



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Τίτλος

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ 11 ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΜΑΥΡΑ
ΛΙΘΑΡΙΑ ΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥ ΕΛΕΥΣΙΝΑ –
ΚΟΡΙΝΘΟΣ – ΠΑΤΡΑ – ΠΥΡΓΟΣ - ΤΣΑΚΩΝΑ

Γιατζίδης Α. Γεώργιος

Επιβλέπων: Ρόζος Δημήτριος, Επ. Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Τίτλος

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ 11 ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΜΑΥΡΑ
ΛΙΘΑΡΙΑ ΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥ ΕΛΕΥΣΙΝΑ –
ΚΟΡΙΝΘΟΣ – ΠΑΤΡΑ – ΠΥΡΓΟΣ - ΤΣΑΚΩΝΑ

Γιατζίδης Α. Γεώργιος

Επιβλέπων: Ρόζος Δημήτριος, Επ. Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις/...../.....

Ρόζος Δημήτριος, Επ. Καθηγητής,(Υπογραφή)

Κυρούσης Ιωάννης, Επ. Καθηγητής,(Υπογραφή)

Νομικός Παύλος, Λέκτορας,(Υπογραφή)

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2010

Θερμές ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Δημήτριο Ρόζο για την ουσιαστική βοήθεια που μου προσέφερε με την άψογη συνεργασία, τις πολύτιμες συμβολές και την καθοδήγησή του σε όλη την διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας την επιτροπή, τον κ. Ράζο Ηλία που η βοήθεια του και η υπομονή του υπήρξε πραγματικά ανεκτίμητη καθώς και όλους όσους μου στάθηκαν τώρα αλλά και τα χρόνια που πέρασα στη σχολή.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Περίληψη στα Αγγλικά (English summary).....	2
1. Τοποθεσία και περιγραφή της (& τοπογραφικό σχέδιο) μέρος ποικιλοτρόπου έργου είναι (γενικός χάρτης του έργου) και τι σκοπό εξυπηρετεί και κατά πόσο.	3
1.2 Οδική ασφάλεια	Error! Bookmark not defined.
1.3 Εξοικονόμηση χρόνου	5
1.4 Οικονομική ανάπτυξη και ευκαιρίες απασχόλησης	5
1.5 Το περιβάλλον	5
2.Γεωμορφολογικοί χαρακτήρες ευρύτερης περιοχής μελέτης.....	7
2.1 Μορφολογικά στοιχεία	7
2.2 Γεωλογική δομή.....	9
2.3 Τεκτονικό καθεστώς.....	10
2.3.1 Τα ρήγματα της περιοχής	14
2.4 Υδρογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών της περιοχής.....	16
2.5 Σεισμικότητα	16
3 Γεωτρητικό πρόγραμμα – Γεωτεχνική συμπεριφορά των σχηματισμών	18
4. Τεχνικογεωλογικά - Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της περιοχής του έργου	26
4.1 Τεχνικογεωλογικοί χαρακτήρες των σχηματισμών	26
4.1.1 Πλευρικά Κορήματα, talus scree [Ts].....	26
4.1.2 Εναλλαγές ιλυώδους αργίλου και αργιλώδους άμμου με χάλικες (πρόκειται για υλικά που εναποτέθηκαν χωρίς δομή κυρίως λόγω παλαιάς ροής) [olf]	28
4.1.3 Μαργαϊκοί σχηματισμοί [ml]	28
4.1.4 Κροκαλοπαγή μπλέ – γκρί και κίτρινου χρώματος [ml.b.c.], [ml.y.c] μέσα στους μαργοειδής σχηματισμούς.....	37
4.1.5 Ψαμμίτης μπλέ – γκρί και κίτρινου χρώματος [ml.b.s.], [ml.y.s] μέσα στους σχηματισμούς μάργας	39
4.2 Γεωτεχνικές συνθήκες στην περιοχή των εισόδων των σηράγγων	41
4.2.1Περιοχή ανατολικών εισόδων	41
4.2.2 Περιοχή δυτικών εισόδων	44
4.3 Ιδεατά προφίλ για το σχεδιασμό των εισόδων	53
5. Αρχική ομαδοποίηση σχηματισμών για τις ανάγκες του έργου – μέτρα υποστήριξης.....	55

5.1	Διάκριση κατηγοριών	55
5.1.1	Κατηγορία M_III	55
5.1.2	Κατηγορία M_IV	55
5.1.3	Κατηγορία M_V	55
5.2	Σχεδιαστικές παραδοχές και γενική ιδέα	56
5.3	Περιγραφή των κατηγοριών υποστήριξης	59
5.4	Διαδικασία διάνοιξης και στοιχεία υποστήριξης κατηγοριών	66
5.4.1	Κατηγορία M_III: Αρχικά μέτρα στήριξης	66
5.4.2	Κατηγορία υποστήριξης M_III – Διαδικασία κατασκευής	70
5.4.3	Κατηγορία M_IV: Αρχικά μέτρα στήριξης	71
5.4.4	Κατηγορία υποστήριξης M_IV – Διαδικασία κατασκευής	76
5.4.5	Κατηγορία M_V: Αρχικά μέτρα στήριξης	77
5.4.6	Κατηγορία υποστήριξης M_V – Διαδικασία κατασκευής	82
5.4.7	Τμήμα χώρου πλευρικής στάθμευσης – Αρχικά μέτρα υποστήριξης	85
5.4.8	Τμήμα πλευρικού χώρου στάθμευσης – Διαδικασία κατασκευής	90
5.4.9	Σχεδιαστικές παραδοχές	91
5.4.10	Σχεδιαστικές γεωτεχνικές παράμετροι	92
5.5	Αναμενόμενες γεωτεχνικές συνθήκες στις σήραγγες	94
6	Συμπεριφορά των σχηματισμών κατά τις εργασίες διάνοιξης της σήραγγας	96
6.1	Εισαγωγή της κατηγορίας M_II	96
6.1.1	Γεωτεχνικές παράμετροι κατηγορίας υποστήριξης M_II	97
6.2	Διάσταση των μέτρων υποστήριξης	98
6.2.1	Κατηγορία M_II: Αρχικά μέτρα στήριξης	98
6.2.2	Κατηγορία υποστήριξης M_II – Διαδικασία κατασκευής	103
6.3	Αρχικά μέτρα υποστήριξης και αναλογίες:	104
6.3.1	Προβλεπόμενα μέτρα υποστήριξης:	104
6.3.2	Τελικά μέτρα υποστήριξης και αναλογίες:	106
7	Συμπεράσματα	109
	Βιβλιογραφία	Error! Bookmark not defined.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη μελέτη και την κατασκευή των μέτρων υποστήριξης της σήραγγας T11 «Μαύρα Λιθάρια» η οποία αποτελεί μέρος του έργου του αυτοκινητοδρόμου «Ελευσίνα – Κόρινθος – Πάτρα – Πύργος – Τσάκωνα». Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της τοποθεσίας στην οποία θα πραγματοποιηθεί το έργο και τι οφέλη θα υπάρχουν από την κατασκευή του. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής του έργου αλλά και της ευρύτερης περιοχής. Το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει το πρόγραμμα των ερευνητικών γεωτρήσεων και των δοκιμαστικών φρεάτων που πραγματοποιήθηκαν και μελετήθηκαν. Στο τέταρτο κεφάλαιο παραθέτονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μελέτη των σχηματισμών ως προς την τεχνικογεωλογική και γεωτεχνική συμπεριφορά τους. Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται και αναλύονται τα μέτρα υποστήριξης που προέκυψε ότι είναι κατάλληλα για την εκάστοτε γεωτεχνική συμπεριφορά των σχηματισμών. Όπως είναι φυσικό σε έργα τέτοιας έκτασης κατά τη διάρκεια της κατασκευής τους είναι πιθανό να συναντηθούν διαφορετικές συνθήκες από αυτές που αρχικά αναμένονταν και γι αυτό το λόγο πρέπει να αναπροσαρμοστούν τα μέτρα τα οποία είχαν προβλεφτεί αρχικά ώστε να ανταπεξέρχονται στις καινούργιες συνθήκες. Αυτές οι αλλαγές περιγράφονται αναλυτικά στο έκτο κεφάλαιο ενώ στο έβδομο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από τη συνολική μελέτη των μέτρων υποστήριξης.

Περίληψη στα Αγγλικά (English summary)

This thesis discusses the design and construction of measures to support the tunnel T11 "Black Litharia" which is part of the new highway "Elefsina - Corinth - Patra - Pyrgos - Tsakonas. The first chapter is a description of the site where the work will be done and what benefits will be available from the new highway. In the second chapter describes the geomorphological features of this project area and the wider region. The third chapter includes the program of exploratory boreholes and trial pits. The fourth chapter presents the results obtained by studying the cluster in the Engineering geological and geotechnical behavior. The fifth chapter presents and analyzes the measures that showed that they are suitable for the geotechnical behavior of the rockmass. As is normal for projects of this magnitude during construction are likely to meet different conditions than those originally expected and for this reason we must adjust the measures were initially so far in coping with the new conditions. These changes are described in detail in the sixth chapter, while the seventh chapter cited the conclusions drawn from the general study of measures of support.

1. Τοποθεσία και περιγραφή της (& τοπογραφικό σχέδιο) μέρος ποιανού γενικού έργου είναι (γενικός χάρτης του έργου) και τι σκοπό εξυπηρετεί και κατά πόσο.

Η δίδυμη σήραγγα “Μαύρα Λιθάρια” αποτελεί μέρος του πιο περίπλοκου και απαιτητικού έργου αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα με την ονομασία «Αυτοκινητόδρομος Ελευσίνα – Κόρινθος – Πάτρα – Πύργος – Τσακώνα», και θα συμβάλει στην λύση του συγκοινωνιακού προβλήματος της Πελοποννήσου και κατ’ επέκταση στην ανάπτυξη της. Η συνολική διάρκεια του έργου αναμένεται να είναι 6 χρόνια.

Το βόρειο τμήμα του συνολικού έργου που θα ενώνει την Αθήνα με την Πάτρα, την τρίτη μεγαλύτερη σε μέγεθος πόλη της χώρας μας, είναι αυτό που περιλαμβάνει τη δίδυμη σήραγγα T11 «Μαύρα Λιθάρια». Το νότιο τμήμα θα ακολουθεί τη δυτική ακτή της Πελοποννήσου ανάμεσα στις πόλεις της Πάτρας και του Πύργου, καταλήγοντας στην Τσακώνα, στη διασταύρωση για Καλαμάτα.

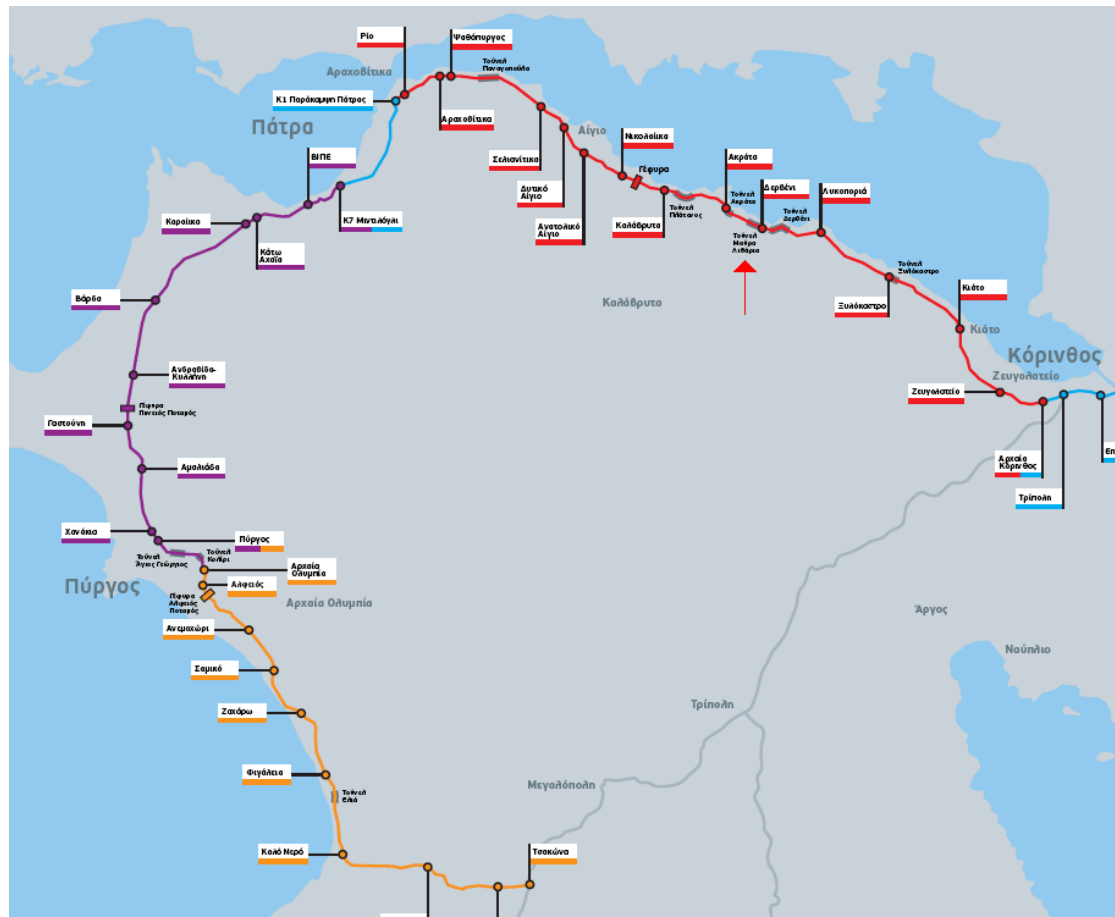
Η έκταση του συνολικού έργου κατά την ολοκλήρωση του θα καλύπτει 365 χιλιόμετρα.

Το έργο θα επιφέρει οφέλη στον τομέα της οδικής ασφάλειας, της εξοικονόμησης χρόνου, της οικονομικής ανάπτυξης και του περιβάλλοντος.

1.2 Οδική ασφάλεια

Ο υπάρχον δρόμος, που θα αντικατασταθεί θεωρείται από τους πιο επικίνδυνους δρόμους αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα. Το υπό κατασκευή έργο θα είναι ασφαλέστερο γιατί:

- Δεν θα υπάρχουν επικίνδυνες διασταυρώσεις με άλλους δρόμους.
- Τα δύο ρεύματα κυκλοφορίας των οχημάτων θα διαχωρίζονται με μπάρες ασφαλείας που μειώνουν τον κίνδυνο μετωπικών συγκρούσεων.
- Θα εφαρμόζονται και θα τηρούνται οι περιορισμοί στην κίνηση των οχημάτων όπως βαριά αγροτικά μηχανήματα.
- Θα εφαρμόζεται σύστημα περιπολιών και ανίχνευσης ατυχημάτων σε 24ωρη βάση.



Εικόνα 1.1. Συνολική εικόνα του έργου (πηγή: www.olympiaodos.gr)



Εικόνα 1.2. Μέρος του συνολικού έργου στη βόρεια Πελοπόννησο όπου βρίσκεται η δίδυμη σήραγγα Τ11 (πηγή: www.olympiaodos.gr)

1.3 Εξοικονόμηση χρόνου

Εξοικονόμηση χρόνου είναι σημαντική εφόσον πλέον το οδικό δίκτυο θα υποστηρίζει ταχύτητες αυτοκινητοδρόμου και δεν θα εξαρτάται η ταχύτητα των οχημάτων από τα προπορευόμενα οχήματα. Έτσι ο χρόνος που εξοικονομείται υπολογίζεται ανά διαδρομή ως εξής:

- Κόρινθος – Πάτρα: περίπου 20% (15 λεπτά συντομότερο ταξίδι)
- Πάτρα - Πύργος: περίπου 30% (15 λεπτά συντομότερο ταξίδι)
- Πύργος - Τσακώνα: περίπου 40% (30 λεπτά συντομότερο ταξίδι)

1.4 Οικονομική ανάπτυξη και ευκαιρίες απασχόλησης

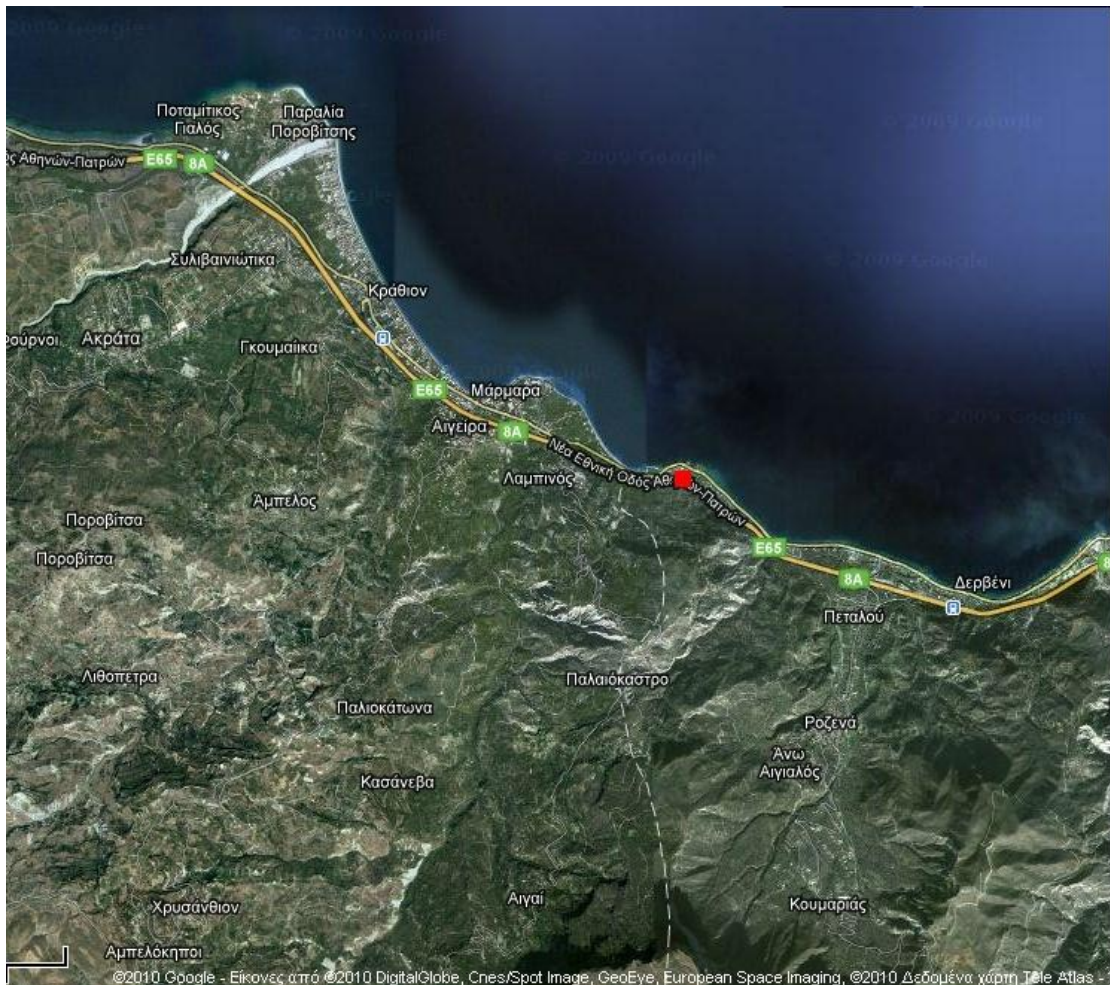
Η ολοκλήρωση του έργου αναμένεται να τονώσει σημαντικά την οικονομική και τουριστική δραστηριότητα της ευρύτερης περιοχής της Πελοποννήσου, με τις ακόλουθες δράσεις.

- Οι επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται κατά μήκος του αυτοκινητοδρόμου ωφελούνται από σύγχρονες συνθήκες πρόσβασης, μεταφορών και αναβάθμισης της περιοχής καθώς επίσης θα αποτελέσει κίνητρο για τη δημιουργία και άλλων επιχειρήσεων.
- Ο τουρισμός ωφελείται καθώς ο νέος αυτοκινητόδρομος παρέχει ευκολότερη, γρηγορότερη και ασφαλέστερη πρόσβαση στα σημεία τουριστικού ενδιαφέροντος, έτσι δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη και των γύρω περιοχών.
- Το έργο δημιουργεί ευκαιρίες απασχόλησης για τον πληθυσμό της ευρύτερης περιοχής, τόσο κατά τη διάρκεια των 6 ετών που απαιτούνται για την κατασκευή του όσο και στη συνέχεια, κατά τη λειτουργία του.

1.5 Το περιβάλλον

Ένα έργο τέτοιας έκτασης δεν είναι δυνατόν να μην επηρεάσει το περιβάλλον γι αυτό σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο που να βελτιώνει τις συνθήκες στον συγκεκριμένο τομέα με τους εξής τρόπους:

- Οι υδάτινοι πόροι προστατεύονται αποτελεσματικότερα και βελτιώνεται η ποιότητά τους
- Λαμβάνονται μέτρα για τη μείωση του θορύβου και την αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής μόλυνσης
- Προστατεύεται η πανίδα του τόπου με την κατασκευή φραγμάτων και διόδων για τα ζώα

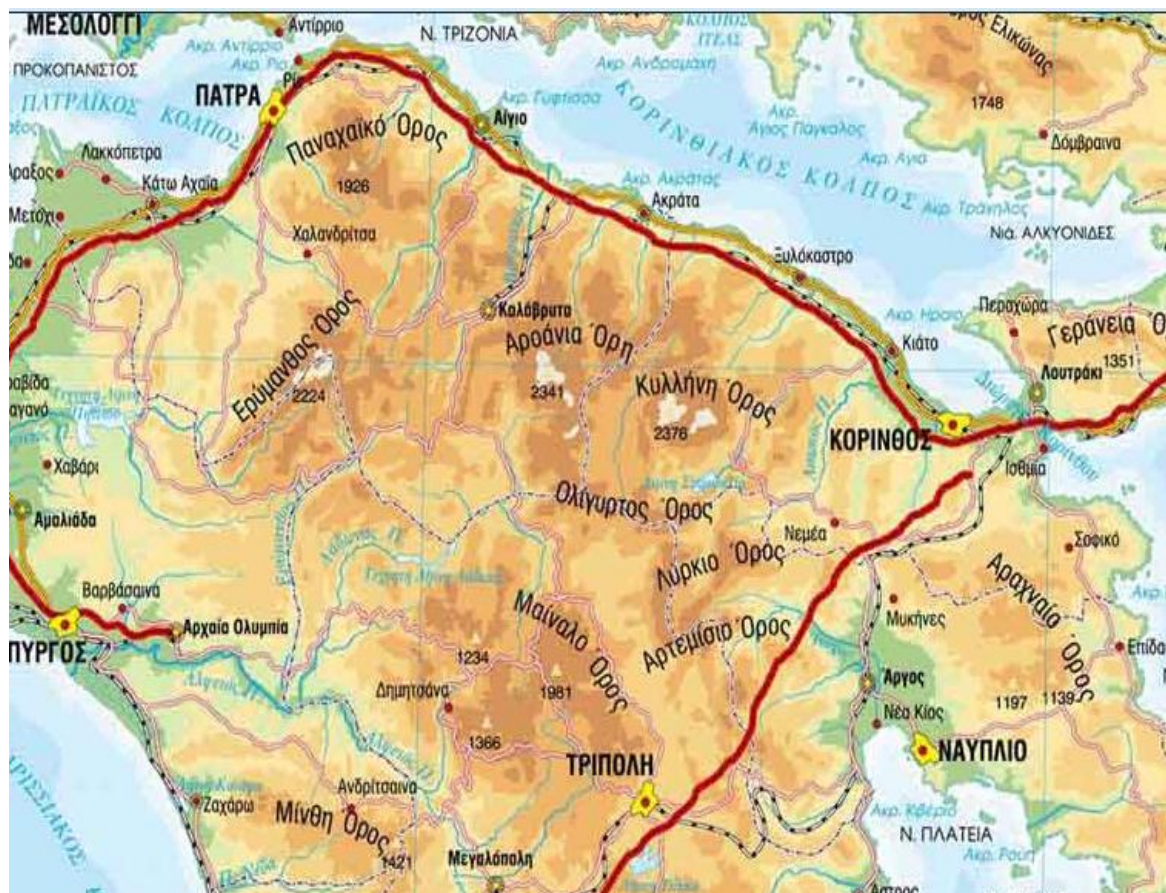


Εικόνα 1.3. Δορυφορική εικόνα της περιοχής (πηγή: google earth)

2.Γεωμορφολογικοί χαρακτήρες ευρύτερης περιοχής μελέτης

2.1 Μορφολογικά στοιχεία

Η περιοχή των Μαύρων Λιθαρίων είναι το δυτικό σύνορο της σημερινής Κορινθίας, ενώ κατά την αρχαιότητα αποτελούσε το επίνειο της αχαιϊκής πόλης Αιγείρας. Η δίδυμη σήραγγα σύμφωνα με τη μελέτη της θα ανασκαφεί σε όλο το παραλιακό λόφο Οχυρό που υπάρχει μεταξύ Δερβενίου και Ακράτας και ο άξονάς της θα έχει ανατολικό – δυτική κατεύθυνση επίσης η δίδυμη σήραγγα θα διέρχεται ανάμεσα από δύο χείμαρρους τον Θολοπόταμα και τον Κριό. Ο λόφος Οχυρό αποτελεί πρόβουνο του όρους Αροάνια με υψόμετρο 2341m από το οποίο τροφοδοτούνται και οι δύο προαναφερόμενοι χείμαρροι. Στην εικόνα 2.1 και στο σχήμα 2.2 απεικονίζονται γεωφυσικοί χάρτες της ευρύτερης περιοχής όπου διακρίνονται οι δύο χείμαρροι (Θολοπόταμος και Κριός) και τα Αροάνια Όρη.



Εικόνα 2.1: Γεωφυσικός χάρτης



Σχήμα 2.1: Γεωφυσικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής

2.2 Γεωλογική δομή

Σύμφωνα με τη γεωλογική έκθεση στη σήραγγα Μαύρα Λιθάρια, (OTM SA 2008), στη περιοχή της σήραγγας Μαύρα Λιθάρια εμφανίζεται η κατώτερη ομάδα των τριών κυριότερων λιθοστρωματογραφικών μονάδων που χαρακτηρίζουν την παράκτια περιοχή της Βόρειας Πελοποννήσου, και αποτελούνται από ποτάμιες-λιμναίες αποθέσεις που καλύπτουν το Πινδικό υπόβαθρο.

Γενικά η γεωλογική διάθρωση της περιοχής από τους ακόλουθους βασικούς σχηματισμούς

(Από τους παλαιότερους προς τους νεότερους):

- Ανώτερος Κρητιδικός Ασβεστόλιθος της γεωτεκτονικής ζώνης της Πίνδου. Πρόκειται για λευκού, κίτρινους, ή τεφρού ή και κίτρινους – τεφρού χρώματος, λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους που εμφανίζονται ισχυρά πτυχωμένοι και διασχίζονται από ένα πυκνό δίκτυο ασβεστιτικών φλεβών. Σε τοπικό επίπεδο και κυρίως στα ανώτερα τμήματα μπορούν να παρατηρηθούν υφαλογενείς αποθέσεις.
- Μάργες μελανού ή/και μελανότεφρου χρώματος αμμώδεις μάργες ή / και αργιλώδεις μάργες, με λεπτές ενστρώσεις ψαμμίτη, λιγνίτη πάχους 3-5 εκατοστών και σε τοπικό επίπεδο μέχρι 4m. Αντιπροσωπεύουν λιμνοθαλάσσιες-λιμναίες Πλειο – Πλειστόκαινης ηλικίας αποθέσεις, που αποτελούν το πρόσφατο γεωλογικό υπόβαθρο περιοχής.
- Μάργες κίτρινου χρώματος μέχρι 3.00m-πυκνές εναλλαγές με κίτρινες έως και ανοικτές κίτρινες μάργες, αργιλώδης μάργες, μεσόκοκκες άμμους ή χαλαρούς ψαμμίτες, καθώς και αμμώδης μάργες.
Στους ανώτερους ορίζοντες, η ποσότητα από χάλικες και ψηφίδες αυξάνεται σταδιακά φθάνοντας στα ανώτερα στρώματα σε ποσοστό 30% έως 40%.
- Κροκαλοπαγή. Ελαφρώς γκρι πολυγενετικά κροκαλοπαγή με ασβεστολιθική συνδετική ύλη και μεσαίου μεγέθους χάλικες έως 8cm σε εναλλαγές με άμμο, χάλικες και λεπτομερή. Εμφανίζονται στις υψηλότερες τοπογραφικές περιοχές και έχουν πάχος πάνω από 4m. Στην περιοχή της ανατολικής εισόδου εμφανίζονται θραύσματα και από το σχηματισμό αυτό.
- Υφαλογενείς αποθέσεις. Περιέχουν κοράλλια, κοραλλιοειδή φύκια και άλλους οργανισμούς (serpulids, bryozoans) καθώς επίσης και λεπτόκοκκα ιζήματα

και με θραύσματα κελυφών. Οι Υφαλογενείς αποθέσεις εμφανίζονται στο λιμάνι των Μαύρων Λιθαριών 2 - 9,3m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Ο ύφαλος αναπτύχθηκε μεταξύ 10.000 και 6.000 χρόνια π.Χ λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας κατά το λιώσιμο των πάγων.

- Πρόσφατες παράκτιες αποθέσεις. Ενοποιημένο θαλάσσιο υλικό, από άμμους βότσαλα επιμηκισμένα διαφόρων μεγεθών, καθώς και δελταϊκές αποθέσεις από ιλύ, άμμο και στρογγυλεμένα βότσαλα.

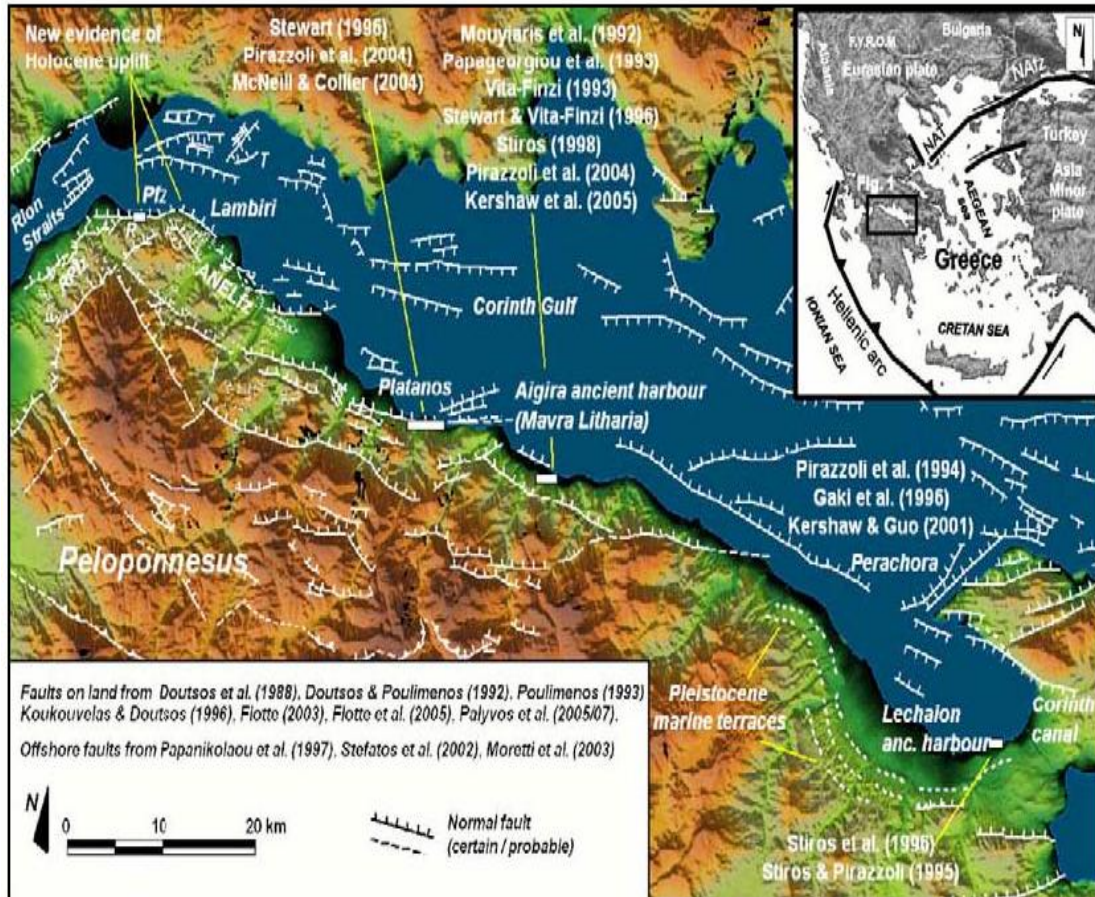
Μετά την ανάδυση της περιοχής από τη θάλασσα, οι παλαιότεροι σχηματισμοί καλύφθηκαν από Ολοκαινικά ιζήματα που αποτελούνται από:

- Πλευρικά κορήματα (Talus scree). Άμμος και θραύσματα με μεταβλητή αλλά γενικά χαμηλού ποσοστού παρουσία. Περιέχουν υλικό από παλαιότερους σχηματισμούς, ιδιαίτερα θραύσματα και τεμάχια τα οποία προήλθαν από τις ανώτερες τοπογραφικές περιοχές. Εμφανίζονται κυρίως στην ανατολική είσοδο της σήραγγας και το πάχος τους ποικίλλει μεταξύ 5m και 12m
- Αναμοχλευθέντα Υλικά ή υλικά παλαιών κατολισθήσεων. Εμφανίζονται στην περιοχή της δυτικής εισόδου και οφείλονται σε διαδοχικές κατολισθήσεις ή τη ροή υλικών αυτών. Αποτελούνται από πηλό και θραύσματα συμπαγών κροκαλοπαγών. Έχουν πάχος της τάξης των 15m και εμπεριέχουν έναν ενδιάμεσο σκληρό και αδρομερή ορίζοντα πάχους περί των 5m.
- Πρόσφατο υλικό κατολισθήσεων. Αποτελείται από υλικό αβαθών κατολισθήσεων. Οι εν λόγω κατολισθήσεις εμφανίζονται στο μεσαίο και ανατολικό τμήμα της περιοχής της σήραγγας και κυρίως ακριβώς πάνω από τον υπάρχον υπηρεσιακό δρόμο όπου συγκρατούνται από ένα τοίχος βαρύτητας, ο οποίος είναι τοπικά διασπασμένος και υπερχειλισμένος.

