

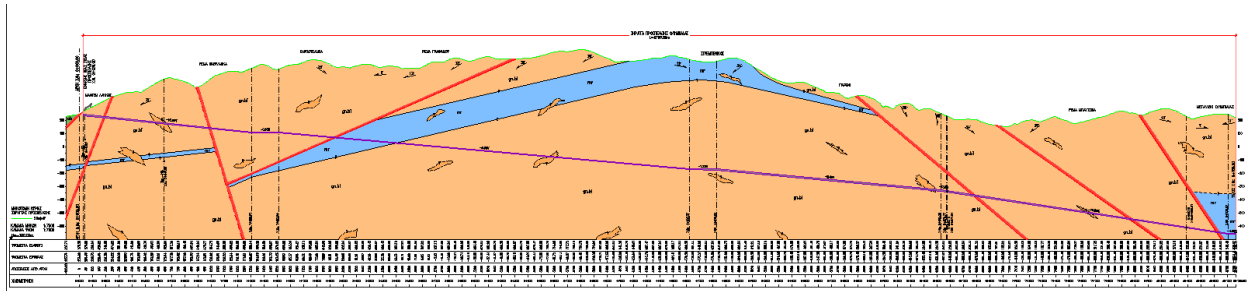


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

ΚΥΡΙΑ ΣΗΡΑΓΓΑ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗΣ

ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΟΛΥΜΠΙΑΔΑΣ - ΜΑΝΤΕΜ ΛΑΚΚΟΥ



Εταιρεία: ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ Α.Ε.

Όνομα: ΣΤΑΜΑΤΑΚΗ ΕΡΩΦΙΛΗ-ΝΕΛΗ

Εξάμηνο: 10^ο

Αριθμός Μητρώου: 071 11030

Υπεύθυνος Καθηγητής: κος ΣΟΦΙΑΝΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

ΑΘΗΝΑ, 2016

1. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
2. ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
3. SYNOPSIS	7
4. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ	8
5. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΟΥ	19
6. ΓΕΩΛΟΓΙΑ	21
6.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	21
6.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	23
6.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	24
6.4 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ	34
7. ΤΡΟΠΟΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ	40
7.1. ΑΝΑΤΙΝΑΞΕΙΣ	40
7.2. ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ	41
7.3. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ	65
8. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	69
8.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ – ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	69
8.2 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ROC SUPPORT ΤΗΣ ROC SCIENCE	73
8.3 SOLUTION METHOD	74
8.4 MODULUS ESTIMATION METHOD	83
9. ΚΥΚΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	95
9.1 ΕΞΟΡΥΞΗ	95
9.2. ΦΟΡΤΩΣΗ - ΜΕΤΑΦΟΡΑ	95
9.3. ΑΕΡΙΣΜΟΣ	96
9.4 ΦΩΤΙΣΜΟΣ	103
9.5 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΝΕΡΩΝ	105
10. ΣΥΓΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ	108

10.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ – ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ (PHASE2 /RS2 INTERACTION ANALYSIS ΤΗΣ ROCSCIENCE)	108
10.2 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ PHASE² (RS²) ΤΗΣ ROCSCIENCE	111
10.3 ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	112
<u>11. ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ</u>	<u>123</u>
<u>12. ΞΕΝΕΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ</u>	<u>127</u>

2. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τη διάνοιξη και την υποστήριξη της σήραγγας προσπέλασης και μεταφοράς Ολυμπιάδας-Μάντεμ Λάκκου, που διανοίγεται από την εταιρεία της Ελληνικός Χρυσός Α.Ε. στη Χαλκιδική. Ο σκοπός κατασκευής της είναι να διευκολύνει τη μεταφορά μεταλλεύματος από το υπόγειο μεταλλείο της Ολυμπιάδας προς το νέο εργοστάσιο εμπλουτισμού του Μάντεμ Λάκκου που θα κατασκευαστεί, όπως επίσης και τη μεταφορά των τελμάτων από το εργοστάσιο προς το υπόγειο μεταλλείο της Ολυμπιάδας, ώστε να μπορέσει αυτό να χρησιμοποιηθεί στη λιθογόμωση.

Η εκπόνηση της παρούσας εργασίας γίνεται στο πλαίσιο της Πτυχιακής Εργασίας για το προπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, τόσο τους καθηγητές μου, τον κύριο Σοφιανό και την κυρία Γιούτα-Μήτρα που με βοήθησαν, όσο και τους μηχανικούς, τους υπεύθυνους και όλους τους εργαζόμενους που με βοήθησαν καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής και παρέιχαν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες, που συμπεριλαμβάνονται και εντός αυτής. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον κύριο Νομικό και τον κύριο Μπενάρδο για τα σχόλια τους.

3. SYNOPSIS

This paper deals with the excavation and support of the tunnel of Olympiada-Madem Lakkos, which is excavated by the company of Hellas-Gold S.A. in Halkidiki. The purpose of its construction is to facilitate the transferring of the excavated product from the underground mine of Olympiada to the new enrichment factory in Madem Lakkos, which is going to be built, as well as transferring the tailings from the latter to the underground mine, so that they will be used for backfill.

Authoring the present final-year dissertation fulfills the undergraduate program of studies in the Department of Mining and Metallurgical Engineering in National Technical University of Athens.

At this point I would like to express how grateful I am, not only to my professor Mr. Sofianos and my supervisor Ms Yiouta-Mitra for their guidance and assistance, but also to all the engineers and the employees of Hellas Gold S.A. who assisted me throughout this project and provided all information needed, which are included within. Finally, I would like to thank Mr. Nomikos and Mr. Benardos for their detailed and comprehensive feedback on my work.

4. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

- ❖ **Άγωνα και Υπερκείμενα:** Τα δίχως οικονομική σημασία πετρώματα που βρίσκονται στην εγγύς του κοιτάσματος περιοχή. Πιο συγκεκριμένα, άγωνα είναι τα χαμηλής ποιότητας τμήματα του κοιτάσματος, τα οποία δεν συμφέρει οικονομικά να επεξεργαστούν μετά την εξόρυξή τους. Ενώ, υπερκείμενα είναι τα άγωνα υλικά που υπέρκεινται του κοιτάσματος και θα πρέπει να απομακρύνονται πριν την έναρξη των εργασιών της εκμετάλλευσης (Μενεγάκη, 2010).
- ❖ **Αερισμός:** Η απαγωγή των αερίων της ανατίναξης και του αεροφερόμενου κονιορτού (σκόνης), ώστε να επιτευχθεί η βελτίωση της ποιότητας του αέρα στο μέτωπο της εκσκαφής (Μπενάρδος, 2014). Γενικά, διακρίνονται δύο κύρια είδη αερισμού: ο κύριος ή πρωτεύων αερισμός και ο βοηθητικός ή δευτερεύων αερισμός. Ο κύριος αερισμός μπορεί να εξασφαλιστεί είτε με φυσικό αερισμό είτε με μηχανικό αερισμό. Ο βοηθητικός αερισμός αφορά στον αερισμό των στοών ή τμημάτων που δεν διαρρέονται από τα κύρια ρεύματα του αέρα και απαιτούν πρόσθετη πηγή πίεσεως, δηλαδή τη χρησιμοποίηση κατάλληλου εξοπλισμού, κυρίως ανεμιστήρων και αεραγωγών (Οικονομόπουλος, 2002).
- ❖ **Άλμα ή Φαινομενική Μετατόπιση (separation):** Είναι ένα γεωμετρικό μέγεθος, το οποίο αντιστοιχεί στη φαινόμενη μετατόπιση ενός επίπεδου δείκτη εκατέρωθεν ενός ρήγματος και η οποία είναι δυνατό να μετρηθεί σε οποιαδήποτε διεύθυνση. Ο υπολογισμός του άλματος είναι πολύ χρήσιμος στις περιπτώσεις που δεν γνωρίζουμε τα δύο σημεία εκατέρωθεν της επιφάνειας διάρρηξης της ολίσθησης, ούτως ώστε τελικώς να εκτιμήσουμε την *ολίσθηση του ρήγματος*. Πρέπει να σημειωθεί, επιπλέον, ότι σε αντίθεση με την ολίσθηση, το άλμα αφορά μόνο την παρατηρούμενη μετατόπιση και δεν αντικατοπτρίζει οπωσδήποτε και τα πραγματικά στοιχεία της ολίσθησης του ρήγματος: φορά, διεύθυνση και μέτρο αυτής (Κράνης και Αντωνίου, 2003).

- ❖ **Αποκομιδή:** Είναι η διαδικασία απομάκρυνσης των προϊόντων της ανατίναξης, δηλαδή του θραυσμένου υλικού, από την περιοχή του μετώπου προς την επιφάνεια (Μπενάρδος, 2014).
- ❖ **Άρρηκτο ή Συμπαγές ή Ακέραιο Πέτρωμα (intact rock):** Πρόκειται για ένα εξιδανικευμένο τμήμα φυσικού υλικού που δεν εμπεριέχει φυσικές ατέλειες στη δομή του και θεωρείται ένα συνεχές, ομογενές και ισότροπο υλικό αναφορικά με τις μηχανικές και φυσικές του ιδιότητες. Οι ιδιότητες του άρρηκτου πετρώματος προσδιορίζονται με εργαστηριακές δοκιμές (Αγιουτάντης, 2010).
- ❖ **Ασυνέχεια (discontinuity):** Η ασυνέχεια αναφέρεται στους διάφορους τύπους επιφανειών αδυναμίας, οι οποίες είναι δυνατό να προέλθουν από κάθε μηχανική διακοπή στη συνέχεια του πετρώματος ή τη διαταραχή ομοιογένειας και ισοτροπίας του πετρώματος. Οι μικροσκοπικές και μακροσκοπικές ασυνέχειες που διακρίνουν ένα πέτρωμα προέρχονται από γενετικές και επιγενετικές επιδράσεις στο πέτρωμα, που οφείλονται: στις συνθήκες σχηματισμού των διαφόρων πετρωμάτων, στις τεκτονικές, βαρυτικές και άλλου είδους δυνάμεις, καθώς και ανάμεσα στους υπόλοιπους παράγοντες και στις διεργασίες διάβρωσης και αποσάθρωσης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα των τύπων ασυνεχειών αποτελούν τα ρήγματα (faults), οι διακλάσεις (joints), τα ασθενή επίπεδα διάστρωσης (weak bedding planes), οι μικρορωγματώσεις (microfractures), ο σχισμός (cleavage) και οι διατμηματικές ζώνες (shear zones) (Αγιουτάντης, 2010).
- ❖ **Βαθμίδα (bench):** Η ενδιάμεση διατομή ή οι ενδιάμεσες διατομές μεταξύ της άνω ημιδιατομής και του ανάστροφου τόξου κατά την εκσκαφή μίας σήραγγας σε οριζόντια κλιμακωτά στάδια (ΕΛΟΤ, 2009).
- ❖ **Βήμα προχώρησης (step, round):** Είναι το μήκος προχώρησης της διάνοιξης είτε πρόκειται για κάθε τμηματικό επιμέρους μέτωπο, είτε ακόμη και για ολόκληρη τη διατομή (ΕΛΟΤ, 2009).
- ❖ **Βραχόμαζα ή Μάζα του Πετρώματος (rock mass):** Αποτελεί τμήμα φυσικού υλικού, που περιλαμβάνει κάθε δομική ατέλεια που το χαρακτηρίζουν. Στα τεχνικά έργα, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στον πληρέστερο προσδιορισμό

της μηχανικής συμπεριφοράς του φέροντος υλικού , που αποτελεί τη μάζα του πετρώματος. Ο προσδιορισμός της βραχώμαζας επιτυγχάνεται άμεσα παρά μόνο με επί τόπου δοκιμές. Αυτές χρειάζονται ειδικό εξοπλισμό και παρουσιάζουν μεγαλύτερο βαθμό δυσκολίας συγκριτικά με την εκτέλεση των εργαστηριακών δοκιμών (Αγιουτάντης, 2010).

❖ **Γεωτεχνική Παρακολούθηση:** Η παρακολούθηση της βραχώμαζας μπορεί να διεξάγεται οπτικά ή με τη χρήση οργάνων. Αν και με τις μετρητικές συσκευές είναι δυνατό να μετρηθούν πολλές μεταβλητές, ωστόσο δύο βασικές φυσικές αποκρίσεις είναι δυνατό να μετρηθούν άμεσα με την υπάρχουσα σύγχρονη τεχνολογία: η μετατόπιση και η πίεση. Ας σημειωθεί, ακόμη, ότι κάθε ενόργανο σύστημα που χρησιμοποιείται για να παρακολουθήσει μία ορισμένη μεταβλητή, αποτελείται από τα εξής (Σοφιανός, 2011):

- ◆ **ένα αισθητήρα:** ο οποίος θα αποκρίνεται στις αλλαγές της μεταβλητής υπό παρακολούθηση,
- ◆ **ένα σύστημα διαβίβασης:** το οποίο χρησιμοποιεί ράβδους, ηλεκτρικά καλώδια, υδραυλικούς σωλήνες ή συσκευές ραδιοτηλεμετρίας και διαβιβάζει την έξοδο του αισθητήρα σε θέση ανάγνωσης,
- ◆ **μία μονάδα ανάγνωσης ή καταγραφής:** χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων συσκευών είναι ο ωρολογιακός μετρητής, ο μετρητής πίεσης, η ψηφιακή οθόνη ή το καταγραφικό μαγνητικών ταινιών. Αυτές οι μονάδες μετατρέπουν τα στοιχεία των μετρήσεων σε μία μορφή παρουσίασης προς χρήση (Σοφιανός, 2011).

❖ **Γεωολικό ή Γεωμάζα (ground):** Κάθε φυσικό υλικό, στο οποίο είναι δυνατό να διανοίγεται μία σήραγγα και εμπεριέχει και τους δύο όρους του εδάφους και του βράχου (ΕΛΟΤ, 2009).

❖ **Γόμωση:** Η διαδικασία τοποθέτησης των εκρηκτικών υλών εντός των διατρημάτων (Μπενάρδος, 2014).

❖ **Διάτρηση:** Η όρυξη διατρημάτων ή οπών με ένα διατρητικό φορείο υπογείων από το μέτωπο εκσκαφής εντός της μάζας του πετρώματος, προκειμένου να τοποθετηθούν εκρηκτικά (Μπενάρδος, 2014).

- ❖ **Διευρυνμένο Πέλμα (elephant's foot):** Αποτελεί ουσιαστικά μία βάση έδρασης της βάσης, η οποία συνήθως αφορά την άνω ημιδιατομή (ΕΛΟΤ, 2009).
- ❖ **Έδαφος (soil):** Αποτελείται από στερεά σωματίδια ανάμεσα στα οποία υπάρχουν κενά που ονομάζονται *πόροι* και είναι δυνατόν να είναι πλήρη αέρα ή νερού. *Κορεσμένο έδαφος (saturated)* ονομάζεται αυτό του οποίου τα κενά είναι πλήρη με νερό. (Αγιουτάντης, 2010). Για τους μηχανικούς έδαφος αποτελεί οποιοδήποτε υλικό, το οποίο απομακρύνεται χωρίς τη χρήση εκρηκτικών. Τα βασικά συστατικά των εδαφών διαμορφώνονται από τις διεργασίες μεταξύ πετρωμάτων και του υδρολογικού κύκλου, από τις οποίες παράγονται αποσαθρωμένα υλικά-πετρώματα (Λέκκας, 1998). Ωστόσο, η διάκριση ανάμεσα στα πετρώματα και τα εδάφη εξαρτάται από το βαθμό σύνδεσης των ορυκτών ή των οργανικών σωματιδίων που απαρτίζουν τα υλικά αυτά. Γεωϋλικά με πολύ καλή σύνδεση σωματιδίων ανήκουν στα πετρώματα, ενώ αυτά με ελάχιστη έως καθόλου σύνδεση, στην κατηγορία των εδαφών (Σοφιανός και Νομικός, 2008).
- ❖ **Εξόρυξη:** Ως εξόρυξη πετρώματος ή άλλου φυσικού σχηματισμού ορίζεται η απόσπαση τεμαχίων πετρώματος από τη φυσική τους θέση. Η φάση της εξόρυξης ακολουθείται στις περισσότερες περιπτώσεις από τη φάση της αποκομιδής, δηλαδή της φόρτωσης, μεταφοράς και απόθεσης του εξορυγμένου υλικού (Αγιουτάντης, 2009).
- ❖ **Εξωράγιο (extrados):** Είναι το εξωτερικό περίγραμμα της επένδυσης της σήραγγας, είτε αυτή είναι αρχική είτε τελική (Σοφιανός, 2011).
- ❖ **Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα:** Γνωστό και ως «shotcrete» ή «sprayed concrete» και αποτελεί μία ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο υποστήριξης στις κατασκευές και στον εργοταξιακό χώρο. Χρησιμοποιείται ως προσωρινή ή μόνιμη υποστήριξη, ως επένδυση ή και υλικό επίχωσης ορυγμάτων. Συνήθως το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται συνδυαστικά με τις ηλώσεις, για την επίτευξη της καλύτερης δυνατής υποστήριξης ή οπλισμού. Το εκτοξευόμενο μπορεί να ενισχυθεί επιπλέον με την προσθήκη στο σκυρόδεμα ινών χάλυβα (Matti, 1999).

- ❖ **Εκρηκτικές Ύλες:** Εκρηκτική ύλη είναι μία χημική ουσία ή ένα μίγμα ουσιών, που όταν ενεργοποιηθεί θερμικώς υπό την επίδραση θερμότητας ή κρούσης, λόγω της θερμοδυναμικής αστάθειας που έχει στις συνθήκες που βρίσκεται υφίσταται μία ταχύτατη και αυτοδιαδιδόμενη με σταθερή ταχύτητα εξώθερμο αντίδραση, που καλείται *έκρηξη*. Η χημική ενέργεια της εκρηκτική ύλης μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια των προϊόντων της αντίδρασης, η οποία στη συνέχεια, ως μηχανική ενέργεια πλέον, μέσω της κρούσης και της άσκησης πίεσης προκαλεί τη θραύση του πετρώματος (Τσουτρέλης, 1997). Στην εξόρυξη των πετρωμάτων, οι εκρηκτικές ύλες θεωρούνται πηγή ενέργειας, που με την απελευθέρωσή της στη μάζα του πετρώματος που θα εξορυχθεί, παράγει έργο προκαλώντας την αστοχία - ρωγμάτωση του πετρώματος και την μετακίνησή του από το μέτωπο. Στο χώρο της εξόρυξης των πετρωμάτων, οι πλέον σύγχρονες και χρησιμοποιούμενες εκρηκτικές ύλες είναι το ANFO, οι υδρογέλες (watergels ή slurries) και τα εκρηκτικά γαλακτώματα (emulsions) (Παναγιώτου, 2014).
- ❖ **Εκρηκτικά Χαμηλής Ευαισθησίας:** Είναι εκρηκτικές ύλες που μπορούν να μεταφερθούν και να χρησιμοποιηθούν χύδην. Χαρακτηριστικά παραδείγματα, τέτοιων εκρηκτικών είναι το μίγμα του νιτρικού αμμωνίου και πετρελαίου (ANFO), καθώς επίσης και τα εκρηκτικά υγρής φάσης (Slurries). Με τη διάδοση και την ευρεία χρήση διαφόρων εκρηκτικών χαμηλής ευαισθησίας, η διαδικασία θραύσης των πετρωμάτων, τόσο επιφανειακά, όσο και υπόγεια έχει απλοποιηθεί πολύ (Αγιουτάντης, 2009).
- ❖ **Επιτελεστικότητα (performance):** Είναι ουσιαστικά η ταυτόχρονη εκπλήρωση των απαιτήσεων της ασφαλείας, της λειτουργικότητας και της αισθητικής εμφάνισης μίας κατασκευής (Σοφιανός, 2011).
- ❖ **Επίπεδο Εκμετάλλευσης (level):** Αποτελεί το σύστημα από οριζόντια μεταλλευτικά έργα, τα οποία συνδέονται με τα κεντρικά έργα προσπέλασης (Τερεζόπουλος, 2003).
- ❖ **Εργοτάξιο:** Αποτελεί τον ευρύτερο χώρο , μέσα στον οποίο συντελείται η εξόρυξη με τις αντίστοιχες εργασίες αποκόμισης και εναπόθεσης των προϊόντων που εξορύσσονται (Τερεζόπουλος, 2003), όπως επίσης και το σύνολο των απαιτούμενων εγκαταστάσεων και μέσων για την εκτέλεση

μεγάλων τεχνικών έργων. Η οργάνωση ενός εργοταξίου σε ένα τεχνικό έργο, ή η εργοταξιακή διάταξη παραγωγής, διαμορφώνεται από το εκάστοτε είδος έργου με βάση την υπάρχουσα ζώνη διακίνησης και εναπόθεσης, καθώς και το βαθμό εκμηχάνισης του έργου υπό εξέταση (Κωστόπουλος, 2013). Γενικά, το μεταλλείο αποτελεί ένα εκτεταμένο εργοτάξιο (Τερεζόπουλος, 2003).

- ❖ **Εσωράγιο (intrados)**: Είναι το εσωτερικό περίγραμμα της επένδυσης της σήραγγας, είτε αυτή είναι αρχική είτε είναι τελική (Σοφιανός, 2011).
- ❖ **Ήλοι ή Αγκύρια (bolts)**: Μεταλλικές ράβδοι γενικά που τοποθετούνται στο πέτρωμα (Σοφιανός, 2011).
- ❖ **Κλίση Πρανούς**: Η γωνία ή η κλιτύς ενός πρανού με το οριζόντιο επίπεδο (Μενεγάκη, 2010).
- ❖ **Κύκλος εργασιών (round)**: Είναι η πλήρης σειρά των απαραίτητων εργασιών διάνοιξης, είτε πρόκειται για τη διάνοιξη ορισμένου τμηματικού μετώπου, είτε ακόμη και για ολόκληρη τη διατομή (ΕΛΟΤ, 2009).
- ❖ **Μεταλλείο (mine)**: Ένα βιομηχανικό κέντρο παραγωγικής δραστηριότητας. Αυτό διαμορφώνεται όταν κάποιο μεταλλευτικό κοιτάσμα βρίσκεται κάτω από συνθήκες που επιτρέπουν τη βιομηχανική του αξιοποίηση και η εκτέλεση των κατάλληλων έργων εκμετάλλευσής του και η ανέγερση των απαραίτητων εγκαταστάσεων για την εκμετάλλευση αυτή (Τερεζόπουλος, 2003).
- ❖ **Μεταλλευτικό Κοίτασμα (ore deposit)**: Ο γεωμετρικός χώρος που καταλαμβάνει μία ορισμένη μεταλλοφορία αποτελεί το *κοίτασμά* της. Τα μεταλλευτικά κοιτάσματα διακρίνονται μεταλλικά και μη. Τα μεταλλικά αναφέρονται σε μεταλλεύματα που παρουσιάζουν συνήθως μεταλλική λάμψη και με μεταλλουργική επεξεργασία παραλαμβάνονται τα κατάλληλα μεταλλικά στοιχεία. Τα μη μεταλλικά καλούνται τα κοιτάσματα, από όπου εξάγονται μη μεταλλικές ορυκτές ενώσεις (Τερεζόπουλος, 2003).
- ❖ **Μετάλλευμα (ore)**: Τύπος πετρώματος που αποτελείται από ωφέλιμα ορυκτά, σε ποσοστό κατάλληλο ώστε να είναι σε θέση να αποκτήσει βιομηχανική σημασία. Συνήθως, τα μεταλλεύματα έχουν πολύπλοκη ορυκτολογική σύνθεση και η αξιοποίηση των οποίων συνήθως παρέχει περισσότερα του

ενός ωφέλιμα ορυκτά. Ωστόσο, ο χαρακτηρισμός τους, πέρα από κάποια πιθανή εξαίρεση, βασίζεται στην έννοια της περιεκτικότητας ή στην έννοια της οικονομικής σημασίας (Τερεζόπουλος, 2003).

- ❖ **Μέτωπο Εκσκαφής (face)**: Αποτελεί την εκάστοτε επιφάνεια του γεωυλικού, από την οποία γίνεται η προσβολή αυτού για την εκσκαφή και είναι δυνατό να αναφέρεται σε όλη τη διατομή ή σε τμήματα αυτής (ΕΛΟΤ, 2009).
- ❖ **Ξεσκάρωμα ή Απόσπαση Επισφαλών Όγκων**: Είναι η διαδικασία κατά την οποία αποσπώνται εκούσια και ελεγχόμενα επισφαλή και ασταθή τμήματα του πετρώματος από την περιοχή της οροφής, ούτως ώστε να εξασφαλιστεί η ασφάλεια και η αποφυγή της μη ελεγχόμενης πτώσης τους στο μέλλον (Μπενάρδος, 2014).
- ❖ **Ολίσθηση (slip)**: Η σχετική μετατόπιση δύο σημείων εκατέρωθεν της επιφάνειας διάρρηξης. Αυτά τα σημεία προτού σημειωθεί η μετατόπιση συνέπιπταν. Ουσιαστικά, πρόκειται για άνυσμα που βρίσκεται επί του επιπέδου του ρήγματος και αναλύεται σε δύο συνιστώσες: την ολίσθηση κατά κλίση (dip slip) και την ολίσθηση κατά παράταξη (strike slip). Για τον υπολογισμό της ολίσθησης είναι αναγκαίο να είναι γνωστά τα δύο αυτά σημεία, κάτι το οποίο συνήθως δεν είναι εφικτό (Κράνης και Αντωνίου, 2003).
- ❖ **Ορυκτό**: Αποτελεί δομική μονάδα των πετρωμάτων και πρόκειται για φυσικό στερεό κρυσταλλικό σώμα, με συγκεκριμένη εσωτερική διάταξη των δομικών του συστατικών (ατόμων, ιόντων, μορίων). Κάθε ορυκτό έχει συγκεκριμένη χημική σύσταση, η οποία δεν μπορεί να μεταβάλλεται παρά ελάχιστα, λόγω ενδόμησης άλλων στοιχείων στο πλέγμα του (Μανουσάκη-Ορφανουδάκη, 2005). Ας σημειωθεί, ακόμη, ότι απαντώνται πάνω από 2.000 ορυκτά (Λέκκας, 1998).
- ❖ **Παραμόρφωση (deformation)**: Είναι η μεταβολή του σχήματος μίας κατασκευής ή του εδάφους (Σοφιανός, 2011).
- ❖ **Πέτρωμα**: Στη γεωλογία με τον όρο αυτόν ορίζεται κάθε φυσικά υπάρχον γεωυλικό. Ωστόσο, οι μηχανικοί διακρίνουν τα γεωυλικά σε δύο κατηγορίες, οι οποίες είναι τα πετρώματα, ή αλλιώς βράχοι, και τα εδάφη (Τσουτρέλης,

1985). Ουσιαστικά, το μηχανικό τον ενδιαφέρει η συμπεριφορά των πετρωμάτων κατά τη διάρκεια εκτέλεσης εργασιών, όπως για παράδειγμα σε μία εκσκαφή, γι' αυτό το λόγο και μελετά ιδιότητές τους, όπως είναι το πορώδες, οι ελαστικές σταθερές ενός υλικού, η ανισοτροπία, η ψαθυρότητα και η αντοχή του σε διάφορες καταπονήσεις (Αγιουτάντης, 2010).

- ❖ **Προσπέλαση:** Αποτελεί το πρώτο στάδιο της εκμετάλλευσης ενός κοιτάσματος, κατά το οποίο διανοίγονται οδοί πρόσβασης στην περιοχή ανάπτυξης του κοιτάσματος (Μπενάρδος, 2014).
- ❖ **Πυροδότηση:** Η ανατίναξη των τοποθετημένων εκρηκτικών υλών, για να κατορθωθεί η διάρρηξη της συνοχής του πετρώματος (Μπενάρδος, 2014).
- ❖ **Ράμπα (ramp):** Το κεκλιμένο προσπελαστικό έργο που συνδέει διαφορετικά επίπεδα εκμετάλλευσης και επιτρέπει τη διέλευση του μηχανοκίνητου εξοπλισμού (Τερεζόπουλος, 2003).
- ❖ **Ρήγμα (fault):** Η απότομη διακοπή της συνέχειας που χαρακτηρίζει τα πετρώματα, λόγω θραύσης κατά μήκος μίας επιφάνειας διάρρηξης και η οποία συνοδεύεται από σχετική μετατόπιση των δύο πλευρών εκατέρωθεν της επιφάνειας αυτής. Η μετατόπιση αυτή σημειώνεται επάνω στην επιφάνεια διάρρηξης (Κράνης και Αντωνίου, 2003).
- ❖ **Ρηξιγενής Ζώνη:** Μία στενή και επιμήκης περιοχή, όπου εκτονώνονται οι επικρατούσες τεκτονικές τάσεις και διαμορφώνονται από πολλά υποπαράλληλα ρήγματα, τα οποία διατάσσονται και τη δημιουργούν (Κράνης και Αντωνίου, 2003).
- ❖ **Ρηξιτεμάγη (fault blocks) ή Απλά Τεμάγη (blocks):** οι δύο πλευρές που διακρίνονται επάνω στην επιφάνεια διάρρηξης ενός ρήματος και μετατοπίζονται, η μία σε σχέση με την άλλη, καθώς επίσης και οι δύο όγκοι που διαμορφώνονται όταν ένα ρήγμα τέμνει το ένα όγκο πετρώματος (Κράνης και Αντωνίου, 2003).
- ❖ **Σήραγγα:** Πρόκειται για ένα υπόγειο έργο, επίμηκες και περίπου οριζόντιο με δύο εξόδους (στόμια ή portals) στη γήινη επιφάνεια (αμφίστομο) και ένα ή δύο μέτωπα (faces) μέσα στη γεωμάζα, που χρησιμοποιείται για τη διέλευση

ανθρώπων, μηχανών ή νερού (Κωστόπουλος, 2013). Η διάμετρος διατομής της σήραγγας είναι δυνατό να κυμαίνεται από 1-15 m. Εάν η μικρή κλίση, που παρουσιάζει μία σήραγγα, αυξηθεί σημαντικά τότε η κατασκευή καλείται κεκλιμένο ή κεκλιμένη στοά (Μπενάρδος και Καλιαμπάκος, 2010).

- ❖ **Σκυρόδεμα (concrete):** Το σκυρόδεμα αποτελεί ένα μίγμα που αποτελείται από τσιμέντο, αέρα/νερό, λεπτομερή, καθώς επίσης και χονδρομερή αδρανή Τσακαλάκης, 2010).
- ❖ **Στέψη ή κλείδα (crown):** Αποτελεί το ανώτατο τμήμα του περιγράμματος μίας σήραγγας (ΕΛΟΤ, 2009).
- ❖ **Στοά (drift/gallery):** Στοά αποτελεί κάθε διανοιγόμενο υπόγειο έργο, μονογραμμικό ή πολυγραμμικό και πιθανόν όχι και οριζόντιο, κατά κανόνα με μία έξοδο στη γήινη επιφάνεια (μονόστομο) και πολλαπλά συνήθως μέτωπα μέσα στη γεωμάζα, που χρησιμοποιείται για την προσπέλαση είτε ανθρώπων είτε μηχανών με στόχο την εξαγωγή από το εκάστοτε μέτωπο και τις παρειές όσο το δυνατόν περισσότερου και υψηλής ποιότητας μεταλλεύματος ή ορυκτών κατά την ελάχιστη δυνατή ποσότητα στερεών άγονων υλικών (waste material). Είναι δυνατό οι στοές να διανοίγονται σε μεγάλα βάθη και σε αντίξοες γεωλογικές συνθήκες, ούτως ώστε να προσεγγίσουν κατάλληλα ένα κοίτασμα. Επιπλέον, οι στοές είναι δυνατό να εγκαταλείπονται ή να γομώνονται με άγονα υλικά, όταν ολοκληρώσουν το σκοπό τους. Ωστόσο, οι σήραγγες διανοίγονται με στόχο τη μακροχρόνια χρήση τους. Συνήθως, υπάρχει μία ακόμη διαφορά που εντοπίζεται ανάμεσα σε σήραγγες και στοές: οι μεν πρώτες αποτελούν γενικά δημόσια έργα, ενώ οι δε δεύτερες ιδιωτικά, μιας και κατασκευάζονται στο πλαίσιο κάποιας εκμετάλλευσης από ιδιωτικές εταιρείες. Σε ελάχιστες περιπτώσεις, οι στοές είναι δυνατό να αποτελούν κρατική ιδιοκτησία και να παραχωρούνται υπό όρους σε ιδιωτικούς φορείς για την εκμετάλλευσή τους (Κωστόπουλος, 2013).
- ❖ **Στόμιο (Portal):** Μπορεί να είναι μία είσοδος ή έξοδος σε μία σήραγγα (Σοφιανός, 2011).
- ❖ **Σύγκλιση (convergence):** ονομάζεται η σχετική μετατόπιση δύο σημείων που εντοπίζεται στο όριο μία εκσκαφής. Η μέτρηση είναι δυνατό να

πραγματοποιηθεί με μία τηλεσκοπική ράβδο ή ράβδο invar, ή ακόμη και με ταινία κάτω από σταθερή ένταση, η οποία τοποθετείται μεταξύ δύο σημείων μέτρησης στην επιφάνεια του πετρώματος. Για να λάβουμε τη μέτρηση της σχετικής μετατόπισης χρησιμοποιούνται: ένας ωρολογιακός μετρητής ένα μικρόμετρο ή και μία ηλεκτρική συσκευή, όπως είναι ένα LVDT. Σήμερα, χρησιμοποιείται περισσότερο η οπτική μέτρηση της απόλυτης μετατόπισης σημείων στην περιφέρεια της σήραγγας, αντί για τη μέτρηση της σύγκλισης (Σοφιανός, 2011).

- ❖ **Σύνδρομα Ορυκτά (gaunge minerals):** Κατά την αξιοποίηση ενός μεταλλεύματος, βασικός στόχος είναι η απόληψη ωφέλιμων ορυκτών. Ωστόσο, τα υπόλοιπα συστατικά του μεταλλεύματος που δεν είναι προς αξιοποίηση ονομάζονται *σύνδρομα ορυκτά* (Τερεζόπουλος, 2003).
- ❖ **Σύστημα Ρηγμάτων:** Ρήγματα που παρουσιάζουν παρόμοια γεωμετρικά, κινηματικά, δυναμικά και χρονικά χαρακτηριστικά συνιστούν ένα σύστημα ρηγμάτων. Ωστόσο, όταν πρόκειται για δύο ή περισσότερα συστήματα ρηγμάτων, τα οποία εμφανίζονται σε μία περιοχή, αυτά δημιουργούν *σύνθετες τεκτονικές δομές* (Κράνης και Αντωνίου, 2003).
- ❖ **Τελική Επένδυση (final lining):** Το δομικό σύστημα που έχει στόχο τη διασφάλιση της επιτελεστικότητας της σήραγγας για την τεχνική διάρκεια ζωής της (Σοφιανός, 2011).
- ❖ **Τεχνική Διάρκεια Ζωής (design life):** Αποτελεί το χρόνο κατά τον οποίο η κατασκευή εκπληρώνει όλες τις απαιτήσεις επιτελεστικότητας (Σοφιανός, 2011).
- ❖ **Τεχνικογεωλογική Ενότητα (geotechnical entity):** Η ενότητα ή η ομάδα γεωμαζών με παρόμοια τεχνικά χαρακτηριστικά (Σοφιανός, 2011).
- ❖ **Υπόγεια Εκμετάλλευση ή Υπόγεια Εξόρυξη:** Είναι η τεχνική ανάκτησης ορυκτών ή μεταλλευμάτων για κοιτάσματα που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της γης. Για το λόγο αυτό, το υπόγειο μεταλλείο χρειάζεται ένα σύστημα ορυγμάτων εντός του πετρώματος για να αποκτήσει πρόσβαση στους ορυκτούς σχηματισμούς (Atlas Corco, 1986).

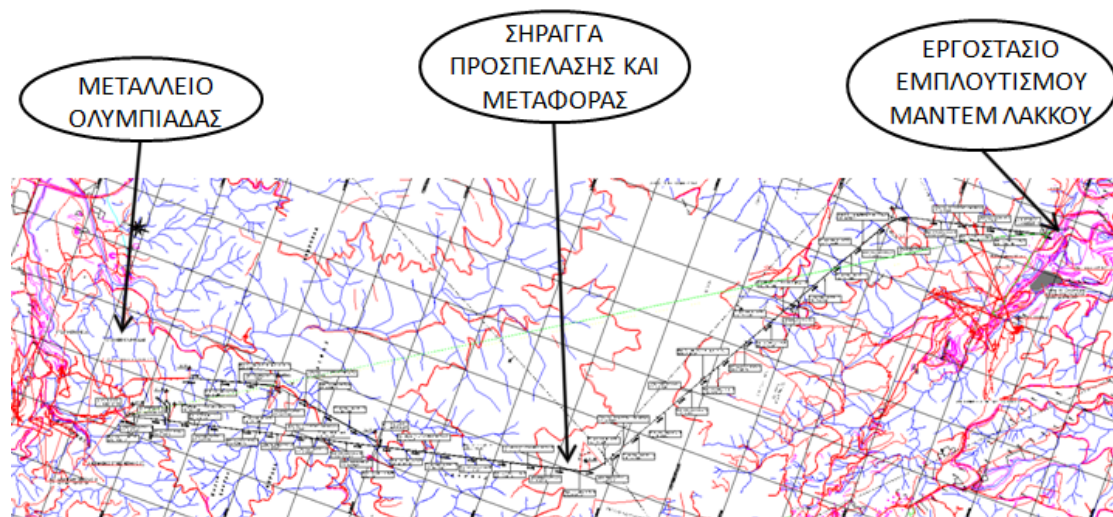
- ❖ **Υποστήριξη:** Αποτελεί τη διαδικασία κατά την οποία εφαρμόζονται τεχνητά μέτρα ενίσχυσης της αντοχής του πετρώματος και της οροφής. Επιτυγχάνεται κατά κύριο λόγο με την κοχλίωση της οροφής ή με εφαρμογή ξύλινων ή μεταλλικών πλαισίων που υποστηρίζουν τη διατομή του υπογείου έργου (Μπενάρδος, 2014).
- ❖ **Χρόνος Ευστάθειας ή Χρόνος Αυτουποστήριξης (stand up time):** Ο χρόνος κατά τον οποίο ένα ανυποστήρικτο εκσκαμμένο μέτωπο παραμένει ευσταθές (Σοφιανός, 2011).

5. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΟΥ

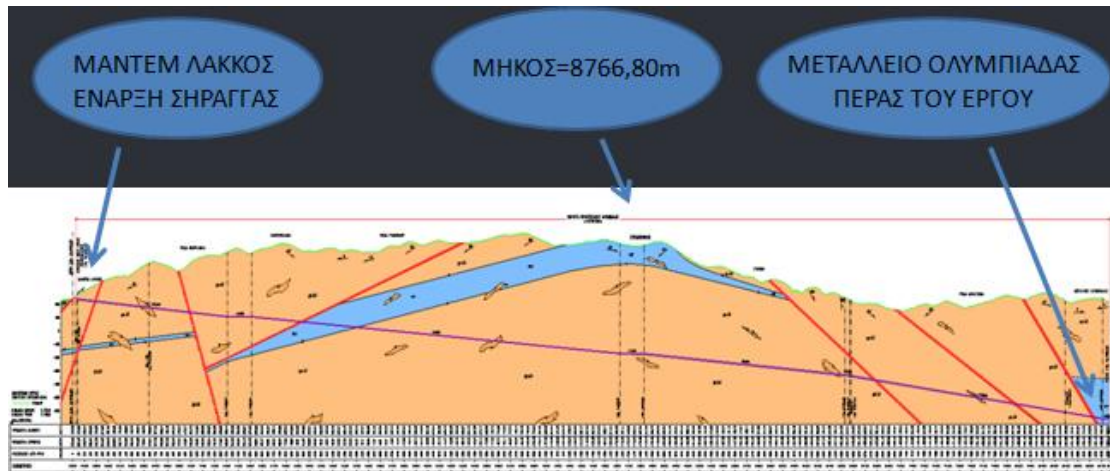
Η κύρια σήραγγα Ολυμπιάδας-Μάντεμ Λάκκου διανοίγεται για την εξυπηρέτηση των αναγκών προσπέλασης και μεταφοράς του μεταλλεύματος του μεταλλείου Ολυμπιάδας προς το νέο και υπό κατασκευή εργοστάσιο εμπλουτισμού και μεταλλουργίας στο Μάντεμ Λάκκο, καθώς επίσης και του υλικού λιθογόμωσης από το εργοστάσιο προς το μεταλλείο Ολυμπιάδος (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011). Το εργοστάσιο θα τεθεί σε λειτουργία από το 2020 και με τη σήραγγα αυτή θα απελευθερωθεί το εθνικό και τοπικό οδικό δίκτυο (Ρήγα και Στρίκου, 2013).

Το συνολικό μήκος της κύριας σήραγγας υπό μελέτη ανέρχεται στα 8770 m, ενώ τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται είναι το κύριο τμήμα, η σήραγγα προς τη μονάδα λιθογόμωσης (κλάδος Α) και η σήραγγα ενδιάμεσης σύνδεσης (κλάδος Β) (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011). Η μεταφορά των υλικών πρόκειται να πραγματοποιείται με φορτηγά, όπως αποφασίστηκε, οπότε και η διατομή της στοάς διαμορφώθηκε να έχει ωφέλιμες διαστάσεις 6m* 6m (ENVECO, 2013). Η κατασκευή του έργου βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη και σε αυτό έχουν ολοκληρωθεί επιτυχώς 1200 μέτρα από το συνολικό μήκος του (Ρήγα και Στρίκου, 2013). Πιο συγκεκριμένα, οι εργασίες κατασκευής της κύριας στοάς προσπέλασης άρχισαν στο Μάντεμ Λάκκο στα τέλη του Μαΐου 2012 (ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ, 2012α). Οι εργασίες συνεχίζονται επιτυχώς ως την τελική διαμόρφωση του έργου.

Παραθέτονται, αμέσως παρακάτω, η γεωλογική μηκοτομή του έργου και η οριζοντιογραφία του με σύντομη υπόδειξη των πιο σημαντικών περιοχών.



Εικόνα 1. Οριζοντιογραφία της κύριας σήραγγας προσπέλασης και μεταφοράς Ολυμπιάδας-Μάντεμ Λάκκου (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).



Εικόνα 2. Γεωλογική μηκοτομή της κύριας σήραγγας προσπέλασης και μεταφοράς Ολυμπιάδας-Μάντεμ Λάκκου (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

6. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

6.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η διάνοιξη της παρούσας σήραγγας εντάσσεται στη μεταλλογενετική περιοχή των έργων της βορειοανατολικής Χαλκιδικής, η οποία δομείται από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα της Σερβομακεδονικής Μάζας, τα οποία διαπερνώνται από ποικίλες Μεσοζωϊκές και Καινοζωϊκές πυριγενείς διεισδύσεις. Γειτονικές προς τη Σερβομακεδονική Μάζα είναι η Μάζα της Ροδόπης προς Βορρά και η Περιοδοπική προς Δύση (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Πιο συγκεκριμένα, η Σερβομακεδονική μάζα της ΒΑ Χαλκιδικής υποδιαιρείται σε δύο επιμέρους γεωτεκτονικές ενότητες, στην υπερκείμενη ενότητα του Βερτίσκου, που βρίσκεται στα Δυτικά και στα Νότια, και στην υποκείμενη ενότητα των Κερδυλίων, στα Βορειοανατολικά. Η γεωτεκτονική ενότητα του Βερτίσκου αποτελείται από ακολουθία μαρμαρυγιακών γνευσίων, σχιστολίθων και αμφιβολιτών, φέροντας επίσης σερπεντινικά λέπη, τα οποία θεωρείται ότι αντιπροσωπεύουν Μεσοζωϊκά μέλη οφιολιθικού συμπλέγματος. Αντίστοιχα, η γεωτεκτονική ενότητα των Κερδυλίων συνίσταται από βιοτιτικούς γνεύσιους, οι οποίοι φέρουν πηγματίτες, σπάνια αμφιβολίτες και αναπτύσσουν ορίζοντες μαρμάρου (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Οι ανωτέρω γεωτεκτονικές ενότητες έχουν υποστεί πλαστική παραμόρφωση, με κλειστές και ισοκλινείς κατακεκλιμένες πτυχές, και καθολικό μεταμορφισμό ο οποίος φθάνει ως την αμφιβολιτική φάση, από το Ιουρασικό έως το Άνω Κρητιδικό. Κατά το στάδιο αυτό πιθανώς τα ιζηματογενή λέπη της Περιοδοπικής ζώνης να επωθήθηκαν επί της ενότητας Βερτίσκου, ενώ συγχρόνως να διείσδυσε ο συντεκτονικός γρανίτης της Αρναίας στα δυτικά και νότια της περιοχής μελέτης (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Των συμπίεστικών φαινομένων του Κρητιδικού – Ηωκαίνου ακολουθεί μία πολυφασική εφελκυστική τεκτονική από το Μειόκαινο έως και σήμερα. Οι κύριες διευθύνσεις των ρηγμάτων είναι ΒΔ-ΝΑ, ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Στη συνέχεια, τα μεταμορφωμένα πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας από το Άνω Κρητιδικό έως το Τριτογενές υπόκεινται σε συνεχείς διαφορικές ανοδικές κινήσεις που είχαν σαν αποτέλεσμα την κορύφωση των ανατηκτικών φαινομένων, αλλά και τον ασβεσταλκαλικό μαγματισμό. Στην ευρύτερη περιοχή, ο μαγματισμός αυτός εκφράζεται όχι μόνο από τους γρανοδιορίτες του Ηωκαίνου – Ολιγακίνου (Ιερισσού – Στρατωνίου), αλλά και από τους ασβεσταλκαλικούς πορφυρίτες του Μειοκαίνου (Σκουριές – Αλατίνα – Φισώκα). Η μαγματική αυτή δραστηριότητα, εκτός των φαινομένων μεταμορφισμού επαφής και ανάδρομης πρασινοσχιστολιθικής

φάσης, οδήγησε και στις υδροθερμικές μεταλλοφόρες συγκεντρώσεις της περιοχής (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Το όριο μεταξύ των δύο κύριων γεωτεκτονικών ενοτήτων Βερτίσκου και Κερδυλίων τοποθετείται κατά μήκος μίας τεκτονικής διαταραχής, του κανονικού ρήγματος Στρατωνίου – Πιάβιτσας – Βαρβάρας. Το ρήγμα αυτό διέρχεται από τις μεταλλευτικές εγκαταστάσεις του Μαντέμ Λάκκου. Η γενική διεύθυνση του ρήγματος είναι Α – Δ, το μήκος του είναι μεγαλύτερο των 30km, 15km από τα οποία βρίσκονται στη στεριά, και το βάθος πλησιάζει τα 10km (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

6.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η κύρια σήραγγα προσπέλασης και μεταφοράς του μεταλλείου Ολυμπιάδας - Μαντέμ Λάκκου, διέρχεται κάτωθεν του Στρατονικού Όρους, το οποίο χαρακτηρίζεται από πυκνή δασοκάλυψη. Το μορφολογικό ανάγλυφο κατά μήκος της χάραξης της σήραγγας χαρακτηρίζεται ως ημιορεινό - ορεινό, με υψόμετρα που κυμαίνονται από +240m, στο στόμιο εισόδου της σήραγγας στο Μαντέμ Λάκκο και στην περιοχή του μεταλλείου Ολυμπιάδας, έως +760 m περίπου περί τη Χ.Θ. 3+000m. Οι μορφολογικές κλίσεις είναι εν γένει μέτριες, ενώ στην περιοχή πλησίον της κοίτης των κύριων κλάδων του υδρογραφικού δικτύου, οι κλίσεις παρουσιάζονται να είναι πιο απότομες (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Όσον αφορά στην ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου διακρίνονται δύο κύριες υδρολογικές λεκάνες κατά μήκος της χάραξης. Αυτές είναι η υδρολογική λεκάνη του Ασπρόλακκα στο νότιο τμήμα της χάραξης και έως και τη Χ.Θ. 4+000 m περίπου και η υδρολογική λεκάνη Μπαχτσίνα – Μπασδέκη, στο βόρειο τμήμα της χάραξης, από τη Χ.Θ. 4+000 m έως το τέλος της χάραξης στο μεταλλείο Ολυμπιάδας (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Στο νότιο τμήμα της χάραξης που τοποθετείται στην υδρολογική λεκάνη Ασπρόλακκα, τα κύρια ρέματα που διέρχονται πλησίον της χάραξης της σήραγγας είναι ο Γιάνναβος προς τα δυτικά και ο Βαθύλακκας προς τα ανατολικά, με γενική διεύθυνση ροής ΒΒΔ-ΝΝΑ και ΒΑ-ΝΔ αντίστοιχα. Τα συγκεκριμένα ρέματα συμβάλλουν στο κύριο ρέμα του Κοκκινόλακκα. Στο βόρειο τμήμα της χάραξης που τοποθετείται στην υδρολογική λεκάνη Μπαχτσίνα – Μπασδέκη, τα κύρια ρέματα που διέρχονται πλησίον της χάραξης είναι ο Μπαχτσίνας (ή διαφορετικά Μπαξίνας) Λάκκος, με κύρια διεύθυνση ροής ΝΔ – ΒΑ. Το ρέμα συμβάλλει με το ρέμα του Μπασδέκη Λάκκου περί το 1km από την ακτή και εκβάλλει στη θάλασσα στην πεδινή περιοχή της Ολυμπιάδας (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Το ευρύτερο υδρογραφικό δίκτυο είναι δενδροειδούς μορφής και αποτελείται από ικανό αριθμό ρεμάτων. Με βάση τα στοιχεία, προκύπτει ότι τα περισσότερα υδατορέματα της περιοχής μελέτης λειτουργούν ως χειμάρροι, παροχετεύοντας μικρές εν γένει πλημμυρικές παροχές. Σημαντικό ρόλο προς αυτήν την κατεύθυνση διαδραματίζει η ύπαρξη μεγάλων κλίσεων πρανούς στις μισγάγκειες των ρεμάτων και η κάλυψη με ημιπερατούς έως αδιαπέρατους σχηματισμούς εν γένει στη μεγαλύτερη επιφάνεια των ημιορεινών – ορεινών περιοχών (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Ας σημειωθεί ότι, η περιοχή του Στρατονικού Όρους συγκαταλέγεται στις περιοχές του Κοινοτικού Προγράμματος Corine – BIOTOPES (AG 0060002) και έχει κριθεί κατάλληλη για ένταξη στο δίκτυο NATURA 2000 (GR 1270005) σύμφωνα με την Οδηγία 92/43/ΕΟΚ (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

6.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται από τους ανώτερους ορίζοντες προς τους κατώτερους, στην περιοχή του έργου, παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

I. ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΒΕΡΤΙΣΚΟΥ

- **Αμφιβολίτες και αμφιβολιτικοί γνεύσιοι.** Αυτοί είναι τεφροπράσινοι έως τοπικά καστανοπράσινοι. Ο σχηματισμός παρουσιάζεται υγιής, ελαφρά κερματισμένος, έως κατά θέσεις έντονα κερματισμένος, εξαλλοιωμένος και αποσαθρωμένος, υπό μορφή καστανής αργίλου. Ο υγιής αμφιβολίτης παρουσιάζεται ισχυρός, ενώ η αντοχή μειώνεται με αυξανόμενο βαθμό κερματισμού και αποσάθρωσης. Στις θέσεις έντονης αποσάθρωσης, ο σχηματισμός παρουσιάζεται πλήρως εδαφοποιημένος, με πολύ μικρή εμφάνιση της αρχικής δομής. Το πάχος αυτών των ζωνών κυμαίνεται από 1m έως τοπικά 20m περίπου. Πλησίον της ζώνης του ρήγματος και λόγω της τεκτονικής δράσης και της υδροθερμικής εξαλλοίωσης, ο σχηματισμός παρουσιάζεται υπό μορφή τεφροπράσινου και τοπικά λευκού **καολίνη**. Το πάχος της ζώνης του καολίνη, όπως διαπιστώθηκε από ερευνητικές γεωτρήσεις, κυμαίνεται από 5,0m έως 25,0m κατά προσέγγιση. Ο σχηματισμός των αμφιβολιτών αναμένεται να απαντηθεί κυρίως κατά τη διαμόρφωση του στομίου της σήραγγας και πιθανόν, στα πρώτα μέτρα διάνοιξης του υπογείου τμήματος (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

II. ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΕΡΑΥΛΙΩΝ

- **Βιοτιτικοί γνεύσιοι.** Αυτοί είναι μεσόκοκκοι έως αδρόκοκκοι, ζωνώδεις με χαμηλό έως μέσο βαθμό αποσάθρωσης και πυκνή διάταξη σχιστότητας και διακλάσεων. Ο σχηματισμός έχει τεφροπράσινο έως σκούρο πράσινο χρώμα, και παρουσιάζεται υγιής με πολύ μεγάλη έως μεγάλη αντοχή, έως κατά θέσεις έντονα κερματισμένος και μέτρια αποσαθρωμένος, και τέλος με μέτρια αντοχή. Ο σχηματισμός διατρέχεται από φλεβοειδείς διεισδύσεις ή ακανόνιστου σχήματος φακούς πηγματίτη και απλίτη που διεισδύουν κατά μήκος ή παρουσιάζονται εντός του προϋπάρχοντος πετρώματος. Οι πηγματίτες μπορεί, επίσης, να παρουσιάζονται υπό μορφή μικρών φλεβών έως εκτεταμένες σχεδόν κατακόρυφες φλέβες ή ομάδες φλεβών. Επιπροσθέτως, έχει παρατηρηθεί και η εμφάνιση μεσόκοκκων έως λεπτόκοκκων καστανέρυθρων βιοτιτικών σχιστολίθων, οι οποίοι συνδέονται κατά κύριο λόγο με έντονη διάτμηση και τεκτονική καταπόνηση των βιοτιτικών γνευσίων σε ζώνες ρηγμάτων, ή παρουσιάζονται κατά μήκος μεγάλων ρηξιγενών ζωνών. Κατά θέσεις επίσης δύνανται να παρατηρηθούν εμφανίσεις μαρμάρου (μετα-ανθρακικά εγκλείσματα). Ο σχηματισμός των βιοτιτικών γνευσίων δομεί επιφανειακά το μεγαλύτερο τμήμα του Στρατονικού Όρους και αποτελεί

