

Αξιολόγηση του θρυμματισμού μιας ανατίναξης μέσω πλήρως καθορισμένων μικρών χρόνων καθυστέρησης έναυσης

Η χρήση ηλεκτρονικών πυροκροτητών παρέχει πολύ μεγάλο εύρος και ακρίβεια στο χρόνο καθυστέρησης, με αποτέλεσμα την ολοένα αυξανόμενη εφαρμογή τους σε επιφανειακές ανατινάξεις σε όλο τον κόσμο. Σε άρθρο που παρουσιάστηκε στο συνέδριο της EFEE στη Βιέννη το 2007 από τον A.J. Rotke της Omnia Group, από την Νότιο Αφρική, μελετήθηκαν οι δυνατότητες για σημαντική βελτίωση στο θρυμματισμό του, προς εξόρυξη, πετρώματος, με την εφαρμογή μικρών χρόνων καθυστέρησης, μεταξύ 2 και 7 ms, με χρήση ηλεκτρονικών πυροκροτητών, συγκριτικά με τις συμβατικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται με τα μη-ηλεκτρικά συστήματα έναυσης (σύνδεσμοι NONEL 17 έως 100 ms) .

Σε αυτό το άρθρο παρουσιάστηκαν στοιχεία από μια σειρά ανατινάξεων σε τρεις διαφορετικές περιοχές στη Νότια Αφρική, με πολύ μικρές χρονοκαθυστερήσεις μεταξύ των διατρημάτων. Η μελέτη αφορά ασβεστολιθικά πετρώματα με διαφορετικές τιμές αντοχής και ελαστικότητας.

Υπάρχει μια γενική απροθυμία για την χρησιμοποίηση πολύ μικρών χρόνων καθυστερήσεων στα διατρήματα. Θεωρείται ότι είναι πολύ πιθανό η ανατίναξη να μην λειτουργήσει ικανοποιητικά και με βάση το σχεδιασμό. Αυτό θα προκαλέσει προβλήματα στην μετέπειτα λειτουργία ενός λατομείου τόσο ως προς τις εργασίες φόρτωσης αλλά και προς την συνέχιση των εργασιών διάτρησης και ανατίναξης. Ακόμα ένας βασικός παράγοντας που αποτρέπει την χρήση των μικρών χρονοκαθυστερήσεων είναι τα επίπεδα των παραγόμενων δονήσεων. Αυτοί οι λόγοι έχουν οδηγήσει τις περισσότερες δοκιμές χρήσης ηλεκτρονικών πυροκροτητών να σχεδιαστούν έτσι ώστε οι ηλεκτρονικοί πυροκροτητές να προγραμματισθούν με καθυστερήσεις που είναι παρόμοιες με τις συμβατικές χρονοκαθυστερήσεις των μη-ηλεκτρονικών πυροκροτητών με τις οποίες είναι εξοικειωμένοι οι χρήστες. Το αποτέλεσμα είναι να παρατηρούνται οριακές διαφορές, υποδηλώνοντας όμως τι μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή ακριβούς διαδοχικής πυροδότησης.

Τα πιθανά οφέλη με τη χρήση πολύ μικρών καθυστερήσεων παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Λατομείο σκληρού πετρώματος

Στην πρώτη περίπτωση σε ένα λατομείο με σκληρό ασβεστολιθικό πέτρωμα (αμφιβολίτης) εξετάστηκαν οι προσπάθειες επίτευξης ικανοποιητικού βαθμού θρυμματισμού.

Το πέτρωμα ήταν κατακερματισμένο με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μεγάλοι όγκοι κατά μήκος των επιφανειών ασυνέχειας.

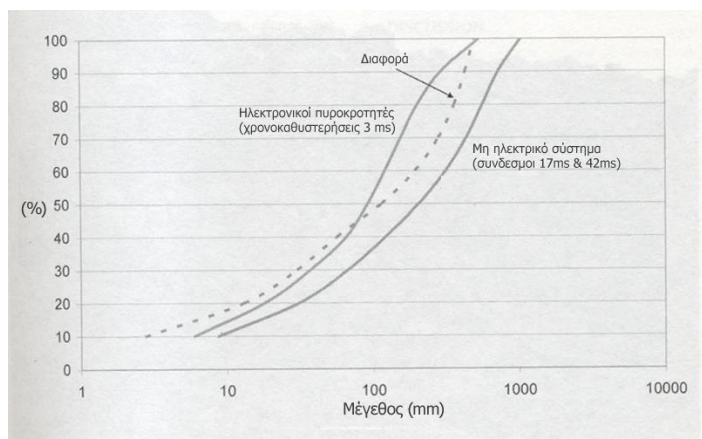


Εικόνα 1 Λατομείο σκληρού πετρώματος με έντονο κατακερματισμό.

