

## Αντιμετώπιση προβλημάτων στη διάτρηση και στις ανατινάξεις

### Η περίπτωση του λατομείου Helwan στην Αίγυπτο

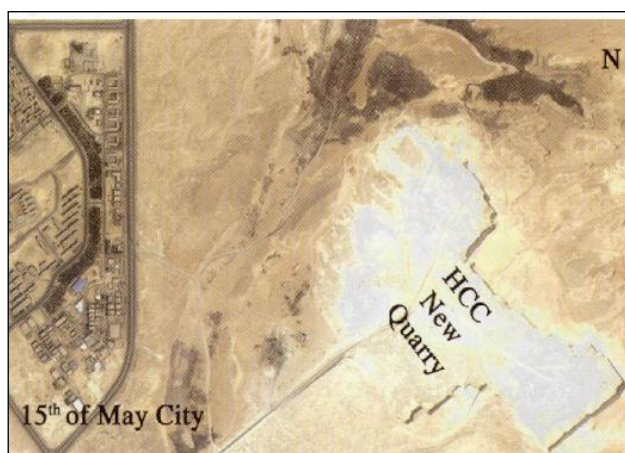
Το λατομείο Helwan βρίσκεται 35 χιλιόμετρα νότια του Καΐρου. Η εκμετάλλευση του γίνεται από την εταιρία Helwan Cement Company (HCC) με σκοπό την εξυπηρέτηση των αναγκών εργοστασίου παραγωγής τσιμέντου, που είναι από τα μεγαλύτερα στη χώρα.

Η ποσότητα ασβεστόλιθου που απαιτείται για την ομαλή λειτουργία του εργοστασίου είναι της τάξεως των 5,5 εκατομμυρίων τόνων το χρόνο !!

Στη δεκαετία του '80 ένας νέος οικισμός (15<sup>th</sup> of May City) δημιουργήθηκε δίπλα στο λατομείο της HCC, το οποίο λειτουργεί από το 1929.

Οι εργασίες εξόρυξης άρχισαν να αποτελούν πρόβλημα καθώς η περιφερειακή οδός της νέας πόλης περνάει κοντά στο μέτωπο του λατομείου.

Η διερεύνηση του προβλήματος έδειξε ότι δεν υπήρχε καμία πιθανότητα ασφαλούς επέκτασης του λατομείου προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, που δεν θα ενοχλούσε τη νέα πόλη.



**Άποψη του λατομείου και του οικισμού**

Κατά συνέπεια οι αρχές επέβαλαν στην HCC να ερευνήσει σε γειτονική περιοχή ώστε να ανοίξει ένα νέο λατομείο, για να αποφύγει τα προβλήματα οχλήσεων στον οικισμό.

Οι γεωλογικές έρευνες εντόπισαν ασβεστολιθικούς σχηματισμούς σε περιοχή περίπου 5 χιλιόμετρα βόρειο-ανατολικά του παλαιού λατομικού χώρου.

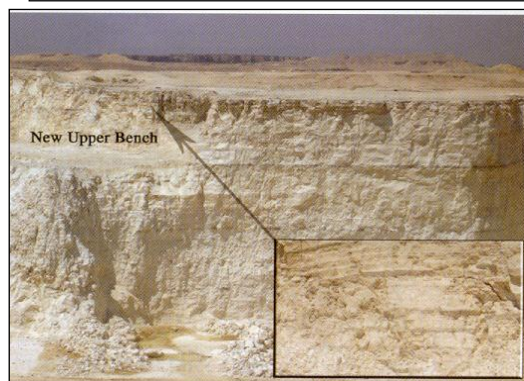
Το πέτρωμα στη νέα λατομική περιοχή είναι έντονα ρηγματωμένο, μια και πρόκειται για λεπτοστρωματώδη ασβεστόλιθο έντονα τεκτονισμένο.

Λόγω της γεωλογικής πολυπλοκότητας οι εργασίες διάτρησης καθώς και γόμωσης των διατρημάτων, γίνονται υπό τις δυσκολότερες συνθήκες.

Επιπλέον, η επέκταση του οικισμού προς το νέο λατομικό χώρο καθιστά ιδιαίτερως σημαντικό τον έλεγχο των δονήσεων που προκαλούνται από τις ανατινάξεις για την αποφυγή προβλημάτων.

