

Μηχανισμοί δράσης και φέρουσα ικανότητα κοχλιών.

Rock bolt performance mechanisms and ultimate capacity.

ΚΑΡΙΝΑΣ, Α.Γ.

ΟΙΚΟΝΟΜΟΠΟΥΛΟΣ, Ι.Ν.

ΣΟΦΙΑΝΟΣ, Α.Ι.

ΚΟΡΩΝΑΚΗΣ, Ν.Ι.

Μεταλλειολόγος Μηχανικός, Υπ. Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

Μεταλλειολόγος Μηχανικός, τ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Πολιτικός Μηχανικός, Επικ. Καθηγητής, Ε.Μ.Π.

Μεταλλειολόγος Μηχανικός, Υπ. Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Η επιλογή του πιο κατάλληλου για τις συναντώμενες επί τόπου συνθήκες βραχόμαζας τύπου κοχλία ως και των τεχνικών χαρακτηριστικών του προϋποθέτει την επαρκή γνώση των μηχανισμών δράσης επί του πετρώματος και της φέρουσας ικανότητάς του. Στην παρούσα εργασία εξετάζονται οι μηχανισμοί δράσης των περισσότερο διαδεδομένων συστημάτων κοχλίωσης που εφαρμόζονται σε υπόγεια μεταλλευτικά έργα. Επίσης, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εκτεταμένων μετρήσεων και δοκιμών ελέγχου, βάσει των οποίων αξιολογείται η φέρουσα ικανότητα των κοχλιών αυτών και εξάγονται σχετικά συμπεράσματα.

SYNOPSIS : The choice of the most appropriate rock bolt type and the rock bolt technical characteristics for the encountered in situ rock mass conditions presupposes the sufficient knowledge of their performance mechanisms and their ultimate bearing capacity. In the present paper the performance mechanisms of the most common rock bolt systems applied in underground mines are presented. Additionally, the results of extensive in situ tests and measurements are given, from which the ultimate capacity of the rock bolts is evaluated and pertinent results are drawn.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα συστήματα κοχλίωσης εφαρμόζονται εν γένει με σκοπό τη διατήρηση της μορφής και του μεγέθους, δηλαδή της γεωμετρίας των υπογείων έργων, υποστηρίζοντας τη βραχόμαζα και περιορίζοντας το μέγεθος των συγκλίσεων. Τα ανωτέρω επιτυγχάνονται αφενός με τη βελτίωση της ικανότητας του ίδιου του πετρώματος να παραλαμβάνει φορτία μέσω συγκεκριμένων μηχανισμών δράσης των κοχλιών και αφετέρου δι' εκτονώσεως των αναπτυσσομένων πιέσεων, όταν αυτές γίνονται αρκετά υψηλές, ελέγχοντας έτσι την εκδήλωση των συγκλίσεων και της χαλάρωσης. Στα επόμενα εξετάζονται οι μηχανισμοί δράσης και η φέρουσα ικανότητα των κοχλιών αναπτυσσομένου κελύφους ως και των κοχλιών ρητίνης που εφαρμόζονται εκτεταμένα σε υπόγεια μεταλλευτικά έργα του Ελλαδικού χώρου. Βεβαίως, οι εν λόγω μηχανισμοί διατυπώνονται αναλυτικά σε αρκετά

συγγράμματα που αφορούν στην υποστήριξη υπογείων έργων, ωστόσο όμως κρίνεται σκόπιμη η σύντομη παρουσίασή τους αφενός προς κατατοπισμό των μη απολύτως εξειδικευμένων μηχανικών οι οποίοι όμως ασχολούνται με τα υπόγεια έργα, και αφετέρου προς πληρέστερη κατανόηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών που διενεργήθηκαν.

Όπως είναι προφανές, ο μηχανισμός δράσης του κάθε τύπου κοχλία διαφοροποιείται ως προς το μηχανισμό δράσης των υπολοίπων, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία εντάσσεται, με αποτέλεσμα το κάθε σύστημα κοχλίωσης να παρουσιάζει πιο αποτελεσματική και αποδοτική συμπεριφορά σε ορισμένα πετρώματα. Η εν λόγω διαφοροποίηση ως προς τη συμπεριφορά οφείλεται στο γεγονός ότι οι μηχανισμοί με τους οποίους ο κοχλιάς επιδρά επί του πετρώματος έχουν σχεδιαστεί λαμβάνοντας υπόψη τα εν γένει χαρακτηριστικά συγκεκριμένης δομής

πετρωμάτων, με στόχο να συνδυάζονται και να αλληλεπιδρούν με αυτά κατά το βέλτιστο δυνατό τρόπο. Ωστόσο, εξαιτίας εσφαλμένων επιλογών και σχεδιασμού ή συχνότερα εξαιτίας της δράσης ορισμένων αστάθμητων ή/και απροσδιόριστων παραγόντων, επισυμβαίνουν αστοχίες στα συστήματα κοχλίωσης.

2. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΡΑΣΗΣ

2.1 Κοχλίες σημειακής αγκύρωσης.

Στην εν λόγω κατηγορία κοχλιών εντάσσονται οι κοχλίες αναπτυσσομένου κελύφους καθώς επίσης και οι κοχλίες οι οποίοι αγκυρώνονται σε τμήμα μόνο (προς τον πυθμένα) του διατρήματος, με ρητίνη. Εφόσον οι τελευταίοι τοποθετούνται με περιορισμένη ποσότητα ρητίνης ώστε να αγκυρώνονται σε μικρό μήκος του στελέχους στον πυθμένα του διατρήματος, με αποτέλεσμα να υφίσταται σημαντικό ελεύθερο μήκος στελέχους, τότε για το μη αγκυρωμένο τμήμα του κοχλία ο μηχανισμός δράσης μπορεί να θεωρηθεί ίδιος με αυτόν των κοχλιών αναπτυσσομένου κελύφους. Στο τμήμα του στελέχους το οποίο αγκυρώνεται με τη βοήθεια της ρητίνης, ο μηχανισμός δράσης μπορεί να θεωρηθεί επίσης ότι είναι ίδιος με αυτόν των κοχλιών που αγκυρώνονται σε όλο τους το μήκος που εξετάζεται στη συνέχεια. Κατά συνέπεια, οι κοχλίες ρητίνης που αγκυρώνονται σε τμήμα τους μόνο θα εξετασθούν ως προς τον τρόπο δράσης τόσο στην παρούσα παράγραφο, όσο και στην επόμενη η οποία αφορά στους κοχλίες ρητίνης που αγκυρώνονται σε όλο τους το μήκος.