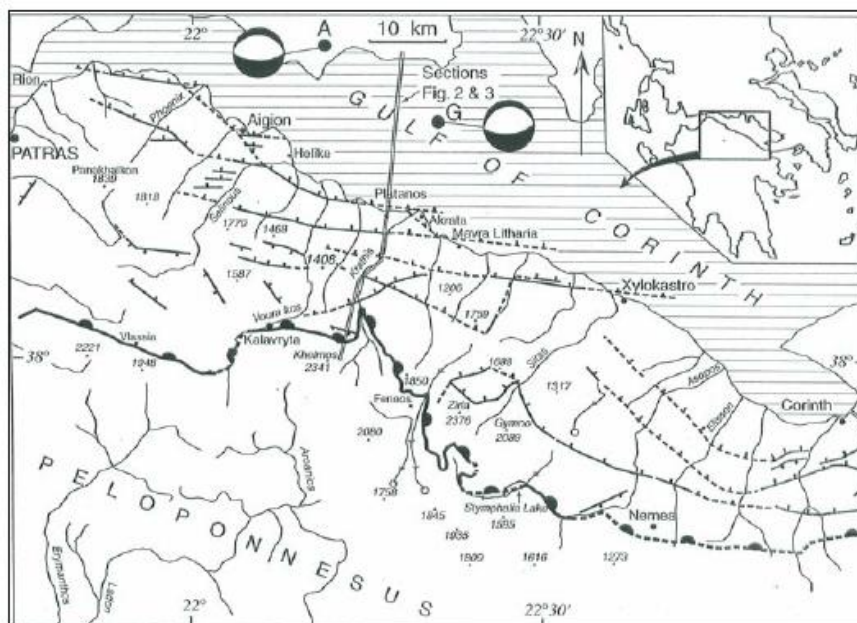
2.3 Τεκτονικό καθεστώς

Ο υπό κατασκευή αυτοκινητόδρομος Κορίνθου-Πατρών διέρχεται τις νότιες ακτές του Κορινθιακού κόλπου, μία περιοχή που παραμορφώνεται από εφελκυστικές τάσεις διεύθυνσης περίπου B-N (από BBD-NNA έως BBA-NNΔ). Με βάση τις αναλύσεις παραμορφώσεων από μετρήσεις GPS αναφέρεται ότι η Πελοπόννησος κινείται με 30mm/yr προς B215° σε σχέση με μία Στερεά Ελλάδα. Ο εφελκυσμός εντοπίζεται στη στενή ζώνη του Κόλπου και του οποίου οι ρυθμοί αυξάνουν από τα ανατολικά προς τα δυτικά και είναι της τάξεως των 11mm/yr στο Ξυλόκαστρο και

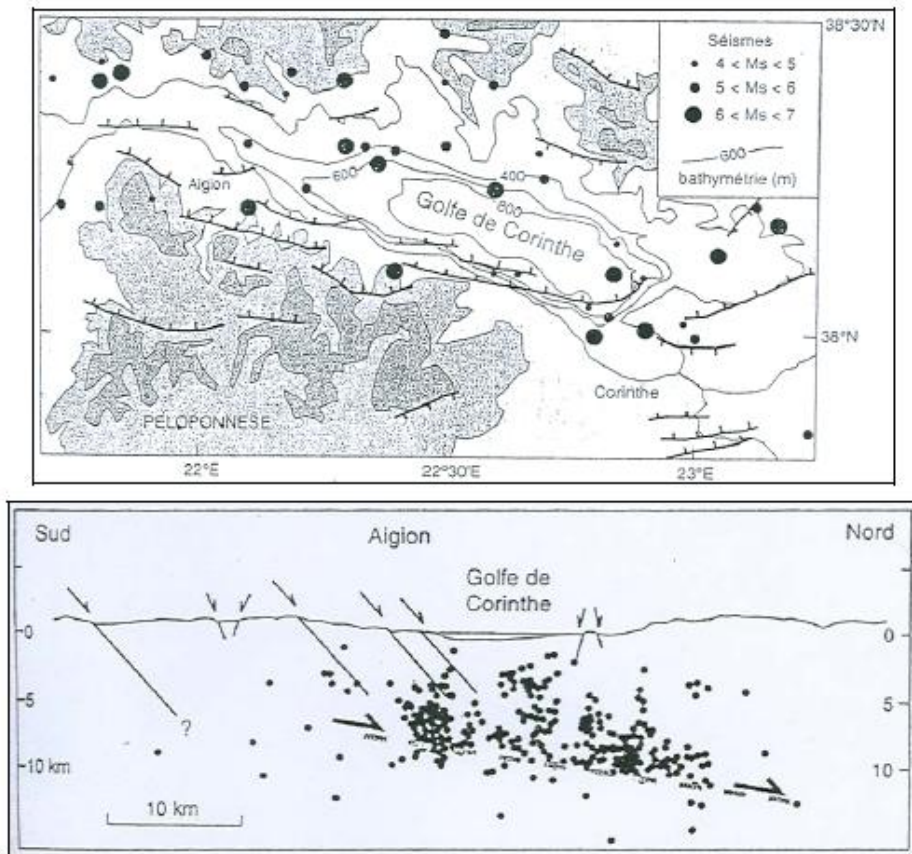
16mm/yr κοντά στο Αίγιο. Και οι δύο πλευρές της τάφρου συμπεριφέρονται σαν τεμάχια που περιστρέφονται δεξιόστροφα με ρυθμό $7\pm 0,5$ o/Myr και $2,8\pm 0,8$ o/Myr, αντιστοίχως για τα βόρεια και νότια τεμάχια (Avallone et al. 2004). Η συγκέντρωση παραμορφώσεων κατά μήκος των κυρίων ρηγμάτων της νότιας παρυφής της τάφρου είναι μικρότερη από 1mm/yr, που αφήνει να υποτεθεί μεγάλη περίοδο επανάληψης ισχυρών σεισμών ($M_s=6,5-7$) στα ρήγματα αυτά, 500-1000 χρόνια ή περισσότερο. Οι μικρότερες δομές, όπως αυτές του Αιγίου (ρήγμα 1995), διαχειρίζονται το μεγαλύτερο μέρος της επέκτασης του Κόλπου, πιθανώς με συχνότερους σεισμούς μικρότερου μεγέθους ($M_s= 5.5 - 6.5$) (Avallone et al 2004). Η σεισμικότητα εντοπίζεται στα 5-10km, στα δυτικά τουλάχιστον του κόλπου. Στα σχήματα 2.2, 2.3 και 2.4 δίδεται ενδεικτικά το τεκτονικό καθεστώς και τα κύρια ρήγματα του Κόλπου. Τα κύρια αυτά κανονικά ρήγματα της ενεργής δομής του κόλπου έχουν μέση διεύθυνση Α-Δ ($B 80^\circ-110^\circ$) και κλίση $50^\circ-60^\circ$ προς Β (στα ανώτερα τουλάχιστον τμήματα). Δεν είναι συνεχή αλλά διαδέχονται το ένα το άλλο με αποχή μεταξύ τους αλλά και με επικαλύψεις του χώρου που αφορούν (Σχήμα 2.3). Τα μήκη τους δεν είναι συνεπώς υπερβολικά μεγάλα με συνέπεια οι σεισμοί του κόλπου να έχουν μεγέθη μικρότερα των 7. Στα πιο σημαντικά δίδεται μήκος που μαζί με το υποθαλάσσιο τμήμα τους δεν φαίνεται να ξεπερνά τα 30km, ενώ τα άλλα κυμαίνονται μεταξύ 10 και 20km. Οι ερμηνείες που δίδονται προσφάτως ότι τα ρήγματα αυτά προέρχονται από διατάσεις του φλοιού από την ολίσθηση ή θραύση ζώνης σε βάθος που έχει παραοριζόντια διάταξη (βλέπε συγκέντρωση σεισμικών υποκέντρων στο σχήμα 2.4) δικαιολογούν την περιγραφείσα κατά τα ανωτέρω διάταξη των ρηγμάτων. Τις επί μέρους σημαντικότερες δομές ορίζουν τα ενεργά ρήγματα Ξυλοκάστρου, Δερβενίου, Μαύρων Λιθαριών, Ανατολικής Ελίκης (ονομαζόμενο επίσης Διακοφτού), Δυτικής Ελίκης, Αιγίου και Ψαθόπυργου. Στην ίδια σειρά επάλληλων εν σειρά ρηγμάτων υπάρχουν και άλλα μικρότερα ρήγματα. Υπάρχουν επίσης και δευτερεύοντα, που είναι συνήθως κλάδοι κυρίων ρηγμάτων.



Σχήμα 2.2: Ζώνες κανονικών ρηγμάτων στην τάφρο του Κορινθιακού Κόλπου (από Palyvos et al. 2008)



Σχήμα 2.3: Τεκτονικός σκαριφηματικός χάρτης της τάφρου του Κορινθιακού Κόλπου ως προς τα ρήγματα της Β. Πελοποννήσου. Απλές γραμμές αντιστοιχούν στα κανονικά ρήγματα. Παχιές γραμμές με ημικύκλια σημειώνουν τα ρήγματα αποκόλλησης. Οι εστιακοί μηχανισμοί των σεισμών του Γαλαξιδίου 1992 και Αιγίου 1995 σημειώνονται επίσης (Sorel 2000).



Σχήμα 2.4: Τοπογραφία, δομή και σεισμικότητα του Κορινθιακού Κόλπου (από Rigo 1994).

Πρέπει παράλληλα να σημειωθεί ότι όλη η νότια ακτογραμμή του Κορινθιακού Κόλπου χαρακτηρίζεται και από κατακόρυφες ανοδικές κινήσεις όπως διαπιστώνεται από ανυψωμένες ολοκαινικές θαλάσσιες αποθέσεις. Η ανύψωση αυτή θεωρείται ως αποτέλεσμα του συνδυασμού σεισμικών κινήσεων των ρηγμάτων και σεισμικών κινήσεων (Armijo et al., 1996), αντισταθμίζοντας την τεκτονική βύθιση του Κόλπου. Στην περιοχή Πλατάνου και Μαύρων Λιθαριών διαπιστώθηκαν από τους Pirazzoli et al. (2004) οι ταχύτεροι ρυθμοί ανόδου κατά το Ολόκαινο, (τελευταία 10.000 χρόνια) της τάξεως των 2.9-3.5 mm/yr, με τον μέγιστο ρυθμό στην περιοχή του Πλατάνου. Σημειώνεται επίσης η ύπαρξη εγκαρσίων ρηγμάτων με διευθύνσεις ΒΒΔ-ΝΝΑ και ΒΒΑ-ΝΝΔ που σε ορισμένες περιπτώσεις τμηματοποιούν τα προηγούμενα. Αυτά, σύμφωνα με το ενεργό τασικό πεδίο της περιοχής, σε περίπτωση ανάδρασης τους θα πρέπει να έχουν και κίνηση οριζόντιας ολίσθησης. Δεν γνωρίζουμε αναφορές για ιστορική ανάδραση τέτοιων ρηγμάτων. Πιθανώς έδρασαν σε ένα πρώτο στάδιο της νεοτεκτονικής εξέλιξης της περιοχής κατά την διαμόρφωση της δομικής της γεωμετρίας.

Φυσικά αυτό συνεπάγεται ότι οι ενεργές τάσεις της περιοχής εκτονώνονται στα μεγάλα ρήγματα με διεύθυνση περίπου Α-Δ. Αντίστοιχη άποψη εκφράζουν και οι εκθέσεις των μελετητών της κοινοπραξίας κατασκευής του έργου (ΟΤΜ, 2008).

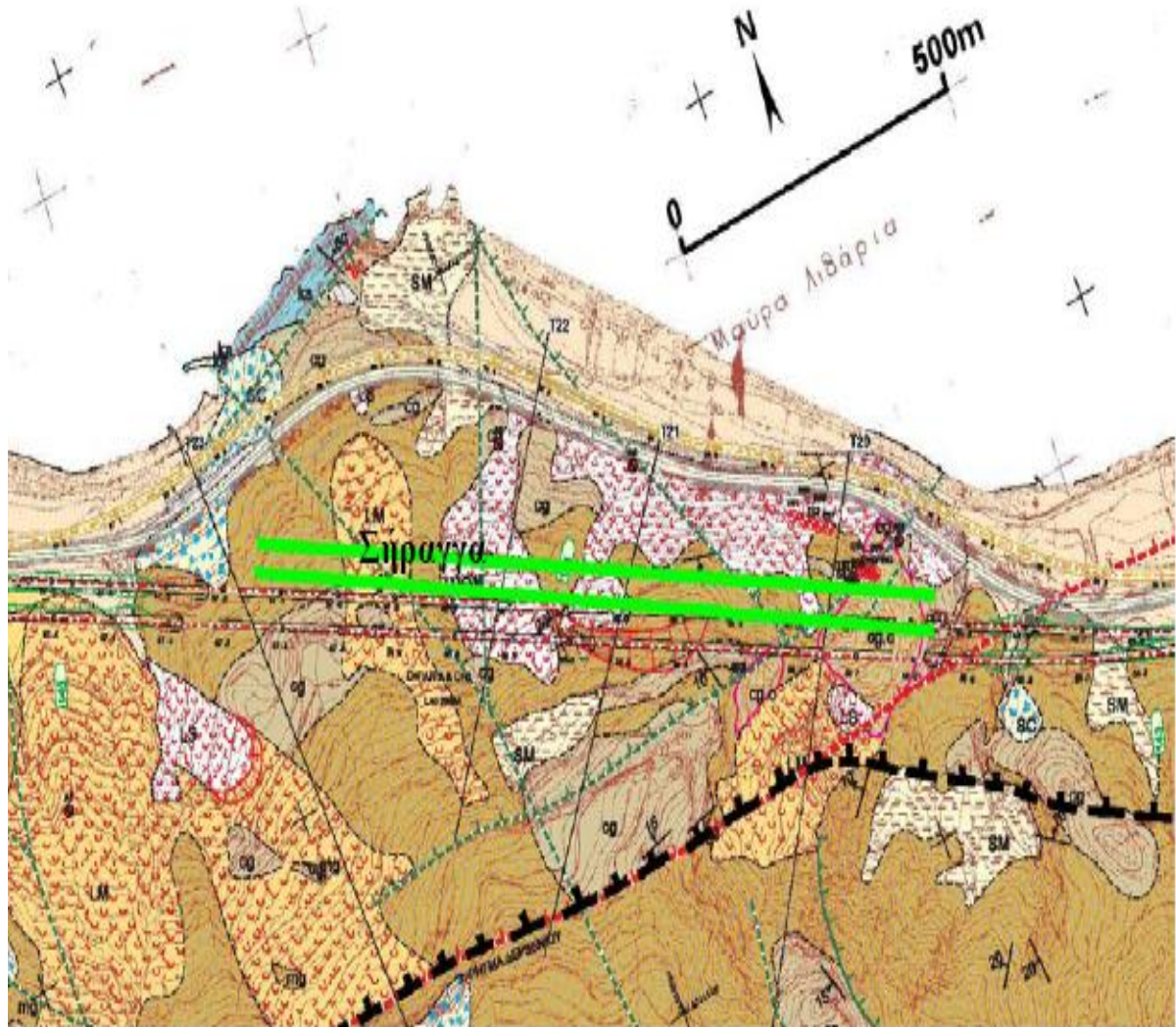
2.3.1 Τα ρήγματα της περιοχής

Η διαδρομή των σηράγγων διασχίζει πλειο-πλειστοκαινικές αποθέσεις, κυρίως συνεκτικά κροκαλοπαγή συνεκτικούς ψαμμίτες και μάργες, οι οποίες περιέχουν στρώματα λιγνίτη και τύρφης. Πρόσφατες αποθέσεις από πλευρικά κορήματα αλλά και υλικά παλαιών κατολισθήσεων εμφανίζονται επιφανειακά, σύμφωνα με την έκθεση του μελετητή. Οι σήραγγες στη θέση Μαύρα Λιθάρια δεν βρέθηκε να τέμνονται με κανένα από τα γνωστά ρήγματα της περιοχής, ούτε εντοπίστηκε επίδραση από άλλο ρήγμα κατά την αυτοψία.

Συγκεκριμένα:

1. Το πιο σημαντικό ρήγμα της περιοχής της σήραγγας, το ρήγμα Δερβενίου, (ή βασικός κλάδος αυτού) διέρχεται νοτίως της ανατολικής εισόδου και σε απόσταση 200 m περίπου (Σχήμα 2.5). Το ρήγμα, στη περιοχή εισόδου, φαίνεται και από την χαρακτηριστική κλίση (tilting) που έχει προκαλέσει στους πάγκους των συνεκτικών κροκαλοπαγών (Φωτογραφία 2.1). Στη συνέχεια απομακρύνεται ακόμη περισσότερο, νοτιότερα. Η επιφανειακή του θέση στο ανάγλυφο και η προς βορρά κλίση της επιφάνειάς του, αποκλείουν τομή του με την σήραγγα.
2. Στον χάρτη 1:5000 της χαρτογράφησης του 2004 της Υπηρεσίας σημειώνεται ένα υποθετικό ρήγμα με διεύθυνση περίπου Α-Δ, κάθετα δηλαδή, με τον ενεργό εφελκυσμό του Κόλπου που τέμνει την σήραγγα στο ανατολικό της τμήμα (με πράσινη διακεκομμένη γραμμή). Από την αυτοψία δεν διαπιστώσαμε την παρουσία του.
3. Στην έκθεση του μελετητή της Κοινοπραξίας κατασκευής του έργου (ΟΤΜ, 2008) εμφανίζεται ένα μορφολογικό στοιχείο (αναφέρεται ως πιθανό ρήγμα ή ως κρημνός κατολίσθησης) να τέμνει σε μία θέση το ανατολικό τμήμα των σηράγγων. Πάντως, λόγω του μικρού μήκους του, αναφέρεται ότι ακόμη και στην περίπτωση ρήγματος η διάρρηξη σε σεισμό θα είναι ασήμαντη. Κατά την άποψή μας είναι στοιχείο μη αξιολογήσιμο από πλευράς σεισμικής επικινδυνότητας και ενεργότητας.

4. Τα εγκάρσια υποθετικά ρήγματα που σημειώνονται στον χάρτη 1:5000 της χαρτογράφησης, αν πράγματι υπάρχουν, εκτιμάται ότι δεν έχουν πιθανότητες να είναι ενεργά για τους λόγους που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα.
5. Στην περιοχή της δυτικής εισόδου της σήραγγας η μορφολογία είναι πολύ ομαλή. Και εδώ δεν διαπιστώθηκε ύπαρξη κάποιου ρήγματος.



Σχήμα 2.5: Ενεργά ρήγματα στην περιοχή της σήραγγας Μαύρων Λιθαριών.

- α) Η θέση της διπλής σήραγγας σημειώνεται με παχιά ανοικτού πράσινου γραμμή.
- β) Η θέση του κυρίου ενεργού ρήγματος σημειώνεται με μαύρη γραμμή κατά την καλύτερη εκτίμηση.
- γ) Οι θέσεις των ρηγμάτων σημειώνονται με κόκκινο ή πράσινο διακεκομμένο χρώμα.
- δ) Οι μαύρες ευθείες γραμμές T21, T22, T23 κλπ υποδεικνύουν τις θέσεις γεωλογικών τομών.



Φωτογραφία 2.1: Άποψη του ίχνους του ρήγματος Δερβενίου που επηρεάζει τα συνεκτικά κροκαλοπαγή νότια της σήραγγας στα Μαύρα Λιθάρια.

2.4 Υδρογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών της περιοχής

Σε γενικές γραμμές οι ερευνητικές γεωτρήσεις έδειξαν ότι το έδαφος είναι ξηρό ή χαμηλών συνθηκών. Εντούτοις, κάποια εισροή νερού είναι αναμενόμενη κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου μέσω των διαρρήξεων του φαμμίτη ή της μάργας καθώς και από τα χαλαρωμένα στρώματα. Κατ' εξαίρεση υψηλή στάθμη νερού έχει καταγραφεί σε μία ερευνητική γεώτρηση (56ΓΝ5) αν και δεν είναι ακόμη βέβαιο αν οφείλεται στο υπόγειο νερό ή στο νερό που χρησιμοποιήθηκε για τη διάτρηση και παγιδεύτηκε στη γεώτρηση. Σε κάθε περίπτωση, εξαιτίας της χαμηλής διαπερατότητας που έχουν οι σχηματισμοί από μάργες, τα προβλήματα από σημαντικές εισροές νερού κατά τη διάρκεια της υπόγειας εκσκαφής δεν είναι αναμενόμενα.

2.5 Σεισμικότητα

Σύμφωνα με την αναθεώρηση διαχωρισμού του Ελλαδικού χώρου σε ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας το 2003 η οποία ισχύει και σήμερα με βάση τον Ελληνικό Κώδικα Αντισεισμικού σχεδιασμού (ΕΑΚ2000) το σύνολο της περιοχής όπου θα κατασκευαστεί η σήραγγα Τ11 Μαύρα λιθάρια κατατάσσεται στη σεισμική ζώνη II, η οποία αντιστοιχεί σε ένα βασικό συντελεστή οριζόντιας επιτάχυνσης με την τιμή $\alpha = 0,24$ (που ορίζεται ως κλάσμα της βαρυτικής επιτάχυνσης g). Σημειώνεται, ωστόσο, ότι ο σχεδιασμός των τεχνικών έργων θα πρέπει να βασίζεται στις σχετικές

συμβατικές διατάξεις, οι οποίες προβλέπουν πιο συντηρητικές προδιαγραφές σχετικά με το σεισμικό σχεδιασμό των μόνιμων κατασκευών. Για σημαντικές μόνιμες κατασκευές όπως σήραγγες ο παραπάνω συντελεστής θα πρέπει να αυξηθεί κατά ένα συντελεστή 1,3 (δηλαδή $\alpha = 0,31$) (ΟΤΜ, 2008).

3 Γεωτρητικό πρόγραμμα – Γεωτεχνική συμπεριφορά των σχηματισμών

Το γεωτρητικό πρόγραμμα που εκτελέστηκε μεταξύ 17/11/2008 - 22/01/2009, σύμφωνα με το πρόγραμμα που προτείνει η έκθεση (OTM, 2008) περιλάμβανε έξι (6) δειγματοληπτικές γεωτρήσεις 56ΓΝ1, 56ΓΝ2, 56ΓΝ3, 56ΓΝ5, 56ΓΝ6 και, 56ΓΝ7 στην περιοχή Μαύρα Λιθάρια, καθώς και τρία (3) δοκιμαστικές εκσκαφές (56ΤΡ1, 56ΤΡ2, 56ΤΡ3) στην περιοχή των δυτικών εισόδων των διδυμων σηράγγων. Σημειώνεται ότι πραγματοποιήθηκαν επίσης πρεσσιομετρικές δοκιμές (Menard PMT), σε δύο από τις γεωτρήσεις, 56ΓΝ3 και 56ΓΝ7, όπου χρησιμοποιήθηκε μικρότερη διάμετρος (66 χιλιοστά). Στους παρακάτω πίνακες παραθέτονται τα χαρακτηριστικά των παλαιότερων αλλά και των συμπληρωματικών γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή.

Πίνακας 3.1 Γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν σε προηγούμενες έρευνες και χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη έρευνα.

	X (m)	Y (m)	Z (m)	Depth (m)
Γ-72	358541.0	4221750.0	56.00	35.00
Γ-73	357909.0	4222067.0	89.00	65.30
Γ-74	357448.0	4222271.0	41.00	30.00
Γ72-1	358024.0	4222024.0	100.00	80.80
BH22	357522.0	4222326.0	32.51	20.00
BH_ML1+I	358473.4	4221867.1	66.51	50.20

Πίνακας 3.2 Συντεταγμένες των συμπληρωματικών γεωτρήσεων και των δοκιμαστικών εκσκαφών στην περιοχή Μαύρα Λιθάρια (όπως εκτελείται)

Γεώτρηση	X (m)	Y (m)	H (m)
56 ΓΝ1	358593.08	4221760.86	41.46
56 ΓΝ2	358564.04	4221792.81	47.81
56 ΓΝ3	358442.68	4221838.25	85.90
56 ΓΝ5	357769.75	4222222.87	60.26
56 ΓΝ6	357624.08	4222332.18	41.09
56 ΓΝ7	357545.87	4222287.76	43.45
56 ΤΡ1	357503.61	4222306.67	38.38
56 ΤΡ2	357548.14	4222351.68	26.67
56 ΤΡ3	357567.26	4222334.68	32.86

Παράλληλα με την ανάκτηση των δειγμάτων εκτελέστηκαν δοκιμές πρότυπης διείδυσης (SPT) σε όλες τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις ενώ πρεσσιομετρήσεις (Menard, PMT) πραγματοποιήθηκαν στις γεωτρήσεις 56ΓΝ3 και 56ΓΝ7, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Στη Φωτογραφία 3.1 απεικονίζεται δοκιμή πρεσσιομέτρησης.



Φωτογραφία 3.1: Δοκιμές πρεσσιομέτρησης στη γεώτρηση 56ΓΝ7

Τα βασικά ποσοτικά στοιχεία των γεωτρήσεων, των δοκιμαστικών εκσκαφών και των δοκιμών πεδίου εμφανίζονται στον πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3 Δεδομένα γεωτρήσεων και δοκιμαστικών εκσκαφών.

Γεώτρηση	Βάθος (m)	Βάθος σωλήνωσης (m)	Terzaghi – STP	Menard – PMT
56 ΓΝ1	25.45	20.00	7	-
56 ΓΝ2	30.00	14.00	5	-
56 ΓΝ3	65.00	37.60	14	4
56 ΓΝ5	40.50	30.00	7	-
56 ΓΝ6	22.00	12.00	6	-
56 ΓΝ7	26.10	19.25	6	5
56 TP1	≈ 3.00	-	-	-
56 TP2	≈ 1.80	-	-	-
56 TP3	≈ 3.00	-	-	-

Μετρήσεις πιεζομέτρων

Πιεζόμετρα εγκαταστάθηκαν στις γεωτρήσεις 56ΓΝ5 και 56ΓΝ7. Μετρήσεις από προϋπάρχουσες γεωτρήσεις καθώς και πληροφορίες από την παρατήρηση της στάθμης των υδάτων κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά και κατά τη διάνοιξη των νέων γεωτρήσεων δείχνουν ότι το μεγαλύτερο μέρος του μήκους των σηράγγων επικρατούν ξηρές συνθήκες όπως αναφέρθηκε και κατά το σχολιασμό των υδρογεωλογικών συνθηκών. Στον πίνακα 3.4 απεικονίζονται συνοπτικά η καθημερινή πρόοδος των γεωτρήσεων καθώς και η στάθμη των υδάτων ενώ η περίληψη των πιεζομετρήσεων από παλιές και νέες γεωτρήσεις παρουσιάζεται στον πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.4 Καθημερινή πρόοδος των γεωτρήσεων και στάθμη υδάτων.

BOREHOLE ΓΕΩΤΡΗΣΗ	DATE ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	DRILLING DEPTH (m) ΒΑΘΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ ΜΕΤΑ ΤΟ ΠΕΡΑΣ ΤΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	CASING DEPTH (m) ΒΑΘΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ		MORNING/ EVENING WATER LEVEL DEPTH (m) ΒΑΘΟΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΑΣ ΤΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	
			FROM/ ΑΠΟ	UP TO / ΕΩΣ	MORNING ΕΝΑΡΞΗ	EVENING ΠΕΡΑΣ
56ΓΝ1	17/11/2008	10.60	0.00	9.00	–	dry/στεγνή
	18/11/2008	18.60	0.00	14.00	dry/στεγνή	dry/στεγνή
	19/11/2008	25.00	0.00	20.00	dry/στεγνή	11.00
56ΓΝ2	20/11/2008	12.40	0.00	4.00	–	6.00
	21/11/2008	15.50	0.00	14.00	7.00	5.00
	24/11/2008	30.00	0.00	14.00	6.00	9.00
	25/11/2008	30.00	0.00	14.00	20.00	–
56ΓΝ3	3/12/2008	12.00	0.00	8.00	–	dry/στεγνή
	4/12/2008	17.90	0.00	16.40	dry/στεγνή	dry/στεγνή
	5/12/2008	25.28	0.00	19.50	dry/στεγνή	dry/στεγνή
	9/12/2008	29.00	0.00	26.50	dry/στεγνή	dry/στεγνή
	10/12/2008	32.40	0.00	31.00	dry/στεγνή	dry/στεγνή
	11/12/2008	35.80	0.00	35.80	dry/στεγνή	dry/στεγνή
	12/12/2008	37.60	0.00	37.60	dry/στεγνή	dry/στεγνή
	15/12/2008	45.00	0.00	37.60	dry/στεγνή	dry/στεγνή
	16/12/2008	52.30	0.00	37.60	dry/στεγνή	dry/στεγνή
	17/12/2008	60.80	0.00	37.60	dry/στεγνή	dry/στεγνή
56ΓΝ5	18/12/2008	65.00	0.00	37.60	dry/στεγνή	dry/στεγνή
	26/11/2008	7.50	0.00	4.00	–	dry/στεγνή
	27/11/2008	14.70	0.00	14.00	dry/στεγνή	0.50
	28/11/2008	22.15	0.00	20.00	0.50	5.00
	29/11/2008	26.70	0.00	20.00	5.50	6.00
	30/11/2008	36.40	0.00	30.00	6.50	5.50
	1/12/2008	40.00	0.00	30.00	6.00	17.00
56ΓΝ6	2/12/2008	40.00	0.00	30.00	16.00	–
	15/1/2009	15.40	0.00	10.40	–	1.80
	16/1/2009	22.00	0.00	12.00	9.00	2.80
56ΓΝ7	19/1/2009	22.00	0.00	12.00	5.60	–
	20/1/2009	10.50	0.00	8.00	–	1.80
	21/1/2009	22.87	0.00	17.00	9.00	2.10
	23/1/2009	26.10	0.00	19.25	5.20	3.40

Πίνακας 3.5 Γενική εικόνα πιεζομέτρων σε παλιές και νέες γεωτρήσεις

SUPPLEMENTARY PIEZOMETER LEVEL MEASUREMENTS ΜΕΤΑΓΕΝΕΣΤΕΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΩΝ									
BOREHOLE ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Βάθος Πιεζομέτρου Piezometer Depth	Water Level Depth w.r.t. Ground Surface (m) ΣΤΑΘΜΗ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ							
		29/7/2004	2/8/2004	5/8/2004	1/9/2004	18/9/2004	22/9/2004	10/11/2005	8/1/2009
Γ-72	—	—	—	—	—	—	—	—	29.90
Γ-73	65.0	—	60.00	62.20	—	dry/στεγνή	dry/στεγνή	—	60.40
Γ-74	30.0	22.60	—	24.70	27.00	dry/στεγνή	dry/στεγνή	—	—
Γ72-1	80.0	—	—	—	—	—	—	63.00	71.80
56ΓΝ2	—	—	—	—	—	—	—	—	20.60
56ΓΝ5	40.0	—	—	—	—	—	—	—	15.50
56ΓΝ7	26.1	—	—	—	—	—	—	—	—

Εργαστηριακές δοκιμές

Αντιπροσωπευτικά δείγματα από κάθε γεώτρηση μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, όπου υποβλήθηκαν στις κατάλληλες δοκιμές. Οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν εργαστήριο φαίνονται στον πίνακα 3.6 ο οποίος απεικονίζει αναλυτικά ποιες εργαστηριακές δοκιμές έχουν πραγματοποιηθεί σε κάθε γεώτρηση και σε πόσα δείγματα έχει πραγματοποιηθεί η κάθε δοκιμή, εκτός από τις γεωτρήσεις αυτές ο πίνακας παρουσιάζει και το σύνολο των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν από τα δείγματα των φρεάτων.

Πίνακας 3.6 Περίληψη εργαστηριακής έρευνας

S/N A/A	CODE ΚΩΔΙΚΟΣ	LAB TEST DESCRIPTION ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΚΙΜΗΣ	BOREHOLE - ΓΕΩΤΡΗΣΗ						TRIAL PIT - ΦΡΕΑΡ			TOTAL ΣΥΝΟΛΟ
			56ΓΝ1	56ΓΝ2	56ΓΝ3	56ΓΝ5	56ΓΝ6	56ΓΝ7	56ΤΡ1	56ΤΡ2	56ΤΡ3	
1	ΓΤΕ.2.1	Preparation of disturbed samples Προπαρασκευή διαταραγμένων δειγμάτων	7	10	9	11	10	6	1	1	1	56
2	ΓΤΕ.2.6	Grain size analysis - Sieves Κοκκομετρική Ανάλυση αδρανιών - Ξηρά μέθοδος	7	10	9	11	10	6	1	1	1	56
3	ΓΤΕ.2.8	Grain size analysis - Hydrometer Κοκκομετρική Ανάλυση με αραιόμετρο	7	8	8	11	10	5	1	1	1	52
4	ΓΤΕ.2.5	Determination of ATTERBERG limits Προσδιορισμός Ορίων ATTERBERG	7	8	9	11	10	5	1	1	1	53
5	ΓΤΕ.2.4	Specific Gravity Determination Προσδιορισμός Ειδικού Βάρους Εδαφών	2	1								3
67	ΓΤΕ.2.10	Organic content Οργανικά (μέθοδος υγρής οξείδωσης)				1	3	1	1	1	1	8
8	ΓΤΕ.2.55	CaCO ₃ content Ανθρακικό Ασβέστιο CaCO ₃	2	1	2	3	2	1				11
9	ΓΤΕ.2.14	Unconfined Compression Test Δοκιμή ανεμπόδιστης Θλίψης	5	4	4	7	6	3				29
10	ΓΤΕ.2.16	Triaxial Test Τριαξονική δοκιμή CUPP	3									3
11	ΓΤΕ.2.20	Direct shear - Consolidated / Drained (no. of tested specimens) – Βραδεία Διάτμηση με στε- ρεοποίηση (CD) πλήθος εξετασθέντων δοκιμίων	9	9	6	6	3	3				36
12	ΓΤΕ.2.25	Ring shear Test Προσδιορισμός παραμένουσας διατμητικής αντοχής δακτυλοειδής συσκ. Διάτμησης		3			3	3				9
13	ΓΤΕ.2.13	One-dimensional Consolidation Δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης (Συμπιεστότητα)	2	1	2							5
14	ΓΤΕ.2.26	Swelling Measurement in the Oedometer Προσδιορισμός Διόγκωσης στη συσκευή στερεοποίησης		1								1
15	ΓΤΕ.2.11	Proctor Compaction Test Συμπύκνωση εδαφών - Μέθοδος PROCTOR							1	1	1	3
16	ΓΤΕ.2.12	CBR Test - Προσδιορισμός C.B.R. στο εργαστήριο							1	1	1	3
17	ΓΤΕ.2.27	Preparation of Rock Specimen Προετοιμασία κυλινδρικού δοκιμίου βραχώδους δείγματος	1	6	2	5						14
18	ΓΤΕ.2.30	Uniaxial Compression Test Προσδιορισμός αντοχής σε μονοαξονική θλίψη	1	6	2	5						14
19	ΓΤΕ.2.32	Point Load Test Προσδιορισμός αντοχής σε σημειακή φόρτιση	1	8	4							13

Στις παρακάτω φωτογραφίες απεικονίζονται τα δείγματα «καροταρίες» από τρεις γεωτρήσεις ενδεικτικά.

