

ΙΩΑΝΝΗΣ Ν. ΟΙΚΟΝΟΜΟΠΟΥΛΟΣ*,
ΝΙΚΟΣ Ι. ΚΟΡΩΝΑΚΗΣ**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι συνηθέστερες μέθοδοι και τύποι δοκιμών ελέγχου των συστημάτων κοχλίωσης της οροφής υπογείων μεταλλευτικών εκσκαφών. Οι εν λόγω δοκιμές πρέπει να χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας των κοχλιών, τη βαθύτερη κατανόηση των παραμέτρων που επιδρούν στη λειτουργία του συστήματος, ως και την ορθή επιλογή του κατάλληλου τύ-

που κοχλία, υπό τις εκάστοτε δεδομένες συνθήκες του πετρώματος και του υπόγειου έργου, γενικότερα. Επίσης, περιγράφεται μια, κατά το δυνατόν πλήρης, διαδικασία διερεύνησης και εξέτασης συστήματος κοχλίωσης σημειακής αγκύρωσης, μέσω κατάλληλων μετρήσεων και δοκιμασιών, μερικές εκ των οποίων διεξάγονται για πρώτη φορά σε Ελληνικό μεταλλείο.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά το δεύτερο ήμισυ του τρέχοντος αιώνα, η μέθοδος υποστήριξης των υπογείων μεταλλευτικών εκσκαφών με κοχλίωση της οροφής, άρχισε πλέον να γίνεται ταχέως αποδεκτή, καθώς οδήγησε σε θεαματική μείωση των ατυχημάτων και ταυτόχρονα συνέβαλε στην προσπάθεια για αύξηση της παραγωγής και μείωση του κόστους εκμετάλλευσης, ενώ παράλληλα, μέσω του περιορισμού των ξυλίνων υποστηριγμάτων, συνετέλεσε στην βελτίωση των συνθηκών αερισμού.

Η θεαματική αυτή στροφή προς τα συστήματα υποστήριξης δια κοχλιώσεων, δικαιολογείται ασφαλώς και από τα ακόλουθα πλεονεκτήματα που παρέχουν, δεδομένου ότι μεταξύ άλλων:

- 1) Δεν μειώνουν το μέγεθος της διατομής της υπόγειας εκσκαφής.
- 2) Τοποθετούνται σε οποιοδήποτε γεωμετρικό σχήμα εκσκαφής.
- 3) Έχουν μικρό βάρος.
- 4) Είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν, τόσο για προσωρινή, όσο και για μόνιμη υποστήριξη.
- 5) Συνδυάζονται αποτελεσματικά με άλλα συστήματα υποστήριξης.
- 6) Μπορούν να τοποθετούνται πολύ κοντά στο μέτωπο προχώρησης.
- 7) Η διαδικασία τοποθέτησής τους είναι σχετικά απλή και ταχεία.
- 8) Είναι επιδεκτικά πλήρους εκμηχάνισης.
- 9) Το κόστος, υπό ορθολογικές συνθήκες εφαρμογής, είναι σχετικά χαμηλό.
- 10) Απαιτούν μικρό χώρο για αποθήκευση.
- 11) Βελτιώνουν σημαντικά τις συνθήκες αερισμού.

* Καθηγητής Ε.Μ.Π.

** Διπλ. Μηχ. Μεταλλείων - Μεταλλουργός Ε.Μ.Π.
(Εργαστήριο Μεταλλευτικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π.)

12) Είναι αρκετά ευέλικτα ώστε να αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά ένα ευρύ φάσμα διευθύνσεων και μεγεθών των τάσεων αλλά και διαφορετικών προσανατολισμών των ασυνχειών της μάζας του πετρώματος.

Συγχρόνως όμως, θα πρέπει να τονισθεί, ο καθοριστικός ρόλος της λεπτομερούς γνώσης του υλικού κοχλιώσεως, της δυνατότητας εξακριβώσεως της πραγματικής κατάστασης λειτουργίας αυτού εντός του πετρώματος και του προσδιορισμού της συμπεριφοράς του σε σχέση με το πέτρωμα που πρόκειται να υποστηρίξει, δεδομένου ότι αποτελούν απαραίτητες προϋποθέσεις για την επιτυχή εφαρμογή της μεθόδου υποστήριξης δια κοχλιώσεως της οροφής.

2. ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΟΧΛΙΩΣΗΣ

Στις περισσότερες των περιπτώσεων, οι επισυμβαίνουσες αστοχίες των συστημάτων υποστήριξης των πετρωμάτων αποδίδονται σχεδόν αποκλειστικά στις ιδιότητες κατασκευής αυτού του ίδιου μέσου υποστήριξης, π.χ. του κοχλία, του πλαισίου κ.λπ.

Ο αριθμός όμως, αυτών των περιπτώσεων, είναι αρκετά μικρότερος, σε σύγκριση με τις αστοχίες που οφείλονται άμεσα ή έμμεσα στην ποιότητα της εργασίας και σ' αυτή καθ' αυτή την διαδικασία τοποθέτησης των κοχλιών οροφής. Μερικά από τα συνηθέστερα αίτια μη ικανοποιητικής λειτουργίας και ανεπιτυχούς δράσης των συστημάτων κοχλιώσεως είναι τα ακόλουθα:

1) Λανθασμένη επιλογή συγκεκριμένου τύπου και είδους κοχλία για τις δεδομένες συνθήκες της υπόγειας εκσκαφής.

2) Ακατάλληλη τοποθέτηση των διατηρημάτων.

3) Ακατάλληλες διαστάσεις διατηρήματος (μήκος, διάμετρος).

4) Ανεπαρκώς καθαρισμένο διάτρημα.

5) Ανεπαρκής και μη επιμελημένη τοποθέτηση της συγκολλητικής ύλης.

6) Ανεπαρκές μήκος αγκύρωσης.

7) Επιφανειακές ακαθαρσίες των σπειρωμάτων του χάλυβα της ράβδου.

8) Χρήση συγκολλητικών υλών περασμένης ημερομηνίας λήξης.

9) Ατελής ανάμιξη των συγκολλητικών υλών.

10) Καταστροφή του σωλήνα αναρρόφησης αέρα από τον πυθμένα του διατηρήματος.

11) Ανεπαρκής λίπανση των περικοχλιών και των συνδέσμων προσαρμογής.

12) Απρόσεκτη τοποθέτηση.

13) Ανύπαρκτο ή ανεπαρκές πρόγραμμα ελέγχου του συστήματος κοχλιώσεως.

Εκτός από τις προηγούμενες και ασφαλώς συχνότερες αιτίες, υπάρχουν και άλλες δευτερεύουσες, που επιδρούν δυσμενώς στη λειτουργία και αποτελεσματικότητα του συστήματος κοχλιώσεως.

Η ανάθεση της εκτέλεσης της εν λόγω εργασίας σε έμπειρο και εξειδικευμένο προσωπικό, αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση της επιτυχίας. Ακόμη όμως και σ' αυτή την περίπτωση, μόνο οι δοκιμές ελέγχου και οι επί τόπου μετρήσεις θα καθορίσουν έμπρακτα και εμπειριστατωμένα την αξιοπιστία του συστήματος κοχλιώσεως που υιοθετήθηκε.

Υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες τεχνικές ελέγχου της ποιότητας και της αρτιότητας της λειτουργίας ενός ήδη τοποθετημένου κοχλία. Στα επόμενα, αναπτύσσονται οι γνωστότερες, απλούστερες και περισιότερο ευπροσάρμοστες στο εργασιακό περιβάλλον του υπόγειου μεταλλείου, δοκιμές και μετρήσεις επί συστημάτων κοχλιώσεως.

Εκ προοιμίου πάντως σημειώνεται ότι, δύο εκ των αναφερομένων στη συνέχεια δοκιμών (Δοκιμή καθορισμού επιβαλλόμενης στρεπτικής ροπής και μετρήσεις οριζοντίων παραμορφώσεων κοχλιωμένης οροφής) διεξήχθησαν για πρώτη φορά σε ελληνικό υπόγειο μεταλλείο, κατά την διάρκεια της παρούσας ερευνητικής εργασίας.