Οι κοχλίες σημειακής αγκύρωσης χρησιμοποιούνται κυρίως για την υποστήριξη υπόγειων εκσκαφών που ορύσσονται εντός στρωσιγενών πετρωμάτων. Κατά την όρυξη, οι άμεσες στρώσεις της οροφής παρουσιάζουν την τάση να χαλαρώσουν και να διαχωριστούν από την υπόλοιπη μάζα του πετρώματος εκδηλώνοντας συγκλίσεις και σχηματίζοντας βέλος κάμψης. Η εγκατάσταση κοχλιών σημειακής αγκύρωσης παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου της εν λόγω τάσης και περιορισμού στο ελάχιστο δυνατό της χαλάρωσης του πετρώματος. Δεδομένου ότι οι κοχλίες σημειακής αγκύρωσης δρούν στο πέτρωμα μέσω δύο "σημείων" (περιοχές των άκρων) τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με το μεταλλικό στέλεχος, θεωρείται ότι λειτουργούν ως ισχυρά ελατήρια. Η δράση των εν λόγω κοχλιών

ενεργοποιείται άμεσα αφού πρόκειται για προεντεταμένα - ενεργητικά - συστήματα.

Κατά τη συστηματική εξέταση και περιγραφή του μηχανισμού δράσης των κοχλιών σημειακής αγκύρωσης, διακρίνονται δύο περιπτώσεις: α) υπεράνω των στρώσεων του πετρώματος της άμεσης οροφής και σε κατάλληλο βάθος υφίσταται στρώση πετρώματος υψηλών τιμών μηχανικών ιδιοτήτων και πάντως ικανού πάχους ώστε να έχει τη δυνατότητα να αναλάβει πρόσθετα φορτία, πέρα από αυτά που αναλαμβάνει ήδη (Σχήμα 1α (Stilborgh, 1986)) και β) δεν υφίσταται η εν λόγω στρώση, αλλά η οροφή της εκσκαφής συνίσταται από μια αλληλουχία λεπτών σχετικά στρώσεων (Σχήμα 1β (Stilborgh, 1986)). Σε συνδυασμό με τις ανωτέρω περιπτώσεις εξετάζεται και η δυνατότητα τοποθέτησης των κοχλιών με ή χωρίς αρχική προένταση.

Στην περίπτωση (α) και εφόσον στον κοχλία δεν έχει επιβληθεί αρχική προένταση είναι απαραίτητο η αγκύρωση του να γίνει εντός της υπερκείμενης παχιάς στρώσης, η οποία θα πρέπει να βρίσκεται σε τέτοιο βάθος υπεράνω της οροφής της εκσκαφής ώστε να μην επηρεάζεται από τη χαλάρωση της βραχώμαζας. Ο μη προεντεταμένος κοχλίας ενεργοποιείται αμέσως μόλις αρχίσει το πέτρωμα να χαλαρώνει. Το βάρος των χαλαρωμένων στρώσεων δρα επί της πλάκας συγκράτησης και δια μέσου του στελέχους μεταβιβάζεται στη θέση αγκύρωσης και κατ'επέκταση στη συμπαγή και ικανού πάχους στρώση πετρώματος. Με την εξέλιξη του επιβαλλόμενου φορτίου αναπτύσσονται από τον κοχλία δυνάμεις αντίδρασης, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την ανάσχεση των συγκλίσεων και των παραμορφώσεων που αρχίζουν να εκδηλώνονται μετά από τη δημιουργία της εκσκαφής. Ουσιαστικά, κατά τον εν λόγω τρόπο δράσης των κοχλιών αγκυρούμενου άκρου, οι στρώσεις του πετρώματος αναρτώνται με το σύνολο των κοχλιών από υπερκείμενη στρώση πετρώματος. Η δράση των εξεταζομένων κοχλιών επεκτείνεται όταν κατά την τοποθέτησή τους επιβάλλεται και αρχική προένταση. Υπό αυτές τις συνθήκες ο κοχλίας δεν δρα παθητικά ώστε να εκκινήσει η ενεργοποίησή του με τη χαλάρωση των στρώσεων του πετρώματος, αλλά τελεί ήδη σε «λειτουργία» με την τοποθέτησή του. Στην εν λόγω περίπτωση γίνεται καταρχήν ανάρτηση του πετρώματος, ενώ συγχρόνως

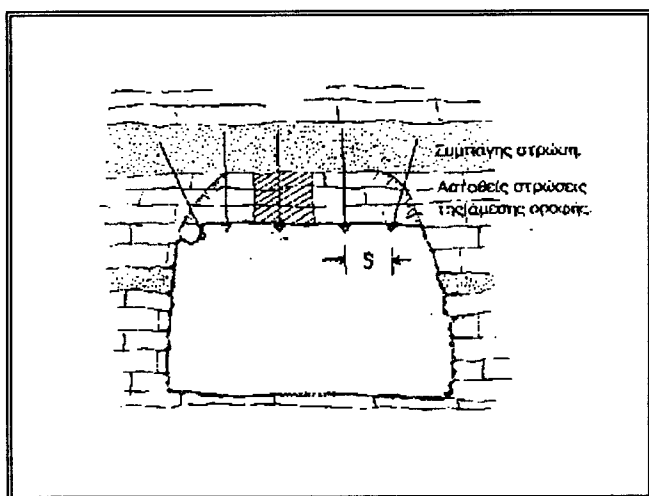
επιτυγχάνεται και η συνεργασία των επιμέρους στρώσεων προς σχηματισμό ενιαίας δοκού ή πλάκας. Η βελτιωμένη δράση των προεντεταμένων συστημάτων κοχλίωσης συνίσταται ουσιαστικά στην αύξηση της διατμητικής αντοχής και στην αντίσταση έναντι ολίσθησης επί των επιπέδων στρώσης αφού η κάθετη σε αυτή ασκούμενη δύναμη, η οποία οφείλεται στο φορτίο της αρχικής προέντασης, είναι πλέον μεγαλύτερη. Αυξάνεται η ικανότητα ανάληψης φορτίων από το ίδιο το πέτρωμα, δεδομένου ότι επιτυγχάνεται ενοποίηση των επιμέρους στρώσεων με αποτέλεσμα να δημιουργείται συμπαγής πλάκα πετρώματος υπεράνω της οροφής της εκσκαφής.