<p>1. Φωτογραφίες γεώτρησης 56ΓΝ1 Βάθος 00,00 – 5,00m</p>	<p>5. Φωτογραφίες γεώτρησης 56ΓΝ1 Βάθος 20,60 – 25,00m</p>
	
<p>2. Φωτογραφίες γεώτρησης 56ΓΝ1 Βάθος 5,00 – 10,60m</p>	<p>6. Φωτογραφίες γεώτρησης 56ΓΝ3 Βάθος 25,28 – 30,40m</p>
	
<p>3. Φωτογραφίες γεώτρησης 56ΓΝ1 Βάθος 10,60 – 15,50m</p>	<p>7. Φωτογραφίες γεώτρησης 56ΓΝ3 Βάθος 40,30 – 47,20m</p>
	
<p>4. Φωτογραφίες γεώτρησης 56ΓΝ1 Βάθος 10,60 – 15,50m</p>	<p>8. Φωτογραφίες γεώτρησης 56ΓΝ3 Βάθος 58,70 – 64,50m</p>
	

9. Φωτογραφίες γεώτρησης 56ΓΝ3
Βάθος 5,77 – 11,27m



10. Φωτογραφίες γεώτρησης 56ΓΝ3
Βάθος 11,27 – 17,50m



11. Φωτογραφίες γεώτρησης 56ΓΝ3
Βάθος 17,50 – 22,87m



4. Τεχνικογεωλογικά - Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της περιοχής του έργου

4.1 Τεχνικογεωλογικοί χαρακτήρες των σχηματισμών

Με τη βοήθεια των ερευνητικών γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν, των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν επί τόπου αλλά και στα εργαστήρια αποκτήθηκε μια συνολική εικόνα για τα τεχνικογεωλογικά και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά που επικρατούν στην περιοχή που θα πραγματοποιηθεί το έργο. Τα συμπεράσματα από τη μελέτη των στοιχείων που προέκυψαν θα καθορίσουν τα μέτρα υποστήριξης που θα ληφθούν για τη δίδυμη σήραγγα.

4.1.1 Πλευρικά Κορήματα, talus scree [Ts].

Από τα δείγματα που ανακτώνται ως εδαφικό υλικό τόσο από τις αρχικές όσο και από τις συμπληρωματικές ερευνητικές γεωτρήσεις προκύπτει από την κοκκομετρική ανάλυση και την πλαστικότητα ότι έχουμε:

Χάλικες: 4-60%, μέση τιμή: 27%

Άμμος: 26-63%, μέση τιμή: 50,5%

Λεπτομερή υλικά (ιλύς και άργιλος): 14-33%, μέση τιμή: 22,5%

Όριο υδαρότητας: LL = 14-19%, μέση τιμή: 16%

Δείκτης πλατικότητας: PI = N.P. – 6%, μέση τιμή: 2%

Ταξινόμηση εδάφους: κατά AUSCS: SM έως GC-GM.

Δοκιμή Πρότυπης διείσδυσης (SPT)

Αριθμός των χτυπημάτων: NSPT = 56 ÷ R (50/6cm) από τις 7 δοκιμές (6 αρνήσεων), οι μέσες τιμές (μαζί με τα αρνητικά αποτελέσματα αξιολογούνται χρησιμοποιώντας την έννοια της διαπερατότητας)

$$\bar{N}_{SPT} = 148$$

Με συντηρητικές αναπροσαρμογές των τιμών N των αρνητικών test μετατρέπουν το N_{SPT} σε μέγιστο =10 έτσι διαμορφώνεται η νέα μέση τιμή:

$$\bar{N}_{SPT} = 94$$

Στην μελέτη των κορημάτων έχουμε δύο περιπτώσεις στην πρώτη περίπτωση τα κορήματα τα θεωρούμε ως αδύναμο πέτρωμα και στην δεύτερη περίπτωση ως αδρόκοκκο. Για τις δύο αυτές περιπτώσεις μπορούμε με βάση τις επιτόπου δοκιμές πρότυπης διείδυσης προκύπτουν τα ακόλουθα:

α) Θεωρούμενο ως ασθενές πέτρωμα:

Συνήθως χρησιμοποιούμενες συσχετίσεις:

	Kotzias & Stamatopoulos		CIRIA (Stroud)	
	N=94	N=148	N=94	N=148
σ_c (kPa)	998	1610	1213	2261
E (MPa)	231	365	118	185

β) Θεωρούμενο ως αδρόκοκκο έδαφος με κάποια συνοχή, και συντηρητική μείωση του αριθμού SPT (τιμή N = 50)

	Peck, Hanson & Thornburn	Sowers	Tassios & Anagnostopoulos	Schultze & Menzenbach	D' Appolonia
ϕ' (°)	42 °	32-40 °	> 40 °		
c' (kPa)	5-10 (estimated)				
E_s (MPa)			54	56	75

Επίσης για την τιμή N=50

$$\text{Ohsaki: } \phi' = (20N)^{0.5} + 15 = 46.5^\circ$$

$$\text{Dunham: } \phi' = (12N)^{0.5} + 25 = 49^\circ$$

Από την ανάλυση της υφιστάμενης κλίσης στην ανατολική περιοχή και με την παραδοχή ότι $\phi = 35^\circ$ γι 'αυτό το είδος του υλικού, καθώς και λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες της οριακής ισορροπίας στο όριο σταθερότητας (FS = 1) έχει δημιουργηθεί η ακόλουθη εκτίμηση των ελαχίστων απαιτήσεων:

$$c' = 8 \text{ kPa.}$$

Συνιστάται, συνεπώς η χρήση των εξής γεωμηχανικών παραμέτρων

$$c' = 5 \text{ kPa, } \phi' = 36^\circ, \text{ μέτρο του Young } E = 50 \text{ MPa.}$$

4.1.2 Εναλλαγές ιλυώδους αργίλου και αργιλώδους άμμου με χάλικες (πρόκειται για υλικά που εναποτέθηκαν χωρίς δομή κυρίως λόγω παλαιάς ροής) [olf]

Αυτός ο εδαφικός σχηματισμός αντιμετωπίστηκε κυρίως στην περιοχή της δυτικής εισόδου και περιελάμβανε σχετικά παχύ λεπτόκοκκο ορίζοντα [olf.f], που κοντά στην επιφάνεια διακόπτεται από έναν παχύ στρώμα ποικίλων αδρομερών υλικών [olf.c] που εμφανίζεται σε μεταβλητό βάθος. Το λεπτομερέστερο υλικό αυτού του χονδρόκοκκου ορίζοντα είναι παρόμοιας φύσης με το χονδρόκοκκο αν και είναι ελαφρά τσιμεντοποιημένο. Ανάμεσα σε αυτό το χονδρόκοκκο ορίζοντα και τις υποκείμενες (κίτρινες) μάργες υπάρχει μια ζώνη, λεπτομερούς υλικού, μεταβατικού χαρακτήρα. Στην επαφή αυτού του υλικού και της λεπτής ζώνης από κίτρινη ιλυώδη μάργα εξετάστηκαν οι γεωτρήσεις για πιθανές παλαιές επιφανειακές διατμήσεις και για την πιθανότητα επανενεργοποίησής τους. Η αναμενόμενη αντοχή σε τέτοιες επιφάνειες έχει διερευνηθεί με δοκιμές διάτμησης και τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά.

4.1.3 Μαργαϊκοί σχηματισμοί [ml]

Μάργες μπλε ή / και κίτρινες μάργες παρουσιάστηκαν σχεδόν σε κάθε γεώτρηση που εκτελέστηκε σε ποικιλία οριζόντων που κυμαίνονται από πολύ σκληρό μαργαϊκό υλικό έως μαλακό μαργαϊκό βράχο. Αυτή η ποικιλία πιστοποιείται από τις διαφορετικές συμπεριφορές των πυρήνων των γεωτρήσεων, τις ποικίλες δυσκολίες της γεώτρησης, την αντίσταση στην τυπική δοκιμή διείδυσης και πιστοποιείται επίσης από το ευρύ φάσμα τιμών στις αντοχές θλίψης που προέκυψε από ένα εκτεταμένο πρόγραμμα δοκιμών σε μονοαξονική θλίψη.

Σημειώνεται ότι ένας σημαντικός αριθμός δειγμάτων από την κίτρινη μάργα μπορούν να χαρακτηρίζουν το πέτρωμα ως «μαλακό». Λαμβάνοντας υπόψη ότι η φυσική δημιουργία τέτοιων πετρωμάτων από μάργα κίτρινης απόχρωσης είναι πολύ σπάνια, συμπεραίνεται ότι οι μάργες κίτρινης απόχρωσης της περιοχής συνδέονται στενά με τις καιρικές συνθήκες και την αποσάθρωση. Αντιθέτως, «σκληρές» μάργες έχουν εμφανιστεί τόσο σε μπλε όσο και σε κίτρινη απόχρωση και συνήθως παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορούν να βελτιώνονται ως υλικό για γεωτεχνικούς σκοπούς.

Σε αυτή την ενότητα εξετάζονται τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των διάφορων σχηματισμών μάργας που συναντήθηκαν στην έρευνα. Τα χαρακτηριστικά, ωστόσο,

των διαφορετικών ενστρώσεων που βρέθηκαν μέσα στους σχηματισμούς μάργας, (κυρίως ψαμμίτες) εξετάζονται χωριστά σε επόμενη ενότητα καθώς τα χαρακτηριστικά μπορούν να αποκλίνουν σημαντικά τους από τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά των μαργών.

4.1.3.1 Μπλε-γκρι μάργα [ml.b]

Από τις 14 δείγματα που αναλύθηκαν για την κοκκομετρία, την συνεκτικότητα και την πλαστικότητα προκύπτει ότι τα βασικά φυσικά χαρακτηριστικά έχουν ως εξής:

Χάλικες: σχεδόν 0%

Άμμος: 0-37%, μέση τιμή 7%

Ιλύς: 43-75%, μέση τιμή 58%

Αργίλος: 15-45%, μέση τιμή 35%

Όριο υδαρότητας : LL = 24-46%, η μέση τιμή 38%

Δείκτης πλαστικότητας: PI = 8 - 26%, η μέση τιμή 19%

Ταξινόμηση εδάφους κατά AUSCS: CL

Δοκιμή Πρότυπης διείσδυσης (SPT)

Αριθμός των χτυπημάτων: $N_{SPT} = 41 \div R$ (50/12cm) από 10 εξετάσεις, η μέση τιμή (μαζί με τα αρνητικά αποτελέσματα αξιολογούνται χρησιμοποιώντας την έννοια της διαπερατότητας)

$$\bar{N}_{SPT} = 67$$

Με συντηρητικές αναπροσαρμογές των τιμών N των αρνητικών test μετατρέπουν το N_{SPT} σε μέγιστο =10 έτσι διαμορφώνεται η νέα μέση τιμή:

$$\bar{N}_{SPT} = 63$$

Εργαζόμαστε με την τιμή $N = 60$ ως χαρακτηριστική των ακόλουθων εμπειρικών συσχετίσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

Για σκληρά εδάφη-μαλακούς βράχους:

	Kotzias & Stamatopoulos
	N=60
q_u (kPa)	630
E (MPa)	200

Από Stroud & Butler (1975) που εγκρίθηκε επίσης από Clayton (CIRIA, 1995) για $N = 60$, $PI = 19\%$:

$$c_u / N \approx 5.5 \rightarrow q_u = 2 c_u = 660 \text{ kPa}$$

$$E_s / N \approx 550 \rightarrow E_s = 33 \text{ Mpa}$$

Οι εκτιμήσεις της ενεργής γωνίας τριβής ϕ μπορούν να βασιστούν σε εμπειρικές συσχετίσεις κατά SPT και PI ως εξής:

Sowers (συνεκτικά εδάφη): $\phi' = 20^\circ + N/4 = 32.5 \times 35^\circ$ (υποθέτοντας $N=50 \times 60$)

Scheiding: $\phi' = \arctan (0.58 - 0.0045 PI[\%]) = 26^\circ$ ($PI=19\%$)

Clayton (1993) μετά Kenney (1959) : Για $PI=19\%$, $\sin\phi' \approx 0.52 \rightarrow \phi' \approx 31^\circ$.

Gibson (1959) : Για $PI=19\%$, $\phi' \approx 29^\circ$ (Για στραγγισμένη διάτμηση)

Bowles (1988) : Για $PI=19\%$, $\phi' \approx 31^\circ$ (Αντιστοιχεί σε μέσο για τις αδιατάρακτες άργιλους)

Πρεσσιομετρήσεις (Menard Pressuremeter Test PMT)

Από τις 2 δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του προγράμματος έρευνας, στην περιοχή της ανατολικής εισόδου:

Μέτρο Menard: $E_M = 22 / 28 \text{ MPa}$, μέση τιμή $E_M = 25 \text{ MPa}$.

Όριο πίεσης $p_L = 4.0 / 7.0 \text{ MPa}$, μέση τιμή $p_L = 5.5 \text{ Mpa}$

Καθαρό όριο πίεσης, μέση τιμή $p_L^* \approx 4900 \text{ kPa}$, από το οποίο μπορεί να υπολογιστεί (Baguelin, 1978): $c_u = 0.67 (p_L^*)^{0.75} = 392.5 \text{ KPa} \rightarrow q_u = 785 \text{ kPa}$

Από τις 3 δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή της δυτικής εισόδου στο παρόν πρόγραμμα έρευνας:

Μέτρο Menard : $E_M = 157 / 193$ MPa, μέση τιμή $E_M = 177$ MPa.

Όριο πίεσης $p_L = 6.8 / 9.5$ MPa, μέση τιμή $p_L = 8.5$ MPa

Καθαρό όριο πίεσης, μέση τιμή $p_L^* \approx 8000$ kPa, από το οποίο μπορεί να υπολογιστεί (Baguelin, 1978): $c_u = 0.67 (p_L^*)^{0.75} = 567$ KPa $\rightarrow q_u = 1134$ kPa

Από τις 3 δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στο κεντρικό τμήμα της σήραγγας (56ΓΝ3) στο παρόν πρόγραμμα έρευνας:

Μέτρο Menard : $E_M = 199 / 376$ MPa μέση τιμή $E_M = 258$ MPa

Όριο πίεσης $p_L = 4.8 / 7.1$ MPa μέση τιμή $p_L = 6.1$ MPa

Καθαρό όριο πίεσης, μέση τιμή $p_L^* \approx 5400$ kPa, από το οποίο μπορεί να υπολογιστεί (Baguelin, 1978): $c_u = 0.67 (p_L^*)^{0.75} = 422$ Kpa $\rightarrow q_u = 844$ kPa

Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των δοκιμών στο εργαστήριο προκύπτει ότι οι γεωμηχανικές ιδιότητες έχουν ως εξής:

Δοκιμές εδαφομηχανικής

Υπάρχει τεράστια διασπορά στα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις περισσότερες δοκιμές έτσι ώστε να μην είναι δυνατόν τα αποτελέσματα να αξιολογηθούν ως σύνολο. Δίνουν πάντως μια ιδέα της μεταβλητότητας του υλικού και θα πρέπει να αξιολογούνται κατά περίπτωση και βάση μιας περιορισμένης θέσης με παρόμοια αποτελέσματα. Το ακόλουθο μπορεί να θεωρηθεί ως ένα γενικό ενδεικτικό δείγμα:

Από τις 13 δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης

$q_u = 55 / 3440$ kPa, μέση τιμή $q_u = 760$ kPa.

Από τις 4 απευθείας ξηρές δοκιμές διάτμησης (CD) στις 2 προέκυψαν εξαιρετικά χαμηλές παράμετροι ($c = 0 \div 4$ α, $\varphi = 23^\circ$) που δεν μπορούν να θεωρηθούν

αντιπροσωπευτικές ολόκληρου του υλικού, αλλά αντιστοιχούν σε τοπικό ορίζοντα. Μια άλλη δοκιμή έχει οδηγήσει σε μη χαρακτηριστική χαμηλή ϕ' και υψηλή c' γεγονός που δείχνει μάλλον μη ξηρή συμπεριφορά ($c' = 104$ α, $\phi' = 3^\circ$). Από την εναπομένουσα δοκιμή έχουμε τις τιμές $c = 29$ α, $\phi = 35^\circ$.

Μία δοκιμή που πραγματοποιήθηκε σε αυτό το υλικό οδήγησε σε ασυνήθιστα χαμηλές τιμές του δείκτη συμπίεστότητας σε όλα τα επίπεδα πίεσης ($E_s \leq 9.5$ MPa), αυτό δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό.

Δοκιμές βραχομηχανικής

Από τις 19 μονοαξονικές δοκιμές θλίψης που πραγματοποιήθηκαν τόσο κατά τη διάρκεια προηγούμενων ερευνών αλλά και εντός του παρόντος προγράμματος έχουν ληφθεί οι εξής τιμές: $\sigma_{c50} = 0.13 / 16.98$ MPa, μέση τιμή $\sigma_{c50} = 7.71$ MPa.

Από τις 8 δοκιμές Brazilian η προτεινόμενη αντοχή εφελκυσμού έχει διαμορφωθεί ως εξής: $\sigma_t = 0.69 / 4.55$ MPa, μέση τιμή $\sigma_t = 1.80$ MPa.

Από τις 10 ομάδες δοκιμών σημειακής φόρτισης προκύπτει: $I_{S50} = 0.11 / 1.64$ MPa, μέση τιμή $I_{S50} = 0.61$ MPa

Υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των τριών διαφορετικών εμπειρικών συσχετίσεων (Tsiambaos and Sabatakakis 2004 – linear, Tsiambaos and Sabatakakis 2004 – analytical and, Koutalia et al. 2001 – analytical) η μέση ισοδύναμη αντοχή σε μονοαξονική θλίψη απορρέει από I_{S50} τιμές που μας δίνουν $\sigma_{c50} = 5.04$ MPa. Επίσης από το I_{S50} υπολογίζεται ότι $\sigma_t = 0.97$ MPa (Koutalia et al. 2001).

Αντοχή άρρηκτου πετρώματος

Σημειώνεται ότι από ένα ευρύ φάσμα αποτελεσμάτων που λαμβάνονται τόσο από την επιτόπια όσο και από την εργαστηριακή έρευνα, παρατηρούνται μέγιστες τιμές αντοχής αντί για μέσες, και θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως αντιπροσωπευτικές άρρηκτου πετρώματος που στη θεωρία σημαίνει πέτρωμα χωρίς ασυνέχειες και ανεπηρέαστο από τις καιρικές συνθήκες. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι παρά την γενική καλή κατάσταση της δειγματοληψίας εντός των σχηματισμών της μάργας, ανέπαφοι πυρήνες μάργας δεν λαμβάνονται συχνά. Επιπλέον άθικτοι πυρήνες δεν είναι πάντα εύκολο να διακριθούν διότι το υλικό είναι συχνά πυκνό χωρίς εμφανή διαχωρισμό.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω στοιχεία και με βάση τα διαθέσιμα αποτελέσματα των δοκιμών που παρουσιάστηκαν νωρίτερα, η αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη παίρνει τιμές της τάξης των 10MPa και μπορεί εύλογα να θεωρηθεί εκπρόσωπος του «άρρηκτου» υλικού. Ωστόσο, είναι κοινή πρακτική να αποδεχτούμε την ισχύ των μέσων τιμών, έτσι ώστε να αντισταθμιστούν οι αβεβαιότητες που υπάρχουν σχετικά με τη φύση και τη συνοχή του υλικού αυτού. Από τα διαθέσιμα αποτελέσματα των δοκιμών για την μάργα στην περιοχή του ενδιαφέροντος, συνιστάται η αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη του άρρηκτου βράχου να διαμορφωθεί ως εξής:

$$\sigma_{ci} = 5 \text{ MPa.}$$

Ως μέσο για την εξακρίβωση της καταλληλότητας της εν λόγω τιμής εκτελείται μια κατά προσέγγιση ανάλυση σε χαμηλότερες τιμές αντοχής θλίψης (της τάξης των 600-800kPa) που προέρχεται από εργαστηριακές δοκιμές σε ως αντιστοιχία της αντοχής της βραχώμαζας σ_c με αυτή του άθικτου υλικού σ_{ci} . Στη συνέχεια, το κριτήριο Hoek-Brown, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επανεκτίμηση του σ_{ci} από τη σχέση:

$$\sigma_c = s_a \cdot \sigma_{ci}$$

όπου το s και το a βασίζονται μόνο στο GSI και σε αυτό που αποκαλείται ο βαθμός της διαταραχής D .

Το σ_c συντηρητικά θεωρήται από τις UC δοκιμές στην εδαφομηχανική ότι πρέπει να είναι $\sigma_c = 0.6 \text{ MPa}$, το οποίο είναι χαμηλό γι αυτό το υλικό αλλά αρκετά υψηλό ώστε πλέον πρακτικά να μην περιγράφει χώμα. Τα GSI και D είναι κοντά στις αναμενόμενες τιμές τους. Είναι επιλεγμένο GSI = 65 (καλή ποιοτική κατηγορία), $D = 0$ (χωρίς διαταραχή).

Επομένως προκύπτει:

$$\sigma_{ci} = 4.2 \text{ MPa}$$

Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι: το $\sigma_{ci} = 5 \text{ MPa}$ θεωρείται εύλογο.

Αν το σ_{ci} προορίζεται για χρήση με το κριτήριο Hoek-Brown, τότε είναι κοινή πρακτική η ευαισθησία του αποτελέσματος της επιλεγμένης τιμής να εξετάζεται παραμετρικά με διαφορετικά σ_{ci} μέσα σε ένα ρεαλιστικό αναμενόμενο εύρος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα μπορούσε να είναι της τάξης του: $\sigma_{ci} = 4-6 \text{ MPa}$.

4.1.3.2. Μάργες καφέ και κίτρινου χρώματος [ml.γ]

Από τα 20 δείγματα που λήφθηκαν από προηγούμενες και συμπληρωματικές γεωτρήσεις και την ανάλυση για την κοκκομετρία και την πλαστικότητα, προκύπτει ότι η σύσταση των δειγμάτων έχει ως εξής:

Χάλικες: 0-7%, μέση τιμή 1%

Άμμος: 0-31% μέση τιμή 8%

Υλής: 35-79% μέση τιμή 60%

Άργιλος: 19-48% μέση τιμή 31%

Όριο υδαρότητας: LL=30-55% μέση τιμή 40%

Δείκτης πλαστικότητας: PI = 12-32% μέση τιμή 21%

Κατάταξη εδάφους κατά AUSCS: CL

Παρατηρείται ότι σε σύγκριση με τις μάργες μελανού χρώματος [ml.b], το μέγεθος των κόκκων και τα χαρακτηριστικά της πλαστικότητας δεν διαφέρουν σημαντικά.

Δοκιμή Πρότυπης διείσδυσης (SPT)

Αριθμός χτυπημάτων: $N_{SPT} = 52 / R(50/8cm)$ από 10 εξετάσεις, η μέση τιμή (μαζί με τα αρνητικά αποτελέσματα αξιολογούνται χρησιμοποιώντας την έννοια της διαπερατότητας)

$$N_{SPT} = 113$$

Με συντηρητικές αναπροσαρμογές των τιμών N των αρνητικών test μετατρέπουν το N_{SPT} σε μέγιστο =100 έτσι διαμορφώνεται η νέα μέση τιμή:

$$N_{SPT} = 85$$

Θεωρείται ως αδύναμο πέτρωμα:

Από τις συνήθως χρησιμοποιούμενες συσχετίσεις

	Kotzias & Stamatopoulos		CIRIA (Stroud)	
	N=85	N=113	N=85	N=113
σ_c (α)	899	1210	1063	1381
E (MPa)	224	245	106	141

Χρησιμοποιώντας, ονομαστική τιμή $N=80$ μπορούν να εφαρμοστούν οι ακόλουθες εμπειρικές συσχετίσεις για εδάφη και μάλλον συντηρητικά για ασθενή πετρώματα :

Από Stroud & Butler (1975) επίσης αποδεκτά από Clayton (CIRIA,1995) για $N=80$, $PI=21\%$

$$c_u / N \approx 5.3 \rightarrow q_u = 2 c_u = 848 \text{ α}$$

$$E_s / N \approx 530 \rightarrow E_s = 42 \text{ Mpa}$$

Οι εκτιμήσεις της αποτελεσματικής γωνία τριβής ϕ μπορούν να βασίζονται σε εμπειρικές συσχετίσεις κατά SPT και PI ως εξής:

Sowers (συνεκτικά εδάφη) : $\phi' = 20^\circ + N/4 = 32.5-35^\circ$ (υποθέτοντας $N=50-60$)

Scheiding: $\phi' = \arctan (0.58 - 0.0045 PI[\%]) = 26^\circ$ ($PI=21\%$)

Clayton (1993) μετά Kenney (1959) : για $PI=21\%$, $\sin\phi' \approx 0.50 \rightarrow \phi' \approx 30^\circ$.

Gibson (1959) : Για $PI=21\%$, $\phi' \approx 28^\circ$ (Για στραγγισμένη διάτμηση)

Bowles (1988) : Για $PI=21\%$, $\phi' \approx 30^\circ$ (Αντιστοιχεί σε μέσο για τις αδιατάρακτες αργίλους)

Δοκιμή πρεσσιομέτρησης (Menard Pressuremeter Test PMT)

Από τις 2 δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του προγράμματος έρευνας, στην περιοχή των εισόδων:

Μέτρο Menard: $E_M = 19 - 44 \text{ MPa}$, μέση τιμή $E_M = 28 \text{ MPa}$.

Όριο πίεσης $p_L = 2.6 - 3.0 \text{ MPa}$, μέση τιμή $p_L = 2.8 \text{ Mpa}$

Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των δοκιμών στο εργαστήριο προκύπτει ότι οι γεωμηχανικές ιδιότητες έχουν ως εξής:

Δοκιμές εδαφομηχανικής

Όπως και στην περίπτωση της μπλε μάργας έτσι κι εδώ για τις μάργες καφέ και κίτρινου χρώματος υπάρχει σημαντική διασπορά των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις περισσότερες δοκιμές ώστε να μην είναι δυνατόν τα αποτελέσματα να αξιολογηθούν ως σύνολο. Δίνουν όμως μια ιδέα για τη

μεταβλητότητα του υλικού αλλά θα πρέπει να αξιολογηθούν μόνο κατά συγκεκριμένες περιπτώσεις με βάση μια περιορισμένη περιοχή με παρόμοια αποτελέσματα. Οι μέσες τιμές των αποτελεσμάτων μπορούν να θεωρηθούν ως μία γενική ένδειξη μόνο:

Από τις 15 δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης: $q_u = 28 - 805$ α, μέση τιμή $q_u = 348$ α. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ορισμένα δείγματα φαίνεται να έχουν αποτύχει κατά μήκος υφιστάμενων διαρρήξεων.

Από τις 8 απευθείας δοκιμές ξηρής διάτμησης (CD) δύο διεξήχθησαν στο σχετικά σπάνιο αργιλικό υλικό με υψηλή πλαστικότητα (CH) που είναι ασυνήθιστο του συνήθη χαρακτήρα των εν λόγω μαργών, και έδωσαν εξαιρετικά χαμηλές παραμέτρους ($c' = 12 \times 18$ α, $\phi' = 17 \times 23^\circ$), που δεν μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές τιμές του συνόλου του υλικού. Άλλες δύο δοκιμές κατέληξαν σε μη χαρακτηριστικές χαμηλές τιμές ϕ' και υψηλές τιμές c' , οι οποίες υποδεικνύουν πιθανή μη ξηρη συμπεριφορά του δείγματος ($c' = 74$ α, $\phi' = 9^\circ$ και $c' = 106$ α, $\phi' = 23^\circ$ αντίστοιχα). Οι υπόλοιπες 4 δοκιμές δείχνουν μέση τιμή του $c' = 37$ α και του $\phi' = 27^\circ$.

Από μία τριαξονική δοκιμή CU_{rr} οι ακόλουθες παραμέτρους διατρητικής αντοχής συνάγονται όσον αφορά την αποτελεσματική πίεση: $c' = 39$ α, $\phi' = 25^\circ$.

Από 4 δοκιμές, τρεις φαίνεται να έχουν διεξαχθεί σε αργιλικό υλικό υψηλής πλαστικότητας (CH) που δεν κατέχει κυρίαρχη θέση στον εξεταζόμενο σχηματισμό. Το μέτρο ελαστικότητας που προέρχεται κατά το διάστημα της εφαρμογής της υψηλότερης πίεσης (400 - 800kPa) για αυτές τις 3 δοκιμές παίρνει τις τιμές $E_s = 17.4 - 20.0$ Mpa με μέση τιμή $E_s = 18,5$ Mpa. Η τελευταία δοκιμή πραγματοποιήθηκε στην πιο αντιπροσωπευτική ιλυώδη άργιλο (CL) και έχει ως αποτέλεσμα (για επίπεδα πίεσης 400-800kPa): $E_s = 32$ MPa

Δοκιμές βραχομηχανικής

Μόνο δύο δείγματα εξετάστηκαν στις κίτρινες μάργες. Μια δοκιμή μονοαξονικής θλίψης από τη γεώτρηση Γ72-1 μας έδωσε $\sigma_c = 3.49$ MPa. Μία σειρά δοκιμών εφελκυσμού σε δείγμα από τη γεώτρηση Γ73 έδωσε αποτέλεσμα $I_{S50} = 0.06$ MPa.

Από τις τιμές που προκύπτουν από τα παραπάνω PLT η ισοδύναμη μονοαξονική αντοχή σε θλίψη υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των τριών διαφορετικών συσχετίσεων (Tsiambaos και Sabatakakis 2004 – linear, Tsiambaos και Sabatakakis 2004 – analytical και, Koutalia 2001 – analytical) και προτείνεται

$\sigma_{c50} = 0.3 \text{ MPa}$. Επίσης από το I_{S50} εκτιμάται ότι $\sigma_t = 0.1 \text{ MPa}$ (Koutalia 2001).

4.1.4 Κροκαλοπαγή μπλε – γκρι και κίτρινου χρώματος [ml.b.c.], [ml.y.c] μέσα στους μαργοειδής σχηματισμούς.

Τα δείγματα που ανακτήθηκαν από τις γεωτρήσεις περιλαμβάνουν τόσο άμμο και χαλικές όσο και συμπαγείς πυρήνες βράχου.

Από τα 6 δείγματα που ανακτώνται ως εδαφικό υλικό τόσο από τις αρχικές όσο και από τις συμπληρωματικές ερευνητικές γεωτρήσεις προκύπτει από την κοκκομετρική ανάλυση και την πλαστικότητα ότι έχουμε:

Χάλικες: 10-57 % μέση τιμή 30 %

Άμμος: 33-79 % μέση τιμή 49 %

Λεπτομερή: 10-36 % μέση τιμή 21 %

Όριο υδαρότητας: $LL=16-19$ % μέση τιμή 18 % (από 4 δείγματα)

Δείκτης πλαστικότητας: $PI=4-6$ % μέση τιμή 5 % (από 4 δείγματα)

Κατάταξη του εδάφους κατά AUSCS: SC-SM, SM-SW, GM-GP

Δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης (SPT)

Αποτελέσματα από το SPT έχουν καταγραφεί και στις 4 δοκιμασίες και κυμαίνονται από E (50/6cm) – R (50/8cm). Χρησιμοποιώντας την έννοια της διαπερατότητας, η μετατροπή του ισοδύναμου αριθμού των χτυπημάτων είναι της τάξης $N_{SPT} = 187 - 250$, με μέση τιμή:

$N_{SPT} = 225$

Με συντηρητικές αναπροσαρμογές μετατρέπονται οι τιμές N των αρνητικών δοκιμών σε ένα μέγιστο 100 χτυπημάτων έτσι θα δημιουργηθεί μια πολύ χαμηλότερη μέση τιμή:

$N_{SPT} = 100$

Χρησιμοποιώντας τις κοινές συσχετίσεις ασθενούς πετρώματος από τη σχετική βιβλιογραφία:

	Kotzias & Stamatopoulos		CIRIA (Stroud)	
	N=100	N=225	N=100	N=225
σ_c (α)	1065	2529	1316	4192
E (MPa)	234	676	125	281

Δοκιμή πρεσσιομέτρησης (Menard Pressuremeter Test PMT)

Δύο δοκιμές έχουν διεξαχθεί σε αυτό το υλικό μια στη γεώτρηση Γ74 και μία στη 56ΓΝ3.

Τα αποτελέσματα είναι τα ακόλουθα:

Menard Modulus: $E_M = 119 - 135$ MPa, μέση τιμή $E_M = 127$ MPa.

Όριο πίεσης $p_L = 2,6 - 5,0$ MPa, μέση τιμή $p_L = 3,8$ MPa.

Εργαστηριακές δοκιμές

Από τις 2 μονοαξονικές δοκιμές θλίψης διαπιστώθηκε $\sigma_{c50} = 8,14 - 15,02$ MPa, με μέση τιμή $\sigma_{c50} = 10,17$ MPa. Από την απλή δοκιμή Brazilian η προτεινόμενη αντοχή εφελκυσμού έχει εκτιμηθεί ως $\sigma_t = 0,29$ MPa. Στα 5 σετ δοκιμών σημειακής φόρτισης διαπιστώθηκε σημαντική διασπορά που κυμαινόταν μεταξύ $I_{S50} = 0,08 - 4,15$ Mpa με μέση τιμή $I_{S50} = 1,23$ Mpa. Υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των τριών διαφορετικών εμπειρικών συσχετίσεων (Tsiambaos και Sabatakakis 2004 – linear, Tsiambaos και Sabatakakis 2004 – analytical και, Koutalia 2001 – analytical) η μέση ισοδύναμη τιμή μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής που απορρέει από τις τιμές I_{S50} υπολογίζεται $\sigma_{c50} = 19,85$ MPa. Επίσης από I_{S50} εκτιμάται $\sigma_t = 1,97$ Mpa (Koutalia et al. 2001).

Αντοχή άρρηκτου πετρώματος

Θα πρέπει να εκτιμηθεί ότι από ένα ευρύ φάσμα των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται τόσο από την επιτόπια έρευνα όσο και από τις εργαστηριακές δοκιμές η μέγιστη τιμή της προτεινόμενης αντοχής του πετρώματος και όχι η μέση τιμή μπορεί να θεωρηθεί ότι πλησιάζει ασυμπτωτικά την αντοχή του άρρηκτου πετρώματος. Θεωρητικά η αντοχή του αδιατάρακτου βράχου, (αυτός ο όρος περιλαμβάνει την απουσία ασυνεχειών και διαβρώσεων), μπορεί να μην έχει επιτευχθεί στις διαθέσιμες δοκιμές. Ωστόσο, λόγω της αβεβαιότητας, ως προς την

ακριβή φύση του άρρηκτου πετρώματος, οι συντηρητικές εκτιμήσεις που δίνονται εδώ με την εξέταση των μέσων τιμών είναι πιο αντιπροσωπευτικές.