τον κύριο σχηματισμό που αναμένεται εν γένει να συναντηθεί κατά τη διάνοιξη της σήραγγας (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

- **Μάρμαρα.** Αυτά χαρακτηρίζονται λευκότεφρα έως τεφρά, μεσοστρωματώδη έως παχυστρωματώδη, κρυσταλλικά και αποχρωματισμένα. Ο σχηματισμός εμφανίζεται κυρίως υγιής με μεγάλη αντοχή και περιστασιακές ζώνες τοπικής αποσάθρωσης που περιλαμβάνει χαρακτηριστικά διάλυσης που οδηγούν σε δημιουργία καρστικών κενών και ασυνέχειες μέσης έως μεγάλης πυκνότητας. Σύμφωνα με διαθέσιμες πληροφορίες, ο βαθμός καρστικοποίησης μειώνεται εν γένει με το βάθος. Οι εμφανίσεις των μαρμάρων απαντώνται γενικά κατά μήκος ελεγχόμενων από ρήγματα επαφών με το βιοτιτικό γνεύσιο και συχνά φέρουν πηγματοτικές φλέβες που συνδέονται με την παρουσία ζωνών καολίνη εντός των μαρμάρων, ενώ έχουν καταγραφεί και ασυνέχειες πληρωμένες με καολίνη, κυρίως στη ζώνη των μαρμάρων που αναπτύσσεται η μεταλλοφορία. Ο σχηματισμός των μαρμάρων αναμένεται να συναντηθεί κατά θέσεις κατά τη διάνοιξη της σήραγγας, κυρίως σε περιοχές εκτεταμένων και σημαντικών ρηξιγενών ζωνών, όπως επίσης και κοντά στην περιοχή του μεταλλείου Ολυμπιάδας (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).
- **Τεκτονικά λατυποπαγή, ζώνες μυλονιτίωσης και εμφανίσεις καολίνη.** Αυτά συνδέονται με την παρουσία εκτεταμένων ρηξιγενών ζωνών και ζωνών διάτμησης και αποτελούνται από μικρού ή μεγάλου μεγέθους έως αδρόκοκκα κλαστικά υλικά των περιβαλλόντων πετρωμάτων με αργιλοαμμώδες υλικό, ενώ, αναμένεται και η παρουσία σημαντικών εμφανίσεων καολίνη που συνδέεται με την τεκτονική καταπόνηση και υδροθερμική εξαλλοίωση κυρίως των πηγματοτών Ακόμη, ζώνες καολίνη αναμένονται και στις τεκτονικά ελεγχόμενες επαφές των μαρμάρων με τους γνευσίους, ή ως υλικό πλήρωσης ρηξιγενών επιφανειών. Τα τεκτονικά λατυποπαγή, αναμένεται να παρουσιάζουν κατά θέσεις έντονα χαρακτηριστικά διάτμησης, υψηλό βαθμό χλωριτίωσης και διακριτή σχιστότητα. Τέτοιου είδους ζώνη έχει παρατηρηθεί στην περιοχή της χάραξης, πλησίον του στομίου εισόδου, συνδεόμενη με το ρήγμα Στρατωνίου, ενώ, παρόμοιες ζώνες απαντήθηκαν στο μεταλλείο Ολυμπιάδας. Τα τεκτονικά λατυποπαγή και οι ζώνες μυλονιτίωσης, μπορεί να παρουσιάζονται σε περιορισμένες εμφανίσεις της τάξης των 1-2m και η εξάπλωσή τους εξαρτάται από το μέγεθος των ρηξιγενών ζωνών. Στη ρηξιγενή ζώνη Στρατωνίου η ζώνη μυλονιτίωσης έχει πάχος που κυμαίνεται από 3m έως 10m περίπου. Η αντοχή της βραχόμαζας σε περιοχές ύπαρξης τέτοιων ζωνών είναι χαμηλή και οι γεωτεχνικές συνθήκες είναι εν γένει πτωχές (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Αναφορικά, τώρα, με τα δομικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών, σημειώνεται ότι παρατηρείται σημαντική ποικιλία στις διευθύνσεις της σχιστότητας των πετρωμάτων, που τεκμηριώνεται από την έντονη τεκτονική καταπόνηση των σχηματισμών. Στους βιοτιτικούς γνευσίους είναι πολύ συχνή η εμφάνιση συνεχόμενων αντικλινικών και συγκλινικών δομών. Σύμφωνα με τις διαθέσιμες περιορισμένες πληροφορίες και τους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ, συνάγεται ότι η σχιστότητα στους βιοτιτικούς γνευσίους έχει κύρια διεύθυνση παράταξης ΒΔ-ΝΑ με κλίσεις που κυμαίνονται από 40° έως 85° περίπου προς τα ΒΑ και ΝΔ, έως διεύθυνση παράταξης Β-Ν περίπου, με κλίσεις που κυμαίνονται από 25° έως 40° και σπανιότερα μεγαλύτερες των 60° προς τα ανατολικά. Επίσης, έχουν εντοπιστεί περιοχές με γενική διεύθυνση παράταξης Α-Δ και κλίσεις 20° έως 35° προς τα νότια. Παρόμοια γενικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά συνάγονται και για τη σχιστότητα στο σχηματισμό των μαρμάρων (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Όσον αφορά στους αμφιβολίτες και τους αμφιβολιτικούς γνευσίους, αυτοί παρουσιάζονται έντονα πτυχωμένοι, γεγονός το οποίο γίνεται εμφανές από τη μεγάλη διακύμανση των κλίσεων των επιπέδων της σχιστότητας. Η γενική διεύθυνση των σχηματισμών κυμαίνεται από ΒΑ – ΝΔ και μέση κλίση 15° - 40° προς τα νοτιοανατολικά, έως ΒΒΔ-ΝΝΑ με μέση κλίση 80° προς τα ανατολικά – νοτιοανατολικά και ΒΔ-ΝΑ με μέση κλίση 20° προς τα ΝΔ (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Σε όλους τους ανωτέρω βραχώδεις σχηματισμούς, παρατηρείται επίσης δίκτυο διακλάσεων αποτελούμενο από τουλάχιστον τρία κύρια συστήματα με σχεδόν παρακατακόρυφες κλίσεις (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Ας σημειωθεί ότι παρά τη σχιστότητα και το δίκτυο διακλάσεων που παρατηρείται στους βραχώδεις σχηματισμούς δεν είναι δυνατός ο προσδιορισμός αντιπροσωπευτικού τεκτονικού διαγράμματος για έλεγχο έναντι δομικής μορφής αστοχίας (σφήνες) επί της περιμέτρου και του μετώπου της σήραγγας, λόγω του μεγάλου βάθους από την επιφάνεια στο οποίο θα κατασκευαστεί η σήραγγα (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ

Η κύρια τεκτονική δομή που δεσπόζει στην ευρύτερη περιοχή των έργων, είναι το σεισμικά ενεργό ρήγμα Στρατωνίου, το οποίο διέρχεται από τις μεταλλευτικές εγκαταστάσεις του Μαντέμ Λάκκου και οριοθετεί την υπερκείμενη γεωτεκτονική ενότητα του Βερτίσκου από την υποκείμενη γεωτεκτονική ενότητα των Κερδυλίων. Τμήμα του ρήγματος διέρχεται βόρεια από τις μεταλλευτικές εγκαταστάσεις του Μαντέμ Λάκκου. Το ρήγμα του Στρατωνίου συνδέεται με το σεισμό που σημειώθηκε στις 26/09/1932 κοντά στην περιοχή της Ιερισσού και ήταν μεγέθους $M_s=6,9-7,0$ Richter. Όπως αναφέρεται στη σεισμοτεκτονική μελέτη που εκπονήθηκε για τα Μεταλλεία Κασσάνδρας, ένα από τα αποτελέσματα του σεισμού αυτού, ο οποίος είχε προκαλέσει σημαντικές καταστροφές στην Ιερισσό και στο Στρατόνι, ήταν το άνοιγμα επιφανειακού «χάσματος» το οποίο εκτεινόταν από το Στρατόνι έως τα Στάγειρα με διεύθυνση Α-Δ, με βάθος 10m και άνοιγμα 2m. Μακροσεισμικές παρατηρήσεις και γεωμορφολογικά δεδομένα καταδεικνύουν ότι η τεκτονική ρηγματώση εκτείνεται προς τη θάλασσα βόρεια της παραλίας του κόλπου της Ιερισσού. Μετρήσεις που έγιναν από την Υδρογραφική Υπηρεσία του Ελληνικού Ναυτικού έδειξαν υποθαλάσσια τεκτονική βύθιση κοντά στη σκάλα φόρτωσης του Στρατωνίου 1,1m έως 1,6m (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Σύμφωνα με τα στοιχεία στα οποία γίνεται αναφορά και παραπάνω, το ρήγμα Στρατωνίου τοποθετείται μεταξύ των ισοϋψών 230m – 240m και είναι κανονικό (normal fault). Το βόρειο τμήμα αποτελεί το ανερχόμενο τέμαχος (footwall) και το νότιο το κατερχόμενο (hanging wall). Πρόκειται για μία γραμμική νεοτεκτονική δομή με γενική διεύθυνση Α-Δ, μέση κλίση (από το οριζόντιο επίπεδο) 50° προς τα νότια και γωνία τεκτονικής γράμμωσης $70-80^\circ$ προς τα ανατολικά. Άλλα πιθανά δευτερεύοντα μικρότερα ρήγματα που έχουν ανιχνευθεί από γεωτρήσεις, εκτείνονται παράλληλα με το κυρίως ρήγμα, χωρίς επιφανειακή εμφάνιση και σε απόσταση από αυτό 100 – 300m στο κατερχόμενο τέμαχος. Νότια του κυρίως ρήγματος στο κατερχόμενο τέμαχος, μεταξύ των ισοϋψών 180 – 200m εκτείνεται η ρηξιγενής ζώνη του ρήγματος (fault zone), στην οποία σε περίπτωση σεισμού αντίστοιχου μεγέθους με το 1932, μπορούν να εμφανιστούν επιφανειακές παραμορφώσεις. Γενικά, το ρήγμα Στρατωνίου εκτείνεται 12-15km στην ξηρά και επεκτείνεται ανατολικότερα και υποθαλάσσια για επιπρόσθετα 15-20km, με αποτέλεσμα η γεωλογική επιφανειακή σεισμογενετική δομή να είναι συνολικά της τάξης των 30km. Ως σεισμογενετική δομή βάθους (σεισμικό ρήγμα) έχει και μεγαλύτερο μήκος, της τάξεως των 50km (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Το ρήγμα Στρατωνίου συνοδεύεται από μυλονιτιωμένη ζώνη με κύριο συστατικό μικρές λατύπες από τα υπερκείμενα και υποκείμενα πετρώματα με καολίνη, προϊόν υδροθερμικής εξαλλοίωσης, πάχους 10m περίπου (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Άλλο σημαντικό ρήγμα που εντοπίζεται στην περιοχή, αποτελεί το ρήγμα Βαθύλακκα, το οποίο εντοπίζεται στην περιοχή του ομώνυμου ρέματος. Έχει γενική διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ και μέση κλίση 75° προς τα δυτικά (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Στα βασικά ρήγματα της περιοχής συγκαταλέγεται και το ρήγμα Κασσάνδρας, το οποίο εντοπίζεται στην ευρύτερη περιοχή του μεταλλείου Ολυμπιάδας, στο βόρειο τμήμα της χάραξης, ενώ υπάρχουν αναφορές που το επεκτείνουν και νοτιότερα προς το νότιο τμήμα της χάραξης στην ευρύτερη περιοχή του Μαντέμ Λάκκου. Το ρήγμα έχει γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και κλίνει προς τα ανατολικά με απότομες κλίσεις (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Πέραν των ανωτέρω, κατά μήκος της χάραξης αναμένεται η παρουσία και άλλων ρηγμάτων, με γενικές διευθύνσεις κυρίως ΒΔ-ΝΑ (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες μίας περιοχής είναι απόλυτα συνδεδεμένες με τη λιθολογική σύνθεση των πετρωμάτων που τη δομούν, τις γεωμορφολογικές και τεκτονικές συνθήκες, την υδροπερατότητα των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών, τη γεωμετρία και τη θέση στο χώρο των υδροπερατών και υδροστεγανών πετρωμάτων, τις δυνατότητες τροφοδοσίας από την επιφάνεια ή /και υπογείως των υδροπερατών πετρωμάτων, τις υπόγειες ανασχές και εκτονώσεις των σχηματιζόμενων υπογείων υδροφοριών, και με άλλα αντίστοιχα στοιχεία (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Ο συνδυασμός των παραπάνω οδηγεί σε κάθε περιοχή στη διαμόρφωση του χαρακτηριστικού γι' αυτήν υδρογεωλογικού καθεστώτος και τοπικών υδροδυναμικών συνθηκών, που χωροχρονικά δεν παραμένουν μεν αμετάβλητες, έχουν όμως τη δική τους ταυτότητα που εξαρτάται από τους συνδυασμούς των προαναφερθέντων τοπικών παραμέτρων, καθώς και από τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις που διαταράσσουν τοπικά το υφιστάμενο υδρογεωλογικό καθεστώς (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία του έργου, η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει ένα πολύπλοκο σύστημα το οποίο αποτελείται από επάλληλους υδροφορείς, οι οποίοι είτε βρίσκονται σε επικοινωνία, είτε είναι απομονωμένοι. Ενώ, σε αρκετές περιπτώσεις περιλαμβάνουν και επικρεμάμενες υδροφορίες τοπικού χαρακτήρα. Όσον αφορά στη λειτουργία του συστήματος, κυρίαρχο ρόλο φαίνεται ότι διαδραματίζει ο εκάστοτε μανδύας αποσάθρωσης, ο οποίος λειτουργεί ως ταμιευτήρας τροφοδοσίας υδατορεμάτων και κατώτερων υδροφορέων, καθώς και τα υδατορέματα τα οποία δημιουργούν κατά θέσεις συνθήκες τροφοδοσίας και αποστράγγισης. Μέσω των δύο αυτών στοιχείων πραγματοποιείται η κατανομή των υδατικών πόρων στους υπόγειους υδροφορείς και ρυθμίζεται η διαίτα των νερών (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Λαμβάνοντας υπόψη υπάρχοντα στοιχεία αναφορών, συνάγονται τα ακόλουθα γενικά συμπεράσματα, αναφορικά με το υδρογεωλογικό καθεστώς κατά μήκος της χάραξης (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011):

- ✚ Στην ευρύτερη περιοχή του έργου αναπτύσσονται τρεις κύριοι υδροφόροι ορίζοντες στους βραχώδεις σχηματισμούς του υποβάθρου: ο υδροφορέας των μαρμάρων, ο υδροφορέας των υπερκείμενων του μαρμάρου βιοτιτικών γνευσίων και ο υδροφορέας των υποκείμενων του μαρμάρου βιοτιτικών γνευσίων (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

- ✚ Επιφανειακά, αναπτύσσεται επίσης υδροφορέας εντός της ζώνης αποσάθρωσης των σχηματισμών, ο οποίος έχει αποθηκευτική ικανότητα, διακόπτοντας την απευθείας τροφοδοσία των βαθέων υδροφορέων κατά τους χειμερινούς μήνες και δύναται να τροφοδοτεί τους υδροφορείς του βραχώδους υποβάθρου με υστέρηση 3-4 μήνες. Το συγκεκριμένο συμπέρασμα τεκμηριώνεται από ιστορικά δεδομένα των εισροών νερού στο μεταλλείο της Ολυμπιάδας, σύμφωνα με τα οποία παρουσιάζονταν περίπου 30% υψηλότερες εισροές υδάτων κατά τους μήνες Απρίλιο και Μάιο σε σχέση με τους υπόλοιπους μήνες (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).
- ✚ Και οι τρεις κύριοι υδροφόροι ορίζοντες του βραχώδους υποβάθρου χαρακτηρίζονται από πολύ μικρή πρωτογενή διαπερατότητα. Οι σημαντικές εισροές υπογείων υδάτων σε αυτούς ελέγχονται από το δευτερογενές πορώδες που αναπτύσσεται μέσω του δικτύου των ασυνεχειών (ρωγμών, ρωγματώσεων, διακλάσεων και ρηγμάτων) (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).
- ✚ Ο κύριος υδροφορέας της περιοχής αναπτύσσεται εντός των μαρμάρων. Πρόκειται για υδροφόρο ορίζοντα που αναπτύσσεται λόγω του δευτερογενούς πορώδους και στον οποίο η διαπερατότητα παρουσιάζεται με ανισοτροπία που ελέγχεται από τον προσανατολισμό και τα χαρακτηριστικά των κύριων δομικών χαρακτηριστικών. Παρουσιάζει σημαντική διαπερατότητα που συσχετίζεται με τους υδροφόρους ορίζοντες άνωθεν και κάτωθεν των μαρμάρων, μέσω της διεύρυνσης λόγω διάλυσης των ασυνεχειών οι οποίες δύναται να συνδέονται με ζώνες καολινιτώσεως. Τέτοιες ζώνες απαντώνται όταν οι πηγματίτες εξαλλοιώνονται από την παρουσία του νερού. Τα μάρμαρα είναι κατά θέσεις μερικώς καρστικοποιημένα, με βαθμό καρστικοποίησης που μεταβάλλεται κατά θέσεις και με το βάθος. Ο εκτιμώμενος συντελεστής κατείσδυσης για την περιορισμένη επιφανειακή εμφάνιση του σχηματισμού ανέρχεται σε 30-60%, και ο συντελεστής απορροής είναι μηδενικός, ενώ η υδροπερατότητα είναι υψηλή στα ανώτερα τμήματα ($K > 10^{-2} \text{m/s}$) και μειώνεται με το βάθος. Η υδροπερατότητα εντός του μεταλλείου της Ολυμπιάδας (απόλυτο υψόμετρο -319m έως -381m) είναι σημαντικά μικρότερη και κυμαίνεται μεταξύ $K = 1 \times 10^{-4} - 7,6 \times 10^{-6} \text{m/s}$. Η φιλοξενούμενη υδροφορία είναι υπό πίεση. Όπως προέκυψε από δοκιμές στείρευσης, σε γεωτρήσεις που βρίσκονται στα υπόγεια των μεταλλείων Ολυμπιάδας, η αποθηκευτική ικανότητα της υδροστρωματογραφικής ενότητας του μαρμάρου είναι πολύ μικρότερη από τυπικές αποθηκευτικές ικανότητες καρστικών υδροφορέων. Η αυξημένη υδροφορία του μαρμάρου οφείλεται περισσότερο στην πλευρική διήθηση υπογείων νερών από τους γειτονικούς γνευσίους (μέσω ρηγμάτων) παρά στην αποθηκευτική ικανότητα του ίδιου του μαρμάρου. Με βάση τα δημοσιευμένα στοιχεία, δεν είναι δυνατόν να υπολογιστεί η συνολική ετήσια τροφοδοσία του σχηματισμού διότι οφείλεται κατά κύριο λόγο σε πλευρικές υπόγειες εισροές, οι οποίες δεν είναι δυνατόν να μετρηθούν. Η επαφή του αμφιβολίτη και του μαρμάρου στην περιοχή του Μαντέμ Λάκκου, οριοθετείται από μία ισχυρή τεκτονική διαταραχή, το ρήγμα Στρατωνίου, εντός της ζώνης του οποίου αναπτύσσεται ένα αδιαπέρατο στρώμα μυλονίτη με καολίνη, μέσου πάχους 10m. Το στρώμα αυτό μυλονίτη με καολίνη απομονώνει

υδρολογικά τον ορίζοντα των μαρμάρων, εντός των οποίων αναπτύσσεται η μεταλλοφορία, από τον υπερκείμενο ορίζοντα του αμφιβολίτη (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

- ✚ Σημαντικός υδροφόρος ορίζοντας αναπτύσσεται και εντός των υγιών γνευσίων που υπέρκεινται των μαρμάρων στην ευρύτερη περιοχή. Ο υγιής, μη αποσαθρωμένος βιοτιτικός γνεύσιος είναι έντονα τεκτονισμένος και κατακερματισμένος από συστήματα διακλάσεων και ρήγματα. Ο σχηματισμός δεν εμφανίζεται επιφανειακά, διότι καλύπτεται από ζώνη εξαλλοίωσης η οποία είναι εμφανής στην επιφάνεια. Η υδροφορία του σχηματισμού είναι υπό πίεση. Η κατείδυση στα πετρώματα αυτά ανέρχεται σε 3-12% των κατακρημνισμάτων, ανάλογα με τον βαθμό κατακερματισμού και την κλίση του αναγλύφου. Η υδροπερατότητα στους τεκτονισμένους γνεύσιους κυμαίνεται από $K=10^{-4}$ m/s έως 10^{-6} m/s ενώ στους υγιείς μη τεκτονισμένους γνεύσιους εκτιμάται ότι μειώνεται σε 10^{-6} m/s έως 10^{-9} m/s (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).
- ✚ Ο τρίτος κύριος υδροφόρος ορίζοντας που αναπτύσσεται στην περιοχή, είναι ο υδροφορέας που φιλοξενείται στον βιοτιτικό γνεύσιο που αποτελεί το υπόβαθρο της περιοχής μελέτης και υπόκειται των μαρμάρων. Πρόκειται για υπό πίεση υδροφορέα με πολύ περιορισμένο δευτερογενές πορώδες. Η μεταβιβαστικότητα του υδροφορέα είναι μικρότερη από 10^{-6} m²/s, ενώ κατά περιοχές αγγίζει και τα 10-9m²/s. Τροφοδοτείται από διαρροές του υπερκείμενου μαρμάρου και οι διαρροές του είναι τόσο μικρές που δεν καθιστούν δυνατό τον υπολογισμό της ούτως ή άλλως αμελητέας ετήσιας τροφοδοσίας του (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Ωστόσο, υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας μικρού δυναμικού, αναπτύσσεται και εντός των αμφιβολιτών και των αμφιβολιτικών γνευσίων, που δομούν την περιοχή, εκεί όπου το δευτερογενές πορώδες είναι σημαντικό. Η συγκεκριμένη υδροφορία αποτελείται από την ανάπτυξη επιμέρους αυτόνομων υδρογεωλογικών λεκανών εντός της επιφανειακής αποσαθρωμένης και ρωγματωμένης ζώνης του αμφιβολιτικού υποβάθρου και δεν έχει σταθερή πλευρική και εις βάθος εξάπλωση (επικρεμάμενοι υδροφόροι ορίζοντες), ενώ χαρακτηρίζεται ως επιλεκτική και ασθενής, εξαρτώμενη κυρίως από τις ετήσιες κλιματολογικές διακυμάνσεις, όσο και από τη σύσταση των επιφανειακών αποσαθρωμένων υλικών (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Αξιολογώντας τα στοιχεία που προκύπτουν από τις εν γένει γεωλογικές και τεχνικογεωλογικές παρατηρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του έργου, ως επίσης και τις διαθέσιμες πληροφορίες από τα σημαντικά υπόγεια μεταλλευτικά έργα τόσο στην περιοχή των μεταλλείων Μαντέμ Λάκκου και Μαύρων Πετρών όσο και στην περιοχή του μεταλλείου Ολυμπιάδας, τα οποία έχουν αναπτυχθεί σε παρόμοιους σχηματισμούς και σε αντίστοιχα βάθη, παρουσιάζονται εν συνεχεία οι αναμενόμενες τεχνικογεωλογικές συνθήκες κατά μήκος της χάραξης της σήραγγας (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Η διαμόρφωση του στομίου της σήραγγας και ενδεχομένως η διάνοιξη των πρώτων μέτρων του υπογείου τμήματος, αναμένεται να πραγματοποιηθούν στο σχηματισμό των αμφιβολιτών και αμφιβολιτικών γνευσίων. Ο σχηματισμός αν και στην υγρή του μορφή παρουσιάζει υψηλή αντοχή, αναμένεται εν γένει έντονα κερματισμένος και αποσαθρωμένος με υποβαθμισμένα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά, κυρίως λόγω της εμφάνισής του πλησίον της ζώνης του ρήγματος Στρατωνίου – Βαρβάρας που διέρχεται από την περιοχή. Σημειώνεται ότι βάσει των διαθέσιμων στοιχείων, πλησίον της ζώνης του ρήγματος και λόγω της τεκτονικής δράσης και της υδροθερμικής εξαλλοίωσης, ο σχηματισμός δύναται να παρουσιάζεται υπό πλήρη εδαφοποιημένη μορφή και με παρουσία καολίνη. Επιπροσθέτως, στη ζώνη του ρήγματος αναμένεται εν γένει η παρουσία τεκτονικού λατυποπαγούς και μυλονιτωμένα υλικά, υπό μορφή αδρόκοκκων υλικών των περιβαλλόντων πετρωμάτων με αργιλοαμμώδες υλικό. Στο συγκεκριμένο τμήμα, ήτοι τα πρώτα μέτρα του υπογείου, αναμένονται εν γένει υποβαθμισμένα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των περιβαλλόντων σχηματισμών, συνδεδεμένα άμεσα με την έντονη τεκτονική καταπόνηση λόγω της παρουσίας του ρήγματος. Σημειώνεται ότι, το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας οριοθετεί ουσιαστικά την επαφή μεταξύ των υπερκείμενων αμφιβολιτών και αμφιβολιτικών γνευσίων με τους υποκείμενους βιοτικούς γνευσίους (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Το μεγαλύτερο τμήμα της κύριας σήραγγας αναμένεται να διανοιχθεί εντός του σχηματισμού των βιοτιτικών γνευσίων. Ο σχηματισμός αναμένεται υγής, πολύ μεγάλης έως μεγάλης αντοχής, έως κατά θέσεις έντονα κερματισμένος και μέτρια αποσαθρωμένος, μέτριας αντοχής. Τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά του σχηματισμού στην υγρή του μορφή αναμένονται πολύ καλά. Σημειώνεται ότι στο σχηματισμό των βιοτιτικών γνευσίων αναμένεται εν γένει η παρουσία φλεβοειδών διεισδύσεων, ομάδων φλεβών ή ακανόνιστων φακών πηγματίτη ή απλίτη, που διεισδύουν κατά μήκος ασυνεχειών ή προϋπάρχουν εντός του πετρώματος. Τέτοιες εμφανίσεις δύναται να υποβαθμίζουν εν γένει τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά του σχηματισμού στην περιοχή, καθώς οι πηγματίτες δύναται συχνά να έχουν υποστεί καολιτιώση. Κατά τη διάτρηση της κύριας σήραγγας στο σχηματισμό των βιοτιτικών γνευσίων, αναμένεται η παρουσία εισροών υπογείων υδάτων, καθώς ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται από σημαντικό δευτερογενές πορώδες λόγω της

παρουσίας δικτύου ασυνεχειών. Αυξημένες εισροές εντός του σχηματισμού αναμένονται κυρίως στις περιοχές των ρηγμάτων που διατέμνουν το σχηματισμό (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Κατά θέσεις, αναμένεται η εμφάνιση μαρμάρων. Πιο συγκεκριμένα, παρουσία μαρμάρων αναμένεται εν γένει περί τη Χ.Θ. 1+900m έως τη Χ.Θ. 2+400m περίπου της κύριας σήραγγας κάτωθεν της ευρύτερης περιοχής του ρέματος Γιάνναβου, ως επίσης και προς το τέλος της σήραγγας στο μεταλλείο Ολυμπιάδας, που ως γνωστόν η μεταλλοφορία αναπτύσσεται εντός των οριζόντων του μαρμάρου. Τα μάρμαρα, εν γένει αναμένονται μεσοστρωματώδη έως παχυστρωματώδη και κρυσταλλικά. Ο σχηματισμός αναμένεται κυρίως υγιής με μεγάλη αντοχή, σύστημα ασυνεχειών μέσης έως μεγάλης πυκνότητας κατά θέσεις και σποραδική παρουσία εν γένει ζωνών τοπικής αποσάθρωσης, με χαρακτηριστικά διάλυσης που οδηγούν σε δημιουργία καρστικών κενών. Σημειώνεται ότι ο βαθμός καρστικοποίησης αναμένεται να μεταβάλλεται κατά θέσεις και με το βάθος. Πέραν των ανωτέρω, και στα μάρμαρα αναμένεται η παρουσία πηγματιτικών φλεβών που συνδέονται με την παρουσία ζωνών καολίνη και σε τέτοιες περιπτώσεις η ποιότητα της βραχώμαζας αναμένεται να είναι υποβαθμισμένη. Σημειώνεται ότι οι εμφανίσεις των μαρμάρων αναμένονται γενικά κατά μήκος ελεγχόμενων από ρήγματα επαφών με το βιοτιτικό γνεύσιο, θέσεις στις οποίες εκτιμάται ότι θα αναπτύσσονται ζώνες πιθανόν σημαντικού εύρους που θα έχουν επηρεαστεί από την τεκτονική δράση και στις οποίες αναμένεται περαιτέρω υποβάθμιση της περιβάλλουσας βραχώμαζας. Επιπροσθέτως, κατά τη διάνοιξη της κύριας σήραγγας εντός των μαρμάρων αναμένεται η παρουσία σημαντικών εισροών υπογείων υδάτων, καθώς τα μάρμαρα αποτελούν τον κύριο υδροφορέα της ευρύτερης περιοχής, όπως παρουσιάζεται σε προηγούμενη παράγραφο. Η αναμενόμενη υδροφορία εντός των μαρμάρων αναπτύσσεται λόγω του δευτερογενούς πορώδους του σχηματισμού, ενώ η αυξημένη υδροφορία που αναμένεται οφείλεται κυρίως στην πλευρική διήθηση υπογείων νερών από τους γειτονικούς γνευσίους μέσω ρηγμάτων. Εκτιμάται επομένως ότι οι σημαντικότερες εισροές υπογείων νερών θα απαντηθούν στις τεκτονικά ελεγχόμενες επαφές μεταξύ μαρμάρων και γνευσίων (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία, αναμένεται η ύπαρξη ρηξιγενών ζωνών σε τουλάχιστον έξι περιοχές κατά μήκος της κύριας σήραγγας και πιο συγκεκριμένα, περί τις Χ.Θ. 0+200m, 1+000m, 1+900m, 6+800m, 7+950m και 8+650m της κύριας σήραγγας. Στις προαναφερόμενες θέσεις, αναμένεται η ύπαρξη ζωνών σημαντικής τεκτονικής καταπόνησης, με παρουσία τεκτονικών λατυποπαγών, μυλονιτών και εμφανίσεις καολίνη. Τέτοιες ζώνες αναμένεται να παρουσιάζουν κατά θέσεις έντονα χαρακτηριστικά διάτμησης, υψηλό βαθμό χλωριτίωσης και διακριτή σχιστότητα. Οι ζώνες τεκτονικής καταπόνησης που συνδέονται με την παρουσία ρηγμάτων, δύνανται να παρουσιάζονται κατά θέσεις σε περιορισμένες εμφανίσεις της τάξης των 1-2m. Ενώ, η εν γένει εξάπλωσή τους εξαρτάται από το μέγεθος των ρηξιγενών ζωνών από τις οποίες έχουν προέλθει. Η αντοχή της βραχώμαζας στις περιοχές εμφάνισης τέτοιων ζωνών αναμένεται χαμηλή και οι γεωτεχνικές συνθήκες εν γένει πτωχές. Επιπροσθέτως σημειώνεται ότι στις περιοχές ρηξιγενών ζωνών αναμένεται να

παρατηρηθούν εισροές υδάτων που μπορεί να επηρεάσουν την ευστάθεια της υπόγειας εκσκαφής (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Δεδομένου ότι οι βραχώδεις σχηματισμοί που θα απαντηθούν κατά μήκος της σήραγγας έχουν υποστεί έντονη κατά θέσεις τεκτονική καταπόνηση, αναμένεται σημαντική ποικιλία στις διευθύνσεις σχιστότητας, με παρουσία κατά θέσεις συνεχόμενων αντικλινικών και συγκλινικών δομών και ανάπτυξη σημαντικού δικτύου ασυνεχειών. Σημειώνεται ότι δεν αναμένονται εν γένει αστοχίες που να σχετίζονται με τα δομικά χαρακτηριστικά της βραχώμαζας, λόγω του σημαντικού ύψους υπερκειμένων που κυμαίνεται από 100m περίπου πλησίον του στομίου της σήραγγας έως 900m περίπου στην περιοχή του μεταλλείου Ολυμπιάδας. Οι κύριες μορφές αστοχίας που αναμένονται συνδέονται κυρίως με την ανάπτυξη των τάσεων λόγω του σημαντικού ύψους υπερκειμένων (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Η εκτιμώμενη εμφάνιση των ανωτέρω σχηματισμών κατά μήκος της χάραξης της κύριας σήραγγας, παρουσιάζεται στο σχετικό σχέδιο της γεωλογικής μηκοτομής (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ

Σύμφωνα με τα στοιχεία του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (Ε.Α.Κ.- 2000 του Ο.Α.Σ.Π.) η περιοχή μελέτης κατατάσσεται στην **Κατηγορία II** με οριζόντια σεισμική επιτάχυνση εδάφους $A_h = \alpha x g$, όπου $\alpha = 0,24$ (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Για τις ανάγκες του έργου, εκπονήθηκε ειδική σεισμοτεκτονική μελέτη από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, με Επιστημονικό Υπεύθυνο τον Καθ. Σ. Παυλίδη. Με βάση τα στοιχεία της εν λόγω μελέτης, το ρήγμα Στρατωνίου διαχωρίζεται με βάση μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά, σε τέσσερα τμήματα. Το στόμιο της κύριας σήραγγας βρίσκεται στην περιοχή του ρήγματος S2. Εφόσον ενεργοποιηθεί το συγκεκριμένο τμήμα, εκτιμάται από τη σεισμοτεκτονική μελέτη μέγιστο μέγεθος σεισμού μέχρι και $M_s = 6,1$ με αντίστοιχη μέγιστη κατακόρυφη μετατόπιση 33cm και μέση μετατόπιση 24cm. Εκτιμάται επιπροσθέτως για το ρήγμα Στρατωνίου, ζώνη πιθανών επιφανειακών παραμορφώσεων $\pm 20m$ εκατέρωθεν του χαρτογραφημένου ίχνους του ρήγματος. Σύμφωνα με τα συμπεράσματα της ως άνω ειδικής σεισμοτεκτονικής μελέτης στην περιοχή του στομίου της υπό μελέτη σήραγγας, η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού PGA, είναι 0,48g (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω, θα απαιτηθεί σεισμική θωράκιση της σήραγγας τουλάχιστον για τα 300 πρώτα μέτρα η οποία θα περιλαμβάνει διευρυμένη διατομή σήραγγας κατά 33 cm σε σχέση με τη διατομή στο υπόλοιπο τμήμα της σήραγγας, ως μέτρο σεισμικής θωράκισης, με σκοπό τη διατήρηση του απαιτούμενου χώρου για την επανακατασκευή του φορέα εσωτερικής ενίσχυσης, διατηρώντας παράλληλα τη γεωμετρία της ωφέλιμης διατομής της σήραγγας (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

6.4 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

6.4.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Προκειμένου να γίνει η γεωτεχνική ταξινόμηση της βραχώμαζας και να καθοριστούν οι γεωτεχνικές κατηγορίες εκσκαφής και υποστήριξης της σήραγγας προσπέλασης και μεταφοράς, αξιολογήθηκαν όλα τα υπάρχοντα δεδομένα που αφορούν στις γεωλογικές συνθήκες που αναμένεται να συναντηθούν κατά μήκος της σήραγγας. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον καθορισμό των γεωτεχνικών κατηγοριών της βραχώμαζας, παρουσιάζεται συνοπτικά ακολούθως (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011):

- ◆ Σύμφωνα με τα διαθέσιμα γεωλογικά στοιχεία, έγινε διάκριση των σχηματισμών σε τεχνικογεωλογικές ενότητες και βαθμονόμησή τους με βάση το δείκτη GSI.
- ◆ Εκτιμήθηκε η κατανομή έκαστης τεχνικογεωλογικής ενότητας για το εκάστοτε δεδομένο ύψος υπερκειμένων.
- ◆ Πραγματοποιήθηκε κατάταξη των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων σε γεωτεχνικές κατηγορίες βραχώμαζας.
- ◆ Αξιολογώντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή των κριτηρίων αστοχίας Hoek-Brown και Mohr-Coulomb, προσδιορίστηκαν οι γεωτεχνικές παράμετροι σχεδιασμού για κάθε γεωτεχνική κατηγορία βραχώμαζας. Για τα ανωτέρω στοιχεία εκτιμήθηκαν οι απαιτήσεις υποστήριξης και προσδιορίστηκαν οι βασικές τυπικές διατομές εκσκαφής και υποστήριξης της σήραγγας προσπέλασης και μεταφοράς, καθώς και τα πεδία εφαρμογής τους (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

6.4.2 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα γεωλογικά δεδομένα για την περιοχή της κύριας σήραγγας προσπέλασης και μεταφοράς, το μεγαλύτερο τμήμα θα διανοιχτεί εντός του σχηματισμού των βιοτιτικών γνεύσιων, ενώ θα συναντηθούν και ορίζοντες μαρμάρων. Λαμβάνοντας υπόψη το ιδιαίτερα μεγάλο μήκος της σήραγγας προσπέλασης και μεταφοράς και τη γενική γεωλογική δομή της περιοχής εκτιμάται ότι θα συναντηθούν ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα διαθέσιμα στοιχεία, καθώς και το αυξημένο μήκος της σήραγγας που έχει ως αποτέλεσμα την αντιμετώπιση σχηματισμών με ποιότητα που θα κυμαίνεται σε μεγάλο εύρος του δείκτη GSI, εκτιμήθηκαν οι κύριες τεχνικογεωλογικές ενότητες που ακολουθούν (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

- ❖ Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-1: Βιοτιτικός γνεύσιος υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένος, με τιμές GSI = 50-70.
- ❖ Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-2: Βιοτιτικός γνεύσιος μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος, με τιμές GSI = 30-50.
- ❖ Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-3: Βιοτιτικός γνεύσιος έντονα κερματισμένος και αποδιοργανωμένος, ισχυρά αποσαθρωμένος έως τοπικά εδαφοποιημένος, με τιμές GSI = 20-30.
- ❖ Τεχνικογεωλογική ενότητα Mr-1: Ορίζοντας μαρμάρων υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένος, με τιμές GSI = 50-70.
- ❖ Τεχνικογεωλογική ενότητα Mr-2: Ορίζοντας μαρμάρων μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος, με τιμές GSI = 30-50.
- ❖ Τεχνικογεωλογική ενότητα F-1: Ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης, με τιμές GSI = 15-20.
- ❖ Τεχνικογεωλογική ενότητα F-1a (υποενότητα της F-1): Ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης, με τιμές GSI = 15-20 πάχους 1,0m~1,5m σε τμήμα της διατομής που δεν επηρεάζει τη συνολική ευστάθεια της εκσκαφής.
- ❖ Τεχνικογεωλογική ενότητα Ab-1: Αμφιβολίτες – αμφιβολιτικοί γνεύσιοι στην περιοχή του στομίου της σήραγγας και στα πρώτα μέτρα του υπογείου τμήματος, με τιμές GSI = 20-40.

Σημειώνεται ότι η τεχνικογεωλογική ενότητα F-1a αποτελεί τμήμα της τεχνικογεωλογικής ενότητας F-1, η οποία χαρακτηρίζεται από κοινές τιμές γεωτεχνικών παραμέτρων με αυτές της F-1 αλλά περιορισμένο πάχος εμφάνισης κατά μήκος της σήραγγας προσπέλασης και μεταφοράς (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Η διάκριση των ανωτέρω τεχνικογεωλογικών ενοτήτων βασίστηκε κυρίως στη μακρογεωλογία της περιοχής αλλά και στην εμπειρία που έχει αποκτηθεί από τη

μακροχρόνια μεταλλευτική δραστηριότητα στην περιοχή σε παρόμοιους σχηματισμούς (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

6.4.3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Προκειμένου να προσδιορισθούν οι αντιπροσωπευτικές τιμές των γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού για το εύρος των τεχνικογεωλογικών συνθηκών που αναμένεται να συναντηθούν στην περιοχή κατασκευής της σήραγγας προσπέλασης και μεταφοράς, καθώς και οι τιμές των παραμέτρων των κριτηρίων αστοχίας Mohr - Coulomb, εφαρμόστηκε κατάλληλα η βαθμονόμηση με βάση το δείκτη GSI - Geological Strength Index, όπως έχει ήδη αναφερθεί, για κάθε κατηγορία βραχώμαζας (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Για τις τιμές του δείκτη GSI που προσδιορίστηκαν για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα, διενεργήθηκαν οι αναγκαίοι υπολογισμοί των γεωτεχνικών παραμέτρων αντοχής της βραχώμαζας. Οι υπολογισμοί των γεωτεχνικών παραμέτρων περιέχονται στα φύλλα υπολογισμού του σχετικού προσαρτήματος. Σε κάθε φύλλο υπολογισμού δίδονται οι παραδοχές υπό τις οποίες διενεργούνται οι αντίστοιχοι υπολογισμοί των γεωτεχνικών παραμέτρων έκαστης τεχνικογεωλογικής ενότητας (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Για τον υπολογισμό των γεωτεχνικών παραμέτρων έκαστης τεχνικογεωλογικής ενότητας, λήφθηκαν υπόψη τόσο στοιχεία από εργαστηριακές δοκιμές που εκτελέστηκαν σε δείγματα πετρωμάτων της περιοχής με βάση τις διάφορες μελέτες που έχουν εκπονηθεί για την ευρύτερη περιοχή των μεταλλείων Κασσάνδρας, καθώς και βιβλιογραφικές αναφορές, που αφορούν τους σχηματισμούς οι οποίοι αναμένεται να συναντηθούν κατά την όρυξη της σήραγγας προσπέλασης και μεταφοράς (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Πίνακας 1. Αποτελέσματα δοκιμών αντοχής πετρωμάτων της περιοχής με βάση υφιστάμενες μελέτες (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011). Σημείωση: Εντός παρενθέσεως παρουσιάζεται η μέση τιμή των αποτελεσμάτων των δοκιμών.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΕΚΠΟΝΗΘΕΙ ΓΙΑ ΣΥΝΑΦΗ ΕΡΓΑ			
ΒΙΟΤΙΤΙΚΟΣ ΓΝΕΥΣΙΟΣ		ΜΑΡΜΑΡΟ	
UCS (MPa)	Ei (GPa)	UCS (MPa)	Ei (GPa)
102-192 (126)	18-36 (26)	40-172 (108)	18-38 (29)
20-276 (120)			
16-112 (51)	0,52-58	41-96 (58)	
100	40	50	35

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω στοιχεία, προσδιορίστηκαν οι επί μέρους γεωτεχνικές παράμετροι του κριτηρίου Hoek-Brown και παρουσιάζονται για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα στον ακόλουθο πίνακα (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Πίνακας 2. Εύρος τιμών παραμέτρων κριτηρίου Hoek-Brown (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ	GSI	σ_{ci} (MPa)	m_i	D	E_i (GPa)	γ (kN/m ³)
Gn-1	Βιοτιτικός γενεύσιος υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένος.	50-70 (50)	80	25	0,0	30	28
Gn-2	Βιοτιτικός γενεύσιος μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος.	30-50 (30)	60	25	0,0	30	28
Gn-3	Βιοτιτικός γενεύσιος έντονα κερματισμένος και αποδιοργανωμένος, ισχυρά αποσαθρωμένος έως τοπικά εδαφοποιημένος.	20-30 (20)	40	25	0,0	20	28
Mr-1	Οριζοντας μαρμάρων υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένος.	50-70 (50)	50	12	0,0	25	26
Mr-2	Οριζοντας μαρμάρων μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος.	30-50 (30)	40	12	0,0	20	26
F-1 & F-1a	Ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης.	20	30	8	0,0	15	25
Ab-1	Αμφιβολίτες-αμφιβολιτικοί γενεύσιμοι, περιοχής στομίου σήραγγας	20-40 (20)	25	22	0,3	15	24

Με εφαρμογή του κριτηρίου Hoek-Brown με τις τιμές των επιμέρους παραμέτρων όπως προσδιορίστηκαν, υπολογίζονται οι τιμές σχεδιασμού διατμητικής αντοχής για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα, για ύψος υπερκειμένων 200m, 400m, 600m και 900m, εκτός της ενότητας των αμφιβολιτικών γενεύσιων που οι υπολογισμοί διενεργήθηκαν για ύψος υπερκειμένων 20m και 50m, δεδομένου ότι ο σχηματισμός αναμένεται να συναντηθεί στα πρώτα μέτρα του υπογείου τμήματος. Οι παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των τιμών σχεδιασμού των γεωτεχνικών παραμέτρων με βάση τα κριτήρια αστοχίας Hoek-Brown και Mohr-Coulomb και οι τιμές συνοχής (c), γωνίας τριβής (ϕ) και μέτρου ελαστικότητας (E) που προέκυψαν από τους σχετικούς υπολογισμούς για κάθε γεωτεχνική κατηγορία βραχώμαζας

δίνονται αναλυτικά στα αντίστοιχα φύλλα υπολογισμού που παρουσιάζονται σε σχετικό παράρτημα (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Πίνακας 3. Εκτιμώμενες αντιπροσωπευτικές τιμές γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού τεχνικογεωλογικών ενοτήτων (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ	Υπερκείμενα (m)	c (kPa)	ϕ (°)	E (MPa)	σ_{cm} (MPa)	σ_{cm}/P_0
Gn-1	Βιοιτικός γνεύσιος υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένος.	200	1419	54	9216	22	3,93
		400	2176	49			1,96
		600	2815	46			1,31
		900	3649	43			0,87
Gn-2	Βιοιτικός γνεύσιος μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος.	200	885	46	2442	10,6	1,89
		400	1401	41			0,95
		600	1829	38			0,63
		900	2383	35			0,42
Gn-3	Βιοιτικός γνεύσιος έντονα κερματισμένος και αποδιοργανωμένος, ισχυρά αποσαθρωμένος έως τοπικά εδαφοποιημένος.	200	610	40	913	5,3	0,95
		400	969	34			0,47
		600	1266	32			0,32
		900	1650	29			0,21
Mr-1	Οριζοντας μαρμάρων υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένος.	200	962	45	7680	9,5	1,83
		400	1434	40			0,91
		600	1828	37			0,61
		900	2338	34			0,41
Mr-2	Οριζοντας μαρμάρων μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος.	200	582	37	1628	4,8	0,92
		400	903	32			0,46
		600	1166	30			0,31
		900	1503	26			0,21
F-1 & F-1a	Ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης.	200	339	28	685	2,16	0,43
		400	525	23			0,22
		600	675	21			0,14
		900	867	19			0,10
Ab-1	Αμφιβολίτες-αμφιβολιτικοί γνεύσιμοι, περιοχής στομίου σήραγγας	20	80	48	519	2,36	4,92
		50	148	42			1,97

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι τελικές προσδιορισθείσες τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού εκάστης τεχνικογεωλογικής ενότητας (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Πίνακας 4. Τελικές προσδιορισθείσες τιμές γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού τεχνικογεωλογικών ενότητων (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

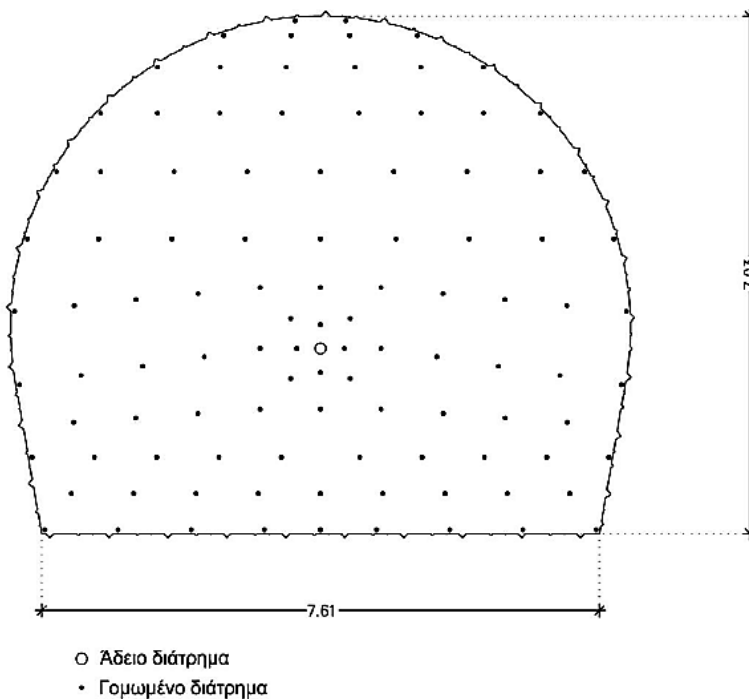
ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ	Υπερκείμενα (m)	c (kPa)	φ (°)	E (MPa)	σ _{cm} (MPa)	σ _{cm} /P ₀
Gn-1	Βιοιτικός γενέσιος υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένος.	200	1400	54	9200	22	3,93
		400	2200	49			1,96
		600	2800	46			1,31
		900	3650	43			0,87
Gn-2	Βιοιτικός γενέσιος μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένος 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	Βιοιτικός γενέσιος έντονα κερματισμένος και αποδιοργανωμένος, ισχυρά αποσαθρωμένος 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 υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένος.	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 αποσαθρωμένος 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 γενέσιοι, περιοχής στομίου σήραγγας	20	80	48	500	2,4	4,92
		50	150	42			1,97

7. ΤΡΟΠΟΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ

7.1. ΑΝΑΤΙΝΑΞΕΙΣ

Η κύρια σήραγγα υπό μελέτη ορύσσεται με τη χρήση εκρηκτικών υλών στο μεγαλύτερο μέρος του έργου, με εξαίρεση κάποιες θέσεις όπου θα γίνεται χρήση μηχανικών μέσων.

Για τη διάτρηση κατά την προχώρηση γίνεται χρήση πετρελαιοκίνητων ή ηλεκτροκίνητων διατρητικών φορείων με ικανότητα διάτρησης 4 μέτρων. Πιο συγκεκριμένα, η διάνοιξη των διατρημάτων θα πραγματοποιείται με ηλεκτροκίνητο Jumbo τύπου SECOMA MERCURY 14 1F/D6 ή κάποιο αντίστοιχο. Το μήκος διάτρησης είναι έως και 4m και η προχώρηση ανά ανατίναξη έως 3,0m. Η διάταξη των διατρημάτων είναι σφηνοειδής (BURN-CUT), και το σχέδιο ανατίναξης παρουσιάζεται παρακάτω.



Σχέδιο 1. Τυπική διάταξη διατρημάτων τύπου Burn-Cut.