Οι συνθήκες αγκύρωσης στην περίπτωση (β) θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν δυσμενέστερες. Εάν εφαρμοσθούν κοχλίες σημειακής αγκύρωσης χωρίς αρχική προένταση, θα πρέπει να είναι σημαντικού μήκους, ώστε η αγκύρωση να επιτευχθεί εντελώς έξω από τη ζώνη του πετρώματος στην οποία θα προκληθεί χαλάρωση. Η εν λόγω απαίτηση συνεπάγεται ότι το μήκος του στελέχους του κοχλία θα είναι σχετικά μεγάλο, το κόστος υποστήριξης αυξημένο, ενώ η αποτελεσματικότητα της

πετρώματος, ορισμένου πάχους, υπεράνω της εκσκαφής, λαμβάνουν χώρα τόσο κατακόρυφες, όσο και οριζόντιες σχετικές κινήσεις κατά το επίπεδο των στρώσεων, οι οποίες συνεπάγονται την ανάπτυξη κατά περιοχές στο πέτρωμα εφελκυστικών και διατμητικών δυνάμεων. Υπ' αυτές τις συνθήκες οι προεντεταμένοι κοχλίες σημειακής αγκύρωσης δρουν περισσότερο αποτελεσματικά, όπως σημειώθηκε στα προηγούμενα.

2.2 Κοχλίες ολόσωμης πάκτωσης με ρητίνη.

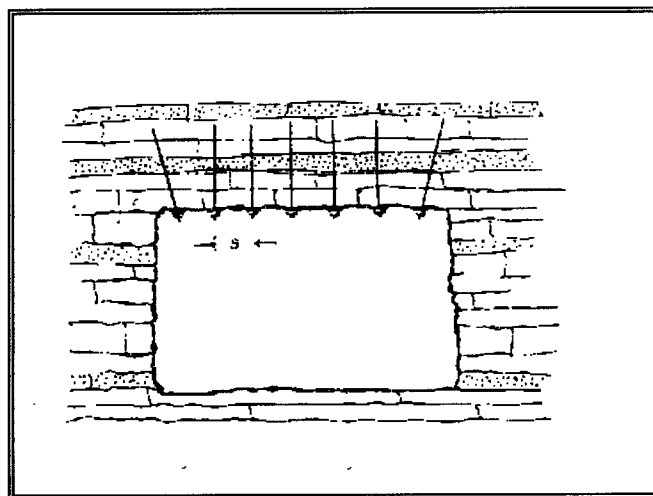
Οι εν λόγω κοχλίες ρητίνης δρουν κατά διαφορετικό τρόπο επί του πετρώματος σε σχέση με τον τρόπο δράσης των κοχλιών σημειακής αγκύρωσης. Ωστόσο, για τους κοχλίες ρητίνης που αγκυρώνονται σε τμήμα τους μόνο ισχύουν όσα αναφέρονται στην προηγούμενη παράγραφο. Ειδικότερα, εντελώς απλοποιημένα, μπορεί να θεωρηθεί ότι, εφόσον η δράση του κοχλία ενεργοποιείται στο ελεύθερο, μη πακτωμένο, μήκος της ράβδου, τότε οι μηχανισμοί δράσης είναι ανάλογοι αυτών που αφορούν στους κοχλίες σημειακής αγκύρωσης. Αντιθέτως, εάν η



Σχήμα 1 (α) Ανάρτηση στρώσεων από υπερκείμενη συμπαγή και επαρκούς πάχους στρώση.

Figure 1 (a) Suspension of lower thin beds from an above lying thick and intact stratum.

κοχλίωσης δεν εξασφαλίζεται με ικανοποιητική αξιοπιστία. Για τις υπόψη συνθήκες θεωρείται περισσότερο αποτελεσματική η εφαρμογή αρχικώς προεντεταμένων συστημάτων κοχλίωσης, τα οποία πλέον δρουν αποκλειστικά με τη δημιουργία δοκού ή πλάκας. Κατά τη χαλάρωση ζώνης



(β) Κοχλίωση στρώσεων προς σχηματισμό πλάκας.

(b) Strata bolting for the formation of a slab.

δράση του κοχλία ενεργοποιείται σε θέση που αντιστοιχεί στο αγκυρωμένο μήκος, τότε οι μηχανισμοί δράσης είναι ανάλογοι αυτών που θα περιγραφούν στη συνέχεια.

Οι εν λόγω κοχλίες βρίσκονται σε πλήρη επαφή με το πέτρωμα σε όλο τους το μήκος μέσω της μάζας της ρητίνης με το οποίο περιβάλλεται το στέλεχος του κοχλία. Εξαιτίας

αυτού, κατά την εκδήλωση μετακινήσεων στις στρώσεις της βραχώμαζας, σε οποιαδήποτε θέση κατά μήκος του κοχλίου, αναπτύσσονται επί της διεπιφάνειας των τοιχωμάτων του διατρήματος και της ρητίνης διατμητικές δυνάμεις, οι οποίες μεταβιβάζονται μέσω της διεπιφάνειας ρητίνης - στελέχους στον κοχλίο. Με τον εν λόγω μηχανισμό αναπτύσσονται από τον κοχλίο δυνάμεις αντίδρασης στις δυνάμεις που ασκούνται από τις μετακινήσεις του πετρώματος, με αποτέλεσμα να παρεμποδίζεται ο αποχωρισμός των στρώσεων του πετρώματος. Οι διατμητικές δυνάμεις οι οποίες αναπτύσσονται στη διεπιφάνεια μεταξύ της ρητίνης και του πετρώματος με την ανακατανομή των αναπτυσσόμενων τοπικά φορτίων, παρέχουν κύρια τη δράση για τη συγκράτηση του πετρώματος στη θέση του και την ανάσχεση περαιτέρω χαλάρωσης.

