

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ ΥΗΕ ΙΛΑΡΙΩΝΑ*

Κ. ΛΟΥΠΑΣΑΚΗΣ¹, Γ. ΜΥΛΩΝΑΣ² & Β. ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ³

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με την επεξεργασία πρωτογενών στοιχείων που παραχωρήθηκαν από τη ΔΕΗ έγινε προσπάθεια διερεύνησης των συνθηκών που δημιουργήθηκαν κατά τη διάνοξη της σήραγγας εκτροπής & εκχειλιστής Νο1, με κύριο στόχο τη διευκόλυνση της κατασκευής των λοιπών υπόγειων έργων που πρόκειται να κατασκευαστούν στην περιοχή του ΥΗΕ Ιλαρίωνα. Σε γενικές γραμμές έγινε προσπάθεια ανάλυσης των μέτρων υποστήριξης που προτείνονται με βάση τις μεθόδους ταξινόμησης των Bieniawski και Barton λαμβάνοντας υπόψη το RQD, τα συστήματα των ασυνεχειών, τη διατομή της σήραγγας και τον προσανατολισμό της. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατό να προβλεφτούν οι μέγιστες δυνατές βραχόμαζες που πρόκειται να αποκολληθούν από την οροφή και τα τοιχώματα της υπόγειας εκσκαφής και στη συνέχεια να προταθούν τα βέλτιστα μέτρα υποστήριξης.

ABSTRACT

The primitive data, given by the PPC, were elaborated regarding the stability conditions of the diversion & spillway tunnel No1 in order to contribute to the design of the other scheduled underground works of the Ilarion hydroelectric power dam. In the framework we analyzed the support measures proposed using the classification systems of Bieniawski and Barton, taking under consideration the RQD, the discontinuities systems, the span and the orientation of the tunnel. These data were used to predict the maximum wedges to be formed on the roof and on the walls of the tunnel and afterwards to propose the most proper support measures.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: ΥΗΕ Ιλαρίωνα, σήραγγα εκτροπής και εκχειλιστής, συστήματα ταξινόμησης βραχομάζας, μελέτη ευστάθειας, μέτρα υποστήριξης.

KEY WORDS: Ilarion HEP, Diversion-Spillway tunnel, rock mass classification systems, Stability investigation, Support measures.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ΥΗΕ Ιλαρίωνα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα έργα της ΔΕΗ στον Αλιάκμονα ποταμό και η κατασκευή του εντάσσεται μέσα στα σχέδια αξιοποίησης του μέσου Αλιάκμονα. Οι εργασίες κατασκευής του έργου άρχισαν τον Αύγουστο του 1991. Ένα από τα σημαντικότερα τμήματα του έργου που έχουν ολοκληρωθεί μέχρι σήμερα είναι η σήραγγα εκτροπής & εκχειλιστής Νο 1. Παράλληλα στη σήραγγα αυτή πρόκειται να κατασκευαστεί η σήραγγα εκχειλιστής Νο 2 και η σήραγγα προσαγωγής, ενώ σε άμεση γειτονία με τα προαναφερθέντα τεχνικά έργα πρόκειται να κατασκευαστούν και αρκετά μικρότερης έκτασης υπόγεια έργα.

STABILITY INVESTIGATION OF THE UNDERGROUND WORKS OF THE ILARION HYDRO-ELECTRIC POWER DAM.

¹ MSc Γεωλόγος, Υπότροφος ΙΚΥ, Εργ. Τεχν. Γεωλ. & Υδρογ., Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ, 540 06 Θεσ/νικη.

² Γεωλόγος ΔΕΗ, ΚΕΡΠΕ Κάτω Αλιάκμονα ΤΘ 34, 59100, Βέροια.

³ Αναπλ. Καθηγητής Πηγάκη Βιβλιοθήκη "Θεόδωρος" Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 540 06 Θεσ/νικη.

Στόχος της συγκεκριμένης έρευνας είναι η αξιολόγηση των τεκτονικών και γεωτεχνικών δεδομένων που συγκεντρώθηκαν κατά την κατασκευή της σήραγγας εκτροπής & εκχειλιστή Νο 1, έτσι ώστε να γίνουν προτάσεις για την ευκολότερη και ασφαλέστερη διάνοιξη και υποστήριξη των υπόγειων έργων που πρόκειται να κατασκευαστούν στο μέλλον. Η αξιολόγηση των στοιχείων περιλαμβάνει συγκριτική εφαρμογή ταξινομήσεων βραχομάζας κατά Bieniawski και Barton, και ανάλυση βραχοσφηνών και προτεινόμενων μέτρων υποστήριξης.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ - ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η ευρύτερη περιοχή που καταλαμβάνουν τα έργα κατασκευής του ΥΠΕ Γλαρίωνα βρίσκεται στο δυτικό προιόριο της Πελοποννησιακής Ζώνης. Πιο συγκεκριμένα ο άξονας του φράγματος και τα υπόγεια έργα θεμελιώνονται σε Τριαδικούς - Ιουρασιούς αναστρωταλλωμένους ασβεστόλιθους και σε Άνω Παλαιοζωϊκούς φυλλίτες - σχιστολίθους της μεταζωογενικής ακολουθίας (Μουντρούκης κ.α. 1997).

Οι τεκτονικές ασυνέχειες που καταγράφηκαν επιφανειακά διακρίνονται σε τρία κύρια συστήματα με παρατάξεις: 1)ΒΔ-ΝΑ, 2)ΒΑ-ΝΑ, και 3)ΑΒΑ-ΑΝΑ (Μουντρούκης κ.α. 1997).

