δονησιογράφων, μερικοί από τους οποίους δέχονται δεδομένα, υπολογίζουν και παρουσιάζουν την τιμή του SD στις αναφορές τους (Instantel, 1995 – 2005) .

Τα ίδια λογισμικά μπορούν να υπολογίζουν και να παρουσιάζουν ταυτόχρονα και πίνακες συσχετισμού ποσότητας εκρηκτικών/απόστασης, σε διάφορες μορφές, πολύ χρήσιμους για τον σχεδιασμό ανατινάξεων στην περιοχή και κυρίως τον τεκμηριωμένο καθορισμό της μέγιστης ποσότητας εκρηκτικών υλών ανά χρόνο επιβράδυνσης ανάλογα με την απόσταση κτισμάτων και τα αποδεκτά επίπεδα – όρια ταχύτητας δόνησης.

2.6.2 Αξιοποίηση του μαθηματικού μοντέλου - διαγράμματος "ανηγμένης απόστασης"

Το πολύ σημαντικό στοιχείο που προκύπτει από ένα αξιόπιστο διάγραμμα "ανηγμένης απόστασης", είναι η μαθηματική σχέση που συνδέει την μέγιστη ταχύτητα δόνησης (PPV ή V), με

- την απόσταση (D) της ανατίναξης από το σημείο μέτρησης ή θέση αναφοράς, και με
- την ποσότητα εκρηκτικών ανά χρόνο επιβράδυνσης (W).

Έτσι συσχετίζονται, με σχετικά απλό τρόπο, οι επιπτώσεις (προκαλούμενες δονήσεις ως PPV), με την θέση της ανατίναξης (απόσταση) και την σημαντικότερη παράμετρο σχεδιασμού - εφαρμογής της (την ποσότητα γόμωσης ανά χρόνο επιβράδυνσης).

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

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

- Ποια είναι η "επιτρεπόμενη" ποσότητα γόμωσης ανά χρόνο επιβράδυνσης μιας σχεδιαζόμενης ανατίναξης, έτσι ώστε δεδομένης της απόστασης της από

κτίριο ή κατασκευή, η αναμενόμενη μέγιστη ταχύτητα δόνησης, να μην υπερβεί την «αποδεκτή» ή «επιτρεπόμενη» ή «ασφαλή» τιμή.

- Ποια είναι η "αναμενόμενη" μέγιστη ταχύτητα δόνησης μιας σχεδιαζόμενης ανατίναξης, όταν για αυτή είναι δεδομένη η γόμωση ανά χρόνο επιβράδυνσης και η απόσταση της από το σημείο μέτρησης ή αναφοράς.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα όρια που προκύπτουν από την επεξεργασία του διαγράμματος "ανηγμένης απόστασης", αποδεικνύεται ότι είναι συνήθως πιο αυστηρά από ότι διαπιστώνεται στην πράξη με τις μεμονωμένες εγγραφές. Έτσι η μεθοδολογία αυτή προσφέρει μια συντηρητική μεν, αλλά ικανοποιητικά ασφαλή προσέγγιση για τον ζητούμενο σχεδιασμό ανατίναξης (Μπαλικτσής και Κατσαμπάνης, 2000, Μπαλικτσής κ.ά., 2003).

2.7 Προδιαγραφές ελέγχου επιπτώσεων – επικινδυνότητας των εδαφικών δονήσεων

2.7.1 Ελληνικές προδιαγραφές

Ο Κανονισμός Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών - ΚΜΛΕ (ΦΕΚ 931/Β/31.12.1984), που είναι σε ισχύ, είναι ο μοναδικός επίσημος Ελληνικός κανονισμός που πραγματεύεται θέματα ανατινάξεων και δονήσεων, αλλά και γενικότερων μέτρων ασφαλείας σε λατομεία και μεταλλεία.

Η μόνη αναφορά του σε θέματα ελέγχου δονήσεων, είναι στο άρθρο 84, όπου ορίζεται:

"απαγορεύεται:....."

β) Η μέγιστη ταχύτητα ταλάντωσης των σημείων του εδάφους σε θέσεις κτισμάτων και δημοσίων έργων που παρουσιάζουν ευαισθησία στις δονήσεις, να είναι μεγαλύτερη από 50 mm/sec. Ειδικά για την προστασία περιοχών ή κατασκευών που παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία στις δονήσεις, πρέπει να περιορίζεται το πιο πάνω όριο ταχύτητας και να γίνεται χρήση δονησιογράφου.

γ) Να δημιουργούνται σοβαρές οχλήσεις από τους κρότους στις γειτονικές κατοικημένες περιοχές. Στην περίπτωση αυτή, οι εκρήξεις

δεν πρέπει να γίνονται στις ώρες κοινής ησυχίας".

.....

Ο ΚΜΛΕ θεωρείται ότι βρίσκεται πλέον εκτός διεθνούς πραγματικότητας, σε ότι αφορά τον έλεγχο δονήσεων από ανατινάξεις και την καθιέρωση προδιαγραφών ελέγχου επιπτώσεων σε κατασκευές και έργα του περιβάλλοντος χώρου ανατινάξεων.

2.7.2 Διεθνείς Προδιαγραφές και DIN4150

Η εισαγωγή και καθιέρωση μεθόδων μέτρησης και καταγραφής φάσματος ταχυτήτων και αντίστοιχου φάσματος συχνοτήτων, αποτελεί πλέον την ελάχιστη απαίτηση στον έλεγχο δονήσεων τόσο στις περισσότερες εθνικές προδιαγραφές, όσο και στις πλέον "επώνυμες" και διεθνώς αποδεκτές και γνωστές προδιαγραφές USBM/OSM (ΗΠΑ) και DIN4150 (Γερμανία).

Συμπερασματικά, αυτό που ελέγχεται ή καταγράφεται για να αξιολογηθούν οι επιπτώσεις ή ο κίνδυνος πρόκλησης ζημιών, είναι:

- η ταχύτητα δόνησης (ταλάντωσης) στο σημείο εγκατάστασης του δονησιογράφου, κατ' επέκταση δε η μέγιστη ταχύτητα - PPV,
- η συχνότητα όπου εμφανίζεται αυτή η ταχύτητα δόνησης, ουσιαστικά δηλαδή το αντίστοιχο φάσμα συχνοτήτων.

Από τη στιγμή που δεν υπάρχουν εκτεταμένες έρευνες και πειραματικά δεδομένα, ικανοποιητικά να στηρίξουν την διατύπωση σύγχρονων Ελληνικών προδιαγραφών ελέγχου δονήσεων και εκτίμησης επιπτώσεων, λογικό είναι να αναζητηθεί η χρησιμοποίηση διεθνώς αποδεκτών προδιαγραφών.

Υποψήφιες για αυτό, θα μπορούσαν να είναι δύο:

1. οι Αμερικανικές προδιαγραφές USBM RI8507/OSM, και
2. οι Γερμανικές προδιαγραφές DIN4150.

Οι Γερμανικές προδιαγραφές DIN4150 που υιοθετούνται για την αξιολόγηση των δονήσεων από τις ανατινάξεις του Έργου επέκτασης του ΑΗΣ, παρουσιάζουν πλεονεκτήματα, είναι ιδιαίτερα «αυστηρές» (από τις πλέον αυστηρές διεθνώς) και

θεωρείται πιο σκόπιμη η καθιέρωση και χρησιμοποίησή τους. Ήδη χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα σε μεγάλα προγράμματα δονημετρικού ελέγχου (Μπαλικτσή, 2000, Baliktsis, 2005).

Το κριτήριο DIN4150 απεικονίζεται συνοπτικά στα Σχήματα 2.8 και 2.9.

Στον άξονα X του διαγράμματος στο Σχήμα 2.8, απεικονίζεται η συχνότητα (Freq, Hz) και στον άξονα Ψ η ταχύτητα εδαφικής δόνησης (PPV, mm/sec). Στο διάγραμμα υπάρχουν τρεις καμπύλες, οι οποίες συμβολίζονται ως L1, L2, L3, και για τις οποίες ισχύουν τα εξής (Σχήμα 2.9):

- Η καμπύλη L1 αφορά Βιομηχανικές εγκαταστάσεις ή κτίρια με καλά μηχανικά - κατασκευαστικά χαρακτηριστικά.
- Η καμπύλη L2 αφορά κατοικίες, συνήθεις κατασκευές με κονίαμα, κ.λ.π.
- Η καμπύλη L3 αφορά κατασκευές που δεν περιλαμβάνονται στα παραπάνω, λόγω ευαισθησίας τους στις δονήσεις, όπως αρχαιολογικού ενδιαφέροντος κτίσματα, σεισμόπληκτα κτίσματα κ.λ.π.

Μια κατασκευή θεωρείται ασφαλής, όταν οι μετρούμενες τιμές της ταχύτητας εδαφικής δόνησης, συναρτήσει της συχνότητας, βρίσκονται – απεικονίζονται κάτω από την αντίστοιχη καμπύλη του διαγράμματος DIN4150 (βλέπε Σχήμα 4.1 – Τυπική αναφορά δονησιογράφου).

Ειδικά για τον χώρο του ΑΗΣ Αθρινόλακκου Κρήτης και για την υλοποίηση της 4^{ης} Φάσης, οι πλησιέστερες εγκαταστάσεις – κατασκευές, που βρίσκονται γύρω από τους χώρους των ανατινάξεων, λόγω του τύπου κατασκευής τους αλλά και του χαρακτήρα – προορισμού τους, φαίνεται να κατατάσσονται στις κατηγορίες τύπων L1 (πχ δεξαμενές, μηχανοστάσιο) και L2 (πχ Χημείο) των Γερμανικών προδιαγραφών DIN4150.

2.7.3 Προδιαγραφές - όρια δονήσεων ανατινάξεων:

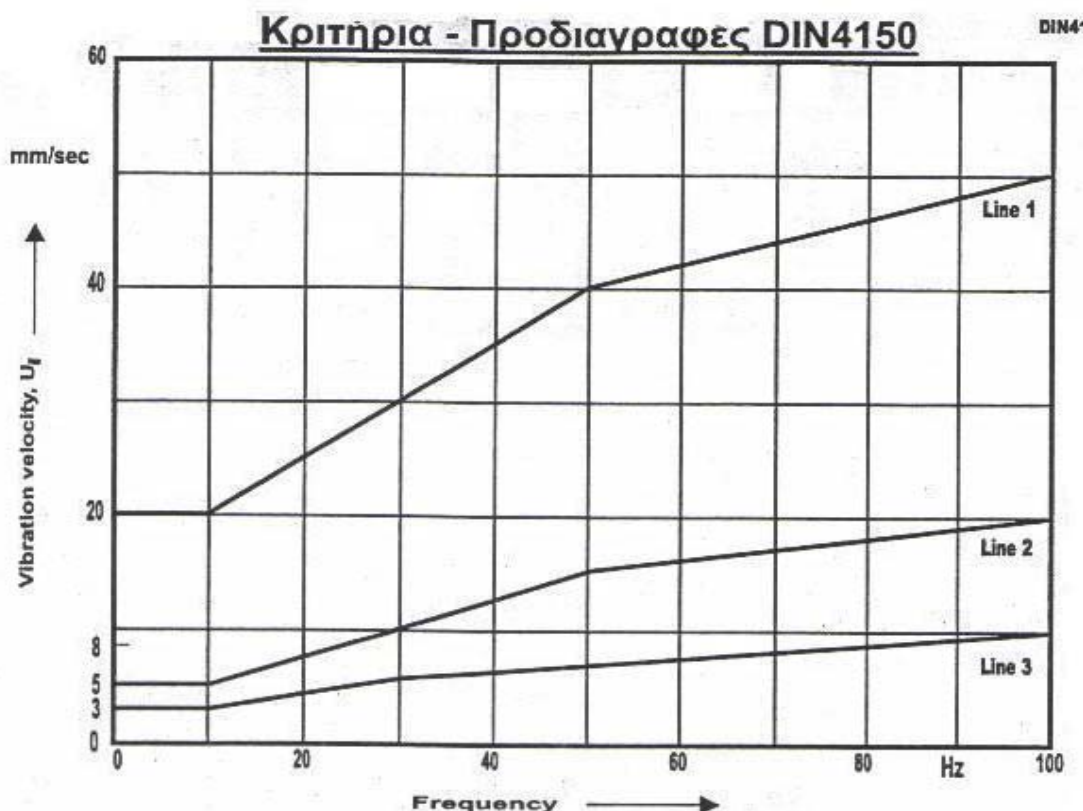
Οι συμβατικές υποχρεώσεις για το Έργο

Σύμφωνα με τις “Τεχνικές προδιαγραφές κατασκευής έργων πολιτικού μηχανικού” για τις εκσκαφές, στο Παράρτημα 1 των συμβατικών υποχρεώσεων του Αναδόχου του

Έργου αναφέρονται τα εξής: *Οι εργασίες των εκσκαφών θα εκτελεστούν σύμφωνα με τα σχέδια ή τις εντολές της ΔΕΗ σε κάθε είδους έδαφος, εν ξηρώ ή παρουσία ύδατος, με χρήση μηχανικών μέσων της επιλογής του Αναδόχου ή χειρωνακτικά, αν κριθεί απαραίτητο. Χρήση εκρηκτικών επιτρέπεται μόνο κάτω από τις παρακάτω προϋποθέσεις:*

- *Οι εκρήξεις θα εκτελούνται κατόπιν άδειας του ΚΜΕΕΕ μετά το πέρας των εργασιών του εργοταξίου*
- *Οι εκρήξεις δεν θα προκαλούν ταχύτητες εδαφικής δόνησης μεγαλύτερες των επιτρεπόμενων σύμφωνα με το DIN4150*

.....



Σχήμα 2.8 - Καμπύλες ταχύτητας δόνησης - συχνότητας για μετρήσεις στον χώρο των θεμελίων

(DIN 4150 1: 2001-06, Structural vibration – Part 1: Predicting vibration parameters)

Line	Type of structure	Vibration Velocity in mm/sec			
		Foundation			Plane of floor of uppermost story
		At a frequency of			Frequency mixture
		less than 10Hz	11 to 50Hz	50 to 100 • Hz	
1	Buildings used for commercial purposes Industrial buildings and buildings of similar design	20	20 to 40	40 to 50	40
2	Dwelling 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 in lines 1 and 2, and are of great intrinsic value (e.g. buildings that are under a preservation order)	3	3 to 8	8 to 10	8

*: For frequencies above 100 Hz, at least the values specified in this column shall be applied

Σχήμα 2.9 - Τιμές ταχύτητας δόνησης σε σχέση με τις συχνότητες, για τις τρεις κατηγορίες κατασκευών (L1, L2, L3)

(DIN 4150 1: 2001-06, Structural vibration – Part 1: Predicting vibration parameters)

Κεφάλαιο 3: Προετοιμασία - σχεδιασμός και υλοποίηση των ανατινάξεων του έργου επέκτασης του ΑΗΣ Αθερινόλακκου Κρήτης, κατά την περίοδο 11–12/2005 (4^η Φάση)

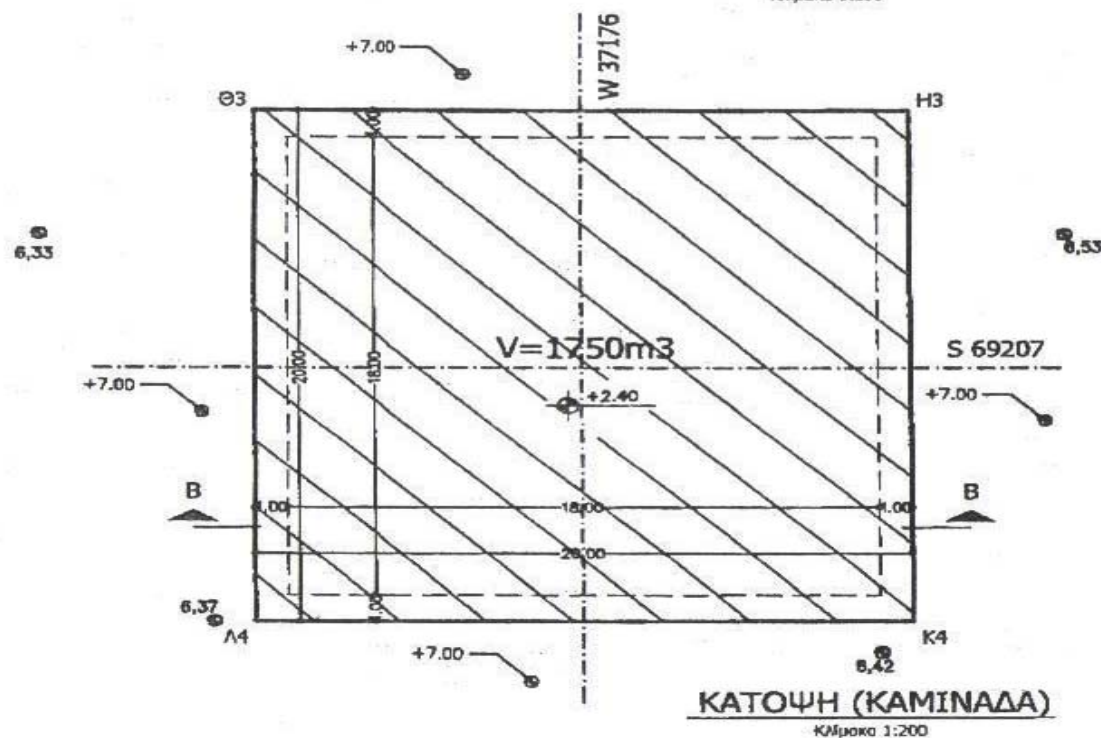
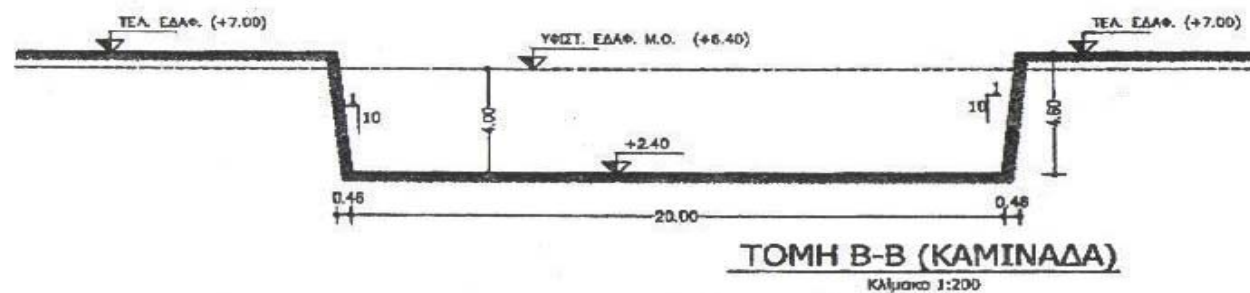
3.1 Περιγραφή και στοιχεία των εκσκαφών θεμελίωσης