Ο συμβατικός τρόπος για τον σχεδιασμό των ανατινάξεων ήταν η χρήση συνδέσμων μη ηλεκτρικών πυροκροτητών με χρόνο καθυστέρησης 42ms και 17ms για την σύνδεση των διατρημάτων, και 350 ms χρόνο καθυστέρησης εντός των διατρημάτων. Πραγματοποιήθηκαν ανατινάξεις, όπου χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτρονικοί πυροκροτητές με χρονοκαθυστέρηση μεταξύ 2 και 3 ms, μεταξύ των διατρημάτων, και 5 και 7 ms μεταξύ των σειρών των διατρημάτων.

Οι αρχικές ανατινάξεις με τη χρήση ηλεκτρονικών πυροκροτητών παρουσίασαν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα στην θραύση του πετρώματος, όμως ήταν αρκετά δύσκολο να ελεγχθούν οι φθορές στο πίσω μέρος της βαθμίδας. Σχεδιάστηκαν κάποιες τροποποιήσεις και οι μεταξύ των σειρών καθυστερήσεις αυξήθηκαν έως και 50ms, ενώ οι μεταξύ των διατρημάτων καθυστερήσεις παρέμειναν στα 3 ms.

Πραγματοποιήθηκαν 15 ανατινάξεις με τη χρήση μικρών χρονοκαθυστερήσεων. Η ανάλυση της θραύσης του πετρώματος μετά την κάθε ανατίναξη έγινε με την χρήση ειδικού λογισμικού. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων σε σχέση με δύο ανατινάξεις όπου χρησιμοποιήθηκαν μη ηλεκτρικοί πυροκροτητές, παρουσιάζονται στην εικόνα 2.



Εικόνα 2 Σύγκριση αποτελεσμάτων των ανατινάξεων.

Είναι αισθητή η διαφορά που προκύπτει από την χρήση ηλεκτρονικών πυροκροτητών. Με βάση τα στοιχεία από το λατομείο, ο καλύτερος θρυμματισμός έχει οδηγήσει σε σταθερή βελτίωση του ρυθμού απόδοσης του συγκροτήματος θραύσης σε ένα ποσοστό της τάξης του 10% μετά την εισαγωγή της χρήσης μικρών χρονοκαθυστερήσεων με ηλεκτρονικούς πυροκροτητές.



Εικόνα 3 Αποτελέσματα ανατίναξης με χρήση ηλεκτρονικών πυροκροτητών

Ορυχείο χρυσού

Η επόμενη περίπτωση ήταν ένα ορυχείου χρυσού, στο οποίο απαιτείται καλύτερος θρυμματισμός στο δάπεδο της βαθμίδας ώστε να βελτιωθεί ο ρυθμός φόρτωσης. Το πέτρωμα ήταν αρκετά κατακερματισμένος μαρμαρυγιακός ψαμμίτης, με τις ρωγμές να έχουν την ίδια διεύθυνση με το φορτίο. Η υψηλή περιεκτικότητα σε μαρμαρυγία, ο τεκτονισμός και η διεύθυνση του σχηματισμού δυσκολεύουν την ανατίναξη.



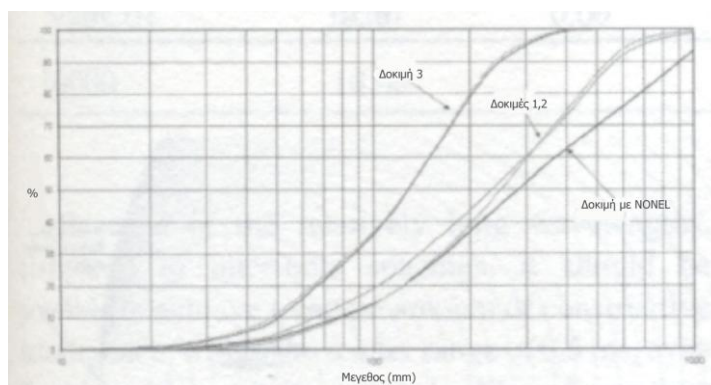
Εικόνα 4 Το πέτρωμα από το ορυχείου χρυσού

Οι δοκιμές διεξήχθησαν ώστε οι μικρές χρονοκαθυστερήσεις των ηλεκτρονικών πυροκροτητών να βοηθήσουν στη βελτίωση του θρυμματισμού του πετρώματος και της εικόνας του δαπέδου της βαθμίδας μετά από την ανατίναξη, χωρίς να χρειαστεί να αυξηθεί η ποσότητα των εκρηκτικών που χρησιμοποιούνται.

