



# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων

Σύγκριση δύο εναλλακτικών μεθόδων διάνοιξης συνδετήριας  
στοάς Ολυμπιάδας-Μαδέμ Λάκου

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ι. Θεοδωρακόπουλου και Γ. Λεκίδη

### ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Γ. Εξαδάκτυλος, Καθηγητής (επιβλέπων)

Κ. Κομνίτσας, Καθηγητής

Π. Λιόλιος, ΕΔΙΠ

ΧΑΝΙΑ

Φεβρουάριος, 2017

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

### ABSTRACT

The tunnel of access and transport of the Olympiada mine has been designed for a length of 8.4 km .Nowadays it is under construction with the conventional hubrid process of broaching tunnels using technique of broaching and blasting.

So far,more than 2 years after the start of its construction ,only 1600m of the tunnel have been excavated.

The extremely slow progress(total average 2.1m/d) is partly due to the works of soaking of the rifted rock with fluid mortals(cement injenctions) wich have been perfomed in order to reduce the increased water influxes but is also due to the design of the method of construction itself.

As an alternative method in this project the technique of continuous mining of tunnels with the attack of all the forehead by the machine TBM has been examined.

Our goal was (a) the collection of geotechnical and other data during the period from September to December 2016(b)the presentation of the technique of studying the broaching of tunnels with TBM and its further analysis as one of the most suitable types of TBM over the blockage method of the regions with increased water influx. Finally this comparative analysis would not have been complete without and the design of the broaching blasting technique with ultimate aim in the end the two methods to be compared as far as the mining speed of the connecting tunneland the cost are concerned.

This preliminary comparative analysis with 3 different scenario of the rock mass quality and delays at the settlement an function of TBM showed that this conventional broaching blasting method is more profitable than the TBM method.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η σήραγγα προσπέλασης και μεταφοράς του μεταλλείου Ολυμπιάδας έχει σχεδιασθεί να έχει μήκος περίπου 8,3 km. Επί του παρόντος είναι υπό κατασκευή με τη συμβατική υβριδική διαδικασία διάνοιξης σιηράγγων με την τεχνική διάτρησης-ανατίναξης. Μέχρι τώρα, περισσότερο από δύο έτη μετά την έναρξη της κατασκευής της, έχει γίνει εκσκαφή μόνο 1.600 m της σήραγγας. Η εξαιρετικά αργή πρόοδος (συνολικός μέσος όρος 2,1 m/d) οφείλεται μερικώς στις εργασίες εμποτισμού του ρηγματωμένου πετρώματος με ρευστά κονιάματα (τσιμεντενέσεις), οι οποίες εκτελέσθηκαν προκειμένου να μειωθούν οι αυξημένες εισροές υδάτων αλλά και στο σχεδιασμό της μεθόδου κατασκευής καθεαυτής. Ως εναλλακτική μέθοδος εξετάσθηκε στην παρούσα εργασία η τεχνική συνεχούς όρυξης σιηράγγων με προσβολή όλου του μετώπου με μηχανή TBM. Σκοπός μας ήταν (α) η συλλογή γεωτεχνικών και άλλων δεδομένων την περίοδο Σεπτ-Δεκ 2016, (β) η παρουσίαση της τεχνικής μελέτης διάνοιξης σιηράγγων με TBM και η περαιτέρω ανάλυση της όσον αφορά τον καταλληλότερο τύπο TBM συναρτήσει της μεθόδου έμφραξης των περιοχών αυξημένης εισροής υδάτων. Τέλος, δεν θα ήταν ολοκληρωμένη η συγκριτική αυτή ανάλυση χωρίς την θεώρηση και του σχεδιασμού της τεχνικής διάτρησης-ανατίναξης, με σκοπό στο τέλος να συγκριθούν οι δύο μέθοδοι ως προς την ταχύτητα όρυξης της συνδετήριας σήραγγας και το κόστος. Η προκαταρκτική αυτή συγκριτική αυτή ανάλυση με 3 διαφορετικά σενάρια ποιότητας βραχομάζας και καθυστερήσεων στην εγκατάσταση και λειτουργία του TBM, έδειξε ότι η συμβατική μέθοδος διάτρησης-ανατίναξης είναι πιο συμφέρουσα από τη μέθοδο TBM.

1	Περιεχόμενα	
1	Περιεχόμενα.....	4
2	Εισαγωγή.....	9
2.1	Σχετικά με το έργο.....	9
2.2	Ιστορική αναδρομή του έργου.....	11
2.2.1	Μεταλλείο των Μαύρων Πετρών .....	11
2.2.2	Μεταλλείο Ολυμπιάδας .....	12
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ .....	13
3.1	Γεωλογία της περιοχής και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά .....	13
3.2	Γεωτεχνικά δεδομένα γεώτρησης .....	16
3.2.1	Γεωτεχνική Ταξινόμηση βραχομάζας κατά μήκος της γεώτρησης σύμφωνα με το σύστημα Q.....	16
3.2.2	Εντοπισμός κύριων τεκτονικών δομών.....	21
3.2.3	Καταγραφή συστημάτων γεωτεχνικών δομών .....	22
3.2.4	Συστήματα διακλάσεων .....	26
3.2.5	Εργαστηριακές δοκιμές.....	27
3.2.6	Αποτελέσματα Εργαστηριακών δοκιμών .....	27
3.2.7	Μέτρο ελαστικότητας Young και λόγος Poisson .....	31
3.2.8	Αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό (Brazilian Test).....	33
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ .....	35
4.1	Μέθοδος TBM.....	35
4.1.1	Εισαγωγή.....	35
4.1.2	Εκτίμηση σκοπιμότητας για TBM.....	37
4.1.3	Διαχείριση των εισροών νερού κατά τη διάρκεια της κατασκευής .....	38
4.1.4	Εκτίμηση της δύναμης ώθησης και της καταπόνησης της επένδυσης .....	42
4.2	Επιλογή τύπου TBM.....	43
4.2.1	Υποστήριξη βραχομάζας .....	44
4.2.2	Κατανομή των κατηγοριών υποστήριξης .....	50
4.2.3	Χρόνος κατασκευής.....	53
4.2.4	Δυνατότητα διάνοιξης και φθορά .....	53
4.2.5	Κινητοποίηση TBM .....	55
4.2.6	Δρομολόγηση TBM .....	56
4.2.7	Κόστος κατασκευής.....	57
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ .....	64
5.1	Συμβατική μέθοδος διάτρησης - ανατίναξης .....	64
	Παρουσίαση μεθόδου.....	64
5.1.1	Διάτρηση .....	64
5.1.2	Γόμωση .....	65

5.1.3	Πυροδότηση .....	70
5.1.4	Ξεσκάρωμα .....	73
5.1.5	Φόρτωση – Μεταφορά .....	73
5.1.6	Κοχλίωση οροφής .....	74
5.1.7	Λοιπά στοιχεία υποστήριξης.....	79
5.1.8	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.....	79
5.2	Ταχύτητα μεθόδου διάτρησης-ανατίναξης.....	80
5.2.1	χρονομέτρηση κύριων εξορυκτικών εργασιών .....	80
5.3	Εκτίμηση κόστους μεθόδου διάτρησης ανατίναξης.....	82
5.3.1	Διάτρηση .....	82
5.3.2	Υποστήριξη .....	83
5.3.3	Κόστος εκτοξευόμενου σκυροδέματος.....	83
5.3.4	Γόμωση – Πυροδότηση .....	84
5.3.5	Φόρτωση – Μεταφορά .....	84
5.3.6	Κόστος εργασίας .....	84
6	Συμπεράσματα .....	86
7	Βιβλιογραφία.....	90

#### Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1	Είσοδος ενωτικής στοάς Ολυμπιάδας – Μαντέμ Λάκκου. ....	10
Εικόνα 2:	Τσιμεντενέσεις κατά μήκος της χιλιομετρικής θέσης (χ.θ.) της σήραγγας.....	10
Εικόνα 3:	Εργασίες στο μέτωπο. ....	11
Εικόνα 4:	Εργοστάσιο εμπλουτισμού Ολυμπιάδας. ....	12
Εικόνα 5:	Αρσеноπυρίτης .....	14
Εικόνα 6:	Σιδηροπυρίτης. ....	15
Εικόνα 7:	χρυσος.....	16
Εικόνα 8 (α)	Κλάσεις ποιότητας βραχομάζας σύμφωνα με το σύστημα Q, και (β) Ποιότητα βραχομάζας κατά μήκος της γεώτρησης σύμφωνα με το σύστημα Q.....	19

Εικόνα 9 Ταξινόμηση βραχομάζας σύμφωνα με το σύστημα Q κατά μήκος της γεώτρησης OLD_001. ....	20
Εικόνα 10: Κύριες τεκτονικές δομές κατά μήκος της γεώτρησης. ....	23
Εικόνα 11 (β) Στερεογραφική αποτύπωση των 3 συστημάτων διακλάσεων.....	26
Εικόνα 12 . Αποτελέσματα δοκιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη ανά λιθολογικό τύπο .....	30
Εικόνα 13 . Αποτελέσματα δοκιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη ομαδοποιημένων λιθολογικών τύπων.....	30
Εικόνα 14: Αποτελέσματα δοκιμών Μέτρου ελαστικότητας ανά λιθολογικό σχηματισμό (Young's Modulus) για τη γεώτρηση OLD_001 .....	32
Εικόνα 15 . Αποτελέσματα δοκιμών λόγου Poisson ανά λιθολογικό σχηματισμό για την γεώτρηση OLD_001 .....	33
Εικόνα 16 Αποτελέσματα δοκιμών αντοχής σε έμμεσο εφελκυσμό ανά γεωλογικό σχηματισμό (Brazilian test).....	34
Εικόνα 17 Οριζόντια ευθυγράμμιση .....	35
Εικόνα 18 Προφίλ σήραγγας TBM με χρησιμοποιήσιμη διάμετρο διάνοιξης (αριστερή πλευρά) και σύγκριση με την τρέχουσα τομή τύπου A (δεξιά πλευρά). ....	36
Εικόνα 19 Επιλογές για μείωση της ποσότητας εισροών νερού.....	40
εικόνα 20: Περιοχές εργασίας και ζώνες εργασίας.....	44
Εικόνα 21: Κατηγορία υποστήριξης A .....	47
Εικόνα 22 Κατηγορία υποστήριξης B.....	48
Εικόνα 23 Κατηγορία υποστήριξης C.....	49
Εικόνα 24 Συντελεστής χρήσης TBM ανά σενάριο.....	50
Εικόνα 25: Υποθέσεις σχετικές με την έκταση των ρηγματωμένων ζωνών με την κατηγορία υποστήριξης C.....	52
εικόνα 26: Δύναμη ώθησης που απαιτείται ως συνάρτηση των υπερκείμενων για τους τύπους πετρωμάτων Gn και Mr (υπερεκσκαφή = 3 cm).....	60
εικόνα 27 Δύναμη ώθησης που απαιτείται στις ρηγματώσεις ως συνάρτηση του πάχους της ρηγμάτωσης και των υπερκείμενων (υπερεκσκαφή = 3 cm) .....	60
εικόνα 28 Πίεση πετρώματος που δρα στην επένδυση ως συνάρτηση των υπερκείμενων για τους τύπους πετρωμάτων Gn και Mr (υπερεκσκαφή = 3 cm) .....	61
εικόνα 29 Πίεση πετρώματος που δρα στην επένδυση στις ρηγματώσεις ως συνάρτηση του πάχους της ρηγμάτωσης και των υπερκείμενων (υπερεκσκαφή = 3 cm) .....	61
εικόνα 30 Δύναμη ώθησης που απαιτείται ως συνάρτηση των υπερκείμενων για τους τύπους πετρωμάτων Gn και Mr (υπερεκσκαφή = 10 cm).....	61

εικόνα 31 Δύναμη ώθησης που απαιτείται στις ρηγματώσεις ως συνάρτηση του πάχους της ρηγματώσεως και των υπερκείμενων (υπερεκσκαφή = 10 cm) .....	62
εικόνα 32 Πίεση πετρώματος που δρα στην επένδυση ως συνάρτηση των υπερκείμενων για τους τύπους πετρωμάτων Gn και Mr (υπερεκσκαφή = 10 cm) .....	62
εικόνα 33 Πίεση πετρώματος που δρα στην επένδυση ως συνάρτηση του πάχους της ρηγματώσεως και των υπερκείμενων (υπερεκσκαφή = 10 cm) .....	63
εικόνα 34: Atlas Copco rocket boomer xε3c spares .....	64
Εικόνα 35: Η γόμωση του διατρήματος. Διακρίνεται στο βάθος του διατρήματος το καψύλλιο και η πλήρωση του υπόλοιπου διατρήματος με τα εκρηκτικά. ....	66
εικόνα 36 Η εσωτερική σύσταση του καψυλλίου .....	66
εικόνα 37 Ηλεκτρικά καψύλλια επιβραδύνσεως. Διακρίνονται με κόκκινο χρώμα ηλεκτρικού αγωγού τα LP και με μπλε χρώμα τα MS.....	67
εικόνα 38: Η συνδεσμολογία των ηλεκτρικών αγωγών.....	71
εικόνα 40: Ο φορτωτής Scooptram ST1030 της Atlas Copco. ....	73
Εικόνα 41 Barton Hypothetical comp. D&B versus TBM tunneling. ....	87

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: .Ρήγματα και ρηξιγενείς ζώνες με μεγάλη παροχή νερού .....	21
Πίνακας 2 : Κατηγοριοποίηση τεκτονικών δομών .....	21
Πίνακας 3: Καταγραφή γεωτεχνικών δεδομένων γεώτρησης. ....	24
Πίνακας 4 . Γεωμετρικά στοιχεία των 3 συστημάτων διακλάσεων.....	27
Πίνακας 5: . Εργαστηριακές δοκιμές που εκτελέστηκαν σε δοκίμια που λήφθηκαν από πυρήνες της γεώτρησης OLD_001 .....	27
Πίνακας 6: Λιθολογικοί τύποι που συναντώνται στη γεώτρηση OLD_001 .....	28
Πίνακας 7: Αποτελέσματα δοκιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη ανά λιθολογικό τύπο .....	28
Πίνακας 8: Αποτελέσματα δοκιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη ομαδοποιημένων λιθολογικών τύπων.....	29
Πίνακας 9: Αποτελέσματα δοκιμών Μέτρου ελαστικότητας (Young's Modulus) για τη γεώτρηση OLD_001 .....	31
Πίνακας 10: Αποτελέσματα δοκιμών λόγου Poisson για την γεώτρηση OLD_001 .....	32
Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά των κατηγοριών υποστήριξης A, B και C (μετά από κάθε βήμα όρυξης TBM = 1,80 m).....	46
Πίνακας 13 Χρόνος κατασκευής .....	54
Πίνακας 13 Παράμετροι πετρώματος .....	59
Πίνακας 14 : Οι προδιαγραφές του αγκυρίου. ....	76



## 2 Εισαγωγή

### 2.1 Σχετικά με το έργο

Το μεταλλείο της Ολυμπιάδας προβλέπεται να συνδεθεί με αυτό του Μαντέμ Λάκκο, μέσω μιας νέας συνδετήριας σήραγγας μήκους περίπου 8,3 χλμ. (Εικ. 1) μέσω της οποίας, στην επόμενη παραγωγική φάση, θα μεταφέρεται το μέταλλευμα υπογείως για κατεργασία στον Μαντέμ Λάκκο, απελευθερώνοντας με αυτόν τον τρόπο το εθνικό και επαρχιακό οδικό δίκτυο. Στην Ολυμπιάδα, βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη η αποκατάσταση ολόκληρης της μεταλλευτικής ζώνης από όλες τις αποθέσεις των προηγούμενων εκμεταλλεύσεων και η επεξεργασία τους στο εργοστάσιο εμπλουτισμού, από όπου προκύπτουν δύο εμπορεύσιμα προϊόντα. Παράλληλα προχωρά ο εκσυγχρονισμός και η ανάπτυξη του μεταλλείου ούτως ώστε να ξεκινήσει η υπόγεια εξόρυξη.

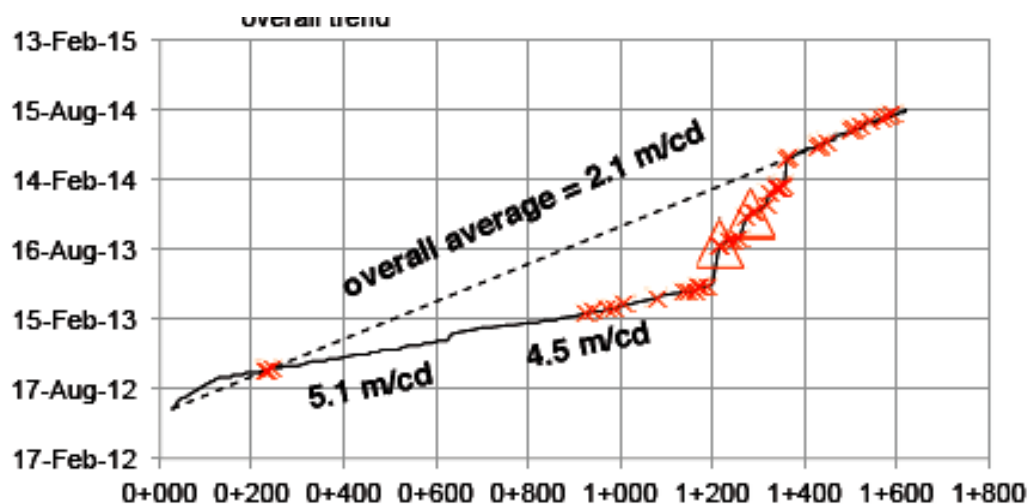
Με την ολοκλήρωση της διάνοιξης της νέας στοάς σύνδεσης με τον Μαντέμ Λάκκο και τη κατασκευή της νέας μονάδας επεξεργασίας θα εκκινήσει και η Γ' φάση λειτουργίας του έργου της Ολυμπιάδας.

Η σήραγγα προσπέλασης και μεταφοράς του μεταλλείου Ολυμπιάδας έχει μήκος περίπου 8,3 Km. . Επί του παρόντος είναι υπό κατασκευή με τη συμβατική διαδικασία διάνοιξης σηράγγων (διάτρηση-ανατίναξη). Μέχρι τώρα, περισσότερο από δύο έτη μετά την έναρξη της κατασκευής, έχει γίνει εκσκαφή μόνο 1.600 m . Η εξαιρετικά αργή πρόοδος (συνολικός μέσος όρος 2,1 m/d) οφείλεται μερικώς στις εργασίες έμφραξης των τοιχωμάτων της σήραγγας διά εμποτισμού με ρευστά κονιάματα (τσιμεντενέσεις), προκειμένου να μειωθούν οι εισροές νερού που εμφανίστηκαν περίπου στο Ch. 1+200 (chainage (Ch): χιλιομετρική θέση, χ.θ.) (βλ. Εικ. 2).



Εικόνα 1 Είσοδος ενωτικής στοάς Ολυμπιάδας – Μαντέμ Λάκκου.

Η καθυστέρηση αυτή στον ρυθμό προχώρησης της σήραγγας ήταν ο λόγος εξέτασης και άλλης εναλλακτικής μεθόδου όρυξης της σήραγγας. Σε αυτή την προκαταρκτική ή αναγνωριστική φάση της ανάλυσης επιλέξαμε να συγκρίνουμε την παρούσα μέθοδο συμβατικής διάνοιξης με διάτρηση-ανατίναξη με αυτήν της όρυξης σηράγγων με μηχανήμα ολομέτωπης κοπής TBM (Tunnel Boring Machine). Γι' αυτό το λόγο συλλέξαμε όλες τις παραμέτρους του προβλήματος ήτοι γεωλογικούς, βραχομηχανικούς, τεχνολογικούς, και οικονομικούς για να συγκρίνουμε και στο τέλος να καταλήξουμε πια μέθοδος είναι πιο συμφέρουσα.



Εικόνα 2: Τσιμεντενέσεις κατά μήκος της χιλιομετρικής θέσης (χ.θ.) της σήραγγας

## 2.2 Ιστορική αναδρομή του έργου

### 2.2.1 Μεταλλείο των Μαύρων Πετρών

Τυπική εικόνα του μετώπου μορφής στοάς του μεταλλείου φαίνεται στην Εικ. 3. Στο υπόψιν μεταλλείο το χρονικό ανάπτυξης έχει ως εξής:

2006-2013: Δαπανώνται 50 εκ. ευρώ για την αναβάθμιση του μεταλλείου Μαύρων Πετρών

2006 – 2009: Κατασκευάζονται 2 νέες υπερσύγχρονες στοές προσπέλασης

2005: Ξεκινά η αναβάθμιση του μεταλλείου των Μαύρων Πετρών

2003: Σταματά η λειτουργία του μεταλλείου των Μαύρων Πετρών

2002: Σταματά η λειτουργία του Μαντέμ Λάκκου



Εικόνα 3: Εργασίες στο μέτωπο.



### 2.2.2 Μεταλλείο Ολυμπιάδας

Το μεταλλείο της Ολυμπιάδας άποψη του οποίου φαίνεται στην Εικ. 4 παρέμεινε ανενεργό για 17 χρόνια. Σήμερα, προχωρά ο εκσυγχρονισμός και η ανάπτυξή του, ούτως ώστε να ξεκινήσει η υπόγεια εξόρυξη.



Εικόνα 4: Εργοστάσιο εμπλουτισμού Ολυμπιάδας.

Ήδη ολοκληρώθηκε ο εκσυγχρονισμός της κύριας ράμπας προσπέλασης +59, η κατασκευή της δευτερεύουσας στοάς προσπέλασης +70 που συνδέει το μεταλλείο με το υφιστάμενο εργοστάσιο εμπλουτισμού ενώ προχωρά η κατασκευή της νέας στοάς σύνδεσης με τον Μαντέμ Λάκκο.

Ο σχεδιασμός προβλέπει αποκλειστικά υπόγεια ανάπτυξη και εκμετάλλευση του μεταλλείου, με την μέθοδο των διαδοχικών κοπών και λιθογομώσεων. Συνολικά πρόκειται να κατασκευαστούν επιπλέον 10 χλμ. νέων στοών.

- 2012: Ξεκινά η υλοποίηση της επένδυσης της Ελληνικός Χρυσός. Λειτουργεί το ανακαινισμένο εργοστάσιο εμπλουτισμού και προχωρά η απομάκρυνση των παλαιών τελμάτων
- 2011: Εγκρίνονται με Κοινή Υπουργική απόφαση (Κ.Υ.Α.) οι περιβαλλοντικοί όροι του έργου της Ελληνικός Χρυσός στα Μεταλλεία Κασσάνδρας. Η Απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΑΕΠΠΟ) του έργου αφορά την Ολυμπιάδα, τις Σκουριές και το Στρατώνι
- 2004: Τα μεταλλευτικά δικαιώματα και οι μεταλλευτικές εγκαταστάσεις της Ολυμπιάδας περνούν στην Ελληνικός Χρυσός.

### 3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

#### 3.1 Γεωλογία της περιοχής και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά

Η παραγωγική εκμετάλλευση περιορίζεται σήμερα στο κοίτασμα των Μαύρων Πετρών στην περιοχή Στρατονίκης με διαθέσιμο αποθεματικό δυναμικό 1 εκατ. τόνων μικτού θειούχου μεταλλεύματος και περιεκτικότητες 7,62% Pb, 10,25% Zn, 179g/t Ag. Η τρέχουσα εξορυκτική ετήσια παραγωγή του μεταλλείου ανέρχεται περίπου σε 200.000 τόνους, ενώ στο εργοστάσιο εμπλουτισμού Στρατωνίου, παράγονται ετησίως 25.300 τόνοι αργυρούχου συμπυκνώματος μολύβδου (γαληνίτη) και 42.100 τόνοι συμπυκνώματος ψευδαργύρου (Σφαλερίτη) οι οποίοι στο σύνολό τους πωλούνται σε μεταλλουργίες του εξωτερικού.

Με την ενδεχόμενη επέκταση της εξορυκτικής δραστηριότητας στο μεταλλείο Ολυμπιάδας και τον εντοπισμό νέων αποθεμάτων μικτών θειούχων στην περιοχή Πιάβιτσας εκτιμάται ότι τα προϊόντα που θα προκύψουν σε όλη την διάρκεια της παραγωγικής εκμετάλλευσης θα ξεπεράσουν τους 920.000 τόνους συμπυκνώματος μολύβδου, 1.560.000 τόνους συμπυκνώματος ψευδαργύρου και 350.000 τόνους χρυσοφόρου συμπυκνώματος σιδηροπυρίτη / Αρσενοπυρίτη (βλ. Εικ. 5, 6). Η χημική σύσταση του κοιτάσματος μικτών θειούχων είναι 6% μόλυβδος (Pb), 6,01% ψευδάργυρος (Zn), 9 gr/t Χρυσός (Au) (Εικ. 7) και 138 gr/t άργυρος (Ag).



Εικόνα 5: Αρσеноπυρίτης





Εικόνα 6: Σιδηροπυρίτης.



Εικόνα 7 χρυσός

Την περίοδο της απασχόλησης μας στο μεταλλείο είχε ήδη ορυχθεί γεωτεχνική ερευνητική γεώτρηση προπορείας στο μέτωπο της σήραγγας, προσανατολισμένη παράλληλα με τον άξονα της σήραγγας, συνολικού μήκους 700,80m. Η διάτρηση αυτής της γεώτρησης ξεκίνησε από την Χ.Θ. 1+622,97 της στοάς. Η θέση της γεώτρησης έχει συντεταγμένες  $X= 482227.21$ ,  $Y= 4486686.86$  (ΕΓΣΑ '87) ενώ το απολυτό υψόμετρο στην αρχή της διάτρησης είναι +62.73m.

Λιθολογικά το επικρατές πέτρωμα της γεώτρησης είναι βιοτιτικός γνεύσιος (εικόνα 7) χαρακτηριστικός της γεωτεκτονικής ενότητας των Κερδυλλίων. Εντός του Βιοτιτικού γνευσίου και κατά μήκος της γεώτρησης εντοπίζονται διεισδύσεις λευκοκρατικού γρανιτικού γνευσίου. Κατά θέσεις παρατηρείται επίσης αυξημένη περιεκτικότητα του γνευσίου σε αμφιβόλους (αμφιβολιτικός γνεύσιος). Τεκτονικό λατυποπαγές που πιθανότατα σχετίζεται με τεκτονικές δομές, συναντάται σε μήκος γεώτρησης 546,6μ έως 547,4μ. Επίσης, λατυποπαγές με πυριτικό υλικό συγκόλλησης παρατηρείται σε μήκος 691,5μ έως 692,00μ. Ελάχιστη έως καθόλου είναι η παρουσία ισχυρών υδροθερμικών εξαλλοιώσεων. Κατά θέσεις και σε περιορισμένη έκταση παρατηρούνται ασθενής χλωριτική και σερικιτική εξαλλοίωση. Εισροή νερού εντοπίστηκε αρχικά σε ένα μήκος γεώτρησης 16μ. ενώ σε μήκος 45,7μ η γεώτρηση συνάντησε ρηξιγενή ζώνη με συνέπεια την αύξηση παροχής νερού. Παρομοίως αύξηση της παροχής νερού υπήρξε και σε απόσταση από το κολλάρο της γεώτρησης 635,9 μ. Περισσότερα δεδομένα για τις εισροές υδάτων φαίνονται στον Πίν. 1.