Τα χρησιμοποιούμενα εκρηκτικά στις ανατινάξεις είναι τύπου SLURRY LAMBREX 1 ή κάποιου αντίστοιχου και ANFO. Στη συνέχεια, η πυροδότηση των διατρημάτων είναι ηλεκτρική και πραγματοποιείται με πυροδοτητές SHAFFLER τύπου “F” HS ή αναλόγου σε χρόνους 0~12. Με τη χρήση των καψυλίων αυτών επιτρέπεται η πυροδότηση σε πολλούς χρόνους επιβράδυνσης, ούτως ώστε να εξασφαλίζεται ότι η εκρηκτική ύλη ανά χρόνο δεν ξεπερνά τα 5,00 kg, ποσότητα η οποία αποτελεί μόνο ένα μικρό ποσοστό της θεωρητικά υπολογιζόμενης ποσότητας εκρηκτικών για τη μη πρόκληση δονήσεων. (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

7.2. ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ

Στο κεφάλαιο της γεωλογίας προσδιορίζονται επτά τεχνικογεωλογικές ενότητες, με βάση τις οποίες καθορίζονται παρακάτω και οχτώ κατηγορίες εκσκαφής και υποστήριξης για την κύρια σήραγγα και δύο κατηγορίες για τις θέσεις στάθμευσης. Οι κατηγορίες αυτές δίνονται παρακάτω αναλυτικά σε πίνακες, μαζί με τα στάδια κατασκευής κάθε μίας. Ενώ, στη συνέχεια ακολουθεί και το αντίστοιχο σχέδιο διατομής για κάθε μία από τις κατηγορίες, όπως αυτά αντλούνται από τα αντίστοιχα στοιχεία του έργου (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

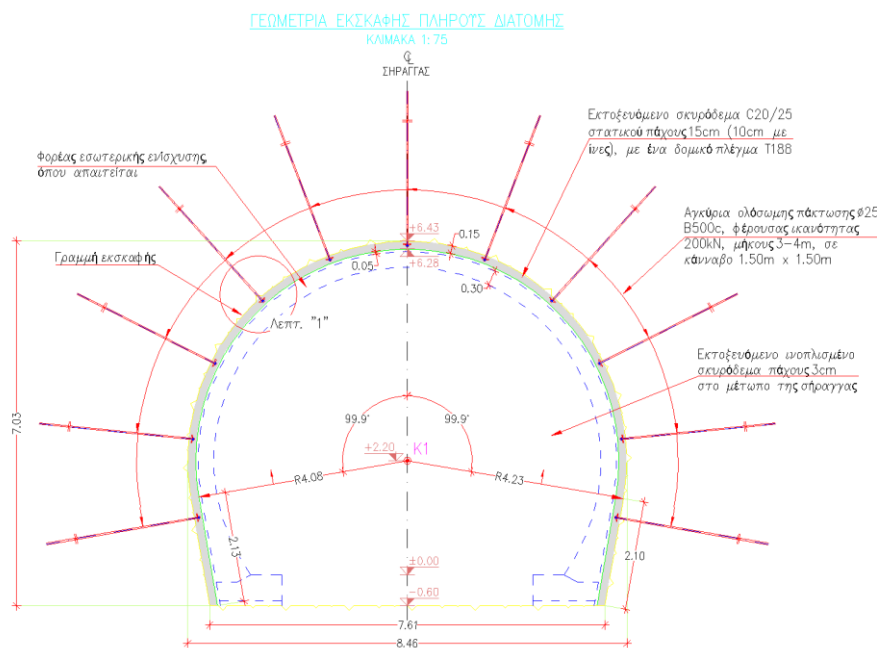
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ & ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ Α

Πίνακας 5. Κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης Α

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ & ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ Α	
ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-1:</u> Βιοτιτικός γνεύσιος υγής έως ελαφρά αποσθρωμένος, με τιμές GSI = 50-70, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων H<400m. • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-2:</u> Βιοτιτικός γνεύσιος μέτρια έως ισχυρά αποσθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος, με τιμές GSI = 30-50, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων H<200m. • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-3:</u> Βιοτιτικός γνεύσιος έντονα κερματισμένος και αποδιοργανωμένος, ισχυρά αποσθρωμένος έως τοπικά εδαφοποιημένος, με τιμές GSI = 20-30, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων H<100m. • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα Mr-1:</u> Οριζοντας μαρμάρων υγής έως ελαφρά αποσθρωμένος, με τιμές GSI = 50-70, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων H<400m. • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα Mr-2:</u> Οριζοντας μαρμάρων μέτρια έως ισχυρά αποσθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος, με τιμές GSI = 30-50, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων H<200m.
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	Εκσκαφή με τη χρήση εκρηκτικών. Ολομέτωπη διάνοιξη.
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Συστηματική εφαρμογή εκτοξευομένου σκυροδέματος στο θόλο και τις παρειές της διατομής, στατικού πάχους 15cm (10cm με ίνες) με ένα δομικό πλέγμα T188. ▪ Συστηματική εφαρμογή ινοπλισμένου εκτοξευομένου σκυροδέματος πάχους 3cm στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής. ▪ Συστηματική εφαρμογή αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης Φ25, B500c, φέρουσας ικανότητας 200kN, μήκους 3-4m σε κάρναβο 1,5m X 1,5m.
ΒΗΜΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	3,0m

Πίνακας 6. Στάδια Κατασκευής Κατηγορίας Εκσκαφής και Υποστήριξης Α

ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ		ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ 3.00m
A. ΟΛΟΜΕΤΩΠΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ		
1. Εκσκαφή πλήρους διατομής.		X
2. Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων (ξεσκάρωμα).		X
3. Εφαρμογή 1ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής και 3cm, στο μέτωπο της εκσκαφής.		X
4. Διάτρηση και εφαρμογή αγκυρίων.		X
5. Εφαρμογή 2ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.		X
6. Εφαρμογή δομικού πλέγματος T188.		X
7. Εφαρμογή 3ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm (χωρίς ίνες), στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.		X-1
* Εφαρμογή αποστραγγιστικών οπών στην περίμετρο της εκσκαφής, εάν απαιτείται.		(*)



Σχέδιο 2. Τυπική διατομή εκσκαφής και υποστήριξης σήραγγας – Κατηγορία Α

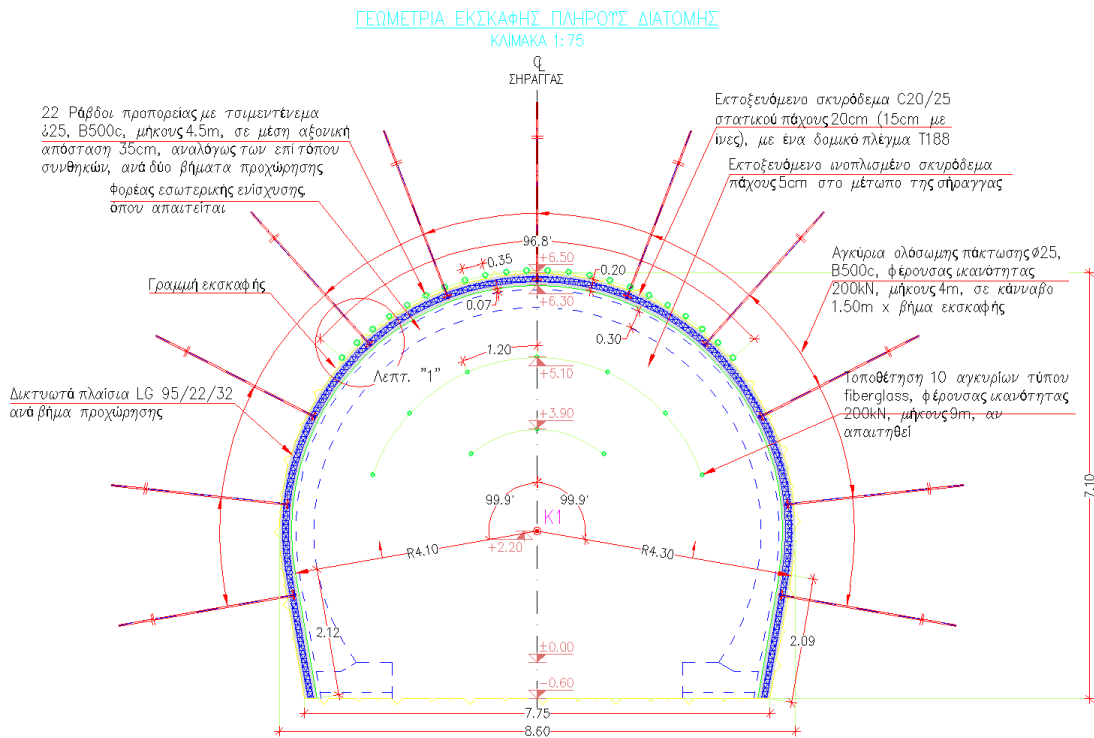
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ & ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ Β

Πίνακας 7. Κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης Β

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ & ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ Β	
ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-1:</u> Βιοτιτικός γνεύσιος υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένος, με τιμές GSI = 50-70, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $400 \leq H < 600m$. • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-2:</u> Βιοτιτικός γνεύσιος μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος, με τιμές GSI = 30-50, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $200m \leq H < 400m$. • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-3:</u> Βιοτιτικός γνεύσιος έντονα κερματισμένος και αποδιοργανωμένος, ισχυρά αποσαθρωμένος έως τοπικά εδαφοποιημένος, με τιμές GSI = 20-30, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $100m \leq H < 200m$. • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα Mg-1:</u> Οριζοντας μαρμάρων υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένος, με τιμές GSI = 50-70, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $400 \leq H < 600m$. • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα Mg-2:</u> Οριζοντας μαρμάρων μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος, με τιμές GSI = 30-50, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $200m \leq H < 400m$.
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	<p>Εκσκαφή με τη χρήση εκρηκτικών. Ολομέτωπη διάνοιξη.</p>
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Συστηματική εφαρμογή εκτοξευομένου σκυροδέματος στο θόλο και τις παρειές της διατομής, στατικού πάχους 20cm (15cm με ίνες) με ένα δομικό πλέγμα T188. ▪ Συστηματική εφαρμογή, ανά βήμα εκσκαφής, δικτυωτού πλαισίου LG 95/22/32. ▪ Συστηματική εφαρμογή ινοπλισμένου εκτοξευομένου σκυροδέματος πάχους 5cm στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής. ▪ Συστηματική εφαρμογή αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης Φ25, B500c, φέρουσας ικανότητας 200kN, μήκους 4m σε κάρναβο 1,5m X βήμα εκσκαφής. ▪ Αναλόγως των επί τόπου συνθηκών, εφαρμογή ράβδων προπορείας με τσιμεντένεμα, Φ25, B500c, μήκους 4,5m σε μέση αξονική απόσταση 35cm, ανά δύο βήματα εκσκαφής. ▪ Αναλόγως των επί τόπου συνθηκών, εφαρμογή 10 αγκυρίων fiberglass στο μέτωπο εκσκαφής, μήκους 9m και φέρουσας ικανότητας 200kN.
ΒΗΜΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	1,5m ~ 2,0m

Πίνακας 8. Στάδια κατασκευής κατηγορίας εκσκαφής και υποστήριξης Β

ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ		ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ 1.50~2.00m
A. ΟΛΟΜΕΤΩΠΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ		
1. Εφαρμογή ράβδων προπορείας, αναλόγως των επί τόπου συνθηκών.		X
2. Εφαρμογή θυσιαζόμενων αγκυριών στο μέτωπο fiberglass, εάν απαιτείται.		X
3. Εκσκαφή πλήρους διατομής.		X
4. Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων (ξεσκάρωμα).		X
5. Εφαρμογή 1ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής και 5cm, στο μέτωπο της εκσκαφής.		X
6. Εφαρμογή δικτυωτού πλαισίου LG 95/22/32.		X
7. Εφαρμογή 2ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 10 cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.		X
8. Διάτρηση και εφαρμογή αγκυριών.		X
9. Εφαρμογή δομικού πλέγματος T188.		X
10. Εφαρμογή 3ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm (χωρίς ίνες), στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.		X-1
* Εφαρμογή αποστραγγιστικών οπών στην περίμετρο της εκσκαφής, εάν απαιτείται.		(*)



Σχέδιο 3. Τυπική διατομή εκσκαφής και υποστήριξης σήραγγας –Κατηγορία Β

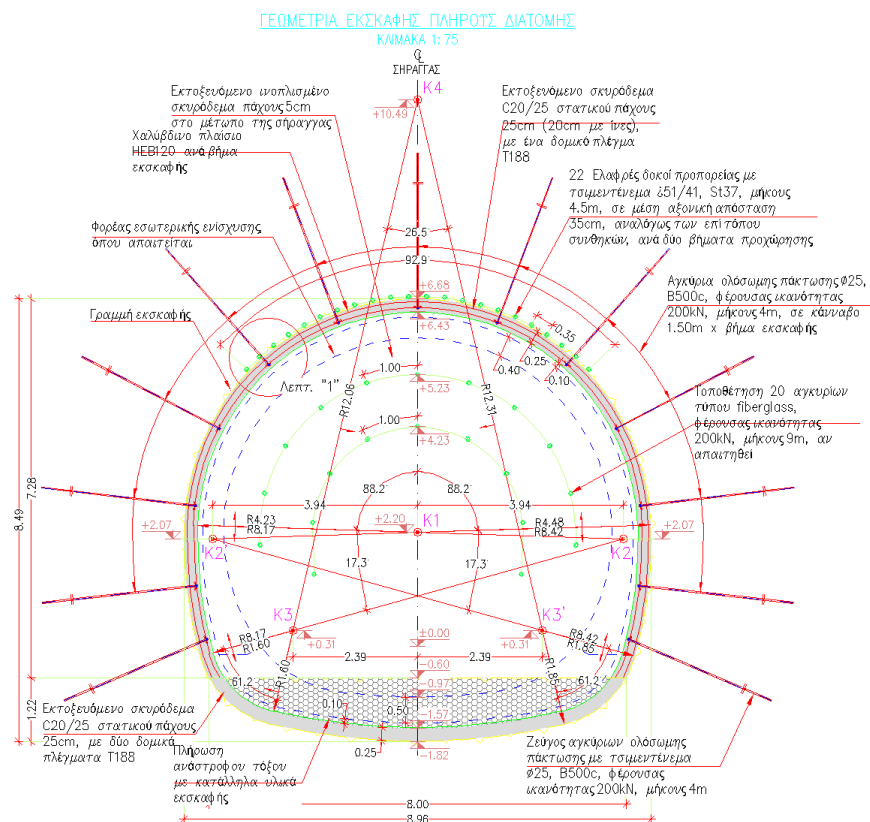
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ & ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ C

Πίνακας 9. Κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης C

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ & ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ C	
ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> • Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-1: Βιοτιτικός γνεύσιος υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένος, με τιμές GSI = 50-70, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $H \geq 600m$. • Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-2: Βιοτιτικός γνεύσιος μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος, με τιμές GSI = 30-50, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $400 \leq H < 600m$. • Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-3: Βιοτιτικός γνεύσιος έντονα κερματισμένος και αποδιοργανωμένος, ισχυρά αποσαθρωμένος έως τοπικά εδαφοποιημένος, με τιμές GSI = 20-30, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $200m \leq H < 400m$. • Τεχνικογεωλογική ενότητα Mr-1: Οριζοντας μαρμάρων υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένος, με τιμές GSI = 50-70, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $H \geq 600m$. • Τεχνικογεωλογική ενότητα Mr-2: Οριζοντας μαρμάρων μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος, με τιμές GSI = 30-50, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $400m \leq H < 600m$. • Τεχνικογεωλογική ενότητα Ab-1: Αμφιβολίτες-αμφιβολιτικοί γνεύσιοι στην περιοχή του στομίου της σήραγγας και στα πρώτα μέτρα του υπογείου τμήματος, με τιμές GSI = 20-40, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $H \leq 50m$.
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	Εκσκαφή κυρίως με τη χρήση εκρηκτικών και βαρέων μηχανικών μέσων κατά θέσεις. Ολομέτωπη διάνοιξη.
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Συστηματική εφαρμογή εκτοξευμένου σκυροδέματος στο θόλο και τις παρειές της διατομής, στατικού πάχους 25cm (20cm με ίνες) με ένα δομικό πλέγμα T188. ▪ Συστηματική εφαρμογή, ανά βήμα εκσκαφής, χαλύβδινου πλαισίου HEB 120. ▪ Συστηματική εφαρμογή τελικού ανάστροφου τόξου από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 25cm, με δύο δομικά πλέγματα T188. ▪ Συστηματική εφαρμογή ινοπλισμένου εκτοξευμένου σκυροδέματος πάχους 5cm στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής. ▪ Συστηματική εφαρμογή αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης $\Phi 25$, B500c, φέρουσας ικανότητας 200kN, μήκους 4m σε κάρναβο 1,5m X βήμα εκσκαφής. ▪ Συστηματική εφαρμογή ζεύγους αγκυρίων συγκράτησης των μεταλλικών πλαισίων, ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα $\Phi 25$, B500c, μήκους 4m και φέρουσας ικανότητας 200kN. ▪ Αναλόγως των επί τόπου συνθηκών, εφαρμογή ελαφρών δοκών προπορείας με τσιμεντένεμα, $\Phi 51/41$, St37, μήκους 4,5m σε μέση αξονική απόσταση 35cm, ανά δύο βήματα εκσκαφής. ▪ Αναλόγως των επί τόπου συνθηκών, εφαρμογή 20 αγκυρίων fiberglass στο μέτωπο εκσκαφής, μήκους 9m και φέρουσας ικανότητας 200kN.
ΒΗΜΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	1,5m

Πίνακας 10. Στάδια κατασκευής κατηγορίας εκσκαφής και υποστήριξης C

ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ		ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ 1.50m
A. ΟΛΟΜΕΤΩΠΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ		
1. Εφαρμογή ελαφρών δοκών προπορείας, αναλόγως των επί τόπου συνθηκών.		X
2. Εφαρμογή θυσαζόμενων αγκυριών στο μέτωπο fiberglass, εάν απαιτείται.		X
3. Εκσκαφή πλήρους διατομής.		X
4. Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων (ξεσκάρωμα).		X
5. Εφαρμογή 1ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm, στον θόλο και τις παρειές της εκσκαφής και 5cm, στο μέτωπο της εκσκαφής.		X
6. Εφαρμογή μεταλλικού πλαισίου HEB120.		X
7. Εφαρμογή 2ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 10 cm, στον θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.		X
8. Διάτρηση και εφαρμογή αγκυριών.		X
9. Εφαρμογή δομικού πλέγματος T188.		X-1
10. Εφαρμογή 3ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 10cm (5cm ινοπλισμένο και 5cm χωρίς ίνες), στον θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.		X-1
11. Το ανάστροφο τόξο εκσκάπτεται κάθε δύο βήματα εκσκαφής. Οποιαδήποτε υπερεκσκαφή στο ανάστροφο τόξο και ειδικά στην περιοχή έδρασης των πλαισίων πρέπει να αποφεύγεται. Εάν απαιτείται, πρέπει να διενεργείται επανεπίκλιση τυχόν υπερεκσκαφής με θραυστά σκύρα (απαραίτητη η συμπίκνωσή τους), ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Έλεγχος της γεωμετρίας του ανάστροφου τόξου. Εφαρμογή των δύο δομικών πλεγμάτων T188 και δομικού πλέγματος στην περιοχή συναρμογής. Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος 25cm χωρίς ίνες.		X-2/ X-3
12. Διαμόρφωση προσωρινού δαπέδου εργασίας με πλήρωση του ανάστροφου τόξου στην περιοχή που αντιστοιχεί στα βήματα προχώρησης.		X-4
* Εφαρμογή αποστραγγιστικών οπών στην περίμετρο της εκσκαφής, εάν απαιτείται.		(*)



Σχέδιο 4. Τυπική διατομή εκσκαφής και υποστήριξης σήραγγας –Κατηγορία C

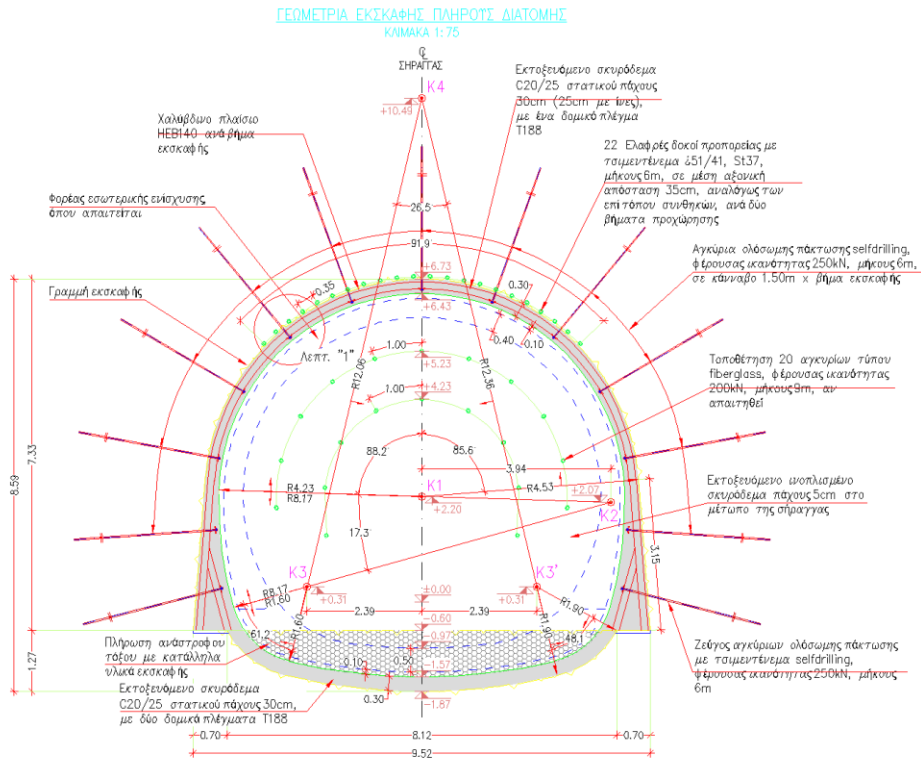
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ & ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ D

Πίνακας 11. Κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης D

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ & ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ D	
ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> • Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-2: Βιοτιτικός γενέσιος μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος, με τιμές GSI = 30-50, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $H \geq 600m$. • Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-3: Βιοτιτικός γενέσιος έντονα κερματισμένος και αποδιοργανωμένος, ισχυρά αποσαθρωμένος έως τοπικά εδαφοποιημένος, με τιμές GSI = 20-30, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $400m \leq H < 500m$. • Τεχνικογεωλογική ενότητα Mr-2: Ορίζοντας μαρμάρων μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος, με τιμές GSI = 30-50, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $600m \leq H < 700m$. • Τεχνικογεωλογική ενότητα F-1a: Ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης, με τιμές GSI = 15-20 πάχους 1,0m-1,5m σε τμήμα της διατομής που δεν επηρεάζει τη συνολική ευστάθεια της εκσκαφής, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $H < 200m$.
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	Εκσκαφή κυρίως με τη χρήση βαρέων μηχανικών μέσων και εκρηκτικών κατά θέσεις. Ολομέτωπη διάνοιξη.
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Συστηματική εφαρμογή εκτοξευομένου σκυροδέματος στο θόλο και τις παρειές της διατομής, στατικού πάχους 30cm (25cm με ίνες) με ένα δομικό πλέγμα T188. ▪ Συστηματική εφαρμογή, ανά βήμα εκσκαφής, χαλύβδινου πλαισίου HEB 140. ▪ Συστηματική εφαρμογή τελικού ανάστροφου τόξου από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 30cm, με δύο δομικά πλέγματα T188. ▪ Συστηματική εφαρμογή elephant foot. ▪ Συστηματική εφαρμογή ινοπλισμένου εκτοξευομένου σκυροδέματος πάχους 5cm στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής. ▪ Συστηματική εφαρμογή αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης selfdrilling, φέρουσας ικανότητας 250kN, μήκους 6m σε κάρναβο 1,5m X βήμα εκσκαφής. ▪ Συστηματική εφαρμογή ζεύγους αγκυρίων συγκράτησης των μεταλλικών πλαισίων, ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα selfdrilling, μήκους 6m και φέρουσας ικανότητας 250kN. ▪ Αναλόγως των επί τόπου συνθηκών, εφαρμογή ελαφρών δοκών προπορείας με τσιμεντένεμα, Φ51/41, St37, μήκους 6m σε μέση αξονική απόσταση 35cm, ανά δύο βήματα εκσκαφής. ▪ Αναλόγως των επί τόπου συνθηκών, εφαρμογή 20 αγκυρίων fiberglass στο μέτωπο εκσκαφής, μήκους 9m και φέρουσας ικανότητας 200kN.
ΒΗΜΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	1,0m ~ 1,5m

Πίνακας 12. Στάδια κατασκευής κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης D

ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ		
A. ΟΛΟΜΕΤΩΠΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ		ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ 1.00~1.50m
1. Εφαρμογή ελαφρών δοκών προτορείας, αναλόγως των επί τόπου συνθηκών.		X
2. Εφαρμογή θυσιαζόμενων αγκυρίων στο μέτωπο fiberglass, εάν απαιτείται.		X
3. Εκσκαφή πλήρους διατομής.		X
4. Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων (ξεσκάρωμα).		X
5. Εφαρμογή στρώσης προστασίας μετώπου εκσκαφής από ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ελάχιστου στατικού πάχους 5cm.		X
6. Προσεκτική προετοιμασία της περιοχής της εκσκαφής κάτω από τα elephant feet. Όπου είναι απαραίτητο, θα εκτελείται πλήρωση τυχόν υπερεκσκαφής με θραυστά σκύρα, ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Για την περίπτωση όπου χρησιμοποιηθεί εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, θα πρέπει να μεσολαβήσει χρονικό διάστημα τουλάχιστον 4 ωρών, προτού εγκατασταθεί το μεταλλικό πλαίσιο, ώστε να αποφευχθούν καθιζήσεις λόγω ίδιου βάρους του φορέα (πλαίσιο και κέλυφος εκτοξευόμενου σκυροδέματος).		X
7. Εφαρμογή 1ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5 cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.		X
8. Εφαρμογή μεταλλικού πλαισίου HEB140.		X
9. Εφαρμογή 2ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 10 cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.		X
10. Διάτρηση και εφαρμογή αγκυρίων.		X
11. Διάτρηση και εφαρμογή των αγκυρίων συγκράτησης πλαισίων.		X-1
12. Εφαρμογή 3ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 10 cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.		X-1
13. Εφαρμογή δομικού πλέγματος T188.		X-2
14. Εφαρμογή 4ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5 cm χωρίς ίνες, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.		X-2
15. Το ανάστροφο τόξο εκσκάπτεται κάθε δύο βήματα εκσκαφής. Οποιαδήποτε υπερεκσκαφή στο ανάστροφο τόξο και ειδικά στην περιοχή έδρασης των πλαισίων θα αποφεύγεται. Εάν απαιτείται, θα διενεργείται επανεπίκνωση τυχόν υπερεκσκαφής με θραυστά σκύρα (απαραίτητη η συμπίκνωσή τους), ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Έλεγχος της γεωμετρίας του ανάστροφου τόξου. Εφαρμογή των δύο δομικών πλεγμάτων T 188 και δομικού πλέγματος στην περιοχή συναρμογής. Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος 30 cm χωρίς ίνες.		X-3/ X-4
16. Διαμόρφωση προσωρινού δαπέδου εργασίας με πλήρωση του ανάστροφου τόξου στην περιοχή που αντιστοιχεί στα βήματα προχώρησης.		X-5
* Εφαρμογή αποστραγγιστικών οπών στην περίμετρο της εκσκαφής, εάν απαιτείται.		(*)



Σχέδιο 5. Τυπική διατομή εκσκαφής και υποστήριξης σήραγγας –Κατηγορία D

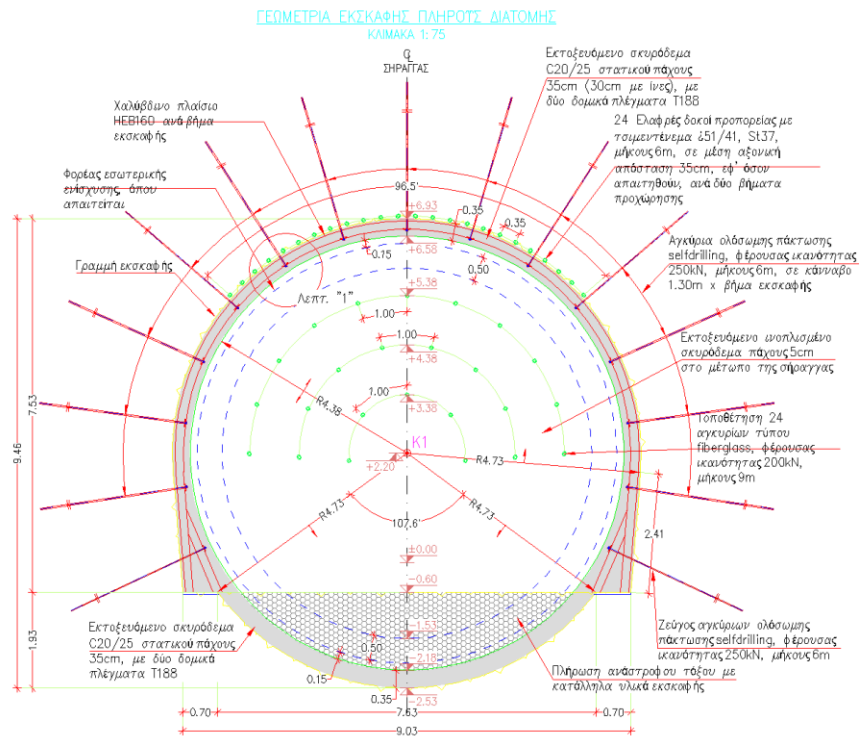
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ & ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ Ε- ΧΩΡΙΣ ΒΑΡΙΕΣ ΔΟΚΟΥΣ ΠΡΟΠΟΡΕΙΑΣ

Πίνακας 13. Κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης Ε, χωρίς βαριές δοκούς προπορείας

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ & ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ Ε ΧΩΡΙΣ ΒΑΡΙΕΣ ΔΟΚΟΥΣ ΠΡΟΠΟΡΕΙΑΣ	
ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> • Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-3: Βιοτιτικός γνεύσιος έντονα κερματισμένος και αποδιοργανωμένος, ισχυρά αποσθρωμένος έως τοπικά εδαφοποιημένος, με τιμές GSI = 20-30, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $500 \leq H < 700m$. • Τεχνικογεωλογική ενότητα Mr-2: Οριζοντας μαρμάρων μέτρια έως ισχυρά αποσθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος, με τιμές GSI = 30-50, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $H \geq 700m$. • Τεχνικογεωλογική ενότητα F-1a: Ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης, με τιμές GSI = 15-20 πάχους 1,0m-1,5m σε τμήμα της διατομής που δεν επηρεάζει τη συνολική ευστάθεια της εκσκαφής, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $200m \leq H < 600m$. • Τεχνικογεωλογική ενότητα F-1: Ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης, με τιμές GSI = 15-20 στο σύνολο της διατομής, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $H < 200m$.
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	Εκσκαφή με τη χρήση μηχανικών μέσων. Ολομέτωπη διάνοιξη.
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Συστηματική εφαρμογή εκτοξευομένου σκυροδέματος στο θόλο και τις παρειές της διατομής, στατικού πάχους 35cm (30cm με ίνες) με δύο δομικά πλέγματα T188. ▪ Συστηματική εφαρμογή, ανά βήμα εκσκαφής, χαλύβδινου πλαισίου HEB 160. ▪ Συστηματική εφαρμογή τελικού ανάστροφου τόξου από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 35cm, με δύο δομικά πλέγματα T188. ▪ Συστηματική εφαρμογή elephant foot. ▪ Συστηματική εφαρμογή ινοπλισμένου εκτοξευομένου σκυροδέματος πάχους 5cm στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής. ▪ Συστηματική εφαρμογή αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης selfdrilling, φέρουσας ικανότητας 250kN, μήκους 6m σε κάρναβο 1,3m X βήμα εκσκαφής. ▪ Συστηματική εφαρμογή ζεύγους αγκυρίων συγκράτησης των μεταλλικών πλαισίων, ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα selfdrilling, μήκους 6m και φέρουσας ικανότητας 250kN. ▪ Αναλόγως των επί τόπου συνθηκών, εφαρμογή ελαφρών δοκών προπορείας με τσιμεντένεμα, Φ51/41, St37, μήκους 6m σε μέση αξονική απόσταση 35cm, ανά δύο βήματα εκσκαφής. ▪ Συστηματική εφαρμογή 24 αγκυρίων fiberglass στο μέτωπο εκσκαφής, μήκους 9m και φέρουσας ικανότητας 200kN.
ΒΗΜΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	1,0m

Πίνακας 14. Στάδια κατασκευής κατηγορίας εκσκαφής και υποστήριξης, χωρίς βαριές δοκούς προπορείας

ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ		ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ 1.00m
A. ΟΛΟΜΕΤΩΠΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ		
1. Εφαρμογή ελαφρών δοκών προπορείας, αναλόγως των επί τόπου συνθηκών.		X
2. Εφαρμογή θυσαζόμενων αγκυριών στο μέτωπο fiberglass. Επανάληψη της εργασίας κάθε 6 βήματα προχώρησης.		X
3. Εκσκαφή πλήρους διατομής.		X
4. Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων (ξεσκάρωμα).		X
5. Εφαρμογή στρώσης προστασίας μετώπου εκσκαφής από ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυροδέμα ελάχιστου στατικού πάχους 5cm.		X
6. Προσεκτική προετοιμασία της περιοχής της εκσκαφής κάτω από τα elephant feet. Όπου είναι απαραίτητο, θα εκτελείται πλήρωση τυχόν υπερεκσκαφής με θραυστά σκύρα, ή εκτοξευόμενο σκυροδέμα. Για την περίπτωση όπου χρησιμοποιηθεί εκτοξευόμενο σκυροδέμα, θα μεσολαβεί χρονικό διάστημα τουλάχιστον 4 ωρών, προτού εγκατασταθεί το μεταλλικό πλαίσιο, ώστε να αποφευχθούν καθιζήσεις λόγω ιδίου βάρους του φορέα (πλαίσιο και κέλυφος εκτοξευόμενου σκυροδέματος).		X
7. Εφαρμογή 1ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.		X
8. Εφαρμογή δομικού πλεγματος T188.		X
9. Εφαρμογή μεταλλικού πλαισίου HEB160.		X
10. Εφαρμογή 2ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 15cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.		X
11. Διάτρηση και εφαρμογή αγκυριών.		X-1
12. Εφαρμογή 3ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 10cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.		X-1
13. Εφαρμογή δομικού πλεγματος T188.		X-2
14. Εφαρμογή 4ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm χωρίς ίνες, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.		X-2
15. Το ανάστροφο τόξο εκσκάπεται κάθε δύο βήματα εκσκαφής. Οποιαδήποτε υπερεκσκαφή στο ανάστροφο τόξο και ειδικά στην περιοχή έδρασης των πλαισίων θα αποφεύγεται. Θα διενεργείται επανεπίχωση τυχόν υπερεκσκαφής με θραυστά σκύρα (απαραίτητη η συμπίκνωσή τους), ή εκτοξευόμενο σκυροδέμα. Έλεγχος της γεωμετρίας του ανάστροφου τόξου. Εφαρμογή των δύο δομικών πλεγμάτων T188 και δομικού πλεγματος στην περιοχή συναρμογής. Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος 35cm χωρίς ίνες.		X-3/ X-4
16. Διαμόρφωση προσωρινού δαπέδου εργασίας με πλήρωση του ανάστροφου τόξου στην περιοχή που αντιστοιχεί στα βήματα προχώρησης.		X-5
* Εφαρμογή αποστραγγιστικών οπών στην περίμετρο της εκσκαφής, εάν απαιτείται.		(*)



Σχέδιο 6. Τυπική διατομή εκσκαφής και υποστήριξης σήραγγας –Κατηγορία Ε χωρίς βαριές δοκούς προπορείας

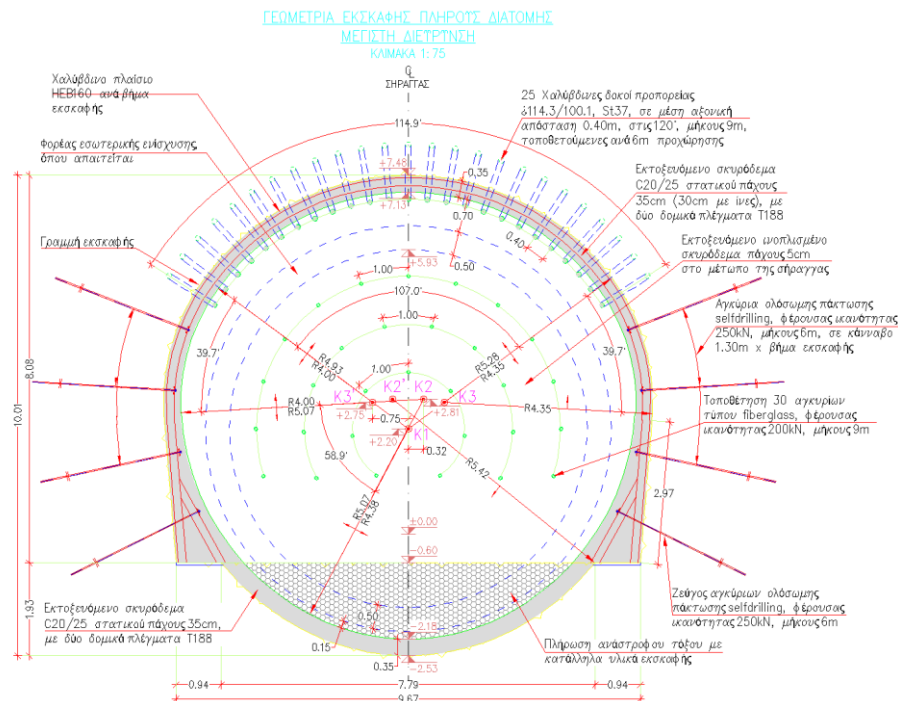
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ & ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ Ε- ΜΕ ΒΑΡΙΕΣ ΔΟΚΟΥΣ ΠΡΟΠΟΡΕΙΑΣ

Πίνακας 15. Κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης Ε, με βαριές δοκούς προπορείας

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ & ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ Ε ΜΕ ΒΑΡΙΕΣ ΔΟΚΟΥΣ ΠΡΟΠΟΡΕΙΑΣ	
ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> • Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-3: Βιοτιτικός γνεύσιος έντονα κερματισμένος και αποδιοργανωμένος, ισχυρά αποσθρωμένος έως τοπικά εδαφοποιημένος, με τιμές GSI = 20-30, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $500 \leq H < 700m$. • Τεχνικογεωλογική ενότητα Mr-2: Οριζοντας μαρμάρων μέτρια έως ισχυρά αποσθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος, με τιμές GSI = 30-50, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $H \geq 700m$. • Τεχνικογεωλογική ενότητα F-1a: Ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης, με τιμές GSI = 15-20 πάχους 1,0m-1,5m σε τμήμα της διατομής που δεν επηρεάζει τη συνολική ευστάθεια της εκσκαφής, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $200m \leq H < 600m$. • Τεχνικογεωλογική ενότητα F-1: Ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης, με τιμές GSI = 15-20 στο σύνολο της διατομής, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $H < 200m$.
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	Εκσκαφή με τη χρήση μηχανικών μέσων. Ολομέτωπη διάνοιξη.
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Συστηματική εφαρμογή εκτοξευομένου σκυροδέματος στο θόλο και τις παρειές της διατομής, στατικού πάχους 35cm (30cm με ίνες) με δύο δομικά πλέγματα T188. ▪ Συστηματική εφαρμογή, ανά βήμα εκσκαφής, χαλύβδινου πλαισίου HEB 160. ▪ Συστηματική εφαρμογή τελικού ανάστροφου τόξου από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 35cm, με δύο δομικά πλέγματα T188. ▪ Συστηματική εφαρμογή elephant foot. ▪ Συστηματική εφαρμογή ινοπλισμένου εκτοξευομένου σκυροδέματος πάχους 5cm στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής. ▪ Συστηματική εφαρμογή αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης selfdrilling, φέρουσας ικανότητας 250kN, μήκους 6m σε κάρναβο 1,3m X βήμα εκσκαφής. ▪ Συστηματική εφαρμογή ζεύγους αγκυρίων συγκράτησης των μεταλλικών πλαισίων, ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα selfdrilling, μήκους 6m και φέρουσας ικανότητας 250kN. ▪ Εφαρμογή δοκών προπορείας με τσιμεντένεμα, Φ114,3/100,1, St37, μήκους 9m κάθε 6m εκσκαφής, τοποθετούμενοι σε μέση αξονική απόσταση 40cm. ▪ Συστηματική εφαρμογή 30 αγκυρίων fiberglass στο μέτωπο εκσκαφής, μήκους 9m και φέρουσας ικανότητας 200kN.
ΒΗΜΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	1,0m

Πίνακας 16. Στάδια κατασκευής κατηγορίας εκσκαφής και υποστήριξης E, με βαριές δοκούς προπορείας

ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	
A. ΟΛΟΜΕΤΩΠΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ	ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ 1.00m
1. Εφαρμογή δοκών προπορείας . Επανάληψη της εργασίας κάθε 6 βήματα προχώρησης .	X
2. Εφαρμογή θυσαζόμενων αγκυρίων στο μέτωπο fiberglass. Επανάληψη της εργασίας κάθε 6 βήματα προχώρησης, σε διαφορετικούς χρόνους από τις δοκούς προπορείας .	X
3. Εκσκαφή πλήρους διατομής.	X
4. Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων (ξεσκάρωμα).	X
5. Εφαρμογή στρώσης προστασίας μετώπου εκσκαφής από ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ελάχιστου στατικού πάχους 5 cm.	X
6. Προσεκτική προετοιμασία της περιοχής της εκσκαφής κάτω από τα elephant feet. Όπου είναι απαραίτητο, θα εκτελείται πλήρωση τυχόν υπερεκσκαφής με θραυστά σκύρα , ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Για την περίπτωση όπου χρησιμοποιηθεί εκτοξευόμενο σκυρόδεμα , θα μεσολαβεί χρονικό διάστημα τουλάχιστον 4 ωρών, προτού εγκατασταθεί το μεταλλικό πλαίσιο , ώστε να αποφευχθούν καθιζήσεις λόγω ιδίου βάρους του φορέα (πλάισιο και κέλυφος εκτοξευόμενου σκυροδέματος).	X
7. Εφαρμογή 1ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5 cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής .	X
8. Εφαρμογή δομικού πλέγματος T188.	X
9. Εφαρμογή μεταλλικού πλαισίου HEB160.	X
10. Εφαρμογή 2ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 15 cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής .	X
11. Διάτρηση και εφαρμογή αγκυρίων.	X
12. Διάτρηση και εφαρμογή αγκυρίων συγκράτησης πλαισίων.	X-1
13. Εφαρμογή 3ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 10 cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής .	X-1
14. Εφαρμογή δομικού πλέγματος T188.	X-2
15. Εφαρμογή 4ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5 cm χωρίς ίνες, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής .	X-2
16. Το ανάστροφο τόξο εκσκάπτεται κάθε δύο βήματα εκσκαφής . Οποιαδήποτε υπερεκσκαφή στο ανάστροφο τόξο και ειδικά στην περιοχή έδρασης των πλαισίων θα αποφεύγεται . Θα διενεργείται επανεπίχωση τυχόν υπερεκσκαφής με θραυστά σκύρα (απαραίτητη η συμπύκνωσή τους), ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα . Έλεγχος της γεωμετρίας του ανάστροφου τόξου. Εφαρμογή των δύο δομικών πλεγμάτων T 188 και δομικού πλέγματος στην περιοχή συναρμογής. Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος 35 cm χωρίς ίνες.	X-3/ X-4
17. Διαμόρφωση προσωρινού δαπέδου εργασίας με πλήρωση του ανάστροφου τόξου στην περιοχή που αντιστοιχεί στα βήματα προχώρησης .	X-5
* Εφαρμογή αποστραγγιστικών οπών στην περίμετρο της εκσκαφής , εάν απαιτείται.	(*)



Σχέδιο 7. Τυπική διατομή εκσκαφής και υποστήριξης σήραγγας –Κατηγορία E με βαριές δοκούς προπορείας

Ας σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι η κατηγορία Ε διακρίνεται σε δύο επιμέρους κατηγορίες, με και χωρίς δοκούς προπορείας, για να είναι δυνατό να αντιμετωπιστούν ζητήματα εκτεταμένων ασταθειών στο μέτωπο της εκσκαφής (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ & ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ SQ

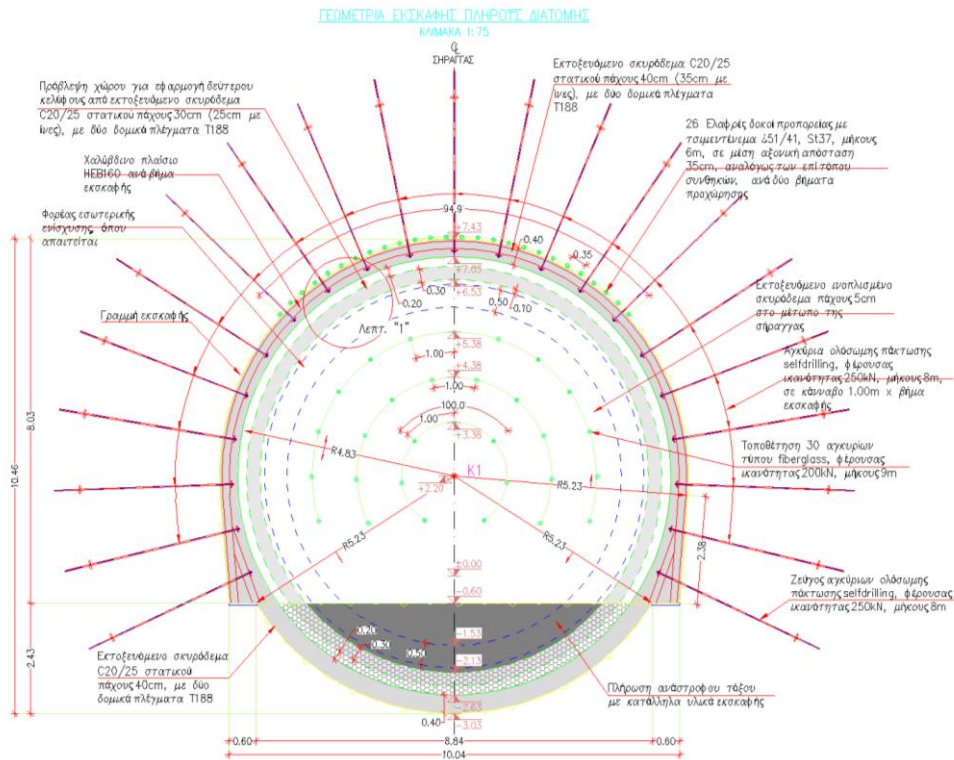
Πίνακας 17. Κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης SQ

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ & ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ SQ	
ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> • Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-3: Βιοτιτικός γνεύσιος έντονα κερματισμένος και αποδιοργανωμένος, ισχυρά αποσθρωμένος έως τοπικά εδαφοποιημένος, με τιμές GSI = 20-30, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $H \geq 700m$. • Τεχνικογεωλογική ενότητα F-1a: Ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης, με τιμές GSI = 15-20 πάχους 1,0m-1,5m σε τμήμα της διατομής που δεν επηρεάζει τη συνολική ευστάθεια της εκσκαφής, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $H \geq 600m$. • Τεχνικογεωλογική ενότητα F-1: Ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης, με τιμές GSI = 15-20 στο σύνολο της διατομής για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $200m \leq H < 600m$.
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	Εκσκαφή με τη χρήση μηχανικών μέσων. Ολομέτωπη διάνοιξη.
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Συστηματική εφαρμογή εκτοξευομένου σκυροδέματος στο θόλο και τις παρειές της διατομής, στατικού πάχους 40cm (35cm με ίνες) με δύο δομικά πλέγματα T188. ▪ Πρόβλεψη χώρου για εφαρμογή δεύτερου κελύφους από εκτοξευόμενο σκυροδέμα στατικού πάχους 30cm (25cm με ίνες) με δύο δομικά πλέγματα T188. ▪ Συστηματική εφαρμογή, ανά βήμα εκσκαφής, χαλύβδινου πλαισίου HEB 160. ▪ Συστηματική εφαρμογή τελικού ανάστροφου τόξου από εκτοξευόμενο σκυροδέμα στατικού πάχους 40cm, με δύο δομικά πλέγματα T188. ▪ Συστηματική εφαρμογή elephant foot. ▪ Συστηματική εφαρμογή ινοπλισμένου εκτοξευομένου σκυροδέματος πάχους 5cm στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής. ▪ Συστηματική εφαρμογή αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης selfdrilling, φέρουσας ικανότητας 250kN, μήκους 8m σε κάρναβο 1,0m X βήμα εκσκαφής. ▪ Συστηματική εφαρμογή ζεύγους αγκυρίων συγκράτησης των μεταλλικών πλαισίων, ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα selfdrilling, μήκους 8m και φέρουσας ικανότητας 250kN. ▪ Αναλόγως των επί τόπου συνθηκών, εφαρμογή ελαφρών δοκών προπορείας με τσιμεντένεμα, Φ51/41, St37, μήκους 6m σε μέση αξονική απόσταση 35cm, ανά δύο βήματα εκσκαφής. ▪ Συστηματική εφαρμογή 30 αγκυρίων fiberglass στο μέτωπο εκσκαφής, μήκους 9m και φέρουσας ικανότητας 200kN.
ΒΗΜΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	1,0m

Όμως εάν εμφανιστούν δυσμενέστερες γεωτεχνικές συνθήκες (της ενότητας F-1) και για ένα ύψος υπερκειμένων που θα υπερβαίνει τα 600m, η κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης SQ θα αλλάζει σε LSC (Lining Stress Controllers), όπου θα γίνεται εφαρμογή ρυθμιστών πίεσης του κελύφους της υποστήριξης. Ακολουθεί, λοιπόν, η κατηγορία LSC (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Πίνακας 18. Στάδια κατασκευής κατηγορίας εκσκαφής και υποστήριξης SQ

ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ		ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ 1.00m
A. ΟΛΟΜΕΤΩΠΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ		
1. Εφαρμογή ελαφρών δοκών προπορείας, αναλόγως των επί τόπου συνθηκών.	X	
2. Εφαρμογή θυσαζόμενων αγκυρίων στο μέτωπο fiberglass. Επανάληψη της εργασίας κάθε 6 βήματα προχώρησης.	X	
3. Εκσκαφή πλήρους διατομής.	X	
4. Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων (ξσκάρωμα).	X	
5. Εφαρμογή στρώσης προστασίας μετώπου εκσκαφής από ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ελάχιστου στατικού πάχους 5 cm.	X	
6. Προσεκτική προετοιμασία της περιοχής της εκσκαφής κάτω από τα elephant feet. Όπου είναι απαραίτητο, θα εκτελείται πλήρωση τυχόν υπερεκσκαφής με θραυστά σκύρα, ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Για την περίπτωση όπου χρησιμοποιηθεί εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, θα μεσολαβεί χρονικό διάστημα τουλάχιστον 4 ωρών, προτού εγκατασταθεί το μεταλλικό πλαίσιο, ώστε να αποφευχθούν καθιζήσεις λόγω ιδίου βάρους του φορέα (πλαίσιο και κέλυφος εκτοξευόμενου σκυροδέματος).	X	
7. Εφαρμογή 1ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5 cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.	X	
8. Εφαρμογή δομικού πλέγματος T188.	X	
9. Εφαρμογή μεταλλικού πλαισίου HEB160.	X	
10. Εφαρμογή 2ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 15 cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.	X	
11. Διάντρωση και εφαρμογή αγκυρίων.	X	
12. Διάντρωση και εφαρμογή αγκυρίων συγκράτησης πλαισίων.	X-1	
13. Εφαρμογή 3ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 15 cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.	X-1	
14. Εφαρμογή δομικού πλέγματος T188.	X-2	
15. Εφαρμογή 4ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5 cm χωρίς ίνες, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.	X-2	
16. Το ανάστροφο τόξο εκσκάπτεται κάθε δύο βήματα εκσκαφής. Οποιαδήποτε υπερεκσκαφή στο ανάστροφο τόξο και ειδικά στην περιοχή έδρασης των πλαισίων θα αποφεύγεται. Θα διενεργείται επανεπίκλιση τυχόν υπερεκσκαφής με θραυστά σκύρα (απαραίτητη η συμπίκνωσή τους), ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Έλεγχος της γεωμετρίας του ανάστροφου τόξου. Εφαρμογή των δύο δομικών πλεγμάτων T 188 και δομικού πλέγματος στην περιοχή συναρμογής. Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος 35 cm χωρίς ίνες.	X-3/ X-4	
17. Διαμόρφωση προσωρινού δαπέδου εργασίας με πλήρωση του ανάστροφου τόξου στην περιοχή που αντιστοιχεί στα βήματα προχώρησης.	X-5	
18. Εφαρμογή εσωτερικού κελύφους εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 30cm, σε τρεις υποστρώσεις (10cm με ίνες, 15cm με ίνες και 5cm χωρίς ίνες).	*	
* Εφαρμογή αποτραγγιστικών οπών στην περίμετρο της εκσκαφής, εάν απαιτείται.	(*)	



Σχέδιο 8. Τυπική διατομή εκσκαφής και υποστήριξης σήραγγας –Κατηγορία SQ

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ & ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ LSC

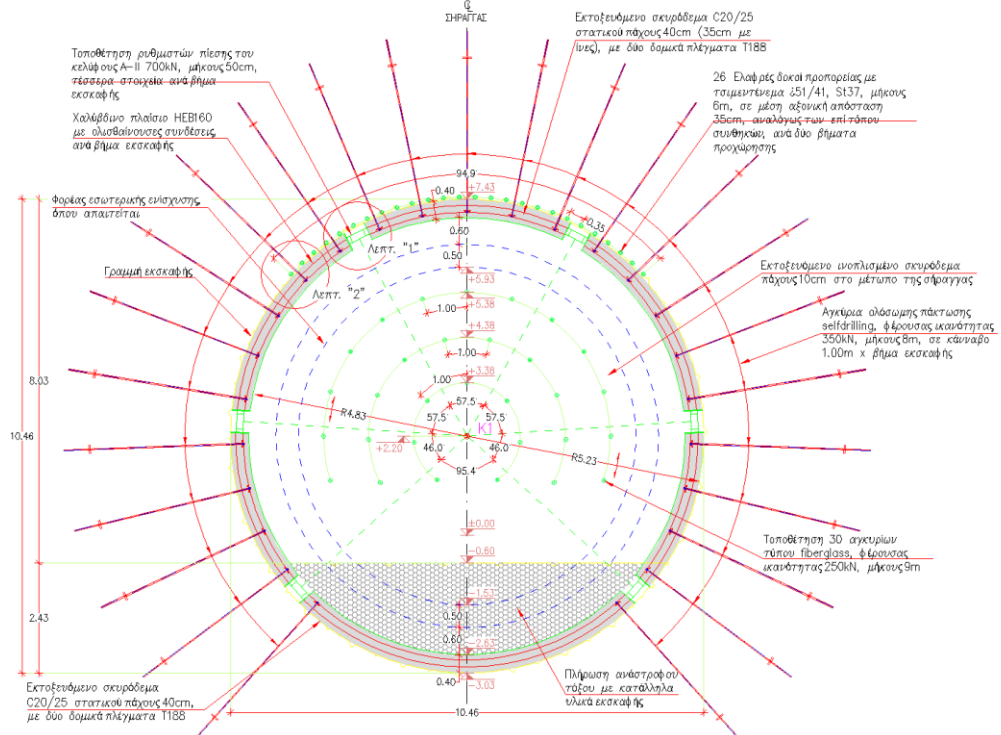
Πίνακας 19. Κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης LSC