2.1. ΔΟΚΙΜΗ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ (ΑΠΟΣΠΑΣΕΩΣ)

Η δοκιμή αυτή είναι η συνηθέστερη και πιο αξιόπιστη από όλες τις δοκιμές ελέγχου της καλής λειτουργίας των συστημάτων κοχλιώσεως. Επιπρόσθετα, έχει αποκτηθεί σοβαρή εμπειρία σχετικά με την ορθή της διεξαγωγή, η οποία άλλωστε είναι όμοια με την διαδικασία προέκτασης του κοχλία, με την βασική όμως διαφορά ότι, στην δοκιμή αποσπάσεως ο κοχλίας φορτίζεται μέχρι το σημείο αστοχίας του ενώ παράλληλα καταγράφεται η σχέση της επιβαλλόμενης δύναμης εφελκυσμού με την επισυμβαίνουσα επιμήκυνση ή ακόμα και ολίσθηση του δοκιμαζόμενου κοχλία.

Ο εφελκυσμός επιβάλλεται είτε με ελεγχόμενη περιστροφή στο περικόχλιο, είτε με άμεση εφαρμογή εφελκυστικής δύναμης επί του σώματος της ράβδου. Σε περιπτώσεις όπου δεν απαιτούνται εφελκυστικές δυνάμεις άνω των 10 τόννων, είναι συνήθως επαρκής η χρήση απλής διάταξης μηχανικού στροφείου.

Για μεγαλύτερα όμως φορτία, υπάρχει αβεβαιότητα αναφορικά με τη δύναμη εφελκυσμού που αναπτύσσεται στον κοχλία σε σχέση με την αντίστοιχη περιστροφή που προσδίδεται στο περικόχλιο. Στις περιπτώσεις που απαιτούνται υψηλά φορτία, ή εναλλακτικά, όταν απαιτείται ένας υψηλός βαθμός ακρίβειας στην μέτρηση, η πιο ασφαλής και αξιόπιστη διάταξη για την εκτέλεση της εν λόγω δοκιμής, είναι η χρησιμοποίηση ενός συστήματος υδραυλικού εξολκέα.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη για την ορθότητα της δοκιμής, είναι συνοπτικά οι ακόλουθοι:

α) Η δύναμη εφελκυσμού πρέπει να εφαρμόζεται στον κοχλία κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι δυνα-

τό να μετρηθεί χωρίς να επεμβαίνει αυτή η ίδια η μέτρηση στη λειτουργία του κοχλίου ως στοιχείου υποστήριξης.

β) Ο άξονας επιβολής της δύναμης εφελκυσμού να συμπίπτει με τον επιμήκη άξονα του σώματος της ράβδου.

γ) Η διάταξη επιβολής της εφελκυστικής δύναμης να είναι προσαρμοσμένη επί του ελεύθερου άκρου του κοχλίου κατά τέτοιο τρόπο, ώστε ο εφελκυσμός να αναπτύσσεται επί του σώματος της ράβδου στο εσωτερικό του διατρήματος.

δ) Πρέπει να είναι δυνατή η ρύθμιση του εφαρμοζόμενου φορτίου κατά την εκτέλεση της δοκιμής ή η σύσφιξη του περικοχλίου στην προκαθορισμένη τιμή προέντασης.

Με την ίδια διάταξη επιβολής δύναμης εφελκυσμού, μπορεί να γίνει και έλεγχος (χωρίς απόσπαση) της τιμής της υφιστάμενης προέντασης που έχει δοθεί στην ράβδο κατά την τοποθέτηση.

2.2. ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΡΕΠΤΙΚΗΣ ΡΟΠΗΣ

Κατά την εν λόγω δοκιμή, μετρείται έμμεσα το φορτίο που αναλαμβάνει ο κοχλίας, αρκετά εύκολα και γρήγορα, με την χρησιμοποίηση ειδικού ροπομέτρου που φέρει μετρητή στρεπτικής ροπής. Η περιστροφή εφαρμόζεται μέχρι το σημείο εκείνο στο οποίο το περικόχλιο αρχίζει να στρέφεται και η αντίστοιχη ένδειξη του μετρητή συσχετίζεται, είτε με το φορτίο του κοχλίου, είτε με άλλες παραμέτρους, όπως π.χ. την απόσταση από το μέτωπο, προς εξαγωγή συμπερασμάτων, για το υπό μελέτη ή υπό δοκιμή σύστημα κοχλίωσης.

2.3. ΜΕΤΡΗΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ

Το φορτίο που ασκείται πάνω στον κοχλίο, μπορεί να μετρηθεί από ειδικό κελλί που τοποθετείται κατάλληλα μεταξύ της πλάκας συγκράτησης και της εξωτερικής επιφάνειας του πετρώματος. Υπό συνθήκες ορθής τοποθέτησης, το κελλί αυτό θα καταγράψει με μεγάλη ακρίβεια τα φορτία που αναλαμβάνει ο κοχλίας σε σχέση με την πάροδο του χρόνου.

2.4. ΔΟΚΙΜΗ ΠΥΡΗΝΟΛΗΨΙΑΣ

Κατά την εν λόγω δοκιμή, η οποία χρησιμοποιείται σχετικά σπάνια σε συστήματα κατανεμημένης αγκύρωσης και διεξάγεται με κατάλληλο αδαμαντογεωτρήπανο απόληψης πυρήνα, εκτιμάται η συνέχεια και ακεραιότητα της συγκολλητικής ύλης και η ποιότητα της συγκόλλησης και ελέγχεται η επίδραση της διάβρωσης.

2.5. ΕΜΜΕΣΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΕΥ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ

Η δοκιμή αυτή αφορά στο σύστημα κοχλίωσης Swellex της Σουηδικής Εταιρείας Atlas Corco AB, προκειμένου να ελέγχεται η ορθή του τοποθέτηση και να εξετάζεται το ενδεχόμενο αστοχίας του.

Η δοκιμή διεξάγεται με την βοήθεια της ίδιας αντλίας ύδατος που χρησιμοποιείται για την τοπο-

θέτηση του συστήματος. Ένας ορθά τοποθετημένος και αποτελεσματικός στην λειτουργία του κοχλίας Swellex εξασφαλίζεται με την αυτόματη διακοπή παροχής ύδατος υπό πίεση, από την ειδική αντλία, στην προκαθορισμένη τιμή. Κατά τον ίδιο τρόπο, ο έλεγχος της σωστής λειτουργίας του κοχλίου, μπορεί να γίνεται και για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά την τοποθέτησή του, καθώς η δοκιμή δεν καταστρέφει ούτε επηρεάζει την δράση του κοχλίου.

2.6. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΕΥ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ

Οι κοχλίες κατανεμημένης αγκύρωσης, μπορούν να ελεγχθούν με τη βοήθεια ηλεκτρονικής διάταξης που βασίζεται στα ανακλώμενα κύματα τάσεων και μάλιστα χωρίς αυτός ο έλεγχος να επιφέρει την καταστροφή ή την αλλοίωση της δράσης τους.

Ένα ειδικά σχεδιασμένο αισθητήριο στοιχείο που περιέχει πιεζοηλεκτρικούς κρυστάλλους, πιέζεται πάνω στο ελεύθερο άκρο του κοχλίου που βρίσκεται στο στόμιο του διατρήματος, οπότε θλιπτικά ελαστικά κύματα μεταδίδονται μέσα στο σώμα του κοχλίου.

Κατά την διάδοση των κυμάτων, ποσοστό της ενέργειας μεταδίδεται μέσω του υλικού συγκόλλησης στο πέτρωμα, με αποτέλεσμα τη μείωση της ευρύτητας των κυμάτων. Τα ελαστικά κύματα ανακλώνται στο άκρο του κοχλίου που βρίσκεται στον πυθμένα του διατρήματος και φτάνουν στο άλλο άκρο του, όπου και καταγράφονται από τους πιεζοηλεκτρικούς κρυστάλλους.

Εάν το υλικό συγκόλλησης καλύπτει πλήρως τον κοχλίο, η ευρύτητα και το μέγεθος των ανακλώμενων κυμάτων μετριάζονται σημαντικά. Αντίθετα, τα χαρακτηριστικά αυτά δεν επηρεάζονται σχεδόν καθόλου, εάν το υλικό συγκόλλησης παρουσιάζει κενά και είναι γενικά χαμηλής ποιότητας.

Με αναλυτική διαδικασία, τα αποτελέσματα των μετρήσεων συσχετίζονται με την πιθανή κατάσταση του κοχλίου στο εσωτερικό του διατρήματος.