### 3.2 Γεωτεχνικά δεδομένα γεώτρησης

Η συλλογή γεωτεχνικών δεδομένων από την γεώτρηση OLD\_001, που πραγματοποιήθηκε στο υπόγειο κεκλιμένο της Ολυμπιάδας είχε ως στόχο:

- Την γεωμηχανική ταξινόμηση της βραχομάζας κατά Barton (Q-system)
- Τον εντοπισμό των κύριων τεκτονικών δομών.
- Την εύρεση των κύριων συστημάτων ασυνεχειών που επικρατούν στην εν λόγω περιοχή και συμβάλλουν στον κερματισμό της βραχομάζας.

#### 3.2.1 Γεωτεχνική Ταξινόμηση βραχομάζας κατά μήκος της γεώτρησης σύμφωνα με το σύστημα Q



Το σύστημα ταξινόμησης Q αναπτύχθηκε από τους Barton, Lien και Lunde (Barton et al, 1974) για τον προσδιορισμό των γεωμηχανικών παραμέτρων της βραχομάζας, αλλά και τον εμπειρικό σχεδιασμό της υποστήριξης στις σήραγγες.

Για τον υπολογισμό του δείκτη Q λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω παράμετροι:

- δείκτης ποιότητας βραχομάζας (RQD)
- ο αριθμός των συστημάτων ασυνεχειών (Joint Set Number – Jn)
- η τραχύτητα των ασυνεχειών (Joint Roughness Number – Jr)
- ο βαθμός αποσάθρωσης και πλήρωσης των ασυνεχειών (Joint alteration number – Ja)
- το καθεστώς του νερού στις ασυνέχειες (Joint Water Reduction Factor – Jw)
- τις διαφορές δυσμενείς παραμέτρους (βαθμός απομείωσης τάσεων) που συνδέονται με τη χαλάρωση, τις υψηλές τάσεις, καθώς και το βαθμό συμπίεσης και διόγκωσης του υλικού, (Stress Reduction Factor - SRF)

Η τελική ποιότητα της βραχομάζας σύμφωνα με το σύστημα Q δίνεται από την παρακάτω σχέση (βλ. Εικόνα 8α):

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Οι τιμές του Q κυμαίνονται μεταξύ 0.001 για εξαιρετικά κακής ποιότητας βραχομάζα έως 1000 για εξαιρετικά καλής ποιότητας βραχομάζα. Με τη χρήση ακραίων συνδυασμών των παραμέτρων οι τιμές του Q δύναται να είναι μικρότερες ή μεγαλύτερες από τα προαναφερθέντα όρια.

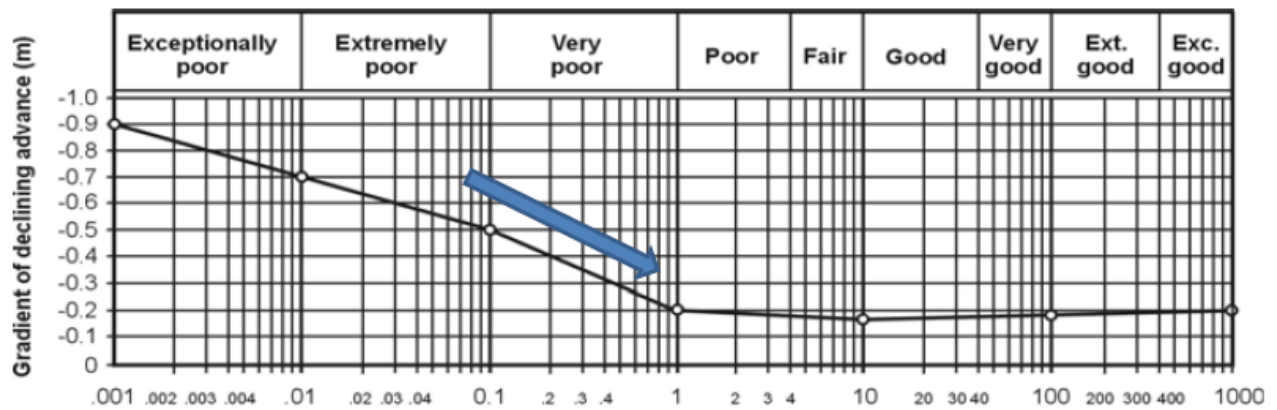
Στη γεώτρηση OLD\_001 οι τιμές του Q κυμαίνονται από Q=0,003 στις ρηξιγενείς ζώνες με έντονη παροχή νερού, έως Q=711 στον υγρή (μη τεκτονισμένο) Γρανιτικό Γνεύσιο.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από την γεωτεχνική περιγραφή του πυρήνα της γεώτρησης θεωρούνται επαρκή για την ταξινόμηση κατά το σύστημα Q (Barton).

Τα αποτελέσματα της γεωτεχνικής ταξινόμησης της βραχομάζας κατά το σύστημα Q (Barton) παρουσιάζονται στην Εικόνα 8β. Σύμφωνα με το διάγραμμα τύπου «πίτας» της Εικόνας 8β, το 80% της βραχομάζας όπως αυτή απεικονίζεται από τον πυρήνα της γεώτρησης χαρακτηρίζεται καλής έως πολύ καλής ποιότητας (58% very good, 22% good). Μόνο το 10% (3% extremely poor, 4% very poor and 3% poor) της βραχομάζας χαρακτηρίστηκε κακής έως πολύ κακής ποιότητας, ενώ το υπόλοιπο 10% της βραχομάζας χαρακτηρίστηκε μέτριας ποιότητας (10% fair).

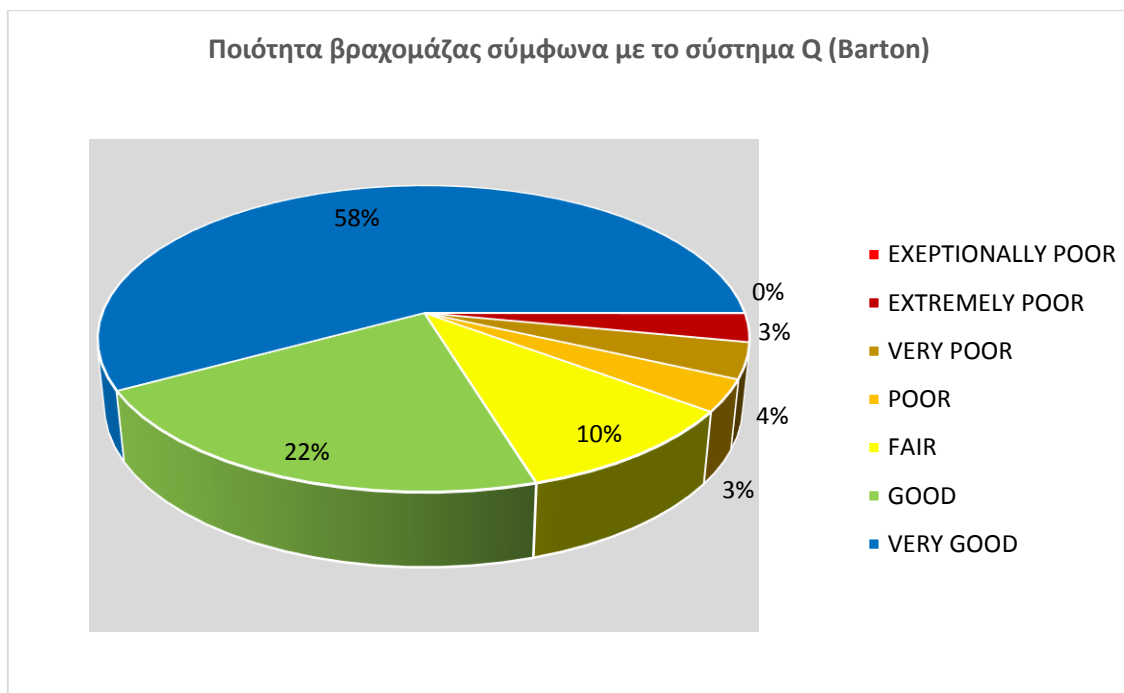
Στην Εικόνα 9 παρουσιάζεται η τρισδιάστατη απεικόνιση των κατηγοριών της βραχομάζας σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης Q (Barton) κατά μήκος της γεώτρησης.

Τα αναλυτικά δεδομένα που καταγράφηκαν από την γεωτεχνική περιγραφή του πυρήνα της γεώτρησης, και χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της γεωτεχνικής συμπεριφοράς της βραχομάζας, σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης Q (Barton), παρουσιάζονται στο Παράρτημα 3.



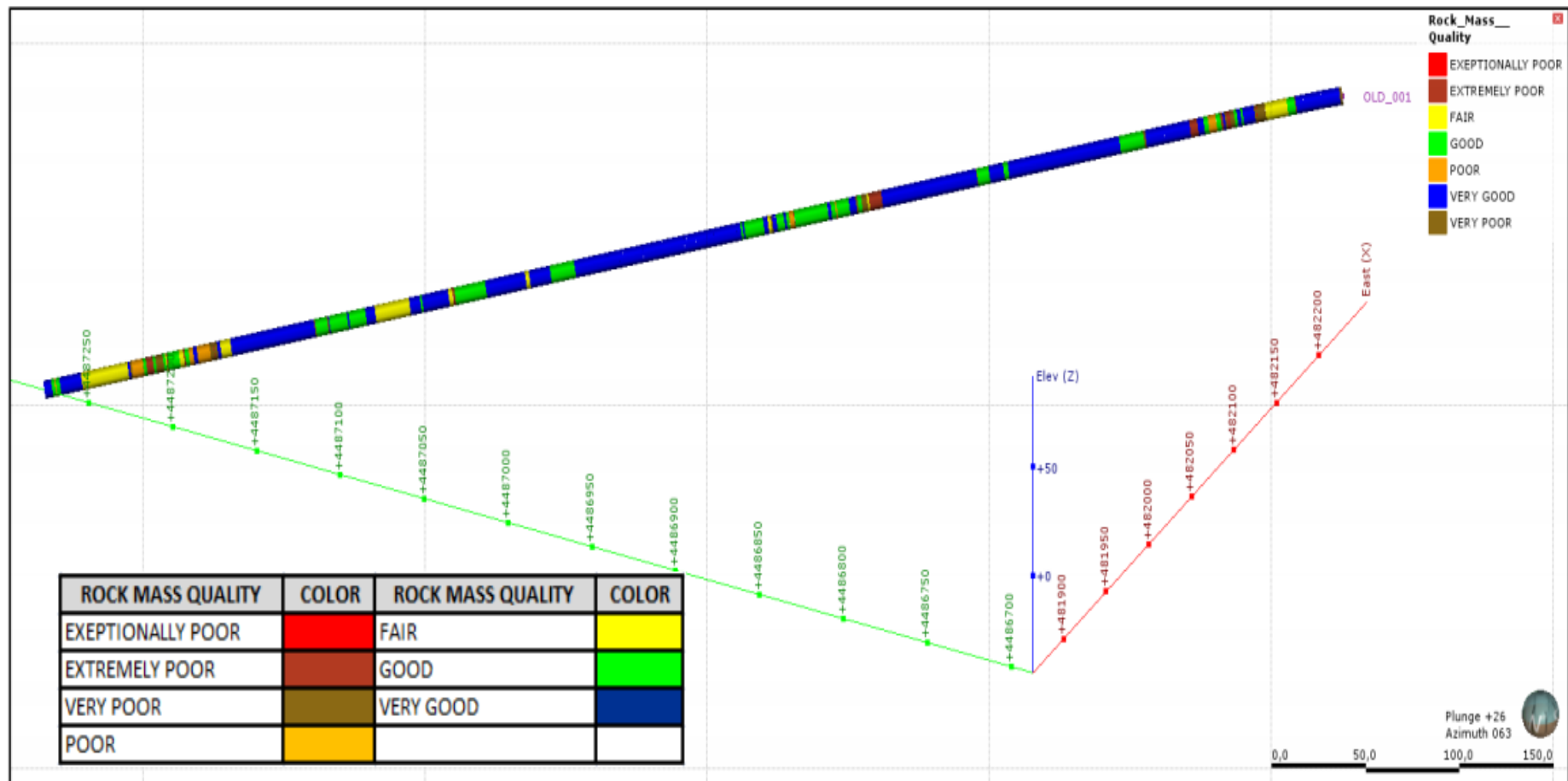
$$\text{Rock mass quality } Q = \left( \frac{RQD}{J_n} \right) \times \left( \frac{J_r}{J_a} \right) \times \left( \frac{J_w}{SRF} \right)$$

(α)



(β)

Εικόνα 7 (α) Κλάσεις ποιότητας βραχομάζας σύμφωνα με το σύστημα Q, και (β) Ποιότητα βραχομάζας κατά μήκος της γεώτρησης σύμφωνα με το σύστημα Q.



Εικόνα 8 Ταξινόμηση βραχομάζας σύμφωνα με το σύστημα Q κατά μήκος της γεώτρησης OLD\_001.

### 3.2.2 Εντοπισμός κύριων τεκτονικών δομών

Η γεώτρηση συνάντησε ρήγματα και ρηξιγενείς ζώνες με μεγάλη παροχή νερού 83 l/s (πίεση νερού 10-11 bar). Οι θέσεις όπου εντοπίστηκαν οι αναφερόμενες τεκτονικές δομές παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 1: Ρήγματα και ρηξιγενείς ζώνες με μεγάλη παροχή νερού.

Από (μ)	Έως (μ)	Τεκτονική δομή	
		Ρήγμα	Ρηξιγενής ζώνη
41,30	47,20		x
58,10	63,10		x
81,5	82,1	x	
248,40	255,30		x
323,50	323,90	x	
479,00	480,15	x	
600,00	610,60		x
624,70	654,30		x

Στο Παράρτημα 4 παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα των κύριων τεκτονικών δομών που καταγράφηκαν κατά την γεωτεχνική περιγραφή της γεώτρησης. Εξαιτίας της αδυναμίας προσανατολισμού του πυρήνα της γεώτρησης στις ρηξιγενείς ζώνες, λόγω κακής ποιότητας βραχομάζας και συνεπώς μικρής ανάκτησης πυρήνα, δεν μετρήθηκαν τα γεωμετρικά στοιχεία (γωνιά κλίσης και διεύθυνσης κλίσης) των ρηγμάτων. Τα ρήγματα αυτά – ή ρηξιγενείς ζώνες από αλληλοτμήσεις ρηγμάτων - δεν μπορούν να απεικονιστούν σε στερεογραφικές προβολές και να ερμηνευτούν πιθανά τους συστήματα.

Στην Εικόνα 10 απεικονίζονται σε τρισδιάστατο γράφημα, οι κύριες τεκτονικές δομές κατά μήκος της γεώτρησης οι οποίες έχουν κατηγοριοποιηθεί σύμφωνα με τον Πίνακα 2.

Πίνακας 2 : Κατηγοριοποίηση τεκτονικών δομών

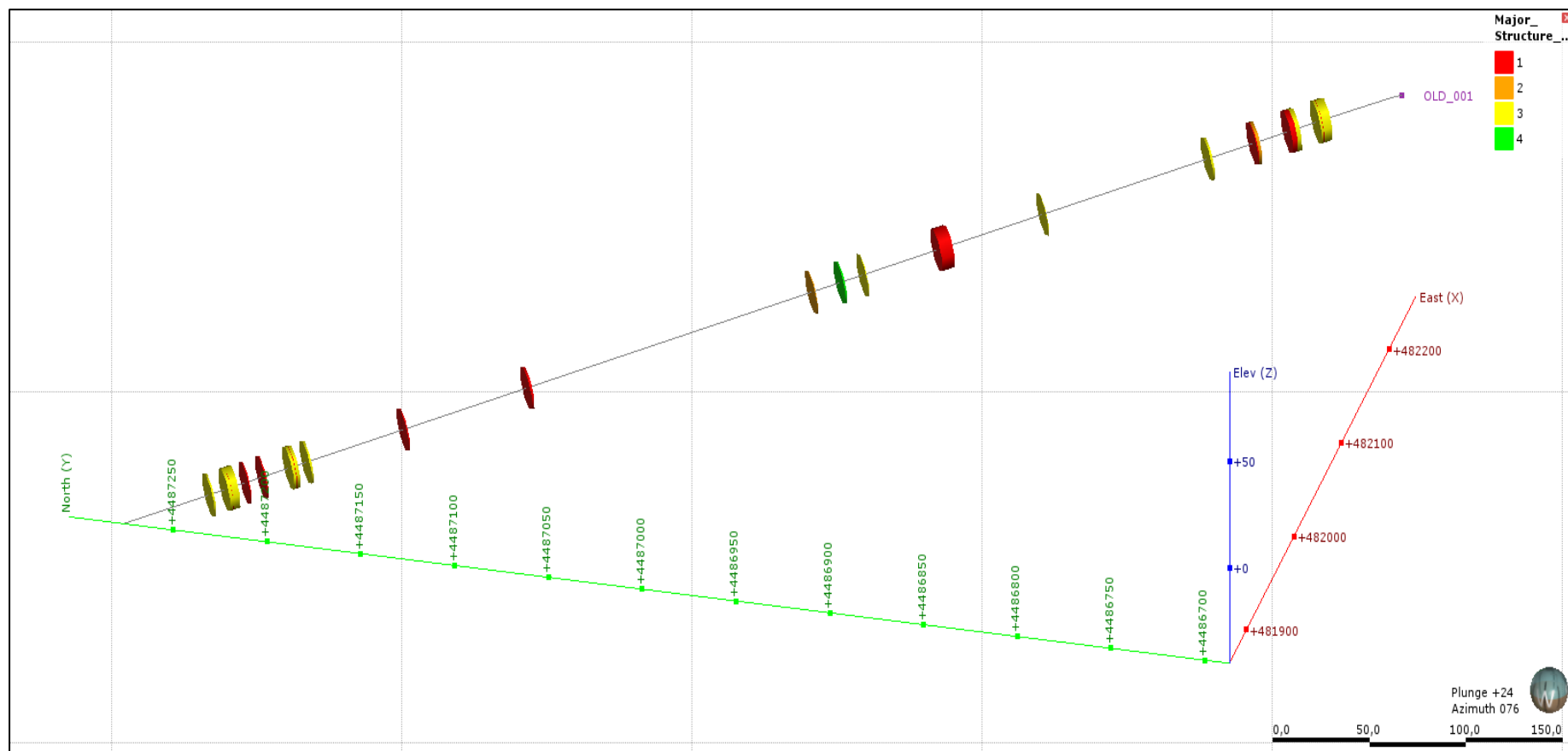
Κατηγορίες τεκτονικών δομών	
1	Έντονα ρηγματωμένη ζώνη

2	Εμφανής μετατόπιση ή γραμμές ολίσθησης
3	Εξαλλοιωμένη ή κερματισμένη ζώνη
4	Μέτρια κερματισμένη ζώνη

### 3.2.3 Καταγραφή συστημάτων γεωτεχνικών δομών

Κατά την αναλυτική περιγραφή του πυρήνα της γεώτρησης, συλλέχθηκαν 1332 μετρήσεις γεωτεχνικών δομών (διακλάσεις, ρήγματα, σχιστότητα κ.α.). Τα στοιχεία που καταγράφηκαν αφορούν τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά κάθε δομής όπως φαίνεται στο Πίνακα 3.

Στην συνέχεια οι κύριες γεωτεχνικές δομές (διακλάσεις, ρήγματα, σχιστότητα κ.α.) διαχωρίστηκαν, αναλύθηκαν και απεικονίστηκαν με τη βοήθεια της μεθόδου της στερεογραφικής προβολής , ώστε να αξιολογηθούν και να ομαδοποιηθούν τα δεδομένα για την κατανόηση του γεωτεχνικού μοντέλου της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 9: Κύριες τεκτονικές δομές κατά μήκος της γεώτρησης.

Πίνακας 3: Παράδειγμα καταγραφής γεωτεχνικών δεδομένων γεώτρησης.

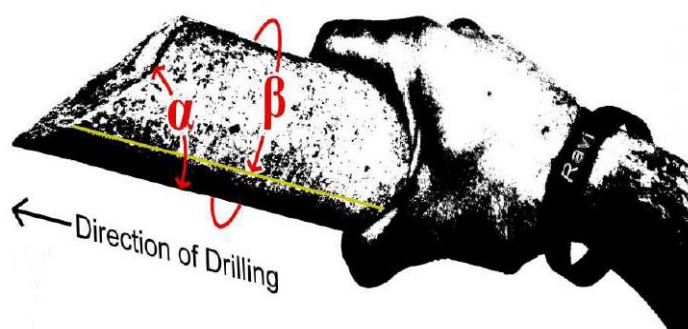
		Structure ID		Structure Type	Orientation			Brittle Structure Properties						Water Staining (Y/N)	Comments
Borehole number	Core Size	No.	Depth	Code	Alpha	Beta	Top/ Bottom	Micro - Scale Geometry	Thickness (mm)	Fill Type	2nd Fill	Infill Strength	Apperture		
OLD_001	HQ	276	195.90	J2	46	85	B	8	1 - 5	CAL	Clay	3	1 - 5	N	
OLD_001	HQ	277	196.25	J2	32	100	B	7	<1	CAL	Clay	3	1 - 5	N	
OLD_001	HQ	278	196.35	J2	39	98	B	7	1 - 5	CAL	Clay	3	1 - 5	N	
OLD_001	HQ	279	196.50	J1	12	103	B	7	1 - 5	CAL		3	1 - 5	N	
OLD_001	HQ	280	196.80	OC	30	114	B	7	<1	CAL		3	<1	N	
OLD_001	HQ	281	196.90	J2	31	119	B	8	1 - 5	Clay	CAL	3	1 - 5	N	
OLD_001	HQ	282	197.20	FT	39	10	B	4	>5	Clay	CAL	3	1 - 5	N	Μικρό ρήγμα με πλήρωση
OLD_001	HQ	283	197.30	OC	24	350	B	4	1 - 5	Clay	CAL	3	1 - 5	N	
OLD_001	HQ	284	197.40	OC	76	58	B	4	1 - 5	Clay	CAL	3	1 - 5	N	
OLD_001	HQ	285	197.50	J1	26	105	B	4	1 - 5	Clay	CAL	3	1 - 5	N	
OLD_001	HQ	286	198.40	OC	46	120	B	8	1 - 5	CAL		3	<1	N	
OLD_001	HQ	287	198.90	J1	21	142	B	7	1 - 5	Clay	CAL	3	1 - 5	N	
OLD_001	HQ	288	199.00	FJc	21	127	B		NONE	NONE		NONE			
OLD_001	HQ	289	200.05	FJ	42	157	B	8	1 - 5	CAL		3	1 - 5	N	
OLD_001	HQ	290	200.30	OC	48	158	B	9	<1	CAL		3	<1	N	
OLD_001	HQ	291	200.50	OC	64	92	B	4	<1	CAL		3	<1	N	
OLD_001	HQ	292	200.85	J2	56	119	B	8	<1	CAL		3	<1	N	



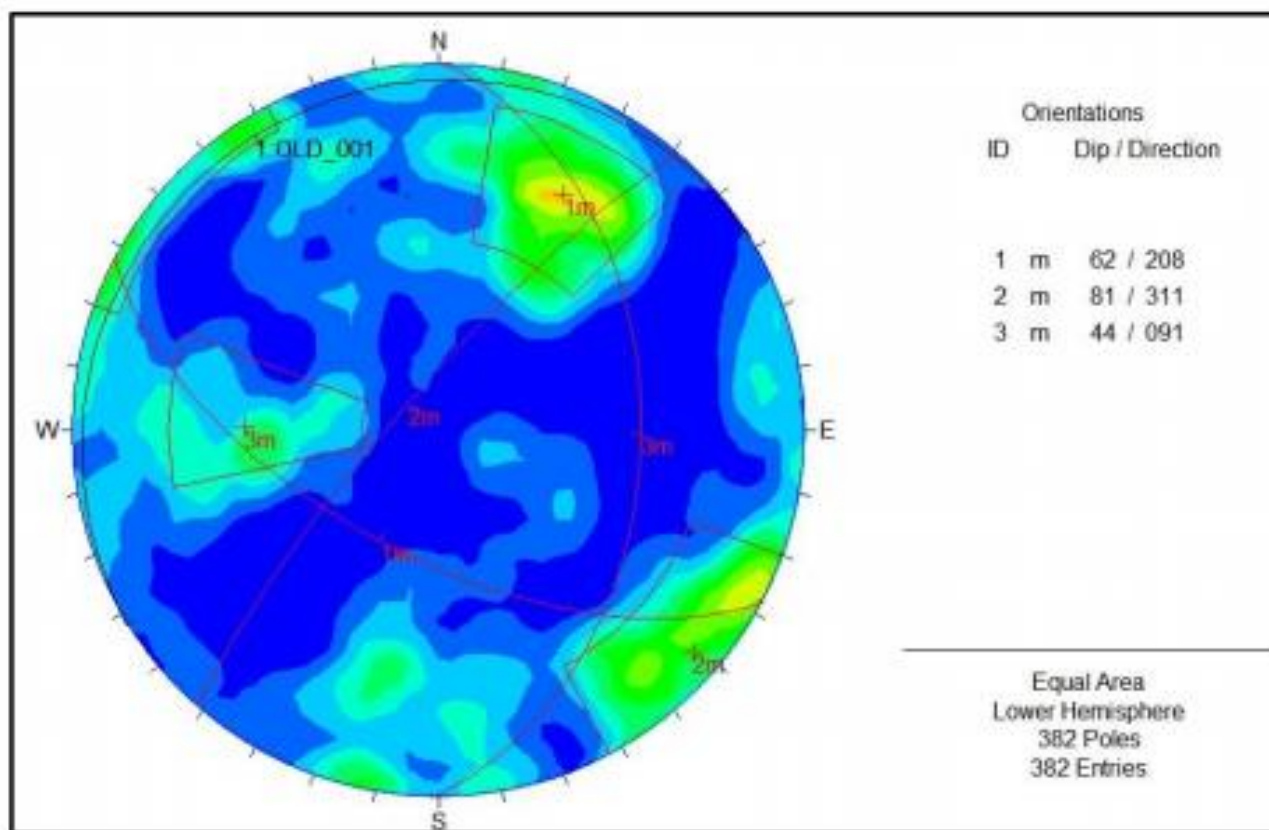
OLD_001	HQ	293	200.87	J2	55	125	B	9	1 - 5	CAL	Clay	3	1 - 5	N	
OLD_001	HQ	294	201.30	OC	39	102	B	6	<1	CAL stn		3	<1	N	

### 3.2.4 Συστήματα διακλάσεων

Όπως προαναφέρθηκε η γεώτρηση ήταν με προσανατολισμένο πυρήνα με τη μέθοδο Reflex Act για τον προσδιορισμό των γωνιών  $\alpha$ ,  $\beta$  (Εικόνα 11α) που δίνουν απευθείας την κλίση και τη διεύθυνση της κλίσης, αντίστοιχα, κάθε ασυνέχειας. Έπειτα από την ανάλυση και στερεογραφική απεικόνιση των γεωτεχνικών δεδομένων που ελήφθησαν, εντοπίστηκε η παρουσία τριών (3) κυρίων συστημάτων διακλάσεων (Εικόνα 11β, Πίνακας 4)



(α)



Εικόνα 10 (β) Στερεογραφική αποτύπωση των 3 συστημάτων διακλάσεων.