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ & ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ LSC	
ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> • Τεχνικογεωλογική ενότητα F-1: Ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης, με τιμές GSI = 15-20 στο σύνολο της διατομής για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $H \geq 600m$.
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	<p>Εκσκαφή με τη χρήση μηχανικών μέσων. Ολομέτωπη διάνοιξη.</p>
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Συστηματική εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο θόλο και τις παρειές της διατομής, στατικού πάχους 40cm (35cm με ίνες) με δύο δομικά πλέγματα T188. ▪ Εφαρμογή ρυθμιστών πίεσης του κελύφους A-II 700 kN (lining stress controllers), έξι στοιχεία ανά βήμα εκσκαφής, μήκους 50cm, σε έξι θέσεις στην περίμετρο του κελύφους. ▪ Συστηματική εφαρμογή, ανά βήμα εκσκαφής, χαλύβδινου πλαισίου HEB 160 με ολισθαίνοντες συνδέσεις. ▪ Συστηματική εφαρμογή τελικού ανάστροφου τόξου από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στατικού πάχους 40cm, με δύο δομικά πλέγματα T188. ▪ Συστηματική εφαρμογή ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10cm στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής. ▪ Συστηματική εφαρμογή αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης selfdrilling, φέρουσας ικανότητας 350kN, μήκους 8m σε κάρναβο 1,0m X βήμα εκσκαφής. ▪ Αναλόγως των επί τόπου συνθηκών, εφαρμογή ελαφρών δοκών προπορείας με τσιμεντένεμα, Φ51/41, St37, μήκους 6m σε μέση αξονική απόσταση 35cm, ανά δύο βήματα εκσκαφής. ▪ Συστηματική εφαρμογή 30 αγκυρίων fiberglass στο μέτωπο εκσκαφής, μήκους 9m και φέρουσας ικανότητας 250kN.
ΒΗΜΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	1,0m

Πίνακας 20. Στάδια κατασκευής κατηγορίας εκσκαφής και υποστήριξης LSC

ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ		ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ 1.00m
A. ΟΛΟΜΕΤΩΠΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ		X
1. Εφαρμογή ελαφρών δοκών προπορείας, αναλόγως των επί τόπου συνθηκών.		X
2. Εφαρμογή θυσιάζομένων αγκυρίων στο μέτωπο fiberglass. Επανάληψη της εργασίας κάθε 6 βήματα προχώρησης.		X
3. Εκσκαφή πλήρους διατομής.		X
4. Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων (ξεσκάρωμα).		X
5. Εφαρμογή θυσιαζόμενων αγκυρίων από ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ελάχιστου στατικού πάχους 10cm.		X
6. Εφαρμογή 1ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.		X
7. Εφαρμογή δομικού πλέγματος T188.		X
8. Εφαρμογή μεταλλικού πλαισίου HEB160.		X
9. Εφαρμογή ρυθμιστών πίεσης του κελύφους.		X
10. Εφαρμογή 2ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 15cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.		X
11. Διάτρηση και εφαρμογή αγκυρίων.		X-1
12. Εφαρμογή 3ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 15cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.		X-1
13. Εφαρμογή δομικού πλέγματος T188.		X-2
14. Εφαρμογή 4ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm χωρίς ίνες, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.		X-2
15. Το ανάστροφο τόξο εκσκάπεται κάθε δύο βήματα εκσκαφής. Οποιαδήποτε υπερεκσκαφή στο ανάστροφο τόξο και ειδικά στην περιοχή έδρασης των πλαισίων θα αποφεύγεται. Θα διενεργείται επανεπίκλιση τυχόν υπερεκσκαφής με θραυστά σκύρα (απαραίτητη η συμπίκνωσή τους), ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Έλεγχος της γεωμετρίας του ανάστροφου τόξου. Εφαρμογή των δύο δομικών πλεγμάτων T188 και δομικού πλέγματος στην περιοχή συναρμογής. Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος 40cm χωρίς ίνες.		X-3/ X-4
16. Διαμόρφωση προσωρινού δαπέδου εργασίας με πλήρωση του ανάστροφου τόξου στην περιοχή που αντιστοιχεί στα βήματα προχώρησης.		X-5
* Εφαρμογή αποστραγγιστικών οπών στην περίμετρο της εκσκαφής, εάν απαιτείται.		(*)

ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΠΛΗΡΟΥΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ
ΚΑΛΩΜΑ 1:75



Σχέδιο 9. Τυπική διατομή εκσκαφής και υποστήριξης σήραγγας –Κατηγορία LSC

Οι δύο κατηγορίες εκσκαφής και υποστήριξης για τις δύο θέσεις στάθμευσης, αντιστοιχούν για τις κατηγορίες εκσκαφής Α ως και D. Πιο συγκεκριμένα η κατηγορία Ι βρίσκει σε εφαρμογή στις θέσεις όπου αντιστοιχούν οι κατηγορίες Α και Β, ενώ αντίθετα οι κατηγορία ΙΙ στις C και D (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

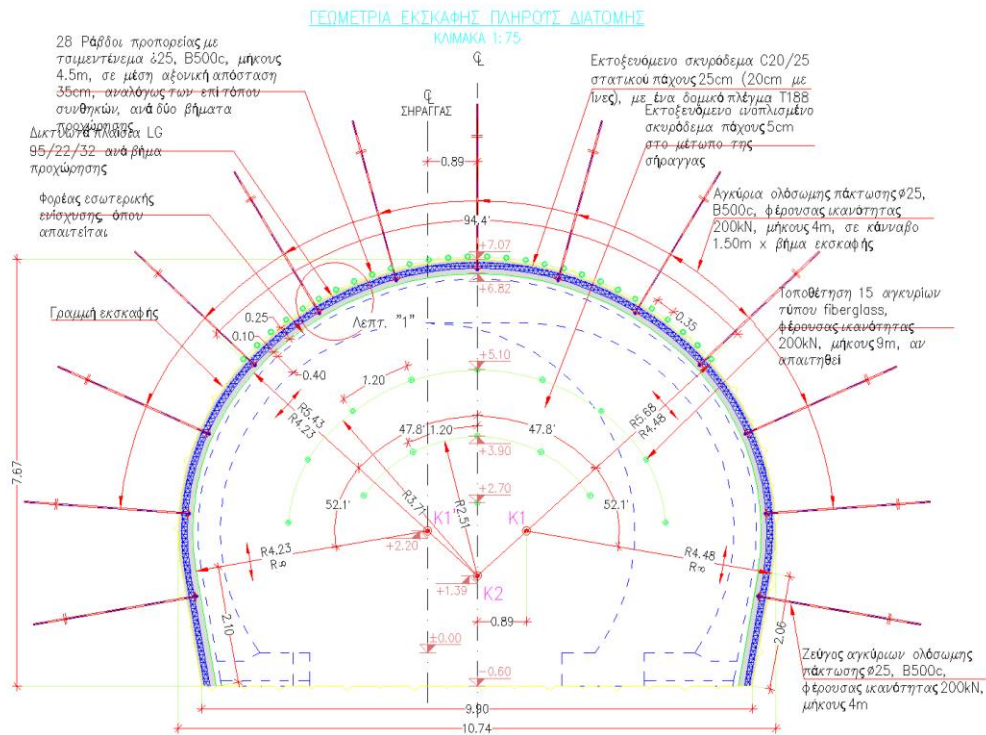
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ & ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ Ι ΣΕ ΘΕΣΗ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ

Πίνακας 21. Κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης Ι σε θέση στάθμευσης

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ & ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ Ι ΣΕ ΘΕΣΗ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ	
ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-1:</u> Βιοτιτικός γνεύσιος υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένος, με τιμές GSI = 50-70, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων H<600m. • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-2:</u> Βιοτιτικός γνεύσιος μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος, με τιμές GSI = 30-50, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων H<400m. • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-3:</u> Βιοτιτικός γνεύσιος έντονα κερματισμένος και αποδιοργανωμένος, ισχυρά αποσαθρωμένος έως τοπικά εδαφοποιημένος, με τιμές GSI = 20-30, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων H<200m. • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα Mr-1:</u> Οριζοντας μαρμάρων υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένος, με τιμές GSI = 50-70, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων H<600m. • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα Mr-2:</u> Οριζοντας μαρμάρων μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος, με τιμές GSI = 30-50, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων H<400m.
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	Εκσκαφή με χρήση εκρηκτικών. Τμηματική διάνοιξη.
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Συστηματική εφαρμογή εκτοξευομένου σκυροδέματος στο θόλο και τις παρειές της διατομής, στατικού πάχους 25cm (20cm με ίνες) με ένα δομικό πλέγμα T188. ▪ Συστηματική εφαρμογή, ανά βήμα εκσκαφής, δικτυωτού πλαισίου LG 95/22/32. ▪ Συστηματική εφαρμογή ινοπλισμένου εκτοξευομένου σκυροδέματος πάχους 5cm στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής. ▪ Συστηματική εφαρμογή αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης Φ25, B500c, φέρουσας ικανότητας 200kN, μήκους 4m σε κάρναβο 1,5m X βήμα εκσκαφής. ▪ Αναλόγως των επί τόπου συνθηκών, εφαρμογή ράβδων προπορείας με τσιμεντένεμα, Φ25, B500c, μήκους 4,5m σε μέση αξονική απόσταση 35cm, ανά δύο βήματα εκσκαφής. ▪ Αναλόγως των επί τόπου συνθηκών, εφαρμογή 15 αγκυρίων fiberglass στο μέτωπο εκσκαφής, μήκους 9m και φέρουσας ικανότητας 200kN.
ΒΗΜΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	1,5m

Πίνακας 22. Στάδια κατασκευής κατηγορίας εκσκαφής και υποστήριξης Ι σε θέση στάθμευσης

ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ		
A. ΤΜΗΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ		ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ 1.50m
1. Εφαρμογή ράβδων προτορείας, αναλόγως των επί τόπου συνθηκών.		X
2. Εφαρμογή θυσιαζόμενων αγκυριών στο μέτωπο fiberglass, εάν απαιτείται.		X
3. Εκσκαφή πλήρους διατομής.		X
4. Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων (ξεσκάρωμα).		X
5. Εφαρμογή 1ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής και 5cm, στο μέτωπο της εκσκαφής.		X
6. Εφαρμογή δικτυωτού πλαισίου LG 95/22/32.		X
7. Εφαρμογή 2ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 10 cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.		X
8. Διάτρηση και εφαρμογή αγκυριών.		X
9. Εφαρμογή δομικού πλέγματος T188.		X
10. Εφαρμογή 3ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 10 cm (5cm ινοπλισμένο και 5cm χωρίς ίνες), στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.		X-1
* Εφαρμογή αποστραγγιστικών οπών στην περίμετρο της εκσκαφής, εάν απαιτείται.		(*)



Σχέδιο 10. Τυπική διατομή εκσκαφής και υποστήριξης περιοχών στάθμευσης σήραγγας – Κατηγορία Ι

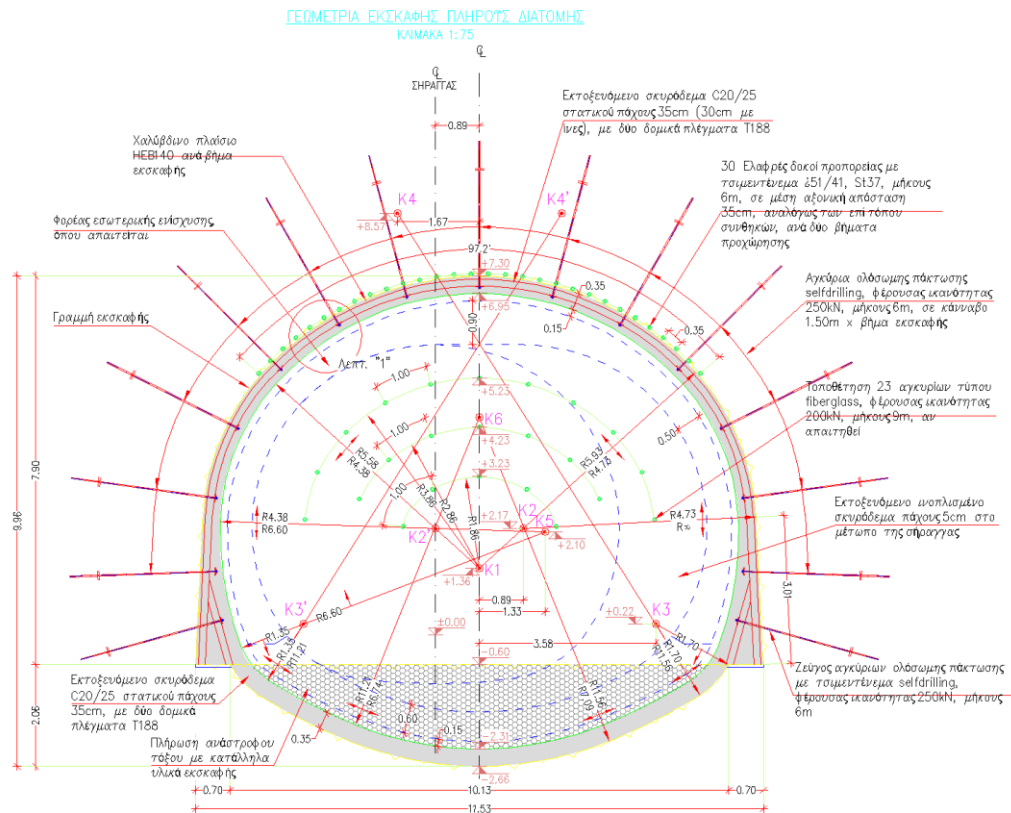
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ & ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΙΙ ΣΕ ΘΕΣΗ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ

Πίνακας 23. Κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης ΙΙ σε θέση στάθμευσης

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ & ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΙΙ ΣΕ ΘΕΣΗ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ	
ΠΕΔΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-1:</u> Βιοτιτικός γνεύσιος υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένος, με τιμές GSI = 50-70, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $H \geq 600m$. • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-2:</u> Βιοτιτικός γνεύσιος μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος, με τιμές GSI = 30-50, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $H \geq 400m$. • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-3:</u> Βιοτιτικός γνεύσιος έντονα κερματισμένος και αποδιοργανωμένος, ισχυρά αποσαθρωμένος έως τοπικά εδαφοποιημένος, με τιμές GSI = 20-30, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $200m \leq H < 500m$. • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα Mr-1:</u> Ορίζοντας μαρμάρων υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένος, με τιμές GSI = 50-70, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $H \geq 600m$. • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα Mr-2:</u> Ορίζοντας μαρμάρων μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένος και κατά τόπους έντονα κερματισμένος, με τιμές GSI = 30-50, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $400m \leq H < 700m$. • <u>Τεχνικογεωλογική ενότητα F-1a:</u> Ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης, με τιμές GSI = 15-20 πάχους 1,0m-1,5m σε τμήμα της διατομής που δεν επηρεάζει τη συνολική ευστάθεια της εκσκαφής, για μέγιστο ύψος υπερκειμένων $H < 200m$.
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	Εκσκαφή κυρίως με τη χρήση βαρέων μηχανικών μέσων και εκρηκτικών κατά θέσεις. Τμηματική διάνοιξη.
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Συστηματική εφαρμογή εκτοξευομένου σκυροδέματος στο θόλο και τις παρειές της διατομής, στατικού πάχους 35cm (30cm με ίνες) με ένα δομικό πλέγμα T188. ▪ Συστηματική εφαρμογή, ανά βήμα εκσκαφής, χαλύβδινου πλαισίου HEB 140. ▪ Συστηματική εφαρμογή τελικού ανάστροφου τόξου από εκτοξευόμενο σκυροδέμα στατικού πάχους 30cm, με δύο δομικά πλέγματα T188. ▪ Συστηματική εφαρμογή elephant foot. ▪ Συστηματική εφαρμογή ινοπλισμένου εκτοξευομένου σκυροδέματος πάχους 5cm στο μέτωπο της υπόγειας εκσκαφής. ▪ Συστηματική εφαρμογή αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης selfdrilling, φέρουσας ικανότητας 250kN, μήκους 6m σε κάρναβο 1,5m X βήμα εκσκαφής. ▪ Συστηματική εφαρμογή ζεύγους αγκυρίων συγκράτησης των μεταλλικών πλαισίων, ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα selfdrilling, μήκους 6m και φέρουσας ικανότητας 250kN. ▪ Αναλόγως των επί τόπου συνθηκών, εφαρμογή ελαφρών δοκών προπορείας με τσιμεντένεμα, Φ51/41, St37, μήκους 6m σε μέση αξονική απόσταση 35cm, ανά δύο βήματα εκσκαφής. ▪ Αναλόγως των επί τόπου συνθηκών, εφαρμογή 23 αγκυρίων fiberglass στο μέτωπο εκσκαφής, μήκους 9m και φέρουσας ικανότητας 200kN.
ΒΗΜΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	1,0m

Πίνακας 24. Στάδια κατασκευής κατηγορίας εκσκαφής και υποστήριξης II σε θέση στάθμευσης

ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	
A. ΤΜΗΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗ	ΒΗΜΑ ΠΡΟΧΩΡΗΣΗΣ 1.00m
1. Εφαρμογή ελαφρών δοκών προτορείας, αναλόγως των επί τόπου συνθηκών.	X
2. Εφαρμογή θυσαζόμενων αγκυρίων στο μέτωπο fiberglass, εάν απαιτείται.	X
3. Εκσκαφή πλήρους διατομής.	X
4. Μηχανική απόσπαση επισφαλών όγκων (ξεσκάρωμα).	X
5. Εφαρμογή στρώσης προστασίας μετώπου εκσκαφής από ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ελάχιστου στατικού πάχους 5cm.	X
6. Προσεκτική προετοιμασία της περιοχής της εκσκαφής κάτω από τα elephant feet. Όπου είναι απαραίτητο, θα εκτελείται πλήρωση τυχόν υπερεκσκαφής με θραυστά σκύρα, ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Για την περίπτωση όπου χρησιμοποιηθεί εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, θα πρέπει να μεσολαβήσει χρονικό διάστημα τουλάχιστον 4 ωρών, προτού εγκατασταθεί το μεταλλικό πλαίσιο, ώστε να αποφευχθούν καθιζήσεις λόγω ίδιου βάρους του φορέα (πλαίσιο και κέλυφος εκτοξευόμενου σκυροδέματος).	X
7. Εφαρμογή 1ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5 cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.	X
8. Εφαρμογή δομικού πλέγματος T188.	X
9. Εφαρμογή μεταλλικού πλαισίου HEB140.	X
10. Εφαρμογή 2ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 15 cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.	X
11. Διάτρηση και εφαρμογή αγκυρίων.	X
12. Εφαρμογή 3ης στρώσης ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 10 cm, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.	X-1
13. Διάτρηση και εφαρμογή των αγκυρίων συγκράτησης πλαισίων.	X
14. Εφαρμογή δομικού πλέγματος T188.	X-2
15. Εφαρμογή 4ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος στατικού πάχους 5 cm χωρίς ίνες, στο θόλο και τις παρειές της εκσκαφής.	X-2
16. Το ανάστροφο τόξο εκσκαπεται κάθε δύο βήματα εκσκαφής. Οποιαδήποτε υπερεκσκαφή στο ανάστροφο τόξο και ειδικά στην περιοχή έδρασης των πλαισίων θα αποφευχεται. Εάν απαιτείται, θα διενεργείται επανεπίχωση τυχόν υπερεκσκαφής με θραυστά σκύρα (απαραίτητη η συμπίκνωσή τους), ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Έλεγχος της γεωμετρίας του ανάστροφου τόξου. Εφαρμογή των δύο δομικών πλεγμάτων T 188 και δομικού πλέγματος στην περιοχή συναρμογής. Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος 35 cm χωρίς ίνες.	X-3/ X-4
17. Διαμόρφωση προσωρινού δαπέδου εργασίας με πλήρωση του ανάστροφου τόξου στην περιοχή που αντιστοιχεί στα βήματα προχώρησης.	X-5
* Εφαρμογή αποστραγγιστικών οπών στην περίμετρο της εκσκαφής, εάν απαιτείται.	(*)



Σχέδιο 11. Τυπική διατομή εκσκαφής και υποστήριξης περιοχών στάθμευσης σήραγγας – Κατηγορία II

Στη συνέχεια, δίνονται παρακάτω ορισμένοι πίνακες, όπου και παρουσιάζονται εν συντομία τα πεδία εφαρμογής με τα μέτρα υποστήριξης των κατηγοριών εκσκαφής. Τα βήματα εκσκαφής, σημειώνεται σε αυτό το σημείο, ότι θα τηρούνται σε κάθε κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης. Ωστόσο, εάν υπάρξει κάποια υπερεκσκαφή, αυτή θα γεμίζεται, ούτως ώστε να εξασφαλίζεται πάντοτε το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Το τελευταίο απεικονίζεται και στα σχέδια, από τη γραμμή εκσκαφής και προς τα μέσα (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Ακόμη, ας αναφερθεί ότι τα πεδία εφαρμογής που αναφέρονται προήλθαν από τη συναξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις αναλύσεις με εφαρμογή αναλυτικών και υπολογιστικών μεθόδων, που θα αναφερθούν και στο επόμενο κεφάλαιο της μηχανικής ανάλυσης.

Πίνακας 25. Συνοπτική Παρουσίαση Πεδίων Εφαρμογής Κατηγοριών Εκσκαφής (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Τεχνικογεωλογικές ενότητες	Περιγραφή	GSI	υπερκείμενα (m)																	
			0	100	200	300	400	500	600	700	800	900								
Gn-1	Βιοπτικός γνεύσιος	50-70	A				B			C										
Gn-2	Βιοπτικός γνεύσιος	30-50	A			B			C			D (4b)								
Gn-3	Βιοπτικός γνεύσιος	20-30	A	B	C (3a)			D (4)		E			SQ							
Mr-1	Οριζοντας μαρμάρων	50-70	A				B			C (3b)										
Mr-2	Οριζοντας μαρμάρων	30-50	A (1)			B (2)			C			D		E (5b)						
F-1a	Ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης πάχους 1-1,5m	15-20	D				E						SQ							
F-1	Ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης	15-20	E				SQ (6)						LSC							
Ab-1	Αμφιβολίτες-αμφιβολιτικοί γνεύσιοι	20-40	C																	

- A Κατηγορία εκσκαφής & υποστήριξης A
- B Κατηγορία εκσκαφής & υποστήριξης B
- C Κατηγορία εκσκαφής & υποστήριξης C
- D Κατηγορία εκσκαφής & υποστήριξης D
- E Κατηγορία εκσκαφής & υποστήριξης E
- SQ Κατηγορία εκσκαφής & υποστήριξης SQ
- LSC Κατηγορία εκσκαφής & υποστήριξης LSC

Οι αριθμοί στις παρενθέσεις δηλώνουν τις αναλύσεις που διενεργήθηκαν με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (SOFiSTik)

Πίνακας 26. Συνοπτική Παρουσίαση Μέτρων Υποστήριξης Κατηγοριών Εκκαφής (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

	A	B	C	D	E	SQ	LSC	I	II
Κατηγορία εκκαφής									
Κέλυφος υποστήριξης	15cm (10cm με ίνες) και 1T188	20cm (15cm με ίνες) και 1T188	25cm (20cm με ίνες) και 1T188	30cm (25cm με ίνες) και 1T188	35cm (30cm με ίνες) και 2T188	40cm (35cm με ίνες) και 2T188	40cm (35cm με ίνες), 2T188 και 6 Α-Π 700 kN	25cm (20cm με ίνες) και 1T188	35cm (30cm με ίνες) και 2T188
Επιπέδον κελύφους υποστήριξης	-	-	-	-	-	30cm (25cm με ίνες) και 2T188	-	-	-
Πλάσινα	-	LG 95/22/32	HEB 120	HEB 140	HEB 160	HEB 160	HEB 160 με ολισθαίνοντες συνδέσεις	LG 95/22/32	HEB 140
Αγκύρια	Φ25, B500c, μήκος 3-4m σε κάρναβο 1,5x1,5m	Φ25, B500c, μήκος 4m σε κάρναβο 1,5xβήμα εκ.	Φ25, B500c, μήκος 4m σε κάρναβο 1,5xβήμα εκ.	Selfdrilling Φ I, 250kN, μήκος 6m σε κάρναβο 1,5xβήμα εκ.	Selfdrilling Φ I, 250kN, μήκος 6m σε κάρναβο 1,5xβήμα εκ.	Selfdrilling Φ I, 250kN, μήκος 8m σε κάρναβο 1,0xβήμα εκ.	Selfdrilling Φ I, 350kN, μήκος 8m σε κάρναβο 1,0xβήμα εκ.	Φ25, B500c, μήκος 4m σε κάρναβο 1,5xβήμα εκ.	Selfdrilling Φ I, 250kN, μήκος 6m σε κάρναβο 1,5xβήμα εκ.
Δοκοί ή ραβδοί προπορείας	-	Φ25, B500c μήκος 4,5m, τοποθετούμενες ανά δύο βήματα προχωρητής εφόσον απαιτηθούν	Φ51/41, S437, μήκος 4,5m, τοποθετούμενες ανά δύο βήματα προχωρητής εφόσον απαιτηθούν	Φ51/41, S437, μήκος 6m ανά δύο βήματα προχωρητής εφόσον απαιτηθούν	Φ51/41, S437, μήκος 6m ανά δύο βήματα προχωρητής εφόσον απαιτηθούν ή Φ114/100,1, S437, μήκος 9m κάθε 6m	Φ51/41, S437, μήκος 6m ανά δύο βήματα προχωρητής εφόσον απαιτηθούν	Φ51/41, S437, μήκος 6m ανά δύο βήματα προχωρητής εφόσον απαιτηθούν	Φ25, B500c μήκος 4,5m, τοποθετούμενες ανά δύο βήματα προχωρητής εφόσον απαιτηθούν	Φ51/41, S437, μήκος 6m τοποθετούμενες ανά δύο βήματα προχωρητής εφόσον απαιτηθούν
Εκτεθειμένο ακυρόδεμα μετόπου	3cm με ίνες	5cm με ίνες	5cm με ίνες	5cm με ίνες	5cm με ίνες	5cm με ίνες	10cm με ίνες	5cm με ίνες	5cm με ίνες
Αγκύρια μετόπου fiberglass	-	~10τεμ., Φ I, 200kN και μήκος 9m, εάν απαιτηθούν	~20τεμ., Φ I, 200kN και μήκος 9m, εάν απαιτηθούν	~20τεμ., Φ I, 200kN και μήκος 9m, εάν απαιτηθούν	~24-30τεμ., Φ I, 200kN και μήκος 9m	~30τεμ., Φ I, 200kN και μήκος 9m	~30τεμ., Φ I, 250kN και μήκος 9m	~15τεμ., Φ I, 200kN και μήκος 9m, εάν απαιτηθούν	~23τεμ., Φ I, 200kN και μήκος 9m, εάν απαιτηθούν
Elephant foot	-	-	-	NAI	NAI	NAI	-	-	NAI
Ανάστροφο τόξο	-	-	25cm με 2T188	30cm με 2T188	35cm με 2T188	40cm με 2T188	40cm με 2T188	-	35cm με 2T188
Βήμα εκκαφής	3,0m	1,5m~2,0m	1,5m	1,0m~1,5m	1,0m	1,0m	1,0	1,5m	1,0m
Συγκόλλησης & κατασκευαστικές ανοχές	5cm	7cm	10cm	10cm	15cm	30cm	60cm	10cm	15cm
Εσωτερική Ενίσχυση θόλου-παρείς / ανάστροφο τόξο, εάν απαιτηθεί	30cm / -	30cm / -	40cm / 50cm	40cm / 50cm	50cm / 50cm	50cm / 50cm	50cm / 50cm	40cm / -	50cm / 60cm

Με βάση τα πεδία εφαρμογής από τις προτεινόμενες κατηγορίες εκσκαφής και υποστήριξης που παρουσιάζονται παραπάνω, τις τεχνικογεωλογικές ενότητες, καθώς επίσης και το ύψος των υπερκειμένων, προσδιορίζεται το αρχικώς εκτιμώμενο μήκος εφαρμογής αυτών για την εκάστοτε κατηγορία. Συνοπτικά τα αποτελέσματα, δίνονται στον Πίνακα που ακολουθεί (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011):

Πίνακας 27. Ενδεικτικό μήκος εφαρμογής κατηγοριών εκσκαφής (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Τεχνικογεωλογικές ενότητες	Περιγραφή	GSI	υπερκειμένα (m)											
			0	100	200	300	400	500	600	700	800	900		
Gn-1	Βιοτιπικός γνεύσιος	50-70	A			B		C						
Gn-2	Βιοτιπικός γνεύσιος	30-50	A		B		C		D					
Gn-3	Βιοτιπικός γνεύσιος	20-30	A	B	C		D	E		SQ				
Mr-1	Οριζοντας μαρμάρων	50-70	A			B		C						
Mr-2	Οριζοντας μαρμάρων	30-50	A		B		C		D	E				
F-1a	Ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης πάχους 1-1,5m	15-20	D			E			SQ					
F-1	Ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης	15-20	E			SQ			LSC					
Ab-1	Αμφιβολίτες-αμφιβολιτικοί γνεύσιοι	20-40	C											
Μήκη κύριας σήραγγας ανά τμήμα υπερκειμένων (m)														
Μήκη σήραγγας λιθογόμεσης ανά τμήμα υπερκειμένων (m)														
Μήκη σήραγγας ενδιάμεσης σύνδεσης ανά τμήμα υπερκειμένων (m)														
Συνολικό μήκος (m)			10725											
A	Κατηγορία εκσκαφής & υποστήριξης A (Συνολικό μήκος m)	503												
B	Κατηγορία εκσκαφής & υποστήριξης B (Συνολικό μήκος m)	1826												
C	Κατηγορία εκσκαφής & υποστήριξης C (Συνολικό μήκος m)	2833												
D	Κατηγορία εκσκαφής & υποστήριξης D (Συνολικό μήκος m)	2274												
E	Κατηγορία εκσκαφής & υποστήριξης E (Συνολικό μήκος m)	2243												
SQ	Κατηγορία εκσκαφής & υποστήριξης SQ (Συνολικό μήκος m)	782												
LSC	Κατηγορία εκσκαφής & υποστήριξης LSC (Συνολικό μήκος m)	264												
			Ποσοστά (%) ανά κατηγορία και ανά τμήμα σήραγγας με βάση τα υπερκειμένα											
			10%	80%	60%	30%								
					20%	35%	35%	35%						
			60%			20%	30%	35%	30%	20%				
			20%	10%	10%		20%		30%	40%				
			10%	10%	10%	10%	10%	25%	25%	25%				
						5%	5%	5%	10%	10%				
									5%	5%				

7.3. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

Από το έργο αυτό παραθέτονται παρακάτω ορισμένες φωτογραφίες από τις εργασίες που εκτελούνται κατά τη διάνοιξη της σήραγγας.



Εικόνα 3. Λιάτρωση στο μέτωπο προχώρησης



Εικόνα 4. Γόμωση διατρημάτων στο μέτωπο



Εικόνα 5. Το υλικό μετά την ανατίναξη



Εικόνα 6. Απομάκρυνση από το μέτωπο του υλικού που προέκυψε με την ανατίναξη



Εικόνα 7. Ξεσκάρωμα επισφαλών τεμάχων



Εικόνα 8. Τοποθέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος



Εικόνα 9. Τοποθέτηση πλαισίου



Εικόνα 10. Τοποθέτηση πλέγματος

8. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

8.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ – ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ (ROCK-SUPPORT INTERACTION ANALYSIS THE ROCSCIENCE)

Στο πλαίσιο του έργου η δοκιμή πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα RocSupport της RocScience. Αυτό βοηθά στον προσδιορισμό της συμπεριφοράς του περιβάλλοντος πετρώματος και της υποστήριξης σε κάθε υπόγεια εκσκαφή, όπως στην προκειμένη περίπτωση στη σήραγγα Ολυμπιάδος- Μάντεμ Λάκκου. Χρησιμοποιεί, δηλαδή, τα κριτήρια αστοχίας Mohr – Coulomb και Hoek – Brown.

Κριτήριο αστοχίας Mohr – Coulomb

Όταν εφαρμόζεται αυτό το κριτήριο, για τους αντίστοιχους υπολογισμούς που διενεργούνται χρειάζονται οι εξής γεωτεχνικές παράμετροι αντοχής της βραχώμαζας (Σοφιανός, 2015):

- φ : γωνία εσωτερικής τριβής της βραχώμαζας
- c : συνοχή της βραχώμαζας

Η αντοχή γεωμάζας πριν τη διαρροή της, δίνεται από την ακόλουθη σχέση, ενώ αμέσως μετά από αυτήν ακολουθούν οι σχέσεις που μας δίνουν τον υπολογισμό των υπολοίπων παραγόντων και περιλαμβάνονται στην αρχική.

$$\sigma_1 = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \cdot \sigma_3 + 2 \cdot c \cdot \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} = b \cdot \sigma_3 + C_o \quad (1)$$

Και οι σχέσεις για τους υπόλοιπους παράγοντες είναι:

$$b = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) = N_\varphi$$
$$b - 1 \quad b - 1 \quad (2)$$

$$C_o = 2 \cdot c \cdot \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} = 2 \cdot c \cdot \sqrt{b} = \sigma_{cm} \quad (3)$$

$$\sin \varphi = \frac{b - 1}{b + 1}$$

(4)

$$\tan \varphi = \frac{b - 1}{2 \cdot \sqrt{b}}$$

(5)

$$c = \frac{C_0}{2 \cdot \sqrt{b}}$$

(6)

Στις παραπάνω σχέσεις η παράμετρος C_0 , η οποία βιβλιογραφικά είναι πιθανό να αναφέρεται και ως σ_m αποτελεί τη μονοαξονική αντοχή της βραχομάζας. Η παράμετρος b είναι ο συντελεστής αντοχής της βραχομάζας και είναι δυνατό να τη συναντήσουμε και ως: N_φ , k , ή ακόμη και $\tan(\psi)$.

Ωστόσο, η αντίσταση της διαρρέουσας, θραυσμένης γεωμάζας δίνεται από τους αντίστοιχους τύπους με τους παραπάνω, με τη διαφορά ότι αυτή τη φορά χρησιμοποιούνται οι παράμετροι της βραχομάζας κατά τη διαρροή: φ_r , c_r , C_{0r} , b_r . Οι σχέσεις αποτυπώνονται πιο αναλυτικά ως ακολούθως:

$$\sigma_1 = \frac{1 + \sin \varphi_r}{1 - \sin \varphi_r} \cdot \sigma_3 + 2 \cdot c_r \cdot \frac{\cos \varphi_r}{1 - \sin \varphi_r} = b_r \cdot \sigma_3 + C_{0r}$$

(7)

$$b_r = \frac{1 + \sin \varphi_r}{1 - \sin \varphi_r} = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_r}{2} \right) = N_{\varphi_r}$$

(8)

$$C_{0r} = 2 \cdot c_r \cdot \frac{\cos \varphi_r}{1 - \sin \varphi_r} = 2 \cdot c_r \cdot \sqrt{b_r}$$

(9)

Κριτήριο αστοχίας Hoek – Brown

Το κριτήριο Hoek – Brown είναι μη γραμμικό, σε αντίθεση με το κριτήριο Mohr – Coulomb που είναι γραμμικό (Σοφιανός, 2010). Όταν εφαρμόζεται αυτό το κριτήριο, για τους αντίστοιχους υπολογισμούς που διενεργούνται χρειάζονται οι εξής γεωτεχνικές παράμετροι αντοχής της βραχομάζας (Σοφιανός, 2015):

- σ_{ci} : μονοαξονική αντοχή αδιατάρακτου πετρώματος
- m, s : παράμετροι αντοχής της βραχομάζας πριν τη διαρροή
- α : παράμετρος που λαμβάνει τιμές στο διάστημα $[0.5, 0.67]$. Στην αρχική μορφή του το κριτήριο η παράμετρος αυτή ήταν σταθερή και είχε την τιμή 0.5.

Ας σημειωθεί εδώ ότι οι παράμετροι m, s και α είναι αδιάστατοι και χαρακτηρίζουν περαιτέρω την υπό εξέταση, κάθε φορά, βραχομάζα, καθώς επίσης και το βαθμό κερματισμού αυτής.

Πριν τη διαρροή του πετρώματος ισχύει το γενικευμένο κριτήριο:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{ci}} = \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + \left(m \cdot \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^\alpha \quad (10)$$

Ενώ, για τις παραμέτρους του κριτηρίου ισχύουν:

$$m = m_i \cdot \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14 \cdot D}\right) \quad (11)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3 \cdot D}\right) \quad (12)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left[\exp\left(-\frac{GSI}{15}\right) - \exp\left(-\frac{20}{3}\right) \right] \quad (13)$$

Για τις παραπάνω σχέσεις α ς διευκρινιστεί ότι ως GSI αναφέρεται η ποιότητα της βραχομάζας μέσω του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής αυτού (Geological Strength Index), και m_i η παράμετρος που προκύπτει από εργαστηριακές δοκιμές, με εύρος τιμών $[4, 33]$ (Σοφιανός, 2015). Ενώ, D είναι ο συντελεστής που εκφράζει το βαθμό διαταραχής της βραχομάζας από ανατινάξεις και ορισμένη πιθανή χαλάρωση, με τιμές που κυμαίνονται από την τιμή 0 για μία αδιατάρακτη βραχομάζα, έως και την τιμή 1 για μία πολύ διαταραγμένη βραχομάζα (Νομικός, 2015). Ακριβείς οδηγίες για την επιλογή και εφαρμογή της πλέον κατάλληλης τιμής του συντελεστή D δίνονται στη δημοσίευση των (Hoek *et al*, 2002).

Κατά τη διαρροή του πετρώματος ισχύει το γενικευμένο κριτήριο:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{ci}} = \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + \left(m_r \cdot \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s_r \right)^{a_r} \quad (14)$$

Όπου όμοια με το προηγούμενο κριτήριο οι παράμετροι m_r , s_r , a_r είναι οι παράμετροι της αντοχής της βραχομάζας κατά τη διαρροή (Σοφιανός, 2015).

8.2 Χρήση του RocSupport της RocScience

Το RocSupport ανήκει στα γεωτεχνικά προγράμματα μελέτης της RocScience. Αποτελεί ένα λογισμικό για την εκτίμηση της παραμόρφωσης σε κυκλική, ή περίπου κυκλική μορφή, εκσκαφή σε αδύναμα πετρώματα και την απεικόνιση της αλληλεπίδρασης της σήραγγας με ποικίλα συστήματα υποστήριξης. Πιο συγκεκριμένα, εισάγοντας την ακτίνα της σήραγγας, την κατάσταση του επί τόπου τασικού πεδίου, τις παραμέτρους του πετρώματος και της υποστήριξης, υπολογίζονται και απεικονίζονται η καμπύλη αντίδρασης του πετρώματος (ground reaction curve) και η καμπύλη αντίδρασης της υποστήριξης (support reaction curve). Το σημείο τομής των δύο αυτών καμπυλών προσδιορίζει το συντελεστή ασφαλείας του συστήματος υποστήριξης (RocScience, 2016a).

Το RocSupport, λοιπόν, είναι ένα εργαλείο που δύναται να χρησιμοποιηθεί για τον αρχικό και προπαρασκευαστικό σχεδιασμό σηράγγων και συστημάτων υποστήριξης. Είναι σε θέση να διαθέσει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με διάφορες επιλογές υποστήριξης σηράγγων προτού διεξαχθεί μία εμπειριστατωμένη ανάλυση με ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων, όπως είναι το RS². Το πρόγραμμα RocSupport είναι εφαρμόσιμο γενικά σε σήραγγες που εκσκάπτονται υπό καταστάσεις μεγάλης συμπίεσης του εδάφους (squeezing ground conditions). Ωστόσο, δεν είναι εφαρμόσιμο σε εκσκαφές που πραγματοποιούνται σε εκσκαφές που πραγματοποιούνται όπου ο κυρίαρχος τρόπος αστοχίας οφείλεται στην ασυνεχή δομή του (RocScience, 2016a).

Δύο σημαντικές ενότητες για την ανάλυση σε αυτό το πρόγραμμα, που εξετάστηκαν στο πλαίσιο επαλήθευσης των αποτελεσμάτων των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων του έργου, είναι το *Solution Method* που επιλέγεται κατά τη δημιουργία ενός μοντέλου, καθώς επίσης και το *Modulus Estimation Method for Generalized Hoek – Brown Materials*. Προτού, αρχίσει η ανάλυση των δύο αυτών ενοτήτων, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι έγινε χρήση της έκδοσης 4.0 του RocSupport, έτσι ώστε να δίνεται και η δυνατότητα σύγκρισης του παρόντος εγγράφου με άλλα που πιθανώς να διερευνούν προηγούμενες ή επόμενες εκδόσεις, εάν αυτές υπάρχουν, του ίδιου προγράμματος ανάλυσης.

8.3 Solution Method

Αναφορικά με την επιλογή του *Solution Method* στο RocSupport, αναφέρεται ότι υπάρχουν πέντε πιθανές μέθοδοι επίλυσης και προς επιλογή για τον υπολογισμό της καμπύλης αντίδρασης του εδάφους. Αυτά είναι:

- Duncan Fama (1993)
- Carranza-Torres (2004)
- Vrakas and Anagnostou (2014)
- Lee and Pietruszczak (2008)
- Barbosa (2009).

Ένας συνοπτικός πίνακας για κάθε μία από τις παραπάνω επιλύσεις είναι ο ακόλουθος:

Πίνακας 28. Συγκεντρωτικός πίνακας μεθόδων επίλυσεων στο RocSupport στα αγγλικά

Μέθοδος Επίλυσης	Πληροφορίες Προγράμματος	Περισσότερες Πληροφορίες
Solution 1: Duncan Fama (1993)	-small strain -Mohr-Coulomb criterion -with dilation	- weakened /partly fractured materials, which are highly deformable -yielded zones in weak rock -semi-infinite medium
Solution 2: Carranza-Torres (2004)	-small strain -Generalized Hoek-Brown criterion -with dilation & residual strength	- elastoplastic solution for the axisymmetrical problem -circular tunnel -in Generalized Hoek-Brown material ($a \geq 0,5$)
Solution 3: Vrakas and Anagnostou (2014)	-large strain -Mohr-Coulomb criterion -with dilation	- isotropic homogeneous uniform stress states -linearly elastic-perfectlyplastic -cylindrical and spherical openings -Mohr-Coulomb failure criterion -dry & drained grounds, where influence of water is negligible -weak rocks with high deformability -especially in the case of heavily squeezing ground
Solution 4: Lee and Pietruszczak (2008)	-small strain -variable failure criteria -with dilation & strain softening	- for strain softening behaviour -in Mohr-Coulomb or Hoek-Brown medium -circular opening -infinite isotropic rock mass - hydrostatic stress field throughout the domain
Solution 5: Barbosa (2009)	-small strain -with dilation -strain softening & seepage forces	- in a porous water-bearing elastoplastic material -cylindrical tunnel -seepage forces -plane strain -in weak rocks, highly fractured, crushed (i.e. fault zones) and general soil-like material

Η αντίστοιχη απόδοση του σε ελληνική ορολογία δίνεται στον ακόλουθο Πίνακα 29:

Πίνακας 29. Συγκεντρωτικός πίνακας μεθόδων επίλυσεων στο RocSupport στα ελληνικά

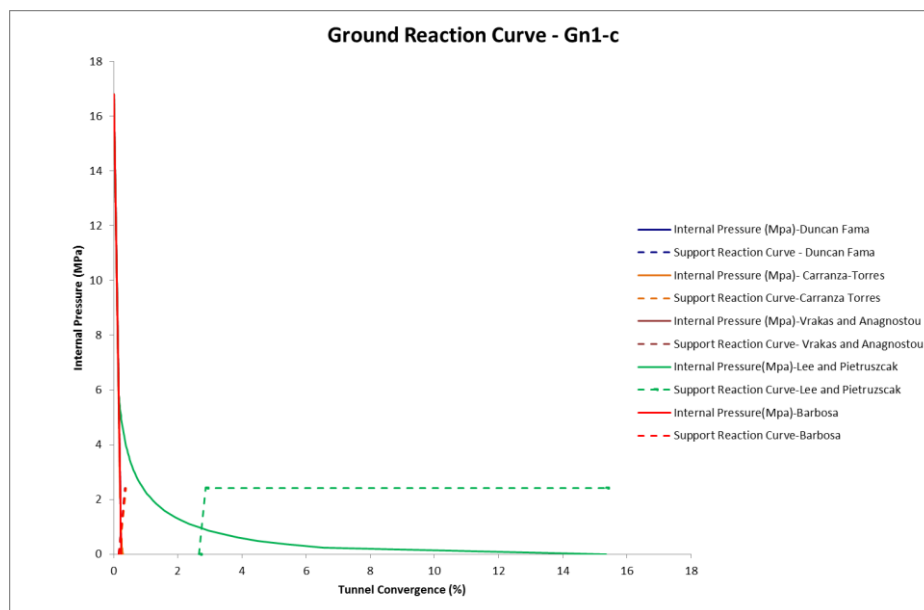
Μέθοδος Επίλυσης	Πληροφορίες Προγράμματος	Περισσότερες Πληροφορίες
Επίλυση 1: Duncan Fama (1993)	- μικρές παραμόρφώσεις - Mohr-Coulomb κριτήριο αστοχίας - με διόγκωση	- εξασθενημένα / μερικώς ρωγματωμένα υλικά, που είναι πολύ παραμορφώσιμα - ζώνες διαρροής σε αδύναμα πετρώματα - ημίχωρος
Επίλυση 2: Carranza-Torres (2004)	- μικρές παραμόρφώσεις - Generalized Hoek-Brown κριτήριο αστοχίας - με διόγκωση & παραμένουσα αντοχή	- ελαστοπλαστική επίλυση αξονοσυμμετρικού προβλήματος - κυκλική σήραγγα - σε Generalized Hoek-Brown υλικό (με $a \geq 0,5$)
Επίλυση 3: Vrakas and Anagnostou (2014)	- μεγάλες παραμόρφώσεις - Mohr-Coulomb κριτήριο αστοχίας - με διόγκωση	- ισότροπο ομογενές ομοιόμορφο τασικό πεδίο - γραμμικώς ελαστικό-τέλεια πλαστικό - κυλινδρικό & σφαιρικό άνοιγμα - Mohr-Coulomb κριτήριο αστοχίας - ξηρά & αποστραγγισμένα εδάφη, όπου η επρροή του νερού είναι αμελητέα - αδύναμα πετρώματα με υψηλή παραμορφωσιμότητα - ειδικά στην περίπτωση των εντόνων συνθλιβόμενων εδαφών
Επίλυση 4: Lee and Pietruszczak (2008)	- μικρές παραμόρφώσεις - μεταβαλλόμενα κριτήρια αστοχίας - με διόγκωση & αποσκλήρυνση	- για συμπεριφορά απομειούμενων μηχανικών ιδιοτήτων - σε Mohr-Coulomb ή Hoek-Brown μέσο - κυκλικό άνοιγμα - απείρωσ ισότροπη βραχομάζα - υδροστατικό τασικό πεδίο σε όλη την περιοχή μελέτης
Επίλυση 5: Barbosa (2009)	- μικρές παραμόρφώσεις - με διόγκωση - αποσκήρυνση & διηθητικές δυνάμεις	- σε πορώδες ελαστοπλαστικό υλικό, με νερό - κυλινδρική εκσκαφή - διηθητικές δυνάμεις - επίπεδη παραμορφωσιακή κατάσταση - σε αδύναμα πετρώματα, πολύ ρωγματωμένα, θραυσμένα (όπως οι ρηξιγενείς ζώνες) και γενικώς εδαφοποιημένα υλικά

Στους δυο παραπάνω πίνακες πέρα από τη στήλη με τις μεθόδους επίλυσης που χρησιμοποιούνται, υπάρχει η στήλη για τις πληροφορίες που δίνονται από το πρόγραμμα κατά τη χρήση/επιλογή της κάθε επίλυσης και η στήλη με περισσότερες πληροφορίες που αντλήθηκαν από τις αντίστοιχες δημοσιεύσεις, όπως αυτές αναφέρονται αντίστοιχα στις πηγές.

Εφαρμόζοντας, τώρα, κάθε μία από τις επτά διαφορετικές τεχνικογεωλογικές ενότητες, όπως αυτές περιγράφονται στο δεύτερο κεφάλαιο με τη γεωλογία του έργου, θα λάβουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα, όπου θα σημειώνεται και η διαφοροποίηση εφαρμογής κάθε κριτηρίου ανάλογα με τις υπάρχουσες συνθήκες.

Τεχνικογεωλογική Ενότητα Gn-1:

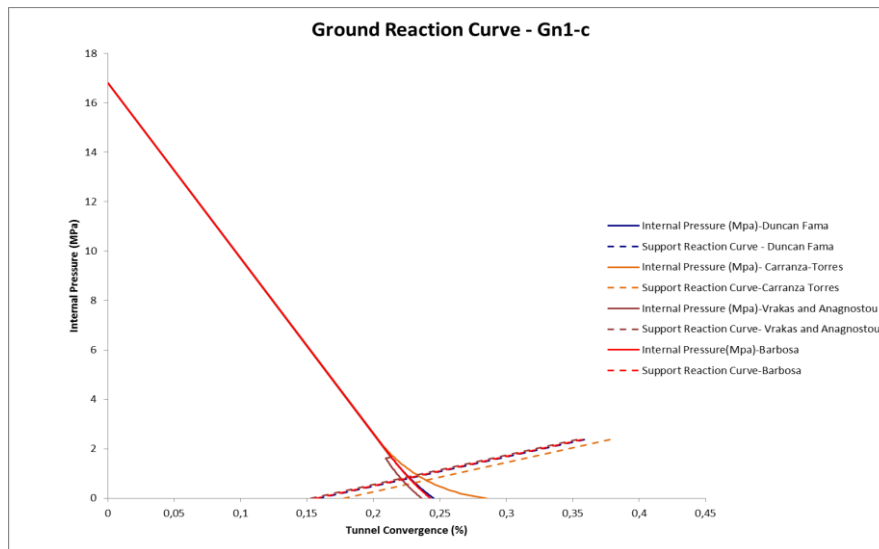
Αρχικά, για την τεχνικογεωλογική ενότητα Gn1-c, η οποία περιλαμβάνει βιοτιτικό γνεύσιο, υγρή έως ελαφρά αποσαθρωμένο, εξάγεται το ακόλουθο διάγραμμα:



Γράφημα 1. Καμπύλες πετρώματος και υποστήριξης στην τεχνικογεωλογική ενότητα Gn1-c για όλες τις μεθόδους επίλυσης.

Στο παραπάνω διάγραμμα, λοιπόν, βλέπουμε τη λύση με τη μέθοδο των Lee and Pietruszczak να διαφοροποιείται και μάλιστα με μεγάλη διαφορά από όλες τις άλλες, οι οποίες συγκεντρώνονται στο αριστερό μέρος του διαγράμματος σημειώνοντας μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ τους. Από τον παραπάνω Πίνακα με τις μεθόδους και τα πεδία εφαρμογής κάθε μίας από αυτές, παρατηρούμε ότι η μέθοδος Lee and Pietruszczak εφαρμόζεται σε υλικά με συμπεριφορά strain-softening. Υλικά που παρουσιάζουν τέτοια συμπεριφορά είναι κατά κύριο λόγο είτε μαλακά υλικά είτε υλικά που έχουν εδαφοποιηθεί. Ωστόσο, τέτοια υλικά δεν φαίνεται να συναντώνται κατά τη διάνοιξη της παρούσας σήραγγας από τα ήδη υπάρχοντα στοιχεία. Οπότε, προκύπτει ότι και η μέθοδος των Lee and Pietruszczak που διαφοροποιείται δεν αντιστοιχεί προς εφαρμογή στα υλικά που συναντώνται στη διάνοιξη της παρούσας σήραγγας.

Τώρα, προκειμένου να φανεί και η σχέση ανάμεσα στις υπόλοιπες μεθόδους, εκτός των Lee και Pietruszczak, οι οποίες αριθμητικά δεν παρουσιάζουν μεγάλη διαφοροποίηση, δίνεται το παρακάτω διάγραμμα:



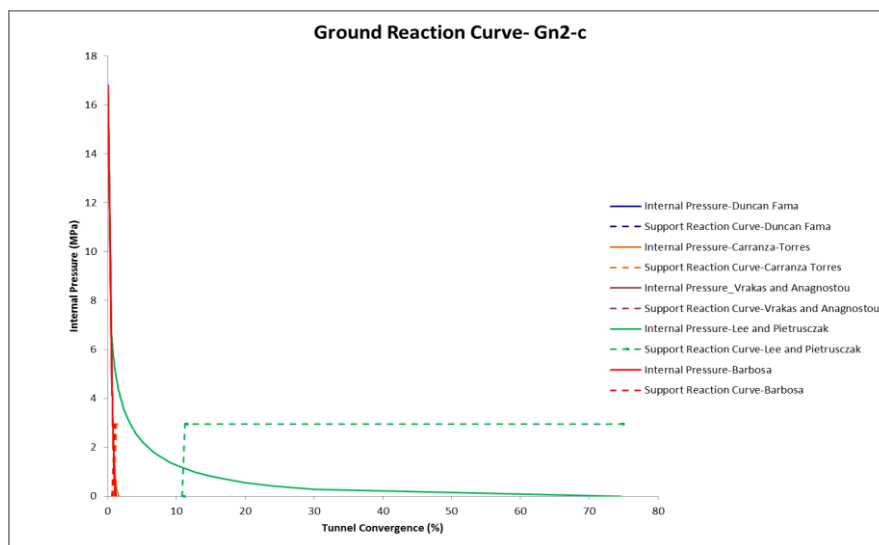
Γράφημα 2. Καμπύλες πετρώματος και υποστήριξης στην τεχνικογεωλογική ενότητα Gn1-c για όλες τις μεθόδους επίλυσης εκτός των Lee και Pietruszczak.

Στο παραπάνω γράφημα αξίζει να σημειωθεί ότι η απόκλιση που σημειώνεται στις καμπύλες της υποστήριξης, όπως αυτές παράγονται από το πρόγραμμα του RocSupport, οφείλεται στο γεγονός ότι η μετατροπή των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται από το κάθε κριτήριο αστοχίας Hoek-Brown και Mohr-Coulomb γίνεται από το ίδιο το πρόγραμμα, αναλόγως του κριτηρίου που χρησιμοποιείται από την εκάστοτε μέθοδο επίλυσης.