Από τα διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με το υλικό συνιστάται η θλιπτική αντοχή του αδιατάρακτου πετρώματος να έχει ως εξής:

$$\sigma_{ci} = 10 \text{ MPa.}$$

4.1.5 Ψαμμίτης μπλε – γκρι και κίτρινου χρώματος [ml.b.s.], [ml.y.s] μέσα στους σχηματισμούς μάργας

Δοκιμή πρεσσιομέτρησης (Menard Pressuremeter Test PMT)

Δύο δοκιμές έχουν εκτελεστεί εντός γκρίζου ψαμμίτη στη γεώτρηση Γ74 προηγούμενου ερευνητικού προγράμματος, που δείχνουν σημαντικά διαφορετικά αποτελέσματα, χαμηλότερες τιμές που αντιστοιχούν σε βάθος $\approx 20\text{m}$ και υψηλότερες τιμές σε βάθος $\approx 27\mu$. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω: Menard Modulus: $E_M = 43 - 237 \text{ MPa}$, η μέση τιμή (ενδεικτική μόνο) $E_M = 140 \text{ MPa}$. Οριο πίεσης $p_L = 2,6 \div 4,2 \text{ MPa}$, μέση τιμή $p_L = 3,4 \text{ MPa}$.

Εργαστηριακές δοκιμές

Στις ακόλουθες πληροφορίες σχετικά με τις δοκιμές βραχομηχανικής στο πέτρωμα ψαμμίτη τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από 2 δείγματα δείχνουν σημαντικά ισχυρότερο υλικό και θα συμπεριληφθούν αργότερα σαν χωριστή ενότητα.

Μεσαίας χαμηλής έως μεσαίας υψηλής αντοχής ψαμμίτες

Από τις 10 μονοαξονικές δοκιμές θλίψης που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια προηγούμενων ερευνών αλλά και του τρέχοντος ερευνητικού προγράμματος έχει ληφθεί: $\sigma_{c50} = 4,4 - 24,5 \text{ MPa}$, μέση τιμή $\sigma_{c50} = 14,9 \text{ Mpa}$

Από τις 5 Brazilian δοκιμές η προτεινόμενη αντοχή εφελκυσμού έχει υπολογιστεί: $\sigma_t = 0,66 - 1,62 \text{ MPa}$, μέση τιμή $\sigma_t = 1,25 \text{ Mpa}$. Από τα 10 σετ δοκιμών σημειακής φόρτισης προκύπτουν τα εξής: $I_{S50} = 0,18 - 2,73 \text{ MPa}$, με μέση τιμή $I_{S50} = 0,94 \text{ Mpa}$. Υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των τριών διαφορετικών εμπειρικών συσχετίσεων (Tsiambaos και Sabatakakis 2004 – linear, Tsiambaos και Sabatakakis 2004 – analytical και, Koutalia 2001 – analytical) η μέση ισοδύναμη τιμή μονοαξονικής

θλιπτικής αντοχής που απορρέει από τις τιμές I_{S50} υπολογίζεται $\sigma_{c50}=9,8$ MPa. Επίσης από I_{S50} εκτιμάται $\sigma_t = 1,5$ Mpa (Koutalia et al. 2001).

Υψηλής αντοχής ψαμμίτες.

Όπως προαναφέρθηκε άτυπα υψηλότερες τιμές ελήφθησαν από 2 δείγματα κατά τη διάρκεια της προηγούμενης ερευνητικής εργασίας (Γ-73 και Γ72-1). Που αντιστοιχούν σε ψαμμίτες μελανότεφρου χρώματος σημαντικά ισχυρότερους όπως έδειξαν τα εργαστηριακά αποτελέσματα. Από τις 2 μονοαξονικές δοκιμές θλίψης διαπιστώθηκε $\sigma_{c50} = 44 - 68$ MPa, με μέση τιμή $\sigma_{c50} = 56$ MPa. Από τις 2 Brazilian δοκιμές, $\sigma_t = 4,2 - 4,6$ MPa, η μέση τιμή $\sigma_t=4.4$ Mpa. Σε 2 σετ δοκιμών σημειακής φόρτισης, $I_{S50} = 2,64 - 2,84$ MPa, η μέση τιμή $I_{S50} = 2,74$ Mpa. Υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των τριών διαφορετικών εμπειρικών συσχετίσεων (Tsiambaos και Sabatakakis 2004 – linear, Tsiambaos και Sabatakakis 2004 – analytical και, Koutalia 2001 – analytical) η μέση ισοδύναμη τιμή μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής που απορρέει από τις τιμές I_{S50} υπολογίζεται $\sigma_{c50} = 44,3$ MPa.

Επίσης από I_{S50} εκτιμάται $\sigma_t = 4,38$ Mpa (ισοδύναμη εφελκυστική αντοχή) (Koutalia et al. 2001).

Αντοχή άρρηκτου πετρώματος

Σημειώνεται και πάλι ότι από ένα ευρύ φάσμα αποτελεσμάτων που λαμβάνονται τόσο από επιτόπιες όσο και από εργαστηριακές δοκιμές, η μέγιστη τιμή που παρατηρήθηκε σε τιμές αντοχής και όχι οι μέσες θα μπορούσε να θεωρηθεί ως αντιπροσωπευτική του άρρηκτου πετρώματος που είναι θεωρητικά ανεπηρέαστη των ασυνεχειών και των καιρικών συνθηκών. Από την άποψη αυτή, υψηλές τιμές της τάξης των 50-60MPa, παρόμοιες με εκείνες που παρατηρήθηκαν στον ισχυρότερο βράχο που περιγράφεται ανωτέρω, θα μπορούσε θεωρητικά να είναι οι πλέον ενδεδειγμένες στην προκειμένη περίπτωση. Εντούτοις, αβεβαιότητες ως προς το αν το υλικό είναι στην πραγματικότητα το ίδιο ή όχι, υπαγορεύουν μια πιο συντηρητική προσέγγιση χρησιμοποιώντας τον μέσο όρο και όχι το ανώτατο όριο τιμών που παρατηρήθηκε. Από τα διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με τους ψαμμίτες στην περιοχή του ενδιαφέροντος, έχουμε προκύπτουσα θλιπτική αντοχή του άρρηκτου πετρώματος: $\sigma_{ci} = 12$ MPa.

4.2 Γεωτεχνικές συνθήκες στην περιοχή των εισόδων των σηράγγων

4.2.1 Περιοχή ανατολικών εισόδων

Οι κύριοι σχηματισμοί που εμφανίζονται στις ανατολικές εισόδους των δύο σηράγγων περιγράφονται παρακάτω. Τρεις ερευνητικές γεωτρήσεις, οι 56ΓΝ1, 56ΓΝ2 και Γ-72 έχουν ανορυχθεί στις ανατολικές εισόδους και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των γεωτεχνικών συνθηκών στη συγκεκριμένη τοποθεσία. Είναι αξιοσημείωτο ότι η γεώτρηση 56ΓΝ1 βρίσκεται ακριβώς στο μεσοδιάστημα των δύο εισόδων έτσι μπορεί να θεωρηθεί ότι η στρωματογραφία που προκύπτει από αυτή τη γεώτρηση είναι αντιπροσωπευτική του προφίλ του εδάφους στις ανατολικές εισόδους της σήραγγας.

Πιο αναλυτικά η λιθοστρωματογραφική δομή της συγκεκριμένης περιοχής έχει ως εξής:

4.2.1.1 Κορήματα

Μία ζώνη κορημάτων με πάχος 5m ή και περισσότερο απαντάται στην περιοχή των ανατολικών εισόδων. Όπως αντικατοπτρίζεται από τη γεώτρηση 56ΓΝ1, ένα χαρακτηριστικό βάθος στο οποίο συναντάμε τη ζώνη των κορημάτων είναι της τάξεως των 8m κάτω από το οποίο βρίσκονται μάργες με ενστρώσεις ψαμμίτη και κροκαλοπαγή.

Συνιστάται, συνεπώς η χρήση των εξής γεωμηχανικών παραμέτρων:

$$c'=5 \text{ α}, \varphi'=36^\circ, E=50 \text{ MPa}, \gamma=22\text{kN/m}^3$$

4.2.1.2 Μάργα

Η μάργα αποκαλύφθηκε κάτω από τη ζώνη των κορημάτων. Με βάση την γεώτρηση 56ΓΝ1 πρόκειται πιθανόν για την κίτρινη μάργα που πρόκειται να συναντηθεί στο βάθος στο οποίο θα γίνει η εκσκαφή για την δημιουργία των ανατολικών πυλών. Στην περίπτωση της τεφρού χρώματος μάργας που βρίσκεται από κάτω πιστεύεται ότι δεν θα έχει σημαντικές διαφορές από γεωτεχνικής άποψης.

Η συμπεριφορά της μάργας με βάση τις έρευνες και τις εκτενείς δοκιμές στο εργαστήριο προκύπτει ότι είναι της κατηγορίας CL. Διαφαίνεται ωστόσο ότι στην περιοχή των ανατολικών εισόδων και σε βάθη από 10 – 16m υπάρχουν οριζόντες με υλικό υψηλής πλαστικότητας (CH) με διαφοροποιημένη γεωτεχνική

συμπεριφορά. Εργαστηριακές δοκιμές στις μάργες αυτές (CH) έχουν δείξει τιμές της τάξης των $c = 15\text{kPa}$, $\phi = 20^\circ$, $q_u = 100\text{kPa}$. Παρά το γεγονός ότι οι τιμές αυτές κατά πάσα πιθανότητα αντανακλούν τη διαταραγμένη συμπεριφορά του σχηματισμού λόγω των γεωτρήσεων και των διαδικασιών δειγματοληψίας, κάνουν σαφές ότι για τον ασφαλή σχεδιασμό στην περιοχή των ανατολικών εισόδων η μάργα πρέπει να αξιολογείται σε τοπικό επίπεδο.

Η έρευνα και τα αποτελέσματά της σχετικά με τη γεωτεχνική συμπεριφορά των κίτρινων μαργών που πρόεκυψαν από τις γεωτρήσεις 56ΓΝ1, 56ΓΝ2 και Γ-72 συνοψίζονται παρακάτω.

Από τις 12 δείγματα που αναλύθηκαν για την κοκκομετρία και την πλαστικότητα:

Χαλίκι: πρακτικά 0%

Άμμος: 1-20 %, μέση τιμή 6%

Ιλύ: 19-48 %, μέση τιμή 32%

Όριο Υδαρότητας: $LL = 30-55\%$, μέση τιμή 43%

Δείκτης πλαστικότητας: $PI = 14 - 32\%$, μέση τιμή 22.5%

Ταξινόμηση εδάφους κατά AUSCS: CL (9 δείγματα) – CH (3 δείγματα)

Δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης (SPT)

Αριθμός χτύπων: $NSPT = 52 / R(50/10\text{cm})$ από τις έξι δοκιμές, μέση τιμή (μαζί με τα αρνητικά αποτελέσματα αξιολογούνται χρησιμοποιώντας την έννοια της διαπερατότητας)

$$N_{SPT} = 92$$

Με συντηρητικές αναπροσαρμογές των τιμών N των αρνητικών δοκιμών μετατρέπουν το N_{SPT} σε μέγιστο 100 έτσι λαμβάνοντας υπόψιν μόνο τις δοκιμές κοντά στην γεώτρηση 56ΓΝ1 η νέα μέση τιμή από τις τέσσερις δοκιμές διαμορφώνεται ως εξής:

$$N_{SPT} = 74$$

Από εμπειρικές συσχετίσεις για σκληρά εδάφη – αδύναμους βράχους

	Kotzias & Stamatopoulos		CIRIA (Stroud)	
	N=74	N=92	N=74	N=92
σ_c (α)	780	976	890	1179
E (MPa)	216	229	93	115

Χρησιμοποιώντας την τιμή $N = 70$ ως χαρακτηριστικό στις ακόλουθες εμπειρικές συσχετίσεις για συνεκτικά εδάφη προκύπτει:

Από Stroud & Butler (1975) επίσης εγκεκριμένο από Clayton (CIRIA,1995) για $N=70$, $PI=23\%$:

$$c_u / N \approx 5.1 \rightarrow q_u = 2 c_u = 714 \text{ α}$$

$$E_s / N \approx 510 \rightarrow E_s = 36 \text{ Mpa}$$

Οι εκτιμήσεις της αποτελεσματικής γωνίας τριβής ϕ μπορούν να βασιστούν σε εμπειρικές συσχετίσεις κατά SPT και PI ως εξής:

Sowers (συνεκτικά εδάφη): $\phi' = 20^\circ + N/4 = 32.5\text{-}35^\circ$ (υποθέτοντας $N=50\text{-}60$)

Scheiding: $\phi' = \arctan (0.58 - 0.0045 PI[\%]) = 25.5^\circ$ ($PI=23\%$)

Clayton (1993) μετά Kenney (1959) : για $PI=23\%$, $\sin\phi' \approx 0.5 \rightarrow \phi' \approx 30^\circ$.

Gibson (1959) : για $PI=23\%$, $\phi' \approx 27^\circ$ (για στραγγισμένη διάτμηση)

Bowles (1988) : για $PI=23\%$, $\phi' \approx 27\text{-}32^\circ$ (αντιστοιχεί σε μέσο για αδιατάρακτες αργίλους)

Δοκιμή πρεσσιομέτρησης (PMT)

Από τις 2 δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του προγράμματος έρευνας:

Μέτρο Menard: $E_M = 19 - 21 \text{ MPa}$, μέση τιμή $E_M = 20 \text{ MPa}$.

Όριο πίεσης: $p_L = 2.7 - 3.0 \text{ MPa}$, μέση τιμή $p_L = 2.9 \text{ MPa}$.

Καθαρό όριο πίεσης: $p_L^* \approx 2.3 - 2.5 \text{ MPa}$, μέση τιμή $p_L^* \approx 2.4 \text{ MPa}$

Απο αυτό μπορεί να υπολογιστεί:

$$c_u = p_L / 7.5 = 385 \text{ kPa (Briaud 1992 – για αργίλους)}$$

$$c_u = E_M / 100 = 200 \text{ kPa (Briaud 1992 – για αργίλους)}$$

$$c_u = 0.67 (p_L^*)^{0.75} = 230 \text{ KPa (Baguelin, 1978)}$$

$$c_u = 85 + p_L^* / 10 = 335 \text{ KPa (Amar & Jezequel, 1972)}$$

Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών

Από τις 11 δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης στις κίτρινες μάργες στην περιοχή των ανατολικών εισόδων: $q_u = 28 - 805$ α, μέση τιμή $q_u = 370$ α.

Από τις 6 πάγιες στραγγισμένες (CD) άμεσες δοκιμές διάτμησης που διεξήχθησαν στην κίτρινη μάργα στην περιοχή των ανατολικών εισόδων, μετά τον αποκλεισμό ενός αποτελέσματος ($c = 74$ α, $\phi = 9^\circ$), που πιθανότατα οφείλεται στην ανεπαρκή αποστράγγιση κατά τις δοκιμές, τα αποτελέσματα των υπόλοιπων 5 δοκιμών διαμορφώνονται ως εξής:

$$c' = 12 - 106 \text{ kPa, } \phi' = 17 - 29^\circ, \text{ μέσες τιμές } c' = 40 \text{ kPa, } \phi' = 22 \text{ kPa.}$$

Υπενθυμίζεται ότι αυτές οι τιμές περιλαμβάνουν 2 δοκιμές σε υλικό κατηγορίας CH (μέσες τιμές αποτελεσμάτων $c' = 15$ α, $\phi' = 20^\circ$). Από τις 3 δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε έδαφος CL οι μέσες τιμές αποτελεσμάτων ήταν: $c = 57$ α, $\phi = 23^\circ$. Σημειώνεται ότι δύο από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε έδαφος κατηγορίας CL μπορεί να έχουν πραγματοποιηθεί σε συνθήκες δοκιμών που δεν έχει επέλθει η πλήρης αποξήρανση ($c = 44$ α, $\phi = 18^\circ$ και $\gamma = 103$ α, $\phi = 23^\circ$). Έτσι μπορεί να υποστηριχθεί ότι οι ρεαλιστικές και αποτελεσματικές παράμετροι αντοχής για το υλικό αυτό θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν υψηλότερο ϕ και χαμηλότερες τιμές c από εκείνες που προκύπτουν ως μέσος όρος για κάθε κατηγορία εδάφους.

4.2.2 Περιοχή δυτικών εισόδων

Δύο ερευνητικές γεωτρήσεις, οι 56ΓN6 και 56ΓN7, εκτελέστηκαν στην περιοχή των δυτικών εισόδων όπως και τρία φρέατα (56TP1, 56TP2 και 56TP3), στην ίδια περιοχή, αποτελούν την πηγή για την αξιολόγηση των γεωλογικών και γεωτεχνικών συνθηκών στην συγκεκριμένη περιοχή. Από τα αποτελέσματα της παραπάνω έρευνας μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Το υπόβαθρο από μπλε μάργα στη θέση αυτή βρίσκεται σε βάθος περίπου 13 – 13,5 μέτρα
- Από την επιφάνεια του εδάφους έως τους σχηματισμούς των μαργών συναντώνται εναλλαγές λεπτόκοκκων και συνεκτικών αδρόκοκκων υλικών

που προέρχονται από παλαιές ροές. Συγκεκριμένα τρεις διακριτοί οριζόντες μπορούν να εντοπιστούν σε αυτό το σχηματισμό

α) Από την επιφάνεια μέχρι ένα βάθος που κυμαίνεται από 5,60 – 8,80 μέτρα βρίσκεται λεπτόκοκκο υλικό και ιλυώδης άργιλος (CL).

β) Κάτω από τη λεπτόκοκκη ζώνη υπάρχει ένας αδρόκοκκος οριζοντας με μεγαλύτερη αντοχή ο οποίος περιλαμβάνει ιλυώδη άργιλο, η οποία είναι υπεύθυνη για την αύξηση της συνοχής. Το υλικό αυτό παρουσιάζεται και ρηχότερα όπως στην περίπτωση του δοκιμαστικού φρέατος 56TP2 όπου μετά από το βάθος 1,00 - 1,80m από την επιφάνεια του εδάφους η εκσκαφή καθίσταται αδύνατη.

γ) Παρόμοια λεπτόκοκκα υλικά με την (α) βρίσκονται κάτω από την μάργα σε μία ζώνη με πάχος περίπου 2 μέτρα δηλαδή σε βάθος περίπου 11,5 – 13,5 μέτρα.

Τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των παραπάνω οριζόντων στη περιοχή των δυτικών εισόδων έχουν ως εξής:

4.2.2.1 Ανώτερη λεπτόκοκκη ζώνη [olf.f]

Από τις 4 δείγματα που εξετάστηκαν στο εργαστήριο προκύπτει ότι ο σχηματισμός αποτελείται από:

Χάλικες: 9 – 16% μέση τιμή 11%

Άμμος: 18 – 33 %, μέση τιμή 28%

Ιλύς: 34 – 52 %, μέση τιμή 42%

Άργιλος: 18 – 20 % μέση τιμή 20%

Όριο Υδαρότητας: LL = 25 – 28 % , μέση τιμή 27%

Δείκτης πλαστικότητας: PI = 10 – 18 %, μέση τιμή 13,7%

Ταξινόμηση εδάφους κατά AUSCS: CL

Δοκιμή πρότυπης διείδυσης (SPT)

Αριθμός χτύπων: $N_{SPT} = 45 / R(50/10cm)$ από τις 4 δοκιμές, μέση τιμή (μαζί με τα αρνητικά αποτελέσματα αξιολογούνται χρησιμοποιώντας την έννοια της διαπερατότητας)

$N_{SPT} = 74$

Με συντηρητικές αναπροσαρμογές των τιμών N των αρνητικών δοκιμών μετατρέπουν το N_{SPT} σε μέγιστο 100 έτσι η μέση τιμή διαμορφώνεται ως εξής:

$$N_{SPT} = 62$$

Χρησιμοποιούμε την τιμή $N = 60$ ως χαρακτηριστικό στις ακόλουθες εμπειρικές συσχετίσεις:

Για σκληρά εδάφη – ασθενείς βράχους

	Kotzias & Stamatopoulos
	N=60
q_u (kPa)	630
E (MPa)	200

Από Stroud & Butler (1975) επίσης εγκεκριμένο από Clayton (CIRIA,1995) για $N=60$, $PI=14\%$

$$c_u / N \approx 6.5 \rightarrow q_u = 2 c_u = 780 \text{ kPa}$$

$$E_s / N \approx 650 \rightarrow E_s = 39 \text{ Mpa}$$

Οι εκτιμήσεις της αποτελεσματικής γωνίας τριβής ϕ μπορούν να βασιστούν σε εμπειρικές συσχετίσεις κατά SPT και PI ως εξής:

Sowers (συνεκτικά εδάφη): $\phi' = 20^\circ + N/4 = 32.5-35^\circ$ (υποθέτοντας $N=50-60$)

Scheiding: $\phi' = \arctan (0.58 - 0.0045 PI[\%]) = 27^\circ$ ($PI=14\%$)

Clayton (1993) μετά Kenney (1959) : για $PI=14\%$, $\sin\phi' \approx 0.55 \rightarrow \phi' \approx 33^\circ$.

Gibson (1959) : για $PI=14\%$, $\phi' \approx 30^\circ$ (για στραγγισμένη διάτμηση)

Bowles (1988) : για $PI=14\%$, $\phi' \approx 30-35^\circ$ (αντιστοιχεί σε μέσο για αδιατάρακτες αργίλους)

Δοκιμή πρεσσιομέτρησης (PMT)

Μόνο μία δοκιμή πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της συμπληρωματικής έρευνας στην περιοχή των δυτικών πυλών

Μέτρο Menard: $E_M = 42$

Όριο πίεσης: $p_L = 1.7 \text{ MPa}$

Καθαρό όριο πίεσης: $p_L^* \approx 1650 \text{ kPa}$

Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε:

$$c_u = p_L / 7.5 = 267 \text{ kPa (Briaud 1992 – για αργίλους)}$$

$$c_u = E_M / 100 = 420 \text{ kPa (Briaud 1992 – για αργίλους)}$$

$$c_u = 0.67 (p_L^*)^{0.75} = 173 \text{ KPa (Baguelin, 1978)}$$

$$c_u = 85 + p_L^* / 10 = 250 \text{ KPa (Amar \& Jezequel, 1972)}$$

$$c_u = p_L / 7.5 = 267 \text{ kPa (Briaud 1992 – for clays)}$$

$$c_u = E_M / 100 = 420 \text{ kPa (Briaud 1992 – for clays)}$$

$$c_u = 0.67 (p_L^*)^{0.75} = 173 \text{ KPa (Baguelin, 1978)}$$

$$c_u = 85 + p_L^* / 10 = 250 \text{ KPa (Amar \& Jezequel, 1972)}$$

Από τα παραπάνω μια ενδεικτική μέση τιμή είναι:

$$c_u = 478 \text{ A}$$

Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών

Από 1 δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης στην περιοχή των δυτικών εισόδων (56ΓΝ6) :

$$q_u = 161 \text{ α.}$$

Σημειώνεται ότι σε παρόμοιο υλικό αλλά 200m ανατολικά του άξονα της σήραγγας από τις δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης προκύπτει (56ΓΝ5):

$$q_u = 225-407 \text{ α}$$

4.2.2.2 Αδρόκοκκη ζώνη [olf.c]

Από τα 3 δείγματα που εξετάστηκαν στο εργαστήριο προκύπτει ότι ο σχηματισμός αποτελείται από:

Χάλικες: 24 – 28% μέση τιμή 26%

Άμμος: 28 – 38 %, μέση τιμή 34%

Ιλύς: 22 – 32 %, μέση τιμή 26%

Άργιλος: 13 – 16 % μέση τιμή 15%

Όριο Υδαρότητας: LL = 22 – 28 % , μέση τιμή 24%

Δείκτης πλαστικότητας: PI = 7 – 12 %, μέση τιμή 9%

Ταξινόμηση εδάφους κατά AUSCS: SC

Δοκιμή πρότυπης διείδυσης (SPT)

Αριθμός χτύπων: NSPT = R(50/12cm) - R(50/8cm) από τις 3 δοκιμές (6 αρνήσεις), μέση τιμή (μαζί με τα αρνητικά αποτελέσματα αξιολογούνται χρησιμοποιώντας την έννοια της διαπερατότητας)

$$N_{SPT} = 146$$

Με συντηρητικές αναπροσαρμογές των τιμών N των αρνητικών δοκιμών μετατρέπουν το N_{SPT} σε μέγιστο 100 έτσι η μέση τιμή διαμορφώνεται ως εξής:

$$N_{SPT} = 100$$

Θεωρούμενο ως ασθενές πέτρωμα:

Από τις συνηθισμένες συσχετίσεις:

	Kotzias & Stamatopoulos		CIRIA (Stroud)	
	N=100	N=146	N=100	N=146
σ_c (α)	1065	1586	1316	2217
E (MPa)	234	357	125	183

Θεωρούμαι ως αδρόκοκκο έδαφος με κάποια συνοχή και μειώνουμε συντηρητικά τον αριθμό SPT για οριακά εδάφη (N = 60 έως 80):

	Peck, Hanson & Thornburn	Sowers	Tassios & Anagnostopoulos	Schultze & Menzenbach	D' Appolonia
ϕ' (°) (N=60)	43 °	43 °	> 40 °		
E_s (MPa) (N=80)			84	88	106

Επίσης για N=50,

$$\text{Ohsaki: } \phi' = (20N)0.5 + 15 = 46.5^\circ$$

$$\text{Dunham: } \phi' = (12N)0.5 + 25 = 49^\circ$$

Δοκιμή πρεσσιόμετρου (PMT)

Μόνο μία δοκιμή πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της συμπληρωματικής έρευνας στην περιοχή των δυτικών πυλών σε αυτό το υλικό

$$\text{Μέτρο Menard: } E_M = 82$$

Όριο πίεσης: $p_L = 4.4 \text{ MPa}$

Καθαρό όριο πίεσης: $p_L^* \approx 4,3 \text{ MPa}$

Με εμπειρικές συσχετίσεις εκτιμάται:

$$c_u = 0.67 (p_L^*)^{0.75} = 356 \text{ kPa (Baguelin, 1978)}$$

$$c_u = 85 + p_L^* / 10 = 515 \text{ kPa (Amar \& Jezequel, 1972)}$$

$$\varphi' = 8.27 \log(p_L^*) + 15.3^\circ = 45^\circ \text{ KPa (Baguelin, 1978)}$$

4.2.2.3 Μεταβατική ζώνη μεταξύ λεπτόκοκκου υλικού και υποκείμενης μάργας

Το υλικό αυτό είναι παρόμοιο με της Ανώτερης λεπτόκοκκής ζώνης. Οι πληροφορίες που συλλέχτηκαν δείχνουν ότι διαθέτει ελαφρώς καλύτερα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά από το αντίστοιχο της επιφανειακής ζώνης.

Από τα 4 δείγματα που αναλύθηκαν στο εργαστήριο από τις γεωτρήσεις 56ΓΝ6 και 56ΓΝ7 προκύπτει ότι ο σχηματισμός αποτελείται από:

Χάλικες: 0 – 6% μέση τιμή 3%

Άμμος: 28 – 38 %, μέση τιμή 34%

Λεπτομερές υλικό (ιλύς και άργιλος): 74 – 89 %, μέση τιμή 84%

Εξετάστηκαν 3 δείγματα για τον προσδιορισμό της ποσότητας του αργίλου και των ορίων Herberg και έδωσαν:

Άργιλος: 22 – 34 % μέση τιμή 28%

Όριο Υδαρότητας: $LL = 22 – 33 \%$, μέση τιμή 28%

Δείκτης πλαστικότητας: $PI = 7 – 18 \%$, μέση τιμή 13,7%

Ταξινόμηση εδάφους κατά AUSCS: CL

Δοκιμή πρότυπης διείδυσης (SPT)

Αριθμός χτύπων: $N_{SPT} = R(50/12\text{cm}) - R(50/10\text{cm})$ από τις 2 δοκιμές μέση τιμή (μαζί με τα αρνητικά αποτελέσματα αξιολογούνται χρησιμοποιώντας την έννοια της διαπερατότητας)

$$N_{SPT} = 138$$

Με συντηρητικές αναπροσαρμογές των τιμών N των αρνητικών δοκιμών μετατρέπουν το N_{SPT} σε μέγιστο 100 έτσι η μέση τιμή διαμορφώνεται ως εξής:

$$N_{SPT} = 100$$

Συσχετίσεις από σκληρό χώμα σε ασθενές βράχο

	Kotzias & Stamatopoulos		CIRIA (Stroud)	
	N=100	N=146	N=100	N=146
σ_c (α)	1065	1494	1316	2047
E (MPa)	234	329	125	173

Χρησιμοποιώντας χαμηλότερες τιμές για το χώμα όπως $N=70-80$ οι ακόλουθοι εμπειρικοί υπολογισμοί γίνονται ως εξής:

Από Stroud & Butler (1975) επίσης εγκεκριμένο από Clayton (CIRIA,1995) για $N=70-80$, $PI=14\%$

$$c_u / N \approx 6.5 \rightarrow q_u = 2 c_u = 910-1040 \text{ α}$$

$$E_s / N \approx 650 \rightarrow E_s = 46-52 \text{ Mpa}$$

Οι εκτιμήσεις της αποτελεσματικής γωνίας τριβής ϕ μπορούν να βασιστούν σε εμπειρικές συσχετίσεις κατά SPT και PI ως εξής:

Sowers (συνεκτικά εδάφη): $\phi' = 20^\circ + N/4 = 32.5-35^\circ$ (υποθέτοντας $N=50-60$)

Scheiding: $\phi' = \arctan (0.58 - 0.0045 PI[\%]) = 27^\circ$ ($PI=14\%$)

Clayton (1993) μετά Kenney (1959) : για $PI=14\%$, $\sin\phi' \approx 0.55 \rightarrow \phi' \approx 33^\circ$.

Gibson (1959): για $PI=14\%$, $\phi' \approx 30^\circ$ (για στραγγισμένη διάτμηση)

Bowles (1988): για $PI=14\%$, $\phi' \approx 30-35^\circ$ (αντιστοιχεί σε μέσο για αδιατάρακτες αργίλους)

Εργαστηριακά αποτελέσματα

Από μία δοκιμή ανεμπόδιστης μονοαξονικής θλίψης στην περιοχή των δυτικών εισόδων (56ΓN6): $q_u = 543 \text{ α}$,

Από μία στεγνή δοκιμή άμεσης διάτμησης διαπιστώθηκε:

$$c' = 16 \text{ α}, \phi' = 31^\circ.$$

Μία λεπτή ζώνη αργιλώδους ιλύος με πάχος 10 -20 cm στην επαφή με την υποκείμενη μάργα τεφρού χρώματος έχει χρησιμοποιηθεί για δοκιμή διάτμητικής παραμένουσας αντοχής. Από τις δύο Δοκιμές δακτυλιοειδούς διάτμησης παρατηρείται:

(56ΓΝ6): $c_r = 6$ α, $\phi_r = 21^\circ$.

(56ΓΝ7): $c_r = 1$ α, $\phi_r = 23^\circ$.

Η έκθεση της εμφανούς παραμένουσας συνοχής οφείλεται κατα πάσα πιθανότητα στην καμπύλη της παραμένουσας γωνίας η οποία εξαρτάται από την φυσιολογική αντοχή. Με βάση τα ανωτέρω είναι εύλογο να υποθέσουμε ότι μία αντιπροσωπευτική παραμένουσα γωνία ϕ_r θεωρείται ότι είναι: $\phi_r \geq 23^\circ$. Με βάση τις παραπάνω υψηλές τιμές φαίνεται απίθανο ότι θα δημιουργηθεί ολίσθηση των μαλακών πρανών των εισόδων ή να υπάρξει υλικό χαμηλής απομένουσας αντοχής.

4.2.2.4 Τεφρού και μελανού χρώματος μάργα στην περιοχή των δυτικών εισόδων

Για την μάργα αυτή η κοκκομετρική ανάλυση και οι προσδιορισμοί των ορίων Herberg έδωσαν τα εξής:

Χάλικες: πρακτικά 0%

Άμμος: 0 – 17 %, μέση τιμή 8%

Άργιλος: 25 – 45 % μέση τιμή 35%

Όριο Υδαρότητας: LL = 24 – 49 % , μέση τιμή 36%

Δείκτης πλαστικότητας: PI = 10 – 24 %, μέση τιμή 17%

Ταξινόμηση εδάφους: CL

Δοκιμή πρότυπης διείδυσης (SPT)

Αριθμός χτύπων: $N_{SPT} = 41 / R(50/12cm)$ από τις 4 δοκιμές μέση τιμή (μαζί με τα αρνητικά αποτελέσματα αξιολογούνται χρησιμοποιώντας την έννοια της διαπερατότητας)

$N_{SPT} = 68$

Με συντηρητικές αναπροσαρμογές των τιμών N των αρνητικών δοκιμών μετατρέπουν το N_{SPT} σε μέγιστο 100 έτσι η μέση τιμή διαμορφώνεται ως εξής:

$N_{SPT} = 61$

Χρησιμοποιώντας την τιμή $N = 60$ ως χαρακτηριστική για τους ακόλουθους εμπειρικούς συσχετισμούς:

Από Stroud & Butler (1975) επίσης εγκεκριμένο από Clayton (CIRIA, 1995) για $N=60$ – 80, $PI=17\%$

$$c_u / N \approx 6 \rightarrow q_u = 2 c_u = 720 \text{ α}$$

$$E_s / N \approx 600 \rightarrow E_s = 36 \text{ Mpa}$$

Για σκληρά εδάφη – μαλακά πετρώματα:

	Kotzias & Stamatopoulos
	N=60
σ_c (α)	630
E (MPa)	200

Οι εκτιμήσεις της αποτελεσματικής γωνίας τριβής ϕ μπορούν να βασιστούν σε εμπειρικές συσχετίσεις κατά SPT και PI ως εξής:

Sowers (συνεκτικά εδάφη): $\phi' = 20^\circ + N/4 = 32.5 - 35^\circ$ (υποθέτοντας $N=50-60$)

Scheiding: $\phi' = \arctan (0.58 - 0.0045 PI[\%]) = 27^\circ$ ($PI=17\%$)

Clayton (1993) μετά Kenney (1959) : για $PI=17\%$, $\sin\phi' \approx 0.53 \rightarrow \phi' \approx 32^\circ$.

Gibson (1959): για $PI=17\%$, $\phi' \approx 30^\circ$ (για στραγγισμένη διάτμηση)

Bowles (1988): για $PI=17\%$, $\phi' \approx 29,5 - 34,5^\circ$ (αντιστοιχεί σε μέσο για αδιατάρακτες αργίλους)

Δοκιμή πρεσσιόμετρου (PMT)

Από τις 3 δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της συμπληρωματικής έρευνας στην περιοχή των δυτικών εισόδων

Μέτρο Menard: $E_M = 157 - 193 \text{ Mpa}$ μέση τιμή $E_M = 176 \text{ MPa}$

Όριο πίεσης: $p_L = 6.8 - 9.5 \text{ MPa}$, μέση τιμή $p_L = 8.5 \text{ MPa}$.