Πίνακας 4 . Γεωμετρικά στοιχεία των 3 συστημάτων διακλάσεων

Σύστημα Διακλάσεων	Γωνία κλίσης (μοίρες)	Διεύθυνση κλίσης (μοίρες)
1	62	208
2	81	311
3	44	091

Από τη στερεογραφική προβολή φαίνεται ότι υπάρχει μια ομαδοποίηση των δύο συστημάτων διακλάσεων (Set 1: 62/208 και Set 2: 81/311), τα οποία φαίνεται να είναι υψηλής αξιοπιστίας. Μετά το 250m διάτρησης της γεώτρησης, υπάρχει ένδειξη ύπαρξης ενός ακόμα συστήματος (Set 3: 44/091), η αξιοπιστία του οποίου όμως κρίνεται μέτρια.

### 3.2.5 Εργαστηριακές δοκιμές

Για τον προσδιορισμό των γεωμηχανικών παραμέτρων της βραχομάζας, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία δοκιμών από την γεώτρηση για εργαστηριακές δοκιμές. Συνολικά συλλέχθηκαν 274 δείγματα και εκτελέστηκαν οι δοκιμές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5. Οι δοκιμές έγιναν με βάση τεχνικές προδιαγραφές σύμφωνες με τα διεθνή πρότυπα (ISRM).

Πίνακας 5: . Εργαστηριακές δοκιμές που εκτελέστηκαν σε δοκίμια που λήφθηκαν από πυρήνες της γεώτρησης OLD\_001

Γεώτρηση OLD_001	
Εκτελεσθείσα δοκιμή	Αριθμός δειγμάτων
Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη	130
Μέτρο ελαστικότητας Young – Λόγος Poisson	72
Δοκιμή έμμεσου εφελκυσμού (Brazilian Test)	72
Συνολικός αριθμός δειγμάτων	274

### 3.2.6 Αποτελέσματα Εργαστηριακών δοκιμών

Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών αξιολογήθηκαν και αναλύθηκαν, ώστε να προσδιοριστούν οι μηχανικές ιδιότητες των σχηματισμών που απαντώνται στην προσανατολισμένη γεώτρηση OLD\_001. Τα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζουν τις τιμές των κάτωθι γεωμηχανικών παραμέτρων:

- Ανεμπόδιστη Μονοαξονική Θλίψη
- Μέτρο Ελαστικότητας Young
- Λόγος Poisson,
- Αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό,

Έχει διεξαχθεί λεπτομερής ανάλυση της βάσης δεδομένων των εργαστηριακών δοκιμών προκειμένου να εκτιμηθούν οι γεωμηχανικές παράμετροι των επιμέρους λιθολογικών τύπων. Η βάση δεδομένων περιλαμβάνει οκτώ (8) διαφορετικούς λιθολογικούς τύπους οι οποίοι παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6: Λιθολογικοί τύποι που συναντώνται στη γεώτρηση OLD\_001

Κωδικός	Λιθολογικός τύπος
AGN	Αμφιβολιτικός γνεύσιος
AM	Αμφιβολίτης
BGN	Βιοτιτικός γνεύσιος
GGN	Γρανιτικός γνεύσιος
CBSC	Ανθρακούχος σχιστόλιθος
FBGN	Αστριούχος Βιοτιτικός γνεύσιος
GN	Γνεύσιος
PE	Πηγματίτης

Τα αποτελέσματα των δοκιμών ανεμπόδιστης μονοαξονικής θλίψης αξιολογήθηκαν βάσει του τρόπου αστοχίας του δοκιμίου. Μόνο οι δοκιμές στις οποίες το δοκίμιο αστόχησε στη μάζα του ελήφθησαν υπόψη ως μετρήσεις υψηλής αξιοπιστίας. Οι αστοχίες κατά μήκος υφιστάμενων διακλάσεων ή φλεβών δεν αντιπροσωπεύουν την πραγματική αντοχή του δοκιμίου και δεν χρησιμοποιήθηκαν στην περαιτέρω ανάλυση.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών ανά λιθολογικό τύπο παρουσιάζονται στον Πίνακα 7 και το αντίστοιχο εικόνα12 .

Επιπλέον πραγματοποιήθηκε απλοποίηση (ομαδοποίηση) των λιθολογικών τύπων και υπολογίστηκε ξανά ο μέσος όρος της ανεμπόδιστης μονοαξονικής αντοχής, όπως φαίνεται στον Πίνακα 7 , και στην Εικόνα 13.

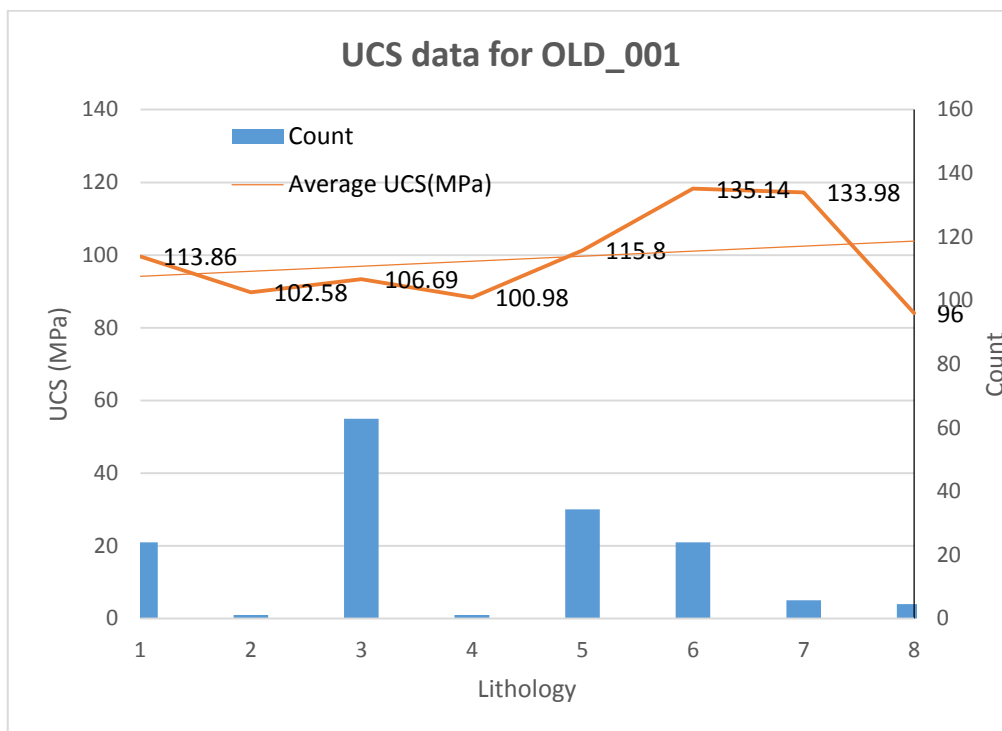
Πίνακας 7: Αποτελέσματα δοκιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη ανά λιθολογικό τύπο

Λιθολογία	Δοκιμές	Μέσος όρος UCS (MPa)	Τυπική απόκλιση (MPa)
AGN	21	113.86	39.56
AM	1	102.58	-
BGN	55	106.69	36.37
CBSC	1	100.98	-

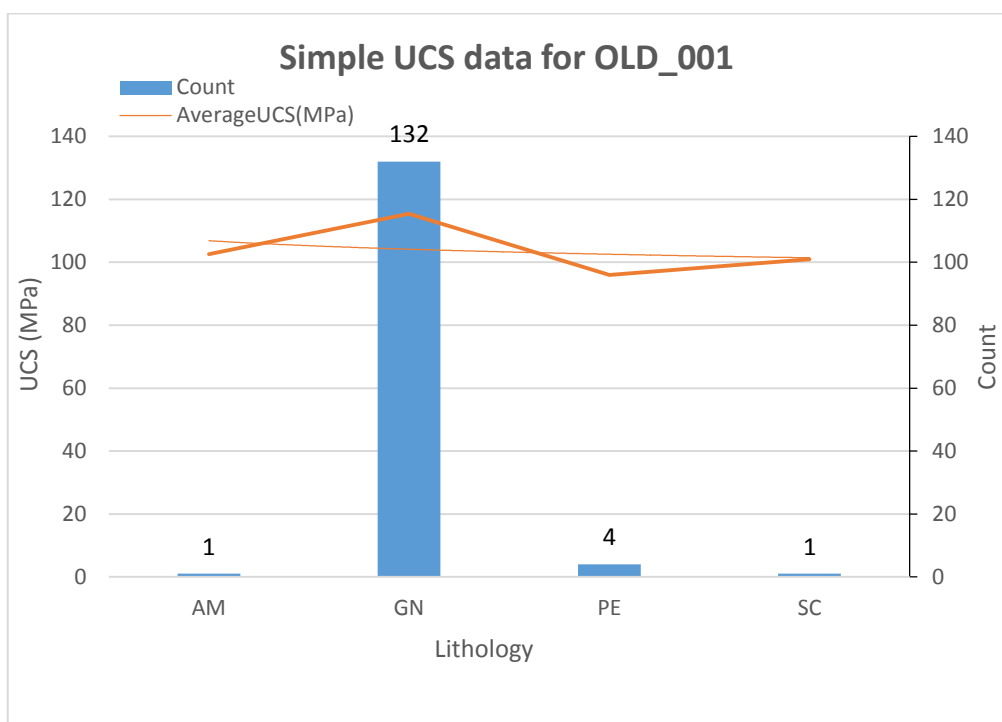
FBGN	30	115.80	37.90
GGN	21	135.14	55.07
GN	5	133.98	53.27
PE	4	96.00	23.48

Πίνακας 8: Αποτελέσματα δοκιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη ομαδοποιημένων λιθολογικών τύπων

Απλοποιημένη λιθολογία	Δοκιμές	Μέσος όρος UCS (MPa)	Τυπική απόκλιση (MPa)
AM	1	102.58	-
GN	132	115.46	41.95
PE	4	96.00	23.48
SC	1	100.98	-



Εικόνα 11 . Αποτελέσματα δοκιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη ανά λιθολογικό τύπο



Εικόνα 12 . Αποτελέσματα δοκιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη ομαδοποιημένων λιθολογικών τύπων

### 3.2.7 Μέτρο ελαστικότητας Young και λόγος Poisson

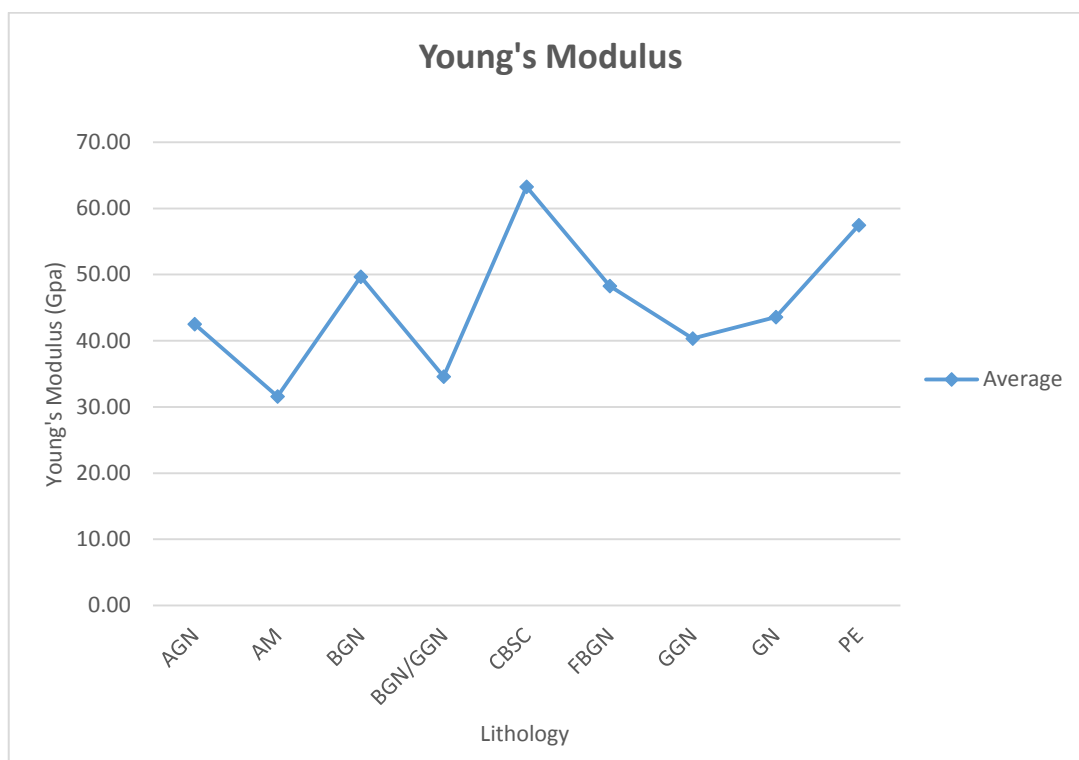
Παράλληλα με τις εργαστηριακές δοκιμές ανεμπόδιστης μονοαξονικής θλίψης, έγινε υπολογισμός του μέτρου ελαστικότητας Young και του λόγου Poisson.

Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση ανά λιθολογία του Μέτρου Ελαστικότητας Young και στον Πίνακα 10 ο μέσος όρος του λόγου Poisson.

Επίσης παρακάτω παρουσιάζονται και τα αντίστοιχα γραφήματά τους (Εικόνες 14 και 15 αντίστοιχα).

Πίνακας 9: Αποτελέσματα δοκιμών Μέτρου ελαστικότητας (Young's Modulus) για τη γεώτρηση OLD\_001

Λιθολογία	Δοκιμές	Μέσος όρος μέτρου ελαστικότητας Young (GPa)	Τυπική απόκλιση (GPa)
AGN	30	42.50	26.01
AM	1	31.58	-
BGN	98	49.67	32.32
BGN/GGN	1	34.57	-
CBSC	2	63.25	52.58
FBGN	34	48.27	36.02
GGN	24	40.37	23.09
GN	8	43.59	28.90
PE	4	57.49	55.16

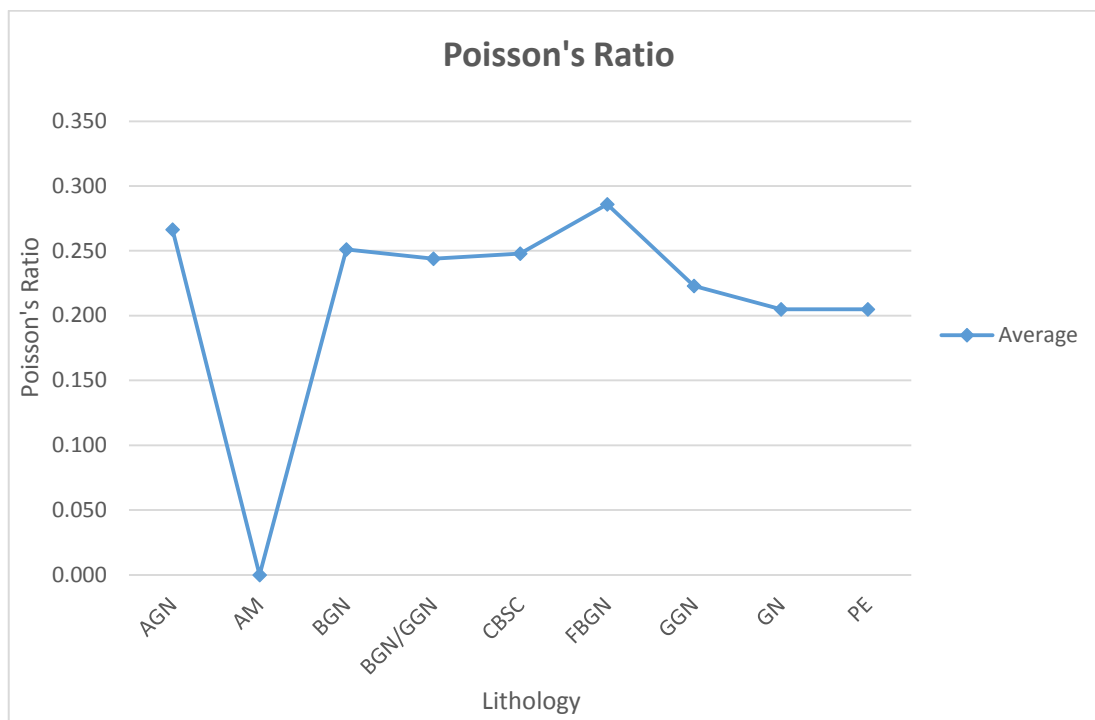


Εικόνα 13: Αποτελέσματα δοκιμών Μέτρου ελαστικότητας ανά λιθολογικό σχηματισμό (Young's Modulus) για τη γεώτρηση OLD\_001

Πίνακας 10: Αποτελέσματα δοκιμών λόγου Poisson για την γεώτρηση OLD\_001

Λιθολογία	Δοκιμές	Μέσος όρος του λόγου Poisson	Τυπική απόκλιση
AGN	12	0.266	0.057
AM	-	-	-
BGN	38	0.251	0.070
BGN/GGN	1	0.244	-
CBSC	1	0.248	-
FBGN	11	0.286	0.053
GGN	6	0.223	0.058
GN	2	0.205	0.013
PE	1	0.205	-





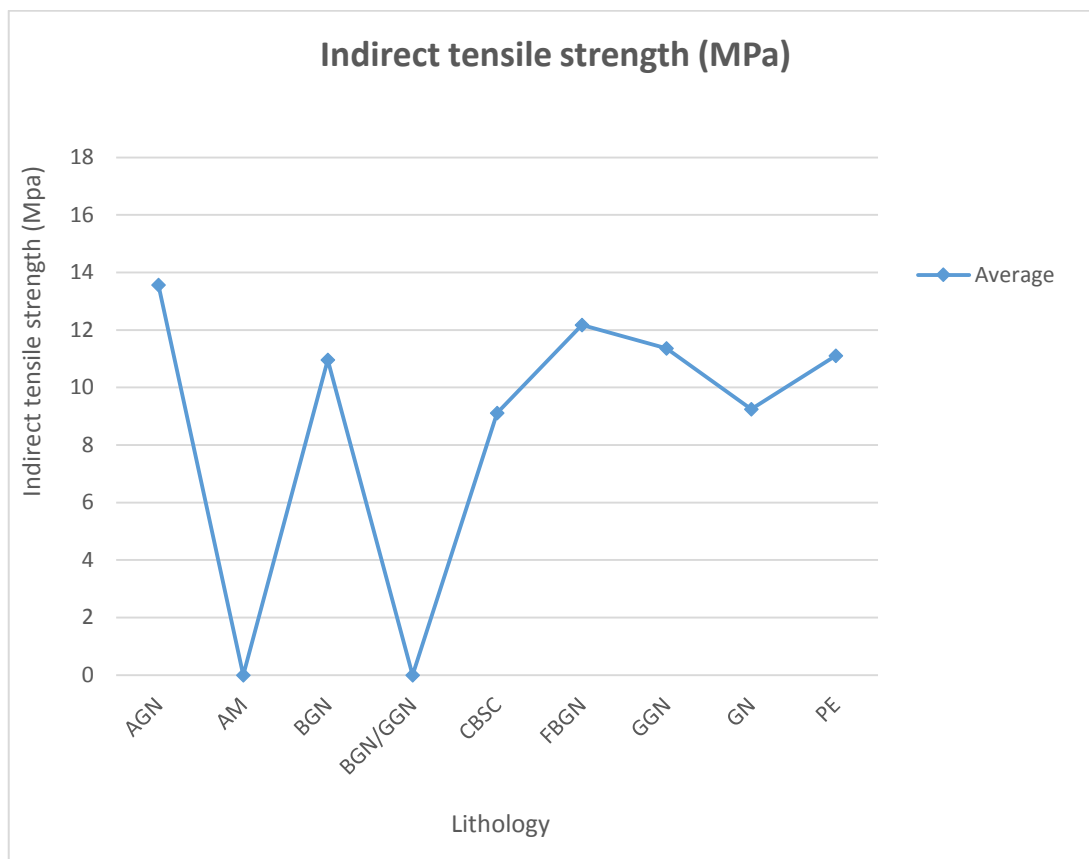
Εικόνα 14 . Αποτελέσματα δοκιμών λόγου Poisson ανά λιθολογικό σχηματισμό για την γεώτρηση OLD\_001

### 3.2.8 Αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό (Brazilian Test)

Η μέση τιμή των εργαστηριακών αποτελεσμάτων των δοκιμών της αντοχής σε έμμεσο εφελκυσμό, καθώς και η τυπική τους απόκλιση ανά λιθολογικό τύπο, παρουσιάζονται στον Πίνακα 11 και το αντίστοιχο γράφημα στην Εικόνα 16,

Πίνακας 11 Αποτελέσματα δοκιμών αντοχής σε έμμεσο εφελκυσμό (Brazilian test)

Λιθολογία	Δοκιμές	Μέση αντοχή σε έμμεσο εφελκυσμό (MPa)	Τυπική απόκλιση (MPa)
AGN	12	13.56	2.32
AM	-	-	-
BGN	38	10.96	3.62
BGN/GGN	-	-	-
CBSC	1	9.11	-
FBGN	11	12.17	3.20
GGN	7	11.36	5.92
GN	2	9.25	1.84
PE	1	11.10	-



Εικόνα 15 Αποτελέσματα δοκιμών αντοχής σε έμμεσο εφελκυσμό ανά γεωλογικό σχηματισμό (Brazilian test).

Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την επεξεργασία των εργαστηριακών δεδομένων συνοψίζονται ως εξής:

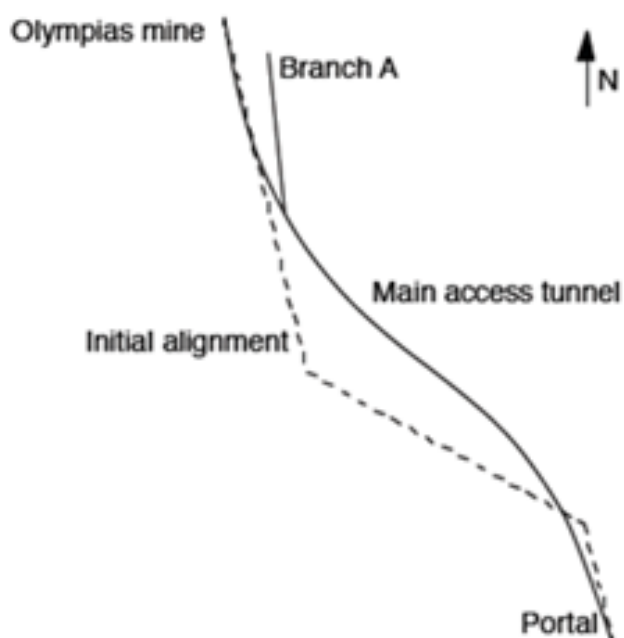
- Ο γρανιτικός γνεύσιος (GGN) παρουσίασε την υψηλότερη (135.14 MPa) τιμή μονοαξονικής αντοχής, σε αντίθεση με τον πηγματίτη (PE) που εμφάνισε τη χαμηλότερη τιμή (96.00 MPa)
- Ο ανθρακούχος σχιστόλιθος (CBSC) είναι ο λιθολογικός σχηματισμός με το μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας Young (63.25 GPa) ενώ ο αμφιβολίτης παρουσίασε τη χαμηλότερη τιμή (31.58 GPa).
- Ο Αστριούχος Βιοτιτικός Γνεύσιος (FBGN) παρουσίασε τη μέγιστη τιμή του λόγου Poisson (0.286), σε αντιδιαστολή με τον γνεύσιο (GN) και τον πηγματίτη (PE) που έδωσαν τις μικρότερες τιμές (0.205)
- Τέλος ο αμφιβολιτικός γνεύσιος (AGN) παρουσίασε την υψηλότερη τιμή αντοχής σε έμμεσο εφελκυσμό (13.56 MPa), ενώ ο ανθρακικός σχιστόλιθος (CBSC) την χαμηλότερη (9.11 MPa).

## 4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### 4.1 Μέθοδος TBM

#### 4.1.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με την αρχική χάραξη, η σήραγγα θα είχε μήκος 8.770 m με μια οριζόντια ευθυγράμμιση διαμόρφωσης «Z» (Εικόνα: 17), προκειμένου να προσεγγιστούν τα μάρμαρα με σκοπό την πιθανή μελλοντική αξιοποίηση του μεταλλεύματος. Σύντομα μετά την κατασκευή η ευθυγράμμιση άλλαξε. Η τρέχουσα ευθυγράμμιση εντοπίζεται ελαφρώς προς ανατολάς από την αρχική ευθυγράμμιση και έχει ένα μήκος περίπου 8.300 m.



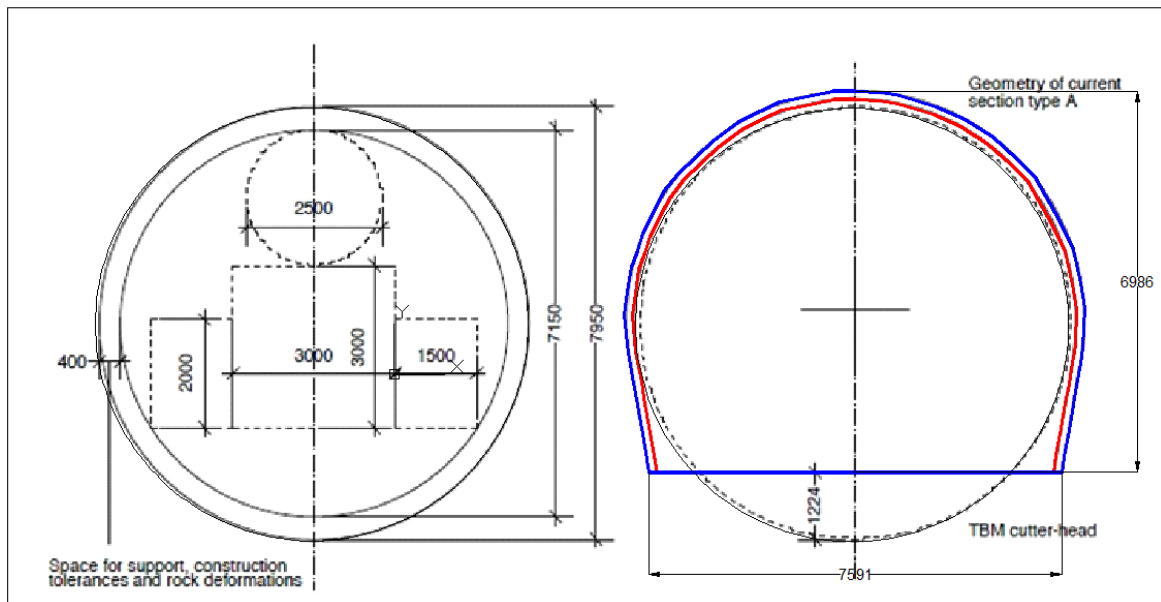
Εικόνα 16 Οριζόντια ευθυγράμμιση

Η σήραγγα αρχίζει στο υψόμετρο των +240 m και τελειώνει περίπου στα -660 m, έχοντας κατά συνέπεια μια κλίση περίπου 11% προς τα κατόντη.