Τα προβλήματα αυτά συνοψίζονται ως εξής :

- Λόγω του πυκνού δικτύου ρωγμών & διακλάσεων η ταχύτητα διάτρησης είναι μικρή. Επίσης είναι πολύ συχνό το φαινόμενο του «φρακαρίσματος» της διατρητικής στήλης με αποτέλεσμα το 19 % των διατρημάτων να εγκαταλείπονται και να ορύσσονται ξανά !! Αυτό ισούται με 350 χαμένες ώρες διάτρησης το χρόνο !!
- Η γόμωση των εκρηκτικών υλών είναι πολύ δύσκολη, δεδομένου ότι τα διατρήματα «μπαζώνουν» λόγω ολίσθησης μικρών τεμαχίων πετρώματος.
- Σε αρκετές περιπτώσεις υπήρξε διαρροή σημαντικής ποσότητας ANFO (εκρηκτική ύλη κύριας γόμωσης) στα κενά που υπήρχαν στη ζώνη ρηγμάτωσης. Έτσι σε κάποιες ανατινάξεις υπήρξαν ανεξέλεκτα φαινόμενα εκτίναξης τεμαχίων πετρώματος, αλλά και σημαντικός θόρυβος.
- Λόγω της ύπαρξης πυκνού δικτύου ρωγμών, κατά την ανατίναξη διαφεύγει σημαντική ποσότητα αερίων της έκρηξης, με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνεται καλός θρυμματισμός του πετρώματος.



***Εικόνες από τις βαθμίδες του λατομείου με έντονη την εμφάνιση ρωγμών & διακλάσεων***

- Η γειτονική πόλη παρουσιάζει μια μεγάλη αύξηση του πληθυσμού, και τα κοντινότερα κτίρια της πόλης βρίσκονται ήδη σε απόσταση 600 μ από το νέο λατομείο.

Λόγω της γεωλογικής ιδιομορφίας αλλά και ατυχούς σχεδιασμού, οι ανατινάξεις προκάλεσαν σημαντικές δονήσεις (υψηλές τιμές PPV) στα παρακείμενα σπίτια, με αποτέλεσμα οι ιδιοκτήτες τους να εκφράσουν έντονα την ανησυχία τους.

Γι' αυτό λοιπόν οι αρμόδιες αρχές επέβαλαν αυστηρούς περιορισμούς, επιτρέποντας να γίνονται ανατινάξεις μόνο μια φορά την εβδομάδα αντί για 4 ή 5 φορές.

Τούτο είχε σαν συνέπεια να πραγματοποιούνται ανατινάξεις της τάξεως των 20 τόνων εκρηκτικών υλών, με αποτέλεσμα να γίνουν εντονότερα τα παράπονα των περιοίκων για δονήσεις και θόρυβο.

Όλα τα παραπάνω επέβαλαν την εφαρμογή μιας σειράς συστηματικών διαδικασιών, έπειτα από εκπόνηση τεχνικής μελέτης, ώστε να :

- ♦ ελαχιστοποιηθούν οι οχλήσεις των περιοίκων
- ♦ βελτιωθεί το επίπεδο ασφάλειας των ανατινάξεων
- ♦ ξεπεραστούν τα καθημερινά προβλήματα στην παραγωγή και τελικά να βελτιωθεί το αποτέλεσμα της εκμετάλλευσης.

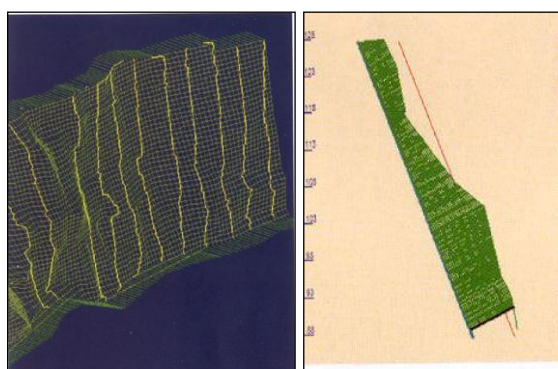
Η τεχνική μελέτη για το λατομείο προήλθε έπειτα από πληθώρα δοκιμών & μετρήσεων καθώς και λεπτομερή γεωλογική μελέτη της περιοχής, προκειμένου να ανιχνευθούν η θέση, η κατεύθυνση και η ανύψωση των ρηγμάτων.