Η εκδήλωση των όποιων μετακινήσεων αντιμετωπίζεται επιτόπου και άμεσα, περιορίζοντας έτσι την επίδρασή της χαλάρωσης στις υποκείμενες στρώσεις. Θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι η κάθε μία στρώση υποστηρίζεται χωριστά. Για την περίπτωση πολλών λεπτών στρώσεων οι κοχλίες που αγκυρώνονται με ρητίνη σε όλο τους το μήκος επιτυγχάνουν αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα, δεδομένου ότι με την εφαρμογή των εν λόγω συστημάτων πραγματοποιείται συνεργασία των επιμέρους στρώσεων, προς σχηματισμό ενιαίας δοκού ή πλάκας, με βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά στο σύνολό της. Επιπροσθέτως, με την εφαρμογή των εν λόγω κοχλίων επιτυγχάνεται αύξηση της ικανότητας του πετρώματος να ανθίσταται στην εκδήλωση διατμητικών κινήσεων επί των επιπέδων στρώσης. Χάρη στους μηχανισμούς δράσης των κοχλίων αυτού του τύπου, περιορίζονται οι κατακόρυφες σχετικές κινήσεις μεταξύ των στρώσεων του πετρώματος, ενώ παρεμποδίζονται και οι οριζόντιες κινήσεις. Οι ανωτέρω μηχανισμοί δράσης των υπόψη κοχλίων δρουν συγχρόνως και συνδυασμένα στη βραχώμαζα, γεγονός το οποίο καθιστά δύσκολη τη διάγνωση σε κάθε περίπτωση του κυρίαρχου μηχανισμού και του βαθμού επίδρασης των υπολοίπων.

Εξαιτίας του ότι η δράση των υπόψη κοχλίων επί του πετρώματος είναι συνεχής και σε όλο το μήκος του διατρήματος, σε οποιαδήποτε θέση και αν εμφανιστεί αποκόλληση των στρώσεων από την

υπόλοιπη μάζα θα υπάρξει άμεση και "επιτόπου" επέμβαση του κοχλίου. Κάτι τέτοιο δεν υφίσταται στην περίπτωση των κοχλίων αγκυρούμενου άκρου οι οποίοι δρουν στο πέτρωμα μόνο μέσω δύο "σημείων".

Αναφορικά με την αρχική προένταση σε σχέση με τους κοχλίες ρητίνης που αγκυρώνονται σε όλο τους το μήκος σημειώνεται ότι το επιβαλλόμενο φορτίο μειώνεται προοδευτικά, σύμφωνα και με τη θεωρητική ανάλυση, εντός μικρού μήκους του αγκυρούμενου στελέχους. Κατά συνέπεια η δράση του εν λόγω μεγέθους στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι περιορισμένη, αν όχι αμελητέα. Η συνεισφορά της αρχικής προέντασης στην υποστήριξη της βραχώμαζας, εφόσον αυτή διενεργείται με κοχλίες ρητίνης που αγκυρώνονται σε όλο τους το μήκος, είναι ασήμαντη σε σχέση με τη συνεισφορά του ίδιου μεγέθους όταν εφαρμόζονται κοχλίες σημειακής αγκύρωσης. Επομένως, η επιβολή συστηματικής αρχικής προέντασης σε κοχλίες ολόσωμης πάκτωσης με ρητίνη δεν αποφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα, επιβαρύνοντας συγχρόνως τη διαδικασία της εγκατάστασής τους, εκτός εάν τοποθετηθεί στον πυθμένα του διατρήματος ρητίνη ταχύτερου χρόνου πήξης.

3. ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

3.1 Δοκιμές που εκτελέστηκαν.

Προκειμένου να αξιολογηθεί η συμπεριφορά των ανωτέρω τύπων κοχλίων με τα τεχνικά χαρακτηριστικά που εφαρμόζονται και να προσδιορισθεί η φέρουσα ικανότητά τους στις επί τόπου συνθήκες, προγραμματίστηκαν και εκτελέστηκαν κατάλληλες δοκιμές ελέγχου (Οικονομόπουλος & Κορωνάκης, 1992). Οι δοκιμές που διενεργήθηκαν ήταν δοκιμές εξόλκευσης και για την πραγματοποίησή τους χρησιμοποιήθηκε κατάλληλος εξοπλισμός του Εργαστηρίου Μεταλλευτικής Τεχνολογίας του Ε.Μ.Π., ο οποίος ικανοποιεί τις προδιαγραφές της Διεθνούς Ενώσεως της Μηχανικής των Πετρώματων (ISRM, (Brown, 1981)). Ο εν λόγω εξοπλισμός είναι κατασκευής ENERPAC, έχει δυνατότητα ανάπτυξης εφελκυστικού φορτίου έως 300kN. Η μέγιστη διαδρομή του εμβόλου του εξολκέα είναι 120mm.

Οι δοκιμές εξόλκευσης διενεργήθηκαν σε κοχλίες οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε

ασβεστολιθικά πετρώματα Τουρωνίου ηλικίας (Μέσο Κρητιδικό). Οι εν λόγω ασβεστόλιθοι είναι μαύροι, ρουδιστοφόροι, μικροκρυσταλλικοί με βιτουμενώδη οσμή κατά την θραύση τους. Επίσης, εξολκεύσεις διενεργήθηκαν σε υποκείμενους των προηγούμενων ασβεστολίθους Τιθωνίου - Κενομανίου ηλικίας, λευκού χρώματος, μακροκρυσταλλικούς και σχετικά παχυστρωματώδεις.

3.2 Κοχλίες αναπτυσσομένου κελύφους.

Σε κοχλίες αναπτυσσομένου κελύφους εκτελέστηκαν συνολικά 8 δοκιμές (Σχήμα 2α). Αρχικά διενεργήθηκε η όρυξη των διατρημάτων με ελαφριά διατρητική αερόσφουρα, κρουστικο-περιστροφική. Τα ορυσσόμενα διατρήματα ήταν μήκους 1.8m και 2.5m περίπου, διαμέτρου 36mm έως 40mm. Η διακύμανση στη διάμετρο της οπής οφείλεται σε ποικίλους παράγοντες, με σημαντικότερους την αδυναμία που παρουσιάζει ο εν λόγω εξοπλισμός διάτρησης να διατηρείται απόλυτα σταθερός κατά τη λειτουργία του ως και στη διακύμανση της σκληρότητας του πετρώματος κατά θέση.