Κατά την περίοδο στην οποία αναφέρεται η διπλωματική εργασία, οι ανατινάξεις αφορούσαν στην εκσκαφή θεμελίωσης (βάσης) της νέας καμινάδας, στο Νοτιοανατολικό τμήμα του χώρου των προβλεπόμενων νέων εγκαταστάσεων της επέκτασης του ΑΗΣ Αθερινόλακκου. Συνεπώς, όπου στη συνέχεια αναφέρεται «χώρος ανατινάξεων», νοείται η περιοχή διαστάσεων 20 x 20 m, η οποία προοριζόταν για τη θεμελίωση της νέας καμινάδας (κάτοψη και τομή της εκσκαφής δίνονται στο σχέδιο του Σχήματος 3.1).

3.2 Αξιοποίηση διαθέσιμων στοιχείων και προηγούμενης εμπειρίας για τον σχεδιασμό και την διαχείριση των ανατινάξεων της 4^{ης} φάσης

Με την αξιολόγηση των διαθέσιμων από τις προηγούμενες φάσεις δεδομένων καταγραφής και την κατάλληλη επεξεργασία τους, επιδιώχθηκε, από την εταιρεία ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε., να διαχειριστεί τεκμηριωμένα και με ασφάλεια το θέμα των ανατινάξεων και της πρόληψης των πιθανών κινδύνων και επιπτώσεων από τις προκαλούμενες δονήσεις.

Η εταιρεία ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε. διέθετε, κατά την έναρξη – προετοιμασία της 4^{ης} Φάσης, δεδομένα καταγραφής δονησιογράφων από ανατινάξεις των προηγούμενων φάσεων παροχής υπηρεσιών Συμβούλου (βλέπε Πίνακα 1.1). Από το σύνολο των διαθέσιμων στοιχείων, και για τον αρχικό σχεδιασμό των ανατινάξεων, επιλέχθηκαν αυτά που προερχόταν από τις επιφανειακές – χερσαίες ανατινάξεις που πραγματοποιήθηκαν κατά την αρχική διαμόρφωση του χώρου κατασκευής του Σταθμού Ηλεκτροπαραγωγής (ΑΗΣ), δηλαδή 1^η και 2^η Φάση (ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε., 2002 – 2006).



ΥΠΟΜΝΗΜΑ	
ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
± 0.00	ΤΕΛΙΚΗ ΣΤΑΘΗ ΕΚΣΚΑΦΗΣ
$\bullet \pm 0.00$	ΣΤΑΘΗ ΥΦΙΣΤΑΝΟΝΤΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ
$\bullet \pm 0.00$	ΣΤΑΘΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ
---	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣ
---	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΥΘΜΕΝΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ
---	ΥΦΙΣΤΑΝΟΝ ΕΔΑΦΟΣ

Σχήμα 3.1 - Κάτοψη και τομή της εκσκαφής θεμελίωσης της 2^{ης} ψηλής καμινάδας

Ο αρχικός σχεδιασμός των ανατινάξεων βασίστηκε στο μαθηματικό μοντέλο "ανηγμένης απόστασης", η διατύπωσή του οποίου είχε προκύψει από καταγραφές που προερχόταν από ανατινάξεις στον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό. Το μαθηματικό μοντέλο "ανηγμένης απόστασης" που προτάθηκε, θεωρήθηκε ικανοποιητικό για τον ασφαλή αρχικό σχεδιασμό των πρώτων ανατινάξεων και την προκαταρκτική προσέγγιση του θέματος της ασφάλειας από τις προκαλούμενες δονήσεις. Εκ των υστέρων και με την πρόοδο των εργασιών αποδείχθηκε ικανοποιητικό και αξιόπιστο.

3.3 Βασικός σχεδιασμός – παραδοχές – στοιχεία προετοιμασίας των ανατινάξεων

Για την τεχνική των ανατινάξεων και τον αρχικό – βασικό σχεδιασμό συνεκτιμήθηκαν διαθέσιμα στοιχεία και έγιναν κάποιες παραδοχές.

Σε όλες οι ανατινάξεις που πραγματοποιήθηκαν προηγήθηκε σχεδιασμός της διάταξης διατηρημάτων και υπολογισμός της ειδικής γόμωσης.

Δόθηκε μεγάλη βαρύτητα στην ειδική γόμωση (ειδική κατανάλωση), η οποία από την αρχή θεωρήθηκε ως σημαντική παράμετρος που μπορούσε να επέμβει καθοριστικά σε:

- παραγωγικά δεδομένα (θρυμματισμός – εξόρυξη)
- μείωση των δονήσεων, και
- περιορισμό – αποφυγή των εκτινάξεων

Στην πρώτη ανατίναξη (η οποία κωδικοποιείται ως A01, στον Πίνακα 3.2), για την οποία δεν υπήρχε ελεύθερη επιφάνεια - μέτωπο, η ειδική κατανάλωση υπολογίστηκε στα 0.8 kg/m^3 . Στην δεύτερη και τρίτη ανατίναξη, η ειδική γόμωση κυμάνθηκε στα $0.6 - 0.7 \text{ kg/m}^3$. Για τις υπόλοιπες ανατινάξεις του ορύγματος E3, δηλαδή της εκσκαφής για την βάση της καμινάδας, που θα δούλευαν σε μεγάλου μήκους ελεύθερη επιφάνεια, η ειδική γόμωση περιορίστηκε περίπου στα 0.4 kg/m^3 .

Από τις πρώτες τρεις ανατινάξεις φάνηκε ότι οι εκτιμήσεις για την ειδική γόμωση ήταν σωστές, αφού προέκυψε ικανοποιητικός θρυμματισμός, ενώ δεν υπήρχε πολύ

διαθέσιμη ενέργεια για να προκληθούν δονήσεις, εκτινάξεις ή άλλες επιπτώσεις και προβλήματα.

Όσον αφορά στα καψύλλια που θα χρησιμοποιούνταν στις ανατινάξεις, έγινε επιλογή για χρήση μη ηλεκτρικών καψυλλίων (non – electric caps), καθώς υπήρχε ο φόβος από τα παράσιτα ρεύματα, τις εγκαταστάσεις και τα δίκτυα που υπήρχαν στην μονάδα του ΑΗΣ, η οποία βρισκόταν σε συνεχή λειτουργία. Η επιλογή αυτή υιοθετήθηκε από την αρχή του έργου, ως πολύ σημαντικός κανόνας ασφαλείας.

Σε αυτό το σημείο πρέπει επίσης να τονιστεί η προσπάθεια που έγινε για προσαρμογή της προετοιμασίας των ανατινάξεων στον διαθέσιμο εξοπλισμό διάτρησης του Έργου. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά εδώ στο διατρητικό μηχάνημα του εργοταξίου, το οποίο έκανε διάτρηση με διάμετρο διατρήματος 105 mm (Εικόνα 15).



Εικόνα 15 - Διατρητικό μηχάνημα κατά την διάτρηση για την 1^η ανατίναξη

Στα πλαίσια της προσπάθειας πρόληψης – περιορισμού των δονήσεων και των εκτινάξεων, κάτι τέτοιο ήταν απαράδεκτο, ενώ συγχρόνως ακύρωνε ουσιαστικά και τις “οδηγίες” από την μεθοδολογία “ανηγμένης απόστασης”, οι οποίες περιόριζαν την

διάμετρο διάτρησης σε 76 mm. Η αντιμετώπιση του προβλήματος της διαμέτρου διάτρησης, θα αναλυθεί στην ενότητα 3.7.

Ένα άλλο στοιχείο προσαρμογής του βασικού σχεδιασμού, ήταν όσον αφορά στις επιλογές των εκρηκτικών υλών. Παράμετρο προσαρμογής λοιπόν, αποτελούσε το γεγονός ότι δεν υπήρχε στην περιοχή διαθέσιμη ζελατοδυναμίτιδα, για να χρησιμοποιηθεί ως γόμωση πυθμένα. Έτσι έγινε αναγκαστική η χρησιμοποίηση αμμωνίτιδος ενώ στην περιοχή που τοποθετείτο το καψύλλι πυθμένα, υπήρχαν κλώνοι ακαριαίας θρυαλλίδας, για να εξασφαλιστεί η αποτελεσματική έναυση του φυσιγγίου (Εικόνα 16).



Εικόνα 16 - Φυσίγγιο αμμωνίτη μαζί με ακαριαία θρυαλλίδα

Τέλος, όσον αφορά στα παραγωγικά κριτήρια, υπήρχαν ορισμένες απαιτήσεις για το τελικό αποτέλεσμα. Το υλικό της ανατινάξης έπρεπε να έχει κατάλληλη κοκκομετρία και διαβάθμιση, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει εύκολα η φόρτωση του και η τροφοδοσία του σε ένα μικρό σπαστηροτριβείο του εργοταξίου. Αυτό έπρεπε φυσικά να συνδυαστεί με την εξασφάλιση της επιθυμητής γεωμετρίας της εκσκαφής.

3.4 Αποτύπωση και στοιχεία του χώρου εκσκαφής και του περιβάλλοντος χώρου – εντοπισμός και ανάλυση κινδύνων

Όπως προαναφέρθηκε στόχος σε πρώτη φάση ήταν να ελεγχθούν, να καταγραφούν και να αξιολογηθούν οι προκαλούμενες δονήσεις των ανατινάξεων. Κάτι τέτοιο ήταν επιβεβλημένο έτσι ώστε να επιτευχθεί ο γενικότερος χειρισμός της ασφάλειας – πρόληψης κινδύνου επιπτώσεων στις παρακείμενες εγκαταστάσεις του ΑΗΣ.

Από την μελέτη του χώρου εκσκαφής καθώς και του περιβάλλοντος χώρου, οι εγκαταστάσεις του ΑΗΣ που αποτελούσαν σημεία υψηλού κινδύνου, και στα οποία θα έπρεπε να επικεντρωθεί το κύριο πρόγραμμα πρόληψης επιπτώσεων, ήταν:

- οι κτιριακές εγκαταστάσεις του Χημείου, του Αντλιοστασίου, του Κτηρίου Κεντρικού Ελέγχου (Control Room) και του Μηχανοστασίου
- οι δεξαμενές νερού, καυσίμων ημερήσιας κατανάλωσης και ελαιωδών καταλοίπων
- ο αγωγός υδάτων ψύξης της μονάδας.

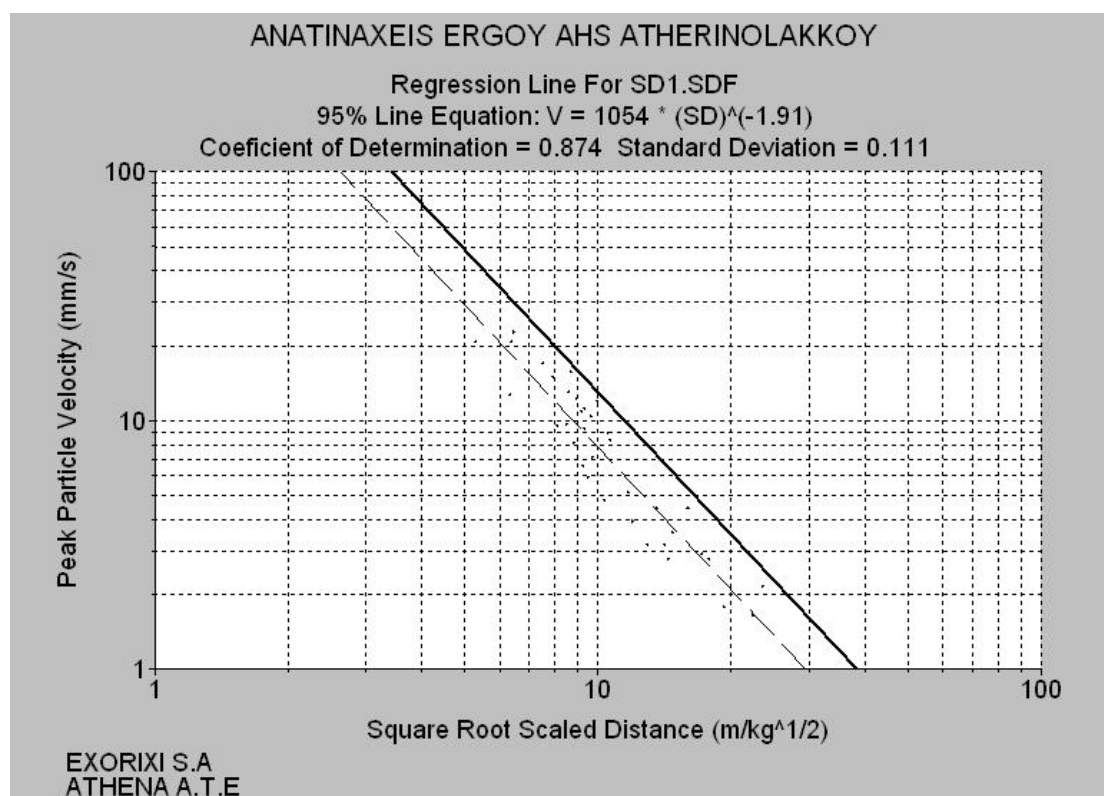
Οι αποστάσεις των παραπάνω εγκαταστάσεων από το χώρο των ανατινάξεων για την βάση της νέας καμινάδας, ήταν της τάξεως των 5 – 90 m (βλέπε Σχέδιο ΔΕ 01.00.Α).

3.5 Προδιαγραφές και δεδομένα σχεδιασμού ανατινάξεων με βάση την μεθοδολογία “ανηγμένης απόστασης”

Ο αρχικός σχεδιασμός των ανατινάξεων της 4^{ης} φάσης, βασίστηκε στο μαθηματικό μοντέλο “ανηγμένης απόστασης” που είχε προκύψει με την ολοκλήρωση της 2^{ης} Φάσης. Η διατύπωσή του, όπως προαναφέρθηκε, είχε βασισθεί σε δεδομένα

καταγραφής που προερχόταν από ανατινάξεις στον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό, όπως και της 4^{ης} Φάσης (Πίνακας 4.1).

Αυτό το μαθηματικό μοντέλο SD (για λόγους απλούστευσης της παρουσίασης ονομάζεται SD1), ήταν αποτέλεσμα της περαιτέρω επεξεργασίας των διαγραμμάτων και της βάσης υπολογισμού των αρχικών μοντέλων “ανηγμένης απόστασης”. Κάτι τέτοιο πραγματοποιήθηκε με στόχο να βελτιωθούν και οι συντελεστές μαθηματικής – στατιστικής επεξεργασίας, αφαιρώντας τιμές που εκτιμήθηκε ότι δεν ακολουθούσαν την αναμενόμενη - μέση εξέλιξη συγκριτικά με το μεγάλο πλήθος των καταγραφών. Τελικά προέκυψε ένα νέο “βελτιωμένο” διάγραμμα “ανηγμένης απόστασης” για χερσαίες ανατινάξεις, το οποίο θεωρήθηκε αρχικά (και επιβεβαιώθηκε στην πράξη) ότι προσέγγιζε την πραγματικότητα με μεγαλύτερη αξιοπιστία (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2 - Διάγραμμα – μαθηματικό μοντέλο “ανηγμένης απόστασης” ανατινάξεων Έργου ΑΗΣ Αθερινόλακκου (κωδικός SD1). Προτάθηκε και χρησιμοποιήθηκε για τον αρχικό σχεδιασμό των ανατινάξεων της 4^{ης} Φάσης

Στην συνέχεια της Διπλωματικής Εργασίας (ενότητα 4.2) επιχειρείται η επαναδιατύπωση ή αναθεώρηση του μαθηματικού μοντέλου “ανηγμένης απόστασης”, με βάση τα δεδομένα καταγραφής που συγκεντρώθηκαν από τις ανατινάξεις της

περιόδου 30/11/2005 – 17/12/2005. Εξ άλλου, καθώς το υπολογιζόμενο μαθηματικό μοντέλο “ανηγμένης απόστασης”, βασιζόταν – επηρεαζόταν και από την τεχνική ανατινάξεων, έπρεπε να διερευνηθεί και αυτή η παράμετρος.