Παρά το γεγονός ότι, η ηλεκτρονική αυτή διάταξη χρειάζεται περαιτέρω ανάπτυξη και βελτίωση, δίνει μια αρκετά αξιόπιστη και άμεση ένδειξη της ποιότητας συγκόλλησης, παρουσιάζοντας παράλληλα το σημαντικό πλεονέκτημα της μη καταστροφής του κοχλίου.

2.7. ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΕΠΙΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΣΤΡΕΠΤΙΚΗΣ ΡΟΠΗΣ

Στα συστήματα κοχλίωσης που απαιτούν προένταση κατά την τοποθέτησή τους, είναι αναγκαίος ο καθορισμός της ελάχιστης τιμής της απαιτούμενης προέντασης ή της στρεπτικής ροπής που πρέπει να ασκηθεί, για την επίτευξη της κατά το δυνατόν αποτελεσματικότερης ανάπτυξης της κεφαλής αγκύρωσης στο πέτρωμα. Οι περισσότεροι κατασκευαστές συστημάτων κοχλίωσης προτείνουν ενδεικτικές τιμές προέντασης ή στρεπτικής ροπής για συγκεκριμένους τύπους κοχλίων και κατηγορίες πε-

τρωμάτων, πλην όμως η αξία μιας δοκιμής επί τούτου είναι γενικώς παραδεκτή.

Η ελάχιστη προένταση ή στρεπτική ροπή που πρέπει να επιβληθεί σε ένα κοχλία σημειακής αγκύρωσης είναι εκείνη κατά την οποία, περαιτέρω αύξηση της τιμής της δεν προκαλεί νέα κίνηση και διείσδυση της σφήνας μέσα στο αναπτυσσόμενο κέλυφος.

Μια γρήγορη, απλή και άμεση μέθοδος καθορισμού της βέλτιστης προέντασης ή στρεπτικής ροπής, περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

α) Εισαγωγή του κοχλία εντός του διατηρήματος και επιβολή ροπής που αντιστοιχεί σε φορτίο περίπου 1 τόννου, έτσι ώστε η αγκυροκεφαλή να ενσφηνωθεί ελαφρά εντός του διατηρήματος.

β) Εφαρμογή στρεπτικής ροπής αντίθετης φοράς, ώστε μόνο η ράβδος να εξέλθει του διατηρήματος.

γ) Χάραξη, με κιμωλία, ευθείας γραμμής μήκους 50 cm επί του σώματος της ράβδου, αρχίζοντας από το άκρο αυτής που βρίσκεται προς το στόμιο του διατηρήματος.

δ) Επανεισαγωγή της ράβδου εντός του διατηρήματος, μέχρις ότου εκείνη έρθει σε επαφή με το κάτω άκρο του κελύφους και σημείωση επί της χαραγής του σημείου αυτού.

ε) Προχώρηση της ράβδου, μέχρις ότου εκείνη έρθει σε επαφή με το κάτω άκρο της σφήνας και σημείωση επί της χαραγής του σημείου αυτού.

στ) Η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων που καθορίστηκαν επί της χαραγής, αντιστοιχεί στην απόσταση μεταξύ πυθμένα σφήνας και πυθμένα κελύφους.

ζ) Επανάληψη των βημάτων (α) έως και (στ), με βαθμιαία αύξηση του φορτίου ή της στρεπτικής ροπής και καταγραφή της σχετικής θέσης σφήνας - κελύφους.

η) Η τιμή του φορτίου ή της στρεπτικής ροπής κατά την οποία δεν σημειώνεται περαιτέρω μεταβολή της απόστασης μεταξύ σφήνας και κελύφους, είναι η πλέον κατάλληλη αρχική προένταση που πρέπει να ασκηθεί στο συγκεκριμένο τύπο κοχλίων κατά την τοποθέτησή τους στο συγκεκριμένο πέτρωμα που πρόκειται να υποστηρίξουν.

2.8. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΚΟΧΛΙΩΜΕΝΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΑΥΤΗΣ

Για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας της δράσης υποστήριξης που παρέχει ένα σύστημα κοχλίωσης σε συγκεκριμένο τύπο πετρώματος, μελετώνται και καταγράφονται οι οριζόντιες παραμορφώσεις που επισυμβαίνουν στις κοχλιωμένες οροφές των υπογείων εκσκαφών, ως συνέπεια των αναπτυσσόμενων τάσεων.

Η τεχνική που υιοθετείται για τον σκοπό αυτό, αφορά σε ένα σύστημα συνεχούς καταγραφής των

οριζοντίων παραμορφώσεων, βασιζόμενο στην αρχή κατά την οποία η οριζόντια αναπτυσσόμενη τάση στην οροφή υπόγειας εκσκαφής, αναγκαστικά αυξάνει, καθώς η οροφή κάμπτεται και η συνεχώς αυξανόμενη κάμψη της οροφής οδηγεί τελικά σε μηχανική της αστοχία.

Η κεντρική ιδέα στην κατασκευή του συστήματος, είναι η δυνατότητα μέτρησης των οριζοντίων παραμορφώσεων που αναπτύσσονται εγκάρσια προς τον επιμήκη άξονα της υπόγειας εκσκαφής, μεταξύ δύο κοχλίων που έχουν τοποθετηθεί ως μέρος της συστηματικής υποστήριξης του υπόγειου έργου. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσαρμογή δύο ειδικά σχεδιασμένων πλακών στα δύο αντίστοιχα ελεύθερα άκρα των εν προκειμένω κοχλίων. Λεπτό συρματοσχοίνο καταλλήλου μήκους προσδένεται ισχυρά στην μικρότερη πλάκα, ενώ το άλλο του άκρο προσαρμόζεται σε ειδική διάταξη που φέρει μετακινούμενο σωληνίσκο - οδηγό και ελατήριο, ώστε να διατηρείται η τάνυση του συρματοσχοίνου.

Η κάμψη της κοχλιωμένης οροφής, οδηγεί σε μετακίνηση του άκρου του ενός κοχλία σε σχέση με τον άλλο, γεγονός που προκαλεί αντίστοιχη μετακίνηση στον οδηγό της διάταξης, η οποία και μετρείται με μικρόμετρο, του οποίου το στέλεχος εφάπτεται συνεχώς επί του μετακινούμενου σωληνίσκου - οδηγού.

Το όλο σύστημα είναι φθινό, κατασκευαστικά απλό, σταθερό και ανθεκτικό, γρήγορο στην τοποθέτηση και κυρίως δεν παρεμποδίζει τις πάσης φύσεως εργασίες εντός της υπόγειας εκσκαφής.

Συστηματικές δοκιμές αυτής της διάταξης, μπορούν να λειτουργήσουν συγκριτικά ως προς ανταγωνιστικούς τύπους συστημάτων κοχλίωσης, ή ως προς διαφορετικές παραμέτρους κοχλίων του ίδιου τύπου π.χ. μήκος, διάμετρος, προένταση, είδος αγκυροκεφαλής κ.τλ.

3. ΓΕΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

3.1. ΘΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Οι δοκιμές και οι μετρήσεις ελέγχου του συστήματος κοχλίωσης σημειακής αγκύρωσης, έλαβαν χώρα στο βωξίτικο κοίτασμα «Άγιος Παντελεήμων Νο 4», που ανήκει στην Α.Β.Μ.Ε. ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΒΩΞΙΤΑΙ ΕΛΙΚΩΝΟΣ - Γ.Λ. ΜΠΑΡΛΟΣ. Η εκμετάλλευση του εν λόγω κοιτάσματος διενεργείται με την μέθοδο των θαλάμων και στύλων (με εγκατάλειψη των στύλων), στην οποία, η εφαρμογή της κοχλίωσης για την υποστήριξη των υπογείων θαλάμων, ανταποκρίνεται αποτελεσματικά.

Το υπό εκμετάλλευση κοίτασμα, ανήκει στρωματογραφικά στον τρίτο βωξίτικο ορίζοντα, χαρακτηρίζεται από μέση κλίση 20°-36°, μέσο πάχος 5,5 m, με υπερεκείμενα πετρώματα ασβεστολίθους Τουρωνίου - Σενωνίου ηλικίας, ρουδιστοφόρους, μικρο-

κρυσταλλικούς, τεφρούς ως σκοτεινόχρωμους, λεπτοπλακώδεις, ικανοποιητικής μηχανικής συμπεριφοράς, βιτουμενιούχους, μέσου πάχους περίπου 400 m, από την φυσική επιφάνεια του εδάφους.