Μετά από την όρυξη και τον καθαρισμό των διατρημάτων ακολουθούσε η διαδικασία τοποθέτησης των κοχλιών. Οι κοχλίες των δοκιμών είχαν διάμετρο 16 mm, μήκη 1.8m ή 2.1m και η διαμόρφωση του σώματος της ράβδου ήταν λεία ή ελικοειδής. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του χάλυβα υψηλής αντοχής ήταν κατά τον κατασκευαστή, τάση θραύσης 600MPa και τάση διαρροής 360MPa, ενώ η επιμήκυνση μετά τη θραύση ορίζεται περίπου στο 14% του αρχικού μήκους.

Οι κεφαλές αναπτυσσομένου κελύφους που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τύπου BL 1635 σύμφωνα με τον χαρακτηρισμό του κατασκευαστή (ELBROC), διπλής σιαγόνας με διάμετρο 35mm, ενώ το συνολικό μήκος τους ήταν 100mm. Το μήκος των σιαγόνων χωριστά, δηλαδή το μήκος του κελύφους το οποίο μετά την ανάπτυξή του εντός του διατρήματος θα ερχόταν σε επαφή με το πέτρωμα, ήταν 74mm. Η διάμετρος του διατρήματος εφαρμογής του αναπτυσσομένου κελύφους προτείνεται από τον κατασκευαστή να είναι μεταξύ 35mm και 40mm. Επίσης, οι πλάκες συγκράτησης οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκτέλεση των δοκιμών ήταν τετραγωνικές, θολοειδούς διαμόρφωσης στο κεντρικό τους τμήμα, τύπου

WC 1636 (ELBROC). Οι ακμές των εν λόγω πλακών ήταν 140mm και 150mm, ενώ το πάχος τους ήταν σε όλες τις περιπτώσεις 8mm. Οι πλάκες ήταν κατασκευασμένες, από χάλυβα U.T.S. 400MPa.

Το σύστημα κοχλίωσης συνοδευόταν και από καταλλήλου τύπου ημισφαίρια προσαρμογής και περικόχλια. Τα ημισφαίρια είχαν μέγιστη και ελάχιστη εξωτερική διάμετρο 50mm και 20mm αντίστοιχα, επιτρέποντας έτσι παρέκλιση της ράβδου του κοχλία από την κάθετο στο πέτρωμα μέχρι και 30°. Τα περικόχλια, τέλος, ήταν πάχους 150mm, ύψους 38mm και καταλλήλου σπειρώματος ώστε να συμφωνούν με το σπείρωμα της ράβδου του κοχλία.

Η τοποθέτηση των συστημάτων κοχλίωσης στην προκειμένη περίπτωση διενεργείτο χειρωνακτικά, ενώ η σύσφιξή τους γινόταν με αερόκλειδο ελαφράς κατασκευής, τύπου ATLAS COPCO LMS 44 - HR - 01, με δυνατότητα ανάπτυξης ροπής στρέψης της τάξης των 45kpm ή με χειροκίνητο κλειδί.

Υπό τις ανωτέρω συνθήκες εκτελέστηκαν δοκιμές εξόλκευσης, τα διαγράμματα των οποίων δίδονται στο Σχήμα 2α. Από τα αποτελέσματα των δοκιμών συνάγονται τα εξής :

Για φορτίο της τάξης των 80 έως 100kN επισυμβαίνει σημαντική παραμόρφωση η οποία αντιστοιχεί στην παραμόρφωση της πλάκας συγκράτησης. Για το εν λόγω φορτίο επιτρέπεται ουσιαστικά η έναρξη της χαλάρωσης των στρώσεων της άμεσης οροφής, θεωρώντας ότι το αναπτυσσομένο κέλυφος δεν ολισθαίνει για μικρότερα φορτία. Εάν, χρησιμοποιηθεί διαφορετικών ιδιοτήτων πλάκα συγκράτησης τότε το κρίσιμο φορτίο για το οποίο θα παρατηρηθεί το ανωτέρω φαινόμενο θα διαφέρει ως προς την τιμή.

Το μέγιστο φορτίο στο οποίο παρατηρείται αστοχία των εν λόγω κοχλιών, με την εκδήλωση σημαντικής μήκυνσης, κυμαίνεται μεταξύ των 100 και 120kN, με ορισμένες μόνο αποκλίσεις. Αξιοσημείωτο γεγονός αποτελεί η αστοχία ενός εκ των δοκιμασθέντων κοχλιών με θραύση της ράβδου κοχλίωσης στην περιοχή του σπειρώματος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το μέγιστο φορτίο ανήλθε στα 145kN, τιμή αρκετά υψηλότερη από αυτή για την οποία παρατηρήθηκε αστοχία των περισσότερων κοχλιών. Το εν λόγω στοιχείο υποδηλώνει ότι τα χαρακτηριστικά του χάλυβα εκ του οποίου είναι κατασκευασμένη η ράβδος κοχλίωσης

είναι επαρκή, ενώ συνδυάζονται ικανοποιητικά με τη συμπεριφορά του συστήματος κοχλίωσης. Η εκδήλωση σημαντικής, μη αποδεκτής μήκυνσης, η οποία οδηγούσε σε αστοχία τους κοχλίες, εκτιμάται ότι οφείλεται κατά κύριο λόγο στην παραμόρφωση της πλάκας συγκράτησης και στην ολίσθηση του αναπτυσσομένου κελύφους εντός του διατρήματος.

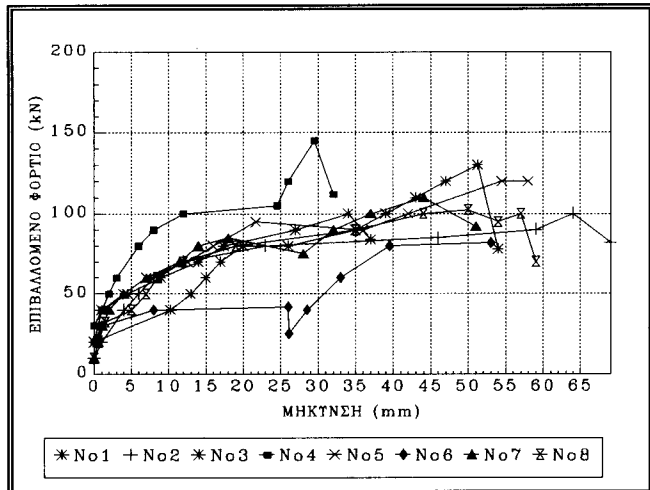
Για τη δοκιμή Νο6 πρέπει να σημειωθεί ότι έλαβε χώρα σε θέση στην οποία κατά κοινή εκτίμηση το πέτρωμα της οροφής ήταν εξαλλοιωμένο, ενώ η παρουσία νερού εντός του διατρήματος ήταν ευδιάκριτη. Τα δύο αυτά στοιχεία καθιστούν απολύτως δικαιολογημένη τη συμπεριφορά του συγκεκριμένου συστήματος κοχλίωσης.