3.6 Σταθμοί μέτρησης δονήσεων – Εξοπλισμός και σύστημα ελέγχου

Για την καταγραφή των προκαλούμενων δονήσεων, χρησιμοποιήθηκαν, συνολικά κατά τη διάρκεια του προγράμματος, επτά ψηφιακά καταγραφικά όργανα (δονησιογράφοι) του οίκου INSTANTEL, τύπων DS477-BlastMate και DS077-MiniMate, ιδιοκτησίας της εταιρίας ΕΞΟΡΥΞΗ ΑΕ. Οι εν λόγω δονησιογράφοι έχουν τη δυνατότητα καταγραφής της εδαφικής αλλά και της αέριας δόνησης ή θορύβου.

Αναλυτικότερα, στοιχεία των δονησιογράφων, φαίνονται στον Πίνακα 3.1, ενώ ακολουθεί και φωτογραφική παρουσίαση με τους σταθμούς μέτρησης (Εικόνες 17 - 24).

Πίνακας 3.1 - Στοιχεία δονησιογράφων που χρησιμοποιήθηκαν

α/α	Δονησιογράφος οίκου INSTANTEL Τύπου	Αριθμός σειράς (S/N)
1	DS-477 BlastMate Series III	BA5190
2	DS-477 BlastMate Series III	BA5664
3	DS-077 MiniMate Plus Series III	BE7434
4	DS-077 MiniMate Plus Series III	BE7435
5	DS-077 MiniMate Plus Series III	BE7024
6	DS-477 BlastMate Series II	2772
7	DS-077 MiniMate Series II	3392



Εικόνα 17 - Σταθμός μέτρησης δονήσεων δίπλα από τον αγωγό ύδατος



Εικόνα 18 - Σταθμός μέτρησης δονήσεων σε δεξαμενή λαδιού



Εικόνα 19 - Σταθμός μέτρησης δονήσεων σε δεξαμενή λαδιού



Εικόνα 20 - Σταθμός μέτρησης δονήσεων στο Κτήριο Ελέγχου



Εικόνα 21 - Σταθμός μέτρησης δονήσεων στο Κτήριο του Χημείου



Εικόνα 22 - Σταθμός μέτρησης δονήσεων στις δεξαμενές ύδατος



Εικόνα 23 - Σταθμός μέτρησης δονήσεων μέσα σε δεξαμενή καυσίμου



Εικόνα 24 - Ένας από τους δύο μόνιμα εγκατεστημένους σταθμούς μέτρησης, ο συγκεκριμένος στο Κτήριο του Χημείου, για συνεχή καταγραφή δονήσεων και επικοινωνία μέσω modem

Οι δονησιογράφοι αυτοί είναι τετρακαναλικοί και έχουν δυνατότητα μέτρησης της ταχύτητας εδαφικής δόνησης (PPV) σε τρεις συνιστώσες, σε μονάδες mm/sec, ταυτόχρονα όμως και της αέριας δόνησης, σε dB(L). Η μέτρηση της εδαφικής

δόνησης γίνεται με τη βοήθεια ενός τριαξονικού γεωφώνου, που βρίσκεται ενσωματωμένο στο δονησιογράφο (DS-077) ή είναι εξωτερικό (DS-477). Το γεωφώνο αυτό μπορεί να καταγράφει ταυτόχρονα κατά τη διαμήκη (Long), την εγκάρσια (Tran) και την κατακόρυφη (Vert) συνιστώσα της ταχύτητας εδαφικής δόνησης - ταλάντωσης. Για την καταγραφή της αέριας δόνησης (θορύβου), χρησιμοποιήθηκε μικρόφωνο τύπου L (γραμμικό ή Linear) (Instantel, 1995 – 2005).

Ο δονησιογράφοι είναι απόλυτα αξιόπιστοι και πληρούν τις πιο αυστηρές προδιαγραφές. Δονησιογράφοι του ιδίου τύπου έχουν χρησιμοποιηθεί και χρησιμοποιούνται σε πολλά Τεχνικά Έργα, Μεταλλεία και Λατομεία και Δημόσιες Υπηρεσίες, στην Ελλάδα και διεθνώς (Μπαλικτσή, 2000, Μπαλικτσή κ.ά., 2003, Baliktis and Baliktis, 2006).

3.7 Το πρόβλημα της διαμέτρου διάτρησης

Ενώ οι αρχικές εκτιμήσεις και υπολογισμοί της μεθόδου ανατινάξεων, του βασικού σχεδιασμού και των παραδοχών, έγιναν με δεδομένο ότι η διάμετρος διάτρησης θα ήταν 76 mm, ο διαθέσιμος στο Έργο εξοπλισμός δεν ήταν σε θέση να λειτουργήσει για διάτρηση με διάμετρο κάτω από 105 mm.

Η αδυναμία άμεσης εύρεσης διατρητικού εξοπλισμού για διάμετρο διάτρησης 76 mm, οδήγησε στην αναγκαστική αναζήτηση λύσεων και αναπροσαρμογή των δεδομένων, με βάση το διαθέσιμο διατρητικό μηχάνημα.

Οι ακόλουθες εναλλακτικές λύσεις εξετάστηκαν έτσι ώστε να ξεκινήσουν άμεσα οι εργασίες:

- Τοποθέτηση στο διάτρημα κενού πλαστικού σωλήνα για μείωση της διαμέτρου γόμωσης,
- Διακεκομμένη γόμωση, με παρεμβολή “διακοπών” στην στήλη γόμωσης του διατρήματος,
- Διακεκομμένη γόμωση, με δημιουργία κενών τμημάτων εντός του διατρήματος με την βοήθεια ειδικών αερόσακων (air - decking) σε καθορισμένες θέσεις εντός του διατρήματος,

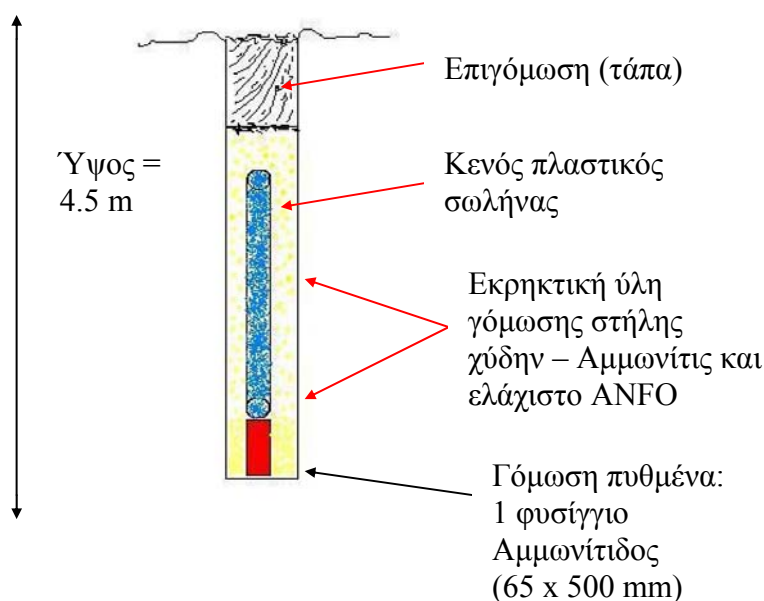
- Τοποθέτηση της γόμωσης του διατρήματος, μέσα σε πλαστικό σωλήνα διαμέτρου κάτω από 105 mm.

Από τις πιθανές λύσεις του προβλήματος, μετά από περαιτέρω επεξεργασία και αξιολόγηση κάποιες θεωρήθηκαν μη υλοποιήσιμες ή αντισυμβατικές.

Το βάθος των διατρημάτων ήταν σχετικά μικρό (περίπου 4.5 m), επομένως η λύση της διακεκομμένης γόμωσης δεν θα ήταν ιδιαίτερα ευνοϊκή. Για τον ίδιο λόγο, η δημιουργία κενού τμήματος (air – decking) πάνω από την στήλη γόμωσης τελικά απορρίφθηκε.

Η τοποθέτηση στο διάτρημα πλαστικού σωλήνα και γόμωση μέσα σε αυτόν επίσης απορρίφθηκε, ενώ η διακεκομμένη γόμωση με χρήση δύο καψυλλίων, δηλαδή δύο διαφορετικών χρόνων επιβράδυνσης μέσα στο ίδιο διάτρημα, δεν θεωρήθηκε ασφαλής επιλογή καθώς η στήλη επιγόμωσης σε μια τέτοια περίπτωση θα έπρεπε να είναι πολύ μικρή και επομένως επικίνδυνη.

Με βάση τα πιο πάνω στοιχεία αξιολόγησης, δρομολογήθηκε από τις πρώτες ανατινάξεις η λύση να τοποθετηθεί κενός πλαστικός σωλήνας μέσα στην στήλη γόμωσης του διατρήματος (Σχήμα 3.3). Έτσι ήταν δυνατόν να μειωθεί η “ενεργός διάμετρος γόμωσης” του διατρήματος (Εικόνα 25).



Σχήμα 3.3 – Γόμωση διατρήματος 105 mm με χρήση κενού πλαστικού σωλήνα για την μείωση της “διαμέτρου γόμωσης”



Εικόνα 25 - Κατά την γόμωση. Πλαστικός σωλήνας και ANFO χύδην

Το διατρητικό μηχάνημα τελικά αποκαταστάθηκε, από άλλο που ήταν σε θέση να εργάζεται σε διάμετρο διάτρησης 76 mm. Έτσι, οι μισές περίπου από τις ανατινάξεις για την βάση της καμινάδας προετοιμάστηκαν με διάμετρο διατρημάτων 76 mm.

3.8 Ανατινάξεις που πραγματοποιήθηκαν

Κατά την περίοδο εφαρμογής του προγράμματος ελέγχου δονήσεων, πραγματοποιήθηκαν και ελέγχθηκαν, για τις δονήσεις που προκάλεσαν, συνολικά επτά ανατινάξεις.

Με βάση τη χρονολογική σειρά πραγματοποίησής τους και την εφαρμογή ενιαίου συστήματος κωδικοποίησης, οι ανατινάξεις ονομάστηκαν Α01 – Α07.

Με αυτές ολοκληρώθηκε η εκσκαφή για την θεμελίωση – σκυροδέτηση της βάσης της καμινάδας.

Από τις επτά ανατινάξεις, τα στοιχεία των οποίων δίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 3.2, συγκεντρώθηκαν συνολικά 41 πλήρεις καταγραφές δονησιογράφων. Τα στάδια εξέλιξης των ανατινάξεων φαίνονται στο Σχήμα 3.4.

3.9 Δίκτυο δονησιογράφων και σταθμοί μέτρησης

Για τον κάθε σταθμό μέτρησης και εγκατάσταση δονησιογράφου (γεωφώνου) σ' αυτόν, τα στοιχεία που έχουν σημασία και ενδιαφέρουν, είναι:

- η απόσταση από την ανατίναξη
- το υπόβαθρο του χώρου (γεωλογικός σχηματισμός)
- ο τρόπος εγκατάστασης και ο προσανατολισμός του γεωφώνου του δονησιογράφου στο σταθμό, σε σχέση με την ανατίναξη.

Η κύρια επιδίωξη στην επιλογή - καθορισμό των σταθμών μέτρησης ήταν να υπάρξει έλεγχος και καταγραφή των προκαλούμενων δονήσεων, όπως επίσης και αξιολόγηση της επικινδυνότητας στις θεωρούμενες ευπαθείς ή κρίσιμες πλησιέστερες εγκαταστάσεις του ΑΗΣ (ενότητα 3.4).

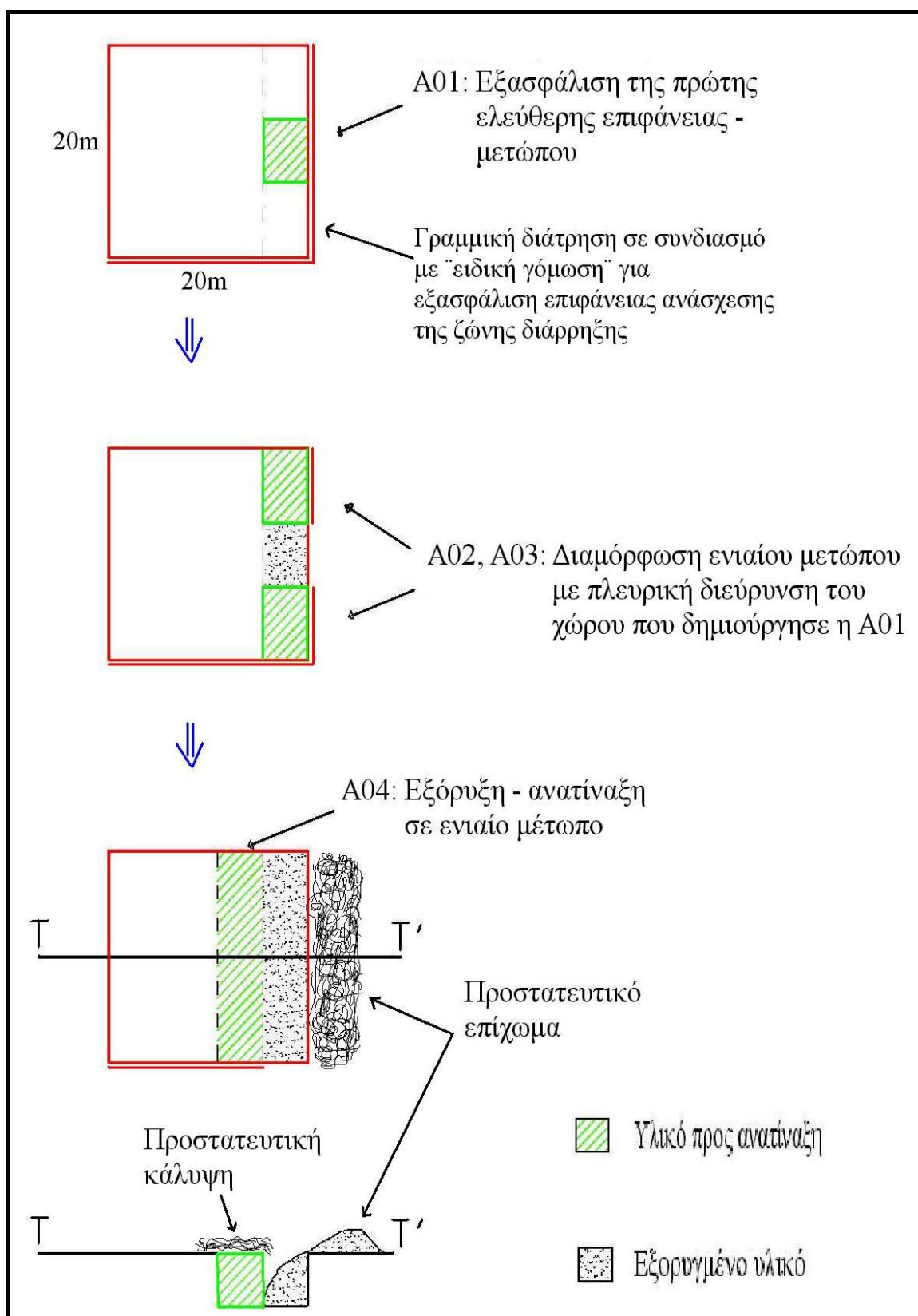
Ταυτόχρονα όμως, αποτελούσε σημαντικό ζητούμενο η δημιουργία γραμμικών διατάξεων σταθμών μέτρησης δονήσεων, για να δοθεί γρήγορα η δυνατότητα άμεσου και αξιόπιστου επανελέγχου ή αναθεώρησης του μαθηματικού μοντέλου

Πίνακας 3.2: Συγκεντρωτικά στοιχεία σχεδιασμού και υλοποίησης ανατινάξεων περιόδου 30/11 - 17/12/05