Η αντιμετώπιση του προβλήματος ξεκίνησε με **προσεκτική και ελεγχόμενη διάτρηση**. Προς τούτο άρχισαν συστηματικές μετρήσεις και καταγραφή των παραμέτρων της διάτρησης, δηλαδή θέση, βάθος, απόκλιση και πραγματικό φορτίο κάθε διατρήματος.

Εγκαταστάθηκε λοιπόν ένας «σαρωτής λέιζερ» απέναντι από τις βαθμίδες, οπότε απεικονίστηκε το πραγματικό τους «σχήμα». Έτσι υπολογίστηκε ο πραγματικός όγκος πετρώματος μπροστά από το κάθε διάτρημα, δηλαδή το πραγματικό φορτίο.

Επίσης μετρήθηκαν με ηλεκτρονικά όργανα το βάθος και οι αποκλίσεις των διατρημάτων.

Με επεξεργασία όλων των παραπάνω δεδομένων από κατάλληλο λογισμικό, δημιουργήθηκε τρισδιάστατη εικόνα της «πραγματικής βαθμίδας» και της «πραγματικής θέσης» των διατρημάτων σε αυτήν. Από την εικόνα των βαθμίδων προέκυψε αμέσως ποια διατρήματα είχαν μεγάλο ή πολύ μικρό φορτίο, δηλαδή **τα πιθανά σημεία αποτυχίας κατά την ανατίναξη**.



**Τρισδιάστατο μοντέλο αναπαράστασης των διατρημάτων**

Η συστηματική καταγραφή έδειξε επίσης μεγάλες αποκλίσεις των διατρημάτων, που οφείλονται κυρίως στον εξοπλισμό διάτρησης (διατρητικό μηχάνημα και στήλη), καθώς και μικρή ταχύτητα διάτρησης.

Για να αντιμετωπισθούν λοιπόν τα προβλήματα αποφασίστηκε άμεση αντικατάσταση των πνευματικών διατρητικών μηχανημάτων με νέας γενιάς υδραυλικά, ενώ μειώθηκε και το ύψος των βαθμίδων στα 20 μέτρα.

Αμέσως αυξήθηκε η ταχύτητα διάτρησης με συνακόλουθη μείωση του χρόνου, ενώ λόγω των αυτοματισμών που διαθέτουν τα σύγχρονα διατρητικά μηχανήματα μειώθηκαν οι αποκλίσεις και τα προβλήματα φρακαρίσματος της διατρητικής στήλης.

Όλα τα παραπάνω οδήγησαν στη βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας της διάτρησης.

Ένα ακόμα πρόβλημα που έπρεπε να λυθεί ήταν η κατάπτωση των διατρημάτων, ιδιαίτερα όπου υπάρχουν ρήγματα. Η λύση που υιοθετήθηκε ήταν αυτή της τοποθέτησης σωλήνων PVC .

Στο θέμα της γόμωσης η συνήθης πρακτική ήταν η χρήση ίδιας ποσότητας εκρηκτικής ύλης για όλα τα διατρήματα. Το γεγονός αυτό προκάλεσε πολλά προβλήματα λόγω κακού θρυμματισμού και δονήσεων.