Στην αρχική ευθυγράμμιση το μέγιστο ύψος των υπερκειμένων ήταν 900 m. Η νέα ευθυγράμμιση είναι βαθύτερη και το πάχος των υπερκειμένων ανέρχεται σε περισσότερο από 600 m σε ποσοστό άνω του 70% της σήραγγας.

Το μέγεθος της διαθέσιμης διατομής καθορίζεται από τις ακόλουθες απαιτήσεις, οι οποίες είναι (1) ο απαιτούμενος ελεύθερος χώρος (μέγεθος 3 m x 3 m) όπως φαίνεται στην Εικ. 18 για την κυκλοφορία φορτηγών, δύο κράσπεδα (πλάτους 1,50 m το κάθε ένα) και στις δύο πλευρές του χώρου αυτού και ένας αγωγός εξαερισμού (διάμετρος 2,50 m). (2) Επιπλέον, κάθε 900 m προβλέπονται διευρυμένες διατομές σηράγγων που

θα χρησιμεύουν για προσωρινή στάθμευση και να επιτρέπουν κυκλοφορία δύο κατευθύνσεων.



Εικόνα 17 Προφίλ σήραγγας TBM με χρησιμοποιήσιμη διάμετρο διάνοιξης (αριστερή πλευρά) και σύγκριση με την τρέχουσα τομή τύπου A (δεξιά πλευρά).

Οι παραπάνω απαιτήσεις οδηγούν σε μια χρησιμοποιήσιμη διάμετρο 7,15 m (Εικόνα: 18). Αν και η τρέχουσα προγραμματισμένη επιχειρησιακή σχεδίαση προβλέπει τη μεταφορά μεταλλεύματος από μια μεταφορική ταινία, το μέγεθος της χρησιμοποιήσιμης διατομής δεν μπορεί να απομειωθεί. Μια μικρότερη διάμετρος θα περιορίζε τις επιλογές για τη μελλοντική αξιοποίηση μεταλλεύματος και θα προκαλούσε σημαντικά υψηλότερα λειτουργικά κόστη, επειδή η σήραγγα προσπέλασης θα χρησιμοποιούνταν επίσης για τον εξαερισμό του μεταλλείου.

#### 4.1.2 Εκτίμηση σκοπιμότητας για TBM

Τα πετρώματα στη ευρύτερη περιοχή του έργου είναι: βιοτιτικοί γνεύσιοι, μάρμαρα και αμφιβολίτες. Οι αμφιβολίτες αναμενόταν (και αντιμετωπίστηκαν επίσης) μόνον πολύ κοντά στην πύλη εισόδου. Αυτοί δεν αναμένονται κατά μήκος της διαδρομής TBM.

Τα μάρμαρα, που μπορεί να διασχίζονται από ρωγμές με μεγάλο άνοιγμα λόγω διάβρωσης και να προκαλούν σημαντικές εισροές νερού, αναμένονταν πάνω από ένα σχετικό τμήμα της σήραγγας γύρω από το σημείο χωρομέτρησης (Chainage) 2+000 της αρχικής ευθυγράμμισης.

Η νέα ευθυγράμμιση είναι σαφώς στα ανατολικά των μαρμάρων, η πιθανότητα διάσχισης των μαργών είναι πολύ χαμηλή, με την εξαίρεση ίσως ενός μικρού τμήματος της σήραγγας κοντά στο μεταλλείο της Ολυμπιάδας. Συμπερασματικά, η σήραγγα TBM θα διασχίσει ως επί το πλείστον τους γνεύσιους. Οι γνεύσιοι θα είναι στη μεγαλύτερη έκταση τους ανθεκτικοί. Ενδεχομένως να χρειαστεί να αντιμετωπιστούν σποραδικά ρηγματωμένες ζώνες, ενώ η ρηγμάτωση, η διάτμηση και η πτύχωση (folding) δεν αντιπροσωπεύουν, εντούτοις, τους κύριους κινδύνους στην παρούσα περίπτωση. Οι εμφανίσεις γεωθερμικά εξαλλοιωμένου πετρώματος είναι εγγενώς απρόβλεπτες, αλλά η πιθανότητά τους είναι χαμηλή.

Η ποιότητα του πετρώματος που συναντήθηκε μέχρι τώρα, καθώς επίσης και στην πρόσφατα πραγματοποιηθείσα διερευνητική γεώτρηση μήκους 700 m ήταν καλή έως άριστη.

#### 4.1.3 Διαχείριση των εισροών νερού κατά τη διάρκεια της κατασκευής

Δεν αναμένονται σημαντικές εισροές νερού για το εναπομένον, βαθύτερο μέρος της σήραγγας. Εντούτοις, οι εισροές νερού, εάν υπάρξουν, μπορούν να χαρακτηριστούν από υψηλές αρχικές τιμές, οι οποίες σε συνδυασμό με την απότομη, προς τα κάτω διαμήκη κλίση δημιουργούν έναν κίνδυνο (πλημμύρας), ο οποίος πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον προγραμματισμό των εργασιών με το TBM και του εξοπλισμού, ακόμα και εάν η πιθανότητα σημαντικών εισροών νερού αξιολογείται ως χαμηλή.

Με επαρκή αντλητική ικανότητα, συμπεριλαμβανομένων των ενδιάμεσων αντλιοστασίων, οι εισροές νερού όπως αυτές που συναντήθηκαν μέχρι τώρα (μέχρι 30 - 40 l/s) μπορούν αντιμετωπιστούν από το TBM και δεν είναι αποφασιστικής σημασίας για τη δυνατότητα χρήσης του.

Οι εισροές νερού θα ήταν προβληματικές σε συνδυασμό με την ασταθή φύση των περιβαλλόντων πετρωμάτων. Αυτή η περίπτωση μπορεί να αντιμετωπιστεί τοπικά σε μερικά από τα ρήγματα. Επομένως, συνιστάται να προπορεύεται της κεφαλής του TBM διερευνητική διάτρηση (με αποφρακτήρες ασφαλείας λόγω της ενδεχομένως υψηλής πίεσης του νερού) σε όλη τη σήραγγα. Η διερευνητική γεώτρηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με περιστροφική-κρουστική διάτρηση. Οι παράμετροι διάτρησης επηρεάζονται άμεσα από τις ιδιότητες του πετρώματος, παρέχοντας κατά συνέπεια τις αξιόπιστες ενδείξεις για τις πιθανές αδύναμες ζώνες μπροστά από το μέτωπο. Η διάτρηση με ανάκτηση πυρήνα είναι πολύ χρονοβόρα και πρέπει, επομένως, να εκτελείται μόνο σε προσδιορισμένες ζώνες υψηλότερου κινδύνου και κατά προτίμηση (προκειμένου να αποφεύγεται η παρέμβαση στην προώθηση του TBM) από πλευρικές εσοχές. Το επόμενο στάδιο σχεδίασης πρέπει να καθορίζει τα διαστήματα της σήραγγας, στα οποία συνιστάται η διάτρηση πυρήνα μπροστά από το μέτωπο εντός της βραχομάζας.

Μια στεγανή επένδυση ικανή να ανθίσταται στις ενδεχόμενες υψηλές πιέσεις νερού σε βάθος είναι ανέφικτη. Η σήραγγα πρέπει να αποστραγγίζεται. Στους τομείς της σήραγγας με απαράδεκτα υψηλές ποσότητες εισροής νερού, πρέπει να πραγματοποιηθεί εμποτισμός με τσιμεντενέσεις (pre-grouting), προκειμένου να μειωθεί η διαπερατότητα της μάζας πετρώματος.

Η εμπειρία δείχνει ότι η εφαρμογή εμποτισμού με τσιμεντενέσεις για δημιουργία αδιαπερατότητας είναι συχνά ανεπιτυχής, εάν αυτή πραγματοποιείται μετά την εκσκαφή. Επιπλέον οι ανησυχίες περί τη αντοχής της βραχομάζας επιβάλλουν όρια στην πίεση εμποτισμού με τσιμεντενέσεις και επομένως στο βάθος διεύδυσης του ρευστοκονιάματος και στην αποτελεσματικότητα της στεγανοποίησης.



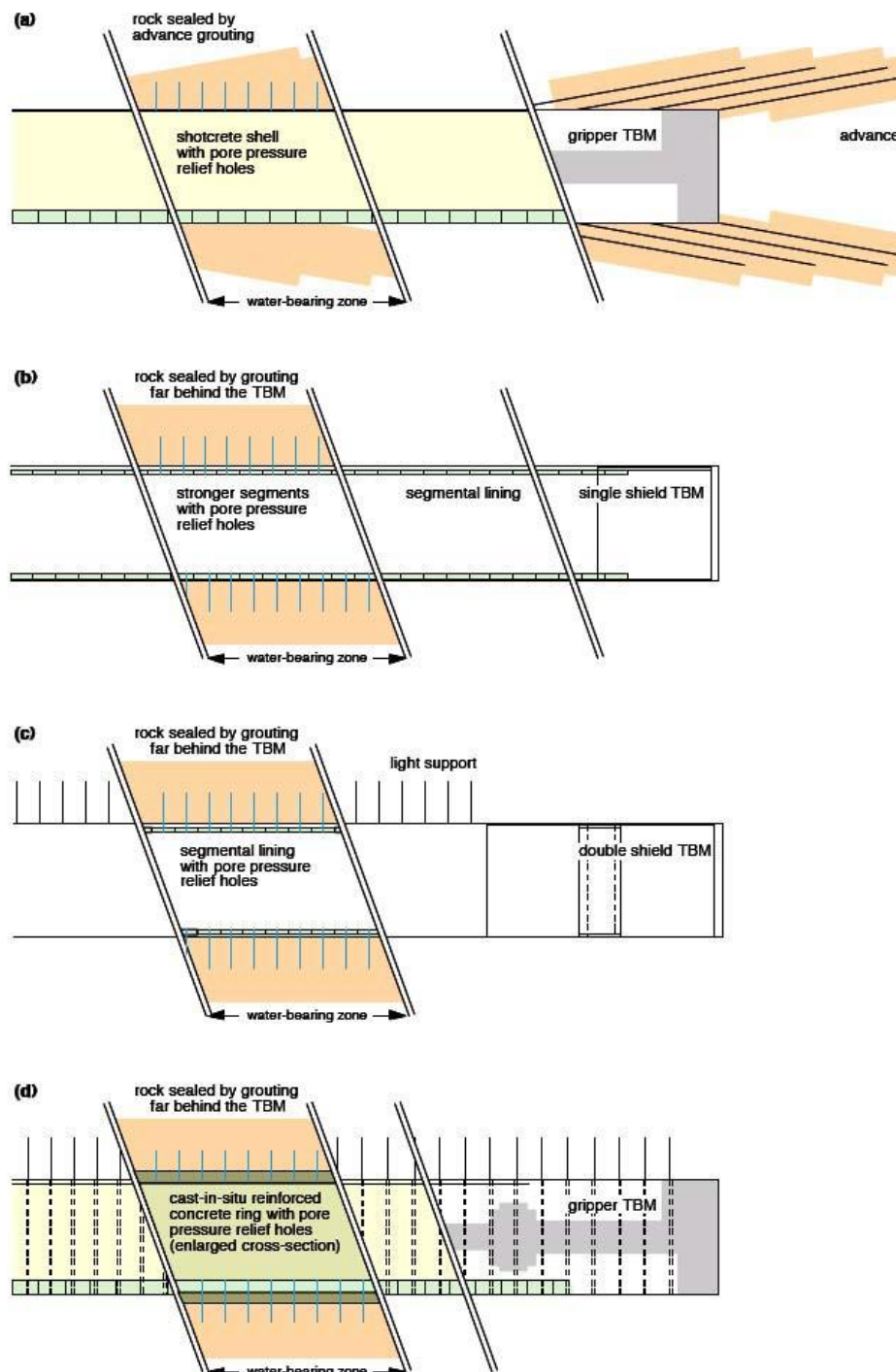
*Τελική φάση σήραγγας χωρίς την παρουσία υπόγειων νερών σε προ-ενεματομένους σχιστόλιθους που κατασκευάστηκε με κόστος μικρότερο των 18,500 €/m (Barton, 2011<sup>1</sup>).*

Ο εμποτισμός με τσιμεντενέσεις είναι αποτελεσματικότερος εάν πραγματοποιείται μπροστά από το μέτωπο της σήραγγας (σε μια ασφαλή απόσταση), λόγω της υψηλότερης πίεσης που μπορεί να εφαρμοστεί (Εικ. 19a). Ο εξοπλισμός TBM και η σχεδίαση για την εκ των προτέρων πραγματοποίηση εμποτισμού με τσιμεντενέσεις είναι τυποποιημένα. Λόγω των περιορισμών που επιβάλλονται από την TBM στη διάταξη των γεωτρήσεων, όμως, ο εκ των προτέρων εμποτισμός με τσιμεντενέσεις είναι δυσκολότερος και περισσότερο χρονοβόρος απ' ότι στην περίπτωση της συμβατικής διάνοιξης σηράγγων. Η TBM αντιπροσωπεύει ένα εμπόδιο για τις διαδικασίες εμποτισμού με τσιμεντενέσεις και, αντίστροφα, ο εκ των προτέρων εμποτισμός με τσιμεντενέσεις μπορεί να προκαλέσει σημαντικούς χρόνους διακοπής λειτουργίας της TBM.

Η αμοιβαία παρεμβολή μεταξύ της λειτουργίας TBM και των εργασιών εμποτισμού με τσιμεντενέσεις θα μπορούσε να αποφευχθεί με την εκτέλεση του εμποτισμού με τσιμεντενέσεις για επίτευξη αδιαπερατότητας πίσω από την περιοχή εφεδρείας της TBM. Παρουσία μιας επένδυσης από ενισχυμένο σκυρόδεμα με επαρκείς διαστάσεις, θα μπορούσαν να εφαρμοστούν υψηλές πιέσεις ρευστοκονιάματος με ασφάλεια και



επίσης εγγύτερα στη σήραγγα. Εάν κάποιος περιμένει ότι οι εργασίες αυτές εμποτισμού με τσιμεντενέσεις θα είναι απαραίτητες πάνω σε εκτεταμένα τμήματα της ευθυγράμμισης, τότε μια TBM με ασπίδα και με τμηματική επένδυση (Εικ. 19b) θα ήταν επαρκέστερη για τη διαχείριση των εισροών νερού σε σχέση με μια TBM με σιαγόνες (Εικ. 19 a, d). Στην παρούσα περίπτωση, εντούτοις, αυτή η λύση θα οδηγούσε σε μια μεγαλύτερη διάμετρο διάτρησης σε ολόκληρη τη σήραγγα και θα απαιτούσε την εγκατάσταση μιας σχετικά δαπανηρής τμηματικής επένδυσης επίσης, στις επικρατούσες καλής ποιότητας, σπανίως φέρουσες νερό ζώνες πετρώματος.



Εικόνα 18 Επιλογές για μείωση της ποσότητας εισροών νερού



Μια διπλή ασπίδα μπορεί να λειτουργεί (τουλάχιστον κατ' αρχήν) είτε σε συνδυασμό με μια τμηματική επένδυση είτε με μια ελαφριά υποστήριξη (κοχλίες πετρώματος και πλέγμα πίσω από την οπίσθια ασπίδα). Κατά συνέπεια κάποιος θα μπορούσε να αρχίσει να εγκαθιστά τμήματα αμέσως μετά την παρατήρηση αυξανόμενων εισροών νερού στο μέτωπο και να αλλάξει πάλι στην ελαφριά υποστήριξη όταν συναντήσει στεγνές συνθήκες (Εικ. 19c). Αυτή η λύση, επίσης, θα απαιτούσε μια μεγαλύτερη διάμετρο διάτρησης σε ολόκληρη τη σήραγγα και προϋποθέτει φυσικά τη διαθεσιμότητα των τμημάτων, δηλ. εγκατάσταση προκατασκευής δακτυλίων σκυροδέματος, ανεξάρτητα από την πραγματική ποσότητα τμημάτων.

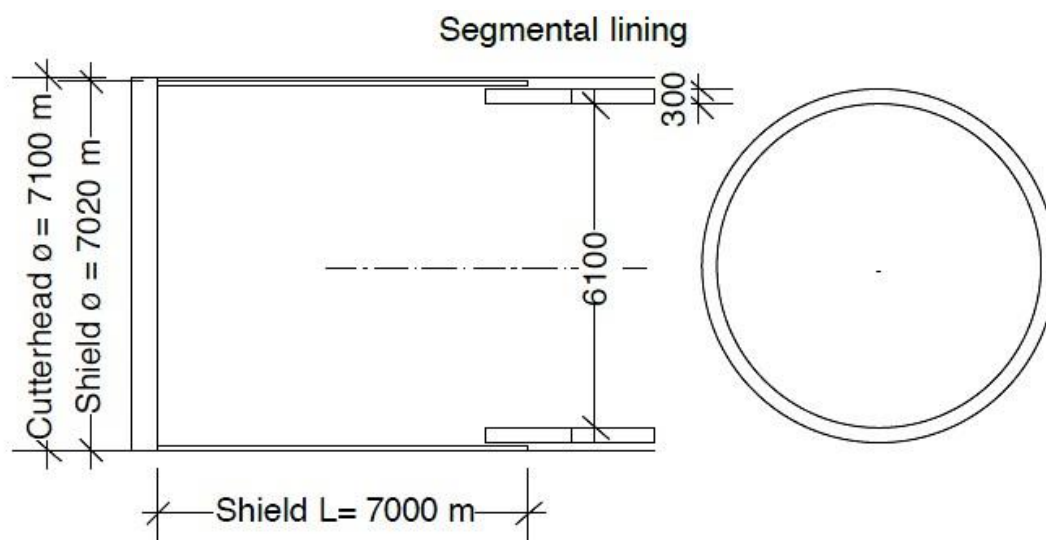
Μια δυνατότητα εκτέλεσης εμποτισμού υψηλής πίεσης με τσιμεντενέσεις για δημιουργία αδιαπερατότητας στη συνέχεια (πίσω από την περιοχή εφεδρείας μιας TBM με σιαγόνες) είναι να διευρυνθεί η διατομή της σήραγγας στις σχετικές ζώνες, με συμβατικά μέσα και να κατασκευαστεί μια ενισχυμένη επένδυση από σκυρόδεμα (Εικ. 19d). Αυτό θα απέφευγε τους χρόνους που η TBM είναι εκτός λειτουργίας και οι οποίοι προκαλούνται από τον εκ των προτέρων εμποτισμό με τσιμεντενέσεις για δημιουργία αδιαπερατότητας, ακόμη και σε ανθεκτικά (αλλά υδροφόρα) πετρώματα, καθιστώντας κατά συνέπεια δυνατή τη συνεχή λειτουργία της TBM.

Ο εμποτισμός με τσιμεντενέσεις εκ των προτέρων ενδεχομένως να είναι απαραίτητος μόνο στην εξαιρετική περίπτωση ασταθών συνθηκών μετώπου. Λαμβάνοντας υπόψη τον αναμενόμενο περιορισμένο αριθμό και μήκος των ζωνών με πετρώματα υψηλής διαπερατότητας στο υπόλοιπο μέρος της σήραγγας, αξίζει να μελετηθεί η εναλλακτική αυτή λύση λεπτομερέστερα στο επόμενο στάδιο της σχεδίασης.

#### 4.1.4 Εκτίμηση της δύναμης ώθησης και της καταπόνησης της επένδυσης

Η τελική πίεση του πετρώματος που αναπτύσσεται πάνω στην επένδυση πολύ πίσω από την ασπίδα και η δύναμη ώθησης που απαιτείται προκειμένου να υπερνικηθεί η επιφανειακή τριβή και να διατηρηθεί η προώθηση της TBM εκτιμήθηκαν, κάνοντας χρήση των νομογραμμάτων σχεδίασης και βασίστηκαν στις παραμέτρους πετρώματος της εγκεκριμένης σχεδίασης (Πίνακας 13).

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε υποθέτοντας ότι η σήραγγα TBM θα είχε μια διάμετρο 7,1 m (Εικόνα: 26). Η υπερεκσκαφή, η οποία παρέχει χώρο για τις παραμορφώσεις, μειώνοντας κατά συνέπεια την πίεση του πετρώματος που επενεργεί επάνω στην ασπίδα, εκλήφθηκε ίση με 3 - 10 cm. Επιπλέον, υποτίθεται ότι το εξωρράχιο της ασπίδας θα λιπαίνεται προκειμένου να μειώνεται η επιφανειακή τριβή.



Εικόνα 20: Γεωμετρία ασπίδων που εξετάστηκε για τους υπολογισμούς του φορτίου ώθησης και επένδυσης

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στις Εικόνες 27 έως 34 και σχολιάζονται εν συντομία παρακάτω:

- Η Εικόνα 27 παρουσιάζει τη δύναμη ώθησης που απαιτείται προκειμένου να υπερνικηθεί η επιφανειακή τριβή και να διατηρηθεί η προώθηση της TBM, ως συνάρτηση των υπερκείμενων, υποθέτοντας (κανονική) υπερεκσκαφή 3 cm. Για τους τύπους πετρωμάτων Gn-2, Gn-3 και Mr-2 της εγκεκριμένης σχεδίασης και τα υπερκείμενα υψηλότερα από 400 - 600 m, η απαραίτητη ώθηση θα υπερέβαινε την κρίσιμη ώθηση (100 MN, ενδεχομένως 150 MN με μια παχύτερη τμηματική επένδυση που είναι σε θέση να αντισταθεί στην αξονική δύναμη ώθησης). Η υποτιθέμενη κρίσιμη τιμή ώθησης (100 - 150 MN) είναι εφικτή, αλλά ασυνήθιστα υψηλή για διάνοιξη σηράγγων σε σκληρό πέτρωμα.

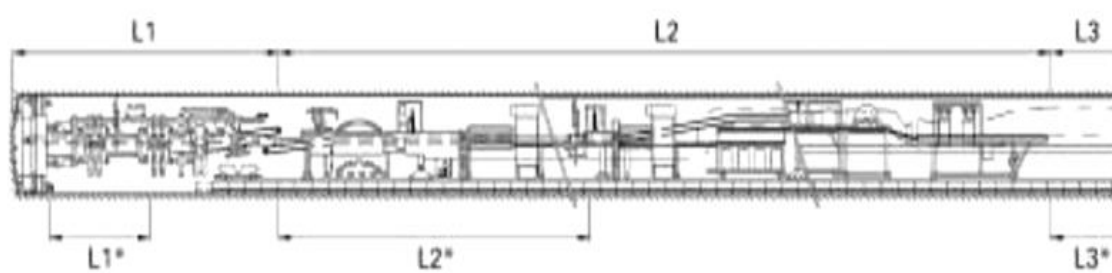
## 4.2 Επιλογή τύπου TBM

Από τη γεωτεχνική άποψη, η σήραγγα προσπέλασης μεταλλείων Ολυμπιάδας είναι μια τυπική σήραγγα σκληρού πετρώματος σε γνεύσιο, για τον οποίο υπάρχει μια τεράστια εμπειρία στη μηχανοποιημένη διάνοιξη σηράγγων.

Από μια προοπτική εκτέλεσης και υλικοτεχνικής υποστήριξης, εντούτοις, είναι μια απαιτητική και ασυνήθιστη σήραγγα λόγω της μεγάλης κλίσης της χάραξης της. Αρα, όπως προκύπτει από τα ανωτέρω η αναμενόμενα υψηλή ποιότητα πετρώματος και οι μικρές ποσότητες εισροής νερού δεν δικαιολογούν την υποστήριξη από προκατασκευασμένα τμήματα σκυροδέματος οπότε σαφώς συνιστάται η επιλογή της μηχανής όρυξης TBM με σιαγόνες.

#### 4.2.1 Υποστήριξη βραχομάζας

Οι TBM με σιαγόνες ή υδραυλικά πέδιλα (gripper TBM) καθιστούν δυνατή την εγκατάσταση υποστήριξης πετρώματος βασικά σε δύο περιοχές (Εικ. 20): στην περιοχή της μηχανής, δηλ. αμέσως πίσω από ή πολύ κοντά στην κοπτική κεφαλή (αποκαλούμενη και περιοχή L1) και από μια πλατφόρμα περίπου 40 m πίσω από το μέτωπο της σήραγγας (αποκαλούμενη και περιοχή L2). Η εγκατάσταση υποστήριξης αρχίζει στην L1 και ολοκληρώνεται στην L2. Πρόσθετη υποστήριξη μπορεί να εγκατασταθεί, εάν είναι απαραίτητο, επίσης μακριά πίσω από την εφεδρεία (αποκαλούμενη και περιοχή L3). Οι εργασίες στην περιοχή L3, όπως η εφαρμογή μιας στρώσης από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, δεν επηρεάζουν την προώθηση της μηχανής TBM και δεν είναι αποφασιστικές για το κόστος κατασκευής και δεν λαμβάνονται υπόψη στις εκτιμήσεις της παρούσας εργασίας.



εικόνα 19: Περιοχές εργασίας και ζώνες εργασίας

Η εγκατάσταση υποστήριξης πετρώματος στην περιοχή της μηχανής (L1) επιβραδύνει την προώθηση της TBM, ιδιαίτερα στην περίπτωση των χαλύβδινων δακτυλίων και του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Στην παρούσα περίπτωση, εντούτοις, η υποστήριξη πετρώματος στην περιοχή L1 με κοχλίες (με πλέγμα χάλυβα και εν μέρει σχήματος αψίδας χαλύβδινες διαμορφώσεις στην κορυφή) είναι επαρκής για τη διασφάλιση σταθερότητας, καθώς και εργασιακής ασφάλειας στο μεγαλύτερο τμήμα της σήραγγας.

Απαιτούνται πλήρεις χαλύβδινοι δακτύλιοι στην περιοχή L1 στο θρυμματισμένο πέτρωμα με χαμηλό χρόνο αυτοϋποστήριξης. Η εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος στην περιοχή L1 θα είναι απαραίτητη μόνο στην εξαιρετική περίπτωση σχετικών παραμορφώσεων (πέτρωμα υπό συνθήκες διάτμησης ή αλλαγής σε μεγάλο βάθος).