Λόγω της ικανοποιητικής αντοχής και της συνεκτικότητας που την χαρακτηρίζει, η ασβεστολιθική οροφή δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα σταθερότητας, κατά την διενέργεια της κυρίως εκμετάλλευσης του κοιτάσματος. Βεβαίως, έχουν διαπιστωθεί και περιοχές οροφής με χαμηλές τιμές μηχανικών χαρακτηριστικών και αντοχών, ιδιαίτερα εντός ή στη γειτονία ρηγμάτων και καρστικών εγκοίλων.

3.2. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΟΧΛΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ο χρησιμοποιούμενος για την κοχλίωση εξοπλισμός, διακρίνεται σε εξοπλισμό διάτρησης, εξοπλισμό τοποθέτησης - σύσφιξης - προέντασης και εξοπλισμό ελέγχου και δοκιμών.

Ο εξοπλισμός διάτρησης περιλαμβάνει κρουστικοπεριστροφικές αερόσφυρες, συνήθους και ανιούσης, για τα κατακόρυφα διατρήματα, διάτρησης, οι οποίες λειτουργούν επί τηλεσκοπικών υποστατών. Στις εν λόγω δοκιμές, χρησιμοποιήθηκαν ολόσωμα διατρητικά στελέχη, με κοπτικές ακμές σκληρού μετάλλου, διαμέτρου 36 mm.

Οι αγκυροκεφαλές που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν της κατηγορίας του αναπτυσσόμενου κελύφους, κατασκευής ELBROC, μήκους 100 mm, διαμέτρου 35 mm με διπλή σιαγόνα, χωρίς δακτύλιο στο κάτω άκρο τους, του τύπου BL 1635. Το εσωτερικό σπείρωμα των αγκυροκεφαλών, είχε διάμετρο 16 mm και παρουσίασε αρκετά ικανοποιητική συμπεριφορά σε διατρήματα διαμέτρου 35 - 39 mm.

Οι ράβδοι των κοχλιών είχαν διάμετρο 16 mm, μήκη 1,80 - 2,10 - 2,40 m, και ήταν κατασκευασμένες από χάλυβα υψηλής μηχανικής αντοχής (High Tensile Steel), ο οποίος, κατά τον κατασκευαστή, χαρακτηρίζεται από τάση θραύσης σε εφελκυσμό ίση με 600 MPa και τάση διαρροής ίση με 360 MPa.

Σε όλες τις δοκιμές, χρησιμοποιήθηκαν τετράγωνες επίπεδες πλάκες συγκράτησης με θολοειδή διαμόρφωση περί την οπή διέλευσης της ράβδου του κοχλίου, κατασκευής ELBROC, τύπου HS 2050, με τα αντίστοιχα ημισφαίρια προσαρμογής του ίδιου κατασκευαστή. Οι πλάκες συγκράτησης, ήταν πλευράς 150 mm, πάχους 8 mm, κατασκευασμένες από χάλυβα τελικής αντοχής σε εφελκυσμό 400 MPa. Τα ημισφαίρια προσαρμογής είχαν μέγιστη και ελάχιστη διάμετρο 50 mm και 20 mm αντίστοιχα, επιτρέποντας παρέκκλιση της ράβδου του κοχλίου ως προς το επίπεδο της πλάκας συγκράτησης, έως και 30°. Τα περικόχλια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν του τύπου 150 mm * 8 mm * 38 mm.

Η σύσφιξη των κοχλιών, πραγματοποιήθηκε αφενός μεν με αεροκίνητο κλειδί ελαφρής κατα-

σκευής, τύπου ATLAS COPCO LMS 44 - HR - 01, ικανό να ασκήσει, υπό τις δεδομένες συνθήκες, ροπή στρέψης 45 kpm κατά μέγιστον και αφετέρου με χειροκίνητο κλειδί μικρότερης απόδοσης, καθώς επίσης και με το χειροκίνητο υδραυλικό εξολκέα MARK 8A, κατασκευής ELBROC, ικανό να ασκήσει φορτίο 100 KN κατά μέγιστον.

Η επιβαλλόμενη κατά την τοποθέτηση και η απομένουσα μετά την πάροδο χρονικού διαστήματος, στρεπτική ροπή (σύσφιξη) των κοχλιών, προσδιοριζόταν με τη βοήθεια ροπομέτρου, ενώ το φορτίο τους καθοριζόταν με τη χρήση του υδραυλικού εξολκέα που προαναφέρθηκε.

Δεν έγινε δυνατό να ελεγχθεί αυστηρά η κατάσταση των διατρητικών στελεχών εξ αιτίας λειτουργικών λόγων της εκμετάλλευσης, ενώ έγινε προσπάθεια χρησιμοποίησης μεταλλωρύχων που χαρακτηριζόνταν από ομοιόμορφη κατά το δυνατόν ποιότητα εργασίας, παραπλήσια απόδοση και σχετικά μακρόχρονη εμπειρία επί των κοχλιώσεων.

Εξάλλου, οι δοκιμές αποσπάσεως των τοποθετούμενων κοχλιών, διεξήχθησαν με την βοήθεια ισχυρής διάταξης υδραυλικού κυλίνδρου - εξολκέα, κατασκευής ENERPAC, μέγιστης διαδρομής εμβόλου, υπό τις δεδομένες συνθήκες, 120 mm, συνδεδεμένου μέσω εύκαμπτης σωλήνωσης μήκους 6 m, εφοδιασμένης με βαλβίδες ασφαλείας διπλής ενέργειας, με χειροκίνητη αντλία κατασκευής ENERPAC.

4. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

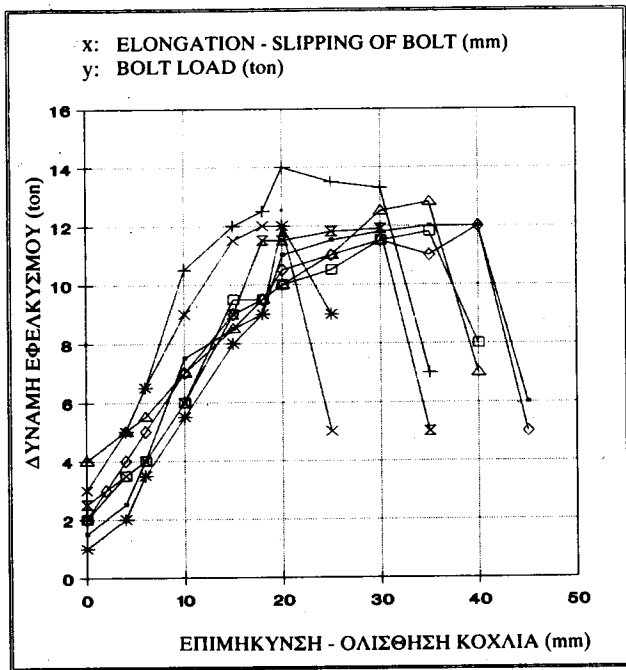
4.1. ΔΟΚΙΜΕΣ ΑΠΟΣΠΑΣΕΩΣ

Διεξήχθησαν συνολικά δοκιμές αποσπάσεως επί 8 κοχλιών σημειακής αγκύρωσης μήκους 2,40 m, επί 4 κοχλιών ίδιου τύπου μήκους 2,10 m και επί 2 κοχλιών μήκους 1,80 m. Πριν από κάθε δοκιμή, προσδιοριζόταν τα χαρακτηριστικά στοιχεία κάθε κοχλίου, όπως η εντατική του κατάσταση, η ποιότητα τοποθέτησης, η κατάσταση των σπειρωμάτων της ράβδου και της αγκυροκεφαλής, καθώς και των παρειών του διατρήματος.