Η παρατήρηση στο εσωτερικό της σήραγγας εκτροπής & εκχειλιστή Νο 1 επιβεβαίωσε την παρουσία των τριών προαναφερόμενων συστημάτων, ενώ παράλληλα μας οδήγησε στη διατύπωση των ακόλουθων συμπερασμάτων:

- Η στρώση του ασβεστόλιθου έχει διεύθυνση κλίσης προς τα ΒΑ και γωνία κλίσης που κυμαίνεται από 30° - 60°, με μέση τιμή τις 43°.
- Η σχιστότητα του φυλλίτη έχει διεύθυνση κλίσης από ΒΑ ως ΑΝΑ και γωνία κλίσης από 20°-77°, με μέση τιμή 46°.
- Όλα τα προαναφερόμενα συστήματα ασυνεχιών εμφανίζονται στο βάθος της σήραγγας με γωνίες κλίσης >60°. Το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο για τις ασυνέχειες του πρώτου και του τρίτου συστήματος, ενώ οι ασυνέχειες του δεύτερου συστήματος, με βάση επιφανειακές παρατηρήσεις, αναμενόταν με γωνίες κλίσης <30°.
- Η πλειοψηφία των ζωνών διάτμησης αναπτύσσονται κατά τη διεύθυνση του δεύτερου συστήματος (ΒΒΑ-ΝΝΑ) και με διεύθυνση κλίσης προς τα ΝΑ.
- Τα κροστικά έγκοιλα αναπτύσσονται κατά μήκος των διαρρηξεών του πρώτου και του δεύτερου συστήματος, ενώ επεκτείνονται στις διαρρηξεις του τρίτου συστήματος μόνο στα σημεία τομής τους με τα δύο πρώτα. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει τη μεταγενέστερη δημιουργία των διαρρηξεών του τρίτου συστήματος (ΑΒΑ-ΑΝΑ, Α-Δ) αφού λόγω της σχετικά μικρής τους ηλικίας δεν έχουν προλάβει να κροστικοποιηθούν.

Μια από τις σημαντικότερες δομές που επηρεάζουν τόσο το σώμα του φράγματος όσο και τα υπόγεια έργα που θα κατασκευαστούν σε άμεση γειτονία με αυτό, είναι το γνωστό ρήγμα του Γλαρίωνα (Εμμανουηλίδης 1993, Μουντρούκης κ.α. 1997). Το ρήγμα αυτό, όπως φαίνεται και στο γεωτεκτονικό χάρτη της περιοχής (Εικόνα 1), έχει παρατάξη ΒΔ-ΝΑ και διεύθυνση κλίσης ΝΑ, με μεγάλη γωνία. Η ζώνη του ρήγματος αυτού αποτελεί το όριο μεταξύ φυλλιτών και ασβεστόλιθων της περιοχής, προσαλώντας σημαντική μετάτμηση των ασβεστόλιθων προς τα ΝΑ. Το ρήγμα του Γλαρίωνα τέμνει τη σήραγγα εκτροπής & εκχειλιστή Νο 1 στη χιλιομετρική θέση 0+406.00 όπου εμφανίζεται πληρωμένο με οξειδωμένο ασβητικό υλικό πάχους 3-10cm.

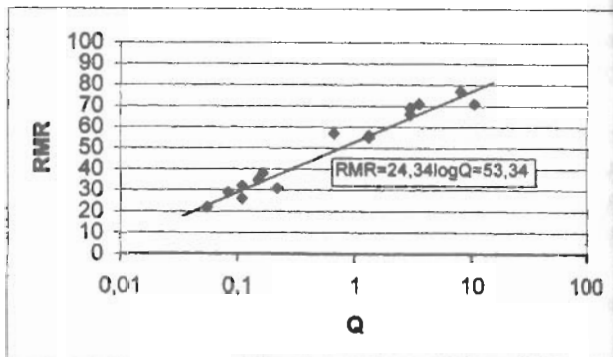
Στο δεξιό αντίραιομα του φράγματος εμφανίζεται μια μεγάλου μεγέθους σήξεινης δομή με παρατάξη ΒΑ-ΝΑ. Η δομή αυτή προσαλεί τη μετάτμηση των αναστρωταλλωμένων ασβεστόλιθων προς το εσωτερικό της λεκάνης κατάκλισης του φράγματος. Παρά το μέγεθος της, η δομή αυτή είναι περιορισμένης σημασίας, γιατί δεν τέμνει κάποιο από τα σχεδιασμένα προς κατασκευή υπόγεια έργα.

3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Για την ταξινόμηση της βραχομάζας και κατά επέκταση για την εκτίμηση των μέτρων υποστήριξης της σήραγγας χρησιμοποιήθηκαν δύο από τις πλέον διαδεδομένες μεθόδους ταξινόμησης, αυτές του Bieniawski (1989) και **ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος"** - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Η προαναφερόμενη σχέση παρουσιάζει μεγάλη ομοιότητα με τις περισσότερο εξισώσεις συσχέτισης RMR και Q που αναφέρονται από άλλους ερευνητές (e.g. Bieniawski, 1976, Rutledge et al., 1978, Udd & Wang, 1985).

	Τμήμα Σήραγγας	RMR	Q
Σήραγγα Ευρωπαϊκής & Εγκυβλιτικής Νο1	0+861,64 - 0+825,5	29	0,083
	0+825,5 - 0+799,5	38	0,166
	0+799,5 - 0+743	26	0,11
	0+743 - 0+708	31	0,22
	0+708 - 0+574,5	22	0,055
	0+574,5 - 0+502	32	0,11
	0+502 - 0+416	71	10,6
	0+416 - 0+383,5	69	3
	0+383,5 - 0+342	77	8
	0+335 - 0+229	71	3,55
	0+269 - 0+202	55	1,33
	0+202 - 0+114,6	66	3
	0+114,6 - 0+97	57	0,67
AD-5	0+11 - 0+42	56	1,33
AD-4	0+3,9 - 0+30	35	0,15



Εικόνα 2: Τιμές RMR και Q κατά μήκος των σήραγγων, και η μεταξύ τους σχέση.
Figure 2: RMR and Q values along the tunnels, and the relationship among them.

Σύμφωνα με τις μεθόδους ταξινόμησης του Bieniawski και του Barton προκύπτουν για τη σήραγγα εκτροπής & εκχειλιστή Νο1 τα μέτρα υποστήριξης που αναφέρονται στον πίνακα 1. Τα μέτρα αυτά αναλύονται ξεχωριστά για κάθε τμήμα της σήραγγας, ενώ τα τμήματα διαχωρίζονται με βάση την ποιότητα της βραχομάζας.

Από τον πίνακα 1 προκύπτει ότι τα μέτρα υποστήριξης που προτείνονται για τα επιμέρους τμήματα κάθε σηματοποιημένου παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα μεταξύ τους. Παράλληλα παρατηρούνται σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέτρων που προτείνονται με βάση τις μεθόδους ταξινόμησης του Bieniawski και του Barton.