Με βάση αυτές τις θεωρήσεις, προτείνονται τρεις κατηγορίες (ή κλάσεις) υποστήριξης (εφεξής αναφερόμενες ως A, B και C) για λόγους χρόνου κατασκευής

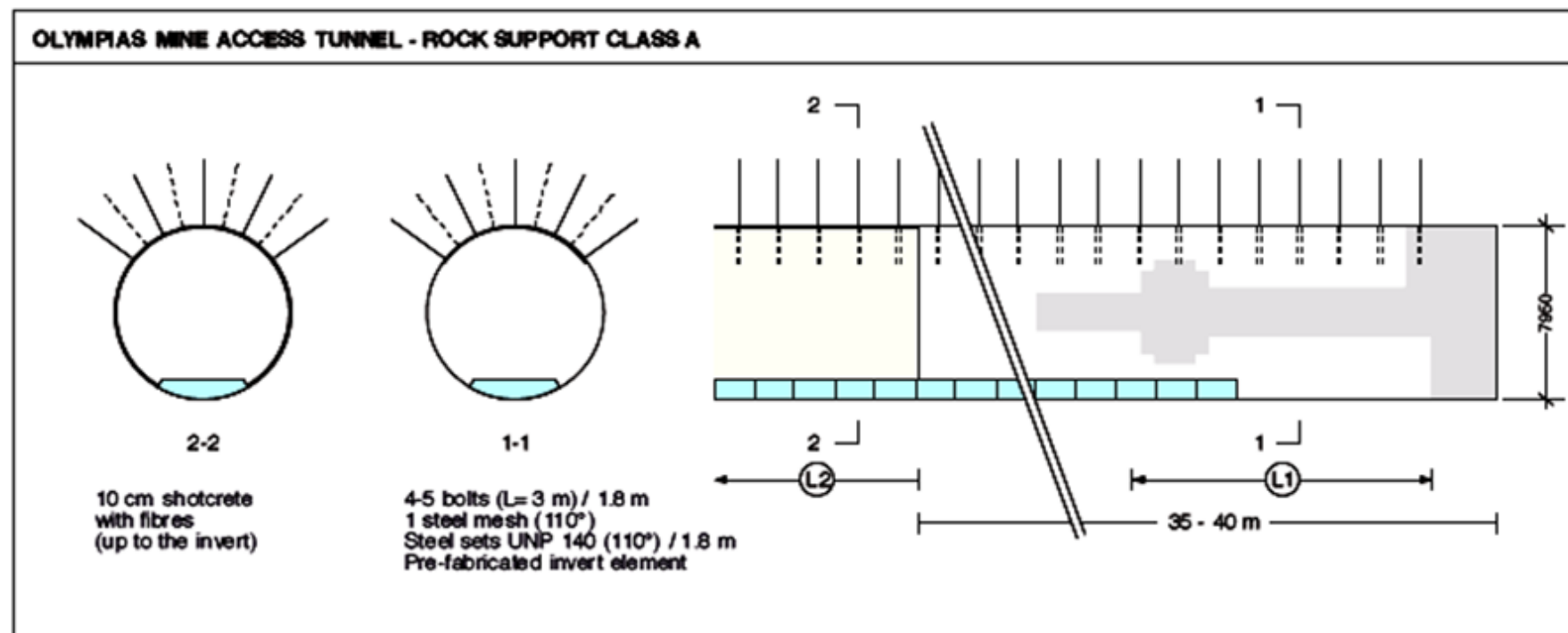
και εκτίμησης κόστους.

Τα κύρια διακριτικά χαρακτηριστικά των τριών κατηγοριών υποστήριξης αφορούν στην περιοχή της μηχανής (L1): Η υποστήριξη της κατηγορίας Α αποτελείται βασικά μόνο από κοχλίες, η κατηγορία Β περιλαμβάνει πλήρεις χαλύβδινους δακτυλίους, η κατηγορία C περιλαμβάνει επιπρόσθετα εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Τα χαρακτηριστικά υποστήριξης συνοψίζονται στον Πίνακα 1. Η απόσταση των στοιχείων υποστήριξης αντιστοιχεί σε μήκος όρυξης του TBM μεταξύ διαδοχικών στοιχείων επένδυσης 1,80 m. Όλες οι κατηγορίες υποστήριξης περιλαμβάνουν σκυρόδεμα (προκατασκευασμένο στοιχείο στην κατηγορία Α, χυτό επί τόπου σκυρόδεμα στις κατηγορίες Β και C)

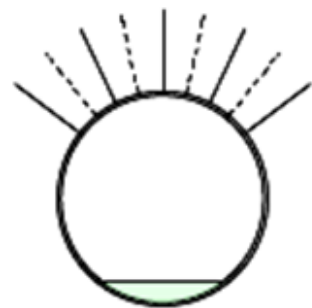
Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά των κατηγοριών υποστήριξης A, B και C (μετά από κάθε βήμα όρυξης TBM = 1,80 m)

	A	B	C
L1	4-5 <b>bolts</b> (L= 3 m) / 1.8m 1 steel mesh (110°) Steel sets UNP 140 (110°) / 1.8 m - Pre-fabricated invert element	4-5 bolts (L= 3 m) / 1.8m 1 steel mesh (180°) <b>Steel sets</b> HEB 120 (360°) / 1.8 m - Invert by cast-in-situ concrete	4-5 bolts (L= 4 m) / 0.9m 1 steel mesh (180°) Steel sets HEB 140 (360°) / 0.9 m 15 cm <b>shotcrete</b> Invert by cast-in-situ concrete
L2	10 cm shotcrete, with fibres	15 cm shotcrete, with fibres	10 cm shotcrete up to the invert Mesh up to the invert 4 bolts (L= 4 m) / 0.9 m
L3*	Eventually additional shotcrete layers		



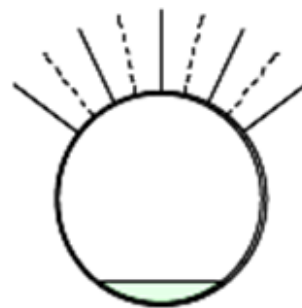
Εικόνα 20: Κατηγορία υποστήριξης Α

# OLYMPIAS MINE ACCESS TUNNEL - ROCK SUPPORT CLASS B



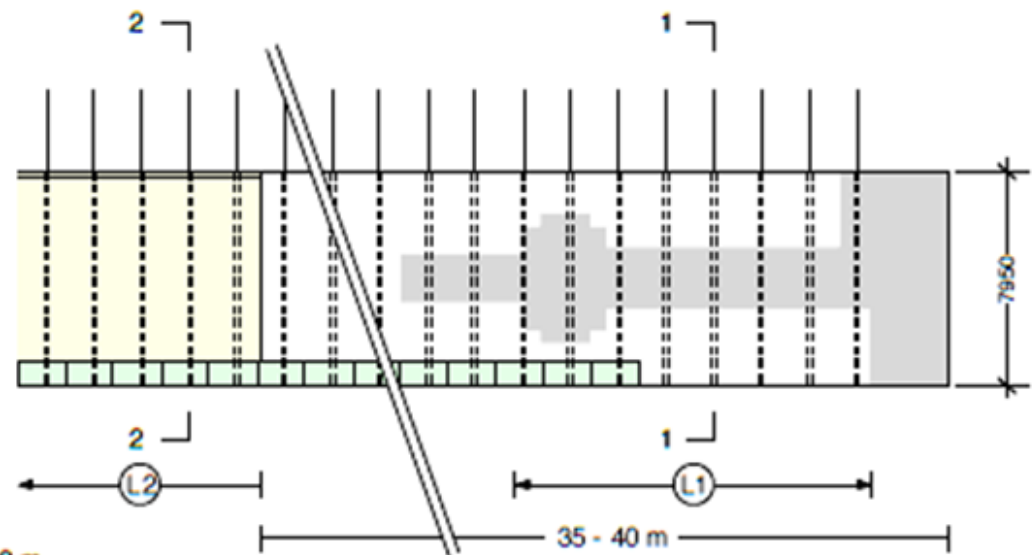
2-2

15 cm shotcrete  
with fibres  
(up to the invert)



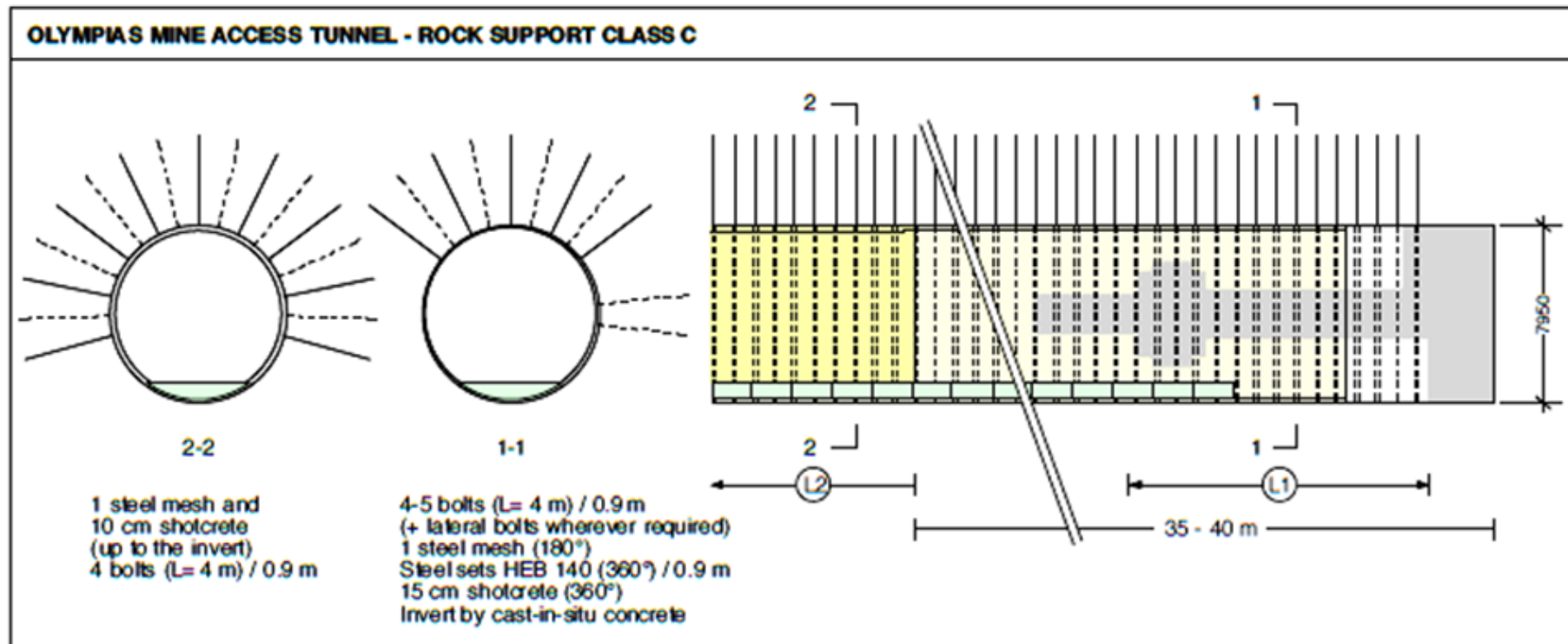
1-1

4-5 bolts (L= 3 m) / 1.8 m  
1 steel mesh 180°  
Steel sets HEB 120 (360°) / 1.8 m  
Invert by cast-in-situ concrete



Εικόνα 21 Κατηγορία υποστήριξης Β





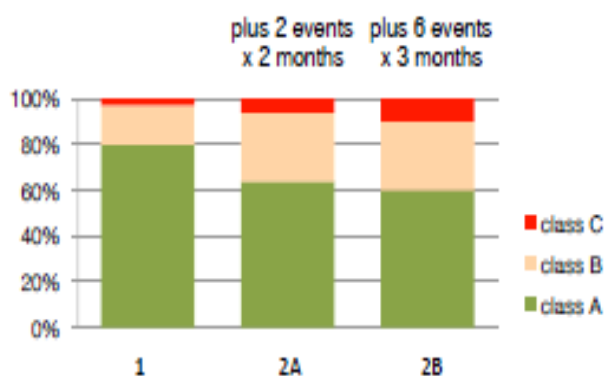
Εικόνα 22 Κατηγορία υποστήριξης C

Οι απαιτήσεις σχετικές με τη χρησιμοποιήσιμη διατομή, την προσωρινή υποστήριξη (κέλυφος εκτοξευόμενου σκυροδέματος, πάχους 10 - 25 cm), τις παραμορφώσεις πετρώματος και τις ανοχές κατασκευής καταλήγουν σε μια διάμετρο διάνοιξης 7,95 m (Εικόνα 22). Η εικόνα αυτή δεν δείχνει τον χώρο ο οποίος έχει προβλεφθεί και χρειάζεται για τις πρόσθετες στρώσεις εκτοξευόμενου σκυροδέματος που μπορεί να απαιτούνται ως τελική επένδυση. Η παροχή περισσότερου χώρου για τις παραμορφώσεις πετρώματος (στην εξαιρετική περίπτωση της συμπίεσης) θα υπονοούσε μια μεγαλύτερη διάμετρο για ολόκληρη τη σήραγγα. Το κόστος επαναδιαμόρφωσης του προφίλ μιας μικρής έκτασης είναι χαμηλότερο από αυτό του μετριασμού του κινδύνου παραβίασης του προφίλ ελεύθερου διάκενου. Η ύπαρξη τοπικά μεγαλύτερων, από τις προσδοκώμενες, συγκλίσεων αντιπροσωπεύει επομένως έναν αποδεκτό κίνδυνο στην παρούσα περίπτωση.

#### 4.2.2 Κατανομή των κατηγοριών υποστήριξης

Για την εκτίμηση του χρόνου κατασκευής εξετάζονται τρία γεωτεχνικά σενάρια: ένα «πιθανό σενάριο», ένα «απαισιόδοξο σενάριο» και ένα «πολύ απαισιόδοξο σενάριο» (αναφερόμενα εφεξής ως σενάριο «1», «2Α» και «2Β», αντίστοιχα, Εικόνα: 24).

Το πιθανό σενάριο 1 υποθέτει ότι το 80% της σήραγγας μπορεί να κατασκευαστεί με την



Εικόνα 23 Συντελεστής χρήσης TBM ανά σενάριο

εφαρμογή της κατηγορίας υποστήριξης A, το 17% με την εφαρμογή της κατηγορίας υποστήριξης B (χαλύβδινα πλαίσια στο L1) και το 3% με την εφαρμογή της κατηγορίας βαριάς υποστήριξης C (δακτύλιος από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και πυκνά κατανεμημένα χαλύβδινα πλαίσια στο L1).

Η κατηγορία C απαιτείται μόνον στα μέρη των ζωνών με ρηγματώσεις, το υποτιθέμενο μήκος εφαρμογής (περίπου 200 m) βασίζεται στις τοπογραφικές εμφανίσεις των ενδεχόμενων σχετικών

ρηγματώσεων (Εικόνα: 25).

Το απαισιόδοξο σενάριο 2Α υποθέτει περίπου δύο φορές μεγαλύτερο μήκος υποστήριξης κατηγοριών Β και C όπως φαίνεται στον Πίν. 13 από ότι στο σενάριο 1 και, επιπρόσθετα, ότι θα συμβούν δύο κύρια συμβάντα (καταρρεύσεις, αστάθειες μετώπου ή χειρονακτική εξόρυξη για απελευθέρωση της TBM), κάθε ένα από τα οποία προκαλεί μια καθυστέρηση κατασκευής 2 μηνών.

Το πολύ απαισιόδοξο σενάριο 2Β υποθέτει ότι η κατηγορία υποστήριξης C θα εφαρμοστεί σε πάνω από το 10% της σήραγγας και ότι θα συμβούν 6 μεγάλα συμβάντα, κάθε ένα από τα οποία προκαλεί διακοπή λειτουργίας του TBM διάρκειας 3 μηνών το καθένα (τρεις φορές περισσότερο απ' ότι με τη διάνοιξη με την τεχνική διάτρησης-ανατίναξης). Ο σκοπός εξέτασης αυτού του ακραίου σεναρίου είναι να καταδειχτεί ότι ένα TBM, ακόμα και εάν είναι ευπαθές στη δυσμενή γεωλογία, προσφέρει ακόμα σημαντικές εξοικονομήσεις στον χρόνο κατασκευής.

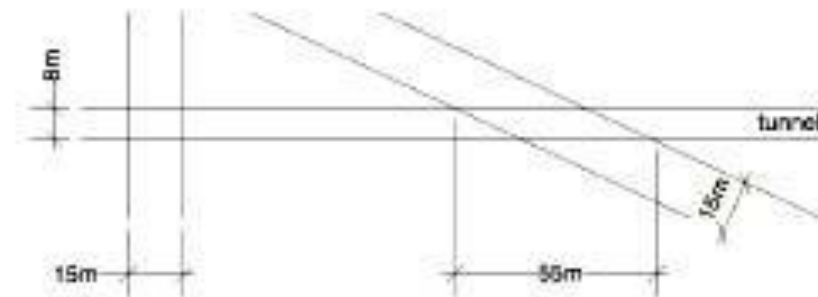


Assumptions:

4 faults (15 m wide) with favourable strike (a, c, d, f):  $4 \times 15 \text{ m} = 60 \text{ m}$

2 faults (15 m wide) with unfavourable strike (b, e):  $2 \times 55 \text{ m} = 110 \text{ m}$

Total: 170 m, i.e. about 3% of the TBM drive



Εικόνα 24: Υποθέσεις σχετικές με την έκταση των ρηγματωμένων ζωνών με την κατηγορία υποστήριξης C.

#### 4.2.3 Χρόνος κατασκευής

Ο υπολογισμός παρουσιάζεται στον Πίνακα 13 και σχολιάζεται κατωτέρω. Υποθέτουμε ότι οι εργασίες θα εκτελούνται 24 ώρες/ημέρα, 7 ημέρες/εβδομάδα.

#### 4.2.4 Δυνατότητα διάνοιξης και φθορά

Οι βιοτικοί γνεύσιοι επιδεικνύουν τιμή UCS 100 – 190 MPa (κατά μ.ο. 126 MPa). Τα αποτελέσματα των δοκιμών λειαντικότητας δεν είναι διαθέσιμα. Γενικά, οι γνεύσιοι ανήκουν στα πετρώματα μέσης-υψηλής λειαντικότητας (δείκτης λειαντικότητας Cerchar μέχρι 4). Η λειαντικότητά τους όμως δεν θέτει υπό αμφισβήτηση την δυνατότητα χρήσης TBM για όρυξη εντός αυτού του πετρώματος .

Υποθέτουμε ένα καθαρό ρυθμό διείσδυσης των κοπτικών δίσκων της τάξεως των 6 – 8 mm/ανά περιστροφή ήτοι ένα μέσο όρο  $p=7$  mm/περιστροφή. Η περιστροφική ταχύτητα της κοπτικής κεφαλής εκλαμβάνεται ίση σε  $\omega=6$  περιστροφές/min, η οποία είναι λογική για διάμετρο διάτρησης 8 m. Αυτό οδηγεί σε έναν ρυθμό διάτρησης (penetration rate, PR) περίπου **2,50 m/h**.

$$PR = p[\text{mm/rev}] \cdot \omega[\text{rev/min}] \cdot 60[\text{min/h}] \cdot 10^{-3}[\text{m/mm}] = 7 \times 6 \times 60 \times 0.001 = 2.5 \text{ m/h}$$

Ο PR εκφράζει τον ρυθμό διείσδυσης των κοπτικών δίσκων στο πέτρωμα, σε διάρκεια καθαρού χρόνου συνεχόμενης όρυξης (net excavation time ) και εκφράζεται συνήθως σε m/h. Ο ρυθμός προχώρησης της κεφαλής (Advance Rate, AR) εκφράζει την μέση προχώρηση του TBM, προς το συνολικό χρόνο λειτουργίας του ενώ λαμβάνονται υπ' όψιν όλες οι καταστάσεις του TBM (εξόρυξη, αναμονή, εμπλοκή, αλλαγή κοπτικών, συντήρηση, επισκευή, αναμονή για μεταφορά στοιχείων υποστήριξης κλπ) και εκφράζεται και αυτός συνήθως σε m/h.

Πίνακας 12 Χρόνος κατασκευής

Σενάριο		1	2A	2B	3
Συνολικό μήκος της σήραγγας	[m]	8300	8300	8300	8300
Εκσκαφθέν μήκος σήραγγας (Νοεμ 14 2016)	[m]	1600	1600	1600	1600
Υπόλοιπο μήκος προς όρυξη	[m]	6700	6700	6700	6700
Ρυθμός προχώρησης με διάτρηση+ανατίναξη	[m/d]	3	3	3	8
Χρόνος εγκατάστασης και ετοιμότητας του TBM	[months]	14	14	14	14
Αριθμός ημερών ανά μήνα	[d/month]	30.5	30.5	30.5	30.5
Μήκος προχώρησης με Δ+Α μέχρι την έναρξη του ΤΕ	[m]	1281	1281	1281	3416
Μήκος προχώρησης με TBM	[m]	5419	5419	5419	3284
Χρόνος για μετάβαση του TBM στον κλάδο Α	[months]	6	6	6	6
Μήκος κλάδου Α	[m]	1680	1680	1680	1680
<b>Κατανομή κλάσεων υποστήριξης</b>					
Κλάση Α	[%]	80	64	60	80
Κλάση Β	[%]	17	30	30	17
Κλάση C	[%]	3	6	10	3
		100%	100%	100%	100%
<b>Συντελεστής χρήσης TBM</b>					
Κλάση Α	[%]	35	30	30	35
Κλάση Β	[%]	25	20	20	25
Κλάση C	[%]	15	10	10	15
Καθαρός ρυθμός διάτρησης (PR)					
Βάθος κοπής ανά περιστροφή	[mm/rev]	7	7	7	7
Ταχύτητα περιστροφής της κεφαλής	[rpm]	6	6	6	6
Καθαρός ρυθμός διάτρησης (PR) TBM	[m/h]	2.52	2.52	2.52	2.52
<b>Πραγματικός ρυθμός προχώρησης (AR)</b>					
Ωρες εργασίας ανά ημέρα	[h/d]	24	24	24	24
Κλάση Α	[m/d]	21.2	18.1	18.1	21.2
Κλάση Β	[m/d]	15.1	12.1	12.1	15.1
Κλάση C	[m/d]	9.1	6.0	6.0	9.1
Σταθμικός μέσος όρος	[m/d]	16.7	14.1	14.1	16.7
<b>Ειδικές περιπτώσεις που χρειάζονται τσιμεντενέσεις</b>					
Αριθμός ειδικών περιπτώσεων	[-]	0	2	6	0
Καθυστερήση ανά ειδ. περίπτωση TBM	[d]	60	60	90	60
Καθυστερήση ανά ειδ. περίπτωση Δ+Α	[d]	30	30	30	30
<b>Χρόνος κατασκευής με το TBM</b>					
Χρόνος εγκατάστασης TBM	[d]	427	427	427	427
Ορυξη κύριας σήραγγας με TBM	[d]	324	384	384	197
Μετάβαση του TBM στον κλάδο Α	[d]	183	183	183	183
Ορυξη κλάδου Α με το TBM	[d]	101	120	120	101
Καθυστερήσεις λόγω ειδικών περιπτώσεων	[d]	0	120	540	0
<b>Σύνολο</b>	<b>[d]</b>	<b>1035</b>	<b>1234</b>	<b>1654</b>	<b>908</b>
<b>Ημερομηνία περάτωσης της σήραγγας με το TBM</b>					
<b>Χρόνος όρυξης με Δ+Α</b>					
Κύρια σήραγγα χωρίς απρόσμενες καθυστερήσεις	[d]	1807	1807	1807	411
Κλάδος Α	[d]	560	560	560	210
Ειδικές περιπτώσεις που χρειάζονται τσιμεντενέσεις	[d]	0	60	180	0
<b>Σύνολο</b>	<b>[d]</b>	<b>2367</b>	<b>2427</b>	<b>2547</b>	<b>621</b>
<b>Ημερομηνία περάτωσης της σήραγγας με Δ+Α</b>					
* σημαίνει input					

Η χρησιμοποίηση μιας TBM με σιαγόνες, δηλ. το ποσοστό του χρόνου που χρησιμοποιείται για διάνοιξη, εξαρτάται πάρα πολύ επίσης από τον χρόνο που απαιτείται για την εγκατάσταση υποστήριξης στην περιοχή της μηχανής. Το τυπικό εύρος χρησιμοποίησης του TBM είναι της τάξης του 20 - 35%. Για τις κατηγορίες υποστήριξης A, B και C η χρησιμοποίηση της TBM εκλαμβάνεται ίση με το 35%, 25% και 15%, αντίστοιχα («πιθανό σενάριο», Πίνακας 13, Στήλη 1) ή 30%, 20% και 10%, αντίστοιχα («απαισιόδοξα σενάρια», Πίνακας 13, Στήλες 2A και 2B). Αυτές οι τιμές (πολλαπλασιασμένες με τον καθαρό ρυθμό προώθησης περίπου 2,5 m/h) οδηγούν σε μια *συνολικό ημερήσια προώθηση* 9 – 21 m (λογικό σενάριο 1) ή 6 – 18 m (απαισιόδοξα σενάρια 2A και 2B). Εξετάζοντας την κατ' εκτίμηση κατανομή κατηγορίας υποστήριξης, λαμβάνουμε έναν συνολικό ρυθμό προώθησης (σταθμισμένος μέσος όρος) περίπου 20 m/d (μέτρα/ημέρα) για το πιθανό σενάριο και 15-16 m/d για τα απαισιόδοξα σενάρια 2A και 2B.

Οι αριθμοί αυτοί λαμβάνουν υπόψη την πιθανότητα βαριάς υποστήριξης στις ρηγματώσεις (κατηγορία υποστήριξης C) αλλά όχι τα κύρια συμβάντα που αναφέρονται στην Ενότητα 9. Τα απαισιόδοξα σενάρια υποθέτουν ότι θα εμφανιστούν 2-6 τέτοια συμβάντα (που κάθε ένα προκαλεί μια καθυστέρηση 2-3 μηνών) και θα οδηγήσουν σε μια αύξηση στο χρόνο κατασκευής κατά 4 – 18 μήνες.

#### **4.2.5 Κινητοποίηση TBM**

Ο χρόνος κινητοποίησης της TBM είναι γενικά της τάξης των 12 – 15 μηνών. Μπορεί να είναι δύσκολο να βρεθεί γρήγορα μια ανασκευασμένη TBM με μια διάμετρο περίπου 8 m. Το κόστος και η διαθεσιμότητα των υπαρχουσών TBM μπορεί να αποτελούν κριτήριο για τη λήψη της τελικής απόφασης για την διάμετρο διάτρησης. Στις εκτιμήσεις χρόνου κατασκευής, μια περίοδος 14 μηνών λαμβάνεται υπόψη για την κινητοποίηση της TBM, καθώς επίσης και για τις τροποποιήσεις στη σχεδίαση και τις άδειες εάν υπάρχουν.