3.3 Κοχλίες ρητίνης.

Οι δοκιμές εξόλκευσης εκτελέστηκαν σε ήδη εγκατεστημένους κοχλίες ρητίνης και σε κοχλίες οι οποίοι τοποθετήθηκαν με διαφορετικές ποσότητες ρητίνης. Σε ήδη εγκατεστημένους, παλαιούς κοχλίες ρητίνης, οι οποίοι ήταν σε λειτουργία σημαντικό χρονικό διάστημα, περίπου 2 χρόνια, και σε οροφή με έντονη την παρουσία νερού, εκτελέστηκαν

με διαφορετική ποσότητα ρητίνης αποσκοπούσαν στη μελέτη της επίδρασης που έχει το μέγεθος αυτό στη συμπεριφορά και στη φέρουσα ικανότητα των συγκεκριμένων συστημάτων κοχλίωσης. Προκειμένου να είναι κατά το δυνατόν ελεγχόμενες οι συνθήκες της δοκιμής σε ότι αφορά στο μήκος αγκύρωσης, επιλέχθηκε η τοποθέτηση των προς δοκιμή κοχλιών να γίνει σε παχυστρωματώδη ασβεστόλιθο, συμπαγή και συνεκτικό, στοιχεία τα οποία επιτρέπουν να θεωρηθεί ότι τα ορυσσόμενα διατρήματα και μάλιστα στην ίδια στρώση έχουν συνεχή τοιχώματα, σταθερής σχετικά διαμέτρου και δεν παρεμβάλλονται καρστικά διάκενα ή άλλα κενά από τα οποία θα ήταν δυνατή η διαφυγή ποσοτήτων ρητίνης. Οι δοκιμές εξόλκευσης υπό τις ανωτέρω συνθήκες ήταν συνολικά 11 (Σχήματα 3) και 3β). Τρεις κοχλίες είχαν τοποθετηθεί με 0.5 φυσίγγιο ρητίνης, τρεις με 1 φυσίγγιο, επίσης τρεις με 1.5 φυσίγγια και δύο με 2 φυσίγγια ρητίνης.

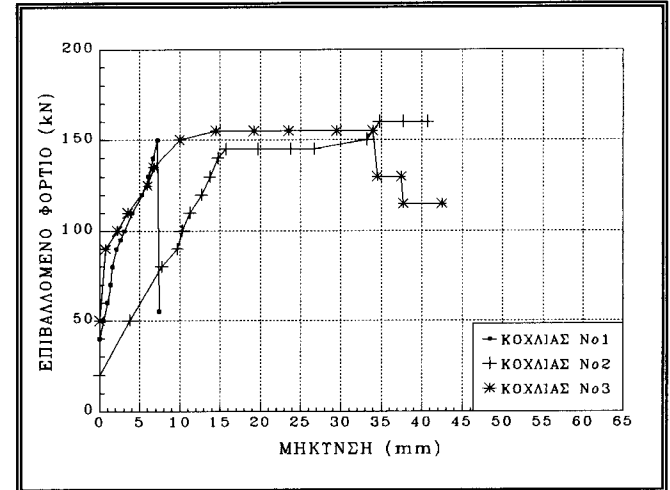
Οι παλαιοί κοχλίες ήταν μήκους 2.6m, ονομαστικής διαμέτρου 20mm, ενώ εκτιμάται ότι τοποθετήθηκαν με 2 ή 3 φυσίγγια ρητίνης σύμφωνα με την τυπική διαδικασία τοποθέτησης με φορείο ηλώσεως. Επίσης, οι πλάκες συγκράτησης ήταν τετράγωνα με



Σχήμα 2 (α) Δοκιμές εξόλκευσης κοχλιών αναπτυσσομένου κελύφους.

Figure 2 (a) Pull out tests on expansion shell rock bolts.

τρεις δοκιμές από τις οποίες μπορούν να εκτιμηθούν ορισμένα ενδεικτικά στοιχεία αναφορικά με την επίδραση του συγκεκριμένου περιβάλλοντος εγκατάστασης των κοχλιών στη φέρουσα ικανότητά τους (Σχήμα 2β). Οι δοκιμές στους κοχλίες ρητίνης



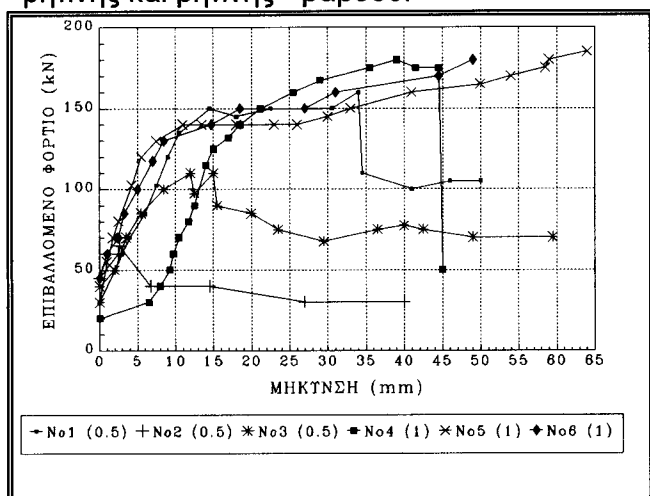
(β) Δοκιμές εξόλκευσης παλαιών κοχλιών ρητίνης (Καρίνας, 1995).

(b) Pull out tests on old resin anchored rock bolts (Karinias, 1995).

θολοειδή κεντρική διαμόρφωση, πλευράς 150mm και πάχους 6mm.