Εκτός από τα μέτρα υποστήριξης, τα συστήματα ταξινόμησης RMR και Q προτείνουν και μεθόδους προχώρησης του μετώπου της σήραγγας. Οι μέθοδοι προχώρησης που προτείνονται με βάση το σύστημα ταξινόμησης του Bieniawski για τα διάφορα τμήματα της σήραγγας παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Προτεινόμενες μέθοδοι προχώρησης του μετώπου της σήραγγας.
Table 2: Proposed excavation methods of the tunnel face.

Τμήμα Σήραγγας	Μέθοδος Προχώρησης του Μετώπου της Σήραγγας
0+861,64 - 0+502	Μετώπον και βαθμίδας, προχώρηση πρώτα στο ανώτερο τμήμα κατά 1-1,5m. Εγκατάσταση υποστήριξης συζυγούς με την εκσκαφή, 10m από το μέτωπο.
0+502 - 0+230	Ολομέτωπη προσβολή, προχώρηση 1-1,5 m, οριζική υποστήριξη 20m από το μέτωπο
0+202 - 0+114,6	Μετώπον και βαθμίδας, προχώρηση πρώτα στο ανώτερο τμήμα κατά 1,5-3m. Έναρξη υποστηρίξεως ύστερα από κάθε ανατίναξη. Οριζική υποστήριξη 10m από το μέτωπο.
0+114,6 - 0+97	

4. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Συγκρίνοντας τα μέτρα υποστήριξης που προτείνονται στον Πίνακα 1 με βάση τις μεθόδους ταξινόμησης του Bieniawski και του Barton προκύπτει ότι μεταξύ τους υπάρχει σημαντική διαφορά η οποία και καθιστά αναγκαία τη διερεύνηση της αποτελεσματικότητάς τους. Η διερεύνηση αυτή πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τα συστήματα των διαφορήσεων, τη διατομή της σήραγγας και τον προανατολισμό της. Με αυτό το τρόπο είναι δυνατό να υπολογιστούν οι μέγιστες δυνατές

Πίνακας 1. Τιμές RMR και Q, και προτεινόμενα μέτρα υποστήριξης, με βάση τις ταξινομήσεις των τμημάτων της σήραγγας με τη μέθοδο του Bieniawski (1989) και τη μέθοδο των Barton et al (1974).

Table 1. Calculated RMR and Q values, and proposed support measures, along the tunnel according to the classification systems of Bieniawski (1989) and Barton et al (1974).

Τμήμα σήραγγας	RMR	Προτεινόμενα μέτρα υποστήριξης κατά Bieniawski (1989).	Q	Προτεινόμενα μέτρα υποστήριξης κατά Barton(1974).
0-861,64 - 0+825,5	29	B(utg)1-1.5m(Length 4-5m)+ S(sr)10-15cm + light arch 1.5m	0,083	B(tg) 1m + S(mr) 20-75cm
0-825,5 - 0+799,5	38	B(utg)1-1.5m(Length 4-5m)+ S(sr)10-15cm + light arch 1.5m	0,166	B(tg) 1m + S(mr) 20-40cm
0-799,5 - 0+743	26	B(utg)1-1.5m(Length 4-5m)+ S(sr)10-15cm + light arch 1.5m	0,11	B(tg) 1m + S(mr) 20-40cm
0-743 - 0+708	31	B(utg)1-1.5m(Length 4-5m)+ S(sr)10-15cm + light arch 1.5m	0,22	B(tg) 1m + S(mr) 20-40cm
0-708 - 0+574,5	22	B(utg)1-1.5m(Length 4-5m)+ S(sr)10-15cm + light arch 1.5m	0,055	B(tg) 1m + S(mr) 20-75cm
0-574,5 - 0+502	22	B(utg)1-1.5m(Length 4-5m)+ S(sr)10-15cm + light arch 1.5m	0,11	B(tg) 1m + S(mr) 20-40cm
0-502 - 0+416	71	sb(utg)2.5m(Length 3m)+S(mr) 5cm	10,6	B(utg) 1.5-2m
0-416 - 0+383,5	69	sb(utg)2.5m(Length 3m)+S(mr) 5cm	3	B(utg) 1m + S(mr) 2.5-5cm
0-383,5 - 0+342	77	sb(utg)2.5m(Length 3m)+S(mr) 5cm	8	B(utg) 1-1.5m
0-335 - 0+229	71	sb(utg)2.5m(Length 3m)+S(mr) 5cm	3,55	B(utg) 1m + S(mr) 2.5-5cm
0-269 - 0+202	55	B(utg)1.5-2m(Length 4m)+ S(mr) 5-10cm	1,33	B(utg) 1m + S(mr) 2.5-5cm
0-202 - 0+114,6	66	sb(utg)2.5m(Length 3m)+S(mr) 5cm	3	B(utg) 1m + S(mr) 2.5-5cm
0-114,6 - 0+97	57	B(utg)1.5-2m(Length 4m)+ S(mr) 5-10cm	0,67	B(utg) 1m + S(mr) 2.5-5cm

Σημείωση: Οι μικρές τιμές του Q στο πρώτο και στο τελευταίο τμήμα της σήραγγας οφείλονται στο ότι σύμφωνα με τους Barton et al στις εισόδους των σηράγγων λαμβάνουμε τον συντελεστή των συντημάτων των συντημάτων ίσο με 2Jn.

Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Μεταλλικό πλέγμα.

Ατσάλινο πλέγμα.

Συρματόπλέγματα.

Σημειακές αγκυρώσεις.

Συστηματικές αγκυρώσεις.

Προεντεταμένα ακέρια διατελόμενης κεφαλής για

συναγείς βραχώδεις μάζες, και με πλήρωση

κονιάματος για χαμηλής ποιότητας βραχομάζες.

Αγκυρώσεις, χωρίς τένωση, πακτωμένες σε όλο το

μήκος.

• Το διάστημα μεταξύ των αγκυρών δίνεται σε μέτρα (m).

• Το πάχος του σκυροδέματος δίνεται σε εκατοστά (cm).

S: Shotcrete.

mr: Mesh reinforced.

sr: Steel reinforced.

clm: Chain link mesh.

sb: Spot bolting.