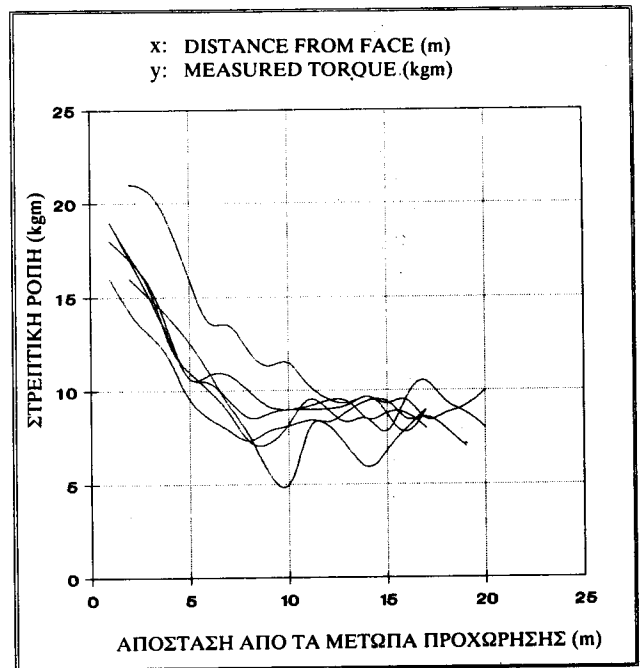
Τα αποτελέσματα των δοκιμών αποσπάσεως, παρατίθενται στα σχήματα 1 και 2, που παριστάνουν την μεταβολή της δύναμης εφελκυσμού σε συνάρτηση με την επιμήκυνση και/ή την ολίσθηση του δοκιμαζόμενου κοχλίου. Ας σημειωθεί, ότι όλες οι δοκιμές αποσπάσεως έγιναν σε κοχλίες που είχαν μόλις τοποθετηθεί, για την αποφυγή της επίδρασης του χρόνου τοποθέτησης στην τελική φέρουσα ικανότητα κάθε κοχλίου, η οποία άλλωστε πρέπει να αποτελέσει και θέμα λεπτομερούς μελέτης.

4.2. ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΤΡΕΠΤΙΚΗΣ ΡΟΠΗΣ

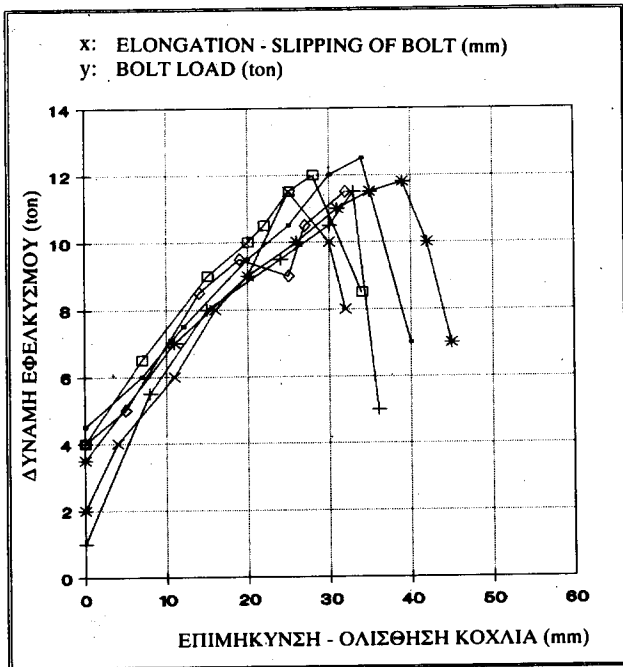
Δοκιμές στρεπτικής ροπής διεξήχθησαν εντός δύο στοών περιχάραξης με καθημερινές τακτικές προχωρήσεις. Οι εν λόγω στοές ήταν υποστηριγμέ-



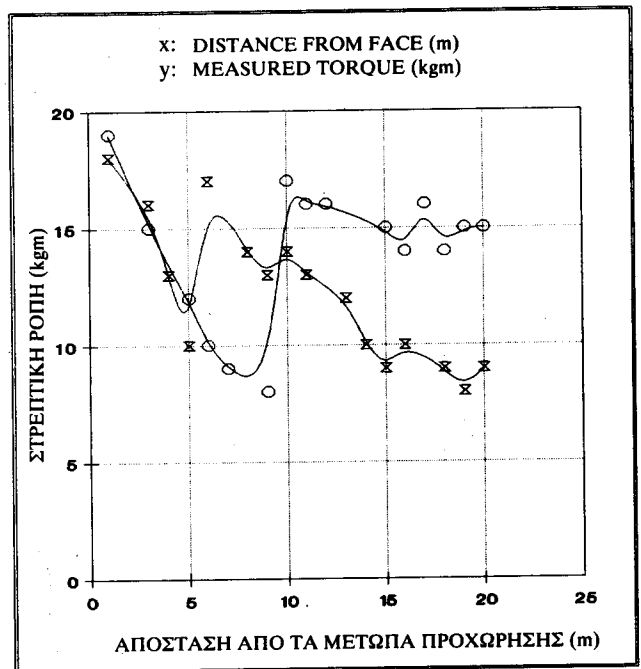
ΣΧΗΜΑ 1: Μεταβολή της δύναμης εφέλκυσμού σε συνάρτηση με την επιμήκυνση - ολίσθηση, δοκιμαζόμενων κοχλιών σημειακής αγκύρωσης, μήκους 2,40 μέτρων.
FIGURE 1: Pull-out tests, for point anchored expansion shell roofbolts, of 2.40m length.



ΣΧΗΜΑ 3: Εξέλιξη της παραμένουσας στρεπτικής ροπής (εντατικής κατάστασης) κοχλιών σημειακής αγκύρωσης μήκους 2,40 μέτρων σε σχέση με την απόσταση αυτών από τα μέτωπα προχώρησης των υπογείων εκσκαφών.
FIGURE 3: Relationship between the residual bolt torque (load) and the distance from face. Influence of dynamic effects from nearby explosions.



ΣΧΗΜΑ 2: Μεταβολή της δύναμης εφέλκυσμού σε συνάρτηση με την επιμήκυνση/ολίσθηση, δοκιμαζόμενων κοχλιών σημειακής αγκύρωσης, μήκους 2,10 μέτρων.
FIGURE 2: Pull-out tests, for point anchored expansion shell roofbolts, of 2.10m length.



ΣΧΗΜΑ 4: Αποτελέσματα δοκιμών επανασύφιξης κοχλιών σημειακής αγκύρωσης μήκους 2,40 μέτρων, σε αποστάσεις 6 και 10 μέτρων από τα μέτωπα προχώρησης και περαιτέρω εξέλιξη της εντατικής κατάστασης αυτών με ταυτόχρονη προχώρηση των μετώπων.
FIGURE 4: Results from retorquing tests of two bolt groups (of the same type), at different distances from face and process of their residual torque.

νες με τρεις κοχλίες ανά σειρά. Μετά από κάθε έκρηξη, εγίνετο μέτρηση της στρεπτικής ροπής κάθε

κοχλία, δια του διατιθέμενου ροπομέτρου, ως και της απόστασης του από το μέτωπο προχώρησης.

Επίσης, έγινε και δοκιμή στρεπτικής ροπής σε σειρές κοχλιών της ίδιας στοάς, οι οποίοι είχαν συσφιγθεί εκ νέου, σε αποστάσεις των 6 και 10 m, από το μέτωπο προχώρησης.

Στόχος της εν λόγω δοκιμής, ήταν ο κατ' αρχήν προσδιορισμός της βέλτιστης απόστασης επανασυσφιγξης των κοχλιών προς τον σκοπό της αποφυγής των αρνητικών επιδράσεων των δονήσεων από τις διενεργούμενες εκρήξεις κατά την παραγωγική διαδικασία. Τα αποτελέσματα των δοκιμών στρεπτικής ροπής φαίνονται στα σχήματα 3 και 4, που παριστάνουν τη μεταβολή της εντατικής κατάστασης των κοχλιών σε συνάρτηση με την απόστασή τους από τα μέτωπα προχώρησης και γενικότερα τη χρονική εξέλιξη αυτής.