α/α	ΗΜ/ΝΙΑ	ΩΡΑ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΑΝΑΤΙΝΑΞΗΣ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ (mm)	ΠΛΗΘΟΣ ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΩΝ	ΜΗΚΟΣ (m) ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΟΣ	ΕΠΙΓΟΜΩΣΗ (m)	Γ Ο Μ Ω Σ Η / Δ Ι Α Τ Ρ Η Μ Α		ΣΥΝΟΛΟ ΓΟΜΩΣΗΣ ΑΝΑΤΙΝΑΞΗΣ(kg)	ΠΛΗΘΟΣ Χ.Ε.	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΓΟΜΩΣΗΣ ΑΝΑ Χ.Ε	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
								ΑΜΜΩΝΙΤΗΣ (kg)	ΑΝΦΟ (kg)				
1	30/11/05	15:54	A01	105	17	4.80	2,80 - 3,00	6.00	4.00	170.00	17	10.00	Δημιουργία πρώτης ελεύθερης επιφάνειας. Χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον 4 αγώμωτα διατρήματα.
2	1/12/05	11:49	A02	105	9	4.00	2.50	5.75	3.00	78.75	9	8.75	
3	1/12/05	14:21	A03	105	11	4.00	2.70	4.60	3.00	83.60	11	7.60	
4	13/12/05	15:21	A04	105	1	2.20	1.80	2.30	1.00	3.30	8	7.60	Βάθος διατ/τος 2,20 m (εκεί σταμάτησε το προηγ. διατρητικό)
				105	5	3.50	2.70	4.60	3.00	38.00			Απομάκρυνση - αποκατάσταση διατρητικού μηχανήματος
				76	1	4.00	2.20	4.60	0.00	4.60			Συναντήθηκε σπηλαίωμα
				76	1	4.00	2.20	4.60	2.00	6.60			
5	14/12/05	12:00	A05	76	6	4.00	2.20	4.60	3.00	45.60	10	7.60	Επί συνόλου 11 διατρ/των, χρησιμοποιήθηκαν τα 10
					2	3.00	2.20	2.30	1.00	6.60			Έμεινε ποδαρικό λόγω των ρηχών διατρ/των
					2	2.20	1.80	2.30	1.00	6.60			
6	16/12/05	17:31	A06	76	10	4.00	2.20	4.60	3.00	76.00	12	7.60	Διάτρηση 2 διατρημάτων στο ποδαρικό του μετώπου
					2	1.60	1.25	1.15	0.50	3.30			
7	17/12/05	15:30	A07	76	19	4.00	2.20	4.60	3.00	144.40	19	7.60	

Πίνακας 3.3 - Σταθμοί μέτρησης – θέσεις εγκατάστασης δονησιογράφων ⁽¹⁾

Κωδικός σταθμού μέτρησης	Περιγραφή θέσης εγκατάστασης	Υπόβαθρο	Συνθήκες - τρόπος εγκατάστασης του γεωφώνου του δονησιογράφου	Ημερομηνία πρώτης εγκατάστασης
AVS416	Στην είσοδο του κτηρίου Χημείου, Νότια του χώρου ανατινάξεων	Τεχνικό - Μπετόν δαπέδου	Το γεώφωνο τοποθετήθηκε πάνω στη λεία επιφάνεια του δαπέδου	30/11/2005
AVS417	Στον αγωγό υδάτων ψύξης, πλησίον του χώρου ανατινάξεων (σημείο ελέγχου και σύνδεσης αγωγού)	Τεχνικό - Μπετόν	Το γεώφωνο τοποθετήθηκε πάνω στη λεία επιφάνεια κολλημένου μαρμάρου	30/11/2005
AVS418	Στις δεξαμενές καυσίμων ημερήσιας κατανάλωσης, Ανατολικά του χώρου ανατινάξεων	Τεχνικό - Μπετόν δαπέδου	Το γεώφωνο τοποθετήθηκε πάνω στη λεία επιφάνεια κολλημένου μαρμάρου	30/11/2005
AVS419	Στις δεξαμενές ελαιωδών καταλοίπων, Ανατολικά του χώρου ανατινάξεων	Τεχνικό - Μπετόν δαπέδου θεμελίωσης	Το γεώφωνο τοποθετήθηκε πάνω στη λεία επιφάνεια κολλημένου μαρμάρου	30/11/2005
AVS420	Στην είσοδο του Control Room – Μηχανοστασίου, Βορειοανατολικά του χώρου ανατινάξεων	Τεχνικό - Μπετόν δαπέδου	Το γεώφωνο τοποθετήθηκε πάνω στη λεία επιφάνεια του δαπέδου (μάρμαρα)	30/11/2005
AVS421	Στην είσοδο του Αντλιοστασίου, Ανατολικά του χώρου ανατινάξεων	Τεχνικό - Μπετόν δαπέδου	Το γεώφωνο τοποθετήθηκε πάνω στη λεία επιφάνεια κολλημένου μαρμάρου	13/12/2005
AVS422	Στις δεξαμενές νερού, Νότια του χώρου ανατινάξεων	Τεχνικό – Μπετόν θεμελίωσης	Το γεώφωνο τοποθετήθηκε πάνω στη λεία επιφάνεια κολλημένου μαρμάρου	13/12/2005
AVS423 (2)	Μόνιμος σταθμός μέτρησης στο ισόγειο του Control Room, Βορειοανατολικά του χώρου ανατινάξεων.	Τεχνικό - Μπετόν δαπέδου	Το γεώφωνο τοποθετήθηκε πάνω στη λεία επιφάνεια κολλημένου μαρμάρου	17/12/2005
AVS424 (2)	Μόνιμος σταθμός μέτρησης εντός χώρου γραφείων κτηρίου Χημείου, Νότια του χώρου ανατινάξεων	Τεχνικό - Μπετόν δαπέδου	Το γεώφωνο τοποθετήθηκε πάνω στη λεία επιφάνεια του δαπέδου (κεραμικά πλακάκια)	17/12/2005
(1): Οι θέσεις των σταθμών μέτρησης, απεικονίζονται στο Σχέδιο ΔΕ 01.00.Α.				
(2): Εγκαταστάθηκαν μόνιμοι σταθμοί μέτρησης ελέγχου δονήσεων ανατινάξεων, με σκοπό την συνεχή παρακολούθηση – καταγραφή των ανατινάξεων του Έργου. Η επικοινωνία με αυτούς γινόταν μέσω modem. Το σύστημα λειτουργούσε από 17/12/05 έως 29/03/06.				



Σχήμα 3.4 – Στάδια εξέλιξης των ανατινάξεων

“ανηγμένης απόστασης” που είχε επιλεγεί και χρησιμοποιηθεί για τον αρχικό σχεδιασμό των ανατινάξεων. Τα δεδομένα όλων των σταθμών μέτρησης δονήσεων και οι συνθήκες εγκατάστασης των δονησιογράφων σε αυτούς, δίνονται στον Πίνακα 3.3.

3.10 Μέτρα περιορισμού εκτινάξεων

Εξίσου σημαντικό θέμα με την ελαχιστοποίηση της εδαφικής δόνησης, είναι και ο περιορισμός – πρόληψη των εκτινάξεων, παραδοχή που αποτελεί βασικό κανόνα σε κάθε χώρο ανατίναξης κοντά σε ευαίσθητες ή κρίσιμες εγκαταστάσεις (Baliktsis and Baliktsis, 2004 and 2006). Ο περιορισμός – πρόληψη της εκτίναξης υλικών κατά τις ανατινάξεις, έπρεπε να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά λόγω των αυστηρών απαιτήσεων προστασίας των γύρω εγκαταστάσεων υψηλού κινδύνου.

Οι σημαντικότερες παράμετροι οι οποίες θα μπορούσαν να δημιουργήσουν ανεξέλεγκτη – ανεπιθύμητη εκτίναξη υλικών από τον χώρο των ανατινάξεων, από την αρχή θεωρήθηκαν οι εξής:

- α) οι γεωλογικές συνθήκες (ρηγματώσεις, έγκοιλα, ζώνες με μαλακό – σαθρό υλικό, κλπ), οι οποίες αφενός δημιουργούσαν “δρόμους” διαφυγής των αερίων, αφετέρου θα μπορούσαν να κάνουν την γόμωση αναξέλεγκτη (Εικόνα 26),



Εικόνα 26 - Προβλήματα γεωλογίας του μετώπου εργασίας

β) το ανεπαρκές φορτίο των διατρημάτων

γ) η ανεπαρκής επιγύμωση

Τα ανωτέρω ελήφθησαν υπ' όψιν στον αρχικό σχεδιασμό των ανατινάξεων. Έτσι, κατά την διάρκεια του προγράμματος ελέγχου δονήσεων που εφαρμόστηκε, έγινε προσπάθεια, για τον καλύτερο δυνατό συντονισμό του συνεργείου των ανατινάξεων και με τις κατάλληλες επί τόπου οδηγίες, για τον περιορισμό – πρόληψη των εκτινάξεων από τις ανατινάξεις.

Τα μέτρα τα οποία προτάθηκαν και υλοποιήθηκαν για να αντιμετωπιστούν οι αντίστοιχοι κίνδυνοι, ήταν:

1. Προσανατολισμός των μετώπων εξόρυξης. Έτσι οι ζώνες κινδύνου από πιθανή εκτίναξη από το μέτωπο και την ζώνη επιγύμωσης, ήταν προκαθορισμένες.
2. Δημιουργία "προστατευτικού αναχώματος" για τον περιορισμό των επιπτώσεων σε περίπτωση εκτίναξης από το μέτωπο. Για τον ίδιο λόγο, το εκάστοτε ελεύθερο μέτωπο παρέμενε κατά 50% "φορτωμένο" με υλικά της προηγούμενης ανατίναξης (Εικόνες 27, 28, Σχήμα 3.4).



Εικόνα 27 - Δημιουργία προστατευτικού αναχώματος ως μέτρο προστασίας εκτινάξεων



Εικόνα 28 - Δημιουργία προστατευτικού αναχώματος ως μέτρο προστασίας εκτινάξεων

3. Χρήση προστατευτικής κάλυψης, με την τοποθέτηση γεωυφάσματος και δομικού πλέγματος (υλικά διαθέσιμα στον χώρο του εργοταξίου) (Εικόνα 29).



Εικόνα 29 - Μέτρα προστασίας για την αποφυγή εκτινάξεων. Δομικό πλέγμα πάνω από γεωύφασμα

4. Περιορισμό της χρήσης του ANFO και την αντικατάσταση του από αμμωνιτίδα ως κύριου υλικού γόμωσης των διατρημάτων (Baliktsis and Baliktsis, 2005).
5. Προσεκτική και ελεγχόμενη γόμωση, ιδιαίτερα στα διατρήματα που μπορούσαν να συναντήσουν σπηλαιώσεις ή έγκοιλα, ή ήταν διαπιστωμένες από την διάτρηση, διαφοροποιήσεις του γεωλογικού σχηματισμού,
6. Προσεκτική επιγόμωση και επιλογή κατάλληλου υλικού επιγόμωσης.

Με όλα τα πιο πάνω μέτρα και με γνώμονα ότι η σωστά προετοιμασμένη ανατίναξη εγκυμονεί τους λιγότερους κινδύνους, έγινε διαχείριση του θέματος των εκτινάξεων στις ανατινάξεις A01 - A07. Επιτεύχθηκε πλήρης – καθολική και αποτελεσματική πρόληψη – περιορισμός των εκτινάξεων και αποφεύχθηκαν οι σχετικοί κίνδυνοι (Εικόνες 30, 31).



Εικόνα 30 - Προϊόν της A01 στην οποία δεν υπήρχε ελεύθερη επιφάνεια – μέτωπο



Εικόνα 31 - Προϊόν της Α04 η οποία είχε ελεύθερη επιφάνεια

3.11 Μέτρα περιορισμού της περιβάλλουσας ζώνης διάρρηξης

Στις δύο πλευρές του ορύγματος, οι οποίες πλησίαζαν σε αγωγούς από το δίκτυο νερού ψύξης της μονάδας, θα έπρεπε με αποτελεσματικό τρόπο να αποφευχθεί η ανεξέλεγκτη επέκταση της περιβάλλουσας ζώνης διάρρηξης ή η “ενεργοποίηση” τοπικών ασυνεχειών του πετρώματος.

Χρησιμοποιήθηκε για τον σκοπό αυτό, γραμμική διάτρηση και κατάλληλα προσαρμοσμένη γόμωση ορισμένων διατρημάτων. Οι επιλογές που υλοποιήθηκαν προσέφεραν ασφαλή χειρισμό των ανατινάξεων, έτσι ώστε να αποφευχθεί πλήρως η επέκταση της περιβάλλουσας ζώνης διάρρηξης.



Εικόνα 32 - Δημιουργία ζώνης ανάσχεσης (προρηγμάτωσης) των σεισμικών κυμάτων από τις κοντινότερες κατασκευές (όπως διακρίνεται σε πρώτο πλάνο ο αγωγός νερού)

Κεφάλαιο 4: Δεδομένα καταγραφής και αξιολόγηση προγράμματος δονημετρικού ελέγχου

4.1 Συλλογή – αξιολόγηση δεδομένων καταγραφής συστήματος δονησιογράφων – Οι αναλυτικές αναφορές

Σε κάθε ενεργοποίηση ενός δονησιογράφου από ανατίναξη, προκύπτει και διατηρείται στη μνήμη του ένα “πλήρες πακέτο” δεδομένων καταγραφής, τα οποία στη συνέχεια εμφανίζονται στην (έντυπη ή ψηφιακή) αναλυτική αναφορά του γεγονότος. Μια τυπική αναφορά δονησιογράφου δίνεται στο Σχήμα 4.1, μαζί με επεξηγηματικό υπόμνημα (Σχήμα 4.2).

Οι αναφορές αυτές αποτελούσαν τα καθημερινά “παραδοτέα” προς τον Ανάδοχο του Έργου και το επιτόπου κλιμάκιο της ΔΕΗ. Αποτελούσαν την πιστοποίηση για την αποτελεσματικότητα των μέτρων πρόληψης επιπτώσεων, αλλά και την επιβεβαίωση τήρησης των συμβατικών υποχρεώσεων του Έργου, όπως συμβαίνει και καθιερώνεται σε κάθε ανάλογο έργο (Μπαλικτσίς, 2000, Baliktsis, 2005 and 2006, Baliktsis and Baliktsis, 2006).

4.2 Επανελέγχος και αναθεώρηση του μαθηματικού μοντέλου “ανηγμένης απόστασης”

Για την σωστή αξιολόγηση των προκαλούμενων δονήσεων αλλά και την αξιοποίηση των δεδομένων καταγραφής στον σχεδιασμό των ανατινάξεων ήταν απαραίτητος ο επανελέγχος και η πιθανή αναθεώρηση του μοντέλου “ανηγμένης απόστασης” που χρησιμοποιήθηκε κατά την αρχική – προκαταρκτική προσέγγιση του θέματος (με κωδικό SD1, βλέπε Σχήμα 3.2). Θα έπρεπε λοιπόν να επανεκτιμηθεί και να διατυπωθεί εκ νέου το μαθηματικό μοντέλο “ανηγμένης απόστασης”, με βάση τα νέα δεδομένα καταγραφής.

Για τον υπολογισμό του διαγράμματος “ανηγμένης απόστασης”, χρησιμοποιήθηκαν οι μέγιστες τιμές της ταχύτητας εδαφικής δόνησης στις 3 συνιστώσες (Tran, Vert,

Long), που συγκεντρώθηκαν από τον δονημετρικό έλεγχο κατά την περίοδο μετρήσεων (βλέπε Πίνακα 4.1).

Εκτός από τις 3 συνιστώσες της ταχύτητας δόνησης (PPV-T, PPV-V, PPV-L), όπως αναφέρονται στον Πίνακα 4.1, χρησιμοποιήθηκε επίσης η ποσότητα εκρηκτικής ύλης ανά χρόνο επιβράδυνσης (weight - kg) και η απόσταση δονησιογράφου (σταθμού μέτρησης) από την ανατίναξη (DIST - m). Όλα αυτά έγιναν για τον υπολογισμό της "ανηγμένης απόστασης" (SRSD - m/kg^{1/2}).