B: Systematic bolting.

tg: Tensioned, expanding shell type for competent

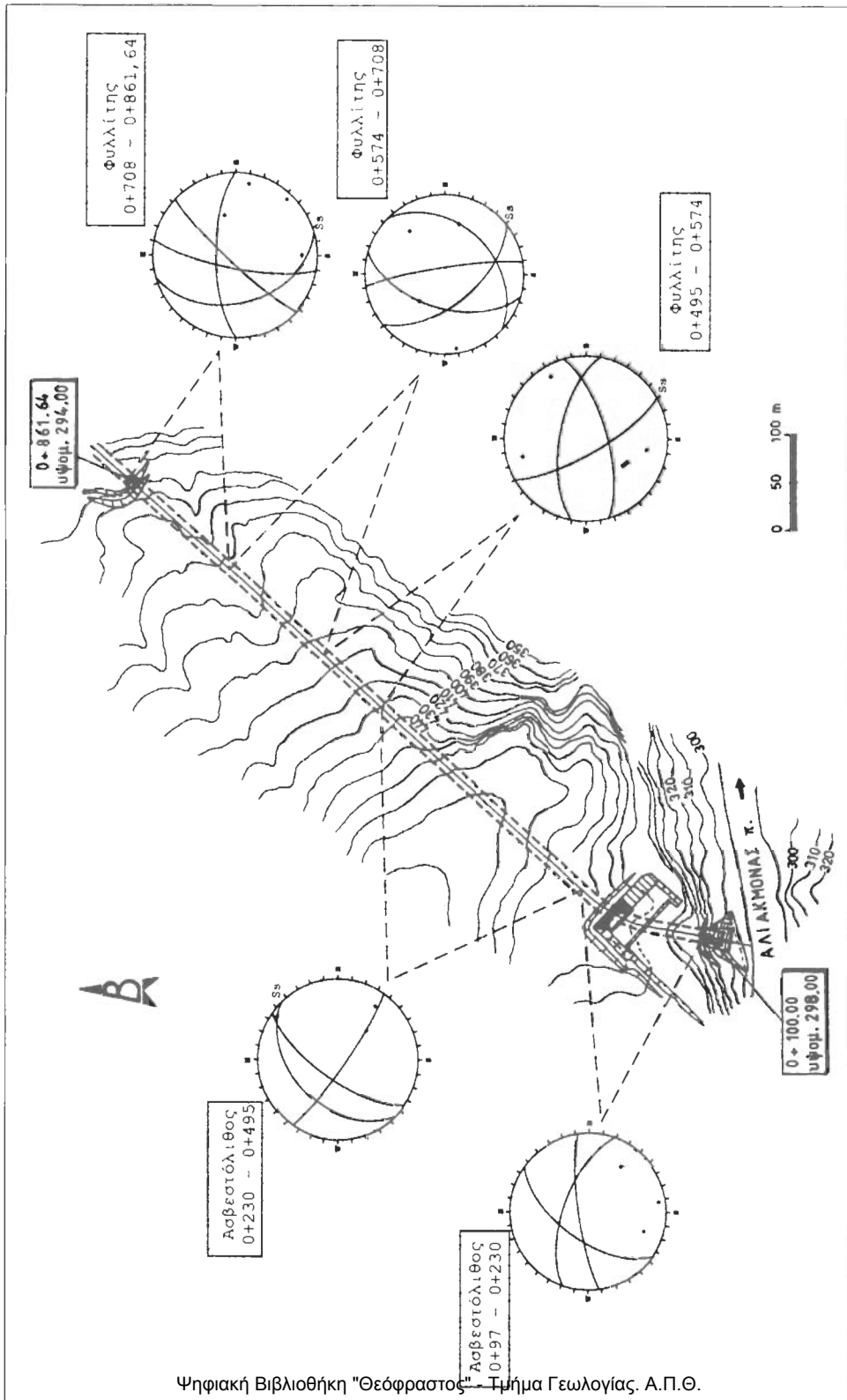
rock masses, grouted posttensioned in very poor

quality rock masses.

utg: Untensioned, grouted.

• Bolt spacings are given in meters (m).

• Shotcrete thickness is given in centimeters (cm).



Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Εικόνα 3: Κύρια ανωμαλίες ασυνεχών κατά μήκος της σήραγγας.
Figure 3: Main sets of discontinuities along the tunnel.

βραχοσφήνες που πρόκειται να αποκολληθούν από την οροφή και τα τοιχώματα της υπόγειας εσοκαφής.

Για την εξέταση της αποτελεσματικότητας των μέτρων υποστήριξης η σήραγγα διαιρείται σε τμήματα με βάση τα συστήματα των ασυνεχειών που κυριαρχούν σε αυτή (Εικόνα 3). Για τα επιμέρους τμήματα τα αποτελέσματα της ανάλυσης των μέτρων υποστήριξης είναι τα ακόλουθα:

- **0+97 - 0+230, (Ασβεστόλιθος):** Το συγκεκριμένο τμήμα περιλαμβάνει τη στροφή της σήραγγας για αυτό και πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί με τα ίδια συστήματα των διαρρήξεων αλλά για διαφορετικούς προσανατολισμούς της σήραγγας. Από την επεξεργασία του συγκεκριμένου τμήματος προέκυψε ότι, από τις βραχοσφήνες που σχηματίζονται στην οροφή και στα τοιχώματα της σήραγγας, το μεγαλύτερο μέγεθος το παρουσιάζουν οι βραχοσφήνες της οροφής. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4α,β το μέγεθος των βραχοσφηνών της οροφής μπορεί να μειωθεί μέχρι και **80%** αν η προχώρηση πραγματοποιηθεί σε μικρότερο τμήμα της διατομής, δηλαδή αν το μέτρο προχώρησης έχει ύψος 3m αντί για 9m. Παράλληλα θα αυξηθεί ο χρόνος αυτοϋποστήριξης.