Καθαρό όριο πίεσης: $p_L^* \approx 6.2 - 9.0 \text{ MPa}$, μέση τιμή $p_L^* = 8.0 \text{ MPa}$

Από τα παραπάνω προκύπτει:

$$c_u = p_L / 7.5 = 1130 \text{ kPa (Briaud 1992 – για αργίλους)}$$

$$c_u = E_M / 100 = 1760 \text{ kPa (Briaud 1992 – για αργίλους)}$$

$$c_u = 0.67 (\rho_L^*)^{0.75} = 3170 \text{ KPa (Baguelin, 1978)}$$

$$c_u = 85 + \rho_L^* / 10 = 885 \text{ KPa (Amar & Jezequel, 1972)}$$

Εργαστηριακά αποτελέσματα

Από τις 7 δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης στην περιοχή των δυτικών πυλων (56ΓΝ6, 56ΓΝ7):

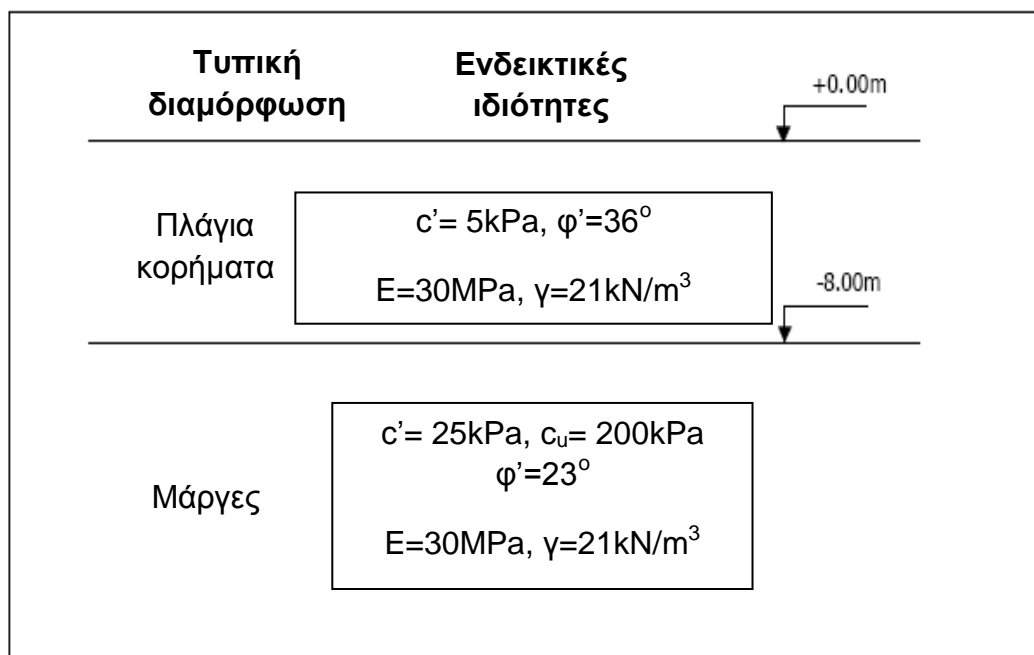
$$q_u = 373 \times 1124 \text{ kPa, mean value } q_u = 706 \text{ kPa.}$$

4.3 Ιδεατά προφίλ για το σχεδιασμό των εισόδων

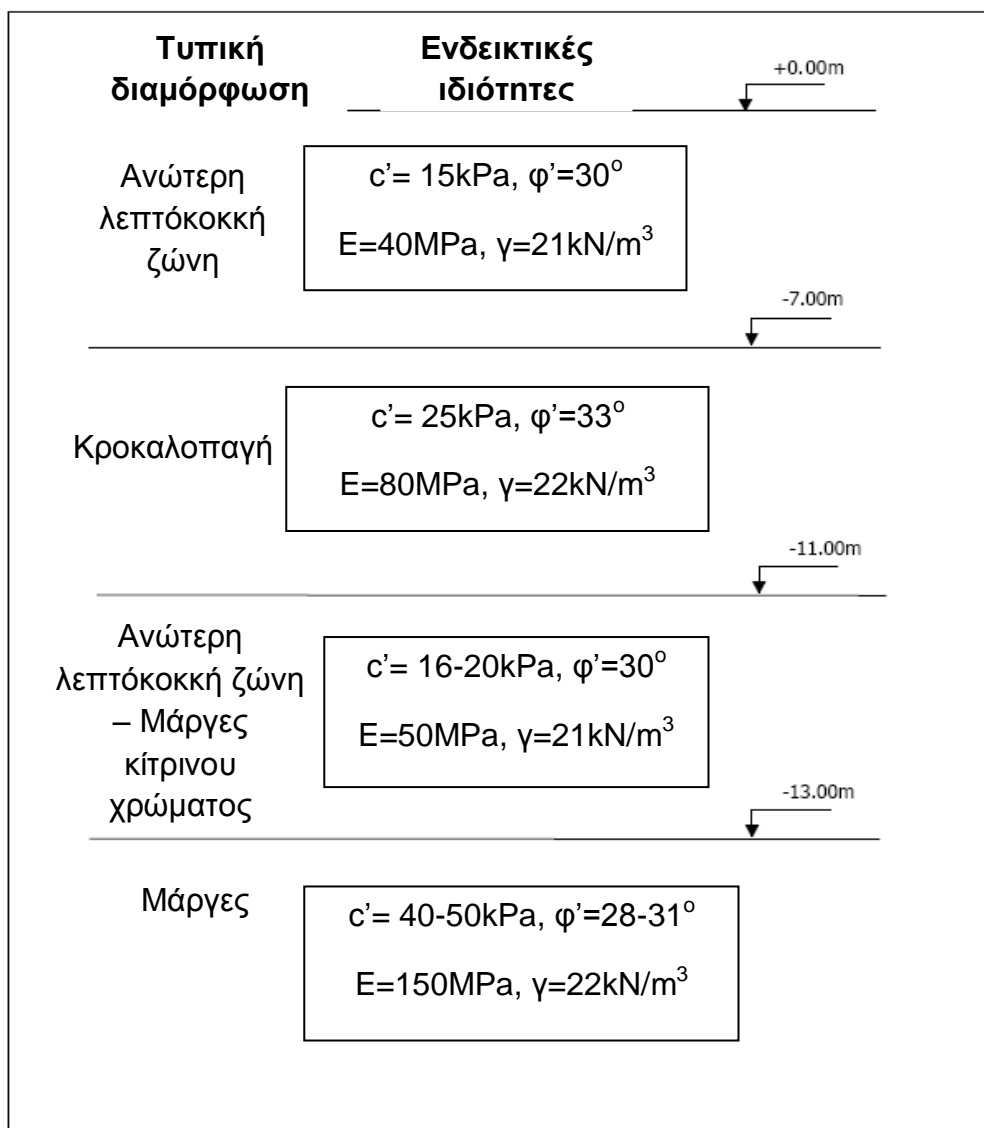
Με βάση τα ανωτέρω και λαμβάνοντας υπόψη τις γεωλογικές τομές των εισόδων της σήραγγας, που περιέχονται στη σχετική γεωλογική έκθεση, τα ακόλουθα τυπικά εξιδανικευμένα προφίλ σχεδιασμού προτείνονται για κάθε περιοχή των εισόδων της σήραγγας.

Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 4.1 και 4.2) απεικονίζονται οι τιμές των ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν κάθε σχηματισμό που απαντάτε στις περιοχές των ανατολικών και δυτικών εισόδων της σήραγγας καθώς επίσης φαίνεται και η διαφοροποίηση τους ανάλογα με το βάθος στο οποίο βρίσκονται.

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικό προφίλ εδάφους στην περιοχή των Ανατολικών εισόδων των σηράγγων T11



Πίνακας 4.2: Χαρακτηριστικό προφίλ εδάφους στην περιοχή των Δυτικών εισόδων των σηράγγων T11.



Όπως φαίνεται στον πίνακα 4.2 στο βάθος των 13m υπάρχει μάργα μετά όμως το βάθος αυτό σημειώνεται ότι για το σχεδιασμό και την ανάλυση των λεπτόκοκκων, αδρόκοκκων και λεπτόκοκκης κίτρινης μάργας στρωμάτων τα θεωρούμε ενιαία στο βάθος των 13m σαν λεπτόκοκκα και εκπροσωπούνται από τις ισοδύναμες παραμέτρους :

$$c' = 20\text{kPa}, \phi' = 30^\circ,$$

$$E = 50\text{MPa}, \gamma = 21\text{kN/m}^3$$

5. Αρχική ομαδοποίηση σχηματισμών για τις ανάγκες του έργου – μέτρα υποστήριξης

5.1 Διάκριση κατηγοριών

Λαμβάνοντας υπόψη την περιγραφή που έγινε στο κεφάλαιο 4 για τους σχηματισμούς που αναμένονται να συναντηθούν κατά τη διάνοιξη της σήραγγας διακρίνονται τρεις γεωτεχνικές κατηγορίες με την ονομασία M_III, M_IV, M_V. Η λεπτομερής περιγραφή από την άποψη των σχηματισμών που αντιστοιχούν σε κάθε κατηγορία είναι οι ακόλουθες (OTM SA 2008):

5.1.1 Κατηγορία M_III

Τεφρού ή μελανότεφρου χρώματος αμμώδης μάργες με ενστρώσεις ψαμμίτη και μικρούς φακούς κροκαλοπαγών. Οι παραπάνω ενστρώσεις – φακοί εμφανίζουν γενικά μεγαλύτερη αντοχή από τους μαργαϊκούς σχηματισμούς που επικρατούν (μέτριας συνεκτικότητας ψαμμίτες και καλά συνδεδεμένα κροκαλοπαγή). Οι ασυνέχειες στους μαργαϊκούς σχηματισμούς είναι σπάνιες αλλά υπαρκτές γενικά όμως οι μαργοειδείς σχηματισμοί αυτοί εμφανίζονται χωρίς τεκτονικές αδυναμίες. Τα επιμέρους στρώματα είναι συνήθως οριζόντια με ελαφρά βύθιση προς τα νότια.

5.1.2 Κατηγορία M_IV

Τεφρού και μελανότεφρου χρώματος μάργες με ενστρώσεις ψαμμίτη και στρώματα ή φακούς κροκαλοπαγών περιορισμένης έκτασης στους οποίους περιέχονται διασπαρμένοι ψαμμίτες με ένα μέσο βαθμό συνοχής. Ο κυρίαρχος σχηματισμός της μάργας χαρακτηρίζεται από σχετικά πυκνές ασυνέχειες. Πρόκειται για κίτρινες έως ανοιχτό – κίτρινες μάργες μέτριας αποσάθρωσης σε εναλλαγές (πάχους μέχρι 3 μέτρα) με χαλαρούς ψαμμίτες και αμμώδης μάργες.

5.1.3 Κατηγορία M_V

Τεφρού και μελανότεφρου χρώματος αμμώδεις μάργες χαλαρά συνδεδεμένες με κροκαλοπαγή ή και στρώματα λιγνίτη ή τύρφης πάχους έως 4 μέτρα. Κίτρινου έως ανοιχτού κίτρινου χρώματος αμμώδεις μάργες που εμφανίζονται εξαιρετικά αποσαθρωμένες και οξειδωμένες ειδικά στις διαρρήξεις – διακλάσεις.

Επισημαίνεται ότι στις ανωτέρω 3 κατηγορίες δίνονται βαθμολογίες κατάταξης RMR και GSI (σε GIR: Geographic Information Retrieval) σύμφωνα με την από κοινού χρήση των συστημάτων ταξινόμησης που χρησιμοποιήθηκαν ως εργαλείο για την αξιολόγηση των γεωτεχνικών παραμέτρων και την κατάταξή τους σε κατηγορίες.

Η σχέση των επιπέδων διαβάθμισης παρουσιάζονται σε GIR για κάθε κατηγορία, και έχει μόνο την έννοια ότι η εν λόγω βαθμολογία είναι χαρακτηριστικό της τάξης της γεωτεχνικής συμπεριφοράς για σχεδιαστικούς σκοπούς και δεν πρόκειται για μέσο διακρίσεως κατηγοριών στο χώρο κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

Η υποστήριξη που αντιστοιχεί σε κάθε κατηγορία έχει σχεδιαστεί λαμβάνοντας υπόψη όλα τα είδη των κριτηρίων που σχετίζονται με τη συμπεριφορά των υλικών κατά την κατασκευή, που μπορούν να αναγνωριστούν ακόμα και στον χώρο της κατασκευής.

Μετά τις σχεδιαστικές παραδοχές και του σκεπτικού στο οποίο βασίζονται οι κατηγορίες υποστήριξης, όπως θα αναλυθεί παρακάτω μετατρέπονται σε μία σειρά ποιοτικών κριτηρίων που μπορούν να βοηθήσουν στη διάκριση των κατηγοριών στο χώρο κατασκευής.

5.2 Σχεδιαστικές παραδοχές και γενική ιδέα

Η εκσκαφή και το σύστημα υποστήριξης που αντιστοιχεί στις κατηγορίες υποστήριξης έχει βασιστεί στις ακόλουθες βασικές παραδοχές σχετικά με τις αναμενόμενες συνθήκες:

- Η συμπεριφορά των σχηματισμών, όπως είναι προφανές από τις περιγραφές που προηγήθηκαν σχετίζεται κυρίως με την κατάσταση στην οποία βρίσκονται οι μαργαϊκοί σχηματισμοί (εμφάνιση και πυκνότητα ασυνεχειών βαθμός αποσάθρωσης κλπ), καθώς και της έκτασης και των συνθηκών των ενστρώσεων (ψαμμίτες και κροκαλοπαγή).
- Οι παλαιότερες τεκτονικές κινήσεις και γενικά οι τεκτονικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή καθώς και τα κύρια ρήγματα δεν μπορούν να εξαιρεθούν από τη μελέτη και πρέπει να ληφθούν επίσης υπόψη ως υλικά χαμηλής ποιότητας με δυσμενή συμπεριφορά κατά τη διάρκεια της εκσκαφής

- Το επίπεδο δυσκολίας της εκσκαφής του σχηματισμού αναμένεται να κυμαίνεται από σχετικά εύκολο έως πολύ δύσκολο με κοινό μηχανικό εξοπλισμό εκσκαφής (εκσκαφέα ή φορτωτή). Στην καλύτερη ποιότητα υλικού (κατηγορία M_III) η χρήση ισχυρότερου εξοπλισμού (υδραυλικής σφύρας) είναι απαραίτητη.

Η σταθερότητα της πρόσοψης, του θόλου όσο και των πλευρικών τοίχων είναι αναμενόμενο να ποικίλει για τις τρεις κατηγορίες. Η δυσμενέστερη και πιο ασταθής κατηγορία M_V θα βελτιωθεί σταδιακά και θα αποκτήσει σταθερότητα.

Επίσης λαμβάνεται υπόψιν η ύπαρξη κορημάτων και παλαιών συνθέσεων υλικού από κατολισθήσεις εντός της σήραγγας και στην κορυφή του στα πρώτα μέτρα από τις εισόδους (στην κλάση M_V κατατάσσονται τα πρώτα μέτρα της ανασκαφής).

Δεν αναμένονται σημαντικές εισροές νερού κατά την ανασκαφή καθώς δεν σημειώθηκε αύξηση των επιπέδων των υπόγειων υδάτων κατά τη διάνοιξη των φρεάτων και τα ύδατα που βρέθηκαν αφορούσαν κυρίως την κυκλοφορία του νερού ανάμεσα στα στρώματα των κροκαλοπαγών και του ψαμμίτη. Σε κάθε περίπτωση όμως εφόσον η κυκλοφορία των υδάτων μπορεί να επηρεάσει την αντοχή του περιβάλλοντος γεωυλικού θα πρέπει να ληφθούν τα αναγκαία μέτρα για να βοηθήσουν στην καλή αποστράγγιση κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

Σημειώνεται ότι καθώς η διαφορά πάχους των υπερκειμένων δεν είναι σημαντική σε όλο το μήκος της σήραγγας (τα υπερκείμενα είναι 60m με τη μέγιστη κάλυψη 50% του μήκους μόνο σε μία από τις γεωτρήσεις), δεν θεωρείται κρίσιμη παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη για τη διάκριση των τάξεων. Το μέγιστο ύψος καλύπτεται σε όλες τις κατηγορίες. Στον επόμενο πίνακα 5.1 δίνονται τα κριτήρια που συνδέονται με κάθε κατηγορία υποστήριξης, καθώς και η κατηγορία που θα χρησιμοποιηθεί.

Λαμβάνοντας υπόψη τις προβλεπόμενες συνθήκες και όλα τα άλλα ζητήματα σχεδιασμού που περιγράφονται ανωτέρω στον παρακάτω πίνακα 5.2 συνοψίζονται το μήκος στο οποίο αναμένεται να συναντηθεί η κάθε κατηγορία.

Πίνακας 5.2: Μήκος στο οποίο αναμένεται να συναντηθεί κάθε κατηγορία

	Κατηγορία M_III	Κατηγορία M_IV	Κατηγορία M_V
Δεξιός κλάδος	375m (32%)	520m (45%)	265m (23%)
Αριστερός κλάδος	395m (33%)	535m (45%)	259m (22%)

Ο σχεδιασμός που καθορίζει τη μέθοδο εκσκαφής και τα συστήματα υποστήριξης βασίζονται στους εξής βασικούς άξονες:

1. Η ανασκαφή της διατομής γίνεται σε 3 φάσεις στην εκσκαφή του θόλου, της βαθμίδας και του ανάστροφου τόξου (αν χρειάζεται ανάλογα με την κατηγορία). Δημιουργία ανάστροφου τόξου προβλέπεται στις κατηγορίες M_IV & M_V.
2. Με την εγκατάσταση την κατάλληλη στιγμή εξοπλισμού ο οποίος να έχει λειτουργική ικανότητα ώστε να μπορέσει να φέρει τα φορτία και να ελέγξει τις παραμορφώσεις του εδάφους (εκτοξευόμενο σκυρόδεμα & βαρύ πλέγμα για όλες τις κατηγορίες υποστήριξης).
3. Η σταθερότητα του μετώπου εκσκαφής θα πρέπει να διασφαλίζεται (ήλοι fiberglass, σφράγιση με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα) – τα μέτρα προ-στήριξης του θόλου θα πρέπει να εφαρμόζονται προκειμένου να ελεγχθούν και να αποφευχθούν οι αστάθειες που θα μπορούσαν να επεκταθούν και να οδηγήσουν σε αποτυχίες (κατηγορίες M_IV & M_V).
4. Ασφαλή στήριξη της βάσης του πλέγματος.

5.3 Περιγραφή των κατηγοριών υποστήριξης

Με βάση τις γεωτεχνικές συνθήκες, τα κριτήρια και το σχεδιασμό που έχει ήδη περιγραφεί οι ακόλουθες τρεις κατηγορίες υποστήριξης (M_III, M_IV & M_V) έχουν σχεδιαστεί σύμφωνα με την αναμενόμενη συμπεριφορά της μάζας του εδάφους. Η

εκσκαφή θα πραγματοποιηθεί σε δύο φάσεις που χαρακτηρίζονται από τα μεγέθη των περιοχών:

α) Ημιδιατομή σήραγγας α' φάση εκσκαφής– εκσκαφή θόλου – εμβαδό τμήματος~65m², ύψος ~6,5m (μέσο εμβαδό τμήματος ~75m² και μέσο ύψος ~7m για την κατηγορία M_V) (Φωτογραφία 5.1).



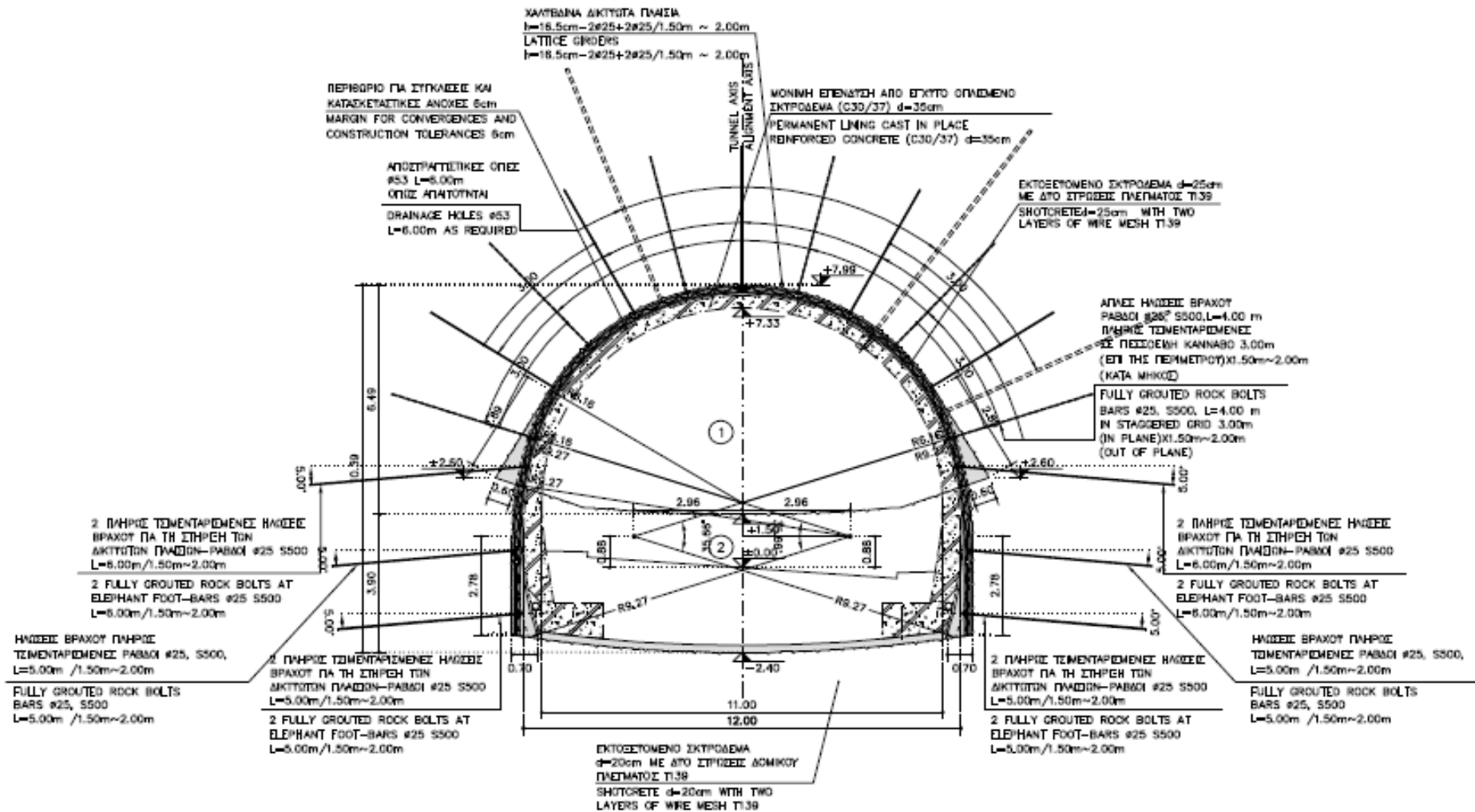
Φωτογραφία 5.1: Εκσκαφή α φάσης (ημιδιατομή)

β) Εκσκαφή βαθμίδας – εμβαδό τμήματος ~50 m², ύψος ~4,0m (εμβαδό τμήματος και ανάστροφου τόξου για την κατηγορία M_V ~65m²), (Φωτογραφία 5.2).

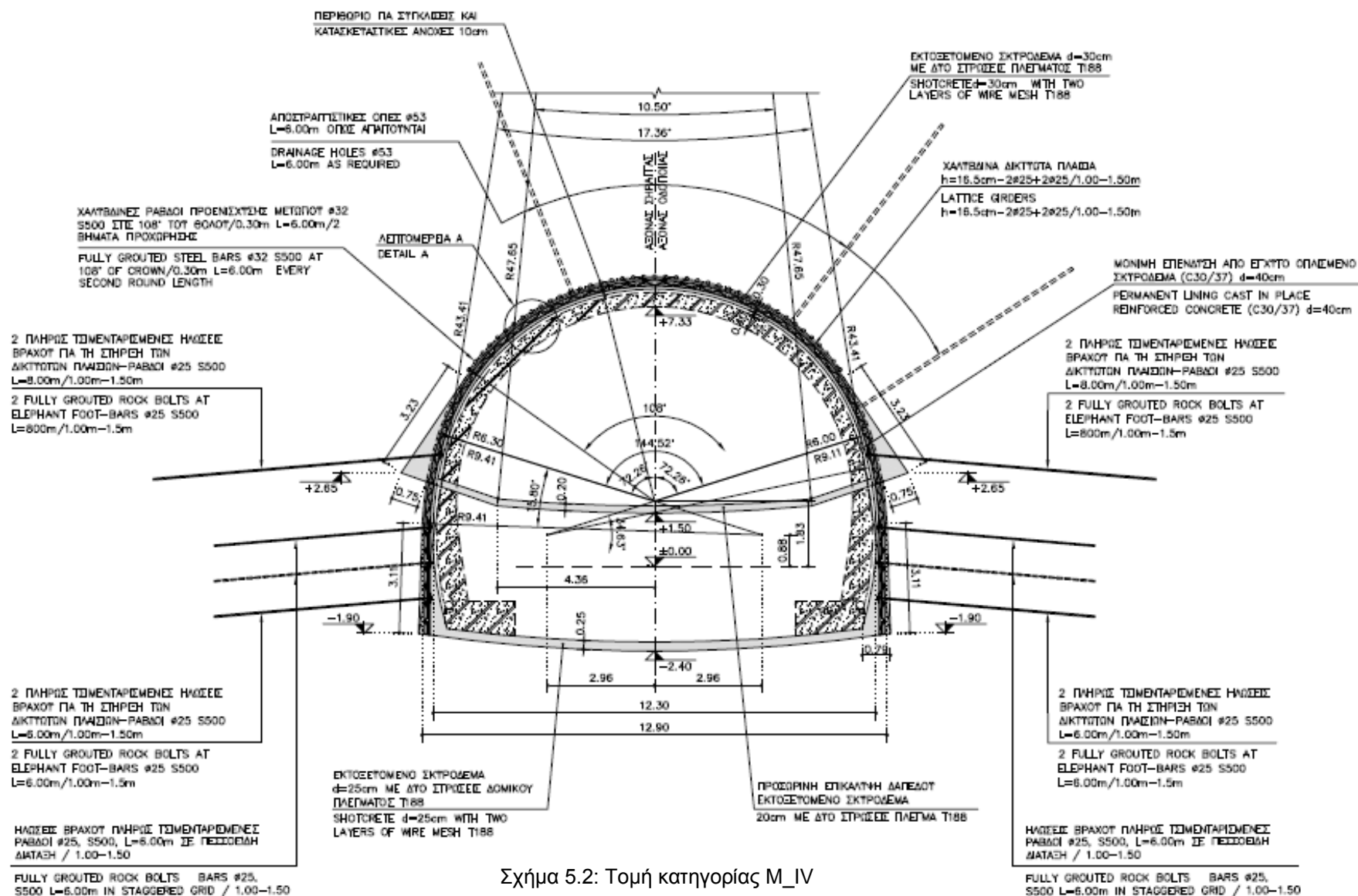


Φωτογραφία 5.2: Η εκσκαφή της ημιδιατομής έχει πραγματοποιηθεί και η εκσκαφή της βαθμίδας έχει αρχίσει

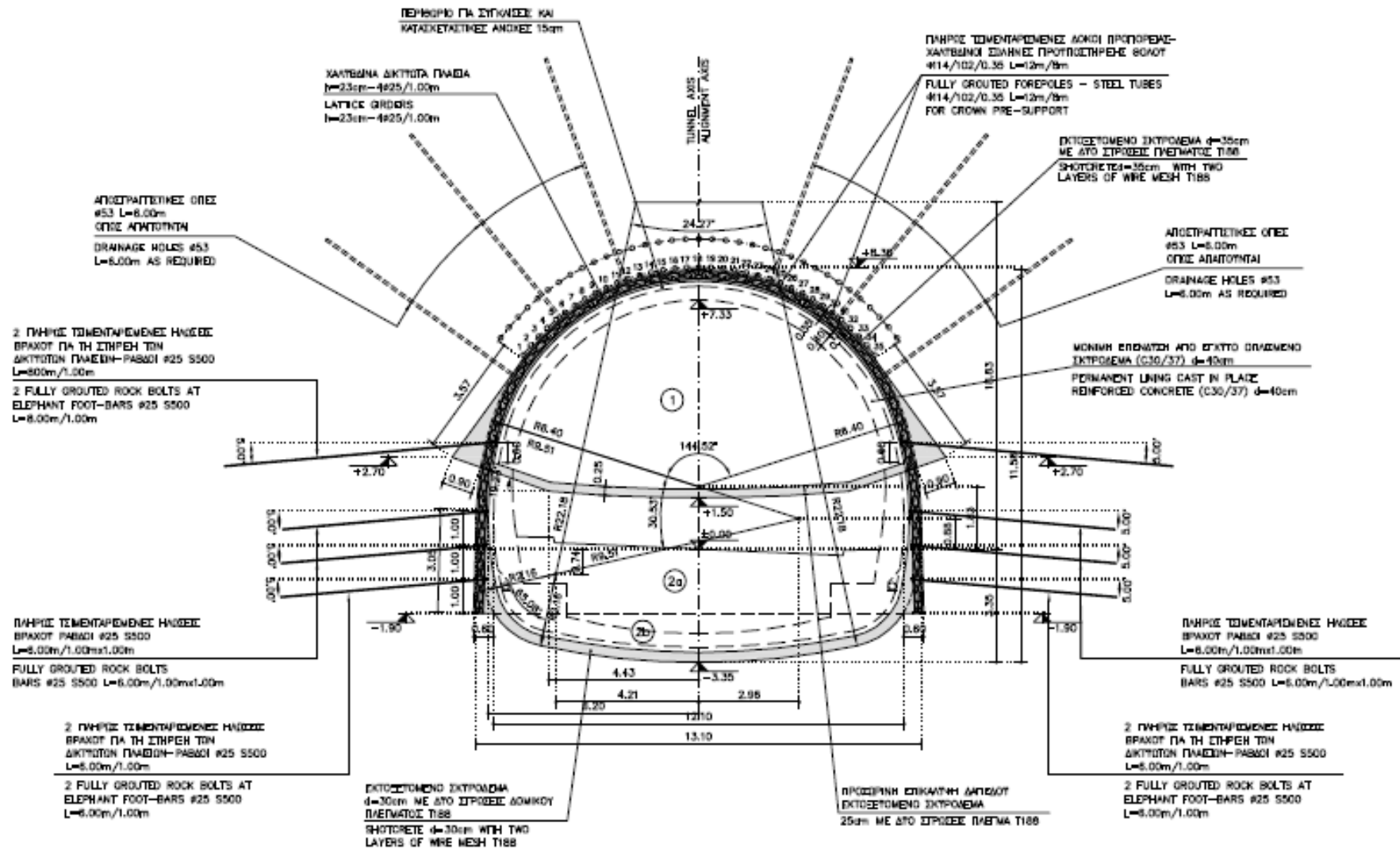
Στα παρακάτω σχήματα (Σχήματα 5.1 έως 5.4) απεικονίζεται η τομή της σήραγγας για κάθε κατηγορία υποστήριξης καθώς και η λεπτομέρειες κάθε κατηγορίας.