Πίνακας 4.1 - Στοιχεία – αποτελέσματα δονημετρικού ελέγχου ανατινάξεων για τον υπολογισμό του διαγράμματος "ανηγμένης απόστασης" (εφαρμογή λογισμικού BlastWare INSTANTEL)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΑΝΑΤΙΝΑΞΗΣ	S/N ΔΟΝΗΣΙΟΓΡΑΦΟΥ	ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	PPV- T mm/s	PPV- V mm/s	PPV- L mm/s	maxPPV mm/s	ΑΠΟΣΤΑΣΗ m
30/11/05	15:54	A01	2772	AVS416	3.68	4.65	2.08	4.65	67
	15:54		3392	AVS417	9.4	13.7	12.2	13.7	27
	15:54		BE7024	AVS418	4.83	9.65	4.06	9.65	37
	15:54		BA5190	AVS419	4.06	7.49	5.97	7.49	43
01/12/05	11:50	A02	2772	AVS416	2.92	7.11	3.43	7.11	60
	11:50		3392	AVS417	9.14	15.5	14.7	15.5	22
	11:49		BE7024	AVS418	6.98	21.5	6.48	21.5	35
	11:49		BA5190	AVS419	4.7	7.75	4.7	7.75	45
	11:49		BA5664	AVS420	1.52	1.52	1.52	1.52	77
01/12/05	14:21	A03	2772	AVS416	2.29	4.83	1.91	4.83	55
	14:21		3392	AVS417	11.7	14	14.2	14.2	18
	14:21		BE7024	AVS418	2.79	11.8	5.33	11.8	35
	14:20		BA5190	AVS419	1.65	4.06	2.92	4.06	50
	14:20		BA5664	AVS420	0.762	1.02	0.889	1.02	85
13/12/05	15:21	A04	2772	AVS416	2.29	4.32	2.03	4.32	53
	15:21		3392	AVS417	7.37	7.62	5.84	7.62	26
	15:21		BE7024	AVS418	3.05	5.71	2.29	5.71	42
	15:21		BA5190	AVS419	1.78	2.21	2.56	2.56	53
	15:21		BA5664	AVS420	0.635	1.02	0.635	1.02	80
	15:21		BE7435	AVS422	1.78	2.29	1.4	2.29	50
14/12/05	12:00	A05	2772	AVS416	3.3	8.51	3.56	8.51	50
	12:00		3392	AVS417	4.7	13.2	9.65	13.2	29
	12:00		BE7024	AVS418	3.94	13.6	5.08	13.6	45
	12:00		BA5190	AVS419	3.65	3.68	5.51	5.51	55
	12:00		BA5664	AVS420	1.65	1.9	0.889	1.9	82
	12:00		BE	AVS421	4.83	6.48	5.59	6.48	45
	12:00		BE7435	AVS422	2.16	2.92	3.43	3.43	52

Date/Time Vert at 14:21:04 December 1, 2005
Trigger Source Geo: 0.714 mm/s
Range Geo :127 mm/s
Record Time 2.0 sec at 1024 sps

Serial Number 3392 V 2.61 MiniMate
Battery Level 6.5 Volts
Calibration August 17, 2005 by Datum Monitoring
File Name E392AX19.740

Notes

Location: AVS417 - AHS ATHERINOLAKKOY N. LASITHIOY
 Client: ATHENA ATE
 User Name: EXORIXI SA *ELIAS BALIKTSIS*6932215287
 Converted: December 1, 2005 15:38:28 (V4.30)

Extended Notes

BLAST VIBRATION MONITORING PROGRAM
 ANATINAXH DIAMORFWSHS XWROY NEAS KAMINADAS
 DONHSIOGRAFOS SE AGWGO YDATOS PLHSION XW ROY
 ANATINAXEWN EGKATASTASH SE MARMARO

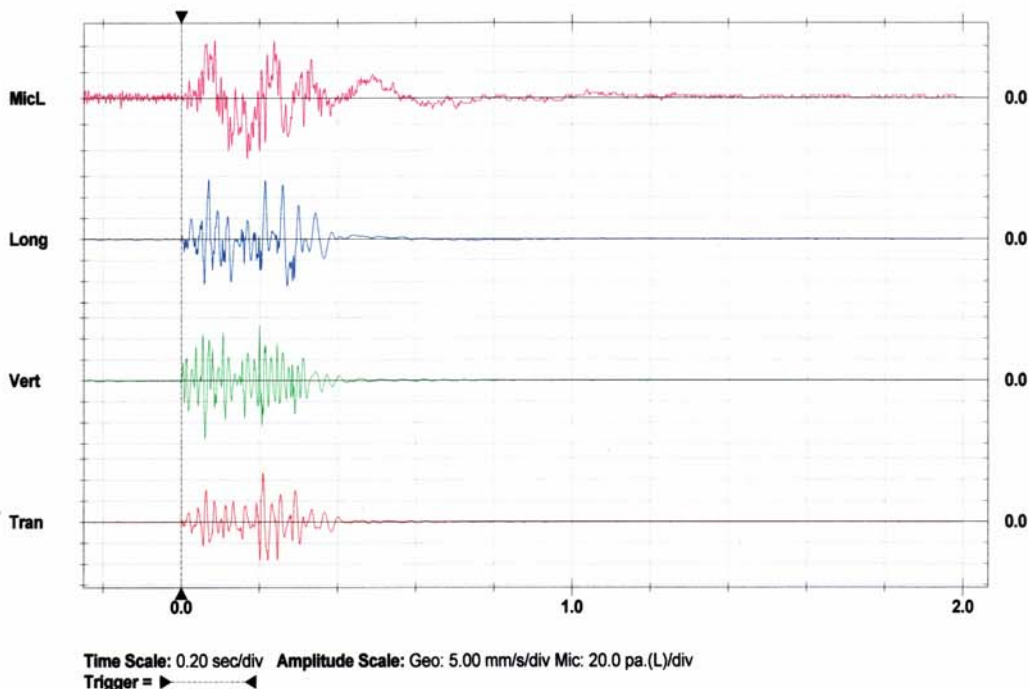
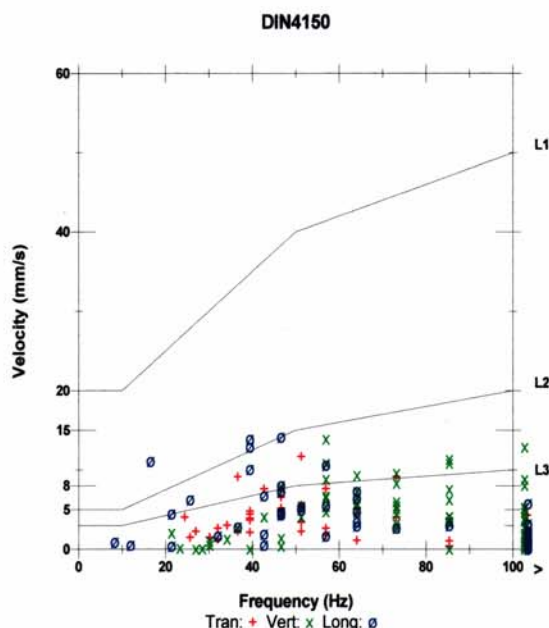
Post Event Notes

AVS417 - A03

Microphone Linear Weighting
PSPL 127.2 dB(L) 46.0 pa.(L) at 0.169 sec
ZC Freq 13 Hz
Channel Test Passed (Freq = 20.0 Hz Amp = 443 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	11.7	14.0	14.2	mm/s
ZC Freq	51	57	47	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.210	0.062	0.070	sec
Peak Acceleration	0.703	1.09	0.530	g
Peak Displacement	0.0380	0.0355	0.0941	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	

Peak Vector Sum 17.5 mm/s at 0.071 sec



Printed: August 3, 2006 (V 8.01 - 8.01)

Format Copyrighted 1996-2004 Instantel Inc.

Σχήμα 4.1 - Τυπική αναφορά δονησιογράφου

(πρόγραμμα επεξεργασίας: BlastWare - 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 πριν 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 τεστ)

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΓΕΩΦΩΝΟΥ (δόνηση εδάφους)

PPV	Μέγιστη ταχύτητα ταλάντωσης (δόνησης) σωματιδίου (mm/sec) στη θέση μετρήσεως, ανάλυση στις τρεις 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 τεστ)
Peak Vector Sum	Συνισταμένη ταχύτητα ταλάντωσης (δόνησης) και χρόνος που εντοπίζεται από την ενεργοποίηση του δονησιογράφου

ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΕ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ**ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΔΟΝΗΣΗΣ - ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ**

απεικονίζονται με διαφορετικό συμβολισμό και οι 3 συνιστώσες της ταχύτητας δόνησης TRAN - VERT - LONG

DIN 4150	Προδιαγραφές διαγράμματος δονήσεων - επιπτώσεων σε κατασκευές
L1	Κτίρια γραφείων ή βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Οικοδομικά έργα με καλά μηχανικά χαρακτηριστικά
L2	Κατοικίες και συναφή κτίρια, κατασκευές με κονίαμα
L3	Κατασκευές που δεν περιλαμβάνονται στα πιο πάνω, λόγω της ευαισθησίας τους στις δονήσεις

Σχήμα 4.2 - Υπόμνημα και καταγραφικών δεδομένων της αναφοράς δονημετρικού ελέγχου (πρόγραμμα επεξεργασίας: Instantel - BlastWare)

Όσον αφορά στον υπολογισμό της ποσότητας γόμωσης ανά χρόνο επιβράδυνσης, έγινε, όπως επιβάλλεται σε τέτοιες περιπτώσεις, λεπτομερής αποτύπωση των στοιχείων προετοιμασίας της κάθε ανατίναξης (Μπαλικτσή, 2005).

Για την άμεση μέτρηση των αποστάσεων και την αποτύπωση των σταθμών μέτρησης, χρησιμοποιήθηκε όργανο Laser, τύπου LaserAce300 της εταιρείας MDL, ιδιοκτησίας της εταιρείας ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε., το οποίο αποτελεί ιδιαίτερα εύχρηστο "εργαλείο" για τέτοιες περιπτώσεις (Baliktsis and Fragoulis, 2002) (Εικόνες 33,34).

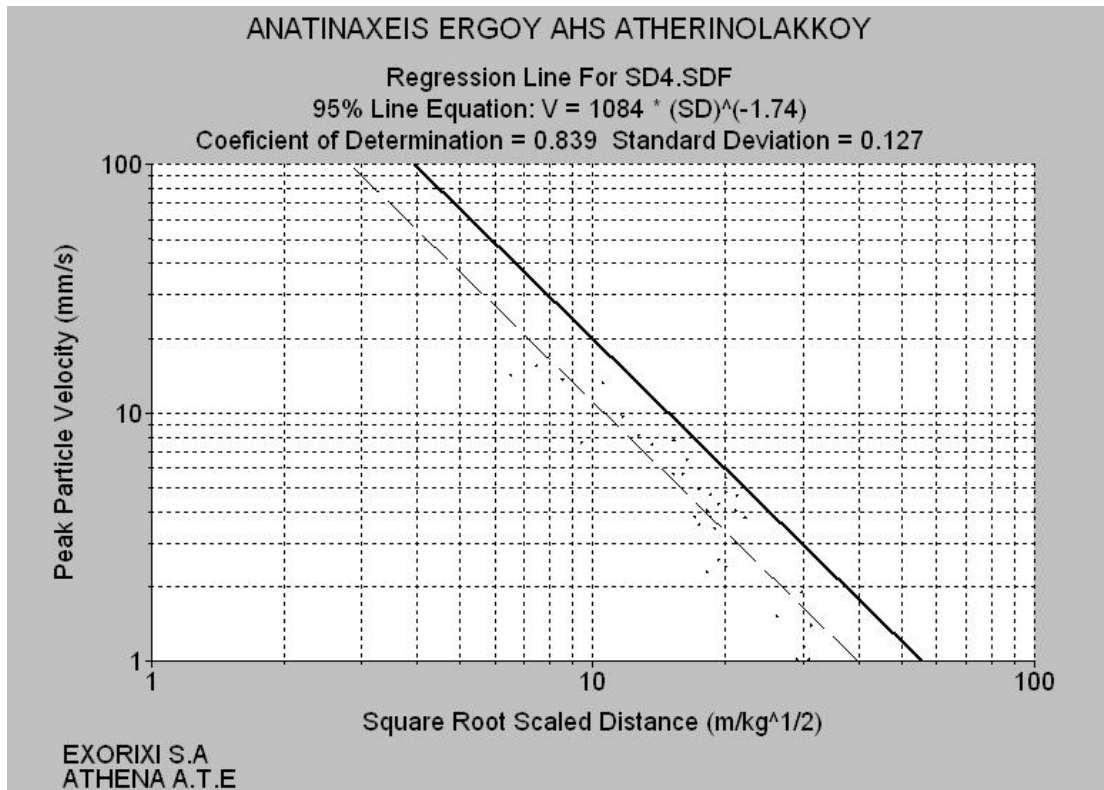


Εικόνα 33 - LaserAce300. Όργανο Laser που χρησιμοποιήθηκε για την άμεση μέτρηση των αποστάσεων και την αποτύπωση των σταθμών μέτρησης



Εικόνα 34 - LaserAce300. Όργανο Laser που χρησιμοποιήθηκε για την άμεση μέτρηση των αποστάσεων και την αποτύπωση των σταθμών μέτρησης

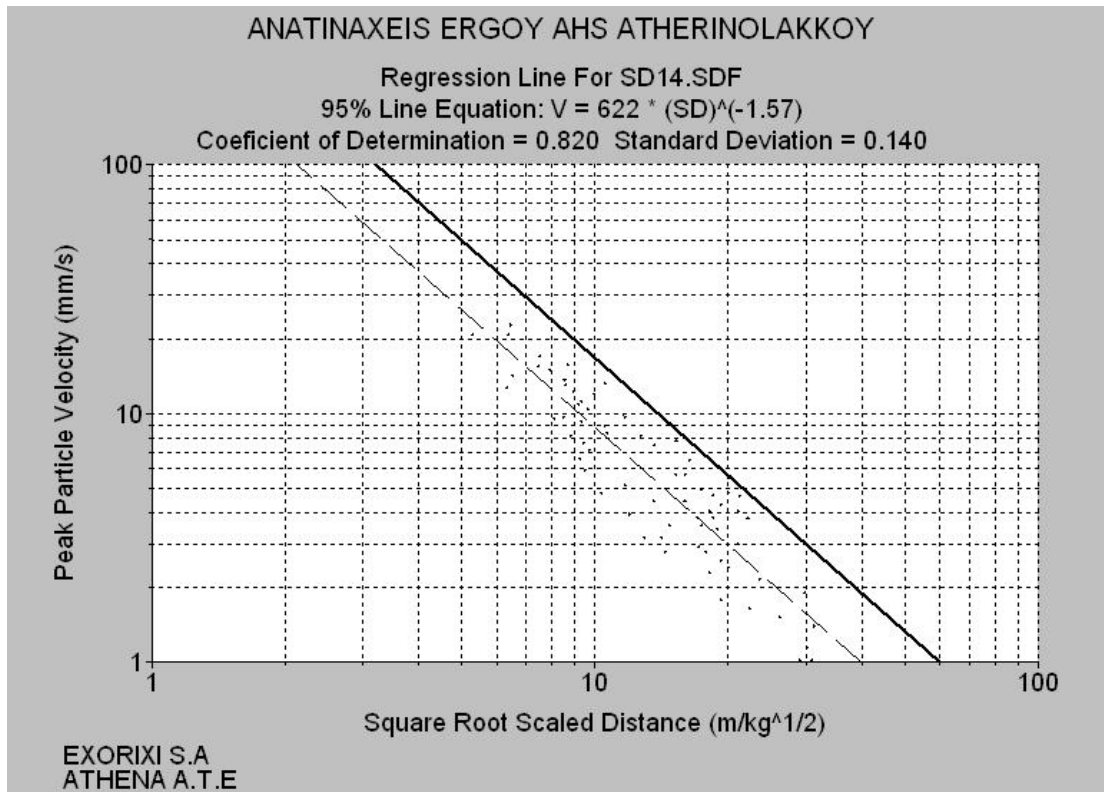
Η επεξεργασία των στοιχείων που καταγράφηκαν (Πίνακας 4.1), έγινε σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με τη βοήθεια του λογισμικού BlastWare της INSTANTEL, για να υπολογιστεί το μαθηματικό μοντέλο και να σχεδιαστεί το διάγραμμα "ανηγμένης απόστασης" (Σχήμα 4.3), δηλαδή η "δονημετρική ταυτότητα" της περιοχής ή το "στατιστικό συμπέρασμα" από τις καταγραφές που πραγματοποιήθηκαν με τις ανατινάξεις του Έργου, κατά το διάστημα 30/11/2005 – 17/12/2005, στους επτά σταθμούς μέτρησης.



Σχήμα 4.3 - Διάγραμμα – μαθηματικό μοντέλο “ανηγμένης απόστασης” ανατινάξεων Έργου ΑΗΣ Αθερινόλακκου με βάση μόνον τις καταγραφές δονησιογράφων από την 4^η Φάση (SD4)

Πραγματοποιήθηκε περαιτέρω επεξεργασία του διαγράμματος και της βάσης υπολογισμού του, με στόχο να εξασφαλισθεί μεγαλύτερη αξιοπιστία του, με την βελτιστοποίηση των συντελεστών μαθηματικής – στατιστικής επεξεργασίας, αφαιρώντας ορισμένες τιμές που εκτιμήθηκε ότι δεν ακολουθούσαν την μέση κατανομή, συγκριτικά με το υπόλοιπο πλήθος των καταγραφών. Το μαθηματικό μοντέλο ονομάστηκε SD4.