Στην Εικόνα 4γ,δ παρουσιάζονται τα μέτρα υποστήριξης που προτείνονται με βάση τη μέθοδο του Bieniawski (γ) και τη μέθοδο του Barton (δ). Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι παρά το γεγονός ότι τα μέτρα υποστήριξης που προτείνονται με βάση τη μέθοδο του Barton είναι διπλάσια, η αύξηση του συντελεστή ασφάλειας είναι πολύ μικρή. Άρα η χρήση μεγάλου αριθμού αγκυριών και μεγάλου πάχους εκτοξευόμενου σκυροδέματος δεν έχει να προσφέρει επιπλέον ασφάλεια στην κατασκευή.

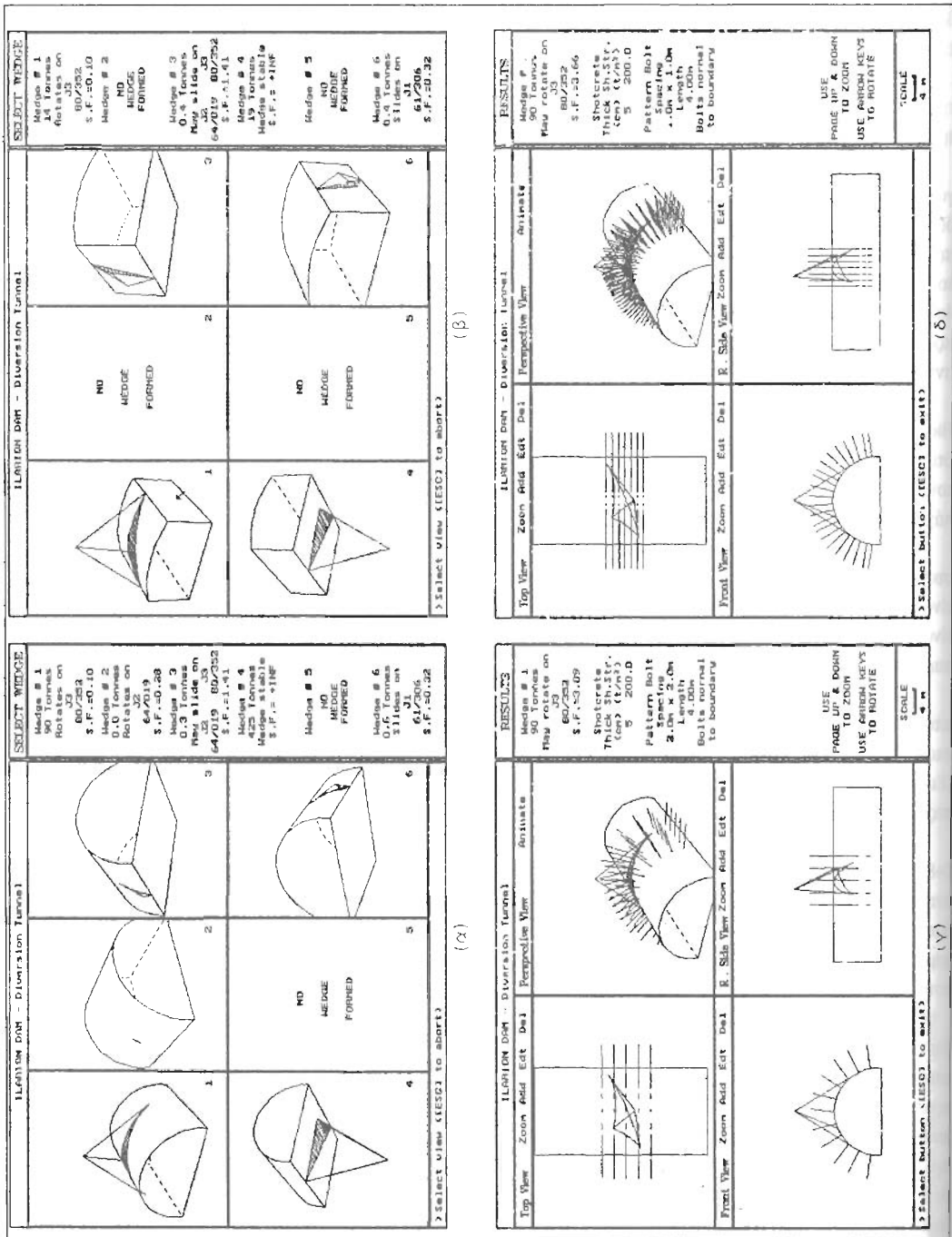
- **0+230 - 0+495, (Ασβεστόλιθος):** Στο συγκεκριμένο τμήμα της σήραγγας εμφανίζονται τρία συστήματα ασυνεχειών από τα οποία τα δύο αποτελούν τα κύρια συστήματα διαρρήξεων, ενώ το τρίτο είναι οι επιφάνειες στρώσης που παρουσιάζουν μικρότερη συχνότητα λόγω του ότι ο ασβεστόλιθος είναι παχυστοιχωματώδης έως και μάζωδης. Οι μέγιστες βραχοσφήνες που σχηματίζονται λόγω της παρουσίας των συστημάτων αυτών είναι μικρού μεγέθους (Εικόνα 5α) και περιορισμένης πυκνότητας.

Η συστηματική αγκύρωση που προτείνεται με βάση τη μέθοδο του Barton (Εικόνα 5β) έχει σαν αποτέλεσμα την υπερβολική αύξηση του συντελεστή ασφάλειας χωρίς αυτό να εξυπηρετεί κάποια σκοπιμότητα. Αντίθετα η σημασιώδη αγκύρωση που προτείνεται με βάση τη μέθοδο του Bieniawski (Εικόνα 5α), παρέχει ασφάλεια στην κατασκευή με πολύ μικρότερο αριθμό αγκυριών. Και στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής ασφάλειας είναι αναπόφευκτα μεγάλος.

- **0+495 - 0+861,64, (Φυλλίτης):** Όπως φαίνεται και στην εικόνα 3, το διάστημα από 0+495 μέχρι 0+861,64 αποτελείται από τρία επιμέρους τμήματα, τα οποία εξετάζονται ως ένα ενιαίο τμήμα, γιατί μετά από τη διερεύνηση της αποτελεσματικότητας των προτεινόμενων μέτρων υποστήριξης, διαπιστώθηκε ότι η ενστάθεια του φυλλίτη και της μεταβατικής ζώνης επηρεάζεται κυρίως από το χαμηλό τους RQD και λιγότερο από τις βραχοσφήνες που σχηματίζονται από τα συστήματα των ασυνεχειών.