Στις επόμενες ενότητες που ακολουθούν έχουμε παρόμοια συμπεριφορά στις καμπύλες και προκύπτουν όμοιες παρατηρήσεις με τα παραπάνω, με εξαίρεση τις τεχνικογεωλογικές ενότητες F1 και Ab-1.

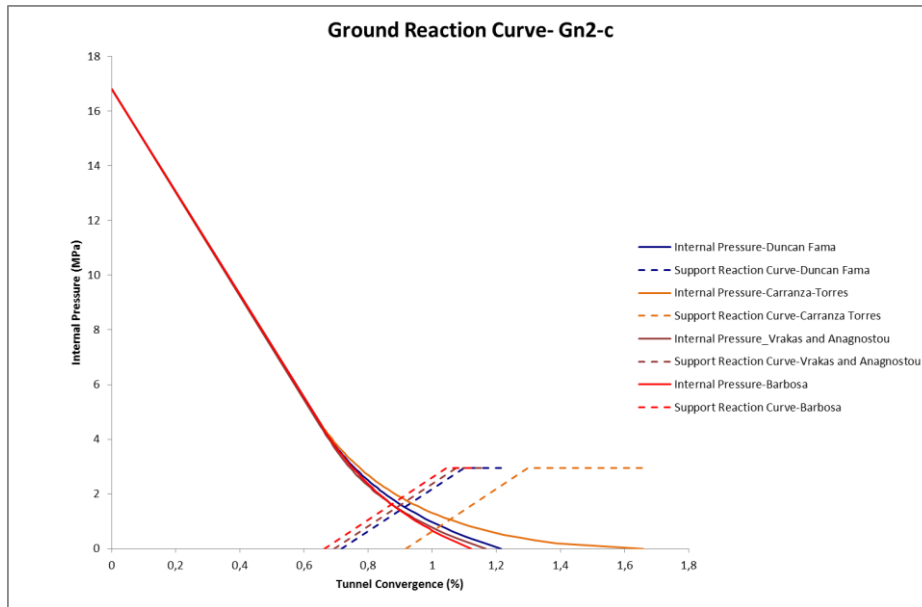
Τεχνικογεωλογική Ενότητα Gn-2:

Συνεχίζοντας, λοιπόν, με την τεχνικογεωλογική ενότητα Gn2-c, η οποία αφορά βιοτιτικό γνεύσιο, μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένο και κατά τόπους κερματισμένο, προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα.



Γράφημα 3. Καμπύλες πετρώματος και υποστήριξης στην τεχνικογεωλογική ενότητα Gn2-c για όλες τις μεθόδους επίλυσης.

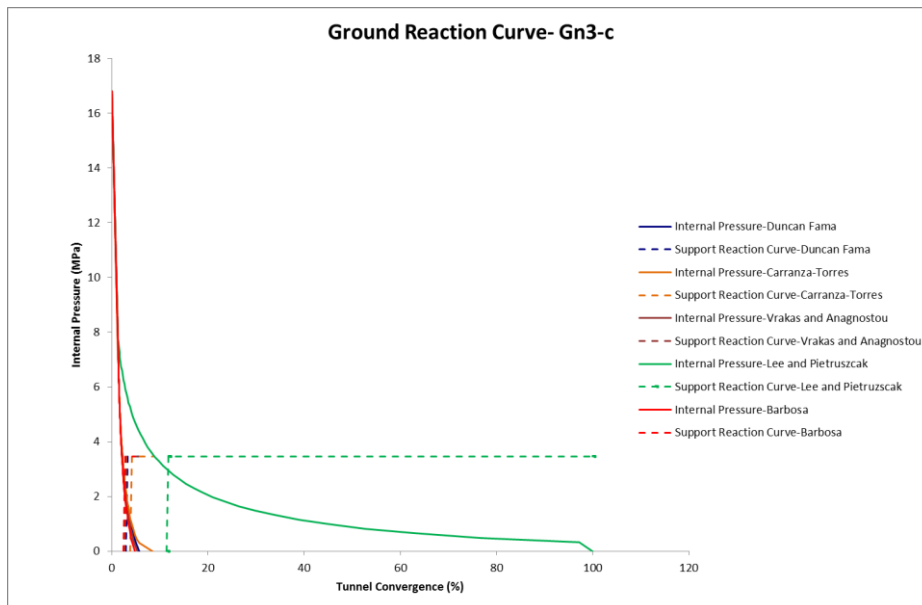
Το παραπάνω γράφημα χωρίς τη λύση των Lee και Pietruszczak, φαίνεται καλύτερα στο παρακάτω διάγραμμα:



Γράφημα 4. Καμπύλες πετρώματος και υποστήριξης στην τεχνικογεωλογική ενότητα Gn2-c για όλες τις μεθόδους επίλυσης εκτός των Lee και Pietruszczak.

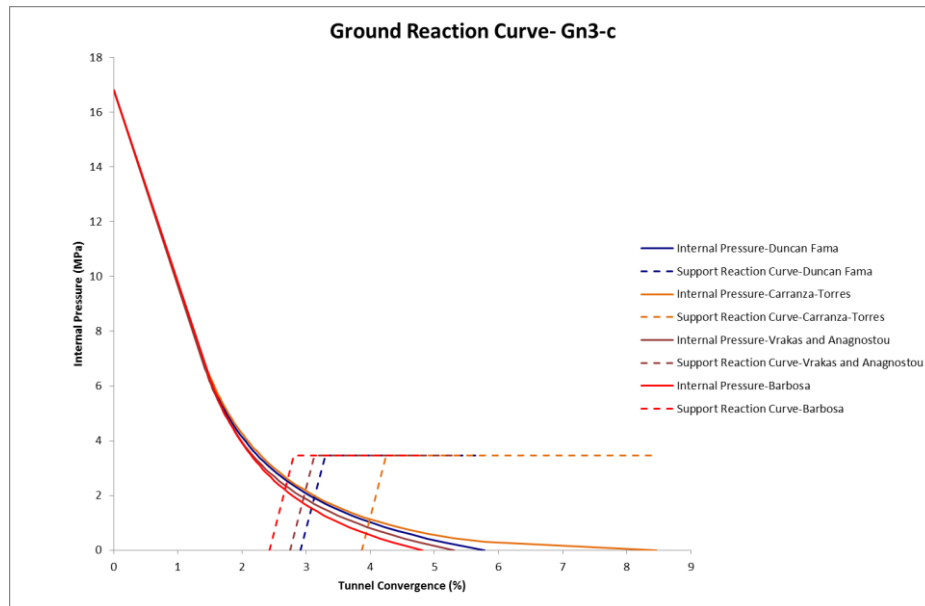
Τεχνικογεωλογική Ενότητα Gn-3:

Στην τεχνικογεωλογική ενότητα Gn3-c, που αφορά βιοτιτικό γνεύσιο, έντονα κερματισμένο και αποδιοργανωμένο, ισχυρά αποσαθρωμένο έως τοπικά εδαφοποιημένο, αντιστοιχεί το εξής γράφημα:



Γράφημα 5. Καμπύλες πετρώματος και υποστήριξης στην τεχνικογεωλογική ενότητα Gn3-c για όλες τις μεθόδους επίλυσης.

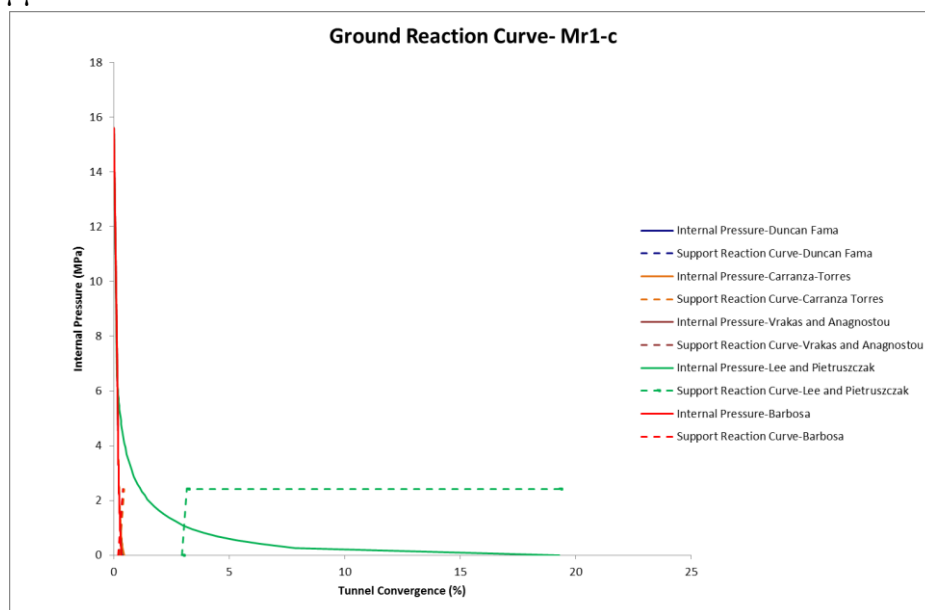
Σε αυτό πάλι παρατηρείται η απόκλιση στη λύση των Lee and Pietruszczak. Το τελευταίο διάγραμμα χωρίς τη λύση αυτή αποτυπώνεται ως ακολούθως:



Γράφημα 6. Καμπύλες πετρώματος και υποστήριξης στην τεχνικογεωλογική ενότητα Gn3-c για όλες τις μεθόδους επίλυσης εκτός των Lee και Pietruszczak.

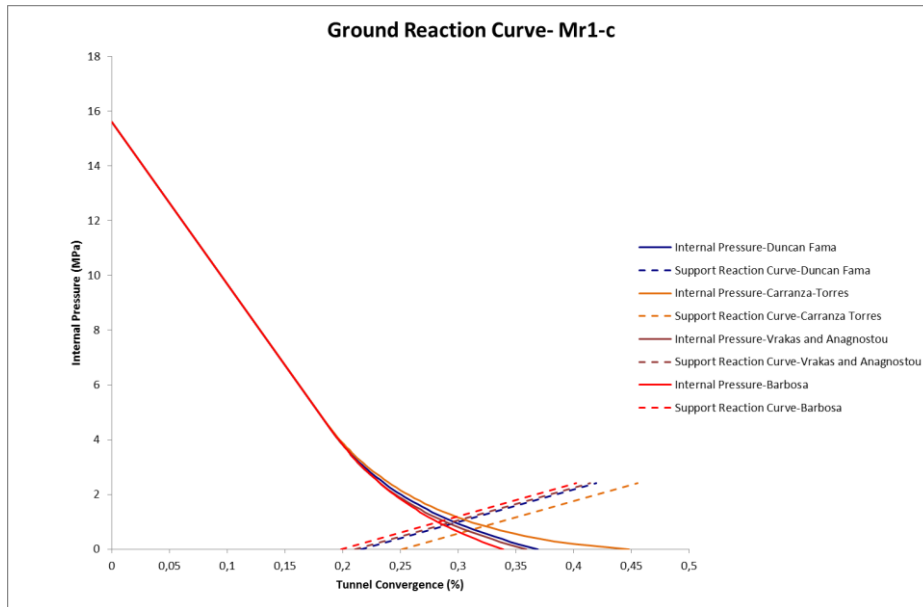
Τεχνικογεωλογική Ενότητα Mr-1:

Συνεχίζοντας, με την τεχνικογεωλογική ενότητα Mr1-c, η οποία περιλαμβάνει ορίζοντα μαρμάρων υγιή έως ελαφρά αποσπασμένο, προκύπτει το ακόλουθο διάγραμμα:



Γράφημα 7. Καμπύλες πετρώματος και υποστήριξης στην τεχνικογεωλογική ενότητα Mr1-c για όλες τις μεθόδους επίλυσης.

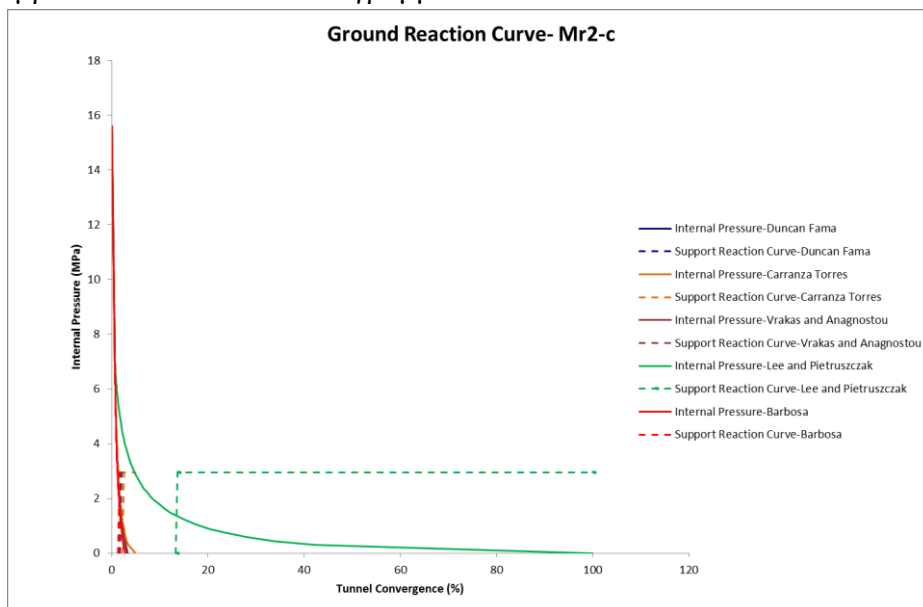
Και σε αυτό το Διάγραμμα παρατηρείται η ίδια μορφή με αυτήν στην ενότητα του Gnl-c. Χωρίς τη μέθοδο αυτή, το διάγραμμα λαμβάνει τη μορφή:



Γράφιμα 8. Καμπύλες πετρώματος και υποστήριξης στην τεχνικογεωλογική ενότητα Mr1-c για όλες τις μεθόδους επίλυσης εκτός των Lee και Pietruszczak.

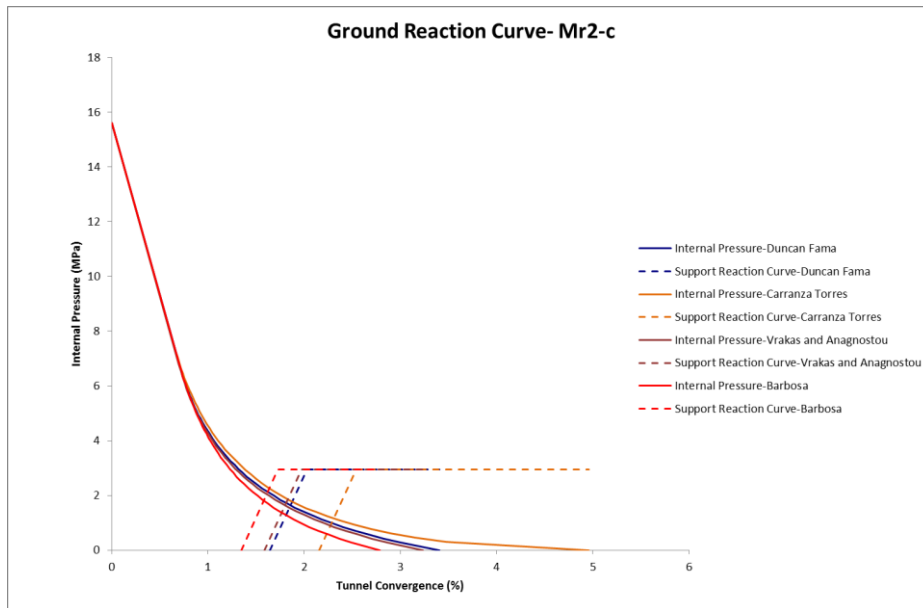
Τεχνικογεωλογική Ενότητα Mr-2:

Στην τεχνικογεωλογική ενότητα Mr2-c, που περιλαμβάνει οριζοντα μαρμάρων μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένο και κατά τόπους έντονα κερματισμένο, παραλαμβάνεται το ακόλουθο διάγραμμα:



Γράφιμα 9. Καμπύλες πετρώματος και υποστήριξης στην τεχνικογεωλογική ενότητα Mr2-c για όλες τις μεθόδους επίλυσης.

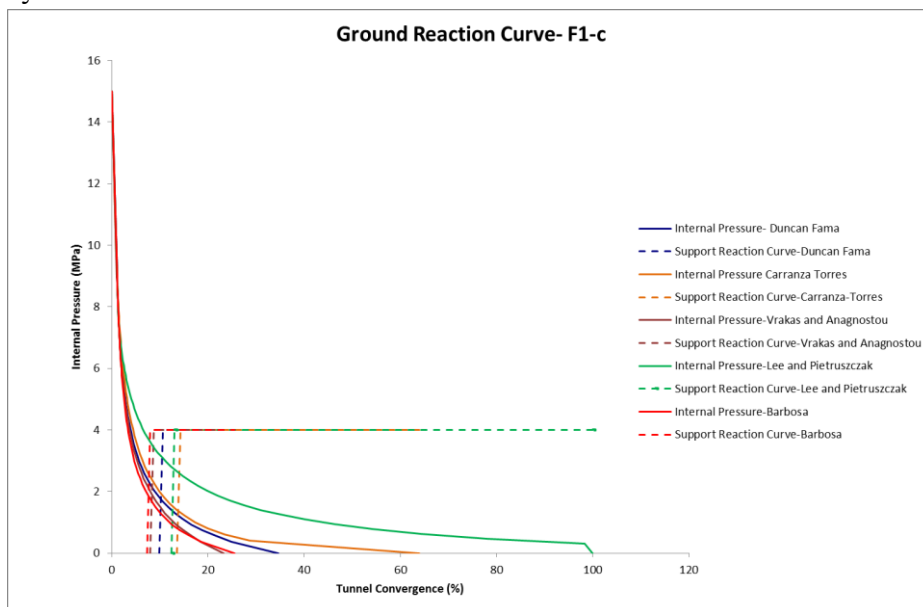
Χωρίς τη μέθοδο των Lee and Pietruszczak, αυτό παίρνει τη μορφή:



Γράφημα 10. Καμπύλες πετρώματος και υποστήριξης στην τεχνικογεωλογική ενότητα Mr2-c για όλες τις μεθόδους επίλυσης εκτός των Lee και Pietruszczak.

Τεχνικογεωλογική Ενότητα F-1:

Στην τεχνικογεωλογική ενότητα F1-c, η οποία περιλαμβάνει ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης, παραλαμβάνεται το ακόλουθο διάγραμμα, στο οποίο σημειώνεται και διαφοροποίηση από τις υπόλοιπες τεχνικογεωλογικές ενότητες:



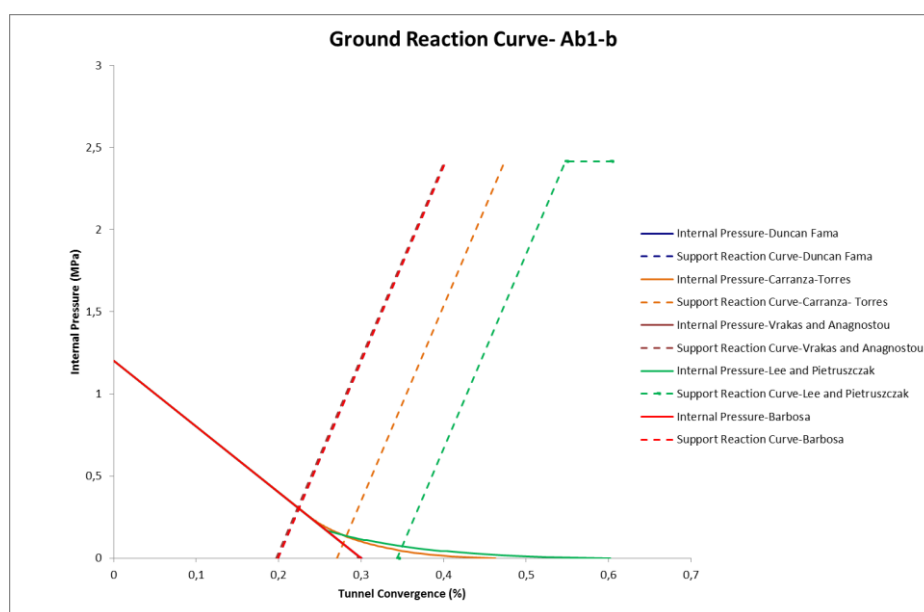
Γράφημα 11. Καμπύλες πετρώματος και υποστήριξης στην τεχνικογεωλογική ενότητα F1-c για όλες τις μεθόδους επίλυσης.

Σε αντίθεση με τα δύο προηγούμενα διαγράμματα, το διάγραμμα αυτής της τεχνικογεωλογικής ενότητας F1-c είναι διαφορετικό. Η μέθοδος των Lee and Pietruszczak δεν παρουσιάζει τόσο μεγάλη απόκλιση, σε σύγκριση με τις

προηγούμενες ενότητες. Ωστόσο, και πάλι προπορεύεται από άποψη τιμών σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους, αναφορικά με την καμπύλη του πετρώματος. Οι υπόλοιπες καμπύλες φαίνονται να βρίσκονται πιο κοντά σε τιμές. Στο παρόν γράφημα δεν συντρέχει λόγος να παρατεθεί και το αντίστοιχο διάγραμμα χωρίς τη λύση των Lee and Pietruszczak.

Τεχνικογεωλογική Ενότητα Ab-1:

Στην τεχνικογεωλογική ενότητα Ab1-b, η οποία περιλαμβάνει αμφιβολίτες και αμφιβολιτικούς γνευσίους στην περιοχή του στομίου της σήραγγας, παραλαμβάνεται το ακόλουθο διάγραμμα, στο οποίο σημειώνεται και διαφοροποίηση από τις υπόλοιπες τεχνικογεωλογικές ενότητες:



Γράφημα 12. Καμπύλες πετρώματος και υποστήριξης στην τεχνικογεωλογική ενότητα Ab1-b για όλες τις μεθόδους επίλυσης.

Στο τέλος, στο κεφάλαιο με τα Παραρτήματα παρατίθενται τα αντίστοιχα διαγράμματα για τις υπόλοιπες τεχνικογεωλογικές ενότητες, σε περίπτωση ανάγκης περαιτέρω σύγκρισης ή αναφοράς σε αυτά. Σημειώνεται ότι για την τεχνικογεωλογική ενότητα Ab1-b δεν χρησιμοποιήθηκε για τα υπερκείμενα η τιμή των 600m, όπως σε όλες τις άλλες ενότητες. Ο λόγος διαφοροποίησης είναι ότι η συγκεκριμένη ενότητα είχε δεδομένα και εφαρμογή μόνο σε δύο ύψη υπερκειμένων, τα οποία είναι 20m και 50m. Οπότε, και παρατηρείται ότι πρόκειται για μία ενότητα που συναντάται στα επιφανειακά στρώματα και μάλιστα στο στόμιο της σήραγγας, όπως αναφέρεται και παραπάνω.

8.4 Modulus Estimation Method

Για την επιλογή του *Modulus Estimation Method* στο RocSupport, αναφέρεται ότι παρέχονται τρεις μέθοδοι με τις αντίστοιχες μαθηματικές σχέσεις τους για τον υπολογισμό του μέτρου παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας. Αυτές είναι:

1. Η απλοποιημένη εξίσωση των Hoek και Diederichs (Hoek και Diederichs, 2006),
2. Η γενικευμένη εξίσωση των Hoek και Diederichs (Hoek και Diederichs, 2006), και
3. Η εξίσωση των Hoek, Carranza-Torres και Corkum (Hoek *et al*, 2002).

Παρακάτω αποδίδονται πιο αναλυτικά οι σχέσεις που διέπουν κάθε μία από αυτές τις μεθόδους:

1. Η απλοποιημένη εξίσωση των Hoek και Diederichs:

$$E_{rm} (MPa) = 100000 \left(\frac{1 - D / 2}{1 + e^{((75+25D-GSI)/11)}} \right) \quad (\text{εξίσωση 1})$$

Η εξίσωση 1 είναι συνάρτηση μόνο των τιμών του GSI και του παράγοντα διατάραξης D. Υπολογίζει τελικώς το μέτρο παραμορφωσιμότητας σε MPa και αξίζει να σημειωθεί ότι είναι ιδιαίτερος χρήσιμη και βρίσκει εφαρμογή στις περιπτώσεις που δεν υπάρχουν διαθέσιμες ή αξιόπιστες τιμές για το μέτρο παραμορφωσιμότητας του άρρηκτου βράχου. Στις δοκιμές και στα διαγράμματα, που θα παρουσιαστούν παρακάτω προς μελέτη και ανάλυση αυτών των εξισώσεων, που είναι διαθέσιμα στο Modulus Estimation Method, θα αναφέρεται το αποτέλεσμα της εξίσωσης 1, ως E1.

2. Η γενικευμένη εξίσωση των Hoek και Diederichs:

$$E_{rm} (MPa) = E_i \left(0.02 + \frac{1 - D / 2}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right) \quad (\text{εξίσωση 2})$$

Η εξίσωση 2 είναι συνάρτηση των τιμών του GSI και του παράγοντα διατάραξης D, και επιπλέον το μέτρο παραμορφωσιμότητας του άρρηκτου βράχου E_i . Υπολογίζει τελικώς το μέτρο παραμορφωσιμότητας σε MPa και χρησιμοποιείται κυρίως στις περιπτώσεις που υπάρχουν διαθέσιμες αξιόπιστες τιμές για το μέτρο παραμορφωσιμότητας του άρρηκτου βράχου. Στις δοκιμές και στα διαγράμματα που πρόκειται να ακολουθήσουν, θα αναφέρεται το αποτέλεσμα της εξίσωσης 2, ως E2.

3. Η εξίσωση των Hoek, Carranza-Torres και Corkum:

$$E_m (GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{((GSI-10)/40)} \quad (\text{εξίσωση 3})$$

Η εξίσωση 3 είναι συνάρτηση των τιμών του GSI και του παράγοντα διατάραξης D, καθώς επίσης και της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής του άρρηκτου βράχου. Υπολογίζει τελικώς το μέτρο παραμορφωσιμότητας σε GPa, σε αντίθεση με τις εξισώσεις 1 και 2, και χρησιμοποιείται κυρίως στις περιπτώσεις που υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για τη θλιπτική αντοχή του άρρηκτου πετρώματος. Στις δοκιμές και στα διαγράμματα που θα ακολουθήσουν, θα αναφέρεται το αποτέλεσμα της εξίσωσης 3, ως E3.

Στις οδηγίες εφαρμογής του προγράμματος RocSupport, θα πρέπει να σημειωθεί ότι αναφέρεται και μία διαφοροποίηση στην τρίτη και τελευταία μέθοδο. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρει ότι η εξίσωση 3, όπως αυτή απεικονίζεται παραπάνω, θα χρησιμοποιείται για τις περιπτώσεις που η μονοαξονική θλιπτική αντοχή είναι μικρότερη ή και ίση με την τιμή των 100 MPa. Ωστόσο, στις περιπτώσεις που η μονοαξονική θλιπτική αντοχή παίρνει τιμές μεγαλύτερες από 100 MPa, θα γίνεται χρήση ενός τέταρτου τύπου, όπως αυτός δίνεται παρακάτω:

$$E_m (GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) 10^{((GSI-10)/40)} \quad (\text{εξίσωση 4})$$

Για τα δεδομένα που είναι υπό επεξεργασία από τις τεχνικογεωλογικές ενότητες που απαντώνται στο πλαίσιο του έργου υπό μελέτη της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δεν χρειάστηκε καθόλου να εξετασθεί η εξίσωση 4, ούτε και να χρησιμοποιηθεί, καθώς η μονοαξονική θλιπτική αντοχή δεν υπερβαίνει την τιμή των 100 MPa σε καμία υπάρχουσα έως τώρα περίπτωση.

Αρχικά, παρουσιάζονται συνοπτικά αμέσως παρακάτω τα δεδομένα που εισάγονται με βάση τα γεωτεχνικά στοιχεία του έργου και στον ίδιο πίνακα αποδίδουμε και τις τιμές που προκύπτουν χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις 1, 2 και 3, όπως αυτές αναφέρονται σε αυτόν, για το μέτρο παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας.

Πίνακας 30. Πίνακας των τριών μέτρων παραμορφωσιμότητας για κάθε υπό εξέταση τεχνικογεωλογική ενότητα

Τεχνικογεωλογική Ενότητα	σ_{ci} (MPa)	GSI	mi	D	Ei (GPa)	γ (MN/m ³)	E1 (MPa) Simplified Hoek & Diederichs (2006)	E2 (MPa) Generalized Hoek & Diederichs (2006)	E3 (MPa) Hoek, Carranza-Torres & Corkum (2002)
Gn-1	80	50	25	0	30	0,028	9341	9216	8944
Gn-2	60	30	25	0	30	0,028	1645	2442	2449
Gn-3	40	20	25	0	20	0,028	669	913	1125
Mr-1	50	50	12	0	25	0,026	9341	7680	7071
Mr-2	40	30	12	0	20	0,026	1645	1628	2000
F-1	30	20	8	0	15	0,025	669	685	974
Ab-1	25	20	22	0,3	15	0,024	289	519	756

Από τον παραπάνω Πίνακα 30 και σε σύγκριση με τα γεωτεχνικά δεδομένα που προέκυψαν από τη μελέτη του έργου, προκύπτει ότι η σχέση που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο μελέτης του έργου είναι η εξίσωση 2, δηλαδή η γενικευμένη εξίσωση των Hoek και Diederichs που αναφέρεται στον Πίνακα 30 ως E2.

Επίδραση Εξισώσεων στο Modulus Estimation Method:

Στη συνέχεια, προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση κάθε μίας εκ των τριών εξισώσεων σε κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα που υπάρχει στο έργο υπό μελέτη, παρατηρήθηκε ότι θα έπρεπε να αξιοποιηθεί το υπάρχον εύρος για τις τιμές του GSI, όπως αυτό δόθηκε στις γεωτεχνικές παραμέτρους του έργου. Πιο αναλυτικά, κρατώντας σταθερές τις τιμές του παραπάνω συνοπτικού Πίνακα 30 στα δεδομένα εισαγωγής, με μόνη εξαίρεση αυτές του GSI, όπου θα μεταβάλλονται με μία κλιμάκωση εντός του δοθέντος εύρους, θα μελετηθεί η επίδραση του GSI σε κάθε σχέση και τη διαφορά που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των μέτρων παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας μεταξύ τους.

Συνεπώς, παρακάτω θα αποδίδονται οι επιμέρους πίνακες και τα αντίστοιχα διαγράμματα αυτών ανά τεχνικογεωλογική ενότητα που θα εξετάζεται, μαζί με τον αντίστοιχο σχολιασμό τους, αν αυτός κρίνεται απαραίτητος, ή πιθανά συμπεράσματα που πιθανώς να προκύπτουν από αυτά.

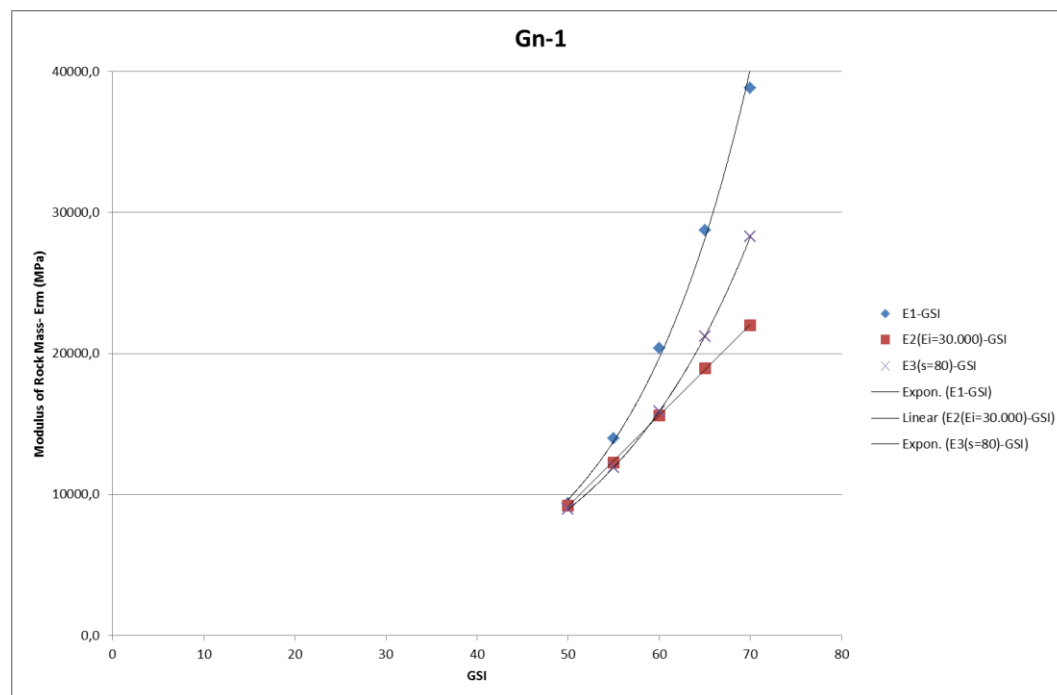
Τεχνικογεωλογική Ενότητα Gn-1:

Είναι η τεχνικογεωλογική ενότητα των βιοτιτικών γνευσίων, οι οποίοι είναι υγιείς έως ελαφρά αποσαθρωμένοι. Μας δίνεται για αυτούς, λοιπόν, ένα εύρος τιμών του GSI από 50 έως και 70. Μεταβάλλοντας τις τιμές αυτές ανά 5, προκύπτει ο ακόλουθος Πίνακας που εμπεριέχει και τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τα μέτρα παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας E1, E2 και E3.

Πίνακας 31. Πίνακας των τριών μέτρων παραμορφωσιμότητας για την τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-1

Τεχνικογεωλογική Ενότητα	σ_{ci} (MPa)	E_i (MPa)	GSI	D	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E3 (MPa)
Gn-1	80	30000	70	0	38828,1	21984,4	28284,3
Gn-1	80	30000	65	0	28718,6	18951,6	21210,2
Gn-1	80	30000	60	0	20365,0	15600,0	15905,4
Gn-1	80	30000	55	0	13965,2	12248,4	11927,4
Gn-1	80	30000	50	0	9340,7	9215,6	8944,3

Το αντίστοιχο διάγραμμα που προκύπτει από τον Πίνακα αυτόν για την τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-1 είναι:



Γράφημα 13. Γράφημα GSI και μέτρον παραμορφωσιμότητας για την τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-1

Σε αυτό παρατηρούμε ότι η καμπύλη της E1 έχει μία γραμμή τάσης που έχει εκθετική μορφή, η E2 έχει γραμμική, ενώ τέλος η E3 εκθετική.

Σημειώνεται ραγδαία αύξηση στην καμπύλη του E1 με τη μεταβολή του GSI και δεύτερο κατά σειρά ακολουθεί το E3. Τελευταίο, έρχεται σε ύψος τιμών, μετά την τιμή GSI=60, το E2 ακολουθώντας μία γραμμική και σταθερή αύξηση, καθώς έως και για GSI=60, οι τιμές των E2 και E3 παρουσιάζουν ελάχιστη διαφοροποίηση μεταξύ τους.

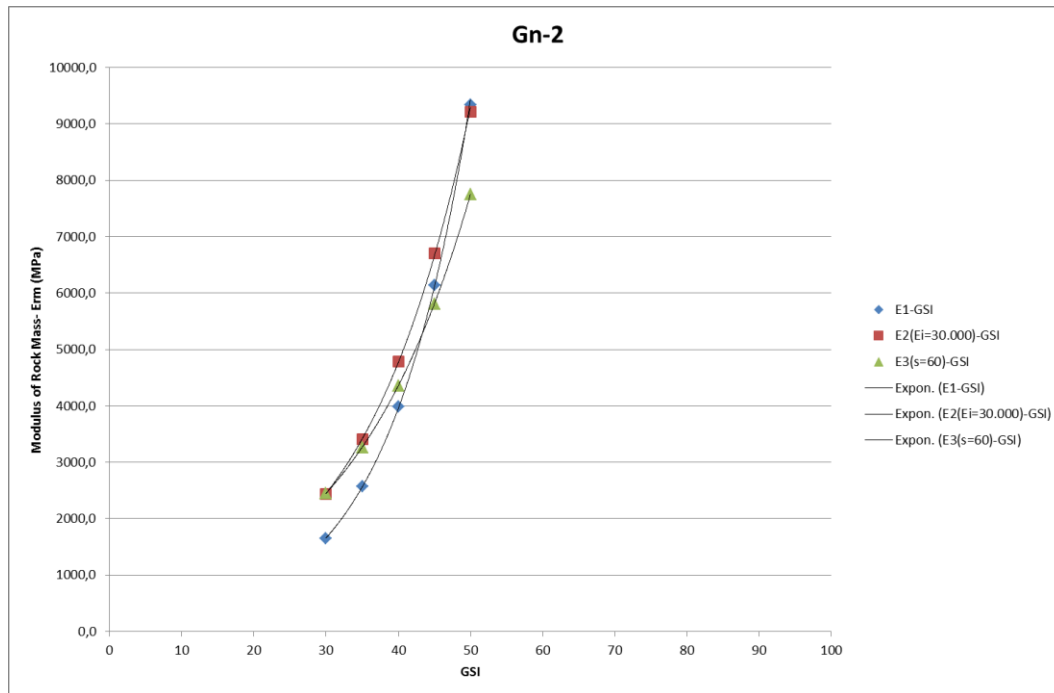
Τεχνικογεωλογική Ενότητα Gn-2:

Είναι η τεχνικογεωλογική ενότητα των βιοτιτικών γενεσίων, οι οποίοι είναι μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένοι, και κατά τόπους έντονα κερματισμένοι. Μας δίνεται για αυτούς, λοιπόν, ένα εύρος τιμών του GSI από 30 έως και 50. Μεταβάλλοντας τις τιμές αυτές ανά 5, προκύπτει ο ακόλουθος Πίνακας που εμπεριέχει και τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τα μέτρα παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας E1, E2 και E3.

Πίνακας 32. Πίνακας των τριών μέτρων παραμορφωσιμότητας για την τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-2

Τεχνικογεωλογική Ενότητα	σ_{ci} (MPa)	E_i (MPa)	GSI	D	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E3 (MPa)
Gn-2	60	30000	50	0	9340,7	9215,6	7746,0
Gn-2	60	30000	45	0	6138,3	6709,5	5808,7
Gn-2	60	30000	40	0	3985,6	4789,6	4355,9
Gn-2	60	30000	35	0	2567,2	3402,2	3266,4
Gn-2	60	30000	30	0	1644,9	2441,5	2449,5

Το αντίστοιχο διάγραμμα που προκύπτει από τον Πίνακα αυτόν για την τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-2 είναι:



Γράφημα 14. Γράφημα GSI και μέτρον παραμορφωσιμότητας για την τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-2

Σε αυτό παρατηρούμε ότι και οι 3 καμπύλες έχουν μία γραμμή τάσης με εκθετική μορφή. Επιπλέον, σημειώνεται ραγδαία αύξηση του E1 για GSI = 40-50, όπου και γίνεται έντονα αισθητή η εκθετική μορφή του γραφήματος που αυτό ακολουθεί. Ωστόσο, για τιμές GSI = 30-45 παρατηρώ ότι πιο κοντά κυμαίνονται τα E2-E3 σε τιμές, ενώ μετά το 45 έως και 50, πλησιάζουν σε τιμές τα E1 και E2, με αυτές του E3 να ακολουθούν με αρκετά χαμηλότερες τιμές. Σε γενικές γραμμές δεν φαίνεται να υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση μεταξύ των τριών καμπυλών.

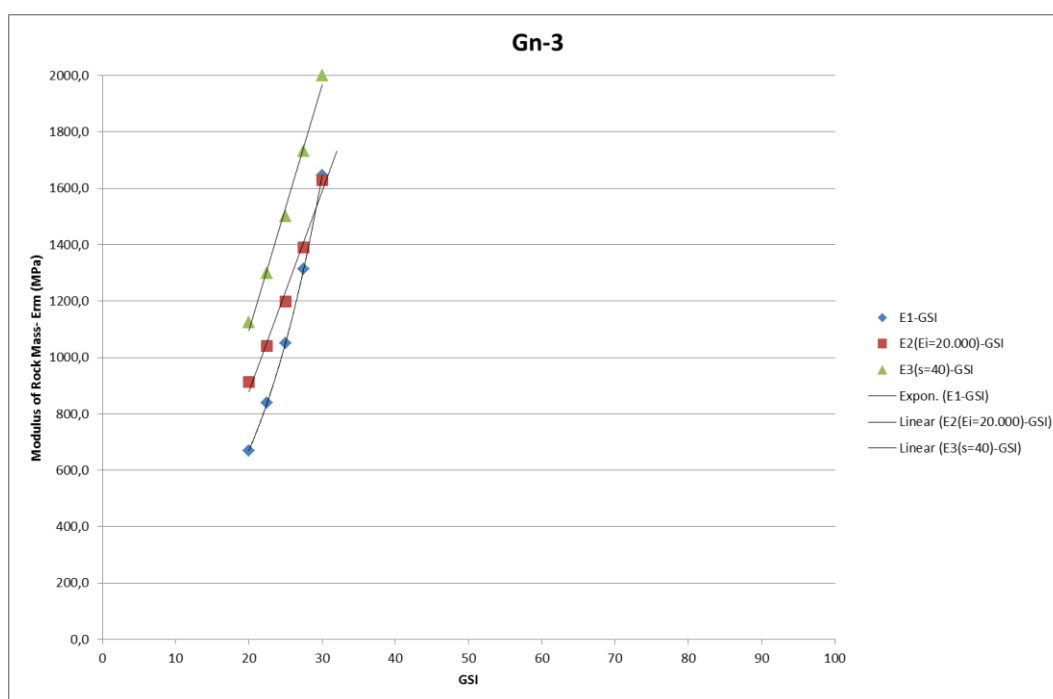
Τεχνικογεωλογική Ενότητα Gn-3:

Είναι η τεχνικογεωλογική ενότητα των βιοτιτικών γνευσίων, οι οποίοι είναι είτε έντονα κερματισμένοι και αποδιοργανωμένοι, είτε ισχυρά αποσαθρωμένοι έως τοπικά εδαφοποιημένοι, ανάλογα με την περιοχή που απαντώνται και τις εκάστοτε συνθήκες που εκεί επικρατούν. Μας δίνεται για αυτούς, λοιπόν, ένα εύρος τιμών του GSI από 20 έως και 30. Μεταβάλλοντας τις τιμές αυτές ανά 2,5, προκύπτει ο ακόλουθος Πίνακας που εμπεριέχει και τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τα μέτρα παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας E1, E2 και E3.

Πίνακας 33. Πίνακας των τριών μέτρων παραμορφωσιμότητας για την τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-3

Τεχνικογεωλογική Ενότητα	σ_{ci} (MPa)	E_i (MPa)	GSI	D	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E3 (MPa)
Gn-3	40	20000	30	0	1644,9	1627,7	2000,0
Gn-3	40	20000	27,5	0	1314,9	1390,4	1731,9
Gn-3	40	20000	25	0	1050,4	1197,1	1499,8
Gn-3	40	20000	22,5	0	838,6	1040,3	1298,8
Gn-3	40	20000	20	0	669,3	913,4	1124,7

Το αντίστοιχο διάγραμμα που προκύπτει από τον Πίνακα αυτόν για την τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-3 δίνεται παρακάτω:



Γράφημα 15. Γράφημα GSI και μέτρων παραμορφωσιμότητας για την τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-3

Στο διάγραμμα της Gn-3, παρατηρούμε ότι και οι καμπύλες των E2-E3 ακολουθούν μία γραμμική τάση που έχει γραμμική μορφή. Ενώ, αυτή της E1 ακολουθεί μία εκθετική μορφή.

Και οι τρεις καμπύλες αυξάνονται σταθερά, με το E3 να προπορεύεται συνεχώς των άλλων 2. Το E2 ακολουθεί και το E1 έρχεται τελευταίο σε τιμές έως την τιμή του GSI=30, όπου και ταυτίζεται σχεδόν με το E2.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στο ίδιο εύρος του GSI το E1 φτάνει στις τιμές του E2, το οποίο και ακολουθεί μία πιο απότομη αύξηση τιμών σε σχέση με το E1, γιατί μόνο το E1 ακολουθεί μία αύξηση εκθετικής μορφής.

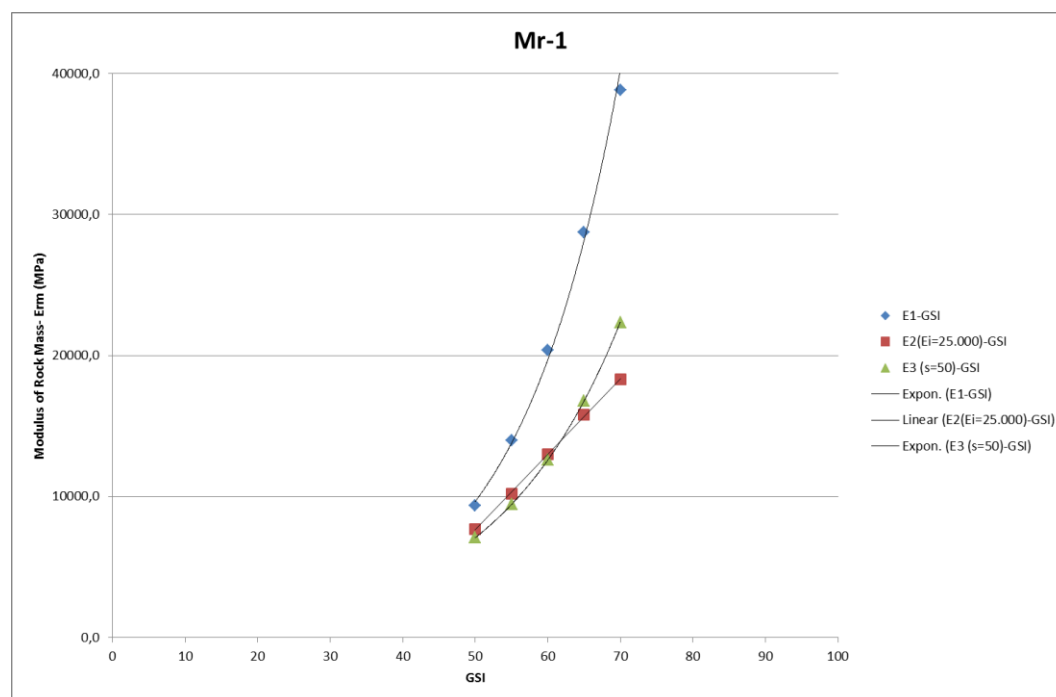
Τεχνικογεωλογική Ενότητα Mr-1:

Είναι η τεχνικογεωλογική ενότητα ενός ορίζοντα μαρμάρων που είναι υγής έως ελαφρά αποσπασμένη. Μας δίνεται για αυτόν, λοιπόν, ένα εύρος τιμών του GSI από 50 έως και 70. Ένα εύρος, δηλαδή, όμοιο με αυτό που συναντήσαμε και νωρίτερα στην τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-1 των βιοτιτικών γνευσίων. Μεταβάλλοντας τις τιμές αυτές ανά 5, προκύπτει ο ακόλουθος Πίνακας που εμπεριέχει και τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τα μέτρα παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας E1, E2 και E3.

Πίνακας 34. Πίνακας των τριών μέτρων παραμορφωσιμότητας για την τεχνικογεωλογική ενότητα Mr-1

Τεχνικογεωλογική Ενότητα	σ_{ci} (MPa)	E_i (MPa)	GSI	D	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E3 (MPa)
Mr-1	50	25000	70	0	38828,1	18320,4	22360,7
Mr-1	50	25000	65	0	28718,6	15793,0	16768,1
Mr-1	50	25000	60	0	20365,0	13000,0	12574,3
Mr-1	50	25000	55	0	13965,2	10207,0	9429,4
Mr-1	50	25000	50	0	9340,7	7679,6	7071,1

Το αντίστοιχο διάγραμμα που προκύπτει από τον Πίνακα αυτόν για την τεχνικογεωλογική ενότητα Mr-1 δίνεται παρακάτω:



Γράφημα 16. Γράφημα GSI και μέτρων παραμορφωσιμότητας για την τεχνικογεωλογική ενότητα Mr-1

Στο διάγραμμα της Mr-1, παρατηρούμε ότι και οι καμπύλες των E1-E3 έχουν μία εκθετική γραμμική τάση. Ενώ, η καμπύλη της E2 έχει μία γραμμική γραμμική τάση.

Αξίζει να σημειωθεί, τώρα, για την πορεία των καμπυλών ότι το E1 ακολουθεί εκθετική και ραγδαία αύξηση με μεγάλη διαφορά και με μεγαλύτερες τιμές για όλο το εύρος τιμών που χρησιμοποιήθηκαν για το GSI, συγκριτικά με τις άλλες δύο καμπύλες. Ωστόσο, το E3 αν και ακολουθεί εκθετική μορφή ξεκινά με τιμές χαμηλότερες από αυτές του E2. Στη συνέχεια, ωστόσο, μετά την τιμή 60 του GSI, κατορθώνει να συνεχίσει την πορεία υψηλότερα από το E2, χωρίς όμως να φτάνει τις τιμές του E1.

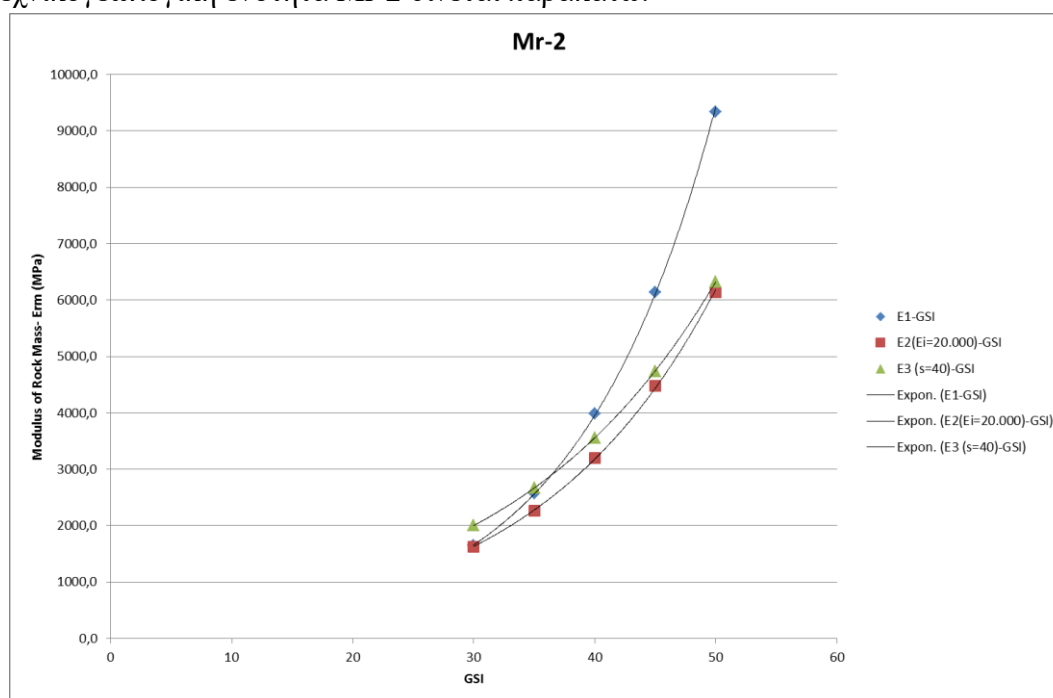
Τεχνικογεωλογική Ενότητα Mr-2:

Είναι η τεχνικογεωλογική ενότητα ενός οριζοντα μαρμάρων που είναι μέτρια έως ισχυρά αποσθρωμένοι και κατά τύπους έντονα κερματισμένοι. Μας δίνεται για αυτόν, λοιπόν, ένα εύρος τιμών του GSI από 30 έως και 50. Ένα εύρος, δηλαδή, όμοιο με αυτό που συναντήσαμε και νωρίτερα στην τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-2 των βιοιτικών γενεσίων. Μεταβάλλοντας τις τιμές αυτές ανά 5, προκύπτει ο ακόλουθος Πίνακας που εμπεριέχει και τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τα μέτρα παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας E1, E2 και E3.

Πίνακας 35. Πίνακας των τριών μέτρων παραμορφωσιμότητας για την τεχνικογεωλογική ενότητα Mr-2

Τεχνικογεωλογική Ενότητα	σ _{ci} (MPa)	E _i (MPa)	GSI	D	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E3 (MPa)
Mr-2	40	20000	50	0	9340,7	6143,7	6324,6
Mr-2	40	20000	45	0	6138,3	4473,0	4742,7
Mr-2	40	20000	40	0	3985,6	3193,0	3556,6
Mr-2	40	20000	35	0	2567,2	2268,1	2667,0
Mr-2	40	20000	30	0	1644,9	1627,7	2000,0

Το αντίστοιχο διάγραμμα που προκύπτει από τον Πίνακα αυτόν για την τεχνικογεωλογική ενότητα Mr-2 δίνεται παρακάτω:



Γράφημα 17. Γράφημα GSI και μέτρων παραμορφωσιμότητας για την τεχνικογεωλογική ενότητα Mr-2

Στο διάγραμμα της M_r-2, παρατηρούμε ότι και οι τρεις καμπύλες των E1-E2-E3 έχουν μία εκθετική γραμμική τάσης. Συνεπώς, και οι 3 καμπύλες αυξάνονται εκθετικά. Το E2 διατηρεί σταθερά για όλο το εύρος του δοθέντος GSI τις χαμηλότερες τιμές του μέτρου παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας, συγκριτικά και με τις άλλες δύο καμπύλες των E1 και E3. Το E3 ξεκινά με υψηλότερες τιμές και από τις δύο άλλες, αλλά στο σημείο που αντιστοιχεί για GSI=30, το E1 που ξεκίνησε από κοντινή τιμή με το E2, το φτάνει το E2 και το ξεπερνά μετά το σημείο για GSI=40.