Πραγματοποιήθηκαν τρεις ανατινάξεις με χρήση ηλεκτρονικών πυροκροτητών. Στις δυο πρώτες οι χρονοκαθυστερήσεις μεταξύ των διατρημάτων ορίστηκαν στα 4 ms, αρκετά μειωμένα σε σχέση με τα 17 ms που ήταν ο χρόνος καθυστέρησης του μη-

ηλεκτρικού συνδέσμου που χρησιμοποιούνταν συνήθως. Στην τρίτη δοκιμή αυτός ο χρόνος μειώθηκε ακόμα περισσότερο, στα 2 ms. Οι χρόνοι καθυστερήσεις μεταξύ των σειρών των διατρημάτων καθορίστηκαν στα 34 ms στις τελευταίες σειρές υπήρξε μια μικρή αύξηση αυτού του χρόνου για τη μείωση των ζημιών που προκαλούνται από την ανατίναξη στο πίσω μέρος της βαθμίδας.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων για την θραύση του πετρώματος δείχνει βελτίωση με τη χρήση ηλεκτρονικών πυροκροτητών, αλλά δεν ήταν τόσο σημαντική όσο στην πρώτη περίπτωση του λατομείου με το πολύ σκληρό ασβεστολιθικό πέτρωμα. Τα αποτελέσματα από ανατινάξεων απεικονίζεται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5 Αποτελέσματα ανατινάξεων στο ορυχείο χρυσού.

Ορυχείο ουρανίου

Στην τελευταία περίπτωση εξετάστηκε το πέτρωμα ενός ορυχείου ουρανίου όπου συναντώνται ιζηματογενή ασβεστολιθικά πετρώματα σε μορφή οριζόντιων στρωμάτων με διαφοροποιήσεις στην αντοχή. Οι στρώσεις του πετρώματος δημιουργούν δυναμικά φορτία με αποτέλεσμα την χονδρομερή θραύση του πετρώματος κατά την ανατίναξη, ειδικά στα σημεία της επιγόμεσης δημιουργούνται αρκετά μεγάλα τεμάχια. Οι οριζόντιες στρώσεις ενεργούν ως οδοί εκτόνωσης των αερίων της ανατίναξης, οπότε τα αποτελέσματα δεν είναι τα αναμενόμενα, επηρεάζοντας σημαντικά την θραύση του πετρώματος.



Εικόνα 6 Τυπική ανατίναξη στο ορυχείο ουρανίου

Σε τέτοιες περιπτώσεις μια κοινά αποδεκτή λύση είναι η χρησιμοποίηση πολύ μικρών χρόνων καθυστέρησης μέσα στα διατρήματα αλλά και μεταξύ των διατρημάτων ώστε να αποφευχθεί η διαφυγή των αερίων της ανατίναξης. Πραγματοποιήθηκαν ανατινάξεις με χρήση ηλεκτρονικών πυροκροτητών με χρονοκαθυστέρηση που αντιστοιχούσε στα 3 ms/m και ακολουθώντας σχέδιο ανατίναξης με διάταξη σχήματος V. Τα αποτελέσματα δεν ήταν τα αναμενόμενα. Οι ανατινάξεις συνεχίστηκαν δοκιμάζοντας πολλούς διαφορετικούς χρόνους καθυστέρησης. Τα αποτελέσματα έδειξαν να υπάρχει μικρή διαφορά στον θρυμματισμό του πετρώματος, ανεξαρτήτως των χρόνων καθυστέρησης που χρησιμοποιήθηκαν. Σε αυτό το είδος πετρώματος, οι αλλαγές που μπορούν να γίνουν στο μήκος της επιγόμεσης καθώς και στο σχέδιο της ανατίναξης για την κατανομή των διατρημάτων φαίνεται να έχουν πιο σημαντική επίδραση στα αποτελέσματα της ανατίναξης.

Συμπεράσματα

Για να μπορέσει να γίνει σύγκριση, σε κάθε μία από τις τρεις περιπτώσεις που μελετήθηκαν παραπάνω τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν κυρίως την θραύση του πετρώματος, δηλαδή τα εκρηκτικά, το σχέδιο διάτρησης, η εκλυόμενη ενέργεια και το μήκος της επιγόμεσης, παρέμειναν τα ίδια. Ωστόσο, παρατηρήθηκαν διαφορές στην με την εφαρμογή των μικρών χρονοκαθυστερήσεων με τη χρήση ηλεκτρονικών πυροκροτητών. Στο σκληρότερο και πιο ψαθυρό πέτρωμα υπήρξε μια αισθητή μείωση στο μέγεθος των τεμαχίων και μια αύξηση στην ομοιομορφία του εξορυγμένου πετρώματος. Στα πιο μαλακά και χαλαρά πετρώματα, τα οποία παρουσιάζουν δυσκολίες στην εξόρυξη τους, υπήρξαν πολύ μικρές αλλαγές στο τελικό αποτέλεσμα της ανατίναξης από την χρήση ηλεκτρονικών πυροκροτητών.