Όπως φαίνεται και στο αντιπροσωπευτικό τμήμα της σήραγγας που δίνεται στην εικόνα 6α, με βάση τα συστήματα των ασυνεχειών που εντοπίζονται στο εσωτερικό της σήραγγας μπορούν να υπολογιστούν οι βραχοσφήνες που είναι πιθανό να σχηματιστούν. Οι βραχοσφήνες, όμως, που προκύπτουν με τη διαδικασία αυτή δεν αντιπροσωπεύουν την πραγματική εικόνα της βραχομάζας, η οποία εμφανίζεται κατακεραματισμένη και με RQD <10%. Κατά συνέπεια με την εφαρμογή των προτεινόμενων μέτρων υποστήριξης στη βραχομάζα που παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά της εικόνας 6α προκύπτουν πολύ υψηλοί συντελεστές ασφάλειας, οι οποίοι είναι ειρωνικοί γιατί προσδιορίζονται θεωρώντας ότι το πέλασος που αποκόπτεται με τη μορφή βραχοσφήνας είναι συμπαγές. Για παράδειγμα, στην Εικόνα 6β, ο συντελεστής ασφάλειας που προκύπτει από την εφαρμογή των μέτρων υποστήριξης που προτείνονται με τη μέθοδο του Barton είναι, για το συγκεκριμένο τμήμα, ίσος με **101,04**. Άρα επιβεβαιώνεται ότι το κύριο χαρακτηριστικό που επηρεάζει τη συμπεριφορά της βραχομάζας του φυλλίτη είναι το RQD.

Για την υποστήριξη του φυλλίτη, με βάση τη μέθοδο RMR πρέπει να χρησιμοποιηθούν μη προεντεταμένα αγκύρια, εκτοξευόμενο σκυροδέμα με μεταλλικό πλέγμα και ελαφρά πλαίσια. Ενώ σύμφωνα με τη μέθοδο του Barton πρέπει να χρησιμοποιηθούν προεντεταμένα αγκύρια και



Εικόνα 4: Πιθανές βραχοσφήνες (α) για διατομή 9m, (β) για διατομή 3m. Προτεινόμενα μέτρα (γ) σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης Bieniawski (1989), (δ) σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης Barton et al (1974).

Figure 4: Probable rock wedges (α) for span 9m, (β) for span 3m. Proposed supportmeasure (γ) according to Bieniawski classification system (1989), (δ) according to Barton et al classification system (1974).

ΕΙΣΑΓΩΓΑ 5:

Προτεινόμενα μέτρα
 (α) σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης Bieniawski (1989),
 (β) σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης Barton et al (1974).

Figure 5:

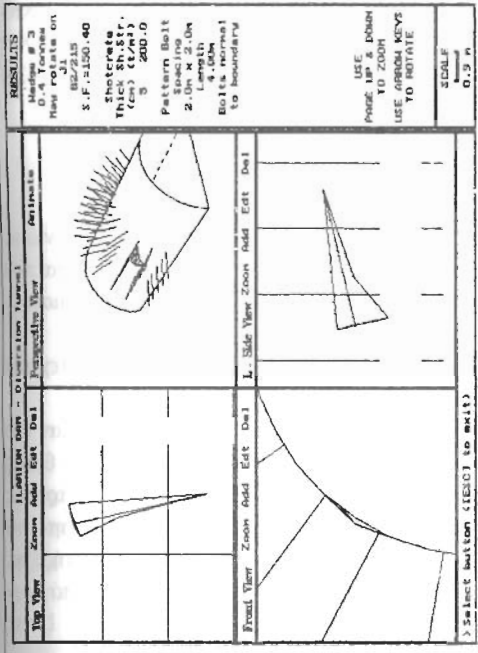
Proposed support measures (α) according to Bieniawski classification system (1989), (β) according to Barton et al classification system (1974).

ΕΙΣΑΓΩΓΑ 6:

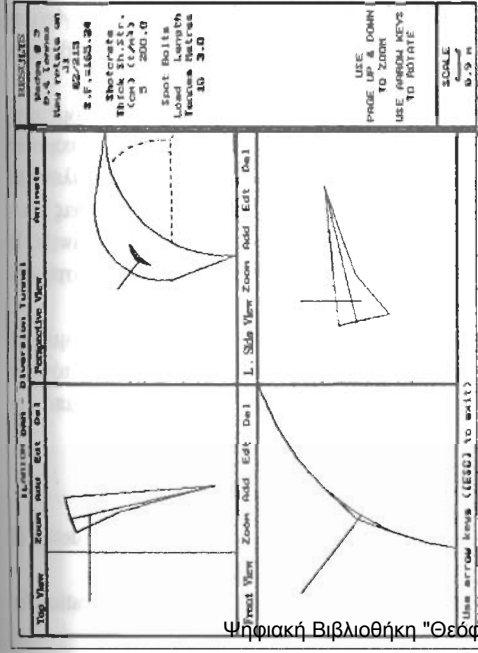
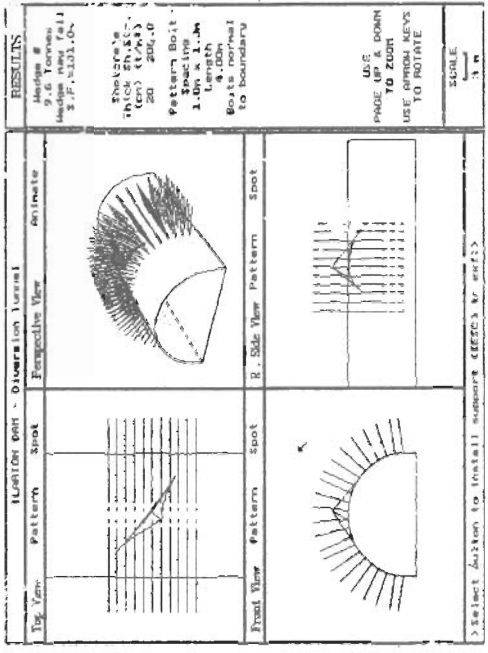
Μεθόδους βραχοσφήνισης
 (α) για διάστημα 9m
 (β) σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης Barton et al (1974).