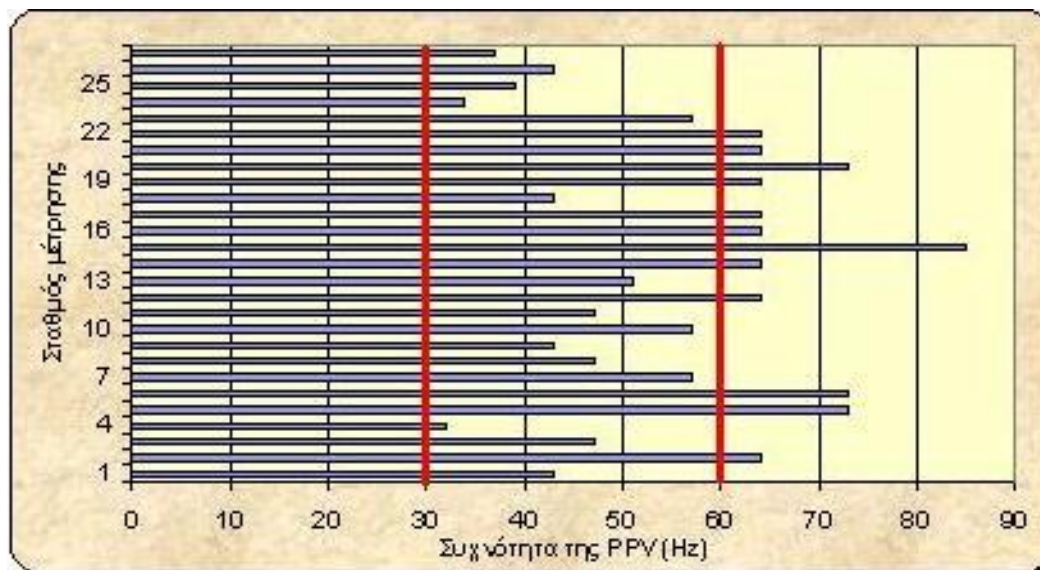
Με παραπέρα επεξεργασία και στην προσπάθεια να εξεταστεί το πώς αναθεωρείται το μαθηματικό μοντέλο SD που χρησιμοποιήθηκε στον αρχικό σχεδιασμό (SD1), ενσωματώθηκαν στην υπολογιστική βάση του τελευταίου οι καταγραφές – στοιχεία της 4^{ης} Φάσης. Έτσι, προέκυψε ένα νέο μαθηματικό μοντέλο – διάγραμμα, το οποίο ονομάστηκε SD14.



Σχήμα 4.4 – Αναθεώρηση του SD1 με προσθήκη στην βάση επεξεργασίας του των δεδομένων καταγραφής της 4ης Φάσης (SD14)

4.3 Αξιολόγηση επικινδυνότητας και καθορισμός επιτρεπόμενων ποσοτήτων γόμωσης

Καθώς η αξιολόγηση των καταγραφικών δεδομένων και η εκτίμηση της επικινδυνότητας, συνδέεται όχι μόνον με την μέγιστη ταχύτητα δόνησης, αλλά και με την συχνότητα, κρίθηκε σκόπιμο, να γίνουν από τις υπάρχουσες καταγραφές των δονησιογράφων και οι σχετικές εκτιμήσεις σε ότι αφορά στο συχνотικό περιεχόμενο. Από την ανάλυση που έγινε στο συχνотικό περιεχόμενο των καταγραφών (βλέπε Σχήμα 4.4), προέκυψε ότι η επικρατούσα περιοχή συχνοτήτων, ήταν 30 – 60 Hz.



Σχήμα 4.4 – Στατιστική ανάλυση συχνοτικού περιεχομένου

Από το συχνοτικό περιεχόμενο, προκύπτει ο Πίνακας 4.2, με το προτεινόμενο εύρος αποδεκτών τιμών μέγιστης ταχύτητας εδαφικής δόνησης. Τα αποτελέσματα βασίζονται στην επεξεργασία των συχνοτήτων και την προδιαγραφή DIN4150.

Πίνακας 4.2 - Προτεινόμενο εύρος αποδεκτών τιμών μέγιστης ταχύτητας εδαφικής δόνησης (PPV), με βάση το κριτήριο DIN4150

Κατηγορία κτισμάτων - εγκαταστάσεων σύμφωνα με τις προδιαγραφές DIN4150 ⁽¹⁾	Προτεινόμενο εύρος τιμών μέγιστης ταχύτητας εδαφικής δόνησης (PPV σε mm/sec) για εύρος συχνοτήτων 30 – 60 Hz ⁽²⁾
L1	30 – 43
L2	10 – 17
<p>(1): Θεωρήθηκε ότι οι κατασκευές, οι εγκαταστάσεις και κτίσματα της περιοχής του υφιστάμενου ΑΗΣ, κατατάσσονται στις κατηγορίες L1 και L2.</p> <p>(2): Διάκριση και διαφοροποίηση των τιμών PPV, με βάση το διαφορετικό συχνοτικό περιεχόμενο των δονήσεων.</p>	

Στα πλαίσια της σωστής και ασφαλούς διαχείρισης του θέματος των ανατινάξεων και της αποτελεσματικής πρόληψης των δυσμενών επιπτώσεων στις κτιριακές και λοιπές δομές - εγκαταστάσεις του ΑΗΣ Αθρινόλακκου, χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές των

- 10 mm/sec (για την κατηγορία L2), και
- 30 mm/sec (για την κατηγορία L1).

Με βάση το διάγραμμα “ανηγμένης απόστασης” SD14 (βλέπε Σχήμα 4.4) προκύπτουν οι Πίνακες 4.3α και 4.3β για προτεινόμενη “αποδεκτή” (ή επιτρεπόμενη) ταχύτητα

εδαφικής δόνησης $PPV = 10 \text{ mm/sec}$ και 30 mm/sec αντίστοιχα. Για δεδομένη απόσταση από το χώρο των ανατινάξεων, προκύπτει η επιτρεπόμενη γόμωση (ποσότητα εκρηκτικών) ανά χρόνο επιβράδυνσης.

Πίνακας 4.3α - Μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα γόμωσης ανά χρόνο επιβράδυνσης ($PPV = 10 \text{ mm/sec}$)

ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)	γόμωση ανά χρόνο επιβράδυνσης kg/delay
20	0.965
25	1.510
30	2.17
35	2.95
40	3.86
45	4.88
50	6.03
55	7.30
60	8.68
65	10.20
70	11.80
75	13.60
80	15.40
85	17.40
90	19.50
95	21.80
100	24.10
105	26.60
110	29.20
115	31.90
120	34.70
130	40.80
140	47.30
150	54.30
200	96.50

Πίνακας 4.3β - Μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα γόμωσης ανά χρόνο επιβράδυνσης (PPV = 30 mm/sec)

ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)	γόμωση ανά χρόνο επιβράδυνσης kg/delay
20	3.80
25	5.94
30	8.55
35	11.60
40	15.20
45	19.20
50	23.70
55	28.70
60	34.20
65	40.10
70	46.50
75	53.40
80	60.80
85	68.60
90	76.90
95	85.70
100	95.00
105	105.00
110	115.00
115	126.00
120	137.00
130	161.00
140	186.00
150	214.00
200	380.00

4.4 Σύγκριση τιμών PPV που προκύπτουν από τα μοντέλα “ανηγμένης απόστασης” με τις πραγματικές

Ο αρχικός σχεδιασμός της 4^{ης} Φάσης, βασίστηκε στο μοντέλο “ανηγμένης απόστασης” που προέκυψε από την 2^η Φάση εργασιών της εταιρείας ΕΞΟΡΥΞΗ ΑΕ στον ΑΗΣ Αθρινόλακκο (SD1). Η συγκριτική αυτή διερεύνηση ανάμεσα στις “υπολογιστικές” και πραγματικές τιμές, μπορεί να επεκταθεί περαιτέρω, αφού είναι πλέον διαθέσιμα και ακόμη δύο μαθηματικά μοντέλα, τα:

- SD4: προερχόμενο αποκλειστικά από τις καταγραφές μόνον της 4^{ης} Φάσης
- SD14: το οποίο είναι το αναθεωρημένο SD1 με βάση (με ενσωματωμένες) τις καταγραφές της 4^{ης} Φάσης

Πίνακας 4.4 - Σύγκριση πραγματικών τιμών εδαφικής δόνησης με τις αναμενόμενες τιμές από τα μαθηματικά μοντέλα "αηγιμένης απόστασης"

Ημερομηνία	Σταθμός μέτρησης	Απόσταση (m)	maxPPV (Πραγματικές τιμές) mm/s	Αναμενόμενες τιμές από SD1	Διαφορά 1	Αναμενόμενες τιμές από SD4	Διαφορά 2	Αναμενόμενες τιμές από SD14	Διαφορά 3
30/11/05	AVS416	67	4.65	3.09	1.56	5.35	0.70	5.13	0.48
	AVS417	27	13.7	17.40	3.70	26.00	12.30	21.40	7.70
	AVS418	37	9.65	9.61	0.04	15.00	5.35	13.00	3.35
	AVS419	43	7.49	7.21	0.28	11.60	4.11	10.30	2.81
01/12/05	AVS416	60	7.11	2.92	4.19	5.77	1.34	5.47	1.64
	AVS417	22	15.5	19.60	4.10	33.00	17.50	26.50	11.00
	AVS418	35	21.5	8.07	13.43	14.80	6.70	12.80	8.70
	AVS419	45	7.75	4.99	2.76	9.43	1.68	8.60	0.85
	AVS420	77	1.52	1.79	0.27	3.73	2.21	3.70	2.18
01/12/05	AVS416	55	4.83	3.03	1.80	5.97	1.14	5.64	0.81
	AVS417	18	14.2	25.60	11.40	41.50	27.30	32.60	18.40
	AVS418	35	11.8	7.20	4.60	13.00	1.20	11.50	0.30
	AVS419	50	4.06	3.64	0.42	7.04	2.98	6.55	2.49
	AVS420	85	1.02	1.32	0.30	2.78	1.76	2.84	1.82
13/12/05	AVS416	53	4.32	3.72	0.60	6.36	2.04	5.98	1.66
	AVS417	26	7.62	14.50	6.88	27.80	20.18	18.30	10.68
	AVS418	42	5.71	5.81	0.10	9.54	3.83	8.62	2.91
	AVS419	53	2.56	3.72	1.16	6.36	3.80	5.98	3.42
	AVS420	80	1.02	1.70	0.68	3.10	2.08	3.13	2.11
	AVS422	50	2.29	4.16	1.87	7.04	4.75	6.55	4.26
14/12/05	AVS416	50	8.51	4.16	4.35	7.04	1.47	6.55	1.96
	AVS417	29	13.2	11.80	1.40	18.00	4.80	15.40	2.20
	AVS418	45	13.6	5.09	8.51	7.93	5.67	7.73	5.87
	AVS419	55	5.51	3.47	2.04	5.97	0.46	5.64	0.13
	AVS420	82	1.9	1.62	0.28	2.96	1.06	3.01	1.11
	AVS421	45	6.48	5.09	1.39	7.93	1.45	7.73	1.25
	AVS422	52	3.43	3.86	0.43	3.14	0.29	3.16	0.27

Στον Πίνακα 4.4, δίνονται οι πραγματικές τιμές που κατέγραψαν οι δονησιογράφοι, και οι αναμενόμενες (‘‘υπολογιστικές’’) τιμές PPV με βάση τα μοντέλα SD1, SD4, SD14 για τις ίδιες αποστάσεις. Για την οριζόντια σύγκριση των τιμών με τις πραγματικές, παρουσιάζονται οι αριθμητικές διαφορές τους.

Το μαθηματικό μοντέλο SD4, αν και προέρχεται από τις καταγραφές δονησιογράφων σε ανατινάξεις που πραγματοποιήθηκαν αποκλειστικά στην περιοχή εκσκαφής θεμελίωσης της 2^{ης} ψηλής καμινάδας, λόγω του περιορισμένου αριθμού καταγραφών δεν μπορεί να θεωρηθεί ως το πιο αξιόπιστο για την συγκεκριμένη περιοχή. Αυτό φαίνεται τόσο από τους συντελεστές στατιστικής επεξεργασίας του διαγράμματος, όσο και από τις διαφορές των υπολογιζόμενων τιμών PPV που υπολογίζει σε σχέση με τις πραγματικές. Η διαφορά αυτή (Διαφορά 2), όπως προκύπτει από τον Πίνακα 4.4, είναι στις περισσότερες καταγραφές μεγαλύτερη από αυτή των άλλων δύο μαθηματικών μοντέλων, SD1 και SD14.

Για την εύρεση του πιο αξιόπιστου μαθηματικού μοντέλου SD ακολουθεί περαιτέρω ανάλυση και σύγκριση των SD1 και SD14.

Το μαθηματικό μοντέλο SD ενσωματώνει την επίδραση της τοπικής γεωλογίας και της τεχνικής ανατινάξεων. Έτσι, είναι αναμενόμενο τα μοντέλα SD1 και SD4 να μην ταυτίζονται, και έτσι εξηγείται το γιατί δεν υπήρξε περαιτέρω βελτίωση των συντελεστών του αναθεωρημένου μοντέλου ‘‘ανηγμένης απόστασης’’ SD14.

Τα μεγέθη των ανατινάξεων της 1^{ης} και 2^{ης} Φάσης, δεν είχαν καμία σχέση με τα αντίστοιχα της 4^{ης} Φάσης. Οι πρώτες δύο φάσεις αφορούσαν στην διαμόρφωση χώρων και στην μαζική εξόρυξη υλικών με μεγάλες ανατινάξεις. Οι αποστάσεις από ‘‘ευαίσθητα’’ κτήρια – εγκαταστάσεις ήταν της τάξης των 600 m σε αντίθεση με αυτές της 4^{ης} Φάσης που κυμαινόταν από 5 έως 90 m. Για την αρχική διαμόρφωση χώρων υπήρχε απαίτηση μεγάλων ποσοτήτων εξορυγμένου υλικού και επομένως χρησιμοποιούνταν σε κάθε ανατίναξη μεγάλες ποσότητες εκρηκτικών υλών και κυρίως ANFO.

Σύμφωνα με τα πιο πάνω, οι συντελεστές και οι παράμετροι του μοντέλου SD1 διέφεραν αρκετά από αυτούς του SD4 αφού αναφερόταν σε άλλου είδους – τύπου ανατινάξεις. Καθώς, όμως, υπήρχε ο ίδιος γεωλογικός σχηματισμός, ίδια

χαρακτηριστικά και ιδιαιτερότητες πετρώματος, αποφασίστηκε το SD1 να χρησιμοποιηθεί και για τον αρχικό σχεδιασμό των ανατινάξεων της 4^{ης} Φάσης. Τα αποτελέσματα των ανατινάξεων και τα δεδομένα καταγραφής έδειξαν ότι το μοντέλο SD1 λειτούργησε ικανοποιητικά και αξιόπιστα για τον αρχικό σχεδιασμό των ανατινάξεων της 4^{ης} Φάσης.

Από τον Πίνακα 4.4 φαίνεται ότι σε κάποιες ανατινάξεις η διαφορά της πραγματικής τιμής από την αναμενόμενη (όπως υπολογίζεται από το αντίστοιχο μοντέλο “ανηγμένης απόστασης”) είναι μικρότερη όταν αναφερόμαστε στο SD1. Σε άλλες ανατινάξεις, ή ακόμη και στις ίδιες ανατινάξεις αλλά μετρημένες από διαφορετικούς σταθμούς μέτρησης δονήσεων, το SD14 προσεγγίζει καλύτερα την πραγματική τιμή.

Παρατηρείται επίσης, ότι ακόμη και όταν η διαφορά της πραγματικής τιμής PPV από την υπολογιζόμενη του SD14 (Διαφορά 3) είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του SD1 (Διαφορά 1), συνήθως η πραγματική τιμή είναι μικρότερη από αυτήν που προβλέπει το SD14. Υπάρχουν για παράδειγμα τα ακόλουθα δεδομένα ανατίναξης.

Απόσταση (m)	maxPPV (Πραγματική τιμή) mm/s	Υπολογιζόμενη τιμή από SD1	Διαφορά 1	Υπολογιζόμενη τιμή από SD14	Διαφορά 3
50	4.06	3.64	0.42	6.55	2.49

Παρατηρείται, λοιπόν ότι “Διαφορά 1” < “Διαφορά 3” γεγονός που φαινομενικά θα καθιστούσε πιο αξιόπιστο το SD1. Είναι αξιοσημείωτο, όμως, το γεγονός ότι το SD14 θεωρείται “πιο ασφαλές” αφού η πραγματική τιμή είναι μικρότερη από αυτή που προέβλεψε. Ο σχεδιασμός της ανατίναξης με βάση την ποσότητα γόμωσης ανά χρόνο επιβράδυνσης και τις αποστάσεις στις οποίες απαιτούνται κάποιες αποδεκτές μέγιστες τιμές εδαφικής δόνησης καθίσταται πιο ασφαλής με το SD14. Το ίδιο ισχύει και για την πλειοψηφία των ανατινάξεων.