Σχήμα 5.1: Τομή κατηγορίας M_III

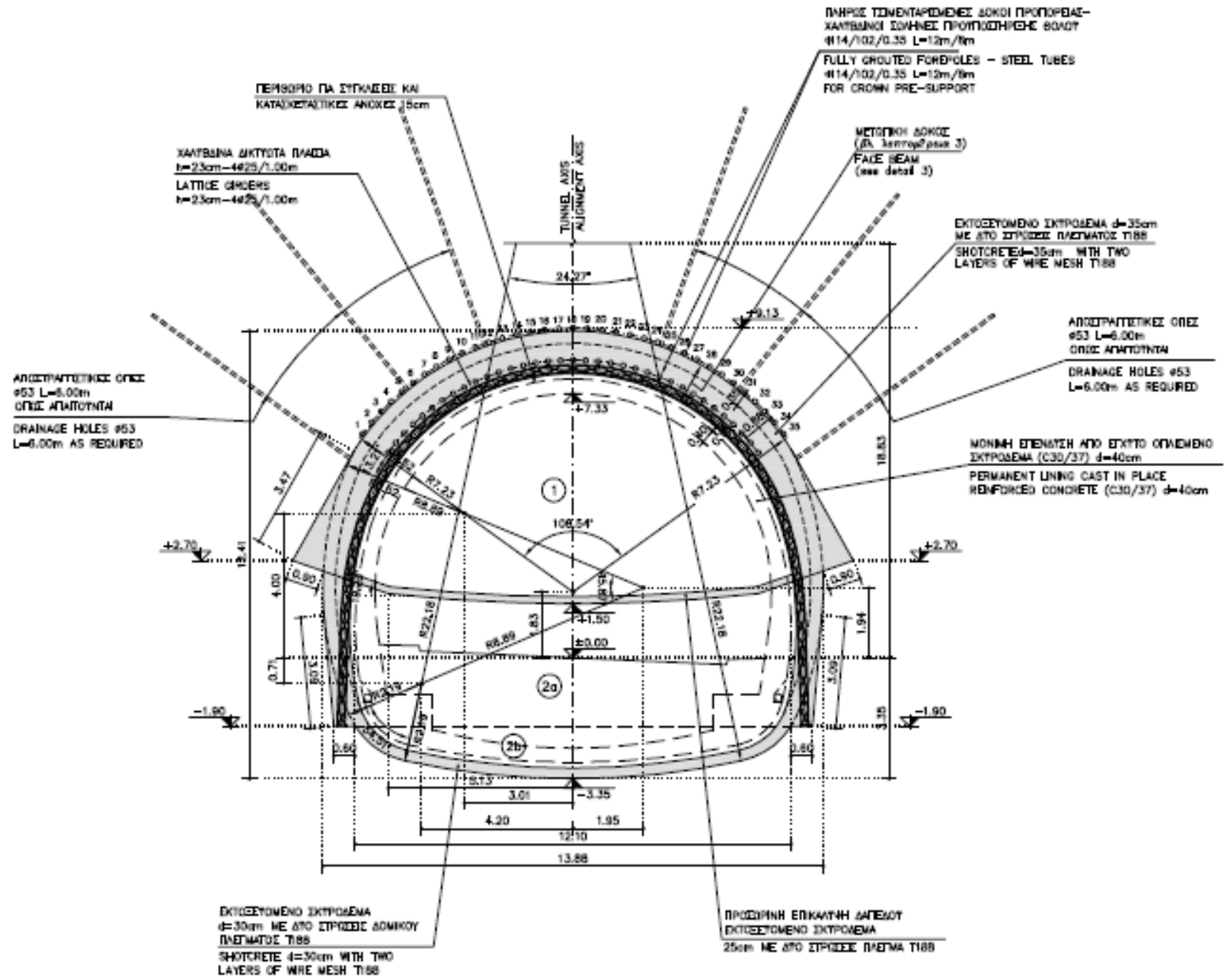


Σχήμα 5.2: Τομή κατηγορίας M_IV



Σχήμα 5.3: Τομή κατηγορίας M_V

Λεπτομέρειες βαθμίδας



Σχήμα 5.4: Τομή κατηγορίας M_V. Λεπτομέριες θόλου

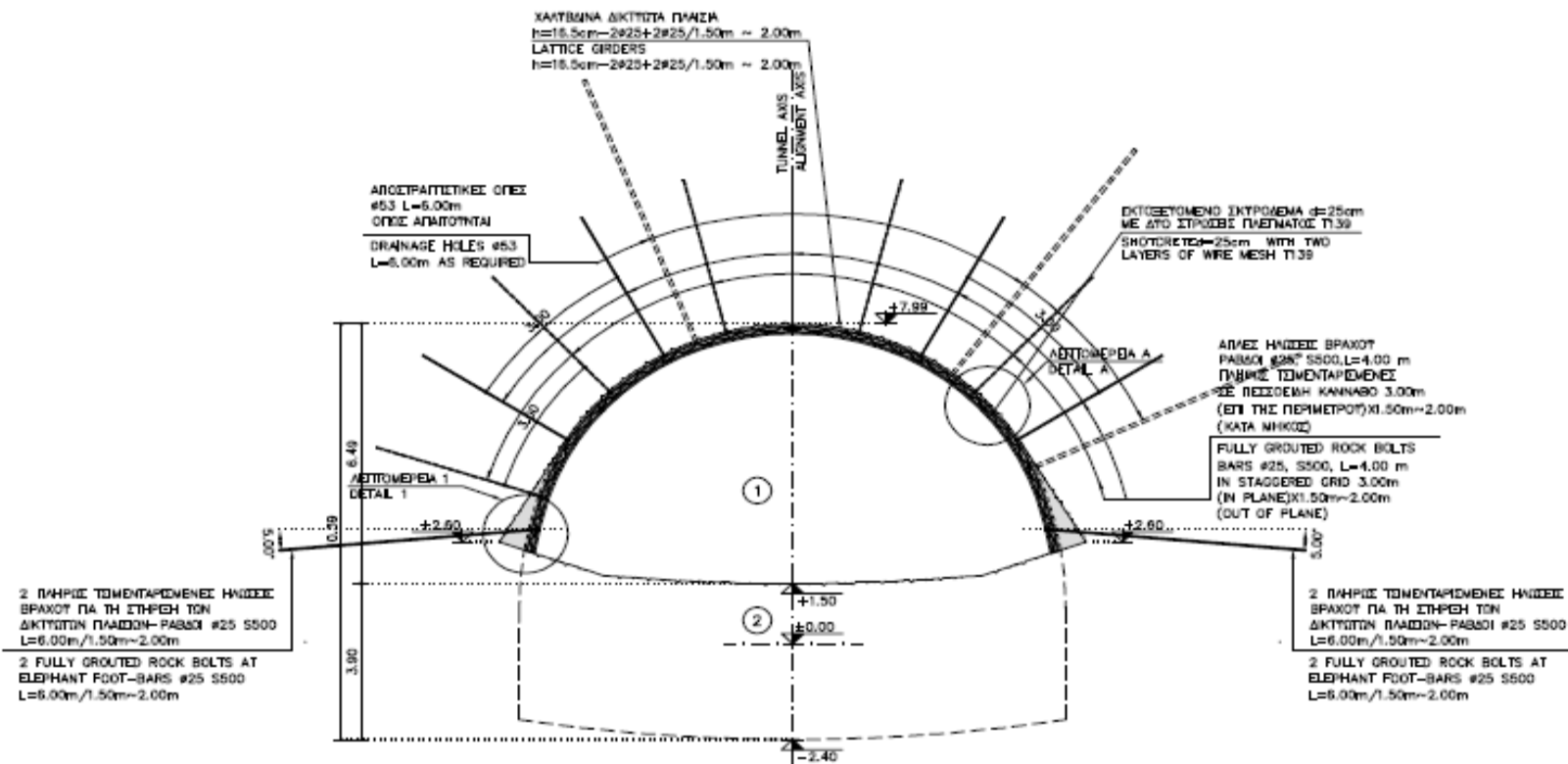
5.4 Διαδικασία διάνοιξης και στοιχεία υποστήριξης κατηγοριών

5.4.1 Κατηγορία M III: Αρχικά μέτρα στήριξης

Τα στοιχεία της υποστήριξης που πρέπει να εφαρμοστούν καθώς και η σειρά των κατασκευών παρουσιάζονται αναλυτικά ως εξής:

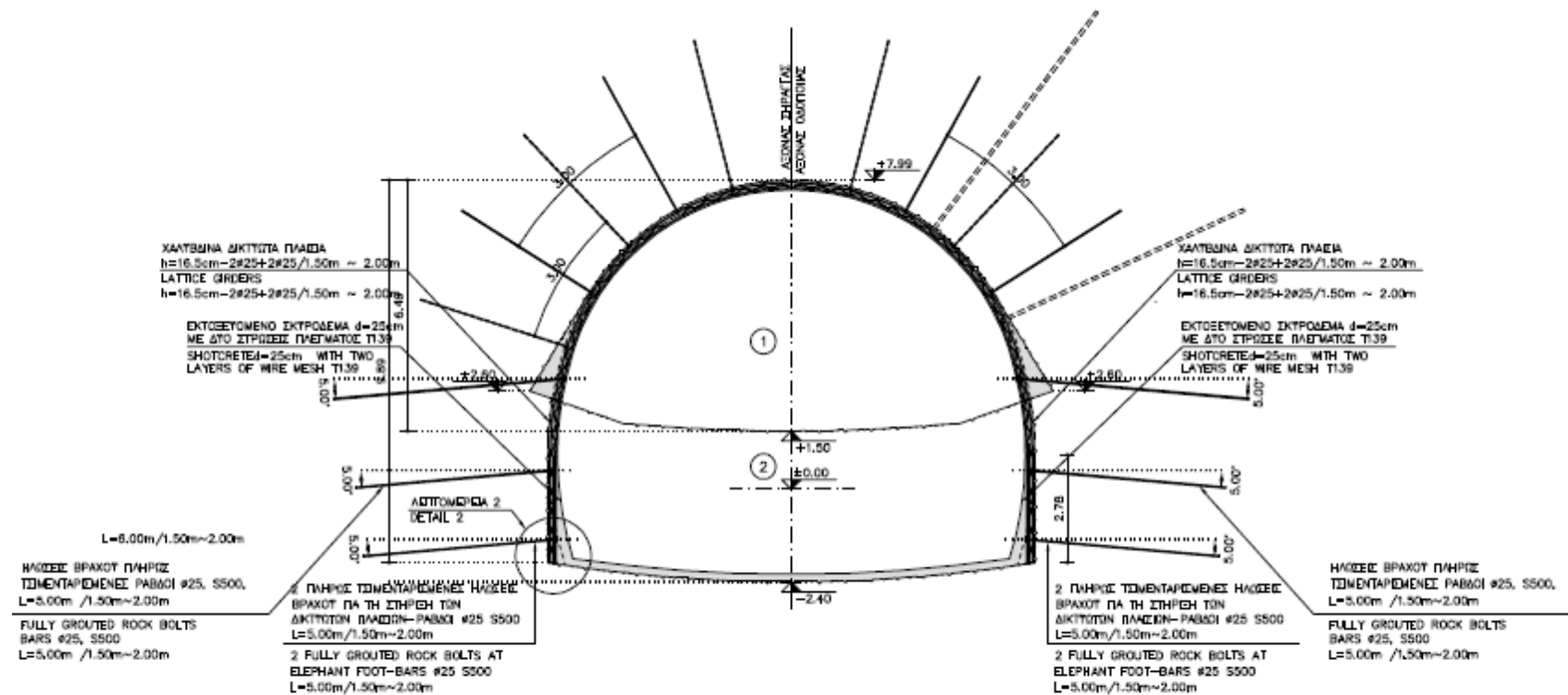
- Βήμα προχώρησης 1.5-2.0m για το θόλο και 3.0m για τη βαθμίδα
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με πάχος $d=25\text{cm}$ ενισχυμένο με δύο στρώματα από χαλύβδινο πλέγμα T139 (πλαϊνά τοιχώματα θόλου και βαθμίδας)
- Πλήρως γομωμένοι με τσιμεντένεμα ήλοι $\Phi 25$, S500s, $L=4\text{m}$, σε κάναβο πεσσοειδούς διάταξης 3.0m (επι της περιμέτρου) για κάθε βήμα προχώρησης
- Δικτυωτό πλαίσιο $h=165\text{mm}$ ($2\Phi 25 + 2\Phi 25$) για κάθε βήμα προχώρησης (θόλος σήραγγας και βαθμίδα)
- Ένα ζευγάρι πλήρως γομωμένων με τσιμεντένεμα ήλων για τη στήριξη των δικτυωτών πλαισίων (θόλος σήραγγας και βαθμίδα), $L=5.0\text{m}$
- Πλήρως γομωμένοι με τσιμεντένεμα ήλοι $L=5.0\text{m}$ στα πλαϊνά τοιχώματα της βαθμίδας για κάθε βήμα προχώρησης
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με πάχος 20cm ενισχυμένο με δύο στρώματα από χαλύβδινο πλέγμα T139 στο ανάστροφο τόξο
- Προαιρετική στεγάνωση με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα του μετώπου εκσκαφής εάν απαιτείται
- Τοποθέτηση αποστραγγιστικών οπών (στο μέτωπο και στην περίμετρο της εκσκαφής όπως απαιτείται).

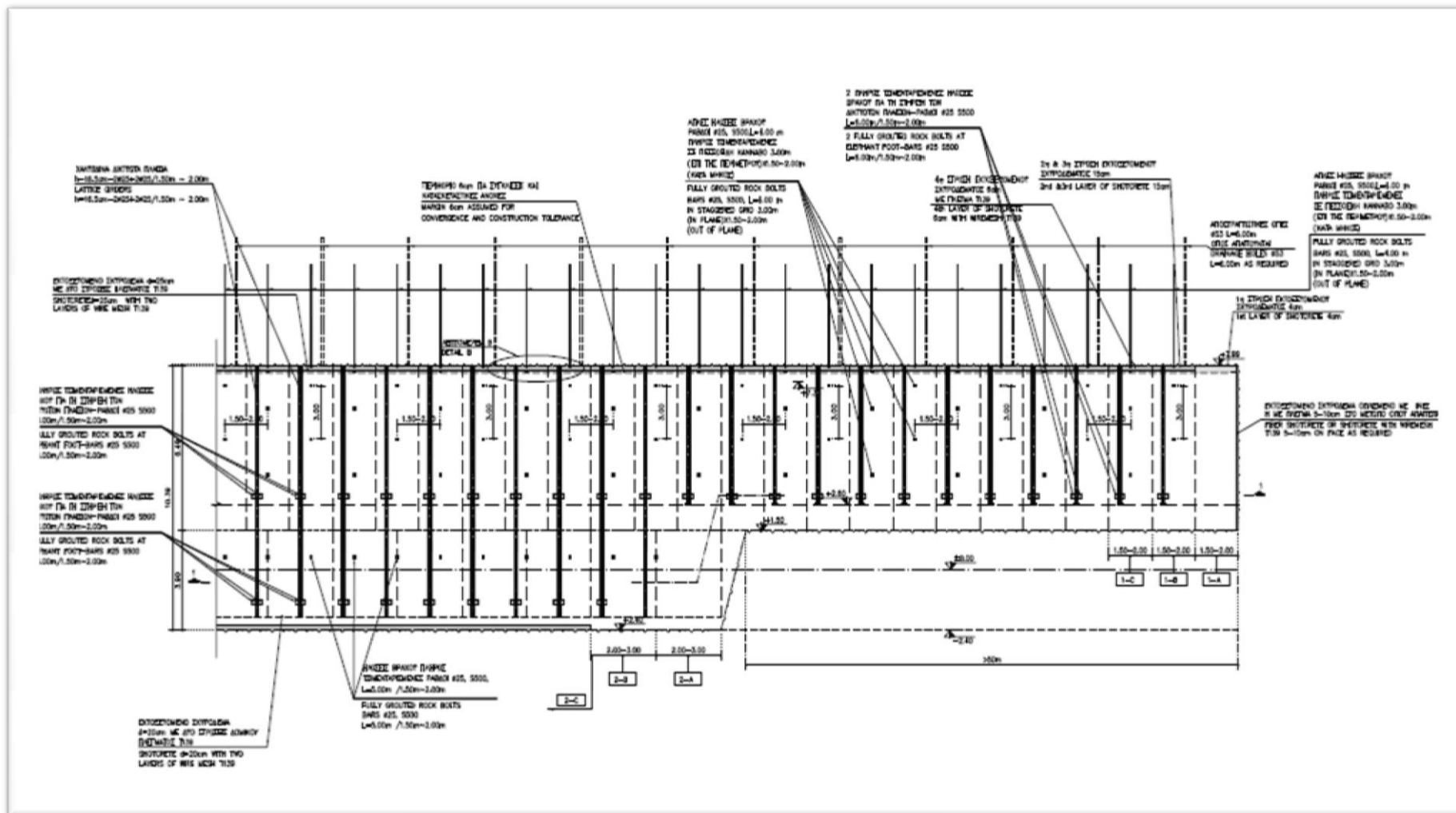
Στα επόμενα 2 σχήματα (Σχήματα 5.5 και 5.6) αποτυπώνονται οι τομές της κατηγορίας υποστήριξης M_III για κάθε φάση κατασκευής της. Όπως φαίνεται οι φάσεις κατασκευής της κατηγορίας είναι 2. Το τρίτο σχήμα (Σχήμα 5.7) αποτελεί είναι μία διαμήκης τομή τμήματος της ίδιας κατηγορίας.



Σχήμα 5.5: Κατηγορία υποστήριξης M_III

1^η Φάση





Σχήμα 5.7: Κατηγορία υποστήριξης M_III Διαμήκης τομή

5.4.2 Κατηγορία υποστήριξης M. III – Διαδικασία κατασκευής Φάση 1^η

Κατά τη φάση αυτή θα γίνει πρώτα:

1 – Α Εφαρμογή 1^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 4 cm

Στη συνέχεια θα ακολουθήσουν:

1 – Β Τοποθέτηση πλεγμάτων T139

Τοποθέτηση δικτυωτών πλαισίων

Εγκατάσταση ηλώσεων στο θόλο

Εφαρμογή 2^{ης} και 3^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 cm

Εγκατάσταση ηλώσεων στήριξης δικτυωτών πλαισίων

Και τέλος θα γίνει:

1 – Γ Τοποθέτηση πλεγμάτων T139 και

Εφαρμογή 4^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 6 cm

Φάση 2^η

Κατά τη φάση αυτή θα γίνει πρώτα:

2 – Α Εφαρμογή 1^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 4 cm

Στη συνέχεια θα ακολουθήσουν:

2 – Β Τοποθέτηση πλεγμάτων T139

Τοποθέτηση δικτυωτών πλαισίων

Εγκατάσταση ηλώσεων στα πλευρικά τοιχώματα

Εφαρμογή 2^{ης} και 3^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 cm

Εγκατάσταση ηλώσεων στήριξης δικτυωτών πλαισίων

Τοποθέτηση πλεγμάτων T139

Εφαρμογή 4^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 6 cm

Και τέλος θα γίνει:

2 – Γ Σκυροδέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος δαπέδου (ανάστροφο τόξο)



Φωτογραφία 5.3: Στήριξη δικτυωτών πλαισίων

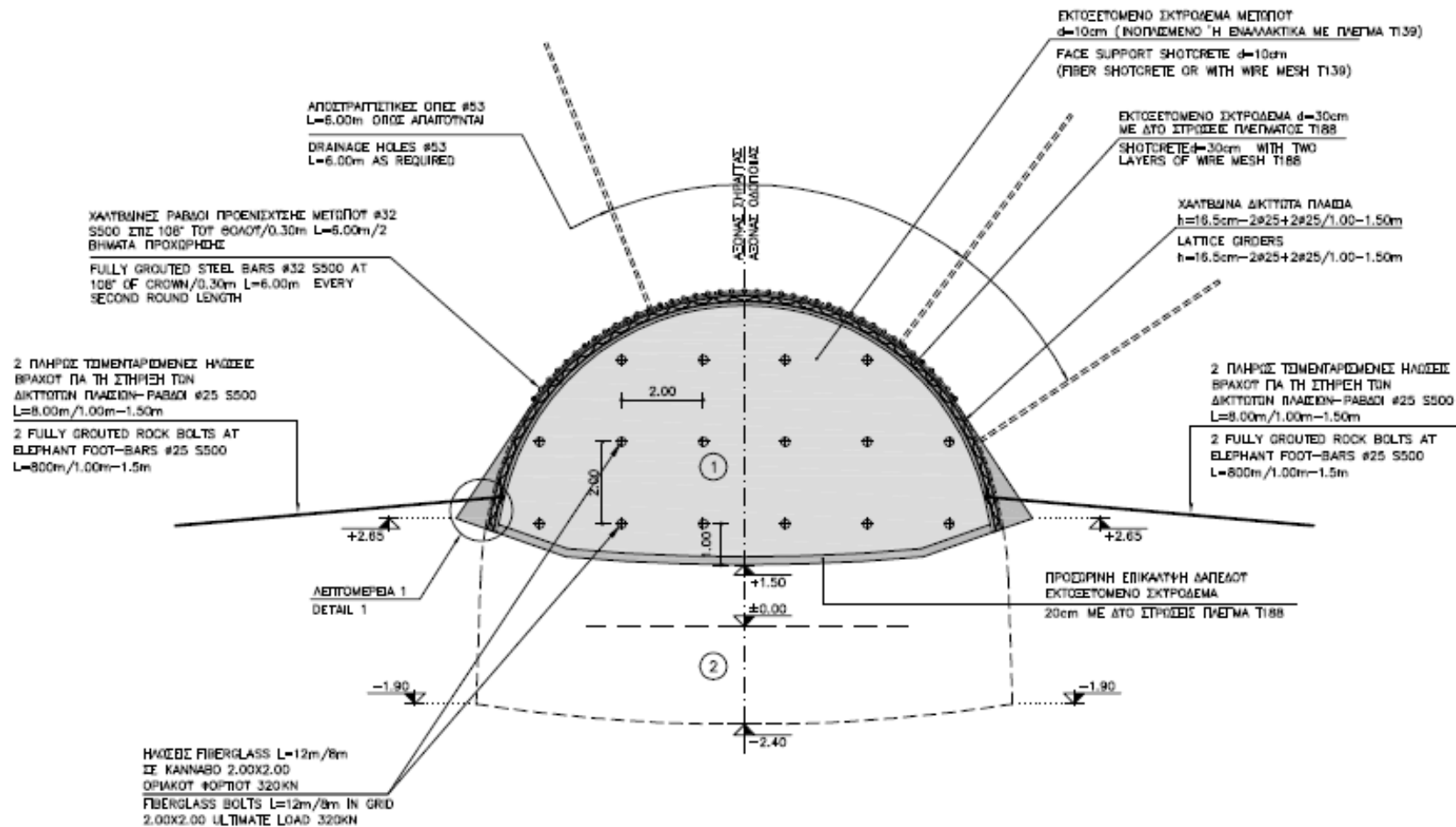
5.4.3 Κατηγορία M IV: Αρχικά μέτρα στήριξης

Τα στοιχεία της υποστήριξης που πρέπει να εφαρμοστούν καθώς και η σειρά των κατασκευών παρουσιάζονται αναλυτικά ως εξής:

- Βήμα προχώρησης 1. 0-1.5m για το θόλο και 2.0 ~ 3.0m για τη βαθμίδα
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με πάχος $d=30\text{cm}$ ενισχυμένο με δύο στρώματα χαλύβδινου πλέγματος T188 (θόλος και πλαϊνά τοιχώματα βαθμίδας)
- Χαλύβδινες ράβδοι προενίσχυσης μετώπου $\Phi 32 / 0,30\text{m}$ πλήρως γομωμένες με τσιμεντένεμα επί της περιμέτρου του θόλου, $L=6\text{m}$, κάθε δεύτερο βήμα προχώρησης.
- Χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια $h=165\text{mm}$ ($2\Phi 25 + 2\Phi 25$) για κάθε βήμα προχώρησης (ημιδιατομή σήραγγας και βαθμίδα)

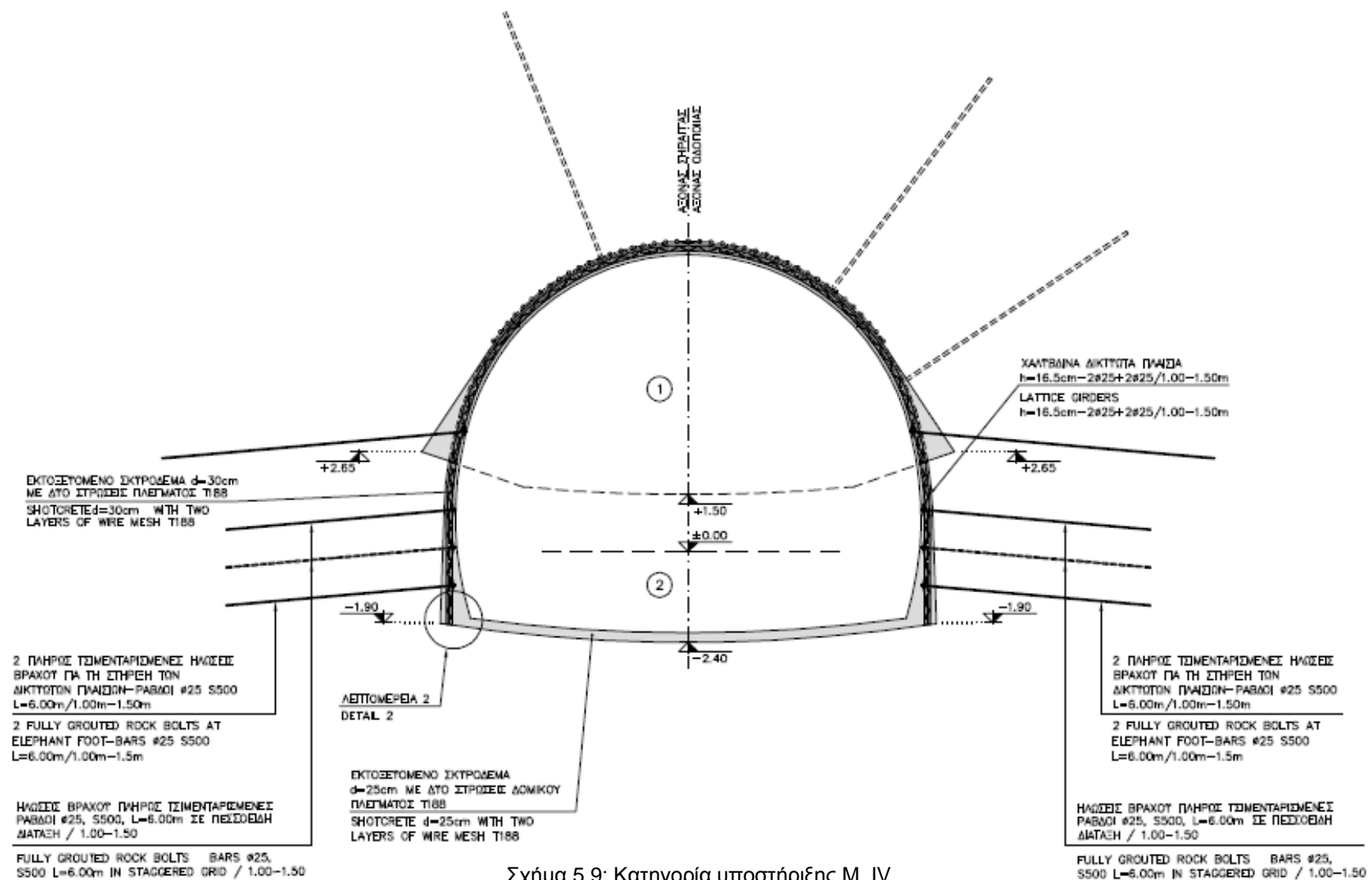
- Ένα ζευγάρι ηλώσεων πλήρους ενεμάτωσης βράχου για τη στήριξη των δικτυωτών πλαισίων – ράβδων $L=8.0m$ (για την ημιδιατομή της σήραγγας , $L=6.0m$ (για τη βαθμίδα)
- Ήλοι πλήρους ενεμάτωσης $L=6.0m$ στα πλαϊνά τοιχώματα της βαθμίδας σε κάναβο πεσσοειδούς διάταξης σε κάθε βήμα προχώρησης
- Φάση 1. Προσωρινή σκυροδέτηση – εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους $20cm$ ενισχυμένο με δύο στρώματα χαλύβδινου πλέγματος T188
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους $25cm$ ενισχυμένο με δύο στρώματα χαλύβδινου πλέγματος T188 στην τελική σκυροδέτηση
- Ήλοι fiberglass πλήρως γομωμένοι με τσιμεντένεμα $L=12m / 8m$ σε κάναβο $2.0 \times 2.0 m$ στο μέτωπο – οριακού φορτίου $320kN$
- Σκυροδέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο μέτωπο
- Τοποθέτηση αποστραγγιστικών οπών (στο μέτωπο και στην περίμετρο της εκσκαφής όπως απαιτείται)

Στα επόμενα 2 σχήματα (Σχήματα 5.8 και 5.9) σχήμα αποτυπώνονται οι τομές της κατηγορίας υποστήριξης M_{IV} για κάθε φάση κατασκευής της. Όπως φαίνεται οι φάσεις κατασκευής της κατηγορίας είναι 2. Το τρίτο σχήμα (Σχημα 5.10) αποτελεί είναι μία διαμήκης τομή τμήματος της ίδιας κατηγορίας.



Σχήμα 5.8: Κατηγορία υποστήριξης M_IV

1^η Φάση



Σχήμα 5.9: Κατηγορία υποστήριξης M_IV

2^η Φάση

5.4.4 Κατηγορία υποστήριξης M. IV – Διαδικασία κατασκευής Φάση 1

Κατά τη φάση αυτή γίνεται:

Εγκατάσταση ηλώσεων υποστήριξης μετώπου κάθε 8 μέτρα

Τοποθέτηση ράβδων προενίσχυσης στη περίμετρο του θόλου κάθε δεύτερο βήμα προχώρησης

Αρχικά γίνεται:

1 – Α Εφαρμογή 1^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 4 cm

Στη συνέχεια θα ακολουθήσουν:

1 – Β Τοποθέτηση πλεγμάτων T188

Τοποθέτηση δικτυωτών πλαισίων

Εγκατάσταση ηλώσεων στο θόλο

Εφαρμογή 2^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm

Και τέλος:

1 – C Εφαρμογή 3^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm

Τοποθέτηση πλεγμάτων T188

Εγκατάσταση ηλώσεων στήριξης δικτυωτών πλαισίων

Εφαρμογή 4^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 6 cm

1 – D Τοποθέτηση πλεγμάτων T188 και σκυροδέτηση προσωρινού δαπέδου

Φάση 2^η

Αρχικά στη φάση αυτή γίνεται:

2 – Α Εφαρμογή 1^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 4 cm

Στη συνέχεια ακολουθούν:

2 – Β Τοποθέτηση πλεγμάτων T188

Τοποθέτηση δικτυωτών πλαισίων

Εφαρμογή 2^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm

Εφαρμογή 3^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm

Εγκατάσταση ηλώσεων L = 6m σε πεσσοειδή διάταξη 1,00 x 1,50m

Εγκατάσταση ηλώσεων στήριξης δικτυωτών πλαισίων

Και η φάση ολοκληρώνεται ως εξής:

2 – C Τοποθέτηση πλεγμάτων T188, εκτόξευση τελευταίας στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 5 cm

Τοποθέτηση πλεγμάτων T188 και σκυροδέτηση δαπέδου

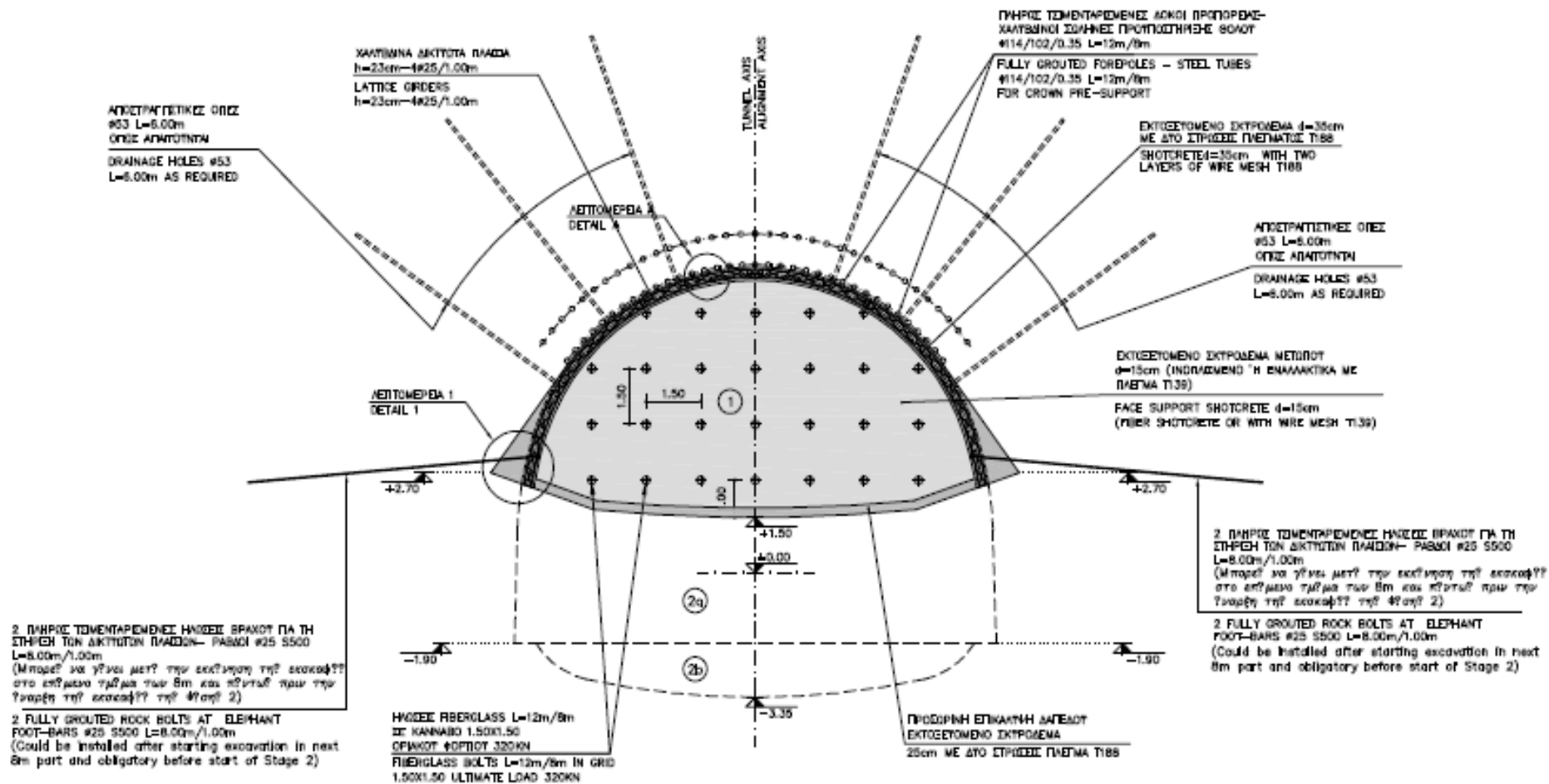
5.4.5 Κατηγορία M V: Αρχικά μέτρα στήριξης

Τα στοιχεία της υποστήριξης που πρέπει να εφαρμοστούν καθώς και η σειρά των κατασκευών παρουσιάζονται αναλυτικά ως εξής:

- Βήμα προχώρησης 1. 0m για την ημιδιατομή και 2.0m για τη βαθμίδα (για την τελική σκυροδέτηση κλεισίματος 6m μέγιστο από τη βαθμίδα)
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με πάχος d=35cm ενισχυμένο με δύο στρώματα χαλύβδινου πλέγματος T188 (θόλος και πλαϊνά τοιχώματα βαθμίδας)
- Πλήρως γομωμένοι με τσιμεντοκονίαμα σωλήνες προπορίας – χαλύβδινοι σωλήνες Φ114/101/0,35m L=12m τοποθετημένοι κάθε 8m στην περίμετρο της διατομής της σήραγγας

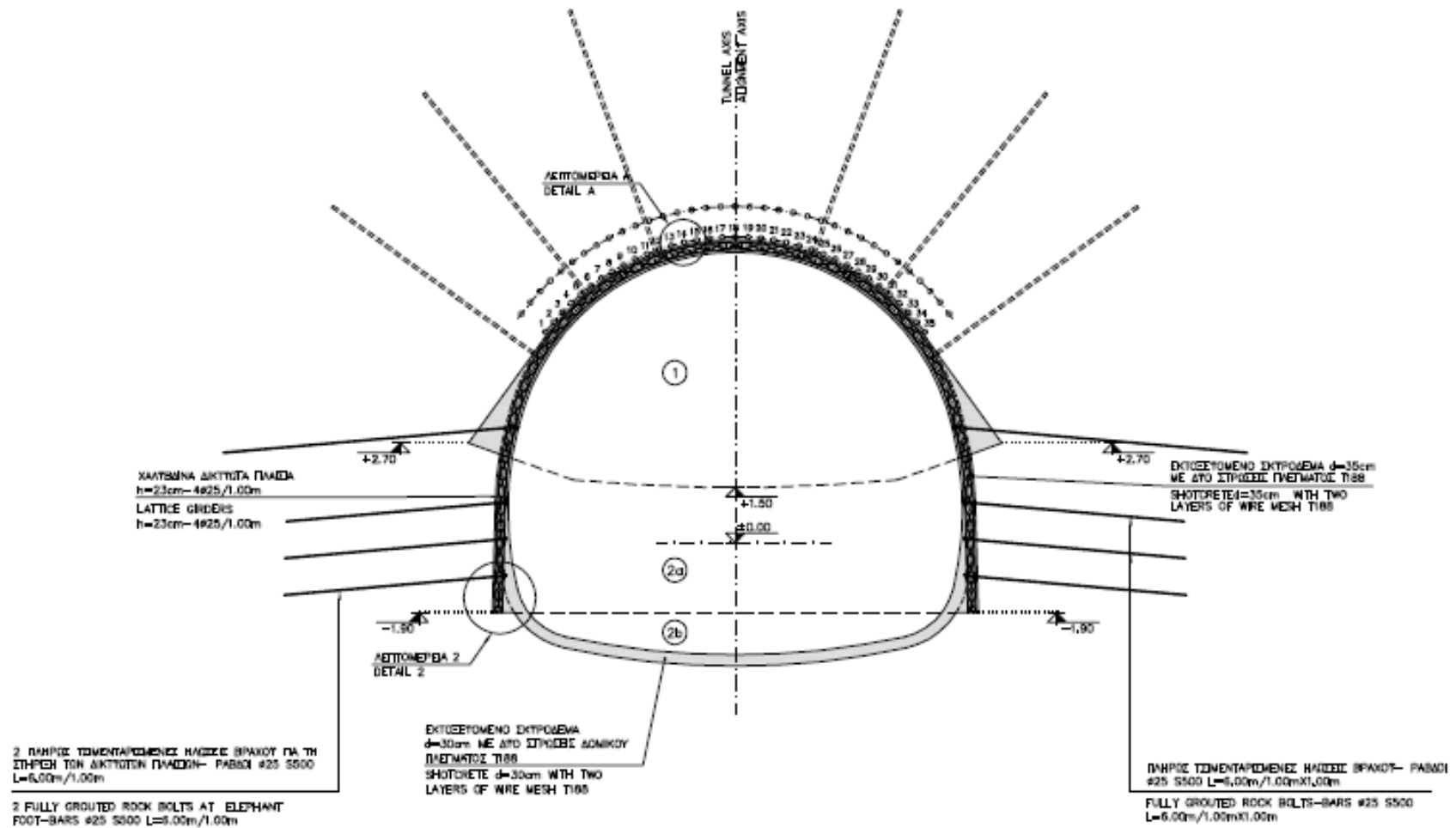
- Δικτυωτό πλαίσιο $h=230\text{mm}$ (4Φ25) σε κάθε βήμα προχώρησης (για την ημιδιατομή και για τη βαθμίδα)
- Ζευγάρι ηλώσεων πλήρους ενεμάτωσης βράχου για τη στήριξη των δικτυωτών πλαισίων $L=8.0\text{m}$ (για την ημιδιατομή της σήραγγας), $L=6.0\text{m}$ (για τη βαθμίδα)
- Ήλώσεις πλήρους ενεμάτωσης στους πλευρικούς τοίχους της βαθμίδας (στην περίμετρο) / 1m για κάθε βήμα προχώρησης
- Φάση 1. Προσωρινή σκυροδέτηση – εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 25cm ενισχυμένο με δύο στρώματα χαλύβδινου πλέγματος T188
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα 30cm ενισχυμένο με δύο στρώματα χαλύβδινου πλέγματος T188 στην τελική σκυροδέτηση
- Ηλώσεις πλήρους ενεμάτωσης fiberglass $L=12\text{m} / 8\text{m}$ σε κάνναβο $1.5 \times 1.5 \text{ m}$ στο μέτωπο – οριακής φόρτισης 320kN
- Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος $d=5\text{cm}$ στο μέτωπο (ινοπλισμένο ή ενισχυμένο με πλέγμα) κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης της νέας σειράς σωλήνων προπορίας
- Εφαρμογή στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος στα άλλα βήματα προχώρησης
- Τοποθέτηση αποστραγγιστικών οπών (στο μέτωπο και στην περίμετρο της εκσκαφής όπως απαιτείται)

Στα επόμενα 2 σχήματα (Σχήματα 5.11 και 5.12) αποτυπώνονται οι τομές της κατηγορίας υποστήριξης M_V για κάθε φάση κατασκευής της. Όπως φαίνεται οι φάσεις κατασκευής της κατηγορίας είναι 2. Το τρίτο σχήμα (Σχήμα 5.13) αποτελεί είναι μία διαμήκης τομή τμήματος της ίδιας κατηγορίας.