Figure 6:

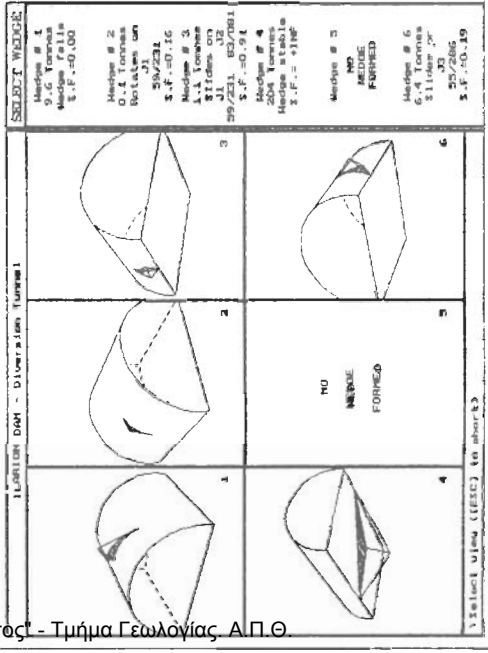
Probable rock wedges (α) for span 9m (β) according to Barton et al classification system (1974).



(β)



(α)



εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με μεταλλικό πλέγμα μεγαλύτερου πάχους από αυτό που προτείνεται με τη μέθοδο του Bieniawski. Λόγω του χαμηλού RQD που παρουσιάζει ο φυλλίτης η χρήση προεντεταμένων αγκυριών δεν αναμένεται να είναι αποτελεσματική, ενώ αντίθετα η χρήση πλαισίων κρίνεται σκόπιμη. Άρα τα μέτρα υποστήριξης που προτείνονται με βάση τη μέθοδο RMR εμφανίζονται πιο αποτελεσματικά. Παράλληλα γίνεται αποδεκτή και η μέθοδος προχώρησης σε φάσεις.

Από τη γεωλογική χαρτογράφηση στο εσωτερικό της σήραγγας διαπιστώθηκε η ύπαρξη μεγάλων ζωνών χαλάρωσης στη βραχομάζα οι οποίες οφείλονται στην παρουσία ορημάτων και στις οποίες μπορεί να προκληθούν καταπτώσεις. Οι περιοχές αυτές χρήζουν ιδιαίτερης μεταχείρισης και τα μέτρα υποστήριξης που απαιτούνται στα συγκεκριμένα τμήματα σύμφωνα με τη μέθοδο RMR είναι ουστηματικές ηλώσεις με αραίαση 1-1.5 m, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 15-20 cm με χαλύβδινο πλέγμα και μέσα έως βαθιά πλαίσια με αραίαση 0.75m και επικάλυψη λαμαρίνας. Κατά αντιστοιχία μπορούν να χρησιμοποιηθούν πιο σύγχρονες μέθοδοι όπως οι δοκοί προτορίας.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.

Θεωρώντας ότι τα υπόγεια τεχνικά έργα που πρόκειται να κατασκευαστούν σε άμεση γειτονία με τη σήραγγα εκτροπής & εκχειλιστή Νο1 θα συναντήσουν τις ίδιες ουνθήκες και προβλήματα που αναλύθηκαν στην παρούσα εργασία μπορούμε να καταλήξουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα - προτάσεις:

- Από την επιφανειακή γεωλογική χαρτογράφηση προκύπτει ότι και τα υπόλοιπα υπόγεια τεχνικά έργα θα θεμελιωθούν στους ίδιους σχηματισμούς.

- Τα ορήματα που χαρτογραφήθηκαν επιφανειακά και κυρίως αυτά που χαρτογραφήθηκαν στο εσωτερικό της σήραγγας εκτροπής & εκχειλιστή Νο1 θα τηρήσουν και τις γειτονικές σήραγγες σε θέσεις που μπορούν να προβλεφθούν. Μάλιστα σε συνδυασμό με οριζόντιες δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που μπορούν να διανοιχτούν στο μέτωπο των υπόγειων εκσκαφών, υπάρχει η δυνατότητα να προβλεφθεί η θέση τους με μεγάλη ακρίβεια και να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα υποστήριξης. Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν μέχρι τώρα αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για τα τμήματα των υπόγειων έργων που ανοίγονται σε φυλλίτη, όπου υπάρχει μεγάλος κίνδυνος καταπτώσεων στις ζώνες χαλάρωσης που σχηματίζονται στις περιοχές των ορημάτων.

- Η διάνοιξη των τμημάτων που βρίσκονται μέσα σε φυλλίτη είναι προτιμότερο να γίνει σε φάσεις, ενώ τα απαιτούμενα μέτρα υποστήριξης φαίνεται να είναι αυτά που προτείνονται με βάση τη μέθοδο ταξινόμησης του Bieniawski.

- Στον ασβεστόλιθο υπάρχουν τμήματα στα οποία μπορεί να γίνει προχώρηση με ολομέτωπη προσβολή και η υποστήριξη μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση σημειακών αγκυριών και εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Αντίθετα υπάρχουν τμήματα στα οποία τα συστήματα των ασυνεχειών προκαλούν τη δημιουργία μεγάλου αριθμού βραχοσφηνών, με αποτέλεσμα να απαιτείται προχώρηση σε φάσεις και η χρήση των μέτρων υποστήριξης που προτείνονται από τη μέθοδο ταξινόμησης του Bieniawski. Η διάκριση μεταξύ των τμημάτων αυτών πρέπει να γίνει με μεγάλη ακρίβεια και με βάση τα συστήματα και την πυκνότητα των ασυνεχειών.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή για τον εντοπισμό επιμέρους ιδιαιτεροτήτων που είναι δυνατόν να διαπιστωθούν κατά τη διάνοιξη των γειτονικών υπόγειων τεχνικών έργων. Οι ιδιαιτερότητες αυτές είναι δυνατό να ανατρέψουν κάποια από τα προαναφερθέντα συμπεράσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

BARTON, N.R., LIEN, R. & LUNDE, J. (1974) Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech., Vol.6(4), pp 189-236.