#### 4.2.6 Δρομολόγηση TBM

Η TBM πρέπει, λόγω του μεγέθους της (διάμετρος κοπτικής κεφαλής 8 m), να μεταφερθεί στα επί μέρους τμήματα της μέσω του ήδη κατασκευασμένου τμήματος σήραγγας και να συναρμολογηθεί μέσα στη σήραγγα. Για τον σκοπό αυτό, πρέπει να κατασκευαστεί στο τέλος του συμβατικά κατασκευασμένου μέρους ένας θάλαμος συναρμολόγησης της TBM. Αυτό μπορεί να γίνει κατά τη διάρκεια του χρόνου κινητοποίησης της TBM. Εναλλακτικά το TBM θα συναρμολογηθεί στην επιφάνεια αλλά σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να διευρυνθεί με διάτρηση-ανατίναξη η διατομή της υπάρχουσας σήραγγας σχήματος πετάλου.

Μια τρίτη εναλλακτική λύση, που εφαρμόζεται μερικές φορές σε παρόμοιες καταστάσεις, είναι να αρχίσει η λειτουργία της TBM από την πύλη εισόδου (tunnel eye), με την μηχανή TBM να ανασκάπτει το πέτρωμα κάτω από την αναστροφή (invert) του υπάρχοντος προφίλ της σήραγγας. Αυτή η εναλλακτική λύση δεν είναι εφικτή στην παρούσα κατάσταση, επειδή το μέρος της διατομής κάτω από την υπάρχουσα σήραγγα έχει πολύ μικρό βάθος (βλ. Εικ. 18)

##### 4.2.6.1 Κλάδος Α

Η εκσκαφή του κλάδου Α από την ίδια μηχανή TBM είναι τεχνικά εφικτή. Είναι, εντούτοις, αμφισβητήσιμο το εάν αυτό αποτελεί τη βέλτιστη λύση. Η αποσυναρμολόγηση, η μετεγκατάσταση και η επανασυναρμολόγηση της TBM και του εφεδρικού εξοπλισμού υπογείως αποτελούν απαιτητικές διαδικασίες. Αυτές θα διαρκούσαν περίπου 6 μήνες.

Μια επιλογή κατασκευής, η οποία πρέπει να αξιολογηθεί στο επόμενο στάδιο, είναι η εκσκαφή του κλάδου Α με τη συμβατική μέθοδο (Δ+Α), ταυτόχρονα με την εκσκαφή της κύριας σήραγγας. Η υλικοτεχνική υποστήριξη και η δυνητική παρεμβολή στη λειτουργία της TBM μιας προσβολής του κλάδου Α από την κύρια σήραγγα (αφού η εφεδρεία TBM περάσει πέραν του Ch. 6+900) πρέπει να αναλυθούν λεπτομερώς.

Η προσβολή από το μεταλλείο Ολυμπιάδας προϋποθέτει ότι το τέλος του κλάδου Α είναι προσπελάσιμο και ότι ο διαθέσιμος χώρος και η υποδομή στο μεταλλείο επαρκούν για εξυπηρέτηση των επιχειρήσεων διάνοιξης με διατρήματα και εκρήξεις.

##### 4.2.6.2 Σύγκριση των χρόνων περάτωσης με TBM και με τον συμβατικό τρόπο διάνοιξης με την τεχνική της διάτρησης-ανατίναξης

Για την εκτίμηση των εξοικονομήσεων στον χρόνο κατασκευής που μπορούν να επιτευχθούν από τη μηχανή TBM, υποθέτουμε ότι η κατασκευή με συμβατικό τρόπο Δ+Α θα προχωρά κατά 3 m/d και ότι κάθε ένα από τα μοναδικά γεγονότα που αναφέρθηκαν προηγουμένως θα προκαλεί σταμάτημα ενός μηνός μόνο, δηλ. το  $1/3 \div 1/2$  του αντίστοιχου χρόνου για μια TBM.



Με τις παραδοχές αυτές, η TBM αναμένεται ότι θα ολοκληρώσει την εκσκαφή (συμπεριλαμβανομένου του Κλάδου Α) 2 -3 έτη νωρίτερα από την κατασκευή με τη συμβατική μέθοδο διάνοιξης.

Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, έγινε η παραδοχή ότι η κατασκευή με διάνοιξη διατρημάτων και εκρήξεις θα συνεχιστεί κατά τη διάρκεια της περιόδου κινητοποίησης της TBM.

Διαφορετικά, εάν αναστέλλονταν οι επιχειρήσεις με διάνοιξη διατρημάτων και εκρήξεις, η TBM θα έπρεπε να εκσκάψει επιπλέον περίπου 1300 m, πράγμα το οποίο μπορεί να γίνει μέσα σε τρεις μήνες. Η συνέχιση της συμβατικής διάνοιξης της σήραγγας, κατά τη διάρκεια της περιόδου κινητοποίησης της TBM, θα συστήνονταν στην περίπτωση υψηλών κινδύνων όσον αφορά στον χρόνο κατασκευής. Στην παρούσα περίπτωση η γεωλογική αβεβαιότητα δεν είναι τόσο υψηλή. Από αυτήν την άποψη η συνέχιση της συμβατικής διάνοιξης της σήραγγας δεν είναι απολύτως απαραίτητη, εάν αποφασιστεί η ολοκλήρωση της κατασκευής με TBM.

Η διεθνής εμπειρία μηχανοποιημένων ορύξεων σήραγγων με τη συμβατική μέθοδο δείχνει ότι υπάρχει σημαντική δυνατότητα βελτιστοποίησης. Εκλαμβάνοντας τον ρυθμό προώθησης της μεθόδου με διάνοιξη διατρημάτων και εκρήξεις ίσο με 8 m/d, ο οποίος, παρ' όλα αυτά φαίνεται να είναι μόνο θεωρητικά δυνατός στην παρούσα περίπτωση και κάνοντας την υπόθεση ότι ο Κλάδος Α μπορεί να κατασκευάζεται ταυτόχρονα με το τελευταίο μέρος της κύριας σήραγγας, δεν θα υπήρχε καμία εξοικονόμηση στον χρόνο κατασκευής με μια TBM (τελευταία στήλη του πίνακα 2).

#### **4.2.7 Κόστος κατασκευής**

Το εκτιμώμενο κόστος για μηχανοποιημένη κατασκευή της κύριας σήραγγα προσπέλασης και του κλάδου Α είναι 75 Μιο (εκατομμύρια) EUR. Η πρόβλεψη αυτή βασίζεται στο σενάριο 2Α (Πίνακας 13), το οποίο προβλέπει την υποστήριξη με πλήρεις χαλύβδινους δακτυλίους ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στην περιοχή L1 πάνω από το ένα τρίτο της σήραγγας και περιλαμβάνει δύο μοναδικά γεγονότα, κάθε ένα από τα οποία προκαλεί έναν χρόνο διακοπής της TBM δύο μηνών. Δεν ελήφθησαν υπόψη τα κόστη και ο χρόνος για τον εμποτισμό με τσιμεντενέσεις με σκοπό την αδιαπερατότητα και την τελική επένδυση.

Το κόστος περιλαμβάνει μια καινούργια TBM με σιαγόνες (διάμετρος  $\varnothing$  8 m), η οποία θα αποσβεσθεί κατά 90%. Το σύστημα μεταφορικών ταινιών, το οποίο θα είναι επίσης καινούργιο, θα αποσβεσθεί κατά 100%. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μετά την διάνοιξη για μεταφορά μεταλλεύματος κατά τη λειτουργία του μεταλλείου.

- Η Εικόνα 28 παρουσιάζει την απαιτούμενη ώθηση συγκεκριμένα για τις ζώνες

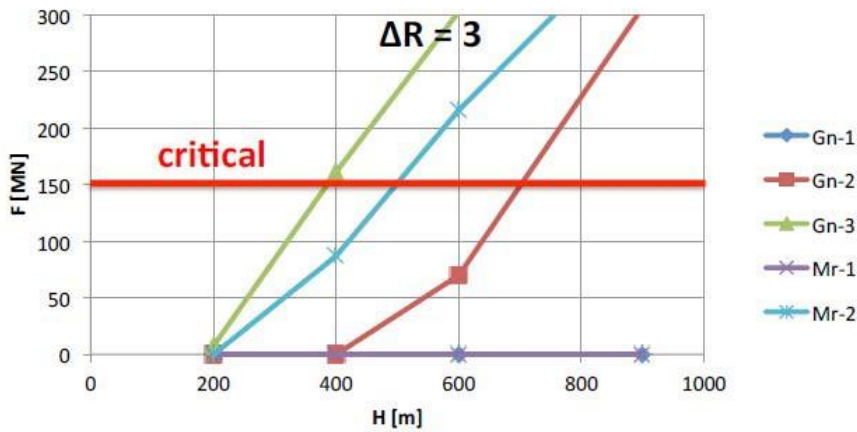
ρηγματώσεων ως συνάρτηση του πάχους τους, υποθέτοντας ότι είναι προσανατολισμένες κάθετα προς τον άξονα της σήραγγας. Σε βάθη μεγαλύτερα από 600 m (όπως συμβαίνει στο μεγαλύτερο μέρος της σήραγγας), η TBM θα κολλούσε ακόμη και σε σχετικά στενές ρηγματώσεις.

- Η επένδυση, επίσης, θα καταπονούνταν υπερβολικά στους τύπους πετρωμάτων Gn-2 και Mr-2, καθώς επίσης και σε ευρύτερες από μερικά μέτρα ζώνες ρηγματώσεων σε βάθη πέραν των περίπου 500 m (Εικ. 14 και 15), σημειώστε ότι η κρίσιμη πίεση πετρώματος 1,5 MPa αντιστοιχεί σε μια υψηλή φόρτιση στεφάνης σκυροδέματος περίπου 18 MPa.
- Με την αύξηση της υπερεκσκαφής στα 10 cm (η οποία παρουσιάζει ορισμένα τεχνικά προβλήματα, αλλά είναι εφικτή για μικρές εκτάσεις) η κατάσταση θα βελτιωνόταν, αλλά ο τύπος πετρώματος Gn-3 και οι ζώνες ρηγματώσεων πλάτους μεγαλύτερου από 5 m ενδεχομένως να προκαλούσαν ακόμη το μπλοκάρισμα της ασπίδας ή τη ζημία στην επένδυση στα μεγαλύτερα βάθη της κάλυψης (Εικ. 16 έως 19).

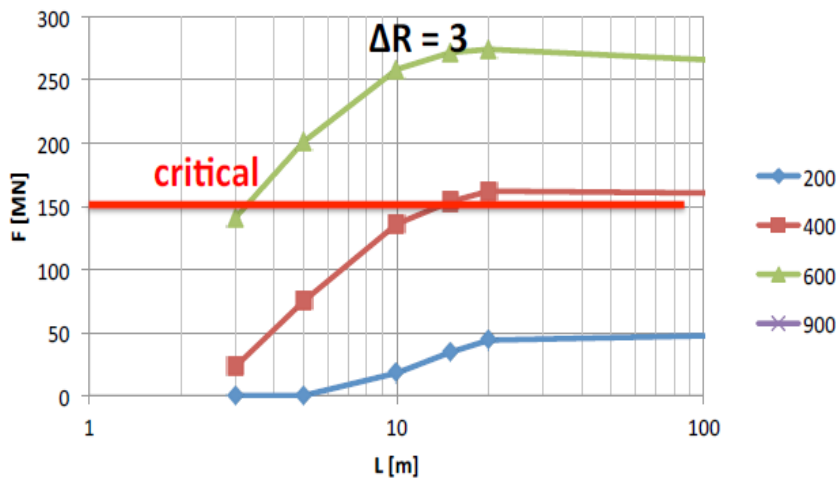
Συμπερασματικά, ακόμα και εάν ληφθούν όλα τα διαθέσιμα τεχνικά μέτρα, η μηχανοποιημένη διάνοιξη σηράγγων θα ήταν μετά δυσκολίας εφικτή υπό τις συνθήκες που αναμένονται από την εγκεκριμένη σχεδίαση. Πρέπει να σημειωθεί ότι η απαραίτητη δύναμη ώθησης θα ήταν υψηλότερη για τη διάμετρο διάνοιξης 8 m που προβλέπεται στην παρούσα περίπτωση.

Πίνακας 14 Παράμετροι πετρώματος

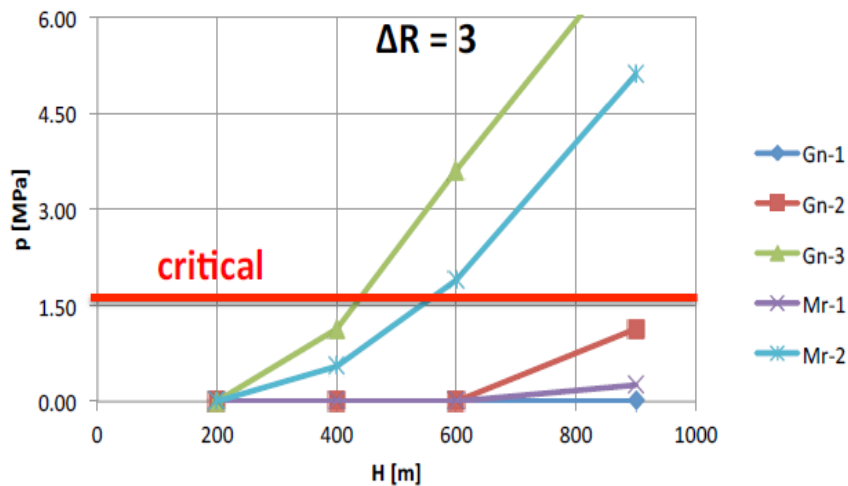
ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ	Υπερκείμενα (m)	c (kPa)	$\phi$ (°)	E (MPa)	$\sigma_{cm}$ (MPa)	$\sigma_{cm}/P_0$
Gn-1	Βιοτιτικός γνεύσιος υγιής έως ελαφρά αποσθρωμένος.	200	1400	54	9200	22	3,93
		400	2200	49			1,96
		600	2800	46			1,31
		900	3650	43			0,87
Gn-2	Βιοτιτικός γνεύσιος μέτρια έως ισχυρά αποσθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος.	200	885	46	2400	10,6	1,89
		400	1400	41			0,95
		600	1800	38			0,63
		900	2300	35			0,42
Gn-3	Βιοτιτικός γνεύσιος έντονα κερματισμένος και αποδιοργανωμένος, ισχυρά αποσθρωμένος έως τοπικά εδαφοποιημένος.	200	610	40	910	5,3	0,95
		400	970	34			0,47
		600	1260	32			0,32
		900	1650	29			0,21
Mr-1	Οριζοντας μαρμάρων υγιής έως ελαφρά αποσθρωμένος.	200	960	45	7680	9,5	1,83
		400	1400	40			0,91
		600	1800	37			0,61
		900	2300	34			0,41
Mr-2	Οριζοντας μαρμάρων μέτρια έως ισχυρά αποσθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος.	200	580	37	1600	4,8	0,92
		400	900	32			0,46
		600	1160	30			0,31
		900	1500	26			0,21
F-1 & F-1a	Ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης.	200	340	28	685	2,2	0,43
		400	550	23			0,22
		600	675	21			0,14
		900	865	19			0,10
Ab-1	Αμφιβολίτες-αμφιβολιτικοί γνεύσιοι, περιοχής στομίου σήραγγας	20	80	48	500	2,4	4,92
		50	150	42			1,97



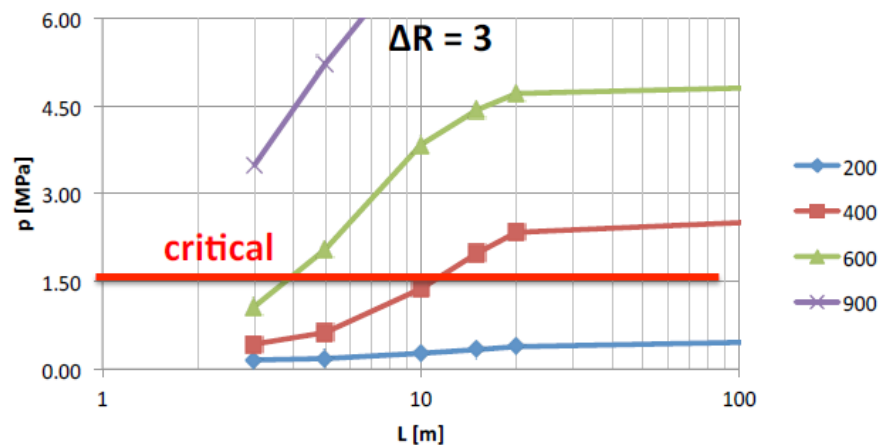
εικόνα 25: Δύναμη ώθησης που απαιτείται ως συνάρτηση των υπερκείμενων για τους τύπους πετρωμάτων Gn και Mr (υπερεκσκαφή = 3 cm)



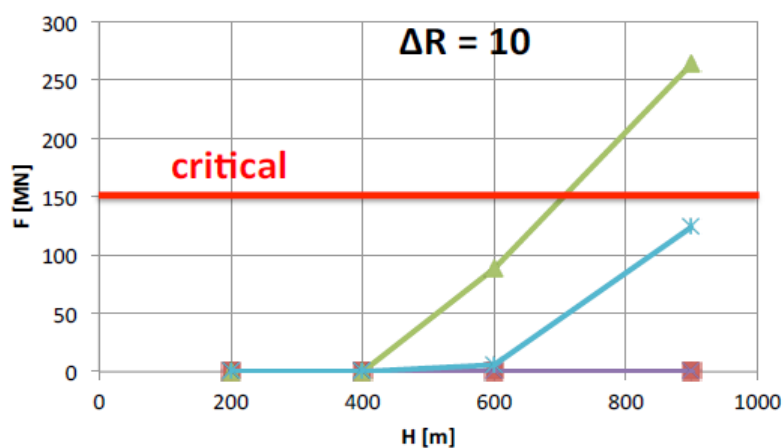
εικόνα 26 Δύναμη ώθησης που απαιτείται στις ρηγματώσεις ως συνάρτηση του πάχους της ρηγματώσης και των υπερκείμενων (υπερεκσκαφή = 3 cm)



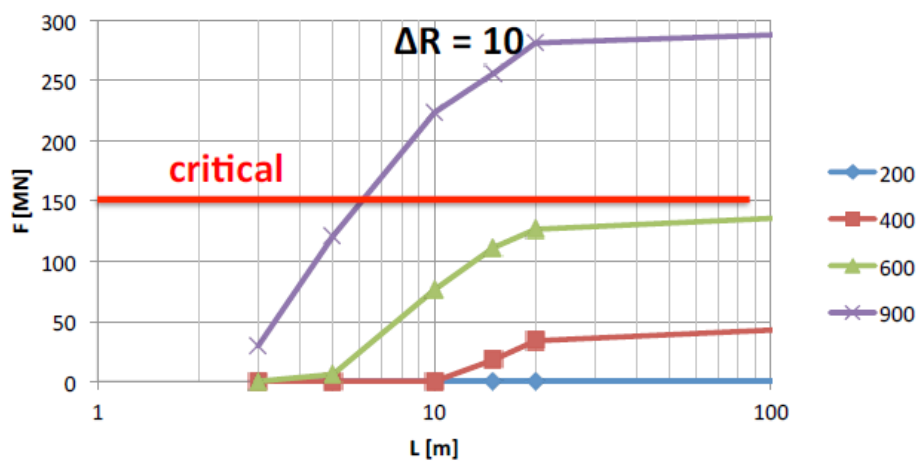
εικόνα 27 Πίεση πετρώματος που δρα στην επένδυση ως συνάρτηση των υπερκείμενων για τους τύπους πετρωμάτων Gn και Mr (υπερεκσκαφή = 3 cm)



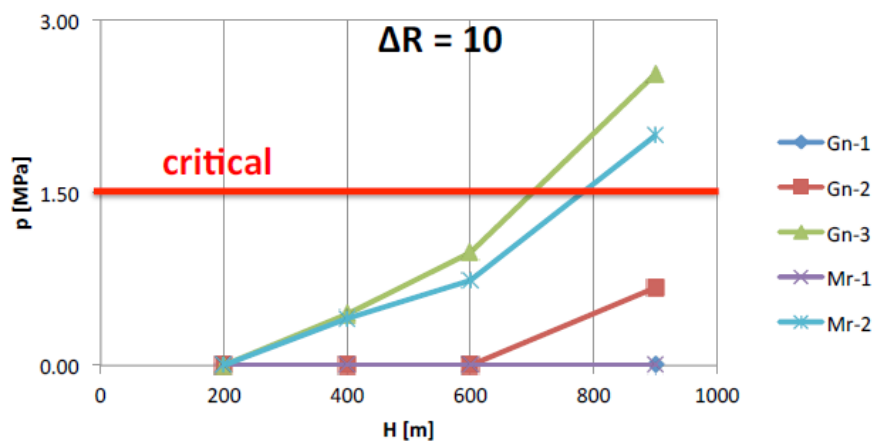
εικόνα 28 Πίεση πετρώματος που δρα στην επένδυση στις ρηγματώσεις ως συνάρτηση του πάχους της ρηγματώσεως και των υπερκείμενων (υπερεκσκαφή = 3 cm)



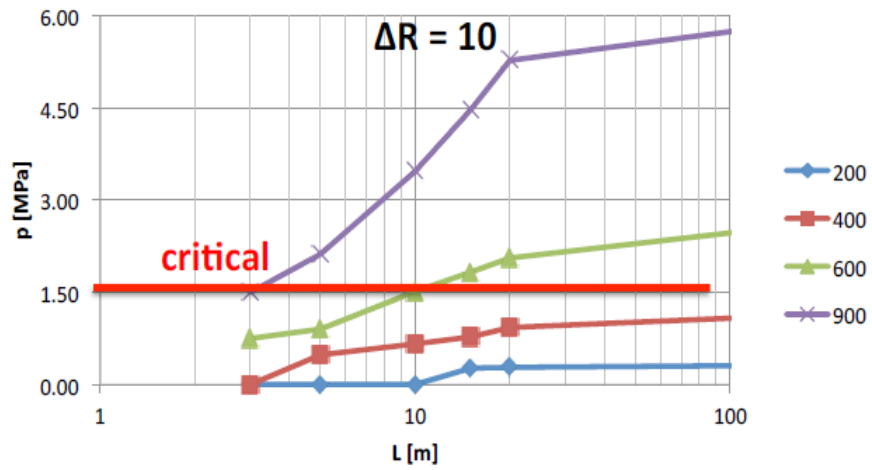
εικόνα 29 Δύναμη ώθησης που απαιτείται ως συνάρτηση των υπερκείμενων για τους τύπους πετρωμάτων Gn και Mr (υπερεκσκαφή = 10 cm)



εικόνα 30 Δύναμη ώθησης που απαιτείται στις ρηγματώσεις ως συνάρτηση του πάχους της ρηγματώσεως και των υπερκείμενων (υπερεκσκαφή = 10 cm)



εικόνα 31 Πίεση πετρώματος που δρα στην επένδυση ως συνάρτηση των υπερκείμενων για τους τύπους πετρωμάτων Gn και Mr (υπερεκσκαφή = 10 cm)



εικόνα 32 Πίεση πετρώματος που δρα στην επένδυση ως συνάρτηση του πάχους της ρηγμάτωσης και των υπερκείμενων (υπερεκσκαφή = 10 cm)

## 5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### 5.1 Συμβατική μέθοδος διάτρησης - ανατίναξης

#### Παρουσίαση μεθόδου

Ο κύκλος των κύριων εξορυκτικών εργασιών ακολουθεί τον κλασικό κύκλο εργασίας που εφαρμόζεται σε όλες τις υπόγειες εξορυκτικές εργασίες, ήτοι, διάτρηση – γόμωση – πυροδότηση – ξεσκάρωμα – αποκομιδή – υποστήριξη.

#### 5.1.1 Διάτρηση

Για την διάτρηση θα χρησιμοποιηθεί ντιζελο-υδραυλικό ελαστικοφόρο διατρητικό φορείο (jumbo) της Atlas Copco rocket boomer xe3c spares φαίνεται στην Εικόνα: 34. Το jumbo διαθέτει τρεις τηλεσκοπικούς βραχίονες (μπούμες), και υδραυλικές σφύρες COP1038HD με διατρητικά στελέχη (μακάπια) 3.6 m, και κοπτικά άκρα (κορώνες) διαμέτρου 45 mm. Κατά την διάτρηση τα θραύσματα απομακρύνονται με συνδυασμό πεπιεσμένου αέρα και νερού.



εικόνα 33: Atlas Copco rocket boomer xe3c spares



Το σχέδιο της διάτρησης αποτελείται από 37 διατρήματα, -(βλ. Εικόνα 39).

#### 5.1.2 Γόμωση

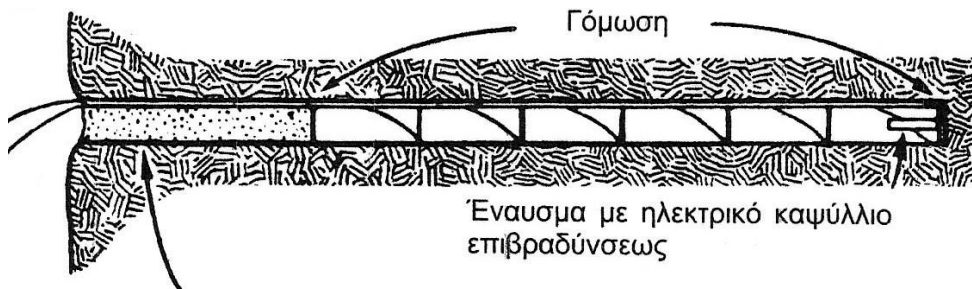
Για την γόμωση των διατρημάτων χρησιμοποιείται συνδυασμός φυσιγγίου ζελατινοδυναμίτιδας και πετρελαιοαμμωνίτη (ANFO) όταν κοντά στο μέτωπο υπάρχει δίκτυο πεπιεσμένου αέρα ή ζελατινοδυναμίτιδας και εκρηκτικού γαλακτώματος στην αντίθετη περίπτωση.

- Οι κορώνες πληρώνονται αποκλειστικά με φυσίγγια ζελατινοδυναμίτιδας, ενώ στα ντούκια τοποθετούνται δύο φυσίγγια ζελατινοδυναμίτιδας και το υπόλοιπο διάτρημα πληρώνεται με ANFO.

Στην περίπτωση όπου δεν έχουμε κοντά στο μέτωπο δίκτυο πεπιεσμένου αέρα τότε γίνεται συνδυασμός ζελατινοδυναμίτιδας και εκρηκτικού γαλακτώματος. Οι κορώνες πληρώνονται αποκλειστικά με φυσίγγια ζελατινοδυναμίτιδας και στα ντούκια 3 φυσίγγια ζελατινοδυναμίτιδας και το υπόλοιπο με φυσίγγια εκρηκτικού γαλακτώματος.

Με την χρήση ειδικού εργαλείου καθαρίζεται το εσωτερικό του διατρήματος και εν συνεχεία αρχίζει η γόμωση. Στο βάθος της οπής τοποθετείται το πρώτο φυσίγγιο ζελατινοδυναμίτιδας το οποίο στο άκρο του έχει τοποθετημένο το ηλεκτρικό καψύλλιο. Στην συνέχεια με την βοήθεια ξύλινης ράβδου που καταλήγει σε κοφτερή άκρη από το ίδιο υλικό ή από μπρούτζο (τακαδόρος) τοποθετούνται ένα τα επόμενα φυσίγγια ζελατινοδυναμίτιδας ή εκρηκτικού γαλακτώματος, ή χύμα ANFO το οποίο εισπιέζεται στην οπή πνευματικά με χρήση ANFOνιέρας. Το διάτρημα γομώνεται μέχρι περίπου 0.5m από την επιφάνεια του μετώπου. Κατά την γόμωση θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε ο αγωγός του ηλεκτρικού καψυλλίου να ακολουθεί την διαδρομή της οπής.