Με την χρήση μικρών χρονοκαθυστερήσεων δημιουργείται παρεμβολή μεταξύ των μετώπων των εκρηκτικών κυμάτων έτσι ώστε να επιτευχθεί αύξηση του πλάτους κύματος και συνεπώς μεγαλύτερες επιπτώσεις από την δημιουργία μικρορωγμών στο πέτρωμα. Παρατηρούνται λοιπόν τα εξής φαινόμενα:

- Σύγκλιση θλιπτικών κυμάτων. Με την πυροδότηση των εκρηκτικών υλών μέσα στο διάτρημα δημιουργούνται κύματα που προχωρούν ταυτόχρονα μέσα στο πέτρωμα, στις ζώνες σύγκλισης όπου και συναντώνται, το μήκος κύματος τους αυξάνεται.
- Συσσώρευση κυμάτων και αύξηση του πλάτους κύματος. Τα διατρήματα που εναύονται ταυτόχρονα κατά μήκος μιας σειράς μπορεί να προγραμματιστούν έτσι ώστε τα παραγόμενα εκρηκτικά κύματα κάθε διατρήματος να συντονίζονται στην ίδια φάση με το κύμα που διέρχεται από το προηγούμενο διάτρημα.

Ουσιαστικά, η συσσώρευση των κυμάτων είναι η οριακή περίπτωση της σύγκλισης των θλιπτικών κυμάτων.

Μια προοδευτική αύξηση του πλάτους κύματος κατά μήκος μιας σειράς διατρημάτων απαιτεί χρονοκαθυστερήσεις που καθορίζονται από την ταχύτητα διαδόσεως κύματος εντός του πετρώματος και την απόσταση μεταξύ των διατρημάτων.

Χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα μια ανατίναξη με τυπική ταχύτητα κύματος 6000 m/s και απόσταση μεταξύ των διατρημάτων στα 3 m, για να υπάρξει συντονισμός των κυμάτων, η μεταξύ των διατρημάτων καθυστέρηση θα πρέπει να είναι 0,5 ms. Αυτό το αποτέλεσμα βέβαια επηρεάζεται ανάλογα με την συχνότητα των κυμάτων.

Λόγω των σχετικά μεγάλων μήκων κύματος, σε σύγκριση με την απόσταση των διατρημάτων, θα πρέπει να είναι δυνατό να επιτευχθεί ένας χρόνος καθυστέρησης της τάξης των 0,5 ms, παρόλο που μπορεί να μην είναι η βέλτιστη σε όλες τις περιπτώσεις.

Το σημαντικό σημείο σε μια τέτοια μελέτη είναι η ακρίβεια που απαιτείται για την επίτευξη των αναγκαίων χρονοκαθυστερήσεων για τη βέλτιστη παρέμβαση. Η χρονοκαθυστερήση αυτή βέβαια μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να είναι κλάσμα του χιλιοστού του δευτερολέπτου. Αυτό δεν είναι δυνατό με τη χρήση των ηλεκτρονικών πυροκροτητών που είναι διαθέσιμοι. Οι περισσότεροι ηλεκτρονικοί πυροκροτητές έχουν ακρίβεια χρόνου έναυσης 1 ms.

Παρόλο που η ακρίβεια στους χρόνους έναυσης με ηλεκτρονικούς πυροκροτητές, σε σχέση με τα μη ηλεκτρικά συστήματα πυροδότησης είναι κατά πολλή βελτιωμένη, εξακολουθεί να υπάρχει ανάγκη να βελτιωθεί η ακρίβεια κατά μία τάξη μεγέθους.

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα από τις ανατινάξεις που πραγματοποιήθηκαν έδειξαν ότι η χρήση μικρών χρονοκαθυστερήσεων έχουν ορατά και σημαντικά αποτελέσματα στην μείωση του μεγέθους του εξορυζόμενου πετρώματος και στην θραυστικότητα του σε σκληρά πετρώματα, ενώ αυτά τα πλεονεκτήματα μειώνονται κατά πολύ σε πιο χαλαρούς σχηματισμούς.

Ωστόσο αυτά τα ιδιαίτερα ενθαρρυντικά αποτελέσματα, έστω και σε ορισμένες περιπτώσεις, υποδηλώνουν την ανάγκη να επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια στους ηλεκτρονικούς πυροκροτητές. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορέσει να υπάρξει πλήρης έλεγχος στην ανατίναξη ώστε να μεγιστοποιηθεί η αλληλεπίδραση των εκρηκτικών κυμάτων με αποτέλεσμα την βελτιστοποίηση της θραύσης στο τελικό αποτέλεσμα από την ανατίναξη.