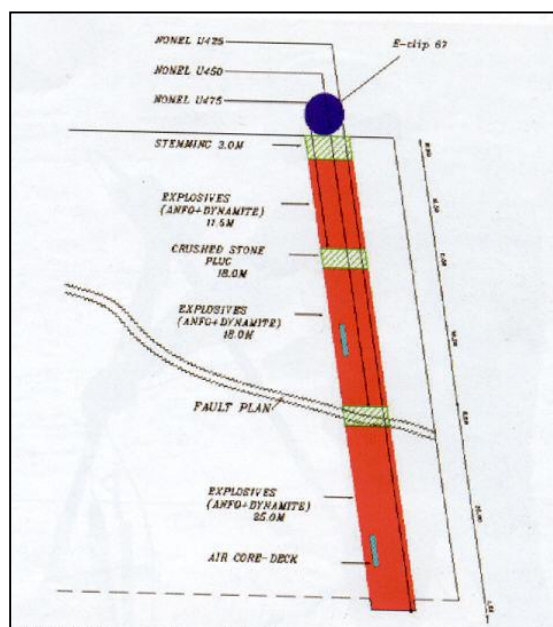
Όμως όπως αποδείχτηκε από τη μελέτη των παραμέτρων της διάτρησης υπάρχει διαφοροποίηση στη γεωμετρία της ανατίναξης. Γνωρίζοντας τον πραγματικό όγκο του πετρώματος που υπάρχει μπροστά από κάθε διάτρημα, οι μηχανικοί της HCC ήταν πια σε θέση να υπολογίσουν την ποσότητα των εκρηκτικών υλών για κάθε διάτρημα χωριστά, ώστε να επιτυγχάνεται το βέλτιστο αποτέλεσμα, δηλαδή καλός θρυμματισμός και ελάχιστες δονήσεις.

Ο περιορισμός των δονήσεων επέβαλε την εφαρμογή της μεθόδου της διακεκομμένης γόμωσης, συνηθέστερα με δύο διακοπές σε κάθε διάτρημα.

Όλα τα ανωτέρω επέφεραν μείωση της κατανάλωσης εκρηκτικών περίπου κατά 8,4%

Ο μέγιστος αριθμός διατρημάτων σε κάθε ανατίναξη ήταν μόλις επτά (7). Ο περιορισμός αυτός επιβλήθηκε από τους χρόνους επιβράδυνσης των ηλεκτρικών καψυλλίων, ( No 1 - 20).

Προκειμένου να αυξηθεί ο αριθμός των διατρημάτων, αποφασίστηκε η χρήση μη ηλεκτρικών πυροκροτητών (NONEL). Το σύστημα μη ηλεκτρικής πυροδότησης (NONEL) εφαρμόστηκε στο λατομείο το 2006, οπότε και αυξήθηκε ο συνολικός αριθμός διατρημάτων σε κάθε ανατίναξη, λόγω των πολλών συνδυασμών στους χρόνους καθυστέρησης των μη ηλεκτρικών καψυλλίων.



**Διακεκομμένη γόμωση διατρημάτων**

Για τη γόμωση των διατρημάτων παραδοσιακά χρησιμοποιούνταν ζελατινοδυναμίτιδα ως γόμωση πυθμένα και ANFO ως βασική γόμωση.

Για περαιτέρω βελτίωση των αποτελεσμάτων αποφασίστηκε να γίνονται ανατινάξεις σε τρεις σειρές διατρημάτων, η γόμωση στις δυο πρώτες να γίνεται με ζελατινοδυναμίτιδα και ANFO, ενώ στην τελευταία να γίνεται με συνδυασμό ANFO και αμμωνίτη για να μειωθεί ο όγκος των αερίων.

Οι δυο πρώτες σειρές διατρημάτων πυροδοτούνται σε σχήμα V, ενώ η τελευταία σειρά πυροδοτείται ταυτόχρονα ακολουθώντας τη μέθοδο της απαλής εξόρυξης, ώστε να δημιουργηθεί ομαλότερο περίγραμμα της βαθμίδας. Για να αντιμετωπιστεί πιθανό πρόβλημα δονήσεων, στην τελευταία σειρά διατρημάτων γίνονται πέντε (5) διακοπές στη γόμωση, αντί τριών (3).

Μια άλλη ενδιαφέρουσα παραλλαγή στη μέθοδο γόμωσης ήταν η χρησιμοποίηση μιας στήλης αέρα κατά μήκος του διατρήματος, χωρίς να διακόπτεται η στήλη του ANFO. Έτσι δημιουργήθηκε ένα αξονικό κενό στο κέντρο του διατρήματος. Διαπιστώθηκε ότι με αυτό το σύστημα αντικαταστάθηκε αποτελεσματικά περίπου το 8% του όγκου του ANFO.

Από τις καταγραφές της ταχύτητας έκρηξης (VOD) αποδείχτηκε πως η χρήση διακεκομμένης γόμωσης παρουσίασε βελτίωση στις τιμές VOD κατά 6% σε σύγκριση με τη συνεχή .