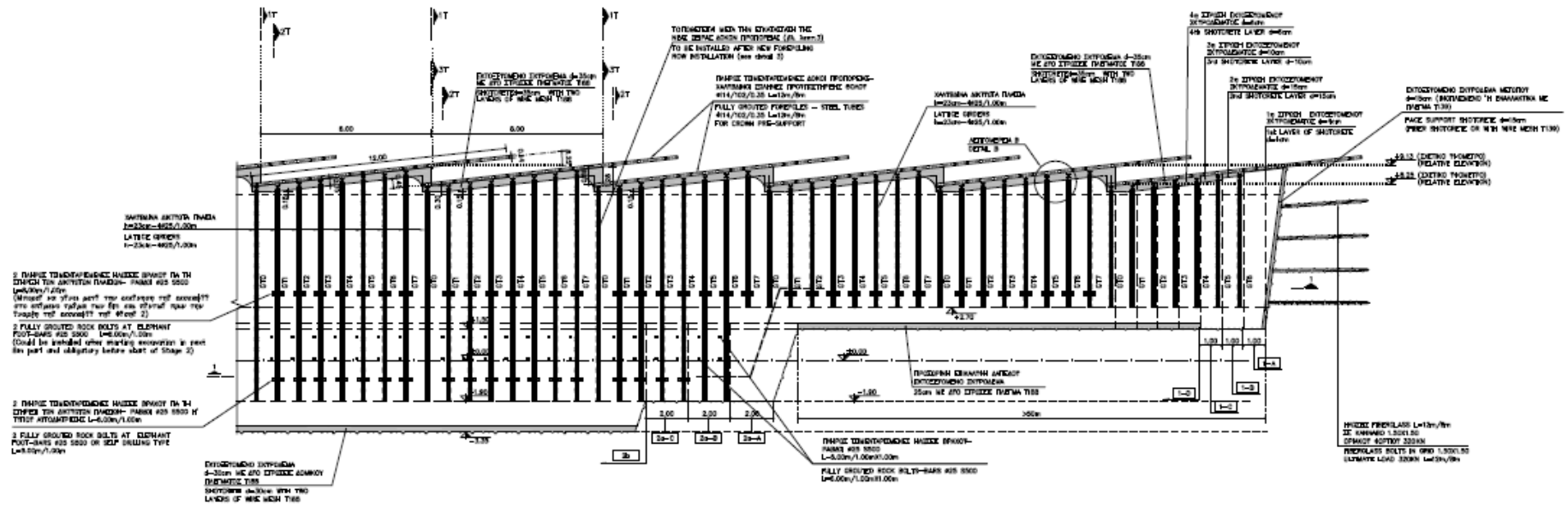
Σχήμα 5.11: Κατηγορία υποστήριξης M_V

1^η Φάση



Σχίμα 5.12: Κατηγορία υποστήριξης M_V

2^η Φάση



Σχήμα 5.13: Κατηγορία υποστήριξης M_V

Διαμήκης τομή

5.4.6 Κατηγορία υποστήριξης M. V – Διαδικασία κατασκευής

Φάση 1^η

Προ της έναρξης εκσκαφής κάθε τμήματος γίνεται η εγκατάσταση των ηλώσεων υποστήριξης μετώπου και η τοποθέτηση των δοκών προπορίας στην περίμετρο του θόλου. Στη συνέχεια τα στάδια για την ολοκλήρωση αυτής της φάσης ακολουθούν την εξής σειρά:

Αρχικά γίνεται:

1 – A Εφαρμογή 1^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 4 cm

Ακολουθούν οι εξής εργασίες:

1 – B Τοποθέτηση πλεγμάτων T188

Τοποθέτηση δικτυωτών πλαισίων

Εφαρμογή 2^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 cm

Στη συνέχεια ακολουθούν:

1 – C Εφαρμογή 3^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm

Τοποθέτηση πλεγμάτων T188

Εφαρμογή 4^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 6 cm

Και τέλος για την ολοκλήρωση της πρώτης φάσης γίνεται:

1 – D Τοποθέτηση πλεγμάτων T188 και σκυροδέτηση προσωρινού δαπέδου

Εγκατάσταση ηλώσεων στήριξης δικτυωτών πλαισίων

(πριν την εκσκαφή της 2^{ης} φάσης)



Φωτογραφία 5.4: διάτρηση μετώπου για την τοποθέτηση δοκών προενίσχυσης και ηλώσεων fiberglass (ο κάνναβος είναι εμφανής)

Φάση 2^η

Κατά τη φάση αυτή πρώτα θα γίνει:

2a – Α Εφαρμογή 1^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 4 cm

Ακολουθεί :

2a – Β Τοποθέτηση πλεγμάτων T188

Τοποθέτηση δικτυωτών πλαισίων

Εφαρμογή 2^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 cm

Εφαρμογή 3^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm

Εγκατάσταση ηλώσεων L = 6m σε κάνναβο 1,00 x 1,00m

Αφού ολοκληρωθούν οι παραπάνω εργασίες γίνεται:

2a – C Εγκατάσταση ηλώσεων στήριξης δικτυωτών πλαισίων

2a – C Τοποθέτηση πλέγματος T188 εκτόξευση τελευταίας στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 6cm

Και τέλος για να ολοκληρωθεί η δεύτερη φάση και κατά συνέπεια η υποστήριξη κατηγορίας M_V γίνεται

2b – C Εκσκαφή δαπέδου

Τοποθέτηση πλεγμάτων T188 και σκυροδέτηση δαπέδου



Φωτογραφία 5.5: Τοποθέτηση χαλύβδινων ράβδων προενίσχυσης μετώπου στη ημιδιατομή της σήραγγας



Φωτογραφία 5.6: Στις εισόδους των σηράγγων εφαρμόζεται η κατηγορία υποστήριξης M_V

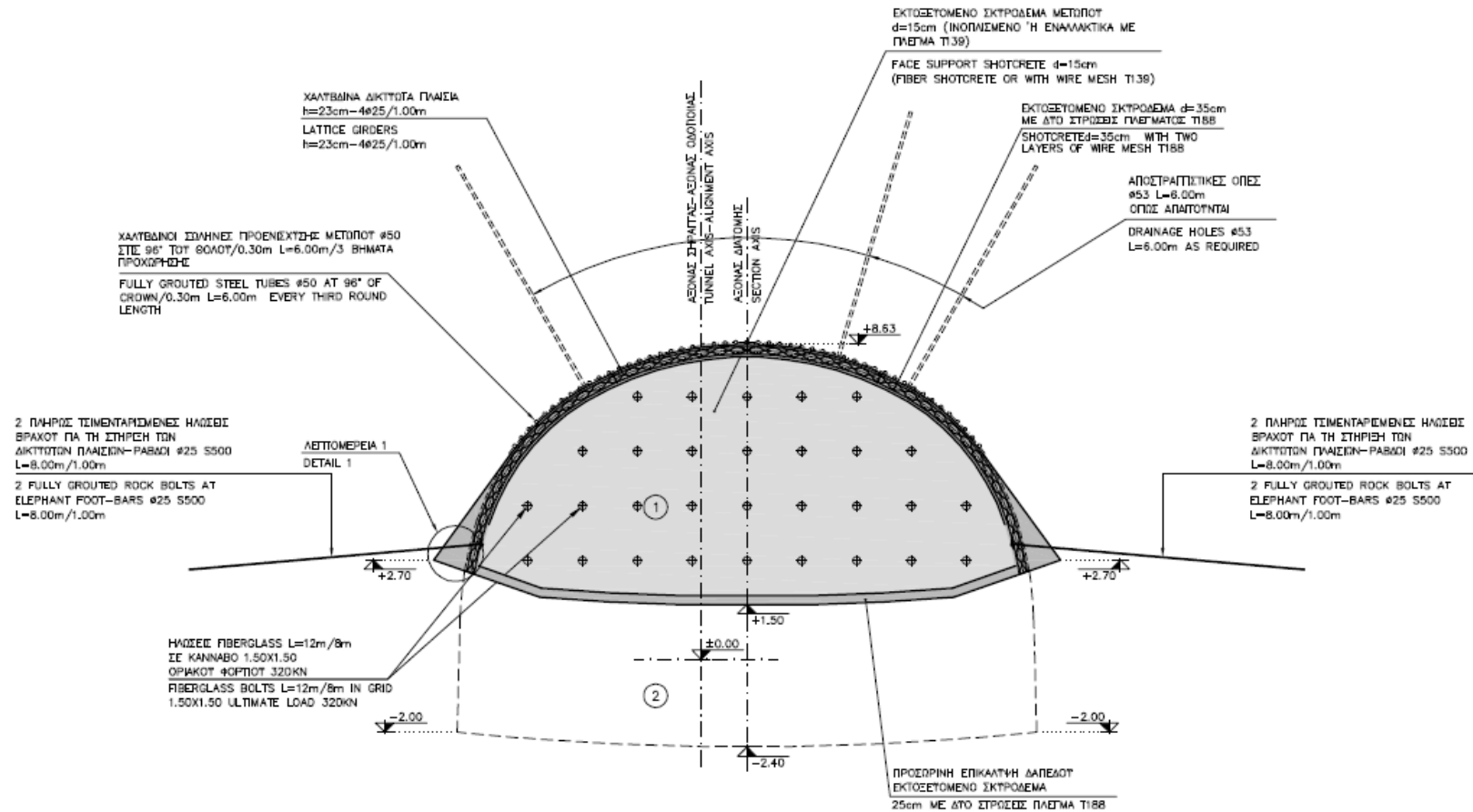
5.4.7 Τμήμα χώρου πλευρικής στάθμευσης – Αρχικά μέτρα υποστήριξης

Τα προαναφερθέντα μέτρα αφορούν το κύριο τμήμα της σήραγγας. Όσον αφορά το τμήμα του πλευρικού χώρου στάθμευσης ο σχεδιασμός βασίζεται στην κατηγορία M_IV. Στην συγκεκριμένη περιοχή της κατασκευής οι εκτιμήσεις βασίζονται σε γεωτεχνικά και γεωλογικά δεδομένα τα οποία σε μεγάλο ποσοστό οδηγούν στην εφαρμογή της κατηγορίας M_III για την αντιμετώπιση των συνθηκών που επικρατούν. Παρόλα αυτά βασιζόμενη σε ασφαλές παραδοχές θεωρήθηκε λογικό να προβούμε στην εφαρμογή της κατηγορίας M_IV για τα μέτρα στήριξης για το συγκεκριμένο τμήμα. Στην απίθανη περίπτωση που κατά τη διάρκεια της εκσκαφής ανακύψουν προβλήματα τα οποία θα καθιστούν υποχρεωτική την εφαρμογή της κατηγορίας M_V η θέση του πλευρικού χώρου στάθμευσης ενδέχεται να τροποποιηθεί ώστε να αποφευχθεί η εκσκαφή αυτού του μεγάλου τμήματος σε αντίξοες συνθήκες.

Τα στοιχεία της υποστήριξης που πρέπει να εφαρμοστούν καθώς και η σειρά των κατασκευών παρουσιάζονται αναλυτικά ως εξής:

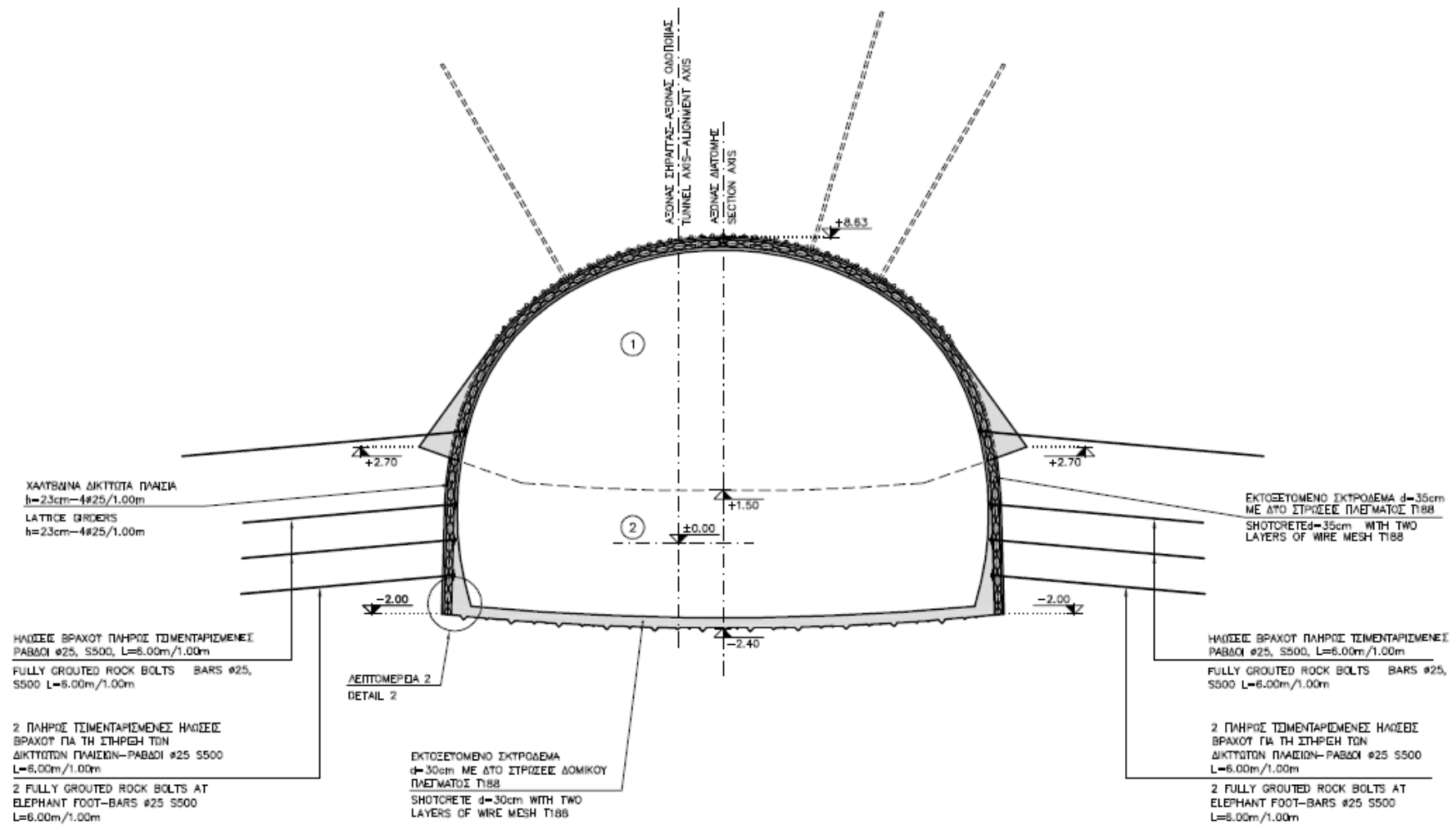
- Βήμα προχώρησης 1. 0m για τη διατομή της σήραγγας και 2.0m για τη βαθμίδα
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους $d=35\text{cm}$ ενισχυμένο με δύο στρώματα χαλύβδινου πλέγματος T188 (θόλος και πλευρικά τοιχώματα βαθμίδας)
- Πλήρως γομωμένοι με τσιμεντοκονίαμα χαλύβδινοι σωλήνες $\Phi 50 / 0,30\text{m}$ στην περίμετρο του θόλου για την προϋποστήριξη του θόλου, $L=6\text{m}$, σε κάθε δεύτερο βήμα προχώρησης
- Δικτυωτό πλαίσιο $h=230\text{mm}$ ($2\Phi 25 + 2\Phi 25$) για κάθε βήμα προχώρησης (ημιδιατομή της σήραγγας και βαθμίδα)
- Ζευγάρι πλήρως τσιμενταρισμένων ηλώσεων βράχου για τη στήριξη των δικτυωτών πλαισίων $L=8.0\text{m}$ (για την ημιδιατομή της σήραγγας), $L=6.0\text{m}$ (για τη βαθμίδα)
- Πλήρως τσιμενταρισμένες ηλώσεις στους πλευρικούς τοίχους της βαθμίδας (στην περίμετρο)/ 1m για κάθε βήμα προχώρησης
- Φάση 1. Προσωρινή σκυροδέτηση – εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 25cm ενισχυμένο με δύο στρώματα χαλύβδινου πλέγματος T188
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα 30cm ενισχυμένο με δύο στρώματα χαλύβδινου πλέγματος T188 στην σκυροδέτηση
- Πλήρως τσιμενταρισμένες ηλώσεις fiberglass $L=12\text{m} / 8\text{m}$ σε κάρναβο $1.5 \times 1.5 \text{ m}$ στο μέτωπο – οριακής φόρτισης 320kN
- Εφαρμογή στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο μέτωπο
- Τοποθέτηση αποστραγγιστικών οπών (στο μέτωπο και στην περίμετρο της εκσκαφής όπως απαιτείται)

Στα επόμενα 2 σχήματα (Σχήματα 5.14 και 5.15) αποτυπώνονται οι τομές της κατηγορίας υποστήριξης M_V για κάθε φάση κατασκευής της. Όπως φαίνεται οι φάσεις κατασκευής της κατηγορίας είναι 2. Το τρίτο σχήμα (Σχήμα 5.16) αποτελεί είναι μία διαμήκης τομή τμήματος της ίδιας κατηγορίας.



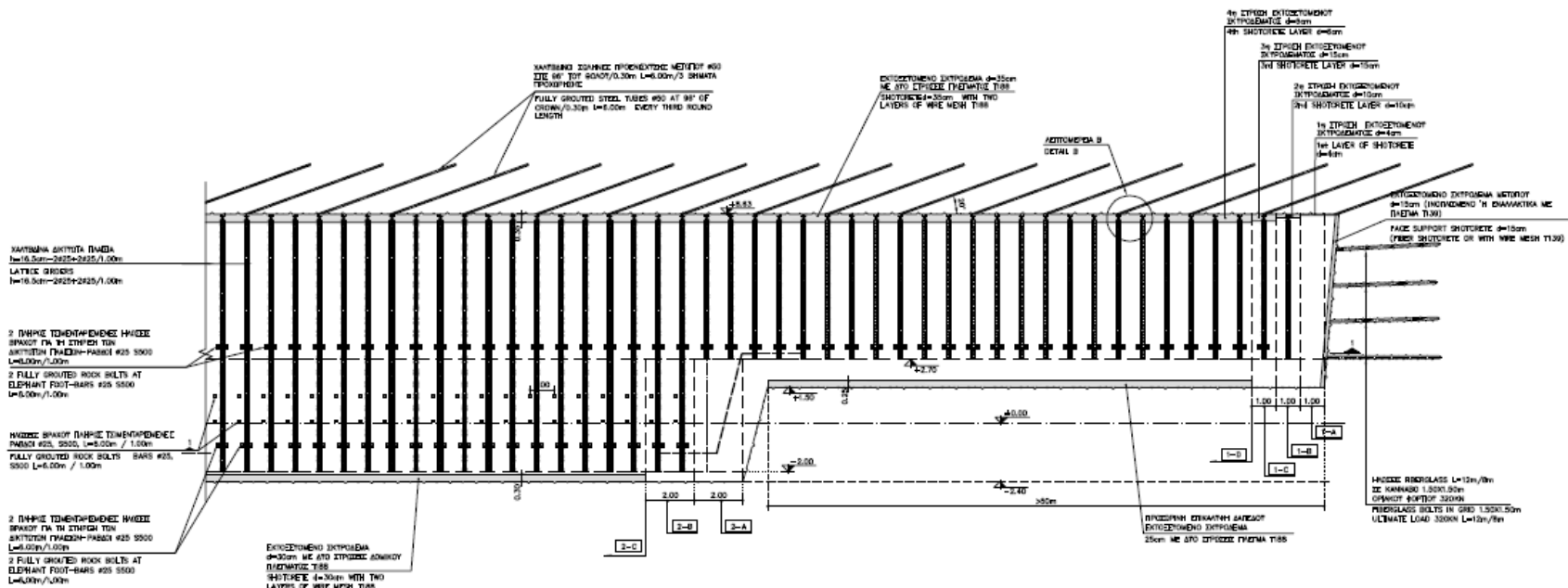
Σχήμα 5.14: Μέτρα υποστήριξης χώρου πλευρικής
στάθμευσης

1^η Φάση



Σχήμα 5.15: Μέτρα υποστήριξης χώρου πλευρικής
στάθμευσης

2^η Φάση



Σχήμα 5.16: Μέτρα υποστήριξης χώρου πλευρικής στάθμευσης – Διαμήκης τομή

5.4.8 Τμήμα πλευρικού χώρου στάθμευσης – Διαδικασία κατασκευής Φάση 1^η

Εγκατάσταση των ηλώσεων υποστήριξης μετώπου κάθε 8 μέτρα

Τοποθέτηση των σωλήνων προενίσχυσης στη περίμετρο του θόλου κάθε 3 βήματα προχώρησης

Η σειρά με την οποία θα εκτελεστούν οι εργασίες είναι η εξής:

Αρχικά γίνεται:

1 – Α Εφαρμογή 1^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 4 cm

Ακολουθεί:

1 – Β Τοποθέτηση πλέγματων T188

Τοποθέτηση δικτυωτών πλαισίων

Εφαρμογή 2^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 cm

Οι εργασίες συνεχίζονται με:

1 – C Εφαρμογή 3^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm

Τοποθέτηση πλεγμάτων T188

Εγκατάσταση ηλώσεων στήριξης δικτυωτών πλαισίων

Εφαρμογή 4^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 6 cm

Και τέλος για να ολοκληρωθεί η πρώτη φάση:

1 – D Τοποθέτηση πλέγματων T188 και σκυροδέτηση προσωρινού δαπέδου

Η εκσκαφή της φάσης 2 θα ακολουθήσει μετά την ολοκλήρωση της φάσης 1 σε όλο το μήκος των 50m

Φάση 2^η

Η σειρά με την οποία θα εκτελεστούν οι εργασίες στη 2^η Φάση είναι η εξής:

Αρχικά γίνεται:

2 – Α Εφαρμογή 1^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 4 cm

Ακολουθεί:

2 – Β Τοποθέτηση πλεγμάτων T188

Εφαρμογή 2^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 10 cm

Εφαρμογή 3^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 cm

Εγκατάσταση ηλώσεων L = 6m σε κάναβο 1,00 x 1,00m

Και ολοκληρώνεται με:

2 – C Τοποθέτηση πλέγματος T188 εκτόξευση τελευταίας στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 6cm

Τοποθέτηση πλεγμάτων T188 και σκυροδέτηση δαπέδου

5.4.9 Σχεδιαστικές παραδοχές

A. Φορτία

Βάρος οπλισμένου σκυροδέματος: 25 kN/m³

Έδαφος βάρος μονάδας: Σύμφωνα με τις σχεδιαστικές παραμέτρους για κάθε κατηγορία

B. Φορτία από τα περιβάλλοντα πετρώματα

Αυτά τα φορτία δημιουργούνται αυτόματα από την προσομοίωση της αντοχής των διάφορων σταδίων κατασκευής και της ανακατανομής τους σε διάφορα μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων δύο διαστάσεων.

Γ. Υλικά

Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα που ισοδυναμεί με σκυρόδεμα κατηγορίας: C 20 /25

Χαλύβδινοι ράβδοι και χαλύβδινο πλέγμα: S 500s

Ηλώσεις βράχου και χαλύβδινες δοκοί: S 500s

Ηλώσεις Fiberglass: οριακή φόρτιση 320KN

Ινοπλισμένο σκυρόδεμα που ισοδυναμεί με σκυρόδεμα κατηγορίας: C 20 /25

Χαλύβδινες ίνες για το Ινοπλισμένο σκυρόδεμα: 40kg/m³

Μπάρες δικτυωτών πλαισίων: S 500s

Στοιχεία δομικού χάλυβα: Fe360

5.4.10 Σχεδιαστικές γεωτεχνικές παράμετροι

Σύμφωνα με την έκθεση Γεωτεχνικής Ερμηνείας που υποβλήθηκε για τις δίδυμες σήραγγες στα Μαύρα Λιθάρια, οι σχεδιαστικές παράμετροι για τις τρεις κατηγορίες της σήραγγας 11 είναι οι ακόλουθες:

Κατηγορία M_III – Υπερκείμενο 60m	
GSI	55
σ_{ci}	5 MPa
m_l	8
c'	150 kPa
φ	35°
E	1500 MPa
γ	22 kN/m ³
Ko	0.5 – 1.0

Κατηγορία M_IV – Υπερκείμενο 60m	
GSI	37
σ_{ci}	5 MPa
m_l	8
c'	100 kPa
φ	32°
E	500 MPa
γ	22 kN/m ³
Ko	0.5 – 1.0

Κατηγορία M_IV – Υπερκείμενο 20m	
GSI	37
σ_{ci}	5 MPa
m_l	8
c'	60 kPa
φ	32°
E	500 MPa
γ	22 kN/m ³
Ko	0.5 – 1.0

Κατηγορία M_V – Υπερκείμενο 60m	
GSI	20
σ_{ci}	5 MPa
m_l	8
c'	60 kPa
φ	30°
E	200 MPa
γ	22 kN/m ³
Ko	0.5 – 1.0

Κατηγορία M_IV – Υπερκείμενο 60m	
GSI	20
σ_{ci}	5 MPa
m_l	8
c'	40 kPa
φ	30°
E	200 MPa
γ	22 kN/m ³
Ko	0.5 – 1.0

5.5 Αναμενόμενες γεωτεχνικές συνθήκες στις σήραγγες

Ο κύριος σχηματισμός που αναμένεται να συναντηθεί κατά την υπόγεια εκσκαφή των δίδυμων σηράγγων είναι η μάργα. Μέσα σε αυτό το σχηματισμό ο διαχωρισμός των γεωτεχνικών κατηγοριών έχει αποφασιστεί να αντιπροσωπεύει διαφορετική ποιότητα υλικού, γεωτεχνικής συμπεριφοράς και σχεδιαστικές απαιτήσεις.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το υλικό αυτό δείχνει σχετικά υψηλή θλιπτική αντοχή με τη πλειοψηφία των τιμών της να κυμαίνεται μεταξύ 0,8-10MPa και να εμφανίζει σαφείς διαρθρωτικές ασυνέχειες. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά πληρούν τις προϋποθέσεις ώστε το υλικό αυτό να χαρακτηριστεί και να αντιμετωπιστεί γεωτεχνικά ως βραχομάζα.

Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών δεν θεωρούνται συντηρητικά διότι είναι πιθανόν τα εργαστηριακά δοκίμια να αντιπροσωπεύουν στενό μέρος άθικτου υλικού και όχι την ευρύτερη μάζα του εδάφους. Αυτό μπορεί να αποδειχθεί εκτιμώντας τις παραμέτρους της διατμητικής αντοχής από τις δοκιμές στη μηχανικής πετρωμάτων.

Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα των δοκιμών των πετρωμάτων για τις θλιπτικές και εφελκυστηκές αντοχές και τις τιμές c και φ θεωρείται ότι αυτές οι εκτιμήσεις θα ήταν πολύ ασταθείς για τον σωστό σχεδιασμό.

Είναι εύλογη λοιπόν η τροποποίηση (μείωση) των τιμών των εργαστηριακών δοκιμών για τον ασφαλή σχεδιασμό και αυτό επιτυγχάνεται με την υιοθέτηση της έννοιας της βραχομάζας.

Η λογική πίσω από την αποδοχή της παρούσας προσέγγισης και όχι η αυστηρή αξιολόγηση κάθε φάσης του σχηματισμού ξεχωριστά περιγράφεται εν συντομία παρακάτω.

Η μάζα του εδάφους στην περιοχή του ενδιαφέροντος όπως προκύπτει από τις γεωτεχνικές έρευνες έχει τα ακόλουθα τέσσερα χαρακτηριστικά:

1. Αποσαθρωμένος βράχος που έχει αποδυναμωθεί μέχρι το δυναμικό σημείο του εδάφους και έχει την υφή χώματος
2. Συμπαγείς βραχώδεις όγκοι
3. Ασυνέχειες βράχων, των οποίων οι επιφανειακές ιδιότητες έχουν τροποποιηθεί ανάλογα με το υλικό του ίδιου του βράχου.
4. Ασυνέχειες οι οποίες έχουν την δυνατότητα να επιχωματωθούν με υλικό εδάφους.

Η αυστηρή μοντελοποίηση των παραπάνω προϋποθέσεων θα περιελάμβανε σοβαρές αβεβαιότητες ως προς τη γεωμετρία, και τη μηχανική συμπεριφορά και την αλληλεπίδραση που θα εκμηδένιζε κάθε πιθανή αξία μίας τέτοιας προσέγγισης.

Η εναλλακτική λύση είναι δημιουργία ενός ρεαλιστικού ισοδύναμου υλικού για τις απαιτήσεις της μοντελοποίησης. Έτσι με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία θεωρούμε ότι στην κατηγορία της βραχομάζας έχει ισοδύναμη γεωτεχνική συμπεριφορά.

Η πιο ευρέως τεκμηριωμένη μεθοδολογία για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς της βραχομάζας κάνει χρήση του χαρακτηριστικού «άρρηκτο πέτρωμα» το οποίο στη συνέχεια τροποποιείται σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης το οποίο αξιολογεί τη γενική κατάσταση της βραχομάζας.

Αυτές οι μέθοδοι παρέχουν ένα ορθολογικό τρόπο μείωσης των γεωτεχνικών παραμέτρων του άθικτου πετρώματος ώστε όπως προαναφέρθηκε να εκπροσωπεί την συνεχή βραχομάζα.

6 Συμπεριφορά των σχηματισμών κατά τις εργασίες διάνοιξης της σήραγγας

Σε τόσο μεγάλα έργα πολλές φορές οι συνθήκες που συναντώνται κατά την εκσκαφή δεν ταυτίζονται με τις συνθήκες που έχουν προβλεφτεί από τη μελέτη και τη γεωτεχνική έρευνα. Είναι πιθανόν να συναντήσουμε τόσο καλύτερη όσο και χειρότερη κατηγορία πετρώματος κατά την εκσκαφή γι αυτό συχνά τροποποιείται η μελέτη για να είναι δυνατή η εφαρμογή των κατάλληλων τεχνικών ανάλογα με τις συνθήκες που αντιμετωπίζονται. Στο συγκεκριμένο έργο κατά την εκσκαφή διαπιστώθηκε ότι το πέτρωμα παρουσιάζει καλύτερα χαρακτηριστικά από τα αναμενόμενα κι αυτό οδήγησε στη απόφαση να προστεθεί άλλη μία κατηγορία υποστήριξης η M_II και να καταργηθεί τελείως η M_IV τη θέση της στα τμήματα που αναμενόταν η εφαρμογή της κατέλαβε η κατηγορία M_III, επίσης σε ορισμένα τμήματα που προβλεπόταν δημιουργία ανάστροφου τόξου δεν έγινε γιατί διαπιστώθηκε ότι το πέτρωμα είναι αρκετά σκληρό και δεν υπήρχαν συγκλίνουσες τάσεις .