Θεωρητικά, όσο περισσότερες καταγραφές έχει ως βάση υπολογισμού ένα μοντέλο “ανηγμένης απόστασης” τόσο καλύτερους συντελεστές έχει και τόσο πιο αξιόπιστες και ασφαλείς “προβλέψεις” μπορεί να κάνει. Οι ιδιομορφίες που προαναφέρθηκαν, σε συνδυασμό με κάποιους απρόβλεπτους γεωλογικούς σχηματισμούς, κάποια τοπικά

χαρακτηριστικά του πετρώματος ή κάποιες ιδιαιτερότητες στον σχεδιασμό κάποιας ανατίναξης μπορεί να επαληθεύουν το 1^ο μοντέλο “ανηγμένης απόστασης” (SD1).

Αξίζει, τέλος, να σημειωθεί ότι δεν παρατηρήθηκε κάποιος συγκεκριμένος μηχανισμός με τον οποίο επηρέασε τις αναμενόμενες τιμές PPV ο χειρισμός που έγινε για το πρόβλημα της διαμέτρου διάτρησης των πρώτων ανατινάξεων της 4^{ης} Φάσης (βλέπε ενότητα 3.7). Επιβεβαιώνεται ενδεχομένως με αυτό, η άποψη ότι καθοριστική παράμετρος για τις προκαλούμενες εδαφικές δονήσεις, αποτελεί η ποσότητα γόμωσης ανά χρόνο επιβράδυνσης (ίσως, ανεξαρτήτως του τρόπου με τον οποίο επιτεύχθηκε αυτό).

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

5.1 Σύνοψη - Συμπεράσματα

Στα πλαίσια του Έργου της ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ Α.Ε. για την κατασκευή και 1^η επέκταση του ΑΗΣ Αθρινόλακκου Κρήτης (Εικόνα 35) η εταιρεία ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε ανέλαβε και υλοποίησε προγράμματα σχεδιασμού και δονημετρικού ελέγχου ανατινάξεων. Το κύριο θέμα της Διπλωματικής Εργασίας αφορά στον σχεδιασμό ανατινάξεων και το πρόγραμμα ελέγχου δονήσεων της 4^{ης} Φάσης υλοποίησης του προγράμματος ελέγχου ανατινάξεων της ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε, κατά την περίοδο 30/11/2005 – 29/3/06. Οι εξορυκτικές εργασίες – ανατινάξεις έπρεπε να πραγματοποιηθούν σε επαφή με την κύρια μονάδα και τις βοηθητικές εγκαταστάσεις της ή περιφερειακά δίκτυα.



Εικόνα 35 - Άποψη του χώρου του ΑΗΣ κατά την διάρκεια κατασκευής των εγκαταστάσεων της 2^{ης} μονάδας και 2^{ης} ψηλής καμινάδας

Συνοπτικά, έγιναν τα εξής:

- a. Υιοθετήθηκαν οι Γερμανικές προδιαγραφές DIN4150 για την αξιολόγηση των δονήσεων, και οι οποίες είναι ιδιαίτερα "αυστηρές" (από τις πλέον αυστηρές διεθνώς).
- b. Προτάθηκαν και υλοποιήθηκαν κάποια μέτρα για να αντιμετωπιστούν οι κίνδυνοι από τις ανατινάξεις, όπως αναφέρονται παρακάτω:
 1. Προσανατολισμός των μετώπων εξόρυξης, έτσι ώστε οι ζώνες κινδύνου από πιθανή εκτίναξη από το μέτωπο και την ζώνη επιγόμεωσης να είναι προκαθορισμένες.
 2. Δημιουργία "προστατευτικού αναχώματος" για τον περιορισμό των επιπτώσεων σε περίπτωση εκτίναξης από το μέτωπο. Για τον ίδιο λόγο, το εκάστοτε ελεύθερο μέτωπο παρέμενε κατά 50% "φορτωμένο" με υλικά της προηγούμενης ανατίναξης.
 3. Χρήση προστατευτικής κάλυψης για τον περιορισμό των εκτινάξεων, με την τοποθέτηση γεωφάσματος και δομικού πλέγματος (υλικά διαθέσιμα στον χώρο του εργοταξίου).
 4. Περιορισμός της χρήσης του ANFO και αντικατάσταση του από αμμωνίτιδα ως κύριου υλικού γόμεωσης των διατρημάτων.
 5. Προσεκτική και ελεγχόμενη γόμωση, ιδιαίτερα στα διατρήματα που υπήρχαν ενδείξεις ότι θα συναντηθούν σπηλαιώσεις ή έγκοιλα.
 6. Προσεκτική επιγόμεωση και επιλογή του κατάλληλου υλικού επιγόμεωσης.
 7. Χρησιμοποίηση περιμετρικής γραμμικής διάτρησης η οποία σε συνδυασμό με την γόμωση προσέφερε ασφαλή χειρισμό της ανατίναξης, σε ότι αφορά στην περιβάλλουσα ζώνη διάρρηξης. Δεν υπήρχε λόγος να επιλεγεί προρηγμάτωση, αφού δεν ενδιέφεραν οι αδιατάρακτες επιφάνειες περιφερειακά του χώρου εκσκαφής. Επειδή όμως ο γεωλογικός σχηματισμός είχε κάποιες ιδιομορφίες, ήταν πολύ πιθανόν κάποιες φυσικές επιφάνειες ασυνέχειας να ενεργοποιηθούν με την ανατίναξη και να προκύψει περιφερειακή διάρρηξη. Γι' αυτό απλώς έπρεπε να δημιουργηθούν κάποιες επιφάνειες ανάσχεσης της περιφερειακής διάρρηξης.

- c. Με όλα τα πιο πάνω μέτρα και με γνώμονα ότι η σωστά προετοιμασμένη ανατίναξη εγκυμονεί τους λιγότερους κινδύνους, πραγματοποιήθηκαν 7 ανατινάξεις και ταυτόχρονα ελέγχθηκαν για τις δονήσεις που προκάλεσαν, κατά την περίοδο εφαρμογής του προγράμματος ελέγχου δονήσεων.
- d. Για την καταγραφή των προκαλούμενων δονήσεων, χρησιμοποιήθηκαν, συνολικά κατά τη διάρκεια του προγράμματος, επτά ψηφιακά καταγραφικά όργανα (δονησιογράφοι) του οίκου INSTANTEL, τύπων DS477-BlastMate και DS077-MiniMate, ιδιοκτησίας της εταιρίας ΕΞΟΡΥΞΗ ΑΕ. Παράμετροι επιλογής της θέσης ενός σταθμούς μέτρησης αποτέλεσαν η ανάγκη για έλεγχο και καταγραφή των προκαλούμενων δονήσεων, όπως επίσης και αξιολόγηση της επικινδυνότητας στις θεωρούμενες ευπαθείς ή κρίσιμες πλησιέστερες εγκαταστάσεις του ΑΗΣ.

Ταυτόχρονα όμως, αποτελούσε σημαντικό ζητούμενο η δημιουργία γραμμικών διατάξεων σταθμών μέτρησης δονήσεων, για να δοθεί γρήγορα η δυνατότητα άμεσου και αξιόπιστου επανελέγχου ή αναθεώρησης του μαθηματικού μοντέλου Scaled Distance (SD).

Από τους επτά σταθμούς μέτρησης – θέσεις εγκατάστασης δονησιογράφων, συγκεντρώθηκαν συνολικά 41 αναλυτικές αναφορές, οι οποίες προέκυψαν από ισάριθμες ενεργοποιήσεις – καταγραφές των δονησιογράφων. Η ανάλυση και μελέτη των δεδομένων καταγραφής αμέσως μετά από κάθε ανατίναξη έπαιξε σημαντικό ρόλο στις αποφάσεις και τον σχεδιασμό της κάθε επόμενης ανατίναξης.

Το πρόγραμμα δονημετρικού ελέγχου υλοποιήθηκε σε 2 στάδια και με 2 διαφορετικές μεθοδολογίες – συστήματα συλλογής δεδομένων καταγραφής. Με βάση την πρώτη (που υλοποιήθηκε ταυτόχρονα με την επιτόπου υποστήριξη των ανατινάξεων για την θεμελίωση – βάση της 2^{ης} καμινάδας), γινόταν εγκατάσταση του δικτύου πριν από κάθε ανατίναξη. Με την δεύτερη μέθοδο, 2 σταθμοί μέτρησης παρέμειναν μόνιμα εγκατεστημένοι (σε όλη τη διάρκεια ανατινάξεων για την εκσκαφή θεμελίωσης του νέου μηχανοστασίου) και η συλλογή καταγραφικών δεδομένων γινόταν από ΗΥ, μέσω modem.

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα έχουν ως εξής:

- Το εύρος τιμών ταχυτήτων εδαφικής δόνησης PPV, κυμάνθηκε από 0,635 mm/sec έως και 21,5 mm/sec.
- Το εύρος τιμών του συχνοτικού περιεχομένου των ταχυτήτων εδαφικής δόνησης, κυμάνθηκε από 22 Hz έως και 85 Hz, με επικρατούσα περιοχή 30 – 60 Hz.
- Το εύρος τιμών της αέριας δόνησης κυμάνθηκε από 116,3 dB(L) έως και 143,9 dB(L). Το εύρος τιμών σε ότι αφορά το συχνοτικό περιεχόμενο κυμάνθηκε από 2,7 Hz έως και 51 Hz. Πάνω από τα 20 Hz, γίνεται αναφορά στην ακουστική περιοχή (θόρυβος).

ε. Με βάση την αξιολόγηση των δεδομένων καταγραφής των δονησιογράφων, για την εδαφική δόνηση, και την επεξεργασία των αναλυτικών αναφορών, σε όλους τους σταθμούς μέτρησης δεν φάνηκε να υπάρχουν, ούτε να πιθανολογούνται δυσμενείς επιπτώσεις από τις ανατινάξεις που πραγματοποιήθηκαν. Οι δονήσεις που προκλήθηκαν κατά τη συγκεκριμένη περίοδο, ήταν στη θεωρούμενη "ασφαλή περιοχή" των προδιαγραφών DIN4150, για την κατηγορία κατασκευών L1 και L2.

Όσον αφορά στην αέρια δόνηση, από τα καταγραφικά δεδομένα των δονησιογράφων σε όλους τους σταθμούς μέτρησης, φάνηκε ότι κυμάνθηκε σε συνήθη για το χώρο επίπεδα. Οι τιμές που καταγράφηκαν, ήταν τέτοιες που δεν πιθανολογούνταν άμεσοι κίνδυνοι δυσμενών επιπτώσεων. Οι καταγραφές με υψηλές τιμές, αφορούσαν κυρίως κοντινούς σταθμούς (όπως AVS417, AVS418), ή κάποιες ανατινάξεις που αντιμετωπίστηκαν παράμετροι πρόκλησης αυξημένης αέριας δόνησης (όπως AVS417, AVS422). Αν και η σχετική οδηγία USBM – RI8485, συνιστά τα 131 dB(L) ως ασφαλές όριο, είναι διαπιστωμένο ότι ένα κακοτοποθετημένο τζάμι μπορεί να σπάσει πάνω από τα 150 dB(L). Στη διάρκεια του προγράμματος ελέγχων δεν διαπιστώθηκε το παραμικρό πρόβλημα – βλάβη εξ αιτίας της αέριας δόνησης.

φ. Για την σωστή και πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση των προκαλούμενων δονήσεων αλλά και την αξιοποίηση των δεδομένων καταγραφής στον σχεδιασμό των ανατινάξεων, ήταν απαραίτητος ο επανέλεγχος και η πιθανή

αναθεώρηση του μοντέλου “ανηγμένης απόστασης” (Scaled Distance) που χρησιμοποιήθηκε κατά την αρχική – προκαταρκτική προσέγγιση του θέματος (SD1).

Δημιουργήθηκαν 2 ακόμη μοντέλα SD και πραγματοποιήθηκε μια σύγκριση μεταξύ αυτών και του SD1. Τα νέα μοντέλα SD είναι:

- SD4: προερχόμενο από τις καταγραφές αποκλειστικά της 4^{ης} Φάσης
- SD14: το οποίο είναι το αναθεωρημένο SD1 με βάση τις καταγραφές της 4^{ης} Φάσης σειρά μοντέλων

Το πλέον αξιόπιστο και “ασφαλές” για την περιοχή μαθηματικό μοντέλο – διάγραμμα “ανηγμένης απόστασης” προκύπτει ότι είναι το SD14. Με βάση αυτό, υπολογίστηκαν για δεδομένες αποστάσεις από το χώρο των ανατινάξεων οι επιτρεπόμενες γόμωσεις (ποσότητα εκρηκτικών) ανά χρόνο επιβράδυνσης.

5.2 Προτάσεις

Όσα αναλύθηκαν στην Διπλωματική Εργασία, με βάση και τα αποτελέσματα που προέκυψαν, αποτελούν έναν υποδειγματικό τρόπο αποτελεσματικής διαχείρισης ανατινάξεων οι οποίες υλοποιούνται πολύ κοντά ή μέσα σε ευαίσθητες - “κρίσιμες” εγκαταστάσεις και δομές, όπως ήταν ο ΑΗΣ Αθρινόλακκου. Η συνολική αντιμετώπιση θα μπορούσε να γενικευθεί και να είναι υλοποιήσιμη και σε άλλες περιπτώσεις, όπου οι γειτονικές εγκαταστάσεις και δομές είναι περισσότερο ή λιγότερο ευαίσθητες, ευπαθείς, κρίσιμες ή απαιτητικές.

Η τεκμηριωμένη πρόληψη – αποφυγή των κινδύνων πρόκλησης δυσμενών επιπτώσεων και βλαβών, με ταυτόχρονη ικανοποίηση παραγωγικών παραμέτρων, αποτελούν μια ενδιαφέρουσα όσο και “προκλητική” άσκηση για τον Μηχανικό. Εργαλεία του στην αποτελεσματική και ασφαλή διαχείριση αποτελούν η τεχνολογία και τεχνογνωσία ελέγχου και σχεδιασμού ανατινάξεων, που πρέπει να προσαρμόζονται ή να συνδυάζονται αρμονικά με την εμπειρία και τα εκάστοτε πραγματικά - εργοταξιακά δεδομένα και συνθήκες.