Η προσθήκη της στήλης αέρα κατά μήκος στη γόμωση δεν δημιούργησε καμία σημαντική διαφορά στις τιμές VOD.

Δεδομένου ότι το αποτέλεσμα της ανατίναξης έχει επιπτώσεις σε όλες τις επόμενες διαδικασίες του λατομείου, είναι σημαντικό να καθοριστεί μέχρι ποιο επίπεδο μπορεί να μειωθεί το κόστος της ανατίναξης χωρίς να επηρεάσει αρνητικά το συνολικό αποτέλεσμα.

Η βελτιστοποίηση του κόστους επιτεύχθηκε κυρίως με τη μείωση του συντελεστή κατανάλωσης εκρηκτικής ύλης (εκρηκτική ύλη [kg] / όγκο του πετρώματος [ $m^3$ ]). Η ανάλυση κόστους έδειξε ότι η μείωση του συντελεστή κατανάλωσης εκρηκτικής ύλης οδηγεί σε μείωση της τάξης του 8,9% του κόστους ανατίναξης ανά τόνο.

Καθ' όλη τη διάρκεια των αλλαγών στη μέθοδο εξόρυξης μετρήθηκαν οι δονήσεις από 360 ανατινάξεις. Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων οι μηχανικοί της HCC κατέληξαν στο συμπέρασμα, ότι με την υιοθέτηση της νέας μεθόδου (ελεγχόμενη διάτρηση, διακεκομμένη γόμωση, μη ηλεκτρικοί πυροκροτητές) **οι τιμές PPV (επίπεδο δονήσεων) μειώθηκαν κατά 46,5%** σε σχέση με το παρελθόν !!!

Για να κριθεί όμως συνολικά το αποτέλεσμα του εγχειρήματος, έπρεπε να μετρηθεί και η παραγωγικότητα του λατομείου, υπό τις νέες συνθήκες.

Ως πιο αξιόπιστος τρόπος μέτρησης θεωρήθηκε ο υπολογισμός της παραγωγικότητας του συγκροτήματος θραύσης (παραγωγή σε τόνους / ώρα).

Με βάση τα στοιχεία παρατηρήθηκε μια **βελτίωση της τάξης του 3,19 %**.

Τα έντονα και πιεστικά προβλήματα στη λειτουργία του λατομείου της HCC οδήγησαν στην άμεση εφαρμογή μιας σειράς συστηματικών διαδικασιών με χρήση σύγχρονου εξοπλισμού.

Τα συμπεράσματα από την αξιολόγηση των συστηματικών καταγραφών όλων των κρίσιμων παραμέτρων (ταχύτητα διάτρησης, αποκλίσεις διατρημάτων, πραγματικό φορτίο, ταχύτητα της έκρηξης, δονήσεις) οδήγησαν στην υιοθέτηση μιας νέας μεθόδου εξόρυξης.

Με τη νέα αυτή μέθοδο **«θεραπεύτηκαν» τα προβλήματα του παρελθόντος, εξαλείφθηκε ο κίνδυνος παύσης λειτουργίας** του λατομείου ενώ **βελτιώθηκε και η παραγωγικότητα** της εγκατάστασης.

Δεδομένου ότι στην επιτυχία του εγχειρήματος έπαιξαν καθοριστικό ρόλο τα χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων εκρηκτικών υλών και μέσω της έναυσης – λόγω της γεωλογικής ιδιαιτερότητας της περιοχής – θα πρέπει να **διευρυνθεί η περαιτέρω βελτίωση του αποτελέσματος με χρήση σύγχρονων εκρηκτικών υλών, όπως το εκρηκτικό γαλάκτωμα**

*Τα στοιχεία που παρουσιάζονται είναι βασισμένα σε άρθρο των M. Khaled, K. Abdel Rahman, M. Khattab που έχει δημοσιευθεί στο Journal of Explosives Engineering και έχει παρουσιαστεί από τους συγγραφείς του στη 34<sup>η</sup> ετήσια διάσκεψη της International Society of Explosives Engineers τον Ιανουάριο του 2008 στη Νέα Ορλεάνη.*

*Για τη μετάφραση Π. Γρηγορόπουλος Μηχ. Μεταλλείων ΕΜΠ – Α. Καζάκος Μηχ. Μεταλλείων ΕΜΠ*