Αναφορικά με τους κοχλίες που ελέγχθηκαν ως προς την επίδραση της ποσότητας ρητίνης σημειώνεται ότι οι χαλύβδινες ράβδοι των κοχλιών ρητίνης ήταν

ονομαστικής διαμέτρου 20mm και μήκους 2.6m. Τα διατρήματα στα οποία τοποθετήθηκαν οι εξεταζόμενοι κοχλίες ρητίνης ορύχθηκαν με καινούργιο κοπτικό άκρο, ονομαστικής διαμέτρου 26mm. Η ρητίνη που χρησιμοποιήθηκε ήταν τύπου TITAFIX, πολυεστερική ταχείας πήξεως. Τα φυσίγγια στα οποία είναι συσκευασμένη η ρητίνη έχουν ονομαστική διάμετρο 18mm και μήκος 900mm, ενώ τα φυσίγγια ρητίνης που κατασκευάστηκαν για τις ανάγκες της έρευνας ήταν μήκους περίπου 450mm. Σε ότι αφορά στην τοποθέτηση των κοχλιών της δοκιμής, αυτή πραγματοποιήθηκε με ένα εκ των χρησιμοποιούμενων διατρητικών φορείων ηλώσεως τύπου PEC 22, του οίκου SECOMA. Επιπροσθέτως, πρέπει να σημειωθεί ότι οι εν λόγω κοχλίες ρητίνης δοκιμάστηκαν χωρίς πλάκα συγκράτησης. Η επιλογή αυτή έγινε διότι οι συγκεκριμένες δοκιμές αποσκοπούσαν στη διερεύνηση της επίδρασης της ποσότητας της τοποθετούμενης ρητίνης στην ικανότητα ανάληψης φορτίων. Συνεπώς, στα σχετικά διαγράμματα, οι μετρούμενες παραμορφώσεις - μετατοπίσεις αφορούν μόνο στην παραμόρφωση της ράβδου του κοχλία, στους μικροθρυμματισμούς του πετρώματος, στην παραμόρφωση του στρώματος της ρητίνης και στις ολισθήσεις στις διεπιφάνειες πετρώματος - ρητίνης και ρητίνης - ράβδου.



Σχήμα 3 (α) Δοκιμές εξόλκευσης κοχλιών με 0.5 και 1 φυσίγγιο ρητίνης.

Figure 3 (a) Pull out tests on rock bolts anchored with 0.5 and 1 resin cartridge.

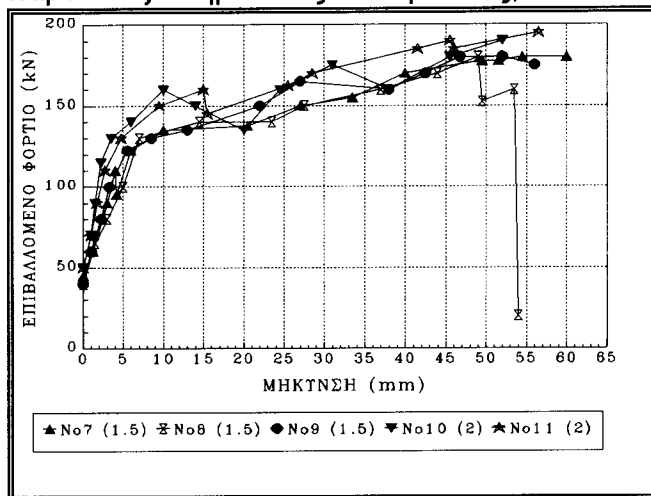
Υπό τις ανωτέρω συνθήκες διενεργήθηκαν δοκιμές εξόλκευσης σε κοχλίες ρητίνης, από τα αποτελέσματα των οποίων συνάγονται τα ακόλουθα:

Από το Σχήμα 2β, προκύπτει ότι η φέρουσα ικανότητα των παλαιών κοχλιών είναι της τάξης των 150kN. Για το εν λόγω φορτίο παρατηρείται συνεχής αύξηση της μήκυνσης, το μεγαλύτερο ποσοστό της οποίας εκτιμάται ότι αντιστοιχεί στην ολίσθηση του κοχλία.

Η φέρουσα ικανότητα των παλαιών κοχλιών διαπιστώνεται ελαφρώς μειωμένη σε σχέση με τη φέρουσα ικανότητα που παρουσιάζουν οι πρόσφατα εγκατεστημένοι κοχλίες και η οποία είναι της τάξης των 160 kN. Συνεπώς, μπορεί να θεωρηθεί ότι η επίδραση του περιβάλλοντος εγκατάστασης των κοχλιών και ειδικότερα της παρουσίας και κυκλοφορίας νερού επί της φέρουσας ικανότητας των κοχλιών είναι κατ' αρχήν περιορισμένη, με την επιφύλαξη εκτέλεσης μεγαλύτερου αριθμού ανάλογων δοκιμών.

Από τα διαγράμματα του Σχήματος 3α που αφορούν σε κοχλίες εγκατεστημένους με 0.5 φυσίγγιο ρητίνης, μήκους 450mm, δεν διαπιστώνεται ενιαία συμπεριφορά των κοχλιών, ενώ παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση στη μέγιστη τιμή των επιβαλλόμενων φορτίων.

Από τα διαγράμματα του Σχήματος 3α που αφορούν σε κοχλίες εγκατεστημένους με 1 φυσίγγιο ρητίνης, μήκους 900mm συνάγεται καταρχήν ότι η συμπεριφορά των κοχλιών δεν παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις, ενώ



(β) Δοκιμές εξόλκευσης κοχλιών με 1.5 και 2 φυσίγγια ρητίνης (Καρίνας, 1995).

(b) Pull out tests on rock bolts anchored with 1.5 and 2 resin cartridges (Karinas, 1995).

παρατηρείται μια συνεχής αυξητική τάση στο επιβαλλόμενο φορτίο. Για τιμές του επιβαλλόμενου φορτίου μεγαλύτερες των 120kN περίπου, παρατηρείται μεγάλη αύξηση

της μήκυνσης χωρίς ανάλογη αύξηση του φορτίου.

Ο κοχλίας Νο4 αστόχησε σε φορτίο 175kN, με την παραγωγή δυνατού ήχου και σύγχρονη πτώση της ένδειξης του μανομέτρου του οργάνου στην τιμή των 50kN. Με την περαιτέρω φόρτιση παρατηρήθηκε συνεχής μετατόπιση του στελέχους υπό χαμηλό επιβαλλόμενο φορτίο. Από τη συγκεκριμένη συμπεριφορά εκτιμάται ότι η αστοχία οφείλεται σε διάρρηξη της συνάφειας στη διεπιφάνεια πετρώματος - ρητίνης ή ρητίνης - στελέχους.