Τεχνικογεωλογική Ενότητα F-1

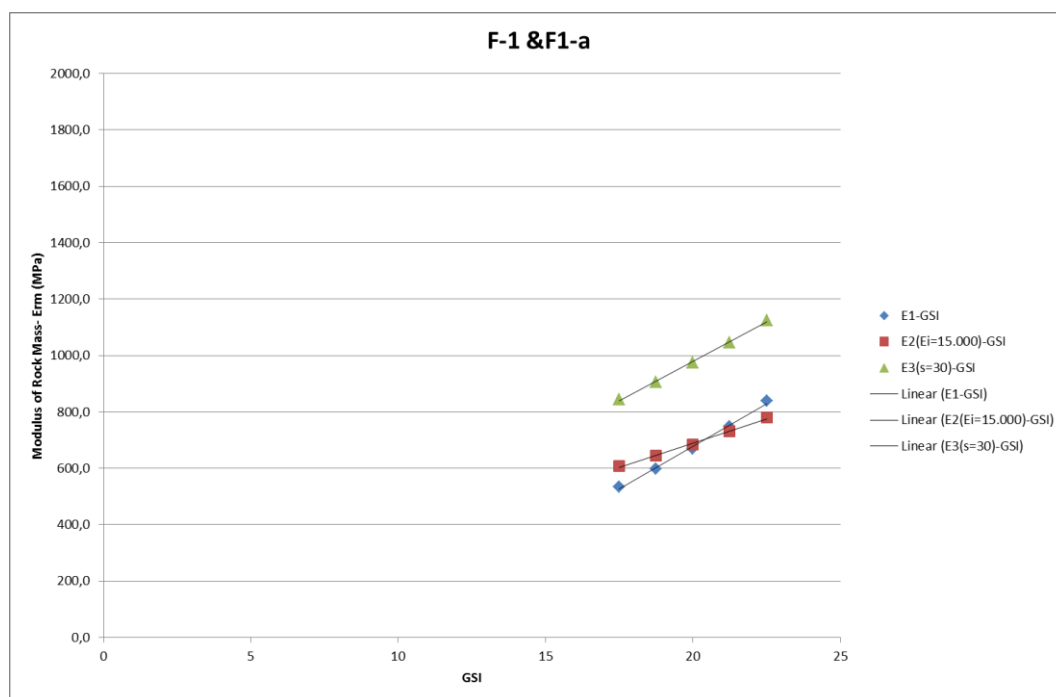
Είναι η τεχνικογεωλογική ενότητα που αποτελείται από ρήγματα και ζώνες έντονης τεκτονικής καταπόνησης. Εντός της ενότητας F-1, υπάρχει και η υποενότητα F-1a, η οποία υπάρχει μόνο σε ζώνες πάχους 1 έως 1,5 m σε τμήμα της διατομής που δεν επηρεάζει τη συνολική ευστάθεια της εκσκαφής.

Στην προκειμένη περίπτωση, δίνεται μόνο μία τιμή για το GSI η οποία είναι GSI=20. Την τιμή αυτή την συναντήσαμε και νωρίτερα στην τεχνικογεωλογική ενότητα Gn-3 των βιοιτικών γνευσίων. Ωστόσο, εδώ το πρόβλημα που προκύπτει είναι ότι εφόσον δεν δίνεται εύρος τιμών για το GSI, δεν είναι δυνατό και να δούμε τη συμπεριφορά των τριών διαφορετικών τιμών του μέτρου παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας. Είναι δυνατό να δημιουργηθεί, όμως, ένα μικρό εύρος τιμών που δεν θα αποκλίνει παρά ελάχιστα γύρω από την κεντρική τιμή του GSI, που δίνεται και με ένα μικρότερο βήμα από τις υπόλοιπες περιπτώσεις, θα επιτευχθεί και η μελέτη για τη συμπεριφορά των εξισώσεων και σε αυτήν την ενότητα. Συνεπώς, μεταβάλλοντας τις τιμές αυτές ανά 1,25, προκύπτει ο ακόλουθος Πίνακας που εμπεριέχει και τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τα μέτρα παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας E1, E2 και E3.

Πίνακας 36. Πίνακας των τριών μέτρων παραμορφωσιμότητας για την τεχνικογεωλογική ενότητα F-1

Τεχνικογεωλογική Ενότητα	σ_{ci} (MPa)	E_i (MPa)	GSI	D	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E3 (MPa)
F1&F1-a	30	15000	22,5	0	838,6	780,2	1124,8
F1&F1-a	30	15000	21,25	0	749,2	730,1	1046,7
F1&F1-a	30	15000	20	0	669,3	685,1	974,0
F1&F1-a	30	15000	18,75	0	597,8	644,7	906,4
F1&F1-a	30	15000	17,5	0	533,9	608,4	843,5

Το αντίστοιχο διάγραμμα που προκύπτει από τον Πίνακα αυτόν για την τεχνικογεωλογική ενότητα F1 & F1-a δίνεται παρακάτω:



Γράφημα 18. Γράφημα GSI και μέτρον παραμορφωσιμότητας για την τεχνικογεωλογική ενότητα F-1

Στο διάγραμμα της F1 & F1-a, παρατηρούμε ότι και οι τρεις καμπύλες των E1-E2-E3 έχουν μία γραμμική γραμμή τάσης. Άρα, και οι 3 καμπύλες αυξάνονται γραμμικά. Το E3 διατηρεί σταθερά για όλο το εύρος του δοθέντος GSI τις υψηλότερες τιμές του μέτρον παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας, συγκριτικά και με τις άλλες δύο καμπύλες των E1 και E2, και μάλιστα με αρκετή διαφορά. Το E2 ξεκινά με υψηλότερες τιμές από το E1, αλλά σε κάποιο σημείο ανάμεσα στις τιμές 20 και 21,25 του GSI, το E1 ξεπερνά σε τιμές το E2, κι αυτό γιατί η γραμμή τάσης του, έχει πιο απότομη κλίση, άρα και πιο απότομη αύξηση.

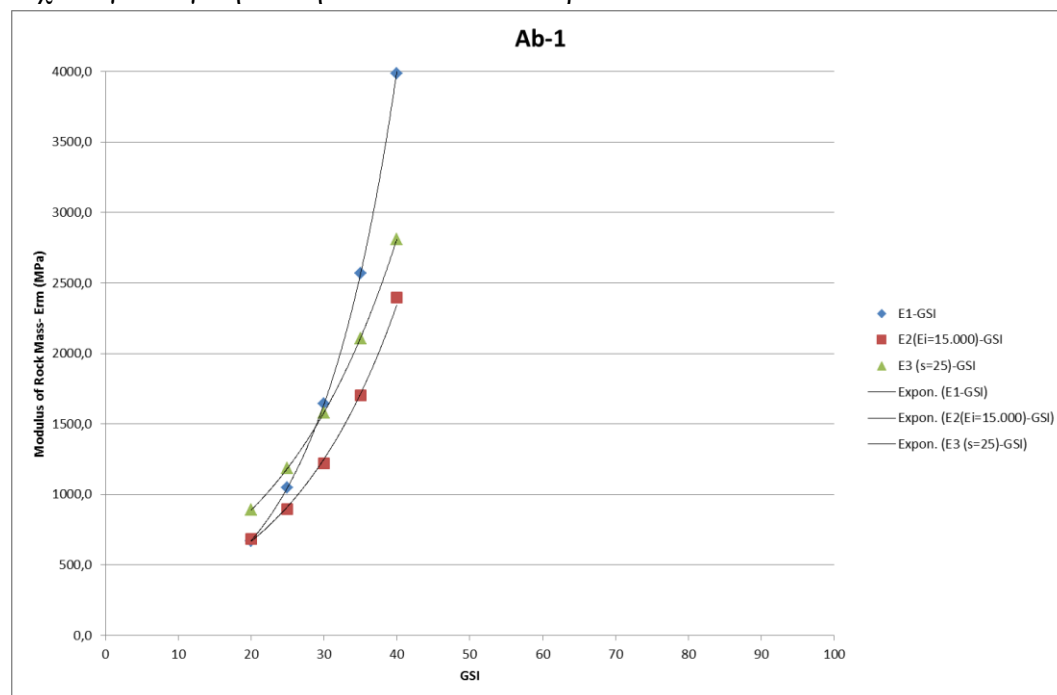
Τεχνικογεωλογική Ενότητα Ab-1:

Είναι η τεχνικογεωλογική ενότητα που περιλαμβάνει. Μας δίνεται για αυτόν, λοιπόν, ένα εύρος τιμών του GSI από 20 έως και 40. Μεταβάλλοντας τις τιμές αυτές ανά 5, προκύπτει ο ακόλουθος Πίνακας που εμπεριέχει και τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τα μέτρα παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας E1, E2 και E3.

Πίνακας 37. Πίνακας των τριών μέτρον παραμορφωσιμότητας για την τεχνικογεωλογική ενότητα Ab-1

Τεχνικογεωλογική Ενότητα	σ_{ci} (MPa)	E_i (MPa)	GSI	D	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E3 (MPa)
Ab-1	25	15000	40	0	3985,6	2394,8	2811,7
Ab-1	25	15000	35	0	2567,2	1701,1	2108,5
Ab-1	25	15000	30	0	1644,9	1220,7	1581,1
Ab-1	25	15000	25	0	1050,4	897,8	1185,7
Ab-1	25	15000	20	0	669,3	685,1	889,1

Το αντίστοιχο διάγραμμα που προκύπτει από τον Πίνακα αυτόν για την τεχνικογεωλογική ενότητα Ab-1 δίνεται παρακάτω:



Γράφημα 19. Γράφημα GSI και μέτρου παραμορφωσιμότητας για την τεχνικογεωλογική ενότητα Ab-1

Στο διάγραμμα της Ab-1, παρατηρούμε ότι και οι τρεις καμπύλες των E1-E2-E3 έχουν μία εκθετική γραμμική τάση. Άρα, και οι τρεις καμπύλες αυξάνονται ακολουθώντας ένα εκθετικό ρυθμό αύξησης. Πιο συγκεκριμένα, το E2 διατηρεί σταθερά για όλο το εύρος του δοθέντος GSI τις χαμηλότερες τιμές του μέτρου παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας, συγκριτικά και με τις άλλες δύο καμπύλες των E1 και E3. Το E3 ξεκινά με υψηλότερες τιμές από το E1, αλλά στο σημείο για GSI=30, το E1 ξεπερνά σε τιμές το E3, κι αυτό γιατί η γραμμική τάση του, έχει πιο απότομο ρυθμό αύξησης.

Τώρα, σχετικά με τη διαμόρφωση των παραπάνω διαγραμμάτων θα πρέπει να αναφερθεί ότι για τις τεχνικογεωλογικές ενότητες, που είχαμε εύρος GSI ίσο με 50-70, οι οποίες είναι η Gn-1 και η Mr-1, διαμορφώνεται ο κάθετος άξονας του μέτρου παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας με ένα εύρος από 0 έως 40.000 MPa, με μία διαβάθμιση τιμών ανά 10.000 MPa. Στη συνέχεια, για τις τεχνικογεωλογικές ενότητες, που είχαμε εύρος GSI ίσο με 30-50, οι οποίες είναι η Gn-2 και η Mr-2, διαμορφώνεται ο κάθετος άξονας του μέτρου παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας με ένα εύρος από 0 έως 10.000 MPa, με μία διαβάθμιση τιμών ανά 1.000 MPa. Στις τεχνικογεωλογικές ενότητες, που είχαμε εύρος GSI ίσο με 20-30, όπως στην Gn-3, και GSI ίσο με 20, με ένα μικρό εύρος που διαμορφώθηκε για χάρη μελέτης της συγκεκριμένης ενότητας, όπως στην Mr-1, διαμορφώνεται ο κάθετος άξονας του μέτρου παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας με ένα εύρος από 0 έως 2.000 MPa, με μία διαβάθμιση τιμών ανά 200 MPa. Ενώ, για την ενότητα Ab-1, με ένα εύρος GSI ίσο με 20-40, διαμορφώνεται ο κάθετος άξονας του μέτρου παραμορφωσιμότητας της

βραχομάζας με ένα εύρος από 0 έως 4.000 MPa, με μία διαβάθμιση τιμών ανά 500 MPa.

Συμπερασματικά, από όλα τα παραπάνω διαγράμματα που παραθέτονται και έχουν προκύψει από τους αντίστοιχους πίνακες, προκύπτει ότι το μέτρο παραμορφωσιμότητας για τη βραχομάζα που υπολογίζεται από την εξίσωση 2, δηλαδή το E2, παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές του E_{fm} και η αντίστοιχη καμπύλη του βρίσκεται στην πλειονότητα των περιπτώσεων κάτω από τις άλλες δύο. Εξαιρέση σε αυτό αποτελούν δύο τεχνικογεωλογικές ενότητες, η Gn-2 και η Gn-3. Στη μεν πρώτη, μπορεί οι τιμές του E2 να βρίσκονται υψηλότερα από αυτές των άλλων δύο καμπυλών, αλλά δεν παρουσιάζουν αξιοσημείωτη διαφοροποίηση και οι τρεις καμπύλες βρίσκονται πολύ κοντά η μία στην άλλη, στο αντίστοιχο διάγραμμα. Στη δε δεύτερη, η καμπύλη της E2 βρίσκεται ανάμεσα στις άλλες δύο καμπύλες, στο αντίστοιχο γράφημα, αλλά παρουσιάζει μικρή διαφοροποίηση από τις τιμές της E1, η οποία αποτελεί και την τελευταία καμπύλη κατά σειρά με τις χαμηλότερες τιμές. Σημειώνεται, ακόμη, ότι το E2 είναι και αυτό που επιλέχθηκε από τους υπεύθυνους για τη μελέτη του έργου στους υπολογισμούς των μοντέλων. Άρα, συνολικά η εξίσωση 2 δίνει μία αρκετά συντηρητική επίλυση, με την έννοια ότι λαμβάνοντας ως αποτέλεσμα μία χαμηλή τιμή για το μέτρο παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας, η μελέτη προκύπτει να είναι συντηρητική και υπέρ της ασφαλείας.

9. ΚΥΚΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

9.1 ΕΞΟΥΥΞΗ

Η όρυξη της κύριας σήραγγας προσπέλασης και μεταφοράς υλοποιείται στην πλειονότητα του έργου με τη χρήση εκρηκτικών και κατά θέσεις με μηχανικά μέσα, όπου αυτό κρίνεται αναγκαίο, όπως αναφέρεται και παραπάνω στο κεφάλαιο 3, στο τμήμα που αναφέρεται στις ανατινάξεις. Εκεί δίνονται και περισσότερες λεπτομέρειες, καθώς και στο τέλος του ίδιου κεφαλαίου παρατίθεται και αντίστοιχο φωτογραφικό υλικό (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

9.2. ΦΟΡΤΩΣΗ - ΜΕΤΑΦΟΡΑ

Η φόρτωση και μεταφορά των προϊόντων της εξόρυξης για τα πρώτα 330 m της σήραγγας πραγματοποιείται με φορτωτή υπογείων. Ωστόσο, μετά από την ολοκλήρωση της κατασκευής της πρώτης εγκάρσιας στοάς, χρησιμοποιείται επιπλέον φορτηγό υπογείων. Τα μεγέθη των μηχανημάτων αυτών εξαρτώνται από τον τελικό ωφέλιμο χώρο της διαδικασίας φόρτωσης και τη θέση που τοποθετείται ο αγωγός αερισμού (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Καθ' όλη τη διάρκεια της διάνοιξης της υπό εξέτασης σήραγγας, τα προϊόντα εξόρυξης μεταφέρονται από το μέτωπο που εξορύσσονται μέχρι τις εγκάρσιες στοές, και στη συνέχεια από εκεί στην επιφάνεια. Η μεταφορά αυτή πραγματοποιείται, τόσο με φορτωτή υπογείων, όσο και με φορτηγά (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Ο χρησιμοποιούμενος μηχανολογικός εξοπλισμός παρουσιάζεται επιγραμματικά στον Πίνακα 38 (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011):

Πίνακας 38. Ελάχιστα απαιτούμενος μηχανολογικός εξοπλισμός για την όρυξη της σήραγγας (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

α/α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ
1	ΕΚΣΑΠΤΙΚΟ ΜΗΧΑΝΗΜΑ Τύπου LIEBHERR 932 ή αναλόγου	1
2	ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΟ ΜΗΧΑΝΗΜΑ JUMBO	2
5	ΦΟΡΤΩΤΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ (τύπου CAT 966, τύπου TORO ή αναλόγου)	1
6	ΠΡΕΣΣΑ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	1
7	ΚΑΔΟΦΟΡΟ	1
8	ΒΑΡΕΛΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	2
9	DUMPER (τύπου TORO 40 ή TORO 30SX ή αναλόγου)	4
10	ΛΙΠΑΝΤΙΚΟ	1
11	ΟΧΗΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	1

ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ		
12	ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΟ	1
13	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΒΑΡΔΙΑΣ	1
14	ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ	1
15	ΟΧΗΜΑ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ (ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ)	1
16	ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ ΕΠΙΣΤΑΤΗ	1
17	ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΞΕΣΚΑΡΩΤΗΣ	1
ΣΥΝΟΛΟ		19

9.3. ΑΕΡΙΣΜΟΣ

Στο υπόγειο μέτωπο εργασίας χρειάζεται η τοποθέτηση του βέλτιστου δυνατού συστήματος αερισμού, για την επίτευξη του οποίου ακολουθούνται οι παρακάτω προδιαγραφές (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011):

- Τοποθέτηση φυσητικού συστήματος αερισμού με εύκαμπτους αγωγούς και κεντρικής διάταξης ανεμιστήρων σε θέση κοντά στο στόμιο της στοάς. Με αυτόν τον τρόπο, ο εισαγόμενος αέρας απαλλάσσεται από καπνούς, σκόνη και οποιαδήποτε μόλυνση. Οπότε η θέση λήψης του αέρα είναι σε απόσταση από το στόμιο σε κατάλληλη απόσταση, η οποία κρίνεται κατά προσέγγιση στα 30 m.
- Περιεκτικότητα κατ' όγκο του αέρα σε οξυγόνο είναι μεγαλύτερη ή ίση του 19,5 %, καθώς η σύσταση του αέρα πρέπει και πληροί ποιοτικά και ποσοτικά κάθε αναγκαίο όρο για την επίτευξη της υγιεινής και της ασφάλειας του εργατικού προσωπικού και η συγκέντρωση σκόνης, ατμών και αερίων πρέπει να βρίσκονται κάτω από τα επιτρεπτά όρια.
- Εκτέλεση συνεχών μετρήσεων προς πλήρη έλεγχο συγκεντρώσεων αιωρούμενων κονιορτών και επικίνδυνων αερίων, όπως για παράδειγμα αυτά της εκπομπής των ντιζελοκίνητων μηχανημάτων. Ελέγχεται ο παρεχόμενος καθαρός αέρας στο μέτωπο εκσκαφής ανά 100 m μήκους, κατ' ελάχιστο μία φορά για κάθε 15 μέρες. Το χρονικό διάστημα ελέγχου μπορεί να διαφοροποιηθεί ανάλογα με τις υπάρχουσες συνθήκες. Παράλληλα, ελέγχονται οι αρμοί των αεραγωγών για πιθανή βλάβη ή διαρροή, ώστε αυτή να αποκατασταθεί εγκαίρως.
- Κατάλληλη ρύθμιση της ταχύτητας του εισερχόμενου ρεύματος αέρα, για την αποτελεσματική ανανέωση του αέρα σε κάθε θέση εργασίας, για τη διατήρηση της υγρασίας και θερμοκρασίας εντός των ορίων, και για να μην έχουμε το σχηματισμό κονιορτού. Ως τιμές μέσης ταχύτητας του αέρα εντός της σήραγγας ορίζονται εκείνες που είναι μικρότερες των 8 m/sec.
- Κατάλληλος αερισμός του μετώπου διάρκειας τουλάχιστον 30 min, μετά από κάθε πυροδότηση διατηρημάτων για να έχουμε αραίωση των παραγόμενων αερίων σε συγκεντρώσεις εντός των επιτρεπτών ορίων, όπως αυτά καθορίζονται στον ΚΜΛΕ.

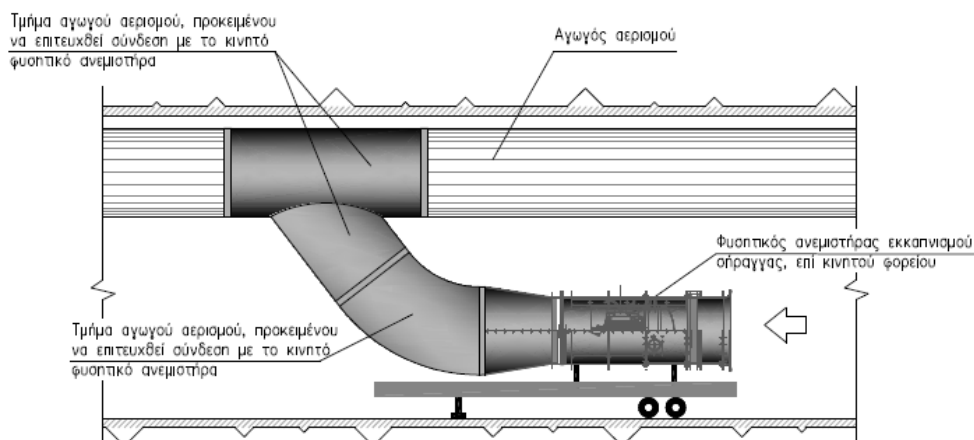
- Ειδική μέριμνα προστασίας των εργαζομένων από αιωρούμενα σωματίδια, ατμούς, κονιορτούς, καπνούς και αέρια με χρήση μέτρων προστασίας (για παράδειγμα μάσκα ολόκληρου προσώπου), όπου αυτό κρίνεται αναγκαίο.
- Παύση λειτουργίας του ντιζελοκίνητου εξοπλισμού εντός της στοάς, κατά την πυροδότηση των διατρημάτων έως και την απαγωγή των καπνών και την εξασφάλιση μίας ασφαλούς ατμόσφαιρας, όπως άλλωστε θεωρείται και αυτονόητο (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Τα όρια για την ποιότητα του αέρα και για τις συγκεντρώσεις σε αυτών επικίνδυνων στοιχείων στην όρυξη μίας σήραγγας δίνονται κάθε φορά από τους κανονισμούς του εκάστοτε κράτους. Για την περίπτωση της Ελλάδας, ο ΚΜΛΕ ορίζει για την παροχή αέρα τουλάχιστον $2 \text{ m}^3/\text{min}$ ανά εργαζόμενο και $2,8 \text{ m}^3/\text{min}$ ανά HP μηχανής Diesel (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Σύμφωνα με τη συνήθη μέθοδο αερισμού σήραγγων υπό όρυξη, τοποθετείται φυσητικός ανεμιστήρας πριν από την είσοδο, διοχετεύεται ο κατάλληλος αέρας μέσω εύκαμπτων αγωγών για αερισμό του μετώπου και επιστροφή του μολυσμένου αέρα διά της υπόλοιπης διατομής της σήραγγας. Βέβαια η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται καλύτερα με την παράλληλη χρήση εκρηκτικών υλών, οι οποίες όταν αποσυντίθεται παράγουν μειωμένες ποσότητες ρύπων. Αν δεν εφαρμοστεί αυτό και με δεδομένο ότι υπάρχει μεγάλο μήκος σήραγγας, ο απαιτούμενος χρόνος για την απαγωγή των καπνών δύναται να καταστεί υπερβολικά μεγάλος με όποια συνέπεια αυτό επιφέρει (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Η κατάλληλη διάταξη είναι αυτή που θα συμβάλλει αποτελεσματικά στην αντιμετώπιση του προβλήματος κάτω από τις παρούσες συνθήκες. Σύμφωνα με αυτή, ο απαιτούμενος αέρας θα διοχετεύεται στο μέτωπο μέσω εύκαμπτων αγωγών και φυσητικού ανεμιστήρα, ο οποίος θα είναι τοποθετημένος πριν από την είσοδο της σήραγγας, και η απαγωγή των καπνών θα διεξάγεται μέσω των αγωγών με τη βοήθεια φυσητικού ανεμιστήρα (ανεμιστήρων), οι οποίοι είναι τοποθετημένοι πάνω σε κινητό φορείο που βρίσκεται σε επαρκή απόσταση πίσω από το μέτωπο (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

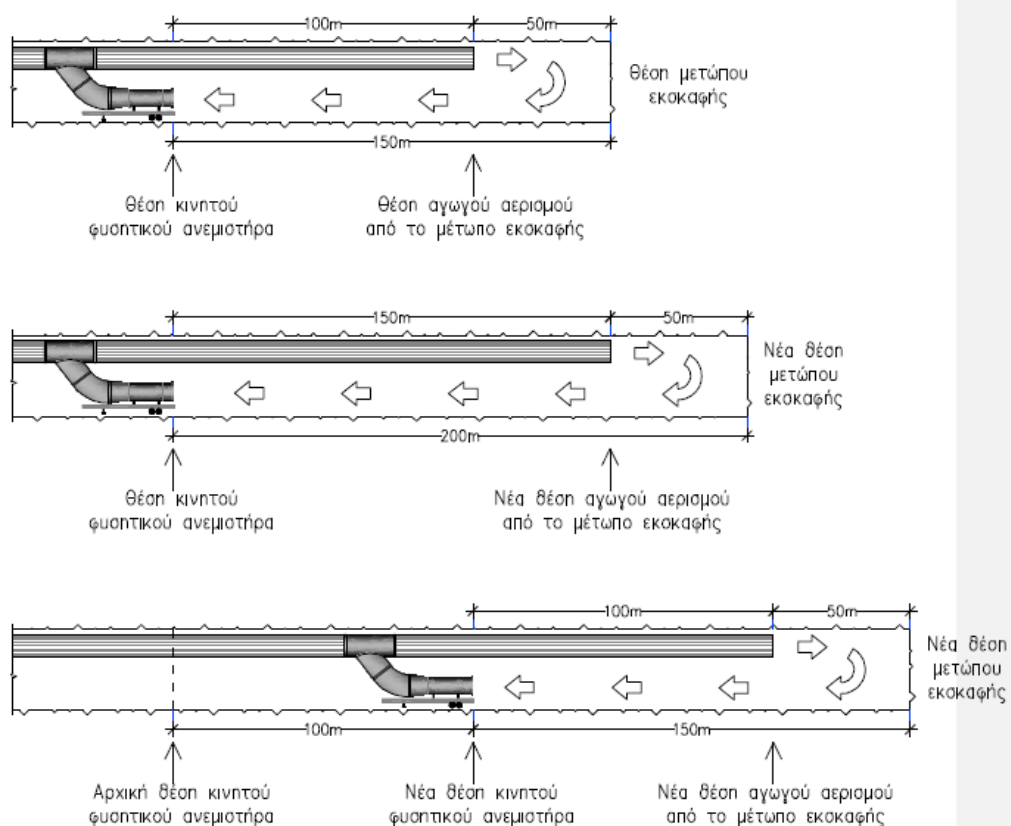
Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η σύνδεση του ανεμιστήρα με τους αγωγούς (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011):



Σχέδιο 12. Ενδεικτική διάταξη σύνδεσης κινητού φυσητικού ανεμιστήρα (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Μέσω του φυσητικού ανεμιστήρα, ο οποίος είναι εγκατεστημένος στην είσοδο της σήραγγας, διοχετεύεται αέρας για μερικά λεπτά αμέσως μετά την πυροδότηση των διατρημάτων, έτσι ώστε να απομακρυνθεί το νέφος καπνού από το μέτωπο και κατευθυνθεί στο στόμιο του αγωγού. Στη συνέχεια, ο φυσητικός ανεμιστήρας του κινητού φορείου για την απαγωγή των καπνών τίθεται σε λειτουργία, για να ακολουθήσει η φόρτωση και μεταφορά των εξορυχθέντων προϊόντων στην επιφάνεια.

Στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται η διάταξη του συστήματος σε σχέση με την πρόοδο της εκσκαφής της σήραγγας.



Σχέδιο 13. Διάταξη εκκαπνισμού σήραγγας με την πρόοδο της εκσκαφής.

Με την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου, το νέφος των καπνών δε διαπερνά όλο το μήκος της σήραγγας και έτσι διευκολύνεται η άνετη και ασφαλής εκτέλεση των εργασιών που επιτελούνται εντός αυτής.

Για τον υπολογισμό της τάξης μεγέθους της ισχύος των ανεμιστήρων και συγκεκριμένα για τον αερισμό της σήραγγας με μήκος σχεδόν 8800 m, θεωρείται σίγουρη και εγγυημένη η στεγανότητα τους. Συνεπώς, δεν υπάρχουν διαφυγές αέρα

κατά μήκος της. Επιπλέον, παραλείπονται όποιες πιθανές απώλειες λόγω κρούσεων, για τον υπολογισμό των απωλειών πίεσεως.

Η συνολική ισχύς των μηχανών εσωτερικής καύσης που θα χρησιμοποιηθούν για την όρυξη της σήραγγας και την εκ μετώπου φόρτωση και μεταφορά των εξορυσσομένων προϊόντων είναι καταλυτικός παράγοντας για την ισχύ των απαιτούμενων ανεμιστήρων.

Η απαιτούμενη παροχή αέρα προκύπτει ότι θα είναι 800 HP*2,3 m³/mm & HP, δηλαδή 1840 m³/min ή σχεδόν 30 m³/sec, θεωρώντας αμελητέα την ποσότητα αέρα που αντιστοιχεί στους εργαζόμενους μέσα στη σήραγγα, σε σύγκριση με την απαιτούμενη ποσότητα για τη λειτουργία των μηχανών εσωτερικής καύσης - και θεωρώντας 800 HP τη συνολική ισχύ των μηχανών.

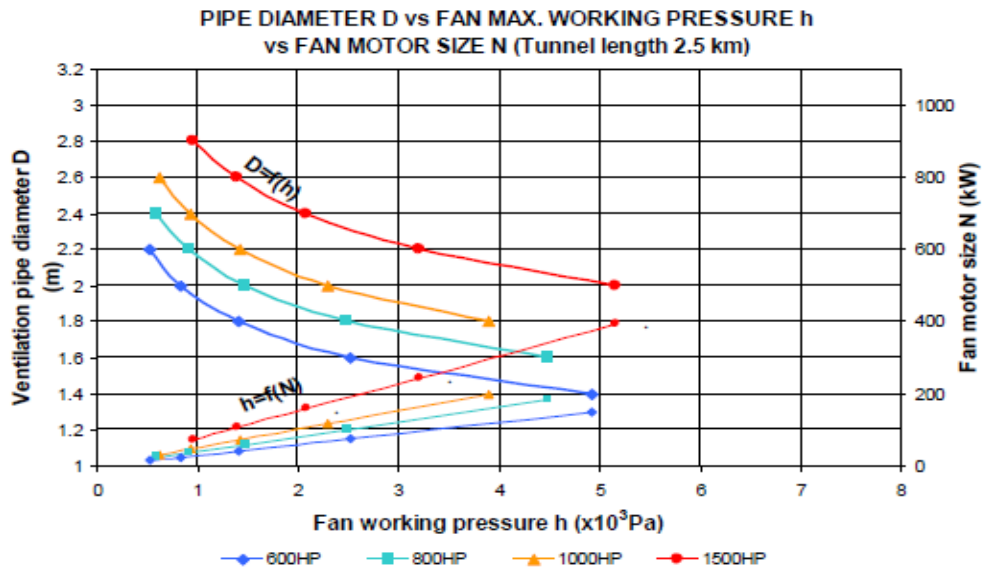
Οι απώλειες πίεσεως κατά μήκος του αγωγού, μετά από σχετικούς υπολογισμούς και παίρνοντας ως συντελεστή τριβής του αέρα στον αγωγό $\lambda=0,02$ και συντελεστή απόδοσης του ανεμιστήρα $\eta=0,75$, προκύπτει ότι είναι ιδιαίτερα υψηλές για αγωγούς διαμέτρου μικρότερης των 2 m εξαιτίας και του μεγάλου μήκους της σήραγγας.

Για αγωγούς διαμέτρου 1,2 m - 1,4 m - 1,6 m - 1,8 m και 2,0 m οι απώλειες πίεσεως ανέρχονται σε 6652 - 3078 - 1579 - 876 και 517 mm H₂O, αντίστοιχα και οι ανάλογες ισχύς του ανεμιστήρα σε 2720 - 1258 - 645 - 358 και 211 kW, για το μέγιστο δυνατό μήκος του αγωγού, το οποίο είναι 8800 m.

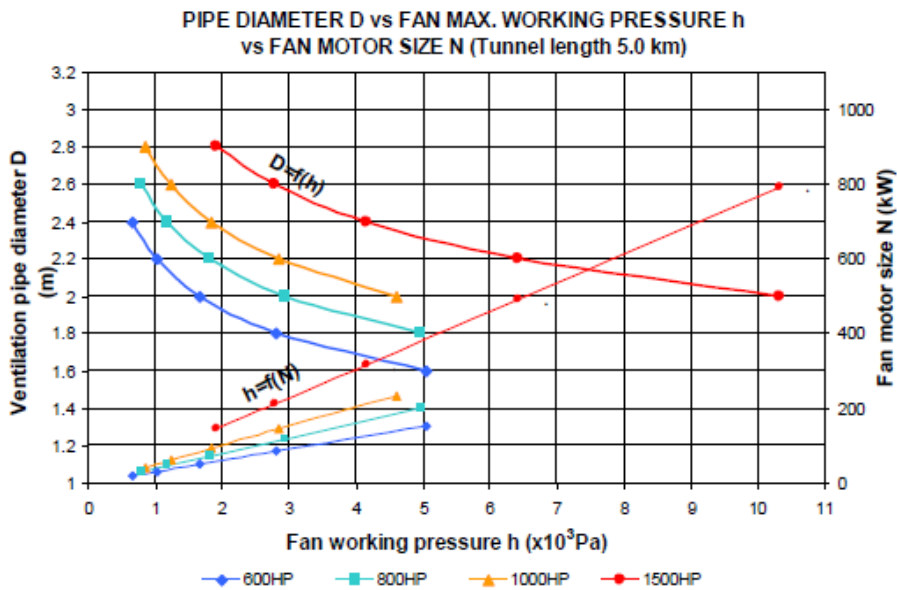
Η ισχύς του ανεμιστήρα αυξάνεται υπερβολικά αν κριθεί αναγκαία η χρήση μηχανών εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ.) - διαθέσιμες στο εργοτάξιο - μεγαλύτερης σχετικά ισχύος, ακόμη και για διάμετρο D αγωγού 2 m.

Η απαιτούμενη ελάχιστη παροχή αέρα που θα διοχετευθεί για συνολική ισχύ των χρησιμοποιούμενων Μ.Ε.Κ 1000 HP, βάσει του ΚΜΛΕ, είναι 38,3 m³/s, άρα η απαιτούμενη ισχύς του ανεμιστήρα αυξάνεται σε 400 kW και η απώλεια πίεσης σε 808 mm H₂O (8082 Pa) στην τελική φάση όρυξης της σήραγγας. Αν η συνολική ισχύς των ΜΕΚ ανέλθει στους 1500 HP, τότε η πίεση που θα διαχειριστεί ο ανεμιστήρας εκτινάσσεται στα 18184 Pa.

Με την πρόοδο της όρυξης της σήραγγας, είναι έκδηλο ότι θα αυξάνονται οι απώλειες πίεσης, καθώς επίσης και η ισχύς του απαιτούμενου ανεμιστήρα. Οι συνθήκες όρυξης των πρώτων χιλιομέτρων είναι ευνοϊκές, ενώ στη συνέχεια δυσχεραίνουν σημαντικά.



Σχέδιο 14. Διάγραμμα διαμέτρου αγωγού αερισμού συναρτήσει της απώλειας πίεσης και της ισχύος του ανεμιστήρα, για διάφορες τιμές ισχύος Μ.Ε.Κ. και για μήκος σήραγγας 2,5 km.



Σχέδιο 15. Διάγραμμα διαμέτρου αγωγού αερισμού συναρτήσει της απώλειας πίεσης και της ισχύος του ανεμιστήρα, για διάφορες τιμές ισχύος Μ.Ε.Κ. και για μήκος σήραγγας 5,0 km.

Με βάση τα παραπάνω δύο σχήματα – διαγράμματα, που αφορούν τα 5 πρώτα km της σήραγγας, καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά ενός τυπικού ανεμιστήρα ισχύος 160 - 200 kW της εταιρείας Zitron ή παρόμοιου προκύπτει ότι :

- Ο αερισμός της σήραγγας στα πρώτα 2,5 km, για διάμετρο αγωγού αερισμού 2,00 m, θα επιτευχθεί με τη χρήση ενός ανεμιστήρα σε περίπτωση χρήσης Μ.Ε.Κ. 800 & 1000 HP. Η χρήση δύο ανεμιστήρων σε σειρά κρίνεται αναγκαία σε περίπτωση 1500 HP.
- Στα επόμενα 2,5 km για την ίδια διάμετρο αγωγού και ισχύ 800 HP ο αερισμός επιτυγχάνεται με έναν ανεμιστήρα, ενώ για 1000 HP είναι απαραίτητη η ενεργοποίηση και δεύτερου ανεμιστήρα σε σειρά. Η πίεση λειτουργίας αυξάνεται απότομα στους 1500 HP και έτσι απαιτείται η εφαρμογή τεσσάρων ανεμιστήρων σε σειρά για τον κατάλληλο αερισμό του μετώπου εκσκαφής.

Σύμφωνα με τα διαγράμματα για το συνολικό μήκος σήραγγας 8,8 km απαιτούνται τρεις ανεμιστήρες σε σειρά σε περίπτωση χρήσης Μ.Ε.Κ. με συνολική ισχύ 1000 HP, ενώ ο αερισμός της σήραγγας για 1500 HP επιτυγχάνεται με τουλάχιστον 6 ανεμιστήρες, οι οποίοι θα πρέπει να είναι σε σειρά.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, για την εξυπηρέτηση της διάνοιξης της σήραγγας με λειτουργία Μ.Ε.Κ. συνολικής ισχύος 1500 HP είναι απαραίτητη η χρήση αγωγού αερισμού διαμέτρου 2,4 ~ 2,5 m.

Παίρνοντας υπόψη τα διαγράμματα του, που υπολογίστηκαν για κάθε km σήραγγας, για ισχύ Μ.Ε.Κ. 1500 HP, και έχοντας επιλέξει διάμετρο αγωγού αερισμού 2,4 ~ 2,5 m, προκύπτουν τα παρακάτω:

- ❖ Ο αερισμός του μετώπου εκσκαφής στα πρώτα 4 km θα επιτευχθεί με τη χρήση ενός ανεμιστήρα ισχύος 200 - 250 kW.
- ❖ Στα υπόλοιπα 4,4 km ο αερισμός θα γίνει με τη χρήση δύο ανεμιστήρων ισχύος 200 - 250 kW.

Σχήμα : Διάγραμμα διαμέτρου αγωγού αερισμού συναρτήσει της απώλειας πίεσης και της ισχύς του ανεμιστήρα, για κάθε km σήραγγας και για συνολική τιμή ισχύος Μ.Ε.Κ. 1500 HP.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, θα προσδιοριστούν διατάξεις έτσι ώστε να είναι εφικτή η σταδιακή αύξηση της παροχής του/των ανεμιστήρα/ων με την πρόοδο των εργασιών εκσκαφής.

Οι πιο εξελιγμένοι ανεμιστήρες διαθέτουν τις συγκεκριμένες διατάξεις και έτσι παρέχεται η εκάστοτε απαιτούμενη ποσότητα αέρα με βάση τις επικρατούσες συνθήκες, και κυρίως τις συγκεντρώσεις CO και NO₂ μέσα στη σήραγγα, ως και τις απαιτήσεις αέρα που προβλέπονται από τους κανονισμούς. Ολόκληρη η διάταξη, από την οποία προκύπτει μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, καλύπτεται με πρόγραμμα υπολογιστή, αλλά είναι σε θέση να λειτουργεί και χειρωνακτικά αν αυτό καταστεί αναγκαίο.

Από τα προαναφερθέντα, συνεπάγεται ότι ο αερισμός της σήραγγας θα επιτευχθεί διά αγωγού διαμέτρου 2,5 m και με τη χρησιμοποίηση δύο ανεμιστήρων ισχύος 200 - 250 kW σε σειρά, αφού η συνολική ισχύς των Μ.Ε.Κ. , που θα χρησιμοποιηθούν για τη διάνοιξη της σήραγγας και την αποκομιδή των εξορυσσομένων προϊόντων, είναι 1500 HP. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι υπολογισμοί διενεργήθηκαν σύμφωνα με τον Ελληνικό ΚΜΛΕ, και με την προϋπόθεση ότι οι διαφυγές του αέρα κατά μήκος του αγωγού είναι μηδενικές.

Τα χαρακτηριστικά του κινητού φουσητικού ανεμιστήρα, ο οποίος θα τοποθετείται μέσα στη σήραγγα για τον εκκαπνισμό μετά από κάθε έκρηξη, θα είναι ίδια με αυτά των ανεμιστήρων που θα τοποθετηθούν στο στόμιο της (200 - 250 kW). Η ισχύς του ανεμιστήρα θα αυξάνεται ή θα μειώνεται ανάλογα, μετά από δοκιμές για το χρόνο εκκαπνισμού της σήραγγας.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι θα χρειαστούν τέσσερις ανεμιστήρες στο σύνολο, ισχύος 200 - 250 kW ο καθένας. Στο στόμιο της σήραγγας θα τοποθετηθούν οι δύο σε σειρά για να παρέχουν την απαιτούμενη ποσότητα αέρα στο μέτωπο εκσκαφής, ενώ ο τρίτος θα είναι στο κινητό φορείο και θα χρησιμοποιείται για τον εκκαπνισμό της σήραγγας μετά από κάθε έκρηξη. Σε περίπτωση που κάποιος ανεμιστήρας τεθεί εκτός λειτουργίας λόγω βλάβης, υπάρχει στο εργοτάξιο και τέταρτος.

Σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα εκσκαφής της σήραγγας, θα διανοιχτούν :
αρχικά το κυρίως τμήμα της σήραγγας μέχρι τη Χ.Θ. 6+580.

Στη συνέχεια, η ανωφερής σήραγγα, συνολικού μήκους ~1780 m, μέχρι τη μονάδα λιθογόμωσης, προκειμένου να εξυπηρετηθεί το μεταλλείο. Το υπόλοιπο τμήμα της κύριας σήραγγας, μέχρι τη Χ.Θ. 8+800, θα διανοιχθεί σε επόμενη φάση ταυτόχρονα

με την εκμετάλλευση του μεταλλείου. Συνεπώς, ο αερισμός των σήραγγων θα επιτυγχάνεται ως εξής :

Το υπολειπόμενο τμήμα της σήραγγας από Χ.Θ. 6+580 έως Χ.Θ. 8+800 θα εξυπηρετείται με Μ.Ε.Κ. ισχύος μέχρι 1500 HP και ο αερισμός του θα γίνεται κανονικά μέσω των ήδη εγκατεστημένων φυσητικών ανεμιστήρων στην είσοδο της σήραγγας.

Στο τμήμα της σήραγγας από την είσοδο μέχρι τη Χ.Θ. 6+580 και μέχρι τη μονάδα λιθογόμωσης, θα κυκλοφορούν Μ.Ε.Κ. ισχύος > 1500 HP, εξαιτίας των εργασιών εκμετάλλευσης του κοιτάσματος. Το συγκεκριμένο τμήμα της σήραγγας θα αερίζεται μέσω των εγκατεστημένων μυζητικών ανεμιστήρων στο μεταλλείο. Έτσι, θα είναι ομόρροπη προς την κατεύθυνση μεταφοράς η ροή του καθαρού αέρα, δηλαδή από το στόμιο εισόδου της σήραγγας και προς τη μονάδα λιθογόμωσης.

Τελικώς, επαναλαμβάνεται και υπογραμμίζεται η σημασία του μεγέθους της συνολικής ισχύος των ΜΕΚ που θα χρησιμοποιηθούν για τη διάνοιξη της σήραγγας. Αν, ωστόσο, διαπιστωθεί αδυναμία μείωσης της ισχύος, η κατανάλωση ενέργειας για τον αερισμό της σήραγγας αισθητή.

9.4 ΦΩΤΙΣΜΟΣ

9.4.1 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΣΤΟΩΝ

Ο υπολογισμός του μόνιμου φωτισμού που θα χρειαστεί για την κύρια σήραγγα προσπέλασης και για τους δύο κλάδους Α και Β δίνεται παρακάτω.

Η εγκατάσταση υποσταθμού χαμηλής τάσης ισχύος 220 kVA είναι απαραίτητη για την παροχή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην κύρια στοά προσπέλασης, στους δύο κλάδους Α και Β και στις εγκάρσιες στοές θα τοποθετηθεί δίκτυο μόνιμου φωτισμού με φωτιστικά σώματα που περιέχουν δύο λαμπτήρες και ανακλαστήρα. Τα χαρακτηριστικά του δικτύου δίνονται παρακάτω:

Μήκος Γραμμής Φωτισμού

Συνολικό μήκος γραμμής φωτισμού: 11241,94 m

Κύριος κλάδος σήραγγας: 8766,80 m

Κλάδος Α: 1779,59m

Κλάδος Β: 177,58 m

Εγκάρσιες Στοές: 408,00 m

Εγκάρσιες Στοές Αντλιοστασίων: 110,00 m

Μέση απόσταση φωτιστικών σωμάτων: 15 m

Αριθμός Φωτιστικών Σωμάτων

Συνολικός αριθμός φωτιστικών σωμάτων: 762

Κύριος κλάδος σήραγγας: 585

Κλάδος A: 119

Κλάδος B: 13

Εγκάρσιες Στοές: 34

Εγκάρσιες Στοές Αντλιοστασίων: 11

Για τον υπολογισμό της στάθμης φωτισμού (μέση ένταση φωτισμού) στη κύρια στοά, αλλά και στους δύο κλάδους, χρησιμοποιείται η μεθοδολογία LUMEN, όπως δίνεται παρακάτω :

$$E = \frac{N * \Phi * \eta * Uf * K}{Af * f}$$

όπου :

E = μέση ένταση φωτισμού (Lux)

N = αριθμός φωτιστικών σωμάτων

Φ = φωτεινή ροή λαμπτήρα (ίση με 2.870 Lumen)

η = αριθμός λαμπτήρων σε κάθε φωτιστικό σώμα ($\eta = 2$)

Uf = συντελεστής χρησιμοποίησης (ίσος με 0,51)

K = συντελεστής μείωσης (λαμβάνεται K = 1)

Af = εμβαδόν χώρου (ανά 15 μέτρα Af = 15 x 6 = 90 m²)

f = συντελεστής συντήρησης (ίσος με 1,42)

Με την εφαρμογή του τύπου προκύπτει : E =22,9 Lux, άρα η ένταση φωτισμού είναι μεγαλύτερη από τα 20 Lux που προβλέπει ο ΚΜΛΕ.

Η μέση απόσταση ανάμεσα σε διαδοχικά σώματα φωτισμού θα αυξηθεί αν γίνει χρήση λαμπτήρων με μεγαλύτερη φωτεινή ροή.

9.4.1.1 ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΣΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η ένταση των 10 Lux που προβλέπει ο ΚΜΛΕ υπερκαλύπτεται από τους προβολείς των μηχανημάτων στις θέσεις εργασίας, ενώ ειδικοί φορητοί προβολείς ανάλογα με τις διαστάσεις του χώρου θα χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που δεν εργάζονται μεγάλα μηχανήματα.

9.4.1.2 ΑΤΟΜΙΚΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ

Κάθε εργαζόμενος, ταυτόχρονα με το φωτισμό των θέσεων, θα έχει ειδική ηλεκτρική λάμπα κεφαλής με φωτεινή ροή Lumen στη διάρκεια της εργασίας του.

9.5 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΝΕΡΩΝ

Σημαντικό θέμα είναι και η ύπαρξη υδροφορίας κατά τη διάρκεια εκσκαφής της σήραγγας και κατά τη φάση λειτουργίας της.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα σοβαρότερα προβλήματα που είναι πιθανό να αντιμετωπιστούν, καθώς και τα αντίστοιχα μέτρα αντιμετώπισης σε περίπτωση συνθηκών υπόγειας υδροφορίας.

9.5.1 Διαχείριση υπόγειων υδάτων κατά τη φάση διάνοιξης

Εφόσον κατά την όρυξη της κύριας σήραγγας υπάρχει η πιθανότητα εισροής υδάτων, υπολογίστηκαν οι απαιτήσεις σε αντλήσεις και τα απαιτούμενα αντλιοστάσια που θα κατασκευαστούν σε όλο το μήκος της σήραγγας προσπέλασης και μεταφοράς, τα οποία θα είναι σε λειτουργία έως και την ολοκλήρωση της εκσκαφής και υποστήριξης του κυρίως κλάδου της σήραγγας και σύνδεσής του με το μεταλλείο της Ολυμπιάδας.

Για την ασφαλή και αποδοτική εκτέλεση των εργασιών εκσκαφής και υποστήριξης είναι απαραίτητη η άντληση και απομάκρυνση των υπόγειων υδάτων που θα συγκεντρώνονται στο μέτωπο εκσκαφής. Τα νερά θα διοχετεύονται σε αντλιοστάσια μέσω κατάλληλα διαμορφωμένης συλλεκτήριας αύλακας (εφόσον απαιτηθεί θα έχει επένδυση από σκυρόδεμα) στον πυθμένα της σήραγγας με τέτοιο τρόπο ώστε να μην

επηρεάζει τις εργασίες διάνοιξης, και από εκεί θα κατευθύνονται στο στόμιο της σήραγγας.

Για συνολικό μήκος σηράγγων 10.725 m (κύριος κλάδος, κλάδος Α και κλάδος Β) με μέγιστη υψομετρική διαφορά 903 m απαιτούνται 11 αντλιοστάσια, τα οποία τοποθετούνται σε οριζόντια επίπεδα και τέμνουν τη σήραγγα σε κατακόρυφες υψομετρικές αποστάσεις κατά μέγιστο 85 m. Τα αντλιοστάσια θα χωροθετηθούν σε ειδικές εγκάρσιες στοές που θα διανοιχθούν μόνο για την άντληση των υδάτων. Οι εγκάρσιες στοές θα έχουν ενδεικτικό μήκος 10 m και γεωμετρία εκσκαφή ίδια με αυτή της κύριας σήραγγας. Κρίνεται αναγκαία η εκβάθυνση των εγκάρσιων στοών ελαχίστου βάθους 3,15 m, με σκοπό την κατασκευή των αντλιοστασίων και τη συγκέντρωση των υδάτων που θα ρέουν από το επίπεδο της εκσκαφής της κύριας σήραγγας.

Το σύστημα διαχείρισης των υδάτων της σήραγγας σχεδιάστηκε με δυναμικότητα 85 l/s ή 300 m³/h έχοντας υπόψη την εκτιμώμενη παροχή των 80 m³/h από τις υδρογεωλογικές μελέτες, προσαυξημένη με ένα συντελεστή ασφαλείας 1,2 σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις του ΚΜΛΕ (παράγραφος 2, άρθρο 76). Η παροχή θεωρήθηκε κατανεμημένη ανά μέτρο μήκους υπόγειου έργου, δηλαδή 85 l/s /10725 m = 0,0079 l/s/m.

Οι πιο πάνω υπολογισμοί έγιναν έχοντας υπόψη αντλίες τύπου FLYGT H 5570 ή παρόμοιου, με κεραμικές επιστρώσεις καρβιδίων του βολφραμίου. Οι αντλίες θα είναι μόνιμες και βυθιζόμενες, δηλαδή καλυμμένες με νερό για να ψύχονται, καθώς και σε κάθε αντλιοστάσιο θα εγκαθίστανται δύο όμοιες, η μία εκ των οποίων θα είναι εφεδρική.

Στους υπολογισμούς λήφθηκε υπόψη και η μέγιστη επιτρεπόμενη πυκνότητα της λάσπης τροφοδοσίας που είναι 1500 Kgr/m³.

Για την βέλτιστη ποσοτική διαχείριση των υδάτων εντός της σήραγγας και την εξασφάλιση της κατάλληλης φυσικοχημικής κατάστασής τους πριν την διάθεση αυτών, και σύμφωνα με τις απαιτήσεις της οδηγίας 2000/60, προβλέπεται να κατευθύνονται στη νέα μονάδα επεξεργασίας νερών στην είσοδο της στοάς + 216

στην περιοχή του Μαντέμ Λάκκου και τα επεξεργασμένα ύδατα να διατίθενται στο ρέμα του Κοκκινόλακκα.

10. ΣΥΓΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ

10.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ - ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ (PHASE2 /RS2 INTERACTION ANALYSIS THE ROCSCIENCE)

Στο πλαίσιο του έργου πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις και με το πρόγραμμα PHASE² /RS² της RocScience για τον έλεγχο συγκλίσεων και μετακινήσεων με στοιχεία που υπάρχουν από την έως τώρα προχώρηση του έργου.

Πιο συγκεκριμένα, κατά τη φάση κατασκευής διενεργούνται κατάλληλες γεωτεχνικές μετρήσεις και παρατηρήσεις με σκοπό να ελέγχεται η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας που εφαρμόζεται για τη διάνοιξη, καθώς και των χρησιμοποιούμενων μέτρων υποστήριξης.

Οι γεωτεχνικές μετρήσεις και παρατηρήσεις βοηθούν στον έλεγχο της συμπεριφοράς της υπόγειας εκσκαφής, του περιβάλλοντος πετρώματος, και ιδιαίτερα σε θέσεις κάποιας ευαισθησίας. Τελικώς, επιτυγχάνεται τόσο η ευστάθεια του έργου, όσο και η ασφάλεια αυτού.