4.3. ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΥ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΣΤΡΕΠΤΙΚΗΣ ΡΟΠΗΣ

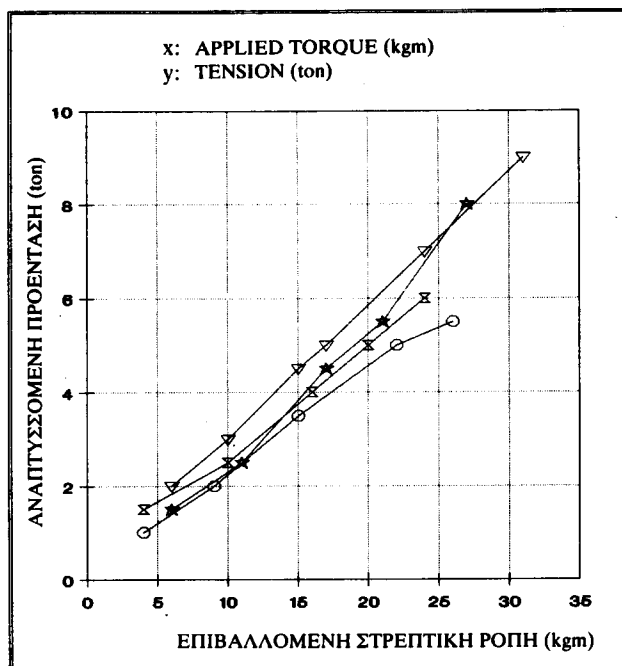
Σε μια προσπάθεια συσχετισμού της στρεπτικής ροπής που ασκείται στον κοχλία σημειακής αγκύρωσης με την αναπτυσσόμενη προέντασή του, διεξήχθησαν τέσσερις δοκιμές σε κοχλίες που τοποθετήθηκαν με αερόκλειδο και με χειρόκλειδο και που χαρακτηρίζονταν από καθαρά και από ακάθαρτα σπειρώματα, αντίστοιχα για την κάθε περίπτωση. Τα σχήματα 5 και 6, παριστάνουν την αναπτυσσόμενη προένταση στη ράβδο για την αντίστοιχη τιμή της ασκούμενης στρεπτικής ροπής, για τους συγκεκριμένου τύπου κοχλίες που δοκιμάστηκαν υπό τις δεδομένες συνθήκες.

4.4. ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΕΠΙΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

Η εν λόγω δοκιμή, διεξήχθη επί ενός κοχλία αναπτυσσόμενου κελύφους μήκους 2,40 m, για να εξυπηρετήσει κυρίως τη σύγκριση και την αντιστοιχισή των εκ των κατασκευαστών προτεινόμενων τιμών προέντασης - σύσφιγξης, με τις επί τόπου προσδιορισθείσες και πραγματικά αναγκαίες τιμές των πιο πάνω παραμέτρων, προς εξασφάλιση της βέλτιστης ποιότητας αγκύρωσης.

Κατά την εκτέλεση της δοκιμής, προσμετρήθηκε η επιβαλλόμενη στρεπτική ροπή στον κοχλία, η οποία και θεωρείται ως έμμεση ένδειξη της αναπτυσσόμενης προέντασης, εξαιτίας κυρίως της ταχύτητας και της ευκολίας προσδιορισμού της, δια του διατιθέμενου ροπομέτρου.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής, φαίνονται στο σχήμα 7, που παριστάνει την διείσδυση της σφήνας εντός των σιαγόνων της αγκυροκεφαλής, ή με άλλα λόγια, την ανάπτυξη του κελύφους σε συνάρτηση με την βαθμιαία προκαλούμενη αύξηση της στρεπτικής ροπής.



ΣΧΗΜΑΤΑ 5 & 6: Δοκιμές συσχετισμού προέντασης και στρεπτικής ροπής.

▽ : Επιβολή στρ. ροπής με αερόκλειδο. Καθαρά σπειρώματα.

☆ : Επιβολή στρ. ροπής με αερόκλειδο. Ακάθαρτα σπειρώματα.

⋈ : Επιβολή στρ. ροπής με χειρόκλειδο. Καθαρά σπειρώματα.

○ : Επιβολή στρ. ροπής με χειρόκλειδο. Ακάθαρτα σπειρώματα.

FIGURES 5 and 6: Torque - tension relationships, for 2,40 m length expansion shell rockbolts.

▽ : Torque applied by compressed air wrench. Clean threads.

☆ : Torque applied by compressed air wrench. Rusty threads.

⋈ : Torque applied by hand held wrench. Clean threads.

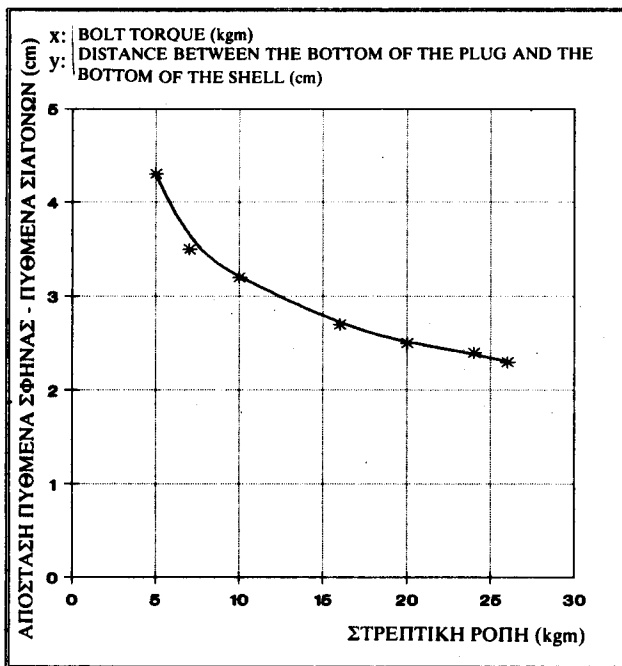
○ : Torque applied by hand held wrench. Rusty threads.

4.5. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΚΟΧΛΙΩΜΕΝΗΣ ΟΡΟΦΗΣ

Η διάταξη προσδιορισμού των οριζοντίων παραμορφώσεων της ασβεστολιθικής οροφής που είχε υποστηριχθεί με κοχλίες, τοποθετήθηκε στη διασταύρωση διευθυντικής στοάς του κοιτάσματος με δύο στοές περιχάραξης, η οποία θρισκόταν στη γειτονία αρκετά μεγάλου καρστικού εγκοίλου.

Η περιοχή αυτή επιλέχθηκε ακριβώς για να διαπιστωθεί το τελικό αποτέλεσμα υποστήριξης που παρέχει το μέχρι τώρα εφαρμοζόμενο σύστημα κοχλίωσης, σε «δύσκολες» περιοχές από πλευράς συγκέντρωσης τάσεων.

Η διάταξη μέτρησης απείχε 17 m και 11 m αντίστοιχα, από τα μέτωπα των δύο στοών περιχάραξης, εκ των οποίων η πρώτη είχε τακτικές ημερήσιες προχωρήσεις καθ' όλη την διάρκεια των μετρήσεων, ενώ η δεύτερη είχε τακτικές προχωρήσεις με-



ΣΧΗΜΑ 7: Δοκιμή καθορισμού ελάχιστης επιβαλλόμενης στρεπτικής ροπής. Το διάγραμμα παριστάνει την διείσδυση της σφήνας του κελύφους εντός των σιαγόνων, σε σχέση με την βαθμιαία προκαλούμενη αύξηση της στρεπτικής ροπής επί κοχλία σημειακής αγκύρωσης μήκους 2,40 μέτρων.

FIGURE 7: Determination of minimum applied torque for achieving the most effective anchorage.

τά την εικοστή δεύτερη ημέρα μέτρησης, εξαιτίας λειτουργικών λόγων της εκμετάλλευσης.

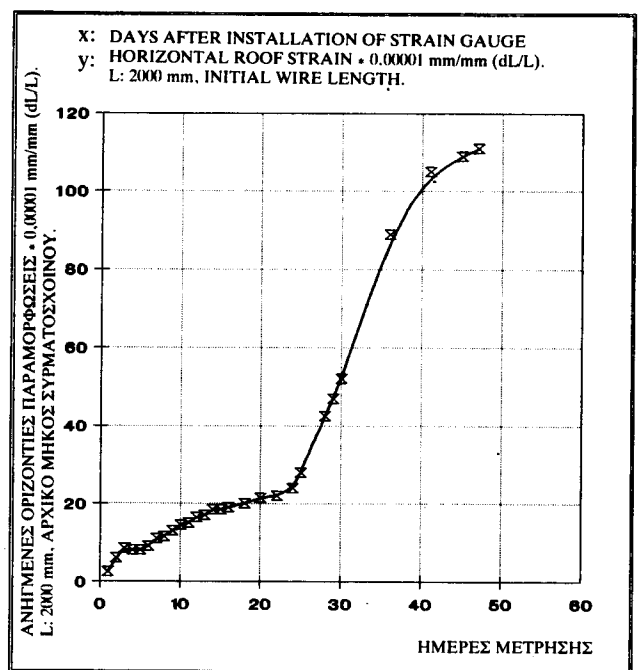
Το σχήμα 8, παρουσιάζει τα αποτελέσματα της μέτρησης των οριζοντίων παραμορφώσεων, της εν λόγω κοχλιωμένης ασβεστολιθικής οροφής, η οποία (μέτρηση) κάλυψε χρονική διάρκεια 47 ημερών.

5. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

α) Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα των δοκιμών αποσπάσεως των κοχλιών που ελέγχθηκαν, σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, πριν ακόμη λάβει χώρα οποιαδήποτε επιμήκυνση του συστήματος, σημειώνεται αρχικό φορτίο της τάξης των 2-4 τόνων.

Οι μέσες μετατοπίσεις στην περιοχή κανονικής λειτουργίας των κοχλιών ήταν 10-20 cm. Εξάλλου, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι σε καμία περίπτωση εξολκεύσεως δεν παρουσιάσθηκε καταστροφή του σπειρώματος ή της αγκυροκεφαλής. Αντίθετα, σε όλες τις δοκιμές, έλαβε χώρα απότομη — και σπανιότερα σταδιακή— ολίσθηση του συστήματος, εντός του διατρήματος, υπό φορτία της τάξης των 11-12 τόνων.

Όλα τα προηγούμενα χαρακτηριστικά των υπό δοκιμή κοχλιών, αποδεικνύουν την πολύ καλή συμπεριφορά αυτών κατά την ανάληψη ισχυρών φορτίων.



ΣΧΗΜΑ 8: Μετρήσεις των οριζοντίων παραμορφώσεων κοχλιωμένης ασβεστολιθικής οροφής σε σχέση με την πάροδο του χρόνου, υπό την ταυτόχρονη προχώρηση δύο γειτονικών μετώπων (το δεύτερο μετά την 22α ημέρα από την έναρξη των μετρήσεων).

FIGURE 8: Measurements of horizontal bolted roof strain and the process of roof stability under simultaneous advance of two nearby faces (the second one after the 22nd day of measurements).

β) Η πειραματική εξίσωση, που συνδέει —υπό τις συγκεκριμένες και μόνο συνθήκες οροφής και συστήματος κοχλίωσης— την στρεπτική ροπή (σύσφιξη) του κοχλία με την απόσταση αυτού από το μέτωπο προχώρησης της υπόγειας εκσκαφής, με τον καλύτερο συντελεστή προσαρμογής ($R = 0,774$), σε σύγκριση με άλλα τυπικά μοντέλα εξισώσεων που δοκιμάσθηκαν κατά τις μετρήσεις που διεξήχθησαν, είναι η ακόλουθη:

$$Y = a + bX + cX^2 = 18,70 - 15,30 X + 0,05 X^2$$

όπου, Y η στρεπτική ροπή του κοχλία (kgm)

X η απόσταση του κοχλία από το μέτωπο προχώρησης (m)

Υπενθυμίζεται, ότι ο συντελεστής προσαρμογής R αποτελεί ένα δείκτη προσέγγισης (ομοιομορφίας) της γραφικής παράστασης των πειραματικών δεδομένων προς αυτές των τυπικών μαθηματικών συναρτήσεων, με τις οποίες υπάρχει δυνατότητα σύγκρισης.

Ας σημειωθεί, ότι οι ελαφρές αυξομειώσεις που παρατηρούνται στα αντίστοιχα διαγράμματα, οφείλονται στην πρακτικά αναπόφευκτη μικρή σύσφιξη που προκαλείται κατά τις μετρήσεις με το διατιθέμενο ροπόμετρο.

γ) Όπως φαίνεται από τα πειραματικά διαγράμματα συσχετισμού της επιβαλλόμενης στρεπτικής

ροπής και της αναπτυσσόμενης προέντασης των δοκιμασθέντων κοχλιών, η κλίση της γραμμής είναι μεγαλύτερη για κοχλίες με καθαρό και μη οξειδωμένο σπείρωμα, υπό την ίδια διάταξη επιβολής στρεπτικής ροπής. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο μειωμένο συντελεστή τριβής μεταξύ των σπειρωμάτων των ράβδων των κοχλιών.

Από τα ίδια διαγράμματα, συνάγεται το συμπέρασμα, ότι οι κλίσεις των ευθειών που αντιστοιχούν σε κοχλίες τοποθετημένους με αερόκλειδο, υπερβαίνουν τις κλίσεις εκείνων που αντιστοιχούν σε τοποθέτηση με χειρόκλειδο. Το γεγονός αυτό, οφείλεται ενδεχομένως στο ότι τα αερόκλειδα που λειτουργούν με πεπιεσμένο αέρα, επιβάλλουν την ίδια τιμή στρεπτικής ροπής σε πολύ μικρότερο χρόνο (με περισσότερες στροφές ανά μονάδα χρόνου) ασκώντας παράλληλα ελαφρές κρούσεις λόγω της εκτόνωσης του πεπιεσμένου αέρα, επιτυγχάνοντας κατά αυτό τον τρόπο υψηλότερο συντελεστή ανάπτυξης προέντασης για δεδομένη τιμή στρεπτικής ροπής, σε σύγκριση με τα χειρόκλειδα.

Η γενική πειραματική εξίσωση, που συνδέει –υπό τις δεδομένες συνθήκες– την επιβαλλόμενη στρεπτική ροπή κατά την τοποθέτηση του κοχλία με την αναπτυσσόμενη προένταση, και δίνει τον βέλτιστο συντελεστή προσαρμογής ($R = 0,976$), είναι η ακόλουθη

$$Y = a \cdot X^b = 0,34 \cdot X^{0,9} = 0,34 X$$

όπου, Y το φορτίο προέντασης του κοχλία (t)

X η επιβαλλόμενη κατά την τοποθέτηση του κοχλία στρεπτική ροπή (kgm)

δ) Η δοκιμή επανασύσφιγξης δύο δεδομένων ομάδων κοχλιών, επί της ίδιας στοάς, αλλά σε διαφορετικές αποστάσεις αυτών από το μέτωπο προχώρησης, έγινε για να διαπιστωθεί η βέλτιστη εκείνη απόσταση, κατά την οποία, η εκ νέου επιβολή στρεπτικής ροπής στους ήδη τοποθετημένους κοχλίες, θα δώσει τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα σε σχέση με την προχώρηση του μετώπου.

Όπως φαίνεται, από το αντίστοιχο διάγραμμα, η επανασύσφιγξη των κοχλιών που απέχουν 10 m από το μέτωπο είναι και η πλέον αποτελεσματική, καθώς με βάση τις διεξαχθείσες μετρήσεις, η σύσφιξη τους παραμένει ουσιαστικά σταθερή, σε αντίθεση με την επανασύσφιγξη στα 6 m από το μέτωπο, όπου οι κοχλίες συνεχίζουν να υφίστανται την αρνητική επίδραση των δονήσεων από τις εκρήξεις.

ε) Με βάση το πειραματικό διάγραμμα της δοκιμής προσδιορισμού, για τις συγκεκριμένες συνθήκες πετρώματος και κοχλία, συνάγεται το συμπέρασμα ότι στρεπτική ροπή κατά την τοποθέτηση, της τάξης των 20 - 25 kgm ή, εναλλακτικά, αναπτυσσόμενη προένταση της τάξης των 4 - 6 τόννων, οδηγεί

πρακτικά στη μέγιστη δυνατή διείδωση της σφήνας της αγκυροκεφαλής εντός του κελύφους και συνεπώς στη μέγιστη δυνατή ανάπτυξη του, προς επίτευξη της βέλτιστης αγκύρωσης.

ζ) Οι μετρήσεις των οριζοντίων παραμορφώσεων της κοχλιωμένης ασβεστολιθικής οροφής, παρ' ότι διεξήχθησαν σε σχετικά «δύσκολη» περιοχή εντός του κοιτάσματος, απέδειξαν την αποτελεσματική δράση του συστήματος κοχλίωσης, που φέρει ως άμεσο αποτέλεσμα τη σημαντική ανάσχεση και επιβράδυνση των παραμορφώσεων εντός της δεδομένης υπόγειας εκσκαφής, ακόμα και υπό δυσμενείς συνθήκες τασικού πεδίου. Οι σημειούμενες οριζόντιες παραμορφώσεις, δεν υπερέβησαν τα 0,0002 mm/mm σε διάστημα είκοσι ημερών και υπό συνθήκες προχώρησης της μίας εκ των δύο στοών, όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα.