Από τα διαγράμματα του Σχήματος 3β που αφορούν σε κοχλίες εγκατεστημένους με 1.5 φυσίγγια ρητίνης, διαπιστώνεται ιδιαίτερη ομοιομορφία και σταθερότητα στη συμπεριφορά των συστημάτων.

Παρατηρείται επίσης, μια συνεχής αυξητική τάση του επιβαλλόμενου φορτίου, το οποίο φθάνει τα 175 - 180kN κατά μέγιστο. Ο ρυθμός αυξήσης του επιβαλλόμενου φορτίου είναι σημαντικός μέχρι τα 140kN περίπου, ενώ στη συνέχεια περιορίζεται σημαντικά. Αντίστοιχα, η μετρούμενη μήκυνση είναι σχετικά περιορισμένη μέχρι το φορτίο των 140kN και αυξάνει σημαντικά στη συνέχεια με μικρή αύξηση του φορτίου.

Το μέγιστο φορτίο που επιβλήθηκε στον κοχλία Νο8 ήταν 175kN περίπου. Για αυτή τη φόρτιση παρατηρήθηκε πτώση του φορτίου δηλαδή εκτόνωση μέσω παραμορφώσεων - μετακινήσεων, ενώ εν συνεχεία με την μερική αύξηση του φορτίου προκλήθηκε αστοχία με τη παραγωγή δυνατού θορύβου, ενώ το φορτίο εν συνεχεία μειώθηκε μέχρι της τιμής των 20kN. Η εν λόγω συμπεριφορά, η οποία παρατηρήθηκε και σε ένα κοχλία εγκατεστημένο με 1 φυσίγγιο ρητίνης, εκτιμάται ότι οφείλεται σε διακοπή της συνάφειας στελέχους - ρητίνης ή ρητίνης - πετρώματος, οπότε δεν είναι πλέον δυνατή η ανάληψη φορτίων.

Από τα διαγράμματα του Σχήματος 3β, τα οποία αφορούν σε κοχλίες εγκατεστημένους με 2 φυσίγγια ρητίνης, συνάγεται ότι το μέγιστο επιβαλλόμενο φορτίο είναι αυξημένο συγκριτικά με τις προηγούμενες περιπτώσεις.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα διαγράμματα των δοκιμών εξόλκευσης είναι δυνατόν να διακριθούν δύο τμήματα. Το πρώτο ορίζεται μεταξύ της έναρξης της φόρτισης και του φορτίου για το

οποίο το μέγεθος της μήκυνσης είναι περιορισμένο, ενώ το δεύτερο ορίζεται μεταξύ του φορτίου αυτού και της αστοχίας του κοχλίου, στο οποίο η μήκυνση είναι σημαντική για μικρή μόνο αύξηση του επιβαλλόμενου φορτίου. Καθορίζοντας συνεπώς το αποδεκτό μέγεθος μήκυνσης για κάθε περίπτωση καθορίζεται και η φέρουσα ικανότητα του κοχλίου, η οποία αντιστοιχεί στο φορτίο που διαχωρίζει τα δύο τμήματα των διαγραμμάτων. Το μέγεθος του εν λόγω φορτίου ήταν μικρότερο για τους κοχλίες αναπτυσσομένου κελύφους (100-120kN) συγκρινόμενο με αυτό των κοχλιών ρητίνης που ήταν 150kN για τους παλαιούς κοχλίες, 120kN, 140kN και 160kN για κοχλίες 1, 1.5 και 2 φυσίγγια ρητίνης αντίστοιχα.

Η συμπεριφορά των κοχλιών αναπτυσσομένου κελύφους μπορεί να χαρακτηριστεί σχετικά σταθερή, εξαρτώμενη όμως σε σημαντικό βαθμό από τις επί τόπου συνθήκες. Αναφορικά με τους κοχλίες ρητίνης σημειώνεται ότι η σταθερότητα στη συμπεριφορά τους εξαρτάται σημαντικά από την ποσότητα της ρητίνης που εισάγεται στο διάτρημα. Όσο μεγαλύτερη είναι η τοποθετούμενη ποσότητα ρητίνης, ανάλογα με τις επί τόπου συνθήκες, τόσο καλύτερη είναι η πάκτωση του στελέχους και σταθερότερη η συμπεριφορά και το μέγεθος της φέρουσας ικανότητας του κοχλίου.

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα των κοχλιών αναπτυσσομένου κελύφους και ρητίνης συνάγεται το συμπέρασμα ότι οι κοχλίες ρητίνης παρουσιάζονται περισσότερο άκαμπτοι. Η εν λόγω συμπεριφορά εκτιμάται ότι οφείλεται τόσο στο ότι στις δοκιμές των κοχλιών ρητίνης δεν χρησιμοποιήθηκαν πλάκες συγκράτησης, για τους λόγους που προαναφέρθηκαν στη σχετική παράγραφο, όσο και στο ότι οι εν λόγω κοχλίες συνεργάζονται με το πέτρωμα σε μεγαλύτερο μήκος.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Brown, E.T. (editor) (1981), "*Rock characterization testing & monitoring.*", Pergamon Press, England.
- Καρίνας, Α.Γ. (1995), "*Μελέτη των συστημάτων κοχλίωσης που εφαρμόζονται σε υπόγειες βωξιτικές εκμεταλλεύσεις*", Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., Ελλάδα.
- Kwitowski, A.J. and Wade, L.V. (1980), "*Reinforcement mechanisms of*

untensioned full column resin bolts.",
Report USBM S139, USA.

Οικονομόπουλος, Ι.Ν. (1986), "*Μια γενική
θεώρηση των συστημάτων υποστηρίξεως
των υπογείων εκσκαφών δια κοχλιώσεως.*",
Ορυκτός Πλούτος τ. 45, Ελλάδα.

Οικονομόπουλος, Ι.Ν. και Κορωνάκης, Ν.Ι.
(1992), "*Δοκιμές ελέγχου και μετρήσεις
προς διαπίστωση της συμπεριφοράς
συστημάτων κοχλίωσης οροφής.*", Ορυκτός
Πλούτος τ. 75, Ελλάδα .

Peng, S.S. (1978), "*Coal mine ground
control.*", J. Wiley & Sons, U.S.A.

Stillborgh, B. (1986), "*Professional users
handbook for rock bolting.*", Trans Tech
Publications, Canada.