Η γόμωση φαίνεται στην Εικόνα: 36

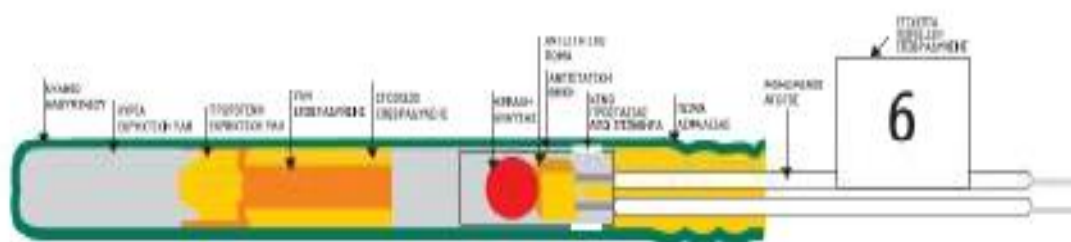


Εικόνα 34: Η γόμωση του διατρήματος. Διακρίνεται στο βάθος του διατρήματος το καπύλλιο και η πλήρωση του υπόλοιπου διατρήματος με τα εκρηκτικά.

Τα καψύλλια τα οποία χρησιμοποιούνται είναι ηλεκτρικά καψύλλια με επιβράδυνση χρόνου. Το ηλεκτρικό καψύλλιο αποτελείται από ένα μικρό κάλυκα από αλουμίνιο διαμέτρου 6,5mm και μήκους 4cm - 5cm εντός του οποίου βρίσκονται σε σειρά 4 διαφορετικές χημικές ουσίες ή μίγματα χημικών ουσιών.

Η διέγερση του καψυλλίου επιτυγχάνεται με την βοήθεια ζεύγους μεμονωμένων ηλεκτρικών αγωγών οι οποίοι καταλήγουν εντός του μίγματος αναφλέξεως, που έχει διαμορφωθεί σε σπιρτοκεφαλή, ή βρίσκεται σε κοκκώδη μορφή γομώσεως (κεφαλή έναυσης (Εικόνα: 37). Μέσα στο μίγμα αυτό, οι αγωγοί ενώνονται μεταξύ τους με λεπτό γυμνό νήμα, συνήθως χρομονικελίνης, σχηματίζοντας γέφυρα.

Με την διοχέτευση ρεύματος μέσω των αγωγών η γέφυρα ερυθροπυρώνεται και αναφλέγει το μίγμα που την περιβάλλει δηλαδή το στοιχείο ελεγχόμενης επιβραδύνσεως (στοιχείο επιβράδυνσης, Εικόνα: 37).



εικόνα 35 Η εσωτερική σύσταση του καψυλλίου

Με την σειρά του αυτό πυροδοτεί το μίγμα εναύσεως (πρωτογενής εκρηκτική ύλη, Εικόνα: 37), που με το παραγόμενο ασθενές κρουστικό κύμα προκαλεί την έκρηξη του μίγματος εκρήξεως (κύρια εκρηκτική ύλη, Εικόνα: 37). Τα εκρηκτικά καψύλλια επιβραδύνσεως (Εικόνα: 38) κατασκευάζονται σε δύο τύπους ανάλογα με την ακρίβειά τους και το χρόνο επιβραδύνσεως. Οι δύο τύποι των καψυλλίων είναι ο MS (millisecond) και ο LP ή HS (Long period ή Half second).



εικόνα 36 Ηλεκτρικά καψύλλια επιβραδύνσεως. Διακρίνονται με κόκκινο χρώμα ηλεκτρικού αγωγού τα LP και με μπλε χρώμα τα MS.

Ο τύπος καψυλλίου που θα χρησιμοποιηθεί για την παρούσα εκμετάλλευση είναι ο MS (millisecond) καθώς έχει υψηλή χρονική ακρίβεια, δίνει καλό θρυμματισμό, παράγει μικρής τάξης δονήσεις στο έδαφος καθώς και μειωμένο θόρυβο στην ατμόσφαιρα.

Οι αγωγοί των καλυλλίων συνδέονται σε σειρά έτσι ώστε οι συνδέσεις να μην έρχονται σε επαφή με το πέτρωμα του οποίου η υγρασία μπορεί να προκαλέσει βραχυκύκλωμα και αφλογιστία. Δεδομένου ότι η ωμική αντίσταση είναι λίγο μεγαλύτερη του  $1\Omega$ , η συνολική αντίσταση ενός σωστά συνδεδεμένου κυκλώματος οφείλει να κυμαίνεται στο διπλάσιο του αριθμού των διατρημάτων, συνυπολογίζοντας και τους αγωγούς του κεντρικού δικτύου. Αυτός ο έλεγχος γίνεται με ειδικό ωμόμετρο του οποίου η τάση δεν μπορεί να προκαλέσει ακούσια πυροδότηση.

#### 5.1.2.1 Υπολογισμός αριθμού διατρημάτων και ποσότητας εκρηκτικών υλών ανά προχώρηση

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σχεδιασμού της διάτρησης-ανατίναξης με τα εξής στοιχεία:

- Διάμετρος κενού διατρήματος:  $D_0 = 45\text{mm}$
- Διάμετρος υπόλοιπων διατρημάτων:  $d = 45\text{mm}$
- Μήκος διάτρησης:  $\ell = 3,8\text{m}$
- Μήκος προχώρησης ανά ανατίναξη:  $\ell_\alpha = 3,6\text{m}$  (95% απόδοση προχώρησης)
- Περιμετρική απόκλιση:  $\alpha_1 = 0,005\text{m}$
- Γωνιακή απόκλιση:  $\alpha_2 = 0,0025\text{m} / \text{m}$
- Συντελεστής ποιότητας πετρώματος:  $c = 0.4$
- Συντελεστής πάκτωσης:  $f_{(\text{πλευρικά διατρήματα})} = 1.2$ ,  $f_{(\text{διατρήματα κύριας εκσκαφής})} = 1.45$
- Λόγος απόστασης:φορτίο,  $S/B = 1.25$
- Πλάτος σήραγγας:  $T_w = 7.6 \text{ m}$
- Γωνία εκτροπής διατρημάτων:  $\gamma = 3^\circ = 0,052 \text{ rad}$
- Συντελεστής  $k = 15$
- Μήκος τόξου στοάς:  $\partial = 6,045\text{m}$
- Ύψος στοάς:  $h_l = 4\text{m}$
- Διορθωτικός συντελεστής:  $\bar{c} = 0,45$

Όπως έχει ήδη αναφερθεί για την γόμωση των διατρημάτων θα χρησιμοποιείται ANFO σε ποσοστό περίπου 90% και ζελατινοδυναμίτιδα σε ποσοστό περίπου 10%, χωρίς να αποκλείεται η χρήση κάποιου άλλου τύπου εκρηκτικής ύλης, εφόσον αποδειχθεί ότι είναι κατάλληλο για την εκμετάλλευση, οικονομικότερο και καλύπτει τις ισχύουσες προδιαγραφές ασφαλείας π.χ. γαλακτώματα.

Η ποσότητα των εκρηκτικών που θα καταναλώνεται ανά διάτρημα υπολογίζεται από τον εμπειρικό τύπο  $c = k T^3$ , όπου  $c$  η ποσότητα των εκρηκτικών σε kg,  $k = 0,15$  και  $T = 3,1m$  το μήκος του διατρήματος. Από τα παραπάνω υπολογίζεται:

$$c = k \cdot T^3 = 0.15 \times 29.8m \Rightarrow c = 4.47kgr$$

Αναλογικά θα καταναλώνεται ανά διάτρημα:

$$ANFO = 90\% \times 4,47kgr = 4,023kgr$$

$$Ζελατινοδυναμίτιδα = 10\% \times 4,47kgr = 0,447kgr$$

Αυτό σημαίνει ότι σε μέτωπο με 37 διατρήματα θα υπάρξει συνολική κατανάλωση

165.39kg εκρηκτικής ύλης.

### 5.1.3 Πυροδότηση

Η τρόπος πυροδότησης που επιλέγεται είναι η ηλεκτρική πυροδότηση. Με την ηλεκτρική πυροδότηση επιτυγχάνεται η πυροδότηση πολλών υπονόμων από ασφαλή απόσταση με ένα μόνο χειρισμό της πηγής ενέργειας. Για την πυροδότηση χρησιμοποιούνται μηχανές πυροδοτήσεως.

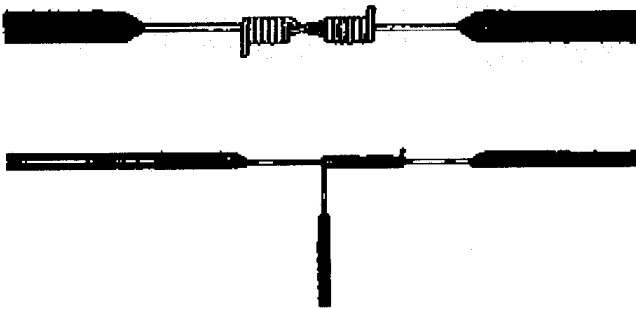
Η μηχανή πυροδοτήσεως είναι μια γεννήτρια στρεφόμενου τύπου. Στον τύπο αυτό με την κατάλληλη περιστροφή της χειρολαβής παράγεται ρεύμα από μικρή γεννήτρια συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος, που διοχετεύεται προς τη γραμμή πυροδοτήσεως μόνο στο τέλος της περιστροφής.

Όσο ταχύτερη είναι η περιστροφή τόσο περισσότερο είναι το ρεύμα το οποίο παράγεται. Η παρεχόμενη ενέργεια από αυτές τις μηχανές κυμαίνεται μεταξύ 1 - 6 Ws.

Για την κατασκευή του κυκλώματος πυροδότησης χρησιμοποιούνται χάλκινοι μονόκλωνοι αγωγοί με μόνωση από πλαστικό υλικό. Όλες οι ενώσεις του κυκλώματος θα πρέπει να γίνονται με ιδιαίτερη προσοχή.

Όταν γίνεται σύνδεση των αγωγών των καψυλλίων με τον αγωγό κατασκευής του κυκλώματος, τότε οι πρώτοι απογυμνώνονται από την γόμωση τους σε μήκος 8cm - 10cm και στη συνέχεια περιτυλίγονται σφιχτά σε μήκος 2cm - 3cm επί του αγωγού κατασκευής του κυκλώματος, από τον οποίο έχει απομακρυνθεί η μόνωση.

Οι ενώσεις δεν πρέπει να έρθουν σε επαφή με το έδαφος, με νερό ή άλλους καλούς αγωγούς του ηλεκτρικού ρεύματος και γι' αυτό θα πρέπει να μονώνονται κατάλληλα με μονωτική ταινία. Ο τρόπος ενώσεως των ηλεκτρικών αγωγών φαίνεται στην Εικόνα: 39.



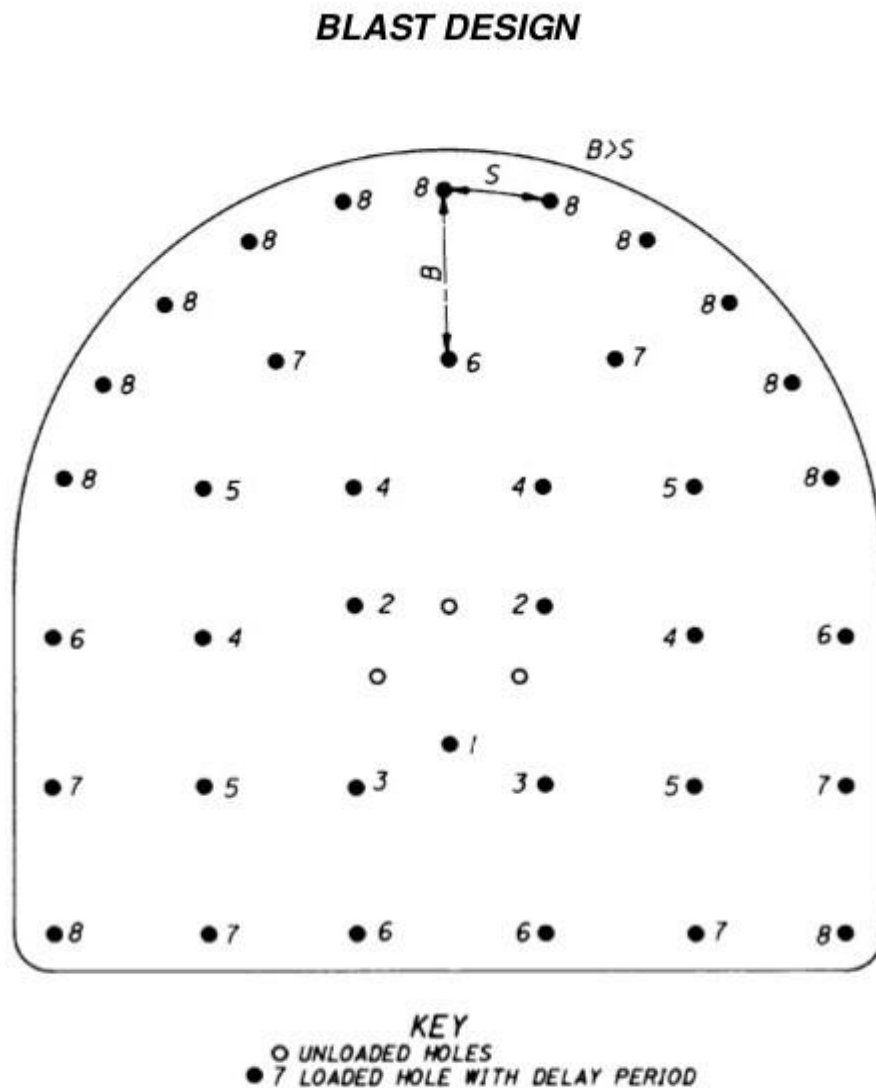
εικόνα 37: Η συνδεσμολογία των ηλεκτρικών αγωγών.

Η γραμμή πυροδοτήσεως δεν πρέπει να εκτείνεται έως το μέτωπο εργασίας διότι υπάρχει περίπτωση να καταστραφεί λόγω των εκρήξεων. Γι' αυτό το λόγω χρησιμοποιείται για την σύνδεση των δύο αγωγών των καψυλλίων με τους αγωγούς πυροδοτήσεως ο αγωγός συνδέσεως. Ο αγωγός συνδέσεως είναι σύρμα διαμέτρου 0,6mm από χαλκό της ίδιας μονώσεως όπως και ο αγωγός των καψυλλίων. Οι αγωγοί αυτοί αντικαθίστανται σε κάθε νέο κύκλο εργασιών καθώς καταστρέφονται λόγω της ανατίναξης. Βέβαια το κόστος τους είναι μηδαμινό οπότε δεν τίθεται κανένα θέμα από οικονομικής άποψης. Οι κύριες γραμμές πυροδοτήσεως πρέπει να έχουν την μικρότερη δυνατή αντίσταση και επαρκή μηχανική αντοχή και μόνωσή τους θα πρέπει να παρουσιάζει αντοχή έναντι της υγρασίας και να είναι αντιστατική. Οι γραμμές πυροδοτήσεως απαιτούν προσοχή καθώς παραμένουν για πολύ χρόνο και αν είναι ελαττωματικές προκαλούν προβλήματα στην ανατίναξη.

Πρέπει να αποφεύγεται η επαφή τους με υγρό πέτρωμα ή με μεταλλικά αντικείμενα, ενώ σε υγρούς χώρους δεν πρέπει να εφάπτονται μεταξύ τους.

Τα γυμνά άκρα των αγωγών θα πρέπει να καλύπτονται με μονωτική ταινία. Με το πέρας των συνδέσεων πραγματοποιείται έλεγχος του κυκλώματος που αποσκοπεί στην διαπίστωση τυχόν διακοπών στο κύκλωμα, ηλεκτρικής επαφής του κυκλώματος και του εδάφους ή ύπαρξη βραχυκυκλώματος. Ο έλεγχος γίνεται με κατάλληλο ωμόμετρο. ώστε να μην κόβονται από τους λίθους των ανατινάξεων.

Πλην της σύστασης της εκρηκτικής ύλης καθοριστικός παράγοντας για μια επιτυχημένη ανατίναξη είναι η γεωμετρική κατανομή των εναυσματικών μέσων βάσει χρονοκαθυστέρησης. Η συνήθης διαδικασία είναι: Αρχικά ανατινάσσονται τα bouchon, ώστε να δημιουργηθεί η απαραίτητη ελεύθερη επιφάνεια και το αντίστοιχο φορτίο. Ακολουθεί η ανατίναξη των βοηθητικών διατρημάτων, των περιμετρικών, της κορώνας, και η ανατίναξη στα ντούκια





Εικόνα: 39.

#### 5.1.4 Ξεσκάρωμα

Πρώτη και αναγκαία δουλειά με το πέρας της πυροδοτήσεως και πριν αρχίσει η αποκομιδή και μεταφορά του εξορυχθέντος πετρώματος το ξεσκάρωμα της οροφής.

Ο χειριστής του jumbo μαζί με τον εργοδηγό παρατηρούν προσεκτικά την οροφή και τα παραμέντα (πλαϊνά τοιχώματα). Όσα κομμάτια πετρώματος φαίνονται να είναι ανοικτά από την ανατίναξη τα ξεσκαρώνουν. . Για την εργασία αυτή χρησιμοποιούνται μεταλλικές ράβδοι με ειδικά διαμορφωμένα άκρα και με ικανό μήκος και αντοχή, έτσι ώστε να γίνεται με ασφάλεια η αποκόλληση των επισφαλών τεμαχίων ή όγκων. Εν συνεχεία αφού εμφανισθεί γερό ταβάνι ακολουθεί η κοχλίωση.

#### 5.1.5 Φόρτωση – Μεταφορά

Η φόρτωση των προϊόντων της ανατίναξης θα γίνεται με την χρήση ντιζελοκίνητου ελαστικοφόρου φορτωτή Scooptram ST1030 της Atlas Copco. Ο συγκεκριμένος φορτωτής φέρει κάδο  $5\text{m}^3$  και στην περίπτωση μας έχει χωρητικότητα υπερπλήρωσης 10mt. Ο συγκεκριμένος φορτωτής φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, (Εικόνα: 40).



εικόνα 38: Ο φορτωτής Scooptram ST1030 της Atlas Copco.

Η μεταφορά του προϊόντος θα γίνεται με την χρήση φορτηγών υπογείων (dumper) της atlas corco χωρητικότητας 25mt περίπου 8m<sup>3</sup>.

#### **5.1.6 Κοχλίωση οροφής**

Πρωταρχικός ρόλος της υποστήριξης είναι τόσο η προστασία των εργαζομένων όσο και των μηχανημάτων από τυχόν πτώσεις της οροφής και δευτερεύοντας ρόλος αλλά εξίσου σημαντικός, είναι να προστατευτεί η ποιότητα του μεταλλεύματος ώστε να μην μολύνεται από τις πτώσεις στείρων από την οροφή, εφόσον βρίσκεται σε μέτωπο όπου ακολουθείται η επαφή με τον υπερκείμενο ασβεστόλιθο.

Από τη μέχρι σήμερα εκμετάλλευση κοιτασμάτων του ανώτερου βωξιτικού ορίζοντα έχει διαπιστωθεί ότι ο υπερκείμενος του βωξίτη ασβεστόλιθος είναι ανθεκτικός. Όμως πέραν αυτού είναι απαραίτητη η υποστήριξη των στοών.

Η μέθοδος υποστήριξης που θα χρησιμοποιηθεί είναι αυτή της κοχλίωσης της οροφής η οποία είναι δοκιμασμένη και έχει αποδειχτεί ότι είναι ασφαλής σε όμοιου τύπου σχηματισμούς.

Ο κύριος σκοπός της υποστήριξης είναι η επιβράδυνση και ανάσχεση της αναπόφευκτης σύγκλισης και ο περιορισμός της έκτασης της ζώνης χαλάρωσης, η οποία δημιουργείται ως αποτέλεσμα της διάνοιξης της εκσκαφής.

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η μέθοδος της κοχλίωσης της οροφής με την χρήση αγκυρίων, τα οποία μας οδήγησαν και στην επιλογή αυτή είναι:

- Τοποθετούνται σε οποιοδήποτε γεωμετρικό σχήμα εκσκαφής. (ιδανικό χαρακτηριστικό για την μέθοδο θαλάμων και στύλων)
- Δεν μειώνουν το μέγεθος της διατομής της υπόγειας εκσκαφής
- Έχουν μικρό βάρος, περίπου 2kg
- Είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν τόσο για τωρινή όσο και για μόνιμη υποστήριξη
- Συνδυάζονται αποτελεσματικά με άλλα συστήματα υποστήριξης
- Μπορούν να τοποθετηθούν πολύ κοντά στο μέτωπο προχώρησης
- Η διαδικασία τοποθέτησής τους είναι σχετικά απλή και γρήγορη
- Είναι επιδεκτικά πλήρους εκμηχάνισης
- Το κόστος υπό ορθολογικές συνθήκες εφαρμογής είναι σχετικά χαμηλό
- Απαιτούν μικρό χώρο για αποθήκευση
- Βελτιώνουν σημαντικά τις συνθήκες αερισμού
- Είναι αρκετά ευέλικτα ώστε να αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά ένα ευρύ φάσμα διευθύνσεων και μεγεθών των τάσεων, αλλά και διαφορετικών προσανατολισμών των ασυνεχειών της μάζας του πετρώματος.

Τα αγκύρια που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι τα αγκύρια τριβής διαιρούμενου τύπου (Split type) VFB 46 της Videx (Εικόνα: 42), των οποίων οι προδιαγραφές παρατίθενται στον πίνακα: 15



Εικόνα: 42: Το αγκύριο τριβής διαιρούμενου τύπου VFB 46 της Videx.

Πίνακας 13 : Οι προδιαγραφές του αγκυρίου.

Τύπος ράβδου	Ελάχιστο φορτίο θραύσεως	Αντοχή στον εφελκυσμό	Όριο διαρροής	Επιμήκυνση σε κανονικό μήκος	Αρχική ικανότητα παραλαβής φορτίων (για οπή 41 mm)
	MPa	MPa	MPa	%	tn
VFB-46	180 – 200	520	490	20	10 – 11

Τα συγκεκριμένα αγκύρια έχουν διάμετρο  $46mm$  και η διάμετρος της οπής όπου θα τοποθετηθούν είναι  $41mm$ .

Στη βάση των αγκυρίων τοποθετείται μεταλλικό πλακίδιο διαστάσεων  $150mm \times 150mm$  ή  $200mm \times 200mm$

Τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου αγκυρίου είναι:

- Έχει την ικανότητα να διαρρέει αντί να θραύεται
- Προσφέρει ολόσωμη ενεργή υποστήριξη
- Ασκεί θλιπτικά φορτία στο πέτρωμα
- Προσφέρει άμεση υποστήριξη
- Η ικανότητα υποστήριξης του αγκυρίου αυξάνεται με τον χρόνο
- Η ικανότητα αγκύρωσης αυξάνεται με τις μετακινήσεις του πετρώματος
- Διατηρεί την υποστήριξη ακόμα και αν το πλακίδιο εδράσεως αποτύχει

Η απόδοση των συγκεκριμένων αγκυρίων έχει αποδειχθεί διεθνώς μέσω σειράς δοκιμών και τοποθετήσεων

- Τοποθετείται γρήγορα και εύκολα
- Δεν απαιτείται ιδιαίτερος εξοπλισμός για την τοποθέτηση του
- Η τοποθέτηση του μπορεί να γίνει με όλους τους τύπους αεροσφυρών χειρός και μηχανημάτων αυτόματης αγκύρωσης

Ο έλεγχος της τοποθέτησης του αγκυρίου γίνεται οπτικά (έλεγχος του ανοίγματος της εγκοπής του διαιρούμενου σωλήνα)

- Μετά την τοποθέτηση δεν απαιτούνται επιπρόσθετες ενέργειες όπως τάνυση, ενεμάτωση κλπ.
- Ο απλός σχεδιασμός ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο συγκέντρωσης φορτίων
- Διατηρεί τη φόρτιση του πλακιδίου εδράσεως
- Προσφέρει αποτελεσματική υποστήριξη υπό οποιαδήποτε γωνία τοποθέτησης

#### 5.1.6.1 Υπολογισμός μήκους αγκυρίων

Το μήκος των αγκυρίων ( $L$ ) υπολογίζεται από τον εμπειρικό κανόνα του Hoek (1995). Θα πρέπει να υπολογισθούν αντίστοιχα για τις προσπελαστικές και για στοές εντός του μεταλλείου. Για τις προσπελαστικές στοές υπολογίζουμε:

$$L = 2 + 0,15 \cdot (B / ESR) = 2 + 0,15 \cdot (4\text{m}/1,2) \Rightarrow L = 2,5 \text{ m}$$

Για τις στοές εντός του μεταλλείου υπολογίζουμε:

$$L = 2 + 0,15 \cdot (B / ESR) = 2 + 0,15 \cdot (4\text{m}/2) \Rightarrow L = 2,3\text{m}$$

Όπου  $B$  το πλάτος της εκσκαφής,  $ESR$  ο συντελεστής εξαρτώμενος από τη χρήση του υπογείου έργου.

#### 5.1.6.2 Υπολογισμός πυκνότητας αγκύρωσης

Η πυκνότητα με την οποία θα τοποθετηθούν τα αγκύρια εξαρτάται κυρίως από την ζώνη επιρροής του κοχλίου, δηλαδή την έκταση του πετρώματος που είναι ικανό να υποστηρίξει το αγκύριο. Η ζώνη επιρροής του αγκυρίου ( $E$ ) εξαρτάται από τα μηχανικά χαρακτηριστικά του αγκυρίου καθώς και τα χαρακτηριστικά του πετρώματος. Υπολογίζεται από τον τύπο:

$$E = (\sigma \cdot Sk) / (f \cdot h \cdot \gamma) = (2000 \text{ kpa/cm}^2 \cdot 7,22 \text{ cm}^2) / (3 \cdot 2,0\text{m} \cdot 2700 \text{ kg/m}^3) \Rightarrow E \approx 0,9\text{m}^2$$

Όπου  $\sigma$  η τάση θραύσης του κοχλίου,  $Sk$  η διατομή της ράβδου του κοχλίου,  $f$  ο συντελεστής ασφαλείας ίσος με 3,  $h$  το ύψος της ζώνης χαλάρωσης,  $\gamma$  το ειδικό βάρος του πετρώματος.

Στην περίπτωση μας έχουμε λάβει ένα μέσο  $\gamma = 2,7 \text{ tn/m}^3$ .