Κεφάλαιο 6: Βιβλιογραφία - Αναφορές

Ελληνική

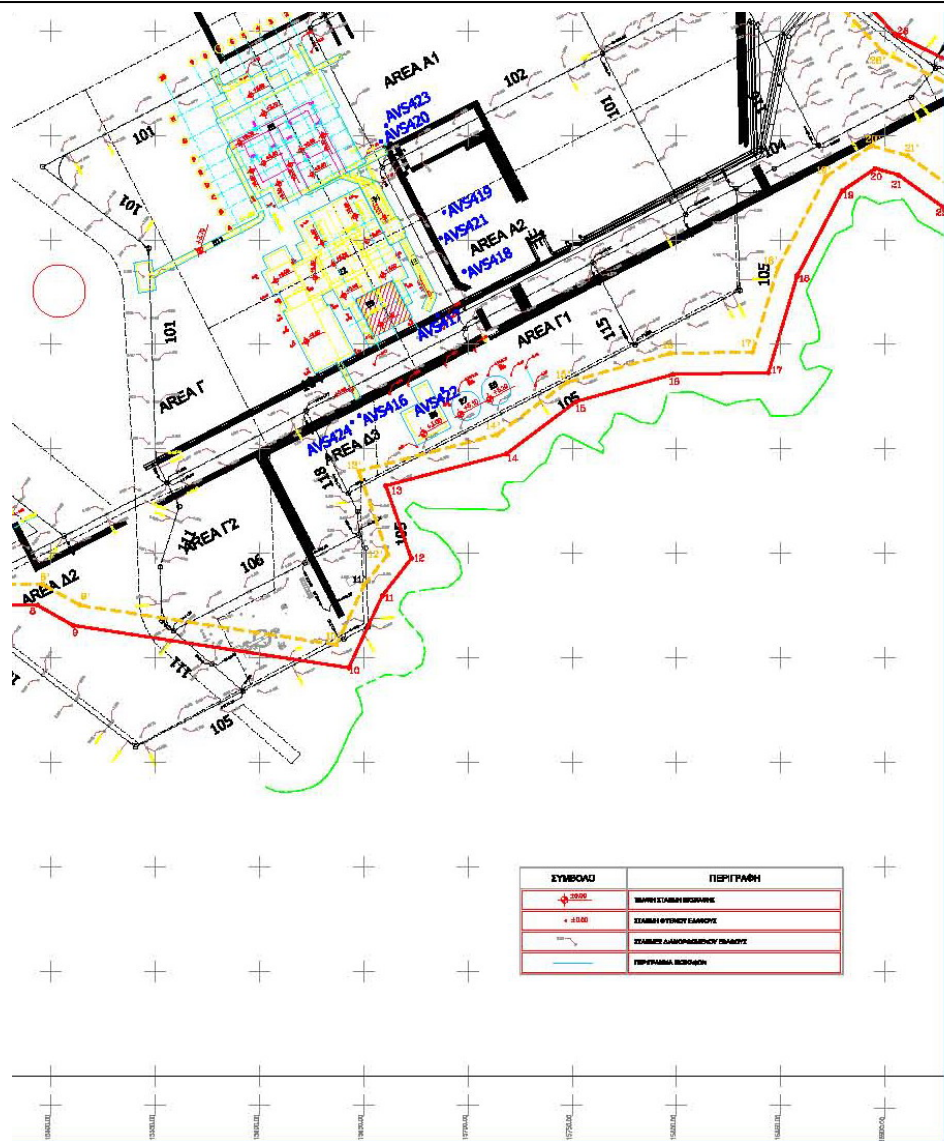
1. Αγιουτάντης. Ζ., (2002). Στοιχεία Γεωμηχανικής, Μηχανική Πετρωμάτων, Εκδόσεις "ΙΩΝ", Αθήνα.
2. Αγιουτάντης. Ζ., (2005). Στοιχεία Διάτρησης και Ανατίναξης, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης.
3. ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε. (2001). Σχεδιασμός – εφαρμογή ανατινάξεων Έργου ΑΗΣ Αθρινόλακκου Κρήτης (1^η Φάση). Τεύχος Α- 1.Α. Α δημοσίευτη μελέτη.
4. ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε. (2002). Σχεδιασμός και έλεγχος δονήσεων ανατινάξεων Έργου ΑΗΣ Αθρινόλακκου Κρήτης (2^η Φάση) Τεύχος τ-2.Α. Α δημοσίευτη μελέτη.
5. ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε. (2005-6). Σχεδιασμός και έλεγχος δονήσεων ανατινάξεων Έργου ΑΗΣ Αθρινόλακκου Κρήτης (4^η Φάση) Τεύχος τ-3.Α. Α δημοσίευτη μελέτη.
6. Μπαλκτσίης Η. & Συνεργάτες, ΕΤΕΚ Κύπρου – ΕΞΟΡΥΞΗ ΑΕ (2003) Ημερίδα «Τεχνολογία – Τεχνογνωσία Ανατινάξεων 2003», Λευκωσία, Κύπρος.
7. Μπαλκτσίης, Η. (2000). Εξορυκτική δραστηριότητα σε μεγάλα κατασκευαστικά – τεχνικά έργα. Ανατινάξεις και έλεγχος δονήσεων, 3^ο Συνέδριο Ορυκτού Πλούτου, Αθήνα.
8. Μπαλκτσίης, Η. (2005). Ελεγχόμενες ανατινάξεις στην κατασκευή Ολυμπιακών και μεγάλων οδικών αξόνων, 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Βόλος.
9. Μπαλκτσίης, Η., Κατσαμπάνης, Δ. (2000). Τεχνολογία και τεχνογνωσία εκρηκτικών - ανατινάξεων, 3^ο Συνέδριο Ορυκτού Πλούτου, Αθήνα.
10. Πατσιλίβας, Σ. (2005). Δονήσεις από ανατινάξεις για την διάνοιξη οδικής σήραγγας σε κατοικημένη περιοχή, ΕΜΠ – Διατμ. Μεταπτυχιακό Υπογείων Έργων (διατριβή), Αθήνα.
11. Πολυχρονόπουλος, Γ.Ι. (1979). Εκρηκτικές ύλες, τεχνική εξόρυξης των πετρωμάτων, καθαίρεση κατασκευών, Αθήνα.
12. Τσουτρέλης, Χ. (2001). Εκρηκτικές ύλες και τεχνική ανατινάξεων, Τόμος 2ος: Τεχνική Ανατινάξεων, Αθήνα.
13. ΕΞΟΡΥΞΗ Α.Ε. (2006) www.exorixi.gr

Διεθνής

14. Baliktsis, E. (2005). Olympic Blasting Panorama. A gold medal performance – preparing infrastructures for the 2004 Olympics in Athens (Hellas). 3rd EFFE World Conference on Explosives and Blasting. Brighton – England.
15. Baliktsis, E. (2006). Effective blasting to prepare infrastructures for the Athens 2004 Olympic Games (Hellas), IV Symposium in “Modern Techniques and Technologies in Mining”, Ohrid, Skopje.
16. Baliktsis, E. and Baliktsis, A. (2004). Flyrock risk prevention – from theory and ideas to a perfectly applied blasting project. 1st International Conference on Advances and Mineral Resources Management and Environmental Geotechnology – AMIREG 2004 in Hania, Crete, Hellas.
17. Baliktsis, E. and Baliktsis, A. (2006). Effective management and risk prevention while blasting inside high sensitivity areas - The case of the Atherinolakkos power plant extension project. 2nd International Conference on Advances and Mineral Resources Management and Environmental Geotechnology – AMIREG 2006 in Hania, Crete, Hellas.
18. Baliktsis, E. and Baliktsis, A. (2005). Aiming to the perfect blasting result - Reality or just a Utopia? Facts, parameters and thoughts based on two case histories from Egnatia Odos – Ring Road of Salonica section, in Northern Hellas. 5th International Conference on Modern management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection – SGEM05.Varna, Bulgaria.
19. Baliktsis, E., Baliktsis A., (2006). Blast vibration monitoring program for the project “Construction of the Skopje bypass motorway, IV Symposium in “Modern Techniques and Technologies in Mining”, Ohrid, Skopje.
20. Baliktsis, E., Fragoulis, M. (2002). Laser surveying systems combined with GIS applications. Modern tools in supporting and environmental management of mining – quarrying – extractive works. Hellenic experiences and case histories. 2nd International Conference on Modern management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection. Varna, Bulgaria.
21. Baliktsis, E., Kaliampakos, D. and Damigos, D. (2001). Blasting vibration limits to prevent human annoyance remarks from some case studies, Mineral Resources Engineering.
22. Dowding, C.H. (1985). Blast vibration monitoring and control. Charles H. Dowding, Northwestern University, Library of Congress cataloging in Publication Data, United States of America.
23. Instantel, (1995 – 1997). Minimate plus – Operator Manual. Instantel Inc., Canada.
24. Konya J. Calvin, (2003). Rock blasting and overbreak control, Second edition, Precision Blasting Services, USA.

25. Lopez Jimeno, C., Lopez Jimeno, E. and Javier Ayala, C. F. (1995). Drilling and blasting of rocks, A.A. Balkema, Rotterdam.
26. Nobel Explosives Co user's guide, 1998.
27. Siskind, D.E. (2000). Vibration from Blastings, International Society of Explosives Engineers, Cleveland.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: Οριζοντιογραφία – Τοπογραφικό διάγραμμα περιοχής
Χώρος πραγματοποίησης ανατινάξεων (βάση νέας καμινάδας) -
Απεικόνιση σταθμών μέτρησης δονήσεων
Αριθμός Σχεδίου: ΔΕ 01.00.Α



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

● AVS416

ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ - ΣΗΜΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΣΙΑΤΙΚΩΝ ΔΟΝΗΣΕΩΝ

ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΝΑΤΙΛΑΞΕΩΝ

BYO

ΑΗΣ ΑΓΕΡΙΝΟΛΑΙΚΟΥ

ΠΡΟΤΥΠΟ ΚΑΙ ΑΥΤΟ ΤΑΧΩΝ ΑΤΟΜΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΣΤΟΧΟΥ ΣΕΜΗΥ (ΣΚΑΤΗ) ΑΒΕΛΑ ΕΚΔΟΜΩΝ

PROYECT



FOSTER WHEELER IBERIA, S.A.
Energy Division
P.O. BOX 100000, AVILA, 35000
AVILA, SPAIN



Athina S.A.
General Contractors
100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000, 1001, 1002, 1003, 1004, 1005, 1006, 1007, 1008, 1009, 1010, 1011, 1012, 1013, 1014, 1015, 1016, 1017, 1018, 1019, 1020, 1021, 1022, 1023, 1024, 1025, 1026, 1027, 1028, 1029, 1030, 1031, 1032, 1033, 1034, 1035, 1036, 1037, 1038, 1039, 1040, 1041, 1042, 1043, 1044, 1045, 1046, 1047, 1048, 1049, 1050, 1051, 1052, 1053, 1054, 1055, 1056, 1057, 1058, 1059, 1060, 1061, 1062, 1063, 1064, 1065, 1066, 1067, 1068, 1069, 1070, 1071, 1072, 1073, 1074, 1075, 1076, 1077, 1078, 1079, 1080, 1081, 1082, 1083, 1084, 1085, 1086, 1087, 1088, 1089, 1090, 1091, 1092, 1093, 1094, 1095, 1096, 1097, 1098, 1099, 1100, 1101, 1102, 1103, 1104, 1105, 1106, 1107, 1108, 1109, 1110, 1111, 1112, 1113, 1114, 1115, 1116, 1117, 1118, 1119, 1120, 1121, 1122, 1123, 1124, 1125, 1126, 1127, 1128, 1129, 1130, 1131, 1132, 1133, 1134, 1135, 1136, 1137, 1138, 1139, 1140, 1141, 1142, 1143, 1144, 1145, 1146, 1147, 1148, 1149, 1150, 1151, 1152, 1153, 1154, 1155, 1156, 1157, 1158, 1159, 1160, 1161, 1162, 1163, 1164, 1165, 1166, 1167, 1168, 1169, 1170, 1171, 1172, 1173, 1174, 1175, 1176, 1177, 1178, 1179, 1180, 1181, 1182, 1183, 1184, 1185, 1186, 1187, 1188, 1189, 1190, 1191, 1192, 1193, 1194, 1195, 1196, 1197, 1198, 1199, 1200, 1201, 1202, 1203, 1204, 1205, 1206, 1207, 1208, 1209, 1210, 1211, 1212, 1213, 1214, 1215, 1216, 1217, 1218, 1219, 1220, 1221, 1222, 1223, 1224, 1225, 1226, 1227, 1228, 1229, 1230, 1231, 1232, 1233, 1234, 1235, 1236, 1237, 1238, 1239, 1240, 1241, 1242, 1243, 1244, 1245, 1246, 1247, 1248, 1249, 1250, 1251, 1252, 1253, 1254, 1255, 1256, 1257, 1258, 1259, 1260, 1261, 1262, 1263, 1264, 1265, 1266, 1267, 1268, 1269, 1270, 1271, 1272, 1273, 1274, 1275, 1276, 1277, 1278, 1279, 1280, 1281, 1282, 1283, 1284, 1285, 1286, 1287, 1288, 1289, 1290, 1291, 1292, 1293, 1294, 1295, 1296, 1297, 1298, 1299, 1300, 1301, 1302, 1303, 1304, 1305, 1306, 1307, 1308, 1309, 1310, 1311, 1312, 1313, 1314, 1315, 1316, 1317, 1318, 1319, 1320, 1321, 1322, 1323, 1324, 1325, 1326, 1327, 1328, 1329, 1330, 1331, 1332, 1333, 1334, 1335, 1336, 1337, 1338, 1339, 1340, 1341, 1342, 1343, 1344, 1345, 1346, 1347, 1348, 1349, 1350, 1351, 1352, 1353, 1354, 1355, 1356, 1357, 1358, 1359, 1360, 1361, 1362, 1363, 1364, 1365, 1366, 1367, 1368, 1369, 1370, 1371, 1372, 1373, 1374, 1375, 1376, 1377, 1378, 1379, 1380, 1381, 1382, 1383, 1384, 1385, 1386, 1387, 1388, 1389, 1390, 1391, 1392, 1393, 1394, 1395, 1396, 1397, 1398, 1399, 1400, 1401, 1402, 1403, 1404, 1405, 1406, 1407, 1408, 1409, 1410, 1411, 1412, 1413, 1414, 1415, 1416, 1417, 1418, 1419, 1420, 1421, 1422, 1423, 1424, 1425, 1426, 1427, 1428, 1429, 1430, 1431, 1432, 1433, 1434, 1435, 1436, 1437, 1438, 1439, 1440, 1441, 1442, 1443, 1444, 1445, 1446, 1447, 1448, 1449, 1450, 1451, 1452, 1453, 1454, 1455, 1456, 1457, 1458, 1459, 1460, 1461, 1462, 1463, 1464, 1465, 1466, 1467, 1468, 1469, 1470, 1471, 1472, 1473, 1474, 1475, 1476, 1477, 1478, 1479, 1480, 1481, 1482, 1483, 1484, 1485, 1486, 1487, 1488, 1489, 1490, 1491, 1492, 1493, 1494, 1495, 1496, 1497, 1498, 1499, 1500, 1501, 1502, 1503, 1504, 1505, 1506, 1507, 1508, 1509, 1510, 1511, 1512, 1513, 1514, 1515, 1516, 1517, 1518, 1519, 1520, 1521, 1522, 1523, 1524, 1525, 1526, 1527, 1528, 1529, 1530, 1531, 1532, 1533, 1534, 1535, 1536, 1537, 1538, 1539, 1540, 1541, 1542, 1543, 1544, 1545, 1546, 1547, 1548, 1549, 1550, 1551, 1552, 1553, 1554, 1555, 1556, 1557, 1558, 1559, 1560, 1561, 1562, 1563, 1564, 1565, 1566, 1567, 1568, 1569, 1570, 1571, 1572, 1573, 1574, 1575, 1576, 1577, 1578, 1579, 1580, 1581, 1582, 1583, 1584, 1585, 1586, 1587, 1588, 1589, 1590, 1591, 1592, 1593, 1594, 1595, 1596, 1597, 1598, 1599, 1600, 1601, 1602, 1603, 1604, 1605, 1606, 1607, 1608, 1609, 1610, 1611, 1612, 1613, 1614, 1615, 1616, 1617, 1618, 1619, 1620, 1621, 1622, 1623, 1624, 1625, 1626, 1627, 1628, 1629, 1630, 1631, 1632, 1633, 1634, 1635, 1636, 1637, 1638, 1639, 1640, 1641, 1642, 1643, 1644, 1645, 1646, 1647, 1648, 1649, 1650, 1651, 1652, 1653, 1654, 1655, 1656, 1657, 1658, 1659, 1660, 1661, 1662, 1663, 1664, 1665, 1666, 1667, 1668, 1669, 1670, 1671, 1672, 1673, 1674, 1675, 1676, 1677, 1678, 1679, 1680, 1681, 1682, 1683, 1684, 1685, 1686, 1687, 1688, 1689, 1690, 1691, 1692, 1693, 1694, 1695, 1696, 1697, 1698, 1699, 1700, 1701, 1702, 1703, 1704, 1705, 1706, 1707, 1708, 1709, 1710, 1711, 1712, 1713, 1714, 1715, 1716, 1717, 1718, 1719, 1720, 1721, 1722, 1723, 1724, 1725, 1726, 1727, 1728, 1729, 1730, 1731, 1732, 1733, 1734, 1735, 1736, 1737, 1738, 1739, 1740, 1741, 1742, 1743, 1744, 1745, 1746, 1747, 1748, 1749, 1750, 1751, 1752, 1753, 1754, 1755, 1756, 1757, 1758, 1759, 1760, 1761, 1762, 1763, 1764, 1765, 1766, 1767, 1768, 1769, 1770, 1771, 1772, 1773, 1774, 1775, 1776, 1777, 1778, 1779, 1780, 1781, 1782, 1783, 1784, 1785, 1786, 1787, 1788, 1789, 1790, 1791, 1792, 1793, 1794, 1795, 1796, 1797, 1798, 1799, 1800, 1801, 1802, 1803, 1804, 1805, 1806, 1807, 1808, 1809, 1810, 1811, 1812, 1813, 1814, 1815, 1816, 1817, 1818, 1819, 1820, 1821, 1822, 1823, 1824, 1825, 1826, 1827, 1828, 1829, 1830, 1831, 1832, 1833, 1834, 1835, 1836, 1837, 1838, 1839, 1840, 1841, 1842, 1843, 1844, 1845, 1846, 1847, 1848, 1849, 1850, 1851, 1852, 1853, 1854, 1855, 1856, 1857, 1858, 1859, 1860, 1861, 1862, 1863, 1864, 1865, 1866, 1867, 1868, 1869, 1870, 1871, 1872, 1873, 1874, 1875, 1876, 1877, 1878, 1879, 1880, 1881, 1882, 1883, 1884, 1885, 1886, 1887, 1888, 1889, 1890, 1891, 1892, 1893, 1894, 1895, 1896, 1897, 1898, 1899, 1900, 1901, 1902, 1903, 1904, 1905, 1906, 1907, 1908, 1909, 1910, 1911, 1912, 1913, 1914, 1915, 1916, 1917, 1918, 1919, 1920, 1921, 1922, 1923, 1924, 1925, 1926, 1927, 1928, 1929, 1930, 1931, 1932, 1933, 1934, 1935, 1936, 1937, 1938, 1939, 1940, 1941, 1942, 1943, 1944, 1945, 1946, 1947, 1948, 1949, 1950, 1951, 1952, 1953, 1954, 1955, 1956, 1957, 1958, 1959, 1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1965, 1966, 1967, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 20

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ – ΚΛΕΟΒΟΥΛΟΣ Η. ΜΠΑΛΙΚΤΣΗΣ**

Χανιά, 9/2006