Υπό συνθήκες ταυτόχρονης προχώρησης και των δύο στοών περιχάραξης (μετά την εικοστή ημέρα μέτρησης), παρ' όλη τη σχετικά απότομη αύξηση της καμπύλης των ανηγμένων οριζοντίων παραμορφώσεων, και πάλι αυτές δεν υπερέβησαν τα 0,0011 mm/mm , αποδεικνύοντας τις αρκετά ικανοποιητικές συνθήκες υποστήριξης που παρέχουν οι κοχλίες σημειακής αγκύρωσης στην συγκεκριμένη ασβεστολιθική οροφή.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί, ότι η μέτρηση των οριζοντίων παραμορφώσεων, με βάση την παραπάνω τεχνική, φαίνεται να αποτελεί ένα περισσότερο άμεσο και αξιόπιστο δείκτη της συμπεριφοράς της οροφής και της δράσης των κοχλιών, ενώ παράλληλα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως κριτήριο διαπίστωσης επισφαλών συνθηκών οροφής.

Πιο συγκεκριμένα, η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε, περιορίζει τις παρερμηνείες των αποτελεσμάτων, σε αντίθεση με την τεχνική ελέγχου της εντατικής κατάστασης των κοχλιών σε δεδομένη οροφή, τα αποτελέσματα της οποίας συχνά αμφισβητούνται, όταν συσχετίζονται με την σταθερότητα του πετρώματος που υποστηρίζουν. Αναλυτικότερα, το φορτίο κοχλία που αντιτίθεται σε ενδεχόμενη αύξηση των παραμορφώσεων της οροφής, αναμένεται να αυξάνει. Σε περίπτωση όμως, που σημειωθεί κάμψη της οροφής εξαιτίας ολισθήσεων των σημείων αγκύρωσης των κοχλιών, τα φορτία αυτών θα μειωθούν σημαντικά. Το γεγονός αυτό αποτελεί ενδεχομένως ένδειξη που μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα για την συμπεριφορά του πετρώματος και του κοχλία.

Αντίθετα, οι οριζόντιες παραμορφώσεις, θα σημειώνονται πάντα, αποδεικνύοντας άμεσα την συμπεριφορά και την εντατική κατάσταση της οροφής που κοχλιώθηκε.

1. FAIRHURST, C. and SINGH, B.: "Roof bolting in horizontally laminated rock", *Engineering and Mining Journal*, Feb. 1974.
2. HANNA, T.H.: "Foundations in tension ground anchors", *Trans Tech Publications, Clausthal, Germany* 1982.
3. HELFRICH, H.K.: "The durability of rock bolts", *World Mining Equipment*, Apr. 1990.
4. ΚΟΡΩΝΑΚΗΣ, Ν.Ι.: «Μελέτη υποστηρίξεων υπογείων εκσκαφών δια κοχλιώσεως», *Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., ΑΘΗΝΑ* 1990.
5. LANG, T.A.: "Theory and practice of rock bolting", *Trans. Soc. Min. Engrs, AIME*, 1961.
6. ΟΙΚΟΝΟΜΟΠΟΥΛΟΣ, Ι.Ν.: «ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΙΣ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΙΣ», ΑΘΗΝΑΙ 1985.
7. ΟΙΚΟΝΟΜΟΠΟΥΛΟΣ, Ι.Ν.: «Μια γενική θεώρηση των συστημάτων υποστηρίξεως των υπογείων εκσκαφών δια κοχλιώσεως», *ΟΡΥΚΤΟΣ ΠΛΟΥΤΟΣ*, τ.45, 1986.
8. ΟΙΚΟΝΟΜΟΠΟΥΛΟΣ, Ι.Ν. και ΣΟΛΩΜΟΣ, Δ.: «Η επίδραση των παραγομένων από τις εκρήξεις δονήσεων στην αποτελεσματικότητα της κοχλιώσεως της οροφής», *ΟΡΥΚΤΟΣ ΠΛΟΥΤΟΣ*, τ.21, 1982.
9. SCHACH, R., GARSHOL, K. and HELTZEN, A.M.: "Rock bolting -A practical handbook", *OXFORD, PERGAMON PRESS*, 1979.
10. STILLBORG, S.: "Professional users handbook for rock bolting", *Trans Tech Publications*, 1986.
11. SUNDHOLM, S.: "The quality control of rock bolts", *6th International Congress on Rock Mechanics, Montreal* 1987.

SUMMARY

METHODS AND CONTROL TESTINGS FOR EXAMINING THE PERFORMANCE OF ROOF BOLTING SYSTEMS IN UNDERGROUND MINING

Dr. John N. Economopoulos*
Nick J. Koronakis**

This paper presents the most usual methods and types of control testing of roof bolting systems in underground mining. They must be used for the evaluation of the bearing capacity and the deeper understanding of the nature of parameters, that influence the performance of the bolting systems, as well as for the right choice of the most appropriate bolt type, under the prevailing rock properties and also the general characteristics of the underground activity.

There are a number of testing methods available to control the quality of an installed bolt: Expansion shell point anchored rockbolts are usually tested by pull out tests, torque wrench, load cell and relative displacement measurements. Grouted steel bars or cables are tested by pull out tests too, as well as by overcoring and electronic non destructive testing. Friction anchored rockbolts are controlled by pull out tests, overcoring and indirect non destructive testing.

Furthermore, a detailed process -as complete as possible- for examining roof bolting point anchored systems, is described. For this purpose some suitable techniques and testings -some of them executed for the first time in a Greek underground mine- are discussed.

The roof bolts tested, manufactured by ELBROC, were point anchored (expansion shell type) in a limestone hangingwall of a bauxite mine, owned by the GREEK HELICON BAUXITES - G.L. BARLOS Industrial & Mining Co S.A.

The diameter of the high tensile steel bolt rod was 16 mm and the lengths tested were 1.80 m, 2.10 m and 2.40 m. The expansion shells (type BL1635) showed an excellent behaviour in drillholes with a diameter between 35mm and 39mm.

The bearing plates, were square shaped of the domed type (HS2050), with hemispherical seatings, allowing a maximum deviation angle of 30°.

The most important conclusions and results drawn, are the following:

- 1) Sixteen pull out tests executed at the mine, in all types of roof bolts used there, showed that before any elongation of the bolt had taken place, an initial bolt load of 2-4 tonnes was measured.
- 2) The average bolt elongation of the bolts was about 10-20 cm, in the area of normal performance.
- 3) In all the pull out tests, a gradual slipping of the bolt took

place, under loads of 11-12 tonnes. It was actually noticeable that no one absolute bolt failure occurred.

4) The torque-tension relationship for all types of bolts tested showed that their performance is much better for clean and lubricated compared to oxidised and rusty threads. The results are also much better when the torque is applied by a compressed air wrench than a hand held one. The general experimental equation among the bolt load (Y) and the applied torque (X) is the following:

$$Y = aX^b = 0,34X^{0,7} \approx 0,34X$$

5) The general experimental equation among the residual torque (Y) of the bolt and its distance from face (X), is the following:

$$Y = a + bX + cX^2 = 18,70 - 15,30X + 0,05X^2$$

6) The retorquing of two bolt groups under the same conditions, in different distances from face, was executed in order to determine the best distance from face, where the shock waves from the nearby explosions actually don't influence the bolt performance. It was found to be 10 m under the specific conditions.

7) The minimum applied torque necessary to give the most effective expansion in the shell was found to be 20-25 Kgm which corresponds to a necessary bolt tension during the placement of 4-6 tonnes for the exact bolt type and the current rock properties.

8) In conjunction with all the tests described above, a field measurement technique which was intended to evaluate the bolted roof stability was executed. The measurements lasted for more than one month. The technique consisted of determining the horizontal roof strain across the opening, between a pair of roof bolts, installed as a part of the general support, because roof strain is believed to be more meaningful as an index of roof behaviour. The measurements showed the very good limestone roof behaviour and proved the excellent performance of the roof bolt system used at the underground mine, for its support needs.

All the tests described above have already set the necessary experimental background for further research. The next step consists of the analytical data processing, using rock mechanics theory, in order to establish a new roof bolting system at the mine, with a much lower cost.

In conclusion, the effectiveness of a rock bolting system used in an underground project depends absolutely on essential in situ control testings of the bolts executed by well trained personnel. That's the only way for the mining engineer to gain confidence in the final reinforcement result.

Παραλαβή εργασιών:

— αρχική από τον συγγραφέα στις 5.2.91

— τελική από την Κριτική Επιτροπή στις 25.2.91

* Professor, National Technical University of Athens

** Mining Engineer - Metallurgist

Manuscript received from:

— the author on 5.2.91

— the Review Committee on 25.2.91