Τα ανωτέρω αποτελέσματα μας πληροφορούν ότι κατά την προώθηση της στοάς προσπέλασης θα πρέπει να τοποθετείται ένα αγκύριο ανά 1m περίπου.

Ένα ενδεικτικό στοιχείο που μας δείχνει εάν η αγκύρωση είναι ικανοποιητική, αποτελεί και ο λόγος του μήκους του αγκυρίου προς την απόσταση μεταξύ των αγκυρίων. Αν ο λόγος αυτός

υπερβαίνει την τιμή 1,6 η αγκύρωση θεωρείται ότι πληρεί όλες τις απαιτούμενες προϋποθέσεις.

Στην περίπτωση μας ο λόγος είναι:

$$2,5\text{m}/1\text{m} = 2,5$$

Όπως είναι φανερό ο λόγος υπερβαίνει την τιμή 1,6 που μας ικανοποιεί.

Απόσταση αγκυρίων από το μέτωπο

Η απόσταση ( $\alpha$ ) από το μέτωπο όπου πρέπει να βρίσκεται το τελευταίο αγκύριο δίδεται από τον τύπο:

$$\alpha : s 0,75 \cdot D = 0,75 \cdot 4m \Rightarrow \alpha = 3m$$

Όπου  $D$  το πλάτος της στοάς.

#### 5.1.7 Λοιπά στοιχεία υποστήριξης

Στις διασταυρώσεις της κύριας στοάς με τα εγκάρσια και όπου υπάρχει ανάγκη προβλέπεται η χρησιμοποίηση μεταλλικού πλέγματος το οποίο συνήθως αποτελείται από χαλύβδινο σύρμα διαμέτρου 3mm.

Ιδιαίτερη μέριμνα θα καταβληθεί για την εξασφάλιση της εισόδου της στοάς όπου τα πετρώματα είναι διαταραγμένα. Στο σημείο αυτό θα λάβει χώρα τοποθέτηση μεταλλικών πλαισίων τύπου 120, σχήματος Π και διατομής Η, με μεταξύ τους απόσταση από 0,5m – 2m.

#### 5.1.8 Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Κατά την εκτέλεση του κύκλου εργασιών, αμέσως μετά την κοχλίωση της στοάς ακολουθεί τοποθέτηση στρώματος ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10cm, για την άμεση παραλαβή των τάσεων που δημιουργούνται από την αποτόνωση του πετρώματος μετά την εκσκαφή. Τα δύο σημαντικότερα πλεονεκτήματα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί γρήγορα και ότι αναπτύσσει αντοχή απευθείας μετά την εφαρμογή. Η προσθήκη μεταλλικών ινών ως οπλισμού του εκτοξευόμενου σκυροδέματος τείνει να αντικαταστήσει την όπλιση με μεταλλικά πλέγματα (wire mesh reinforcement). Η συνήθης αναλογία μεταλλικών ινών είναι 40-60 kg ανά κυβικό μέτρο σκυροδέματος.

## 5.2 Ταχύτητα μεθόδου διάτρησης-ανατίναξης

Στο παρόν κεφάλαιο θα εξεταστεί και θα υπολογισθεί ο χρόνος που χρειάζεται προκειμένου να περατωθούν οι εργασίες με την μέθοδο της διάτρησης ανατίναξης.

Το μέγιστο μήκος του στελέχους φθάνει τα  $3,6m$ , το μέσο μήκος των διατρημάτων είναι  $3,1m$  και κατά μέσω όρο το μήκος της προχώρησης είναι  $3m$ . Η ικανότητα προχώρησης που προσφέρει το συγκεκριμένο διατρητικό φορείο, δουλεύοντας 2 βάρδιες ημερησίως, υπολογίζεται:  $3m$  (ανά βάρδια)  $\times 2$  (βάρδιες / ημέρα)  $\times 250$  (ημέρες / έτος) =  $1500m/έτος$

### 5.2.1 χρονομέτρηση κύριων εξορυκτικών εργασιών

#### 5.2.1.1 Διάτρηση

Το διατρητικό φορείο που θα χρησιμοποιηθεί έχει δυνατότητα ταχύτητας διάτρησης  $1,4m/min$ . Το συνολικό μήκος των 37 διατρημάτων είναι  $90m$ . Οπότε το διατρητικό χρειάζεται  $65min$  για να ολοκληρώσει την διάτρηση.

#### 5.2.1.2 Γόμωση - πυροδότηση

Σύμφωνα με χρονομετρήσεις που πραγματοποιήσαμε έγιναν για την γόμωση και την πυροδότηση 37 διατρημάτων χρειάζονται περίπου  $40 min$ .

#### 5.2.1.3 Αερισμός μετώπων

Ο χρόνος που απαιτείται για την απαγωγή των αερίων που εκλύονται, εκτιμάται στα  $20 min$  περίπου.

#### 5.2.1.4 Ξεσκάρωμα

Για το ξεσκάρωμα των επισφαλών όγκων ο χρόνος που απαιτείται υπολογίζεται στα  $15 min$ .

#### 5.2.1.5 Κοχλίωση οροφής

Το μέγιστο μήκος αγκυρίων που τοποθετούνται είναι  $2,5m$ . Ανά προχώρηση απαιτούνται 18 κοχλίες (τοποθέτηση ενός ανά  $1 m$  και μέση προχώρηση  $3m$  σε στοά πλάτους  $6m$ ). Για την διάτρηση ενός διατρήματος απαιτούνται  $1,8min$ . Οπότε τα 12 διατρήματα χρειάζονται  $35min$  περίπου για να ορυχθούν. Για την τοποθέτηση τους απαιτούνται επιπλέον άλλα  $15min$ . Άρα για την κοχλίωση χρειάζονται περίπου  $50min$ .

#### 5.2.1.6 Φόρτωση – μεταφορά

Σε κάθε πυροδότηση παράγονται  $174,96 t$  εξορυχθέντος υλικού. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς ο φορτωτής έχει δυνατότητα  $45,6t/h$ . Οπότε για την φόρτωση και μεταφορά τους απαιτούνται  $270min$ .

Συνεπώς, φαίνεται ότι ένας παραγωγικός κύκλος πραγματοποιείται σε:

$$65+40+20+15+50+270 = 460 min \text{ ή } 8 hr \text{ περίπου.}$$



Αυτό μεταφράζεται ότι σε 2 πλήρης βάρδιες έχουν εκτελεστεί 2 κύκλοι εργασιών και η προχώρηση της σήραγγας ανέρχεται στα  $3 * 2 = 6$  μέτρα / ημέρα.

Με παραδοχή ότι δεν έχουμε καθυστερήσεις λόγω των συνθηκών που θα επικρατούν κατά την προχώρηση (π.χ., πλημμύρες κ.α.) και με προϋπολογισμένο χρονοδιάγραμμα εργασιών για 300 εργάσιμες ημέρες/ έτος, προκύπτει ότι η προχώρηση για κάθε έτος θα είναι ίση με :

Προχώρηση/έτος:  $6 * 300 = 1,800\text{m}/\text{έτος}$ ,

Άρα η σήραγγα με την μέθοδο αυτή θα ολοκληρωθεί σε:

$8.700 - 1600 = 7.100\text{m}$  (εναπομείναντα μέτρα),

$(7,100\text{m}) / (1,800\text{m}/\text{έτος}) = 4$  έτη περίπου.

### 5.3 Εκτίμηση κόστους μεθόδου διάτρησης ανατίναξης.

Σαν κόστος της μεθόδου διάτρησης ανατίναξης, υπολογίζονται οι δαπάνες για την διάνοιξη των στείρων στοών και το κόστος εγκατάστασης των υποδομών του εργοταξίου.

Δεν υπολογίζεται στο κόστος επένδυσης η αγορά των μηχανημάτων που χρειάζονται καθώς θα χρησιμοποιηθούν ήδη υπάρχοντα από τον στόλο της εταιρείας.

Τα συνολικά μέτρα στείρων στοών είναι 7100m με διαστάσεις 6m x 7m. Σύμφωνα με τις διαστάσεις προκύπτει τι ο όγκος των στείρων είναι  $298,200\text{m}^3$  δηλαδή 805,140tn. Ανά ημέρα παράγονται 680,4tn στείρου υλικού. Το κόστος διάνοιξης των στείρων στοών υπολογίζεται:

#### 5.3.1 Διάτρηση

- Κορώνες

$$N = a/Lk = 37,5\text{m}/100\text{m} \Rightarrow N = 0,4\text{κορώνες/ημέρα}$$

$$K_k = N \times C_k / \Pi = 0,4 \times 47\text{€} / 680,4(\text{tn}/\eta\mu) \Rightarrow K_k = 0,036(\text{€/tn})$$

Όπου  $a$  τα μέτρα (m) διάτρησης ανά ημέρα,  $Lk$  η διάρκεια ζωής της σε m,  $N$  ο αριθμός των κοπτικών που απαιτούνται ανά ημέρα,  $C_k$  το κόστος αγοράς της κορώνας,  $\Pi$  η ημερήσια παραγωγή και  $K_k$  το κόστος αγοράς της κορώνας.

- Στελέχη

$$N = a/L\Sigma = 37,5\text{m} / 100\text{m} \Rightarrow N = 0,4\text{στελέχη}$$

$$K_\Sigma = N \times C_\Sigma / \Pi = 0,4 \times 197 / 680,4(\text{tn}/\eta\mu) \Rightarrow K_\Sigma = 0,15(\text{€/tn})$$

Όπου α τα μέτρα (m) διάτρησης ανά ημέρα, Lk η διάρκεια ζωής του σε m, N ο αριθμός των στελεχών που απαιτούνται ανά ημέρα, CΣ το κόστος αγοράς του στελέχους, Π η ημερήσια παραγωγή και Κκ το κόστος αγοράς του στελέχους.

- Κόστος διατηρητικού

$$KKA = W \times 0,2lt \times n \times T \times Co/\Pi = 146hp \times 0,2lt \times 0,8 \times 6(hr/\eta\mu) \times 1,30(€/lt) / 680,4(tn/\eta\mu) \Rightarrow KKA = 0,35(€/tn)$$

Όπου W η συνολική ιπποδύναμή, T οι ώρες λειτουργίας, Co το κόστος του καυσίμου, n ο συντελεστής φορτίου, Π η ημερήσια παραγωγή.

Άρα, συνολικά η διάτρηση κοστίζει:  $(0,036+0,15+0,35)€/tn \times 805140tn = 431.555 €$ .

### 5.3.2 Υποστήριξη

- Κόστος κοχλιών

$$Kv = Nk \times CR / \Pi = 54 \times 14€ / 680,4tn \Rightarrow Kv = 0,96(€/tn)$$

Όπου Nk ο αριθμός των κοχλιών που τοποθετούνται ανά ημέρα (18/μέτωπο), CR το κόστος του κάθε κοχλία, Π η ημερήσια παραγωγή.

Σημειώνεται ότι το κόστος όρυξης των διατρημάτων έχει συμπεριληφθεί στο κόστος διάτρησης.

### 5.3.3 Κόστος εκτοξευόμενου σκυροδέματος

Το κόστος του ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος ανέρχεται σε 120€/m<sup>3</sup> άρα στην μελέτη μας είναι :

$$(120€/m^3) \times 298200m^3 = 35 \times 10^6 €$$

Συνολικά η υποστήριξη κοστίζει:  $(1,2€/tn \times 805140tn) + ((120€/m^3) \times 298200m^3) = 966,168.000€ + 35 \times 10^6 € = 36.000.000€$

### 5.3.4 Γόμωση – Πυροδότηση

ANFO

$$\text{KANFO} = 0,5(\text{€/kgr}) \times 4,023 (\text{kgr/διάτρημα}) \times 37 (\text{διατρήματα}) \times 2(\text{ανατινάξεις/ημ}) / 680,4(\text{tn/ημ})$$
$$\Rightarrow \text{KANFO} = 0,21 \text{ €/tn}$$

Συνολικό κόστος:  $0,21\text{€/tn} \times 805140\text{tn} = \mathbf{176.140\text{€}}$ .

Ζελατινοδυναμίτιδα

$$\text{Κζελ} = 1,85(\text{€/kgr}) \times 0,4(\text{kgr/διάτρημα}) \times 37(\text{διατρήματα/ανατίναξη}) \times 2(\text{ανατινάξεις/ημ}) / 680,4(\text{tn/ημ})$$
$$\Rightarrow \text{Κζελ} = 0,08\text{€/tn}$$

Συνολικό κόστος:  $0,08\text{€/tn} \times 805140\text{tn} = \mathbf{64.799\text{€}}$ .

Καψύλλια

$$\text{Κκαψ} = 1,00(\text{€/τεμ}) \times 1(\text{τεμάχιο/διάτρημα}) \times 37(\text{τεμάχια/ανατίναξη}) \times 2(\text{ανατινάξεις/ημ}) / 680,4 (\text{tn/ημ}) \Rightarrow$$
$$\text{Κκαψ} = 0,1 \text{ €/tn}$$

Συνολικό κόστος:  $0,1\text{€/tn} \times 805140\text{tn} = \mathbf{80514\text{€}}$ .

Άρα το συνολικό κόστος των ανατινάξεων ανέρχεται σε:

$$176.140\text{€} + 64.799\text{€} + 80.514\text{€} = 321.453\text{€}.$$

### 5.3.5 Φόρτωση – Μεταφορά

Κόστος φορτωτή

Ο τύπος είναι ο ίδιος με του διατρητικού. Αλλάζουν η ιπποδύναμη (320hp) και οι ώρες εργασίας (13,5hr).

$$\text{Κφ} = W \times 0,2\text{lt} \times n \times T \times \text{Co} / \Pi = 320\text{hp} \times 0,2\text{lt} \times 0,8 \times 13,5(\text{hr/ημ}) \times 1,30(\text{€/lt}) / 680,4(\text{tn/ημ}) \Rightarrow \text{Κφ}$$
$$= 1,71 \text{ €/tn}$$

Όπου W η συνολική ιπποδύναμη, T οι ώρες λειτουργίας, Co το κόστος του καυσίμου, n ο συντελεστής φορτίου, Π η ημερήσια παραγωγή.

Το συνολικό κόστος φόρτωσης–μεταφοράς είναι:  $1,71\text{€/tn} \times 805140\text{tn} = 1.376.789\text{€}$ .

### 5.3.6 Κόστος εργασίας

- Προσωπικό

$$\text{Κπρ} = 20(\text{άτομα/βάρδια}) \times 2(\text{βάρδιες/ημ}) \times 8(\text{hr/βάρδια}) \times 16,1(\text{€/hr}) / 680,4(\text{tn/ημ})$$
$$\Rightarrow \text{Κπρ} = 7,5\text{€}$$

Άρα το συνολικό κόστος είναι: 6.038.000€.

Συνολικά η διάνοιξη της στοάς με την μέθοδο της διάτρησης ανατίναξης κοστίζει 44.418.043€, ή 6.256€ ανά m μήκους στοάς ή 55,16 € ανά t εξορυσσόμενου υλικού.

## 6 Συμπεράσματα

Η εργασία αυτή εστιάζει στις κύριες διαφορές μεταξύ της τεχνικής διάτρησης-ανατίναξης και της μεθόδου TBM και στην επιλογή της βέλτιστης, για το έργο που θα ενώνει τα μεταλλεία των Μαύρων Πετρών και της Ολυμπιάδας, με γνώμονα την ταχύτητα της εκσκαφής και το συνολικό κόστος διάνοιξης.

Αρχικά θα πρέπει να γίνει εμφανές ότι κάθε έργο εκσκαφής σήραγγας αποτελεί μια ξεχωριστή περίπτωση που χαρακτηρίζεται από πολυάριθμες διαφορετικές συνθήκες.

Η εκτίμηση που θα μας δώσει το μικρότερο χρόνο και το χαμηλότερο κόστος θα αποτελεί την βέλτιστη επιλογή.

Τόσο στην διάνοιξη των σηράγγων όσο και στις άλλες κατασκευές η ποιό αποδοτική και χρόνο μέθοδος είναι και η προτιμώμενη.

Το πρόβλημα που προκύπτει όμως κατά την επιλογή της μεθόδου στην διάνοιξη των σηράγγων, είναι ότι είναι δύσκολο να προβλεφθεί με ακρίβεια η βέλτιστη μέθοδος από την αρχή καθώς πρόκειται για ένα έργο διάνοιξης σήραγγας το οποίο φυσιολογικές συνθήκες θα τρέχει σε βάθος μερικών ετών, πράγμα που σημαίνει ότι νέες απρόβλεπτες συνθήκες μπορούν να προκύψουν κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου.

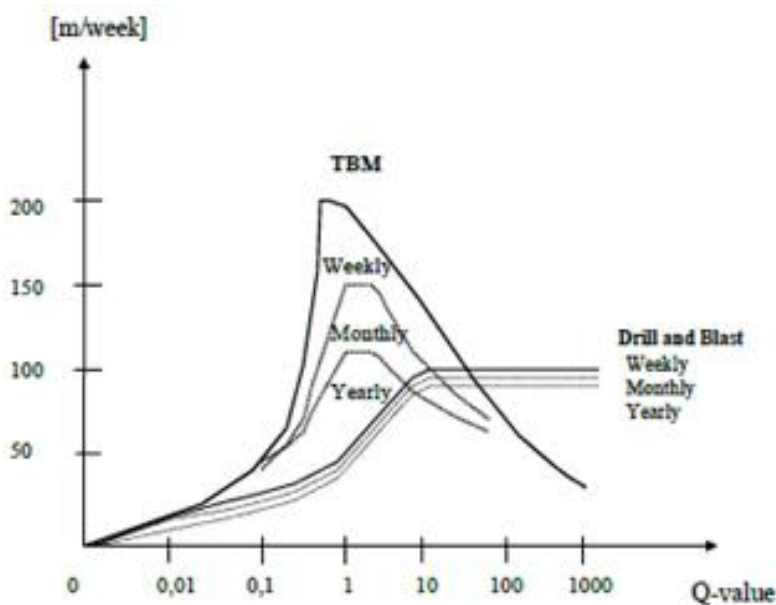
Ας εξετάσουμε όμως ποιο διεξοδικά τα στοιχεία που προέκυψαν από την ανάλυση των δυο μεθόδων που έχουμε κάνει στην εργασία αυτή.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνας 42) του Barton που ακολουθεί εξετάζεται ένας μεγάλος αριθμός σηράγγων όπου έχει χρησιμοποιηθεί η μέθοδος TBM και η μέθοδος διάτρησης ανατίναξης.

Το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγει είναι ότι για τιμές  $Q$  έως 0,01 ο ρυθμός προχώρησης είναι των δυο μεθόδων είναι κοινός, για τιμές  $Q$  από 0,1 έως 10 ο ρυθμός προχώρησης στην μέθοδο TBM είναι εμφανώς μεγαλύτερος από τον ρυθμό προχώρησης της μεθόδου διάτρησης ανατίναξης, όπου αυτό οφείλεται στην ευθραυστότητα της βραχομάζας λόγω του πυκνού δικτύου ασυνεχειών και διακλάσεων, οι οποίες βοηθούν στην αποδοτικότητα της μεθόδου TBM.

Για τιμές  $Q$  από 10 και πάνω ο ρυθμός προχώρησης της μεθόδου TBM αρχίζει να μειώνεται σχεδόν γραμμικά και να φτάνει σε πολύ χαμηλή τιμή, λόγω του μονολιθικού χαρακτήρα του πετρώματος και της αντίστασης που αυτό προβάλλει στα κοπτικά άκρα της κεφαλής του TBM.

Αντίστοιχα για τιμή του  $Q$  από 10 και πάνω η μέθοδος διάτρησης ανατίναξης φαίνεται να πιάνει μια σταθερή μέγιστη τιμή της τάξης των 100 μέτρων ανά εβδομάδα.



Εικόνα 39 Barton Hypothetical comp. D&B versus TBM tunneling.

Εξετάζοντας τις δυο μεθόδους σχετικά με την ταχύτητα υποστήριξης προκύπτει το ερώτημα, μπορεί η χρήση μια από τις δυο μεθόδους να επηρεάζει και τον τόπο της υποστήριξης, η απάντηση είναι ναι.

Σε περιπτώσεις όπου η μέθοδος της διάτρησης ανατίναξης απαιτεί χρήση ελαφριάς υποστήριξης στις ίδιες συνθήκες η TBM είναι δυνατό να μην χρειάζεται καθόλου υποστήριξη όπου κατά συνέπεια η μέθοδος TBM να είναι σαφώς ταχύτερη από την μέθοδο διάτρησης ανατίναξης.

Σε περιπτώσεις όμως όπου απαιτείται βαριά υποστήριξη με πλαίσια στην TBM απαιτείται σαφώς περισσότερος χρόνος λόγω των δυσκολιών κατά την εγκατάσταση της υποστήριξης ακριβώς πίσω και μπροστά από την κεφαλή, αλλάζοντας έτσι τα δεδομένα για την επιλογή της ταχύτερης μεθόδου, ακόμα και για κακής ποιότητας βραχομάζες

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται βαριά υποστήριξη η μέθοδος TBM είναι σαφώς πιο αργή από την μέθοδο της διάτρησης ανατίναξης.

Κάποιες άλλες και πολύ σημαντικές συνιστώσες που επηρεάζουν τον ρυθμό προχώρησης της μεθόδου TBM είναι οι παρακάτω.

Η TBM μπορεί να έχει πρόσθετες καθυστερήσεις που οφείλονται στον χρόνο αλλαγής των κοπτικών μέσων και στις καθημερινές εργασίες συντήρησης του μηχανήματος, στις βλάβες κτλ, όλες αυτές οι καθυστερήσεις μεταφράζονται από τον συνολικό χρόνο παρουσίας του TBM σε ένα ποσοστό 60% χαμένο χρόνο εργασίας και σε ένα ποσοστό 40 % μόνο χρόνο παραγωγής του μηχανήματος.

Σε αυτό η μέθοδος διάτρησης ανατίναξης υπερέχει καθώς δεν απαιτείται χρόνος συντήρησης, δεν υπάρχει κίνδυνος βλάβης καθώς η μέθοδος αποτελείται από διαδοχική αλληλουχία εργασιών, πράγμα που την κάνει εξαιρετικά ευέλικτη σαν μέθοδο και την καθιστά ικανή να αξιοποιεί το χρόνο σε ποσοστό 90% ή και περισσότερο.

Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε από τα παραπάνω ότι η μέθοδος διάτρησης ανατίναξης δίνει μικρότερες διακυμάνσεις τιμών προχώρησης, ακόμα και στην μετάβαση της σήραγγας από συνεκτικό σε μη συνεκτικό πέτρωμα οι διακυμάνσεις είναι και πάλι μικρότερες για την μέθοδο διάτρησης ανατίναξης από ότι της TBM.

Πράγμα που σημαίνει ότι συμμορφώνεται καλύτερα στις διάφορες δυσκολίες που μπορεί να προκύψουν κατά την κατασκευή της σήραγγας, δίνοντας μια πιο σταθερή λύση έναντι της μεθόδου TBM.



Εξετάζοντας τις δυο μεθόδους υπό το πρίσμα του κόστους παρατηρούμε ότι η μέθοδος TBM είναι κατά πολύ ακριβότερη από την μέθοδο της διάτρησης ανατίναξης, συναρτήσει και του μεγάλου χρόνου αναμονής για την παραλαβή του μηχανήματος, καθώς και η έλλειψη ευελιξίας και προσαρμογής στις διάφορες εναλλαγές του τύπου της βραχομάζας από πολύ κακής ποιότητας, μέχρι πολύ καλής ποιότητας βραχομάζας, όπου η μέθοδος διάτρησης ανατίναξης μπορεί να προσαρμοστεί πολύ καλύτερα.

Συνοψίζοντας καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η βέλτιστη μέθοδος είναι η συμβατική μέθοδος διάτρησης ανατίναξης καθώς:

- Παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία και καλύτερη προσαρμογή στις διάφορες γεωτεχνικές συνθήκες που θα επικρατούν σε όλο το μήκος της σήραγγας σε σχέση με την μέθοδο TBM.
- Εκτιμούμε ότι με βάση τα γεωλογικά και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της περιοχής, ο χρόνος ολοκλήρωσης της σήραγγας και με τις δυο μεθόδους θα είναι σχεδόν ο ίδιος.
- Δεν υπάρχουν καθυστερήσεις που θα αφορούν στο χρόνο παραλαβής του μηχανήματος.
- Δεν θα υπάρχουν καθυστερήσεις που θα αφορούν στην συντήρηση και στις πιθανές βλάβες που θα είχαμε με την μέθοδο TBM.
- Το κόστος της μεθόδου διάτρησης ανατίναξης είναι σημαντικά μικρότερο από το κόστος της μεθόδου TBM.

## Βιβλιογραφία

- Εξαδάκτυλος Γ. (2000), «Συστήματα υπογείων έργων», Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Σοφιανός, Α. 2014. Υποστήριξη Υπόγειων Έργων. Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.
- Τερεζόπουλος, Ν. 2003. Μέθοδος Υπόγειων Εκμεταλλεύσεων. Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.
- Hoek, E. and Brown, E.T. 1997. Practical estimates of rock mass strength. Int. J. Rock Mech. Min.g Sci. & Geomech. Abstr.. 34(8), 1165-1186.
- B. H. G. Brady and E. T. Brown. ROCK MECHANICS For underground mining. Second Edition.
- Technical study for the construction of Olympias mine main access and haulage tunnel. Executive summary. Omikron Kappa Consulting SA, May 2011.
- Summary of the initial design assumptions and of the findings during construction of Olympias mine main access tunnel. Email by Omikron Kappa Consulting SA, September 5, 2014.
- Ramoni, M., Anagnostou, G. (2010): Tunnel boring machines under squeezing conditions. Tunnelling and Underground Space Technology, 25, 139–157.
- Ramoni, M., Anagnostou, G. (2010): Thrust force requirements for TBMs in squeezing ground. Tunnelling and Underground Space Technology, 25, 433–455.
- Ramoni, M., Lavdas, N. and G. Anagnostou (2011): Squeezing loading of segmental linings and the effect of backfilling. Tunnelling and Underground Space Technology, 26, 692–717.
- Swiss Code 531 198. Underground Structures – Execution. 2004.
- The Olympias main access and haulage tunnel under construction – an appraisal of the ground water conditions and of the possible occurrence of squeezing ground. Paul. G. Marinos, November 23, 2014.
- Meeting of December 8, 2014, Hellas Gold offices in Athens.
- Ramoni, M., Anagnostou, G. (2010): Tunnel boring machines under squeezing conditions. Tunnelling and Underground Space Technology, 25, 139–157.
- Ramoni, M., Anagnostou, G. (2010): Thrust force requirements for TBMs in squeezing ground. Tunnelling and Underground Space Technology, 25, 433–455.

- Ramoni, M., Lavdas, N. and G. Anagnostou (2011): Squeezing loading of segmental linings and the effect of backfilling. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 26, 692–717.
- Swiss Code 531 198. *Underground Structures – Execution*. 2004.
- Barton, N.R.; Lien, R.; Lunde, J. (1974). "Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support". *Rock Mechanics and Rock Engineering*