Για τις μετρήσεις αυτές, τοποθετούνται σταθμοί μέτρησης μικρομετακινήσεων σε προκαθορισμένες διατομές και σταθμούς μέτρησης. Η απόσταση τοποθέτησης και εφαρμογής των σταθμών μέτρησης καθορίζεται από την ποιότητα της βραχώμαζας και είναι δυνατό να κυμαίνεται από 10m ως και 150m.

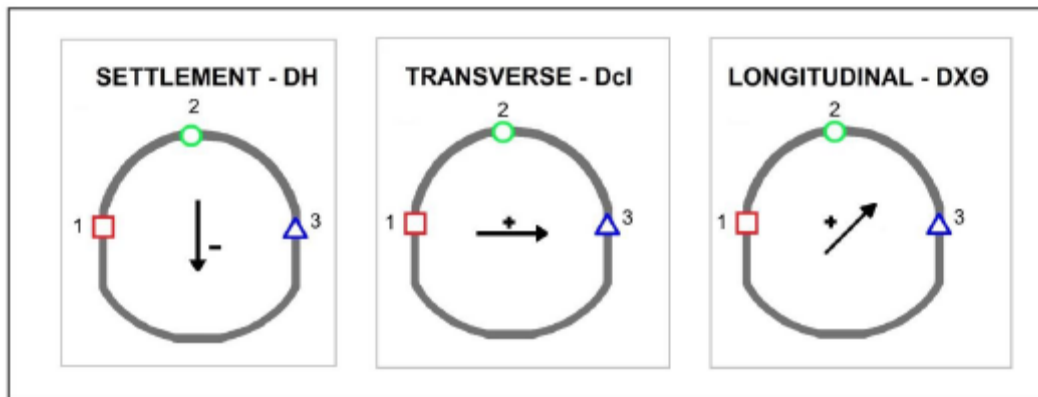
Η πυκνότητα λήψης των μετρήσεων φαίνεται και παρακάτω στους πίνακες μετρήσεων που παραθέτονται τόσο στην παρακάτω ανάλυση που ακολουθεί, όσο και στο σχετικό παράρτημα της παρούσας εργασίας. Ωστόσο, η πυκνότητα αυτών είναι δυνατό να αυξάνεται, είτε όταν η μετακίνηση που σημειώνεται μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων ξεπερνά τα 5mm, είτε λόγω ενδείξεων αποσταθεροποίησης της βραχομάζας της περιοχής που εκσκάπτεται.

Συνολικά, στην κύρια σήραγγα Ολυμπιάδας-Μάντεμ Λάκκου έχουν εγκατασταθεί 63 σταθμοί παρακολούθησης τύπου A1, όπως απεικονίζεται και στον Πίνακα που ακολουθεί αμέσως μετά. (ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ, 2014ε).

Πίνακας 39. Πίνακας συχνότητας μετρήσεων γεωτεχνικής παρακολούθησης (ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ, 2014ε).

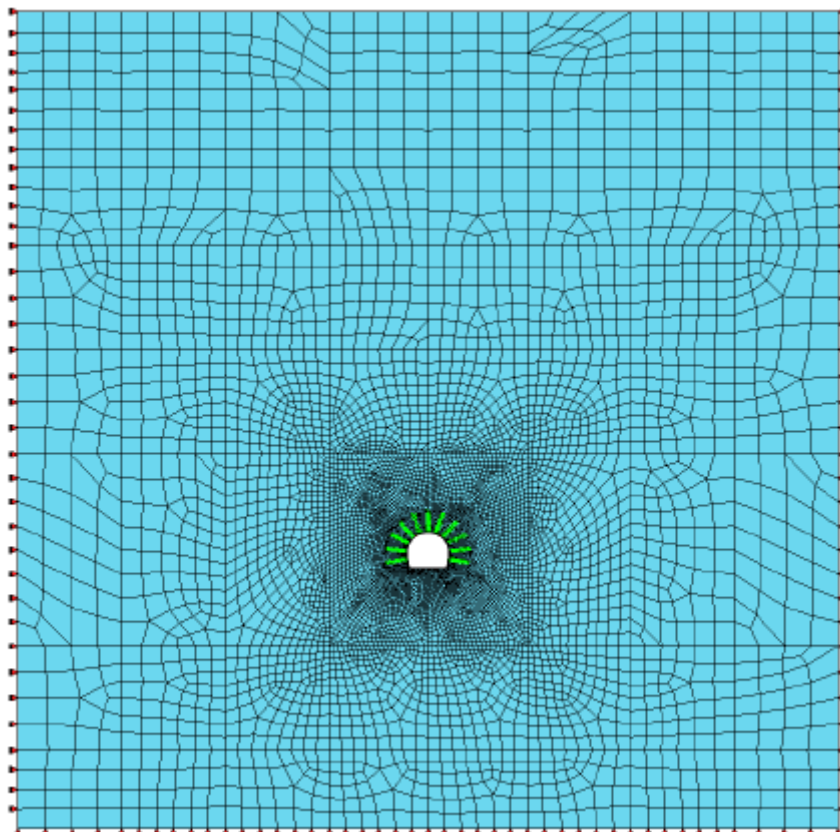
Τύπος Μέτρησης	Χρόνος Έναρξης	Συχνότητα Μετρήσεων
Ακίδες Σύγκλισης (τύπου A1)	max 3m από το εκάστοτε μέτωπο εκσκαφής	1 ^η εβδομάδα: 1 φορά ανά ημέρα
		2 ^η – 4 ^η εβδομάδα: 1 φορά ανά 3 έως 7 ημέρες
		Πέραν της 4 ^{ης} εβδομάδας: ανά 25 έως 35 ημέρες έως τη σταθεροποίηση των μετρήσεων

Ενώ, η διεύθυνση κάθε μικρομετακίνησης αποδίδεται στον παρακάτω Πίνακα:
Πίνακας 40. Ανάλυση διεύθυνσης μικρομετακινήσεων (ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ, 2014ε).



Για τον υπολογιστικό έλεγχο των μέτρων υποστήριξης και κατηγοριών εκσκαφής από τους μελετητές του έργου, που προηγήθηκε της διάνοιξης, έγινε χρήση του κώδικα πεπερασμένων στοιχείων SOFiSTiK (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Τυπική μορφή προσομοιωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν με αυτόν τον κώδικα δίνεται παρακάτω:



Σχέδιο 16. Τυπική μορφή κανάβου πεπερασμένων στοιχείων στον κώδικα SOFiSTiK (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

10.2 Χρήση του Phase² (RS²) της RocScience

Στο πλαίσιο των αναλύσεων της παρούσας εργασίας, ο κώδικας πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιείται είναι το Phase² (RS²) της RocScience.

Το Phase², ή όπως μετονομάστηκε προσφάτως RS², ανήκει και αυτό μαζί με το RocSupport στα γεωτεχνικά προγράμματα μελέτης της RocScience. Αποτελεί ένα λογισμικό μελέτης πεπερασμένων στοιχείων δύο διαστάσεων με πεδίο εφαρμογής σε εδάφη και βραχομάζες. Ήδη από την νέα ονομασία που το έχει δοθεί αυτό γίνεται έκδηλο, καθώς στο RS² το R δηλώνει τον Βράχο (στα αγγλικά αποδίδεται ως “Rock”), το S δηλώνει το έδαφος (στα αγγλικά αποδίδεται ως “Soil”), ενώ ο αριθμός συμπληρώνεται για να δείξει ότι η συνολική μελέτη τοποθετούν τα εκάστοτε δεδομένα και κάνουν τους υπολογισμούς αντιμετωπίζοντας ως ένα μοντέλο δύο διαστάσεων.

Το RS² είναι ένα λογισμικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ένα ευρύ φάσμα τεχνικών έργων και συμπεριλαμβάνει το σχεδιασμό της εκσκαφής, την ευστάθεια πρανών, τη διήθηση υπόγειων υδάτων, πιθανοτική ανάλυση, καθίζηση, και δυναμική ανάλυση.

Σύνθετα μοντέλα είναι δυνατό να δημιουργηθούν επί παραδείγματι σε σήραγγες εντός αδύναμων πετρωμάτων ή με ασυνέχειες, υπόγειους θαλάμους μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, υπαίθριες εκμεταλλεύσεις και πρανή, αναχώματα ή φράγματα. Σταδιακή αστοχία, αλληλεπίδραση υποστήριξης, καθώς και πληθώρα άλλων προβλημάτων μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά με τη χρήση αυτού του λογισμικού.

Το πρόγραμμα, λοιπόν, προσφέρει πολλές επιλογές μοντέλων υποστήριξης και μεταξύ άλλων αυτά μπορεί να είναι τα στοιχεία επένδυσης (όπως το σκυρόδεμα και το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα), χαλύβδινα πλαίσια, τοίχοι αντιστήριξης, πάσσαλοι, πολυστρωματική σύνθετη επένδυση και γεωφάσματα. Παράλληλα, τα εργαλεία σχεδιασμού της υποστήριξης περιέχουν και τη δυνατότητα παραγωγής γραφήματος της φέρουσας ικανότητας της υποστήριξης, το οποίο και επιτρέπει τον προσδιορισμό του συντελεστή ασφαλείας των οπλισμένων επενδύσεων. Οι διαθέσιμοι τύποι ηλώσεων περιλαμβάνουν ήλους σημειακής επαφής, πλήρους πάκτωσης, καλώδια σε τσιμεντένεμα ήλοι τριβής, και ηλώσεις ρητίνης.

Μία από τις κύριες λειτουργίες του RS² είναι η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για την ευστάθεια πρανών, που χρησιμοποιεί τη μέθοδο απομείωσης της διατμητικής αντοχής. Αυτή η επιλογή είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την εισαγωγή παραμέτρων είτε Mohr-Coulomb, είτε Hoek-Brown. Τα μοντέλα πρανών είναι δυνατό να εισάγονται και να εξάγονται από το πρόγραμμα RS² στο Slide και αντίστροφα, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο την αντιπαραβολή του ορίου ισοροπίας και των αποτελεσμάτων των πεπερασμένων στοιχείων.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, ότι τα προσομοιώματα και καταστατικά πρότυπα για βραχώδη και εδαφικά υλικά συμπεριλαμβάνουν τα κριτήρια Mohr-Coulomb, το Γενικευμένο Hoek-Brown και Cam-Clay (RocScience, 2016b).

10.3 ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Οι αναλύσεις που διεξάγονται είναι αντιπροσωπευτικές και δίνεται στη συνέχεια ο τρόπος επιλογής κάθε μίας.

Προτού προχωρήσουμε στην παρουσίαση των αναλύσεων και των αποτελεσμάτων αυτών, θα δοθούν οι μέγιστες επιτρεπόμενες μετακινήσεις, όπως αυτές αποδόθηκαν, ανά ενότητα εκσκαφής και υποστήριξης, καθώς επίσης και για τις αντίστοιχες τεχνικογεωλογικές ενότητες. Τα αποτελέσματα που φαίνονται σε κάθε μία από αυτές προέκυψαν από υπολογισμούς στο πρόγραμμα RocSupport της RocScience.

Πίνακας 41. Συνοπτικά αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχώμαζας-υποστήριξης για την κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης Α (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

<i>Τοπική διατομή εκσκαφής και υποστήριξης / Τεχνικογεωλογική ενότητα / Ύψος υπερκειμένων</i>	<i>Συντελεστής ασφαλείας</i>	<i>Αξονικές συγκλίσεις βραχώμαζας στο μέτωπο εκσκαφής (mm)</i>	<i>Μέγιστες συγκλίσεις βραχώμαζας (mm)</i>	<i>Μέγιστες συγκλίσεις υποστήριξης (mm)</i>
A / Gn-1 / 400m	2,23	2	7	3
A / Gn-2 / 200m	1,85	5	12	4
A / Gn-3 / 100m	2,54	8	15	3
A / Mr-1 / 400m	2,15	3	8	3
A / Mr-2 / 200m	2,30	10	19	3

Πίνακας 42. Συνοπτικά αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχώμαζας-υποστήριξης για την κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης Β (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

<i>Τοπική διατομή εκσκαφής και υποστήριξης / Τεχνικογεωλογική ενότητα / Ύψος υπερκειμένων</i>	<i>Συντελεστής ασφαλείας</i>	<i>Αξονικές συγκλίσεις βραχώμαζας στο μέτωπο εκσκαφής (mm)</i>	<i>Μέγιστες συγκλίσεις βραχώμαζας (mm)</i>	<i>Μέγιστες συγκλίσεις υποστήριξης (mm)</i>
B / Gn-1 / 600m	1,78	4	10	5
B / Gn-2 / 400m	1,27	13	24	7
B / Gn-3 / 200m	1,98	20	30	4
B / Mr-1 / 600m	1,70	6	14	6
B / Mr-2 / 400m	1,73	32	47	5

Πίνακας 43. Συνοπτικά αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχώμαζας-υποστήριξης για την κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης C (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

<i>Τοπική διατομή εκσκαφής και υποστήριξης / Τεχνικογεωλογική ενότητα / Ύψος υπερκειμένων</i>	<i>Συντελεστής ασφαλείας</i>	<i>Αξονικές συγκλίσεις βραχώμαζας στο μέτωπο εκσκαφής (mm)</i>	<i>Μέγιστες συγκλίσεις βραχώμαζας (mm)</i>	<i>Μέγιστες συγκλίσεις υποστήριξης (mm)</i>
C / Gn-1 / 900m	1,24	7	16	8
C / Gn-2 / 600m	1,04	23	38	9
C / Gn-3 / 400m	1,70	58	78	5
C / Mr-1 / 900m	1,23	12	23	8
C / Mr-2 / 600m	1,64	69	93	6

Πίνακας 44. Συνοπτικά αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχόμαζας-υποστήριξης για την κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης D & E (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

<i>Τοπική διατομή εκσκαφής και υποστήριξης / Τεχνικογεωλογική ενότητα / Ύψος υπερκειμένων</i>	<i>Συντελεστής ασφαλείας</i>	<i>Αξονικές συγκλίσεις βραχόμαζας στο μέτωπο εκσκαφής (mm)</i>	<i>Μέγιστες συγκλίσεις βραχόμαζας (mm)</i>	<i>Μέγιστες συγκλίσεις υποστήριξης (mm)</i>
D / Gn-3 / 500m	1,74	85	109	6
D / Mr-2 / 700m	1,72	94	120	6
E / Gn-3 / 900m	1,72	156	190	6

Πίνακας 45. Συνοπτικά αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχόμαζας-υποστήριξης για την κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης I για θέση στάθμευσης (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

<i>Τοπική διατομή εκσκαφής και υποστήριξης / Τεχνικογεωλογική ενότητα / Ύψος υπερκειμένων</i>	<i>Συντελεστής ασφαλείας</i>	<i>Αξονικές συγκλίσεις βραχόμαζας στο μέτωπο εκσκαφής (mm)</i>	<i>Μέγιστες συγκλίσεις βραχόμαζας (mm)</i>	<i>Μέγιστες συγκλίσεις υποστήριξης (mm)</i>
I / Gn-1 / 600m	1,76	4	11	6
I / Gn-2 / 400m	1,28	13	24	7
I / Gn-3 / 200m	2,01	21	31	5
I / Mr-1 / 600m	1,71	7	14	6
I / Mr-2 / 400m	1,79	34	48	6

Πίνακας 46. Συνοπτικά αποτελέσματα αναλύσεων αλληλεπίδρασης βραχόμαζας-υποστήριξης για την κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης II για θέση στάθμευσης (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

<i>Τοπική διατομή εκσκαφής και υποστήριξης / Τεχνικογεωλογική ενότητα / Ύψος υπερκειμένων</i>	<i>Συντελεστής ασφαλείας</i>	<i>Αξονικές συγκλίσεις βραχόμαζας στο μέτωπο εκσκαφής (mm)</i>	<i>Μέγιστες συγκλίσεις βραχόμαζας (mm)</i>	<i>Μέγιστες συγκλίσεις υποστήριξης (mm)</i>
II / Gn-1 / 900m	1,25	7	16	8
II / Gn-2 / 600m	1,08	24	37	9
II / Gn-3 / 500m	1,72	89	116	13
II / Mr-1 / 900m	1,29	13	22	7
II / Mr-2 / 700m	1,72	98	120	5

Στις τεχνικογεωλογικές ενότητες των βιοτιτικών γνευσίων διεξήχθησαν δύο αναλύσεις. Η πρώτη πραγματοποιείται για ύψος υπερκειμένων που ανέρχεται στα 200m και αντιστοιχεί στην κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης Α, ενώ η δεύτερη για ύψος υπερκειμένων 380m και αντιστοιχεί στην κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης Β.

Η μεν πρώτη αποτελεί μία δοκιμαστική και περισσότερο θεωρητική ανάλυση, μιας και δεν συναντήθηκε αυτή η ενότητα στην έως τώρα προχώρηση του έργου.

Αντιθέτως, η δεύτερη που αναφέρεται έχει συναντηθεί στη Χ.Θ.=1+057,17m, όπου και έχει τοποθετηθεί ο σταθμός παρακολούθησης μετακινήσεων D38.

Τεχνικογεωλογική Ενότητα Gn-1

ΑΝΑΛΥΣΗ 1

Αυτή η ανάλυση αναφέρεται στην κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης Β, και με ύψος υπερκειμένων $H=380m$. Η τεχνικογεωλογική ενότητα που χρησιμοποιείται είναι η Gn-1, που αφορά το βιοτιτικό γνεύσιο ο οποίος είναι υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένος.

Πρέπει να σημειωθεί ακόμη ότι για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής $K=1$, καθώς οι μελετητές υπέδειξαν ότι για τα υπάρχοντα πετρώματα της περιοχής αυτής έχει προκύψει να είναι η βέλτιστη τιμή.

Τα loadsteps επιλέχθηκαν, κατόπιν υπολογισμών των μοντέλων, να είναι 30 και τα iterations να ανέρχονται στα 5000.

Αρχικά, για τη δημιουργία της καμπύλης αποτόνωσης του πετρώματος, δημιουργήσαμε 13 στάδια εκσκαφής, σε κάθε ένα από τα οποία αποτονώναμε το καταναμημένο φορτίο, που επιλέξαμε ως μεθοδολογία αποτόνωσης τάσεων του περιβάλλοντος πετρώματος τη εκσκαφής. Οι συντελεστές αποτόνωσης που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε στάδιο φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

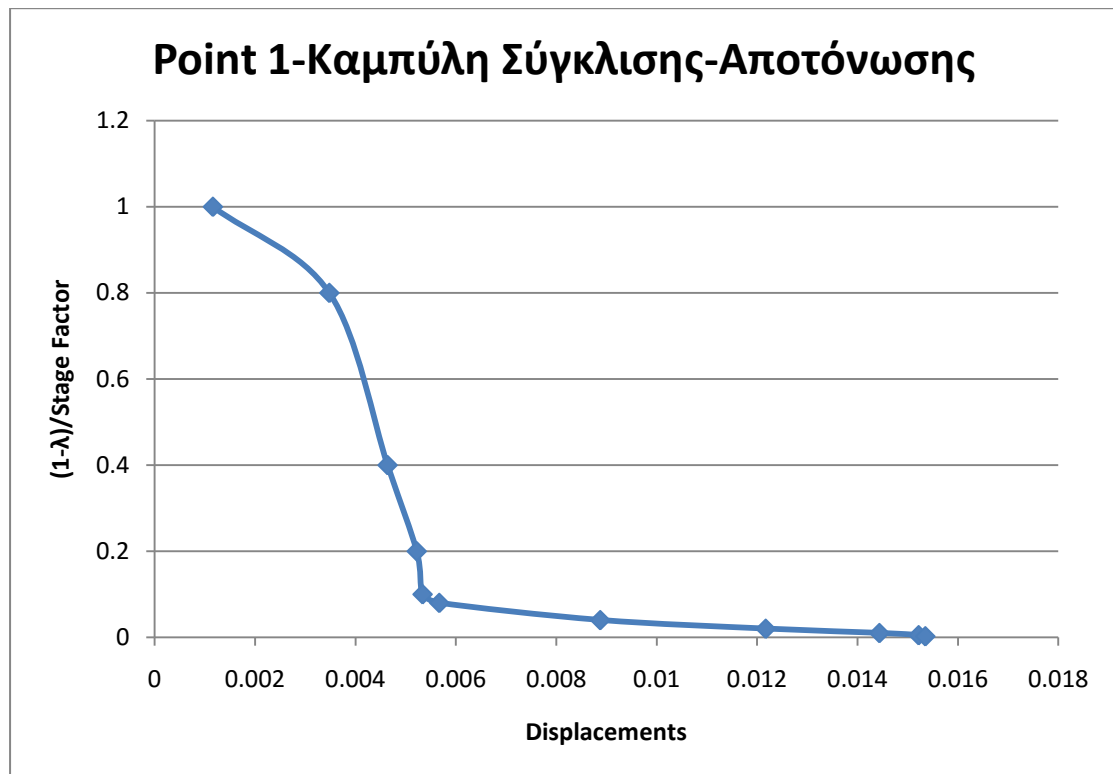
Πίνακας 47. Συντελεστές απομείωσης καταναμημένου φορτίου ανά στάδιο

Στάδια	Συντελεστής Αποτόνωσης Καταναμημένου Φορτίου
1. (αρχικό στάδιο)	0
2	1
3.	0,8
4.	0,4
5.	0,2
6.	0,1
7.	0,08
8.	0,04
9.	0,02
10.	0,01
11.	0,005
12.	0,0025
13.	0

Μετά την προσομοίωση προκύπτει η ακόλουθη καμπύλη σύγκλισης αποτόνωσης του περιβάλλοντος πετρώματος και ο αντίστοιχος πίνακας με τα αποτελέσματα.

Πίνακας 48. Αποτελέσματα μετακινήσεων ανά στάδιο προσομοίωσης

STAGES	DISPLACEMENTS	STAGE FACTOR
1	-	0
2	9.74192E-13	1
3	0.00115974	0.8
4	0.003479219	0.4
5	0.004639135	0.2
6	0.005219852	0.1
7	0.005336806	0.08
8	0.005668701	0.04
9	0.008875317	0.02
10	0.012171718	0.01
11	0.014436128	0.005
12	0.015217882	0.0025
13	0.01535116	0



Γράφημα 20. Καμπύλη Σύγκλισης - Αποτόνωσης

Το βήμα προχώρησης της κατηγορίας εκσκαφής και υποστήριξης B ανέρχεται στα 1,5m-2m. Επιλέγοντας, λοιπόν, βήμα προχώρησης 1,5m και ακτίνα της σήραγγας για την κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης B ίση με 4,3m, προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας με τις αδιαστατοποιημένες μετακινήσεις/LDP (Longitudinal Deformation Profile).

Πίνακας 49. Λόγος μετακινήσεων σύμφωνα με το LDP
CATEGORY B

AUTHOR	RELATION: U/U _∞	X (m)
Panet and Guenot	0.635535994	1.5
Panet	0.650604686	1.5
Corbeta	0.653601116	1.5
Carranza-Torres and Fairhurst (Hoek)	0.394523746	1.5
Unlu and Gercek	0.649021077	1.5

Οι παραπάνω σχέσεις προέκυψαν από τους αντίστοιχους τύπους που παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί (Yiouta-Mitra *et al*,2010):

AUTHOR	FORMULA
Panet and Guenot	$\frac{U}{U_{\infty}} = 0.28 + 0.72 * \left[1 - \left(\frac{0.84}{0.84 + x/R} \right)^2 \right]$
Panet	$\frac{U}{U_{\infty}} = \frac{1}{4} + \frac{3}{4} * \left[1 - \left(\frac{3}{3 + 4 * x} \right)^2 \right]$
Corbeta	$\frac{U}{U_{\infty}} = 0.29 + 0.71 * \left[1 - e^{\left(-1.5 * \left(\frac{x}{R} \right)^{0.7} \right)} \right]$
Carranza-Torres and Fairhurst (Hoek)	$\frac{U}{U_{\infty}} = \left[1 + e^{\left(\frac{-x/R}{1.1} \right)} \right]^{-1.7}$
Unlu and Gercek	$\left(\frac{U}{U_{\infty}} \right)_a = U_0 + A_a [1 - \exp(-B_a X)]; \left(\frac{U}{U_{\infty}} \right)_b = U_0 + A_b \left[1 - \left(\frac{B_b}{B_b + X} \right)^2 \right]$ <p>where $U_0 = 0.22\nu + 0.19; X = x /R; A_a = -0.22\nu - 0.19; B_a = 0.73\nu + 0.81;$ $A_b = -0.22\nu + 0.81; B_b = 0.39\nu + 0.65$</p>

Οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς αυτούς αντλήθηκαν από τους (Yiouta-Mitra *et al*,2010). Από τον παραπάνω πίνακα και σύμφωνα με τους Panet και Guenot ο λόγος των μετακινήσεων που σημειώνεται είναι 0,64. Από το προσομοίωμα που δημιουργήθηκε για το σχεδιασμό της καμπύλης σύγκλισης-αποτόνωσης αντλείται από το τελευταίο στάδιο αυτής η μέγιστη μετακίνηση που σημειώνεται στο σημείο 1, όπως αυτό φαίνεται στον πίνακα διευθύνσεων των μικρομετακινήσεων. Η μέγιστη μετακίνηση, λοιπόν, είναι $1,54 \cdot 10^{-2}$ m και η αντίστοιχη μετακίνηση που θα πρέπει να σημειωθεί προκειμένου να τοποθετηθεί η υποστήριξη έπειτα από αυτήν, προκύπτει, συνδυάζοντας τα παραπάνω, να είναι 9,856 mm.

Στο στάδιο προσομοίωσης 9 παρατηρείται μετακίνηση 8,88 mm, ενώ στο στάδιο 10 μετακίνηση $1,22 \cdot 10^{-2}$ m. Συνεπώς, η υποστήριξη τοποθετείται στο στάδιο 9 με ταυτόχρονη αφαίρεση του κατανεμημένου φορτίου από το εσωτερικό του ανοίγματος της εκσκαφής. Ας σημειωθεί, ότι όλα τα μέτρα υποστήριξης τοποθετούνται στο στάδιο 9 και δεν γίνεται η σταδιακή τοποθέτηση αυτών. Έτσι, προκύπτει και το δεύτερο προσομοίωμα που κατασκευάζουμε για αυτήν την ανάλυση. Για αυτό και με δεδομένο ότι τοποθετήθηκε στο στάδιο 9 το σύνολο της υποστήριξης, τα υπόλοιπα στάδια από το 10 ως και το 13, αφαιρούνται.

Μετά τον υπολογισμό του τελευταίου μοντέλου προκύπτουν μετακινήσεις 8-9mm στην αριστερή πλευρά. Συγκρίνουμε, στη συνέχεια, αυτές με τη μέγιστη μετακίνηση της βραχομάζας που δίνεται να είναι 10mm για τη συγκεκριμένη τεχνικογεωλογική ενότητα και κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης, όπως προκύπτει από τον πίνακα 42 από τις αναλύσεις των μελετητών.

Επομένως, το αποτέλεσμα της ανάλυσης είναι εντός των μέγιστων ορίων και συμφωνεί με τα αποτελέσματα των μελετητών.

Τεχνικογεωλογική Ενότητα Gn-2

ΑΝΑΛΥΣΗ 2

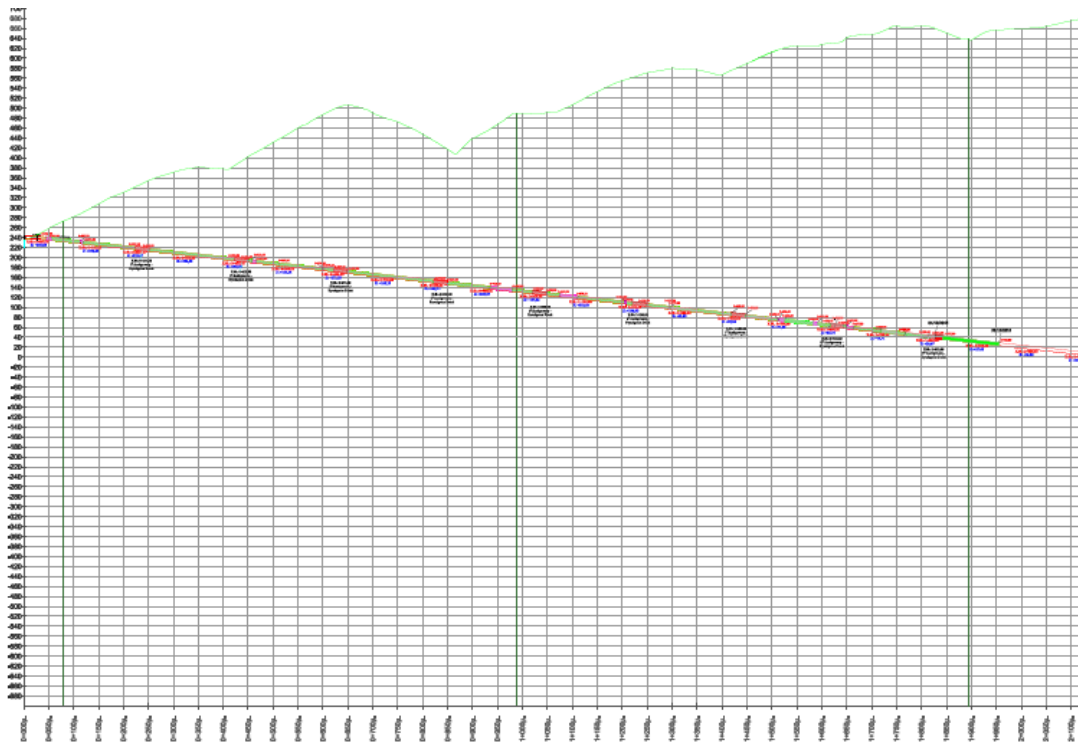
Οι τελευταίες διαθέσιμες μικρομετακινήσεις που παρουσιάζονται στις διάφορες θέσεις μετρητικών σταθμών παρουσιάζονται ως ακολούθως:

Πίνακας 50. Μέγιστες μικρομετακινήσεις που σημειώθηκαν κατά μήκος της κύριας σήραγγας Ολυμπιάδας-Μάντεμ Λάκκου (ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ, 2015ε).

Σταθμός	Χ.Θ.	Μέγιστη Μικρομετακίνηση (mm)	Σταθμός	Χ.Θ.	Μέγιστη Μικρομετακίνηση (mm)
D1	0+001,48	10,6 (3/DXΘ)	D40	1+130,75	-15,0 (2/DH)
D2	0+014,09	7,0 (1/Dcl)	D41	1+176,43	7,0 (2/DH)
D3	0+028,15	5,0 (3/Dcl)	D42	1+215,26	-30,1 (3/DXΘ)
D4	0+034,91	6,9 (1/DXΘ)	D43	1+225,86	-11,2 (2/DXΘ)
D5	0+046,25	-3,0 (3/DH)	D44	1+244,71	-12,5 (1/Dcl)
D6	0+058,80	-4,0 (2,3/DH)	D45	1+259,24	-14,3 (2/Dcl)
D7	0+073,07	-14,5 (1/Dcl)	D46	1+274,93	-10,7 (3/Dcl)
D8	0+089,22	-21,1 (1/Dcl)	D47	1+284,65	-14,3 (2/Dcl)
D9	0+107,29	-15,2 (1/Dcl)	D48	1+298,14	-17,4 (3/Dcl)
D10	0+147,67	-2,4 (2/Dcl)	D49	1+311,60	-7,6 (3/Dcl)
D11	0+175,45	-11,0 (3/DH)	D50	1+321,85	9,0 (2/DH)
D12	0+195,50	-3,7 (1/DXΘ)	D51	1+399,70	-6,3 (2/Dcl)
D13	0+212,80	11,0 (2/Dcl)	D52	1+353,90	6,7 -6,7 (1,2/Dcl)
D14	0+227,07	12,2 (2/Dcl)	D53	1+378,78	5,0 (1/DH)
D15	0+271,00	7,5 (1/Dcl)	D54	1+402,27	-3,9 (2/DXΘ)
D16	0+302,91	4,1 (3/DXΘ)	D55	1+418,14	-7,6 (2/Dcl)
D17	0+344,72	-4,0 (2/DH)	D56	1+442,43	-7,2 (3/Dcl)
D18	0+390,21	-13,0 (2/DH)	D57	1+457,53	7,0 (1/DH)
D19	0+436,53	6,0 (3/DH)	D58	1+474,58	-5,9 (2/DXΘ)
D20	0+450,71	5,0 (1/DH)	D59	1+499,98	6,0 (3/DXΘ)
D21	0+464,36	6,0 (1/DH)	D60	1+519,81	7,9 (1/DXΘ)
D22	0+477,30	-11,0 (1/DH)	D61	1+540,29	-6,5 (2/Dcl)
D23	0+492,15	-9,9 (1/Dcl)	D62	1+567,78	4,0 (3/DH)
D24	0+503,06	-13,6 (1/Dcl)	D63	1+587,39	-10,8 (2/DXΘ)
D25	0+522,40	-13,0 (3/Dcl)	D64	1+621,33	-4,3 (3/Dcl)
D26	0+542,67	-9,5 (2/Dcl)	D65	1+639,82	-5,0 (1/DH)
D27	0+566,49	-23,1 (3/Dcl)	D66	1+658,40	-8,9 (2/Dcl)
D28	0+581,68	-11,4 (1/Dcl)	D67	1+680,20	5,0 (3/DXΘ)
D29	0+613,14	6,0 (1,2/DH)	D68	1+700,20	-3,7 (2/Dcl)
D30	0+640,87	10,0 (1/DH)	D69	1+724,20	-8,5 (3/Dcl)
D31	0+722,21	-9,0 (1,2/DH)	D70	1+746,16	5,5 (1/DXΘ)
D32	0+798,73	7,2 (1/DXΘ)	D71	1+772,60	-5,8 (3/DXΘ)
D33	0+815,48	-17,8 (2/Dcl)	D72	1+795,90	2,5 (3/DXΘ)
D34	0+917,42	16,4 (1/DXΘ)	D73	1+820,54	7,5 (2/Dcl)
D35	0+937,29	13,0 (1/DXΘ)	D74	1+840,22	-4,4 (1/DXΘ)
D36	0+998,44	14,0 (3/DH)	D75	1+857,10	3,0 (3/DH/Dcl)
D37	1+039,10	-8,6 (1/Dcl)	D76	1+884,04	-2,2 (2/Dcl)
D38	1+057,17	-20,1 (1/Dcl)	D77	1+904,40	5,0 (3/DH)
D39	1+087,37	14,9 (3/DXΘ)			

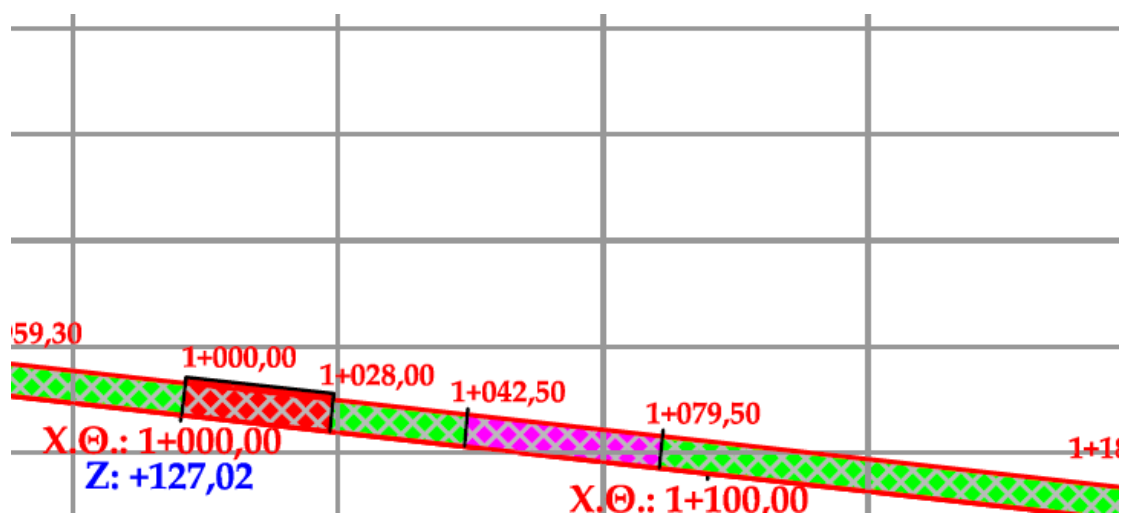
Από αυτές επιλέχθηκε μία εκ των μέγιστων μετακινήσεων που παρατηρείται να σημειώνονται, δηλαδή η μετακίνηση που καταγράφεται στο σταθμό D38, που αντιστοιχεί στη Χ.Θ.= 1+057,17m και η οποία ανέρχεται στα 20,1mm σε οριζόντια διεύθυνση μετακινήσεων.

Από τη μηκοτομή της προχώρησης των εργασιών, όπως αυτή παρουσιάζεται και παρακάτω, φαίνεται ότι η προχώρηση των εργασιών έχει φτάσει έως τη θέση Χ.Θ.=1+940,30m έως τις 31/12/2015.



Σχέδιο 17. Μηκοτομή κύριας σήραγγας προχώρησης εργασιών (ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ, 2015e).

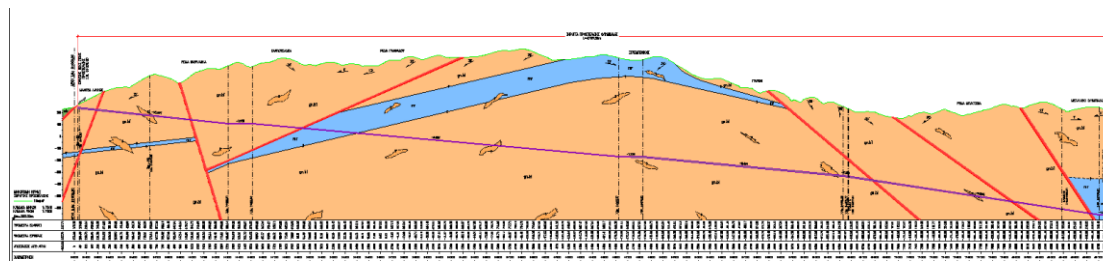
Ο σταθμός D38, που παρουσιάζεται παρακάτω σε μεγέθυνση δείχνει τη θέση στην οποία παρατηρείται, από το σχέδιο της μηκοτομής για την προχώρηση των εργασιών. Παρατηρούμε ότι εντοπίζεται ανάμεσα στις χιλιομετρικές θέσεις Χ.Θ.= 1+042,50m και Χ.Θ.= 1+079,50 m και σε αυτό το τμήμα παρατηρείται ότι εφαρμόζεται η κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης Β.



Σχέδιο 18. Μεγέθυνση της Χ.Θ.= 1+057,17m, όπου βρίσκεται ο σταθμός D38 (ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ, 2015e).

Από την παραπάνω μηκοτομή για την προχώρηση των εργασιών προκύπτει ότι στη θέση αυτή (Χ.Θ.= 1+057,17m) έχουμε υπερκείμενα $H=380$ m.

Ανατρέχοντας, τώρα, στην αντίστοιχη γεωλογική μηκοτομή, όπως αυτή παρατίθεται παρακάτω, παρατηρούμε ότι σε αυτή τη χιλιομετρική θέση συναντάται βιοτιτικός γνεύσιος.



Σχέδιο 19. Γεωλογική μηκοτομή (Κοντοθανάσης και Κατσά, 2011).

Στον Πίνακα 7 από το κεφάλαιο της υποστήριξης που αναφέρεται στην κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης Β, παρατηρείται ότι η τεχνικογεωλογική ενότητα των γνευσίων που χρησιμοποιείται για ύψη υπερκειμένων 200m -400m, είναι η Gn-2, που αφορά βιοτιτικό γνεύσιο μέτρια έως ισχυρά αποσθρωμένο και κατά τόπους έντονα κερματισμένο.

Πρέπει να σημειωθεί ότι για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής $K=1$, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ανάλυση.

Τα loadsteps επιλέχθηκαν, κατόπιν υπολογισμών των μοντέλων, να είναι 30 και τα iterations να είναι 5000.

Αρχικά, για τη δημιουργία της καμπύλης αποτόνωσης του πετρώματος, δημιουργήσαμε 13 στάδια εκσκαφής, σε κάθε ένα από τα οποία αποτονώναμε το κατανεμημένο φορτίο, που επιλέξαμε ως μεθοδολογία αποτόνωσης τάσεων του περιβάλλοντος πετρώματος τη εκσκαφής. Οι συντελεστές αποτόνωσης που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε στάδιο φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

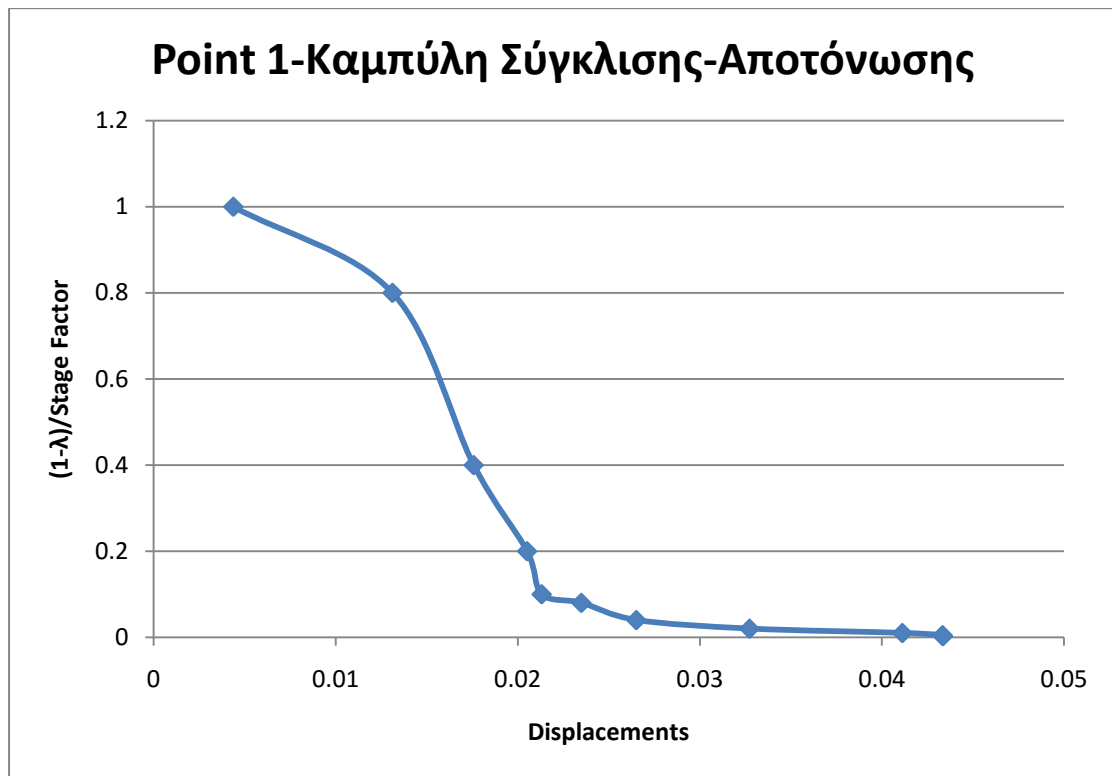
Πίνακας 51. Συντελεστές απομείωσης κατανεμημένου φορτίου ανά στάδιο

Στάδια	Συντελεστής Αποτόνωσης Κατανεμημένου Φορτίου
1. (αρχικό στάδιο)	0
2	1
3.	0,8
4.	0,4
5.	0,2
6.	0,1
7.	0,08
8.	0,04
9.	0,02
10.	0,01
11.	0,005
12.	0,0025
13.	0

Μετά την προσομοίωση προκύπτει η ακόλουθη καμπύλη σύγκλισης αποτόνωσης του περιβάλλοντος πετρώματος και ο αντίστοιχος πίνακας με τα αποτελέσματα.

Πίνακας 52. Αποτελέσματα μετακινήσεων ανά στάδιο προσομοίωσης

STAGES	DISPLACEMENTS	STAGE FACTOR
1	-	0
2	3,67839E-12	1
3	0,004371809	0.8
4	0,013115427	0.4
5	0,017574221	0.2
6	0,020507242	0.1
7	0,021309167	0.08
8	0,023488654	0.04
9	0,026509857	0.02
10	0,032730349	0.01
11	0,041125562	0.005
12	0,043334111	0.0025
13	0,043352922	0



Γράφημα 21. Καμπύλη Σύγκλισης - Αποτόνωσης

Το βήμα προχώρησης της κατηγορίας εκσκαφής και υποστήριξης Β ανέρχεται στα 1,5m-2m. Επιλέγοντας, λοιπόν, βήμα προχώρησης 1,5m και ακτίνα της σήραγγας για την κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης Β ίση με 4,3m, προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας με τις αδιαστατοποιημένες μετακινήσεις/LDP (Longitudinal Deformation Profile).

Πίνακας 53. Λόγος μετακινήσεων σύμφωνα με το LDP
CATEGORY B

AUTHOR	RELATION: U/U_∞	X (m)
Panet and Guenot	0.635535994	1.5
Panet	0.650604686	1.5
Corbeta	0.653601116	1.5
Carranza-Torres and Fairhurst (Hoek)	0.394523746	1.5
Unlu and Gercek	0.649021077	1.5

Οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς αυτούς αντλήθηκαν από τους (Yiouta-Mitra *et al*,2010). Από τον παραπάνω πίνακα και σύμφωνα με τους Panet και Guenot ο λόγος των μετακινήσεων που σημειώνεται είναι 0,64. Από το προσομοίωμα που δημιουργήθηκε για το σχεδιασμό της καμπύλης σύγκλισης-αποτόνωσης αντλείται από το τελευταίο στάδιο αυτής η μέγιστη μετακίνηση που σημειώνεται στο σημείο 1, όπως αυτό φαίνεται στον πίνακα διευθύνσεων των μικρομετακινήσεων. Η μέγιστη μετακίνηση, λοιπόν, είναι $4,34 \cdot 10^{-2}$ m και η αντίστοιχη μετακίνηση που θα πρέπει να σημειωθεί προκειμένου να τοποθετηθεί η υποστήριξη έπειτα από αυτήν, προκύπτει, συνδυάζοντας τα παραπάνω, να είναι 27,8 mm.

Στο στάδιο προσομοίωσης 6 παρατηρείται μετακίνηση 21 mm. Συνεπώς, η υποστήριξη τοποθετείται στο στάδιο με ταυτόχρονη αφαίρεση του κατανεμημένου φορτίου από το εσωτερικό του ανοίγματος της εκσκαφής. Ας σημειωθεί, ότι όλα τα μέτρα υποστήριξης τοποθετούνται στο στάδιο 6 και δεν γίνεται η σταδιακή τοποθέτηση αυτών. Έτσι, προκύπτει και το δεύτερο προσομοίωμα που κατασκευάζουμε για αυτήν την ανάλυση. Για αυτό και με δεδομένο ότι τοποθετήθηκε στο στάδιο 6 το σύνολο της υποστήριξης, τα υπόλοιπα στάδια από το 7 ως και το 13, αφαιρούνται.

Μετά τον υπολογισμό του τελευταίου μοντέλου προκύπτουν μετακινήσεις 24mm στην αριστερή παρειά. Συγκρίνουμε, στη συνέχεια, αυτές με τη μέγιστη μετακίνηση της βραχομάζας που δίνεται να είναι 24mm για τη συγκεκριμένη τεχνικογεωλογική ενότητα και κατηγορία εκσκαφής και υποστήριξης, όπως προκύπτει από τον πίνακα 42 από τις αναλύσεις των μελετητών.

Οι μετακινήσεις δεν ξεπερνούν, συνεπώς, τις μέγιστες που έχουν προσδιορισθεί. Επιπλέον, η μετακίνηση των 20,5 mm που καταγράφεται στο μετρητικό σταθμό D38, αποτελεί μία τιμή που δεν ξεπερνά τις υπολογιζόμενες τιμές.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι εικόνες από την προσομοίωση παραθέτονται στο αντίστοιχο παράρτημα της παρούσας εργασίας.

11. ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Αγιουτάντης, Ζ (2010) *Στοιχεία Γεωμηχανικής: Μηχανική Πετρωμάτων*, Χανιά, Εκδόσεις Ίων
- Αγιουτάντης, Ζ (2009) *Στοιχεία Διάτρησης και Ανατίναξης*, Χανιά, Εκδόσεις Ίων
- ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ (2012a) *Μεταλλευτικές- Μεταλλουργικές Εγκαταστάσεις Μεταλλείων Κασσάνδρας: Τεχνική Έκθεση Προόδου Εργασιών Νέων Έργων – Περίοδος Αναφοράς: 01/03/2012 – 31/05/2012*, Χαλκιδική, Ελληνικός Χρυσός ΑΕ, Ιούνιος 2012
- ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ (2012b) *Μεταλλευτικές- Μεταλλουργικές Εγκαταστάσεις Μεταλλείων Κασσάνδρας: Τεχνική Έκθεση Προόδου Εργασιών Νέων Έργων – Περίοδος Αναφοράς: 01/06/2012 – 31/08/2012*, Χαλκιδική, Ελληνικός Χρυσός ΑΕ, Σεπτέμβριος 2012
- ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ (2012c) *Μεταλλευτικές- Μεταλλουργικές Εγκαταστάσεις Μεταλλείων Κασσάνδρας: Τεχνική Έκθεση Προόδου Εργασιών Νέων Έργων – Περίοδος Αναφοράς: 01/09/2012 – 31/11/2012*, Χαλκιδική, Ελληνικός Χρυσός ΑΕ, Δεκέμβριος 2012
- ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ (2013a) *Μεταλλευτικές- Μεταλλουργικές Εγκαταστάσεις Μεταλλείων Κασσάνδρας: Τεχνική Έκθεση Προόδου Εργασιών Νέων Έργων – Περίοδος Αναφοράς: 01/12/2012 – 28/02/2013*, Χαλκιδική, Ελληνικός Χρυσός ΑΕ, Απρίλιος 2013
- ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ (2013b) *Μεταλλευτικές- Μεταλλουργικές Εγκαταστάσεις Μεταλλείων Κασσάνδρας: Τεχνική Έκθεση Προόδου Εργασιών Νέων Έργων – Περίοδος Αναφοράς: 01/03/2013 – 30/06/2013*, Χαλκιδική, Ελληνικός Χρυσός ΑΕ, Ιούλιος 2013
- ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ (2014a) *Μεταλλευτικές- Μεταλλουργικές Εγκαταστάσεις Μεταλλείων Κασσάνδρας: Τεχνική Έκθεση Προόδου Εργασιών Νέων Έργων – Περίοδος Αναφοράς: 01/07/2013 – 30/09/2013*, Χαλκιδική, Ελληνικός Χρυσός ΑΕ, Ιανουάριος 2014
- ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ (2014b) *Μεταλλευτικές- Μεταλλουργικές Εγκαταστάσεις Μεταλλείων Κασσάνδρας: Τεχνική Έκθεση Προόδου Εργασιών Νέων Έργων – Περίοδος Αναφοράς: 01/10/2013 – 31/12/2013*, Χαλκιδική, Ελληνικός Χρυσός ΑΕ, Φεβρουάριος 2014
- ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ (2014c) *Μεταλλευτικές- Μεταλλουργικές Εγκαταστάσεις Μεταλλείων Κασσάνδρας: Τεχνική Έκθεση Προόδου Εργασιών Νέων Έργων – Περίοδος Αναφοράς: 01/01/2014 – 31/03/2014*, Χαλκιδική, Ελληνικός Χρυσός ΑΕ, Απρίλιος 2014

- ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ (2014d) *Μεταλλευτικές- Μεταλλουργικές Εγκαταστάσεις Μεταλλείων Κασσάνδρας: Τεχνική Έκθεση Προόδου Εργασιών Νέων Έργων – Περίοδος Αναφοράς: 01/04/2014 – 30/06/2014*, Χαλκιδική, Ελληνικός Χρυσός ΑΕ, Σεπτέμβριος 2014
- ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ (2014e) *Μεταλλευτικές- Μεταλλουργικές Εγκαταστάσεις Μεταλλείων Κασσάνδρας: Τεχνική Έκθεση Προόδου Εργασιών Νέων Έργων – Περίοδος Αναφοράς: 01/07/2014 – 30/09/2014*, Χαλκιδική, Ελληνικός Χρυσός ΑΕ, Νοέμβριος 2014
- ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ (2015a) *Μεταλλευτικές- Μεταλλουργικές Εγκαταστάσεις Μεταλλείων Κασσάνδρας: Τεχνική Έκθεση Προόδου Εργασιών Νέων Έργων – Περίοδος Αναφοράς: 01/10/2014 – 31/12/2014*, Χαλκιδική, Ελληνικός Χρυσός ΑΕ, Φεβρουάριος 2015
- ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ (2015b) *Μεταλλευτικές- Μεταλλουργικές Εγκαταστάσεις Μεταλλείων Κασσάνδρας: Τεχνική Έκθεση Προόδου Εργασιών Νέων Έργων – Περίοδος Αναφοράς: 01/01/2015 – 31/03/2015*, Χαλκιδική, Ελληνικός Χρυσός ΑΕ, Ιούνιος 2015
- ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ, (2015c) *Μεταλλευτικές- Μεταλλουργικές Εγκαταστάσεις Μεταλλείων Κασσάνδρας: Τεχνική Έκθεση Προόδου Εργασιών Νέων Έργων – Περίοδος Αναφοράς: 01/04/2015 – 30/06/2015*, Χαλκιδική, Ελληνικός Χρυσός ΑΕ, Οκτώβριος 2015
- ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ, (2015d) *Μεταλλευτικές- Μεταλλουργικές Εγκαταστάσεις Μεταλλείων Κασσάνδρας: Τεχνική Έκθεση Προόδου Εργασιών Νέων Έργων – Περίοδος Αναφοράς: 01/07/2015 – 30/09/2015*, Χαλκιδική, Ελληνικός Χρυσός ΑΕ, 2015
- ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ, (2015e) *Μεταλλευτικές- Μεταλλουργικές Εγκαταστάσεις Μεταλλείων Κασσάνδρας: Τεχνική Έκθεση Προόδου Εργασιών Νέων Έργων – Περίοδος Αναφοράς: 01/10/2015 – 31/12/2015*, Χαλκιδική, Ελληνικός Χρυσός ΑΕ, 2015
- ΕΛΟΤ (2009) *Ελληνική Τεχνική Προδιαγραφή: Δοκοί Προπορείας Σηράγγων Ελαφρού Τύπου-Hellenic Technical Specification: Light Forepoling and Spiling*, ΕΛΟΤ ΤΟ 1501-12-03-06-00: 2009, Αθήνα: Εκδόσεις Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης Α.Ε.
- ΚΜΛΕ (2011) *Κανονισμός Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών ΥΑ 2223 ΦΕΚ 1227 14/06/11*, Αθήνα: Εκδόσεις Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων
- Κοντοθανάσης, Π, Κατσά, Ο (2011) *Τεχνική Μελέτη Κατασκευής Κύριας Σήραγγας Προσπέλασης και Μεταφοράς Ολυμπιάδας-Μάντεμ Λάκκου*, Αθήνα: Όμικρον Κάππα Μελετητική
- Κράνης, Χ, Αντωνίου, Β (2003) *Γεωλογικοί Χάρτες-Μέρος Α: Βασικές Έννοιες και Στοιχειώδεις Δομές*, Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Εργαστήριο Τεκτονικής και Γεωλογικών Χαρτογραφίσεων

- Κωστόπουλος, Σ (2013) *Σήραγγες: Κατασκευαστική Τεχνική, Υπολογιστική Διερεύνηση, Συμβασιικά Θέματα*, Αθήνα: Εκδοτικός Όμιλος Ίων
- Λέκκας, Ε (1998) *Γεωλογία και Γεωπεριβάλλον*, Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας-Σχολή Θετικών Επιστημών, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής Εφαρμοσμένης Γεωλογίας
- Μανουσάκη-Ορφανουδάκη, Α (2005) *Ορυκτολογία: Συστηματική-Οπτική*, Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών
- Μενεγάκη, Μ (2010) *Σημειώσεις του Μαθήματος: Σχεδιασμός Υπαίθριων Εκμεταλλεύσεων*, Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών
- Μπενάρδος, Α (2014) *Μέθοδοι Υπόγειας Εκμετάλλευσης: Ελληνικές Εκμεταλλεύσεις*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών
- Μπενάρδος, Α, Καλιαμπάκος, Δ (2010) *Υπόγεια Έργα*, Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών
- Νομικός, Π (2015) *Εισαγωγή στη Μηχανική των Πετρωμάτων*, Αθήνα, Εκδόσεις Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών (HEALLink), Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών
- Οικονομόπουλος, Ι (2002) *Ο Αερισμός των Μεταλλείων*, Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου
- Παναγιώτου, Γ (2014) *Σημειώσεις του Μαθήματος: Εξόρυξη Ι: Εξόρυξη των Πετρωμάτων με Εκρηκτικές Υλεις*, Αθήνα, Εκδόσεις: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Ρήγα, Α, Στρίκου, Ε (2013) *Ολυμπιάδα, Μεταλλευτικά Νέα: Ποιό Είναι το Επενδυτικό Σχέδιο της Ελληνικός Χρυσός*, Τεύχος 06, Στρατώνι, Εκδόσεις Ελληνικός Χρυσός ΑΕ, Ιούνιος 2013
- Σοφιανός, Α, Μαρίνος, Π (1990) *Εμπειρικές μέθοδοι ταξινόμησης της βραχομάζας και εφαρμογή τους στον σχεδιασμό της αντιστήριξης σηράγγων*, Δελτίο του ΚΕΔΕ, 107-108
- Σοφιανός, Α (2010) *Υποστήριξη Υπογείων Έργων*, Αθήνα, Εκδόσεις Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών (HEALLink), Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών
- Σοφιανός, Α (2011) *Τεχνικές Διάνοιξης Σηράγγων*, Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Τομέας Μεταλλευτικής
- Σοφιανός, Α (2015) *Υποστήριξη Υπογείων Έργων*, Αθήνα, Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Μεταλλευτικής

- Σοφιανός, Α, Νομικός, Π (2008) *Μηχανική Πετρωμάτων*, Αθήνα: Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ΔΠΜΣ: Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων
- Τερεζόπουλος, Ν (2003) *Μέθοδοι Υπογείων Εκμεταλλεύσεων : Πανεπιστημιακές Σημειώσεις*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Τομέας Μεταλλευτικής
- Τσακαλάκης, Κ (2010) *Τεχνολογία Παραγωγής Τσιμέντου και Σκυροδέματος*, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Τομέας Μεταλλουργίας και Τεχνολογίας Υλικών, Εργαστήριο Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων
- Τσουτρέλης, Χ (1985) *Στοιχεία Μηχανικής και Πετρωμάτων – Τόμος Α: Βασικά Θεωρητικά Στοιχεία και Πειραματικές Μέθοδοι*, Αθήνα, Εκδόσεις: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Τσουτρέλης, Χ (1997) *Εκρηκτικές Ύλες και Τεχνική των Ανατινάξεων*, Τόμος 1, Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου
-

12. ΞΕΝΕΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Atlas Copco (1986) *Mining and Construction Methods: Guide to Underground Mining Methods and Applications*, Stockholm, Sweden: Atlas Copco Industrial Technique Publications
- Barbosa, R (2009) Analytical Solution for a Deep Tunnel Excavated in a Porous Elastoplastic Material Considering the Effects of Seepage Forces. *Proceedings of the 3rd CANUS Rock Mechanics Symposium*, 11-13 May 2009, Toronto: Canada.
- Carranza-Torres, C (2004). Elastoplastic Solution of Tunnel Problems Using the Generalized Form of the Hoek–Brown Failure Criterion, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Proceedings of the ISRM SINOROCK 2004 Symposium, edited by J.A. Hudson and Xia-Ting Feng, Volume 41, Issue 3.
- Duncan Fama, M (1993). Numerical Modeling of Yield Zones in Weak Rock. In: Hudson JA, editor. *Comprehensive Rock Engineering*, Volume 2, Oxford: Pergamon, 1993, p. 49-75
- ENVECO (2013) *Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Μεταλλευτικών-Μεταλλουργικών Εγκαταστάσεων της Εταιρείας Ελληνικός Χρυσός στη Χαλκιδική*, Αθήνα, Εκδόσεις: Ελληνικός Χρυσός
- HELLAS GOLD S.A. (2015a) *Το παρελθόν και το μέλλον των Μεταλλείων Κασσάνδρας*, <http://www.hellas-gold.com/metalleia/metalleio-xrysou-stratoni> (πρόσβαση: 03.02.2016)
- Hoek, E, Carranza-Torres, C, Corkum, B (2002) Hoek-Brown Failure Criterion – 2002 Edition, *5th North American Rock Mechanics Symposium and 17th Tunneling Association of Canada Conference: NARMS-TAC*, 2002, p. 267-271
- Hoek, E, Diederichs, M (2006) Empirical Estimation of Rock Mass Modulus, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Volume 43, Issue 2, p. 203–215
- Lee, Y, Pietruszczak, S (2014). A New Numerical Procedure for Elastoplastic Analysis of a Circular Opening Excavated in a Strain-softening Rock Mass, *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 23, No 5, p. 588-599
- Matti, H (1999) *Rock Excavation Handbook for Civil Engineering*, Sweden: Sandvik – Tamrock Corporation
- RocScience (2016a) *RocSupport*, Διαθέσιμο σε <https://www.rocscience.com/rocscience/products/rocsupport> [Ημερομηνία Πρόσβασης: 15/04/2016]
- RocScience (2016b) *RocSupport*, Διαθέσιμο σε <https://www.rocscience.com/rocscience/products/rocsupport> [Ημερομηνία Πρόσβασης: 15/04/2016]
- Vrakas, A, Anagnostou, G (2014) A Finite Strain Closed-form Solution for the Elastoplastic Ground Response Curve in Tunnelling. *International Journal for*

Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Vol. 38, No 11, p. 1131–1148

- Yiouta-Mitra, P, Sofianos, A, Rahmamejad, R (2010) Longitudinal Deformation Profile Of A Tunnel Driven Within A Burger Rock Mass, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Proceedings of the ISRM - 6th Asian Rock Mechanics Symposium

13. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

13.1 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΜΙΚΡΟΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ

Πίνακας 54. Παρακολούθηση μέγιστων μικρομετακινήσεων κατά μήκος της Κύριας Σήραγγας Ολυμπιάδας – Μαντέμ Λάκκου (2014ε).

Σταθμός	Χ.Θ.	Μέγιστη Μικρομετακίνηση (mm)		Σταθμός	Χ.Θ.	Μέγιστη Μικρομετακίνηση (mm)	
D1	0+001,48	8,7		D33	0+815,48	-13,4	(Dcl (2))
D2	0+014,09	5,0		D34	0+917,42	10,1	(DXΘ (1))
D3	0+028,15	-4,8		D35	0+937,29	-6,0	(DH (3))
D4	0+034,91	4,4		D36	0+998,44	-17,0	(DH (1))
D5	0+046,25	-5,0		D37	1+012,60	-6,0	(DH (1))
D6	0+058,80	-3,0		D38	1+030,67	-14,2	(Dcl (1))
D7	0+073,07	-8,9		D39	1+060,87	12,6	(DXΘ (3))
D8	0+089,22	-14,8		D40	1+104,25	-13,0	(DH (2))
D9	0+087,29	-9,5		D41	1+149,93	-5,3	(DXΘ (1))
D10	0+147,67	3,0		D42	1+188,76	-28,7	(DXΘ (3))
D11	0+175,45	-14,0		D43	1+199,36	-9,4	(DXΘ (2))
D12	0+195,50	3,4		D44	1+218,21	-7,2	(Dcl (2))
D13	0+212,80	-6,0		D45	1+232,74	-9,4	(Dcl (2))
D14	0+227,07	7,3		D46	1+248,43	-7,2	(Dcl (1))
D15	0+271,00	5,8		D47	1+258,15	-11,0	(DH (3))
D16	0+302,91	-6,0		D48	1+271,64	-15,7	(Dcl (3))
D17	0+344,72	-9,0		D49	1+285,10	-5,8	(Dcl (3))
D18	0+390,21	-9,0		D50	1+295,35	-2,2	(Dcl (3))
D19	0+436,53	-3,0		D51	1+373,20	-4,0	(DH (1))
D20	0+450,71	4,4		D52	1+327,40	2,2	(Dcl (1))
D21	0+464,36	5,0	(DH (1))	D53	1+352,28	3,0	(DH (3))
D22	0+477,30	-7,2	(Dcl (3))	D54	1+375,77	3,0	(DH (3))
D23	0+492,15	-8,9	(Dcl (1))	D55	1+391,64	-3,1	(DXΘ (3))
D24	0+503,06	-11,4	(Dcl (2))	D56	1+415,93	3,0	(DH (2))
D25	0+522,40	-11,1	(Dcl (3))	D57	1+431,03	3,1	(Dcl (2))
D26	0+542,67	-12,6	(Dcl (3))	D58	1+448,08	6,0	(DH (2))
D27	0+566,49	-22,5	(Dcl (3))	D59	1+473,48	4,0	(DH (3))
D28	0+581,68	-9,8	(Dcl (3))	D60	1+493,31	-3,7	(Dcl (2))
D29	0+613,14	-3,5	(Dcl (2))	D61	1+513,79	2,0	(DH (1), DH (3))
D30	0+640,87	5,1	(Dcl (1))	D62	1+541,28	-2,2	(Dcl (1))
D31	0+722,21	-9,0	(DH (2))	D63	1+560,89	-3,5	(DXΘ (3))
D32	0+798,73	-8,0	(DH (1))				

Πίνακας 55. Παρακολούθηση μέγιστων μικρομετακινήσεων κατά μήκος της Κύριας Σήραγγας Ολυμπιάδας – Μαντέμ Λάκκου (2015a).

Σταθμός	Χ.Θ.	Μέγιστη Μικρομετακίνηση (mm)
D1	0+001,48	9,7 (3/DXΘ)
D2	0+014,09	5,0 (1/DH)
D3	0+028,15	-4,8 (2/Dcl)
D4	0+034,91	4,7 (3/Dcl)
D5	0+046,25	-6,0 (3/DH)
D6	0+058,80	-5,0 (1/DH)
D7	0+073,07	-11,1 (1/Dcl)
D8	0+089,22	-17,9 (1/Dcl)
D9	0+107,29	-11,9 (1/Dcl)
D10	0+147,67	-2,4 (2/Dcl)
D11	0+175,45	-12,0 (3/DH)
D12	0+195,50	-3,2 (1/DXΘ)
D13	0+212,80	7,6 (2/Dcl)
D14	0+227,07	9,0 (2/Dcl)
D15	0+271,00	7,5 (1/Dcl)
D16	0+302,91	5,4 (3/DXΘ)
D17	0+344,72	-9,0 (2/DH)
D18	0+390,21	-11,0 (2/DH)
D19	0+436,53	-4,0 (1/DH)
D20	0+450,71	5,0 (3/DXΘ)
D21	0+464,36	1,3 (3/Dcl)
D22	0+477,30	-10,0 (1/DH)
D23	0+492,15	-8,2 (2/Dcl)
D24	0+503,06	-12,3 (1/Dcl)
D25	0+522,40	-9,8 (3/Dcl)
D26	0+542,67	-12,0 (2/Dcl)
D27	0+566,49	-19,0 (3/Dcl)
D28	0+581,68	-11,1 (1/Dcl)
D29	0+613,14	5,4 (3/Dcl)
D30	0+640,87	5,1 (1/Dcl)
D31	0+722,21	-7,0 (2/DH)
D32	0+798,73	-7,0 (1/DH)

Σταθμός	Χ.Θ.	Μέγιστη Μικρομετακίνηση (mm)
D33	0+815,48	-14,5 (2/Dcl)
D34	0+917,42	9,8 (1/DXΘ)
D35	0+937,29	-5,1 (3/Dcl)
D36	0+998,44	-16,0 (1/DH)
D37	1+012,60	-4,0 (1,3/DH)
D38	1+030,67	-17,0 (1/Dcl)
D39	1+060,87	15,3 (3/DXΘ)
D40	1+104,25	15,6 (2/DXΘ)
D41	1+149,93	-3,0 (3/DH)
D42	1+188,76	-26,5 (3/DXΘ)
D43	1+199,36	-9,0 (2/DXΘ)
D44	1+218,21	-6,7 (3/Dcl)
D45	1+232,74	-10,3 (2/Dcl)
D46	1+248,43	-8,5 (3/Dcl)
D47	1+258,15	-10,0 (3/DH)
D48	1+271,64	-13,9 (3/Dcl)
D49	1+285,10	4,5, -4,5 (1,3/Dcl)
D50	1+295,35	3,0 (2/DH)
D51	1+373,20	-4,0 (1/DH)
D52	1+327,40	2,7 (2/DXΘ)
D53	1+352,28	4,0 (2/DXΘ)
D54	1+375,77	3,0, -3,0 (2,3/DH)
D55	1+391,64	-4,1 (3/Dcl)
D56	1+415,93	2,0 (2/DH)
D57	1+431,03	4,1 (1/Dcl)
D58	1+448,08	6,0 (2/DH)
D59	1+473,48	4,0 (2/DH)
D60	1+493,31	3,2 (1/Dcl)
D61	1+513,79	1,4, -1,4 (1,2/Dcl)
D62	1+541,28	-3,6 (1/Dcl)
D63	1+560,89	3,0, -3,0 (2,3/DH)

Πίνακας 56. Παρακολούθηση μέγιστων μικρομετακινήσεων κατά μήκος της Κύριας Σήραγγας Ολυμπιάδας – Μαντέμ Λάκκου (2015b).

Σταθμός	Χ.Θ.	Μέγιστη Μικρομετακίνηση (mm)
D1	0+001,48	9,7 (3/DXΘ)
D2	0+014,09	5,0 (1/DH)
D3	0+028,15	-4,8 (2/Dcl)
D4	0+034,91	4,7 (3/Dcl)
D5	0+046,25	-6,0 (3/DH)
D6	0+058,80	-5,0 (1/DH)
D7	0+073,07	-11,1 (1/Dcl)
D8	0+089,22	-17,9 (1/Dcl)
D9	0+107,29	-11,9 (1/Dcl)
D10	0+147,67	-2,4 (2/Dcl)
D11	0+175,45	-12,0 (3/DH)
D12	0+195,50	-3,2 (1/DXΘ)
D13	0+212,80	7,6 (2/Dcl)
D14	0+227,07	9,0 (2/Dcl)
D15	0+271,00	7,5 (1/Dcl)
D16	0+302,91	5,4 (3/DXΘ)
D17	0+344,72	-9,0 (2/DH)
D18	0+390,21	-11,0 (2/DH)
D19	0+436,53	-4,0 (1/DH)
D20	0+450,71	5,3 (3/DXΘ)
D21	0+464,36	-4,4 (2/Dcl)
D22	0+477,30	-11,0 (1/DH)
D23	0+492,15	-8,2 (2/Dcl)
D24	0+503,06	-12,0 (1/Dcl)
D25	0+522,40	-13,0 (3/Dcl)
D26	0+542,67	-11,1 (2/Dcl)
D27	0+566,49	-21,8 (3/Dcl)
D28	0+581,68	-11,4 (1/Dcl)
D29	0+613,14	5,0 (2/DH)
D30	0+640,87	-7,3 (3/Dcl)
D31	0+722,21	-6,0 (2/DH)
D32	0+798,73	7,5 (1/DXΘ)
D33	0+815,48	-15,6 (2/Dcl)
D34	0+917,42	15,8 (1/DXΘ)

Σταθμός	Χ.Θ.	Μέγιστη Μικρομετακίνηση (mm)
D35	0+937,29	8,5 (1/DXΘ)
D36	0+998,44	-15,0 (1/DH)
D37	1+012,60	-2,6 (1/Dcl)
D38	1+030,67	-20,9 (1/Dcl)
D39	1+060,87	13,9 (3/DXΘ)
D40	1+104,25	12,9 (2/DXΘ)
D41	1+149,93	-4,9 (2/Dcl)
D42	1+188,76	-28,8 (3/DXΘ)
D43	1+199,36	-8,1 (2/DXΘ)
D44	1+218,21	-12,5 (1/Dcl)
D45	1+232,74	-11,2 (2/Dcl)
D46	1+248,43	-11,6 (3/Dcl)
D47	1+258,15	-8,9 (3/Dcl)
D48	1+271,64	-15,2 (3/Dcl)
D49	1+285,10	-7,2 (3/Dcl)
D50	1+295,35	4,0 (2/DH)
D51	1+373,20	-4,9 (3/Dcl)
D52	1+327,40	-4,9 (2/Dcl)
D53	1+352,28	3,0 (1/DH)
D54	1+375,77	-1,4 (2/Dcl)
D55	1+391,64	-6,7 (1/Dcl)
D56	1+415,93	2,3 (2/Dcl)
D57	1+431,03	3,6 (1/Dcl)
D58	1+448,08	5,0, -5,0 (2/DH, 3/Dcl)
D59	1+473,48	6,5 (3/DXΘ)
D60	1+493,31	-6,4 (2/Dcl)
D61	1+513,79	4,1 (1/Dcl)
D62	1+541,28	-4,0 (1/DH)
D63	1+560,89	-4,8 (3/Dcl)
D64	1+594,83	-4,0 (3/DH)
D65	1+613,32	-3,0 (1/DH)
D66	1+631,90	-5,0 (2/Dcl)
D67	1+653,70	2,0 (2/DH)
D68	1+673,70	-1,0 (1/DH)

Πίνακας 57. Παρακολούθηση μέγιστων μικρομετακινήσεων κατά μήκος της Κύριας Σήραγγας Ολυμπιάδας – Μαντέμ Λάκκου (2015c).

Σταθμός	Χ.Θ.	Μέγιστη Μικρομετακίνηση (mm)		Σταθμός	Χ.Θ.	Μέγιστη Μικρομετακίνηση (mm)	
D1	0+001,48	9,7	(3/DXΘ)	D36	0+998,44	-14,0	(1/DH)
D2	0+014,09	4,9	(1/Dcl)	D37	1+012,60	-5,4	(1/Dcl)
D3	0+028,15	-6,3	(2/Dcl)	D38	1+030,67	-16,0	(1/Dcl)
D4	0+034,91	4,7	(3/Dcl, 1/DXΘ)	D39	1+060,87	14,4	(3/DXΘ)
D5	0+046,25	-5,0	(3/DH)	D40	1+104,25	-15,0	(2/DH)
D6	0+058,80	-7,0	(2,3/DH)	D41	1+149,93	8,0	(1/Dcl)
D7	0+073,07	-11,1	(1/Dcl)	D42	1+188,76	-29,7	(3/DXΘ)
D8	0+089,22	-17,9	(1/Dcl)	D43	1+199,36	-9,4	(3/Dcl)
D9	0+107,29	-11,9	(1/Dcl)	D44	1+218,21	-14,8	(1/Dcl)
D10	0+147,67	-2,4, 2,4	(2/Dcl, 1/DXΘ)	D45	1+232,74	-12,5	(2/Dcl)
D11	0+175,45	-12,0	(3/DH)	D46	1+248,43	-10,7	(3/Dcl)
D12	0+195,50	-3,7	(1/DXΘ)	D47	1+258,15	-10,3	(2/Dcl)
D13	0+212,80	7,6	(2/Dcl)	D48	1+271,64	-18,8	(3/Dcl)
D14	0+227,07	9,0	(2/Dcl)	D49	1+285,10	-6,7	(3/Dcl)
D15	0+271,00	7,5	(1/Dcl)	D50	1+295,35	5,0	(2/DH)
D16	0+302,91	5,1	(3/DXΘ)	D51	1+373,20	-6,3	(2/Dcl)
D17	0+344,72	-7,0	(2/DH)	D52	1+327,40	-9,8	(2/Dcl)
D18	0+390,21	-13,0	(2/DH)	D53	1+352,28	3,0	(1/DH)
D19	0+436,53	4,0	(3/DH)	D54	1+375,77	-2,7	(2/Dcl)
D20	0+450,71	5,0	(1/DH)	D55	1+391,64	-7,1	(3/Dcl)
D21	0+464,36	5,0	(1/DH)	D56	1+415,93	-3,1	(3/Dcl)
D22	0+477,30	-12,0	(1/DH)	D57	1+431,03	5,0	(1/DH)
D23	0+492,15	-10,8	(1/Dcl)	D58	1+448,08	-5,4	(2/DXΘ)
D24	0+503,06	-13,6	(1/Dcl)	D59	1+473,48	-8,3	(3/Dcl)
D25	0+522,40	-13,9	(3/Dcl)	D60	1+493,31	-7,9	(2/Dcl)
D26	0+542,67	-11,1	(2/Dcl)	D61	1+513,79	-4,0	(2/DH)
D27	0+566,49	-22,2	(3/Dcl)	D62	1+541,28	-6,0	(1/DH)
D28	0+581,68	-10,2	(1/Dcl)	D63	1+560,89	-5,3	(3/Dcl)
D29	0+613,14	5,0	(1/DH)	D64	1+594,83	-4,0	(2,3/DH)
D30	0+640,87	-9,2	(3/Dcl)	D65	1+613,32	-3,3	(1/Dcl)
D31	0+722,21	-10,0	(1/DH)	D66	1+631,90	-8,6	(2/Dcl)
D32	0+798,73	7,5	(1/DXΘ)	D67	1+653,70	-1,0, 1,0	(1,2/DH)
D33	0+815,48	-17,8	(2/Dcl)	D68	1+673,70	-2,0	(1/DH)
D34	0+917,42	16,7	(1/DXΘ)	D69	1+697,70	-6,1	(3/Dcl)
D35	0+998,44	12,8	(1/DXΘ)	D70	1+719,66	-3,9	(2/Dcl)

Πίνακας 58. Παρακολούθηση μέγιστων μικρομετακινήσεων κατά μήκος της Κύριας Σήραγγας Ολυμπιάδας – Μαντέμ Λάκκου (2015d).

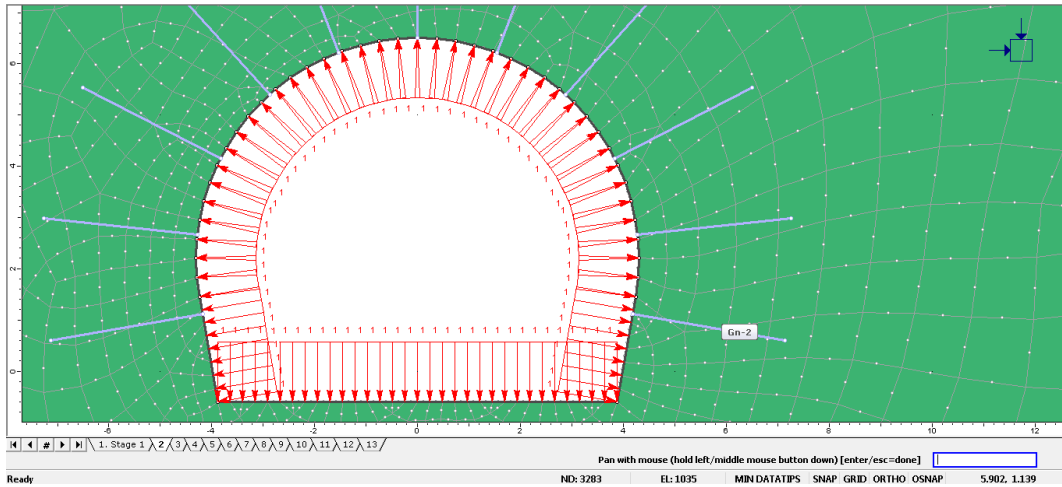
Σταθμός	Χ.Θ.	Μέγιστη Μικρομετακίνηση (mm)	
D1	0+001,48	10,6	(3/DXΘ)
D2	0+014,09	7,0	(1/Dcl)
D3	0+028,15	5,0	(3/Dcl)
D4	0+034,91	6,9	(1/DXΘ)
D5	0+046,25	-3,0	(3/DH)
D6	0+058,80	-4,0	(2,3/DH)
D7	0+073,07	-14,5	(1/Dcl)
D8	0+089,22	-21,1	(1/Dcl)
D9	0+107,29	-15,2	(1/Dcl)
D10	0+147,67	-2,4	(2/Dcl)
D11	0+175,45	-11,0	(3/DH)
D12	0+195,50	-3,7	(1/DXΘ)
D13	0+212,80	11,0	(2/Dcl)
D14	0+227,07	12,2	(2/Dcl)
D15	0+271,00	7,5	(1/Dcl)
D16	0+302,91	4,1	(3/DXΘ)
D17	0+344,72	-4,0	(2/DH)
D18	0+390,21	-13,0	(2/DH)
D19	0+436,53	6,0	(3/DH)
D20	0+450,71	5,0	(1/DH)
D21	0+464,36	6,0	(1/DH)
D22	0+477,30	-11,0	(1/DH)
D23	0+492,15	-9,9	(1/Dcl)
D24	0+503,06	-13,6	(1/Dcl)
D25	0+522,40	-13,0	(3/Dcl)
D26	0+542,67	-9,5	(2/Dcl)
D27	0+566,49	-23,1	(3/Dcl)
D28	0+581,68	-11,4	(1/Dcl)
D29	0+613,14	6,0	(1,2/DH)
D30	0+640,87	8,0	(1/Dcl)
D31	0+722,21	-8,0	(1,2/DH)
D32	0+798,73	7,8	(1/DXΘ)
D33	0+815,48	-16,9	(2/Dcl)
D34	0+917,42	15,5	(1/DXΘ)
D35	0+937,29	12,6	(1/DXΘ)
D36	0+998,44	-13,0, 13,0	(1,3/DH)
D37	1+039,10	-7,6	(1/Dcl)

Σταθμός	Χ.Θ.	Μέγιστη Μικρομετακίνηση (mm)	
D38	1+057,17	-20,5	(1/Dcl)
D39	1+087,37	14,9	(3/DXΘ)
D40	1+130,75	-16,0	(2/DH)
D41	1+176,43	6,3	(1/Dcl)
D42	1+215,26	-29,7	(3/DXΘ)
D43	1+225,86	-10,3	(2/DXΘ)
D44	1+244,71	-13,0	(1/Dcl)
D45	1+259,24	-15,7	(2/Dcl)
D46	1+274,93	-11,2	(3/Dcl)
D47	1+284,65	-12,5	(2/Dcl)
D48	1+298,14	-17,9	(2/Dcl)
D49	1+311,60	-8,1	(3/Dcl)
D50	1+321,85	5,0	(2/DH)
D51	1+399,70	-6,3	(2/Dcl)
D52	1+353,90	-8,5	(2/Dcl)
D53	1+378,78	4,0	(1/DH)
D54	1+402,27	-2,2	(1/Dcl)
D55	1+418,14	-5,8	(3/Dcl)
D56	1+442,43	5,0	(2/DH)
D57	1+457,53	6,0	(1/DH)
D58	1+474,58	-4,6	(2/DXΘ)
D59	1+499,98	-7,8	(3/Dcl)
D60	1+519,81	-7,4	(2/Dcl)
D61	1+540,29	-4,1	(2/Dcl)
D62	1+567,78	3,6	(1/Dcl)
D63	1+587,39	-7,2	(2/DXΘ)
D64	1+621,33	-4,3	(3/Dcl)
D65	1+639,82	-4,0	(1/DH)
D66	1+658,40	-5,0	(2/Dcl)
D67	1+680,20	3,0	(2/DH)
D68	1+700,20	-3,1	(2/Dcl)
D69	1+724,20	-11,3	(2/Dcl)
D70	1+746,16	-3,9	(1/Dcl)
D71	1+772,60	-6,7	(3/DXΘ)
D72	1+795,90	-2,5	(3/Dcl)

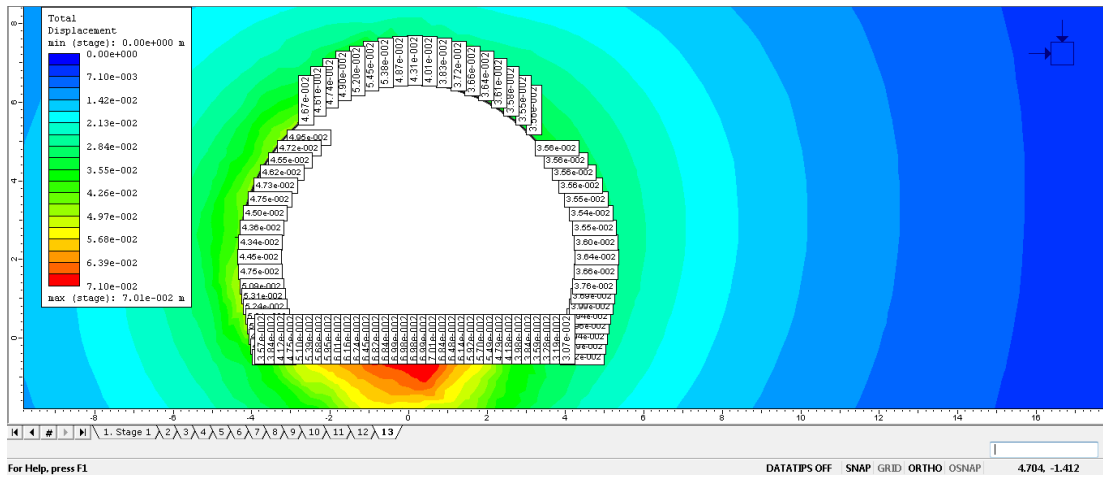
Πίνακας 59. Παρακολούθηση μέγιστων μικρομετακινήσεων κατά μήκος της Κύριας Σήραγγας Ολυμπιάδας – Μαντέμ Λάκκου (2015ε).

Σταθμός	Χ.Θ.	Μέγιστη Μικρομετακίνηση (mm)	Σταθμός	Χ.Θ.	Μέγιστη Μικρομετακίνηση (mm)
D1	0+001,48	10,6 (3/DXΘ)	D40	1+130,75	-15,0 (2/DH)
D2	0+014,09	7,0 (1/Dcl)	D41	1+176,43	7,0 (2/DH)
D3	0+028,15	5,0 (3/Dcl)	D42	1+215,26	-30,1 (3/DXΘ)
D4	0+034,91	6,9 (1/DXΘ)	D43	1+225,86	-11,2 (2/DXΘ)
D5	0+046,25	-3,0 (3/DH)	D44	1+244,71	-12,5 (1/Dcl)
D6	0+058,80	-4,0 (2,3/DH)	D45	1+259,24	-14,3 (2/Dcl)
D7	0+073,07	-14,5 (1/Dcl)	D46	1+274,93	-10,7 (3/Dcl)
D8	0+089,22	-21,1 (1/Dcl)	D47	1+284,65	-14,3 (2/Dcl)
D9	0+107,29	-15,2 (1/Dcl)	D48	1+298,14	-17,4 (3/Dcl)
D10	0+147,67	-2,4 (2/Dcl)	D49	1+311,60	-7,6 (3/Dcl)
D11	0+175,45	-11,0 (3/DH)	D50	1+321,85	9,0 (2/DH)
D12	0+195,50	-3,7 (1/DXΘ)	D51	1+399,70	-6,3 (2/Dcl)
D13	0+212,80	11,0 (2/Dcl)	D52	1+353,90	6,7 -6,7 (1,2/Dcl)
D14	0+227,07	12,2 (2/Dcl)	D53	1+378,78	5,0 (1/DH)
D15	0+271,00	7,5 (1/Dcl)	D54	1+402,27	-3,9 (2/DXΘ)
D16	0+302,91	4,1 (3/DXΘ)	D55	1+418,14	-7,6 (2/Dcl)
D17	0+344,72	-4,0 (2/DH)	D56	1+442,43	-7,2 (3/Dcl)
D18	0+390,21	-13,0 (2/DH)	D57	1+457,53	7,0 (1/DH)
D19	0+436,53	6,0 (3/DH)	D58	1+474,58	-5,9 (2/DXΘ)
D20	0+450,71	5,0 (1/DH)	D59	1+499,98	6,0 (3/DXΘ)
D21	0+464,36	6,0 (1/DH)	D60	1+519,81	7,9 (1/DXΘ)
D22	0+477,30	-11,0 (1/DH)	D61	1+540,29	-6,5 (2/Dcl)
D23	0+492,15	-9,9 (1/Dcl)	D62	1+567,78	4,0 (3/DH)
D24	0+503,06	-13,6 (1/Dcl)	D63	1+587,39	-10,8 (2/DXΘ)
D25	0+522,40	-13,0 (3/Dcl)	D64	1+621,33	-4,3 (3/Dcl)
D26	0+542,67	-9,5 (2/Dcl)	D65	1+639,82	-5,0 (1/DH)
D27	0+566,49	-23,1 (3/Dcl)	D66	1+658,40	-8,9 (2/Dcl)
D28	0+581,68	-11,4 (1/Dcl)	D67	1+680,20	5,0 (3/DXΘ)
D29	0+613,14	6,0 (1,2/DH)	D68	1+700,20	-3,7 (2/Dcl)
D30	0+640,87	10,0 (1/DH)	D69	1+724,20	-8,5 (3/Dcl)
D31	0+722,21	-9,0 (1,2/DH)	D70	1+746,16	5,5 (1/DXΘ)
D32	0+798,73	7,2 (1/DXΘ)	D71	1+772,60	-5,8 (3/DXΘ)
D33	0+815,48	-17,8 (2/Dcl)	D72	1+795,90	2,5 (3/DXΘ)
D34	0+917,42	16,4 (1/DXΘ)	D73	1+820,54	7,5 (2/Dcl)
D35	0+937,29	13,0 (1/DXΘ)	D74	1+840,22	-4,4 (1/DXΘ)
D36	0+998,44	14,0 (3/DH)	D75	1+857,10	3,0 (3/DH/Dcl)
D37	1+039,10	-8,6 (1/Dcl)	D76	1+884,04	-2,2 (2/Dcl)
D38	1+057,17	-20,1 (1/Dcl)	D77	1+904,40	5,0 (3/DH)
D39	1+087,37	14,9 (3/DXΘ)			

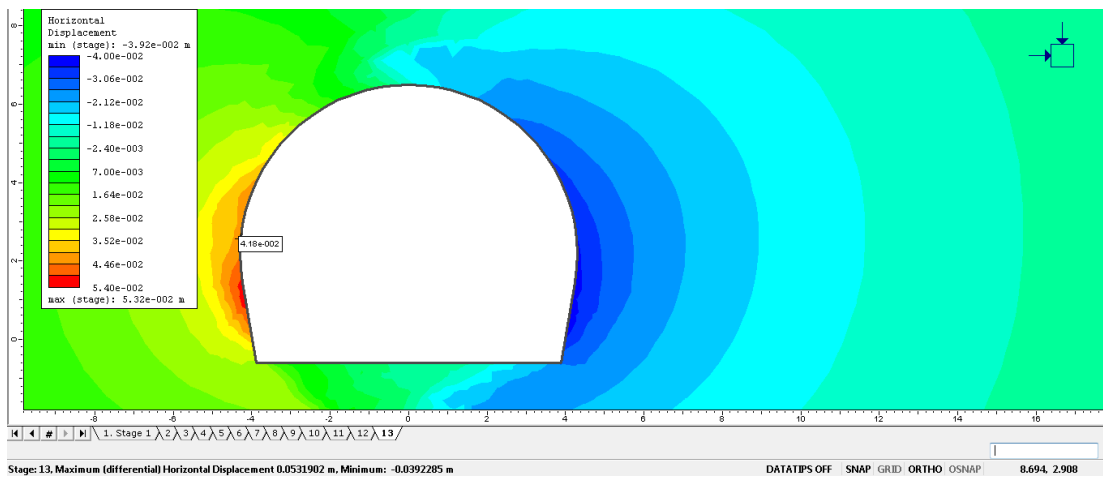
13.2 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΑΠΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟ PHASE²



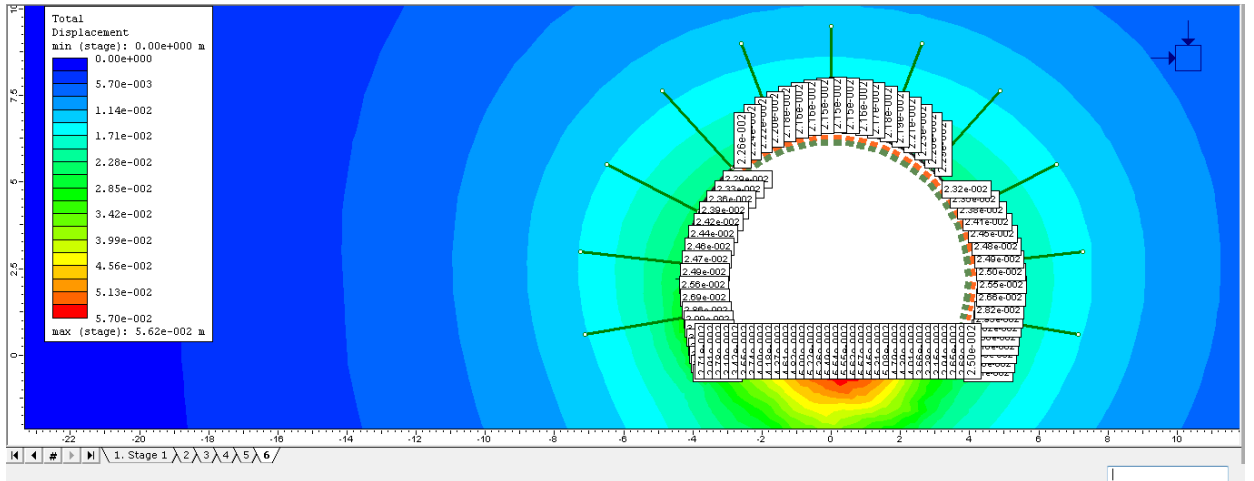
Εικόνα 11. Προσομοίωμα χωρίς υποστήριξη από την ανάλυση 2, όπου φαίνεται και το κατανομημένο φορτίο που ασκείται στο εσωτερικό αυτού.



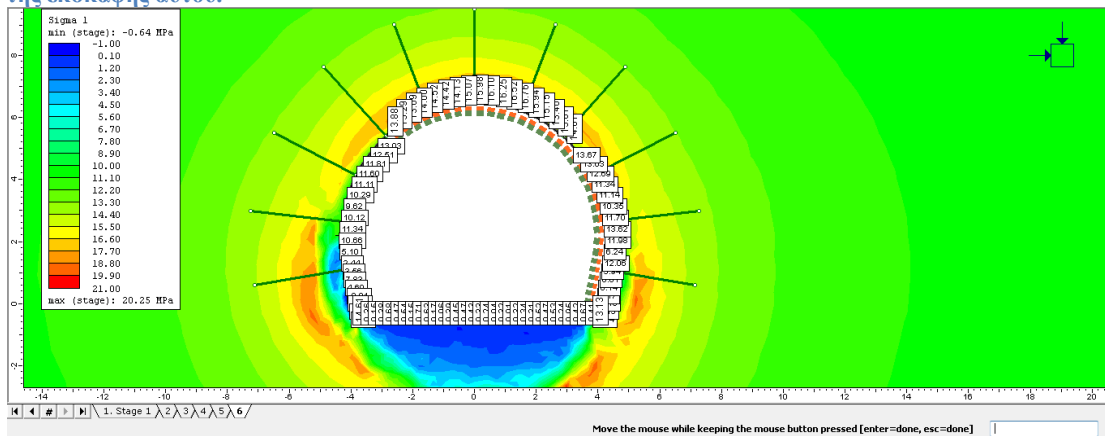
Εικόνα 12. Προσομοίωμα χωρίς υποστήριξη από την ανάλυση 2, με τιμές των ολικών μετακινήσεων.



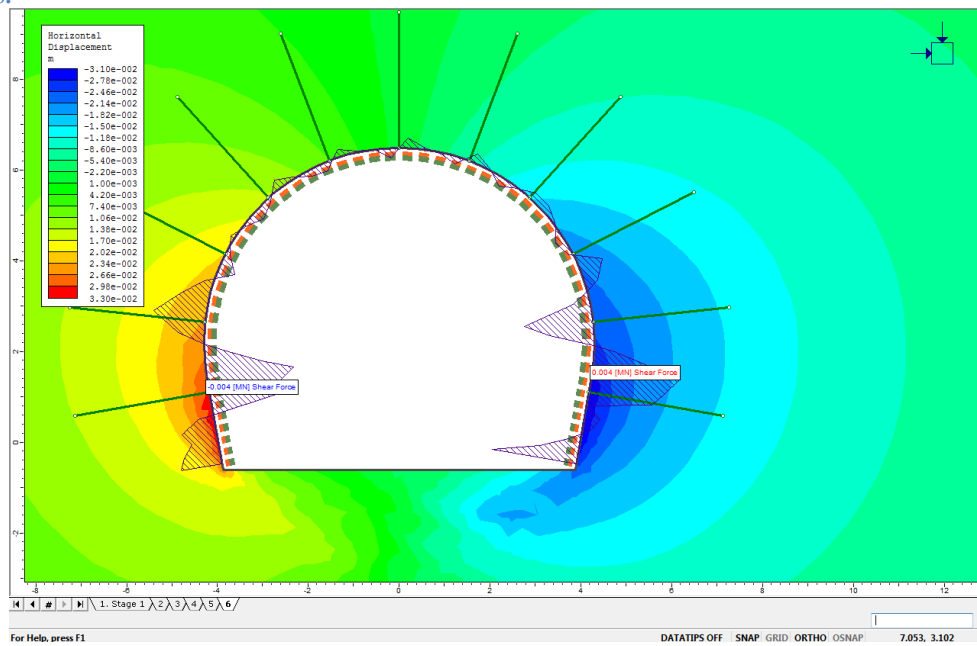
Εικόνα 13. Προσομοίωμα χωρίς υποστήριξη από την ανάλυση 2, με τιμές των μετακινήσεων στην οριζόντια διεύθυνση.



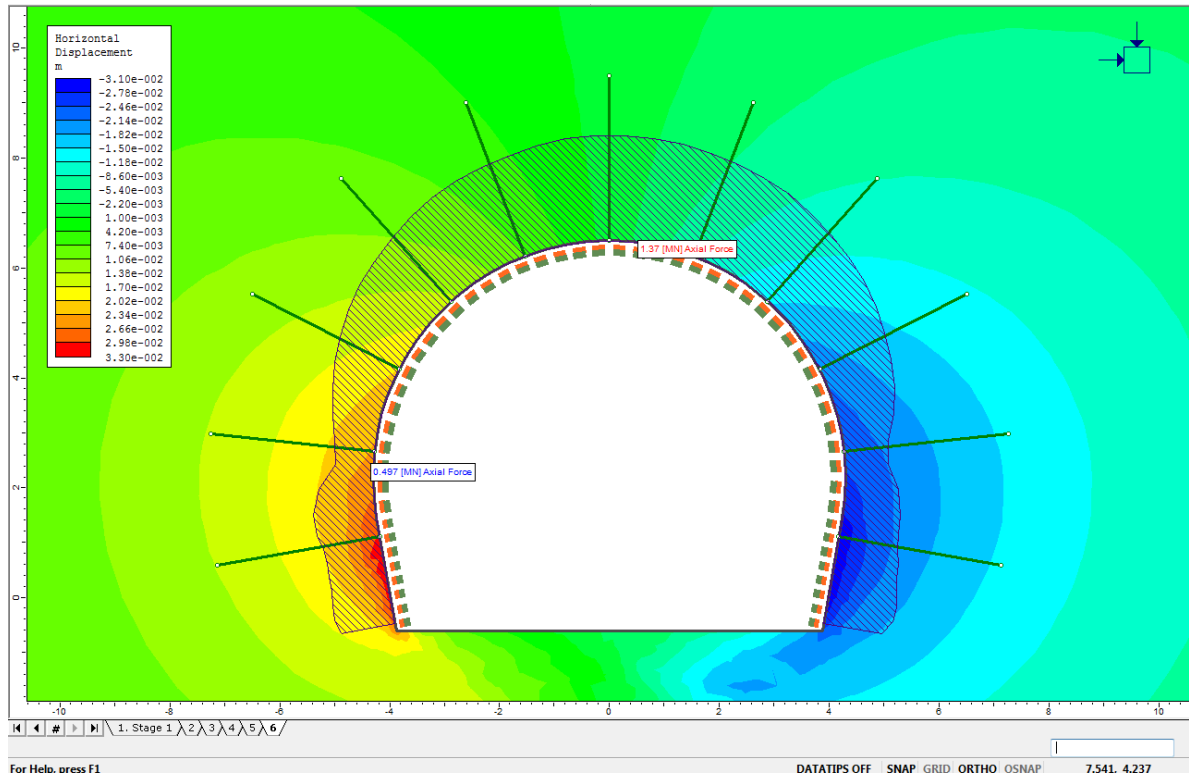
Εικόνα 14. Προσομοίωμα με υποστήριξη από την ανάλυση 2 με τιμές των ολικών μετακινήσεων στο όριο της εκσκαφής αυτού.



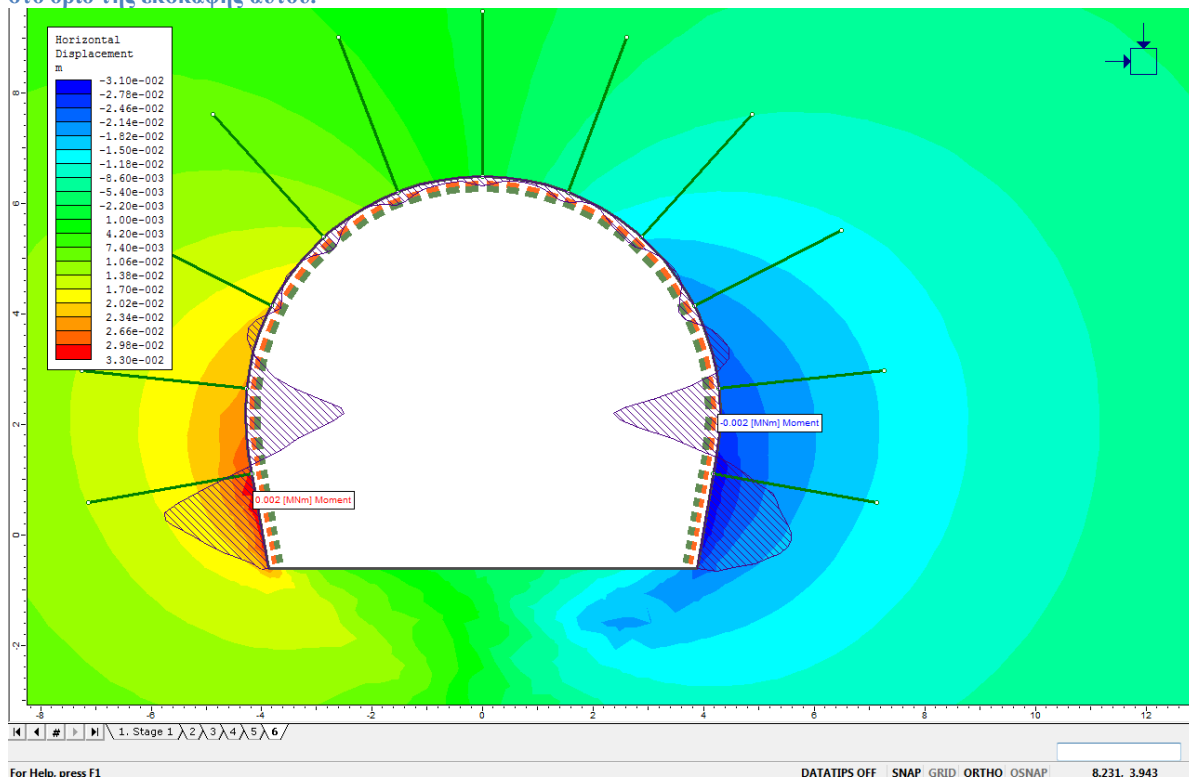
Εικόνα 15. Προσομοίωμα με υποστήριξη από την ανάλυση 2 με τιμές των πιέσεων στο όριο της εκσκαφής αυτού.



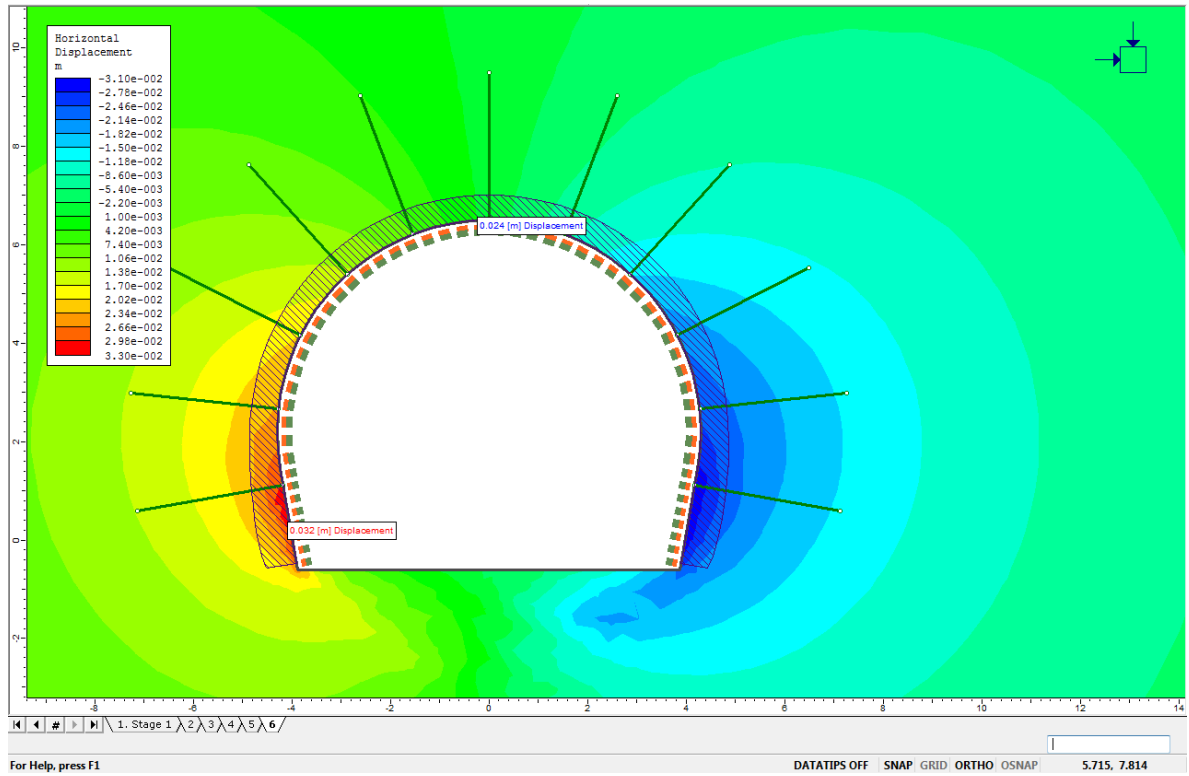
Εικόνα 16. Προσομοίωμα με υποστήριξη από την ανάλυση 2 με τιμές της τέμνουσας δύναμης της επένδυσης στο όριο της εκσκαφής αυτού.



Εικόνα 17. Προσομοίωμα με υποστήριξη από την ανάλυση 2 με τιμές της αξονικής δύναμης της επένδυσης στο όριο της εκσκαφής αυτού.



Εικόνα 18. Προσομοίωμα με υποστήριξη από την ανάλυση 2 με τιμές της καμπτικής ροπής της επένδυσης στο όριο της εκσκαφής αυτού.



Εικόνα 19. Προσομοίωμα με υποστήριξη από την ανάλυση 2 με τιμές των μετακινήσεων της επένδυσης στο όριο της εκσκαφής αυτού.