BIENIAWSKI, Z.T. (1976). Rock mass classification in rock engineering. Proc. Symp. Exploration for Rock Engineering. **Υπηρεσία Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος"-Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.**

εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με μεταλλικό πλέγμα μεγαλύτερου πάχους από αυτό που προτείνεται με τη μέθοδο του Bieniawski. Λόγω του χαμηλού RQD που παρουσιάζει ο φυλλίτης η χρήση προεντεταμένων αγκυριών δεν αναμένεται να είναι αποτελεσματική, ενώ αντίθετα η χρήση πλαισίων κρίνεται σκόπιμη. Άρα τα μέτρα υποστήριξης που προτείνονται με βάση τη μέθοδο RMR εμφανίζονται πιο αποτελεσματικά. Παράλληλα γίνεται αποδεκτή και η μέθοδος προχώρησης σε φάσεις.

Από τη γεωλογική χαρτογράφηση στο εσωτερικό της σήραγγας διαπιστώθηκε η ύπαρξη μεγάλων ζωνών χαλάρωσης στη βραχομάζα οι οποίες οφείλονται στην παρουσία ρηγμάτων και στις οποίες μπορεί να προκληθούν καταπτώσεις. Οι περιοχές αυτές χρήζουν ιδιαίτερης μεταχείρισης και τα μέτρα υποστήριξης που απαιτούνται στα συγκεκριμένα τμήματα σύμφωνα με τη μέθοδο RMR είναι συστηματικές ηλώσεις με αραίωση 1-1.5 m, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 15-20 cm με χαλύβδινο πλέγμα και μέσα έως βραδιά πλαίσια με αραίωση 0,75m και επικάλυψη λαμαρίνας. Κατά αντιστοιχία μπορούν να χρησιμοποιηθούν πιο σύγχρονες μέθοδοι όπως οι δοκοί προπορίας.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.

Θεωρώντας ότι τα υπόγεια τεχνικά έργα που πρόκειται να κατασκευαστούν σε άμεση γειτονία με τη σήραγγα εκτροπής & εκχειλιστή Νο1 θα συναντήσουν τις ίδιες συνθήκες και προβλήματα που αναλύθηκαν στην παρούσα εργασία μπορούμε να καταλήξουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα - προτάσεις:

- Από την επιφανειακή γεωλογική χαρτογράφηση προκύπτει ότι και τα υπόλοιπα υπόγεια τεχνικά έργα θα θεμελιωθούν στους ίδιους σχηματισμούς.

- Τα ρήγματα που χαρτογραφήθηκαν επιφανειακά και κυρίως αυτά που χαρτογραφήθηκαν στο εσωτερικό της σήραγγας εκτροπής & εκχειλιστή Νο1 θα τμήσουν και τις γειτονικές σήραγγες σε θέσεις που μπορούν να προβλεφθούν. Μάλιστα σε συνδυασμό με οριζόντιες δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που μπορούν να διανοιχτούν στο μέτωπο των υπόγειων εξοκαφών, υπάρχει η δυνατότητα να προβλεφθεί η θέση τους με μεγάλη ακρίβεια και να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα υποστήριξης. Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν μέχρι τώρα αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για τα τμήματα των υπόγειων έργων που ανοίγονται σε φυλλίτη, όπου υπάρχει μεγάλος κίνδυνος καταπτώσεων στις ζώνες χαλάρωσης που σχηματίζονται στις περιοχές των ρηγμάτων.

- Η διάνοιξη των τμημάτων που βρίσκονται μέσα σε φυλλίτη είναι προτιμότερο να γίνει σε φάσεις, ενώ τα απαιτούμενα μέτρα υποστήριξης φαίνεται να είναι αυτά που προτείνονται με βάση τη μέθοδο ταξινόμησης του Bieniawski.

- Στον ασβεστόλιθο υπάρχουν τμήματα στα οποία μπορεί να γίνει προχώρηση με ολομέτωπη προσβολή και η υποστήριξη μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση σημειακών αγκυριών και εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Αντίθετα υπάρχουν τμήματα στα οποία τα συστήματα των ασυνεχειών προσαλούν τη δημιουργία μεγάλου αριθμού βραχοσφηνών, με αποτέλεσμα να απαιτείται προχώρηση σε φάσεις και η χρήση των μέτρων υποστήριξης που προτείνονται από τη μέθοδο ταξινόμησης του Bieniawski. Η διάκριση μεταξύ των τμημάτων αυτών πρέπει να γίνει με μεγάλη ακρίβεια και με βάση τα συστήματα και την πυκνότητα των ασυνεχειών.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή για τον εντοπισμό επιμέρους ιδιαιτεροτήτων που είναι δυνατόν να διαπιστωθούν κατά τη διάνοιξη των γειτονικών υπόγειων τεχνικών έργων. Οι ιδιαιτερότητες αυτές είναι δυνατό να ανατρέψουν κάποια από τα προαναφερόμενα συμπεράσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

BARTON,N.R., LIEN,R. & LUNDE,J.,(1974) Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech., Vol.6(4), pp 189-236.

BIENIAWSKI,Z.T.,(1976). Rock mass classification in rock engineering. Proc. Symp. Exploration for Rock Engineering. **Εθνική Βιβλιοθήκη Θεόφραστους** Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

- BIENIAWSKI, Z.T., (1989). Engineering rock mass classifications. New York: Wiley
- Γ. ΕΜΜΑΝΟΥΗΛΙΔΗΣ, (1993). Ευρύτερη περιοχή φράγματος, γεωλογικός χάρτης, σχέδιο ΛΕΗ, Αριθμός 0817-ΤΜΕΛ-017-011.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ. ν.α., (1997), Νεοτεκτονική Μελέτη της Ευρύτερης Περιοχής των Φραγμάτων Πολυφύτου - Ιλαρίωνα - Ελαφριού, Ερευνητικό έργο για λογαριασμό της ΛΕΗ, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, σελ.123.
- RUTLEDGE, T.C. & PRESTON, R.L., (1978). New Zealand experience with engineering classification of rock for the prediction of tunnel support. Proc. Int. Tunnel Symp., Tokyo, A3-1 to A3-7.
- UDD, J.E. & WANG, H., (1985). A comparison of some approaches to the classification of rock masses for geotechnical purposes. Proc. 26th US Symposium on Rock Mechanics, pp. 69-78.