Αναλυτικότερα οι αιτίες που οδήγησαν στην αλλαγή αυτή απεικονίζονται παρακάτω όπως και οι φάσεις κατασκευής και οι λεπτομέρειες για της εργασίες που επιβάλει η εφαρμογή της κατηγορίας M_II.

6.1 Εισαγωγή της κατηγορίας M_II

Κατά τη φάση που η εκσκαφή είχε προχωρήσει για περίπου 180 – 200m από την πλευρά των ανατολικών εισόδων και περίπου 100 μέτρα από την πλευρά των δυτικών εισόδων στη δίδυμη σήραγγα. Στα πρώτα 30 – 50m από κάθε πλευρά, εφαρμόστηκε η κατηγορία M_III όπως είχε προβλεφτεί. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όμως το πέτρωμα που συναντήθηκε ήταν καλύτερο από εκείνο που υπολογίστηκε στην κατηγορία M_III. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντήθηκαν ήταν οι εξής:

- Μπλε μάργα καλύτερης ποιότητας και συμπεριφοράς ως προς την αντοχή από αυτή που είχε υπολογιστεί αρχικά.
- Στρώματα ψαμμιτών ή/και κροκαλοπαγών τα οποία έχουν γενικά μεγαλύτερη αντοχή από τους μαργαϊκούς σχηματισμούς και εμφανίζονται πιο συστηματικά και σε μεγαλύτερο πάχος και έκταση από ότι εκτιμήθηκε στον αρχικό σχεδιασμό.

Από την εμφάνιση αυτής της καλύτερης ποιότητας βραχομάζας πιο συστηματικά κατά την διάρκεια εκσκαφής, έγινε υποχρεωτική η διαμόρφωση μιας νέας κατηγορίας υποστήριξης που θα είναι πιο συμβατή με τις καινούργιες συνθήκες.

Η αντίστοιχη συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά μετατράπηκαν σε κριτήρια ποιότητας τα οποία προστέθηκαν στον ήδη υπάρχοντα σχεδιασμό, προκειμένου να ολοκληρωθεί ο πίνακας κριτηρίων αναγνώρισης κατηγοριών υποστήριξης (Πίνακας 5.1 σελ. 57), που χρησιμοποιείται για τη διάκριση των κατηγοριών υποστήριξης. Ο νέος πίνακας που προέκυψε λόγω της αλλαγής αυτής δίνεται στο παράθεμα 1.

Η πρόσθετη αυτή κατηγορία (κατηγορία M_II) για λόγους που συνδέονται με την ορθή πρακτική στη χρήση κατά τη διάρκεια της κατασκευής, καθώς όπως διαπιστώθηκε θα πρέπει να εναλλάσσεται με την κατηγορία M_III, κρίθηκε σκόπιμο να μην έχει σε μεγάλες διαφορές από την κατηγορία M_III, αν και θα ήταν δυνατό, σύμφωνα με τις συνθήκες και τα χαρακτηριστικά, της γεωμάζας να συμβαίνει αυτό. Έτσι, τα μέτρα υποστήριξης που εφαρμόστηκαν παρέμειναν σχεδόν τα ίδια με την κατηγορία M_III (ίδιο δίκτυο και μήκος των μπουλονιών, ίδιο τύπο και πάχος εκτοξευόμενου σκυροδέματος, ίδιο πάχος περιβλήματος και πλέγμα καθώς και ίδια δοκάρια πλαισίων), μόνο το μήκος του βήματος προχώρησης αυξήθηκε σε 2.0 - 2.5m (από 1,5 έως 2,0 m. για την κατηγορία M_III) για τη 1^η φάση. Σχετικές τροποποιήσεις ισχύουν επίσης και για τη 2^η φάση.

6.1.1 Γεωτεχνικές παράμετροι κατηγορίας υποστήριξης M_II

Για το σχεδιασμό των γεωτεχνικών παραμέτρων που αντιστοιχούν στην πρόσθετη κατηγορία M_II, έχουν χρησιμοποιηθεί τα ακόλουθα δεδομένα:

1. Στις δοκιμές αντοχής μονοαξονικής θλίψης για τις μπλε μάργες λαμβάνονται υπόψη τα αποτελέσματα από τα δείγματα βραχομάζας καλύτερης ποιότητας.
2. Στις δοκιμές αντοχής μονοαξονικής θλίψης για τους ψαμμίτη λαμβάνονται υπόψη επίσης αποτελέσματα από τα δείγματα καλύτερης ποιότητας.

Τα παραπάνω στοιχεία χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της σχετικής τιμής σ_{ci} ώστε να εφαρμοστούν στο κριτήριο αστοχίας Hoek & Brown. Από τα σχετικά γραφήματα και τα αποτελέσματα των δοκιμών, υπολογίζεται για το άρρηκτο

πέτρωμα ο συντελεστής E_i για όλα τα προαναφερόμενα δείγματα. Ακολουθούν τα αποτελέσματα από τα δείγματα αυτά της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη
Αναλυτικότερα για τις δύο λιθοφάσεις που επικρατούν στο συγκεκριμένο τμήμα της σήραγγας προκύπτουν τα ακόλουθα:

1. Μάργες:

$$\sigma_{ci} = 15 \text{ MPa}, \text{ GSI}=65$$

$$E_i = 2363 \text{ MPa} \text{ (μέση τιμή από τις δοκιμές)}$$

$$E_i \text{ μάργας} = 250 \times \sigma_{ci} = 250 \times 15 = 3750 \text{ MPa} \text{ (εμπειρικός υπολογισμός)}$$

2. Ψαμμίτες:

$$\sigma_{ci} = 17 \text{ MPa}, \text{ GSI}=80$$

$$E_i = 3124 \text{ MPa} \text{ (μέση τιμή από τις δοκιμές)}$$

$$E_i \text{ μάργας} = 250 \times \sigma_{ci} = 250 \times 17 = 4675 \text{ MPa} \text{ (εμπειρικός υπολογισμός)}$$

Η κατάταξη της βραχομάζας έγινε σε κάθε περίπτωση στο μέτωπο εκσκαφής (στις περιπτώσεις που οι συνθήκες είναι καλύτερες από αυτές που είχαν αρχικά προβλεφτεί).

Οι χαρακτηριστικές τιμές GSI για μάργες και ψαμμίτες είναι 65 και 80 αντίστοιχα.

Μετά από συντηρητική προσέγγιση προτείνονται οι ακόλουθες τιμές γεωτεχνικών παραμέτρων για τους σκοπούς των υπολογισμών:

$$c' = 400 \text{ kPa}, \quad \gamma = 23 \text{ kN/m}^3, \quad \varphi' = 40^\circ$$

$$E' = 2200 \text{ MPa}, \quad k_0 = 0.5 - 1.0$$

6.2 Διάσταση των μέτρων υποστήριξης

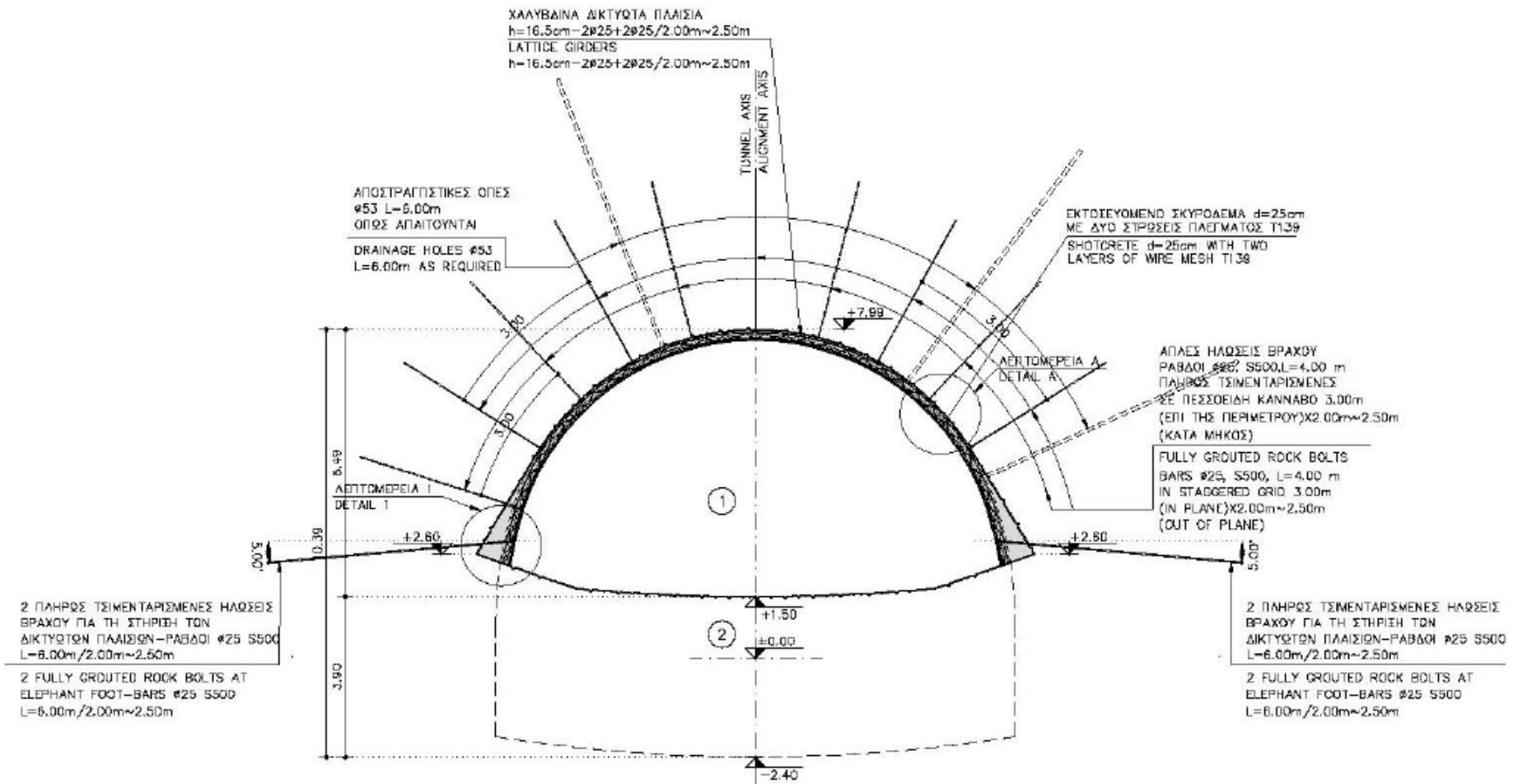
6.2.1 Κατηγορία M_{II}: Αρχικά μέτρα στήριξης

Η κατηγορία M_{II} δεν είχε προβλεφτεί στην αρχική μελέτη των κατηγοριών υποστήριξης αλλά προέκυψε κατά τη διάρκεια εκσκαφής της σήραγγας όπου διαπιστώθηκε ότι το πέτρωμα σε κάποια σημεία είναι καλύτερο από το προβλεπόμενο και μπορούμε να εφαρμόσουμε μία κατηγορία πιο «ελαφριά» από την M_{III}.

Τα στοιχεία της υποστήριξης που πρέπει να εφαρμοστούν καθώς και η σειρά των κατασκευών παρουσιάζονται αναλυτικά ως εξής:

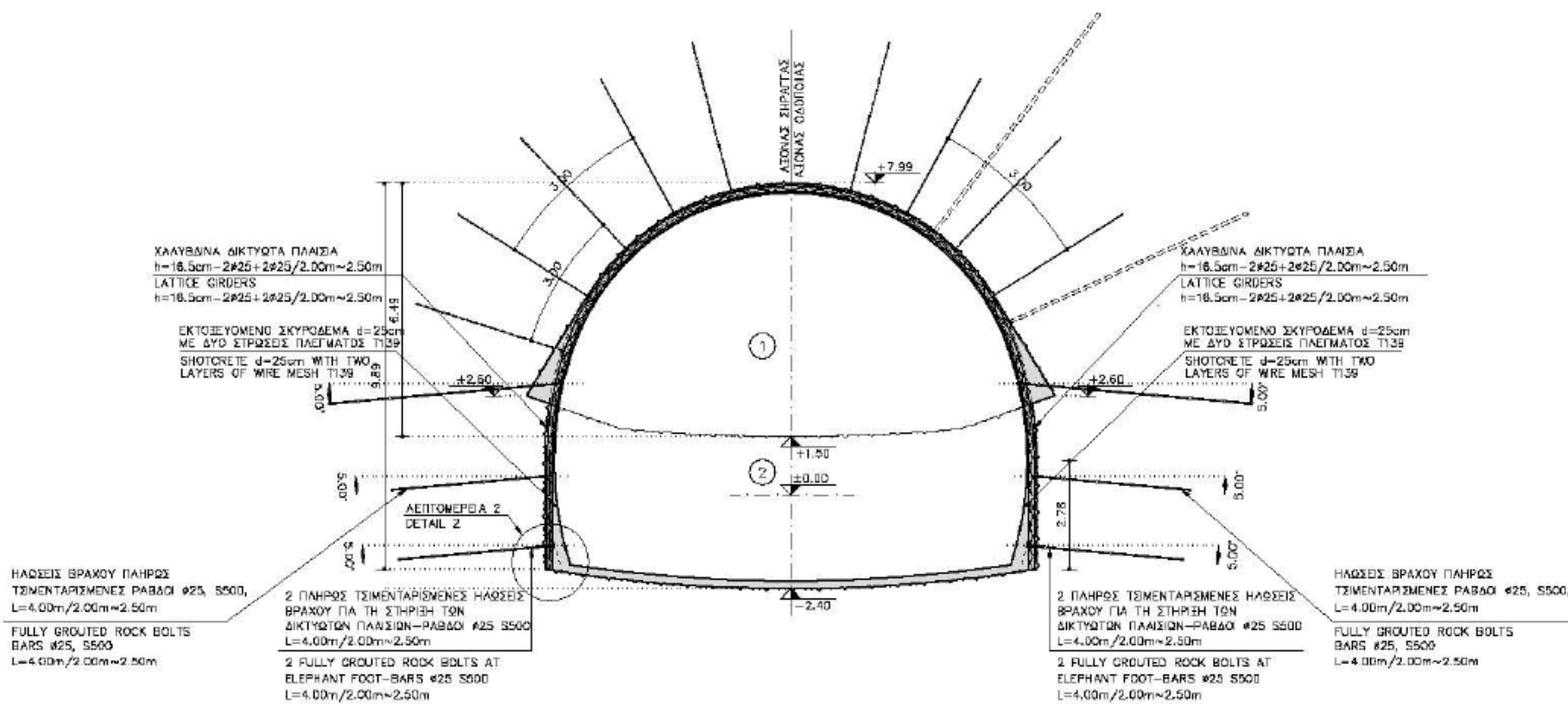
- Βήμα προχώρησης 2.0 – 2.5m για το θόλο και 3.0-4.0m για τη βαθμίδα
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με πάχος $d=25\text{cm}$ ενισχυμένο με δύο στρώματα από χαλύβδινο πλέγμα T139 (πλαϊνά τοιχώματα θόλου και βαθμίδας)
- Πλήρως γομωμένοι με τσιμεντένεμα ήλοι $\Phi 25$, S500s, $L=4\text{m}$, σε κানাβο πεσσοειδούς διάταξης 3.0m (επί της περιμέτρου) για κάθε βήμα προχώρησης
- Δικτυωτό πλαίσιο $h=165\text{mm}$ ($2\Phi 25 + 2\Phi 25$) για κάθε βήμα προχώρησης (θόλος σήραγγας και βαθμίδα)
- Ένα ζευγάρι πλήρως γομωμένων με τσιμεντένεμα ήλων για τη στήριξη των δικτυωτών πλαισίων (θόλος σήραγγας και βαθμίδα), $L=5.0\text{m}$
- Πλήρως γομωμένοι με τσιμεντένεμα ήλοι $L=4.0\text{m}$ στα πλαϊνά τοιχώματα της βαθμίδας για κάθε βήμα προχώρησης
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με πάχος 20cm ενισχυμένο με δύο στρώματα από χαλύβδινο πλέγμα T139 στο ανάστροφο τόξο
- Τοποθέτηση αποστραγγιστικών οπών (στο μέτωπο και στην περίμετρο της εκσκαφής όπως απαιτείται).

Στα επόμενα 2 σχήματα (Σχήματα 6.1 και 6.2) αποτυπώνονται οι τομές της κατηγορίας υποστήριξης M_III για κάθε φάση κατασκευής της. Όπως φαίνεται οι φάσεις κατασκευής της κατηγορίας είναι 2. Στο σχήμα 6.3 δίνεται μία διαμήκης τομή τμήματος της ίδιας κατηγορίας.



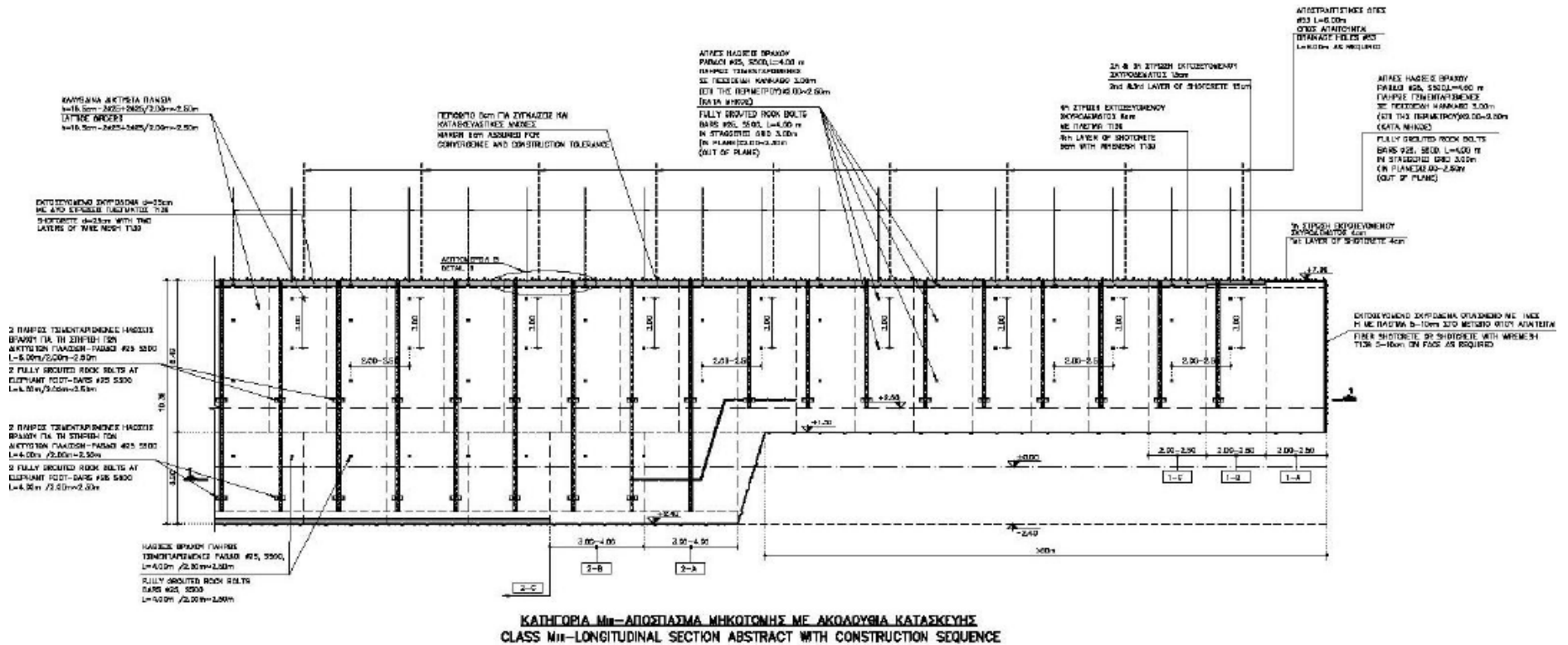
Σχήμα 6.1: Κατηγορία υποστήριξης M_II

1^η Φάση



Σχήμα 6.2: Κατηγορία υποστήριξης M_{II}

2^η Φάση



Σχήμα 6.3: Κατηγορία υποστήριξης M_{II}

Διαμήκης τομή

6.2.2 Κατηγορία υποστήριξης M II – Διαδικασία κατασκευής Φάση 1^η

Κατά τη φάση αυτή θα γίνει πρώτα:

1 – Α Εφαρμογή 1^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 4 cm

Στη συνέχεια θα ακολουθήσουν:

1 – Β Τοποθέτηση πλεγμάτων T139

Τοποθέτηση δικτυωτών πλαισίων

Εγκατάσταση ηλώσεων στο θόλο

Εφαρμογή 2^{ης} και 3^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 cm

Εγκατάσταση ηλώσεων στήριξης δικτυωτών πλαισίων

Και τέλος θα γίνει:

1 – C Τοποθέτηση πλεγμάτων T139 και

Εφαρμογή 4^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 6 cm

Φάση 2^η

Κατά τη φάση αυτή θα γίνει πρώτα:

2 – Α Εφαρμογή 1^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 4 cm

Στη συνέχεια θα ακολουθήσουν:

2 – Β Τοποθέτηση πλεγμάτων T139

Τοποθέτηση δικτυωτών πλαισίων

Εγκατάσταση ηλώσεων στα πλευρικά τοιχώματα

Εφαρμογή 2^{ης} και 3^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 15 cm

Εγκατάσταση ηλώσεων στήριξης δικτυωτών πλαισίων

Τοποθέτηση πλεγμάτων T139

Εφαρμογή 4^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 6 cm

Και τέλος θα γίνει:

2 – C Σκυροδέτηση εκτοξευόμενου σκυροδέματος δαπέδου (ανάστροφο τόξο)

6.3 Αρχικά μέτρα υποστήριξης και αναλογίες:

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω αρχικά είχαν δημιουργηθεί τρεις κατηγορίες υποστήριξης (M_III, M_IV, M_V) όμως κατά τη διάρκεια της εκσκαφής δημιουργήθηκε η ανάγκη δημιουργίας μίας ακόμα κατηγορίας της M_II διότι διαπιστώθηκε ότι το πέτρωμα είχε καλύτερη ποιότητα και μεγαλύτερη αντοχή από αυτή που είχε αρχικά προβλεφτεί έτσι η κατηγορία M_II αντικατέστησε ουσιαστικά την κατηγορία M_III και η M_III την M_IV η οποία καταργήθηκε.

6.3.1 Προβλεπόμενα μέτρα υποστήριξης:

Η κατηγορία M_III εφαρμόστηκε σε:

394.5 m στον αριστερό κλάδο και

375m στον δεξιό κλάδο

Η κατηγορία M_IV εφαρμόστηκε σε:

535.6m στον αριστερό κλάδο και

520m στον δεξιό κλάδο

Η κατηγορία M_V εφαρμόστηκε σε:

258.9m στον αριστερό κλάδο και

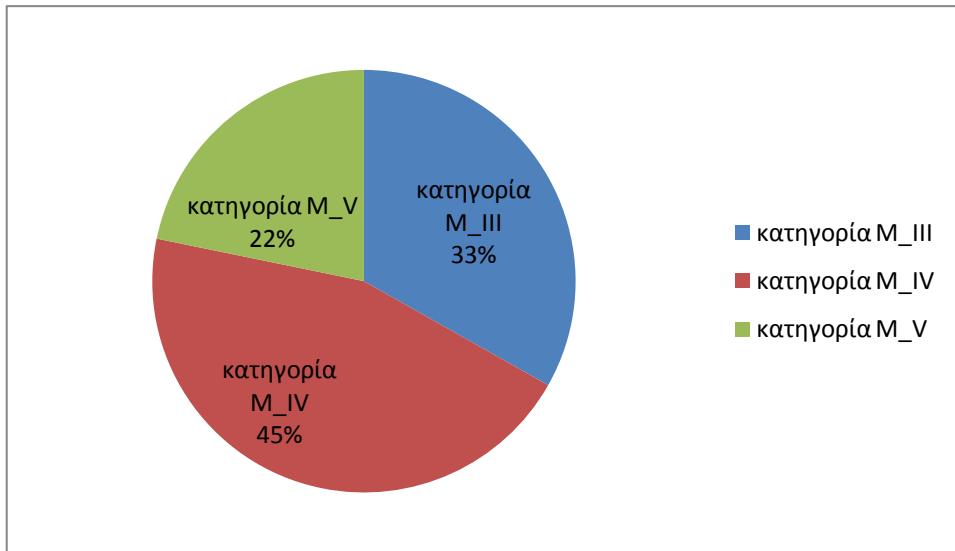
265m στον δεξιό κλάδο

Πίνακας 6.1: Σύνοψη διαστάσεων κάθε κατηγορίας προβλεπόμενων μέτρων υποστήριξης

	Κατηγορία M_III	Κατηγορία M_IV	κατηγορία M_V
Αριστερός κλάδος	394,5	535,6	258,9
Δεξιός κλάδος	375	520	265
	769,5	1055,6	523,9

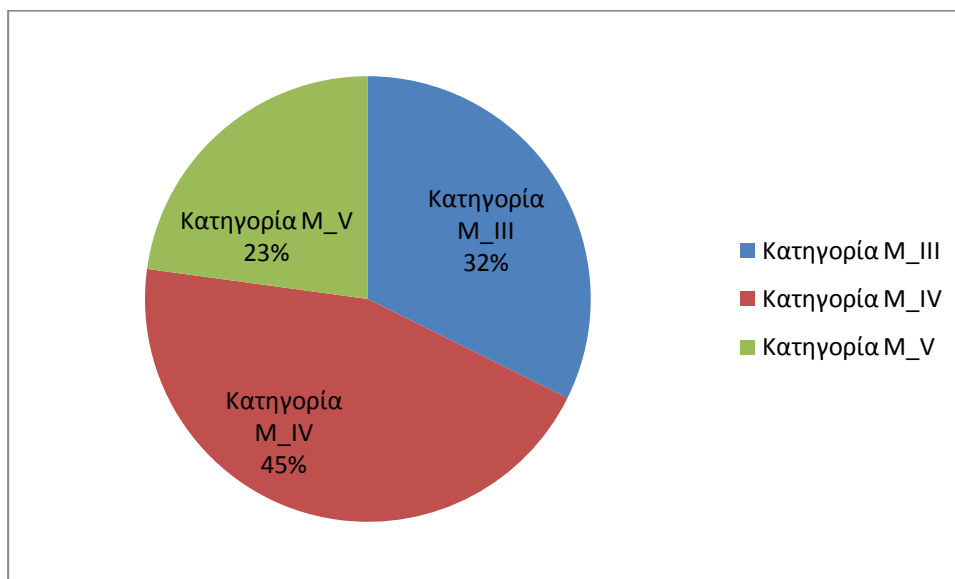
Τα παραπάνω νούμερα αφορούν τη συνολική έκταση της σήραγγας μαζί με το χώρο πλευρικής στάθμευσης.

Το συνολικό μήκος του αριστερού κλάδου μαζί με το χώρο πλευρικής στάθμευσης είναι 1189m από τα οποία το 33% καλύπτεται από την κατηγορία M_III, το 45% από την κατηγορία M_IV και το 22% από την κατηγορία M_V. Τα παρακάτω αποτελέσματα φαίνονται σχηματικά στην εικόνα 6.1



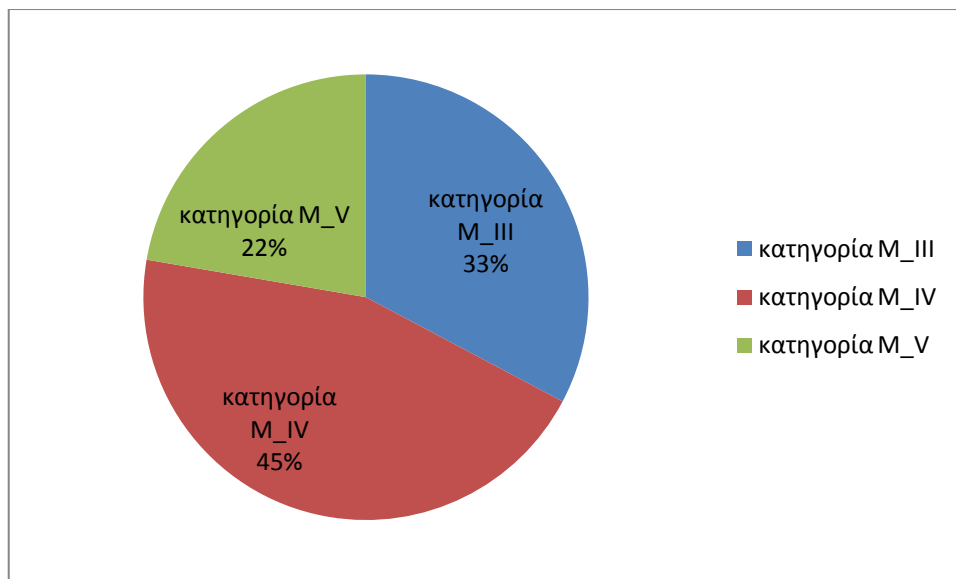
Εικόνα 6.1: Αναλογία προβλεπόμενων μέτρων υποστήριξης στον αριστερό κλάδο

Το συνολικό μήκος του δεξιού κλάδου μαζί με το χώρο πλευρικής στάθμευσης είναι 1160m από τα οποία το 32% καλύπτεται από την κατηγορία M_III, το 45% από την κατηγορία M_IV και το 23% από την κατηγορία M_V. Τα παρακάτω αποτελέσματα φαίνονται σχηματικά στην εικόνα 6.2



Εικόνα 6.2: Αναλογία προβλεπόμενων μέτρων υποστήριξης στον δεξιό κλάδο

Η επόμενη εικόνα 6.3 μας δείχνει την αναλογία με την οποία αρχικά είχαν προβλεφτεί να χρησιμοποιηθούν τα μέτρα υποστήριξης στο συνολικό μήκος και των δύο κλάδων μαζί



Εικόνα 6.3: Αναλογία μέτρων υποστήριξης και στους 2 κλάδους συνολικά

6.3.2 Τελικά μέτρα υποστήριξης και αναλογίες:

Λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές στη χρήση κατηγοριών υποστήριξης και την εφαρμογή της κατηγορίας M_II προέκυψαν τελικά οι εξής συνθήκες εφαρμογής:

Η κατηγορία M_II εφαρμόστηκε σε:

434m στον αριστερό κλάδο και

481m στον δεξιό κλάδο

Η κατηγορία M_III εφαρμόστηκε σε:

647m στον αριστερό κλάδο και

556m στον δεξιό κλάδο

Η κατηγορία M_V εφαρμόστηκε σε:

56m στον αριστερό κλάδο και

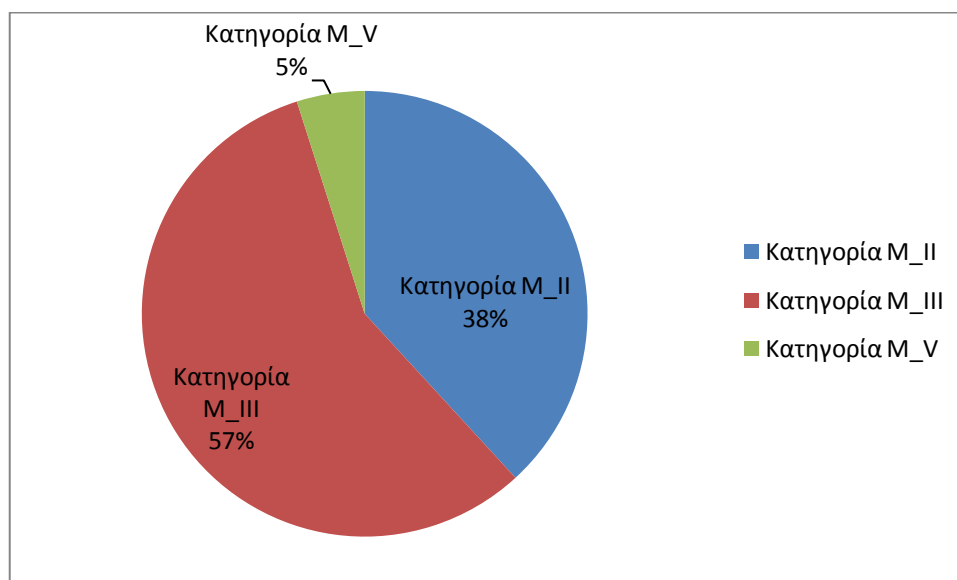
72m στον δεξιό κλάδο

Πίνακας 6.2: Σύνοψη διαστάσεων κάθε κατηγορίας τελικών μέτρων υποστήριξης

	Κατηγορία M_II	Κατηγορία M_III	Κατηγορία M_V
Αριστερός κλάδος	434	647	56
Δεξιός κλάδος	481	556	72
	915	1203	128

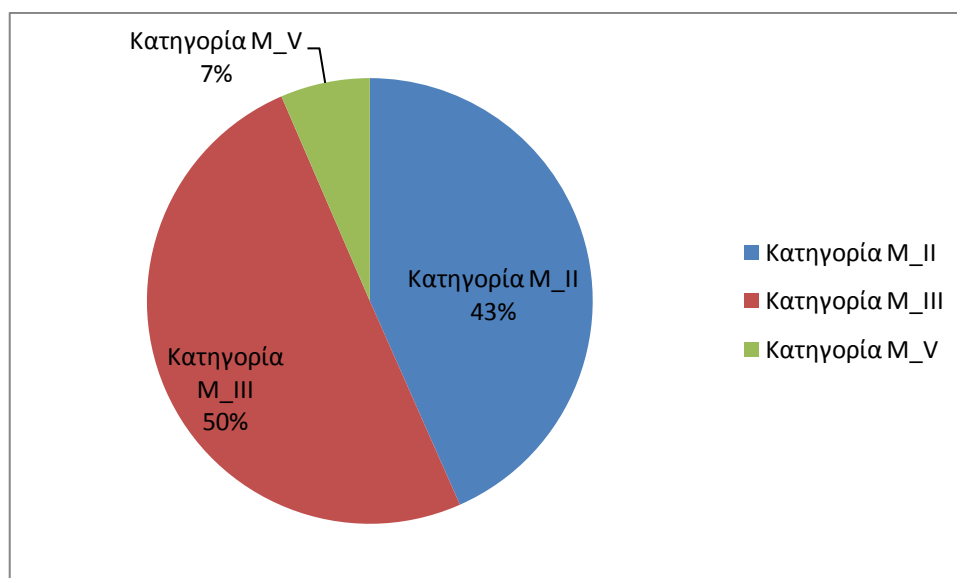
Τα παραπάνω νούμερα αφορούν τη συνολική έκταση της σήραγγας εκτός από το χώρο πλευρικής στάθμευσης όπου δεν άλλαξε τίποτα.

Το συνολικό μήκος του αριστερού κλάδου χωρίς τον πλευρικό χώρο στάθμευσης είναι 1137m από τα οποία το 38% καλύπτεται από την κατηγορία M_II, το 57% από την κατηγορία M_III και το 5% από την κατηγορία M_V. Τα παρακάτω αποτελέσματα φαίνονται σχηματικά στην εικόνα 6.4



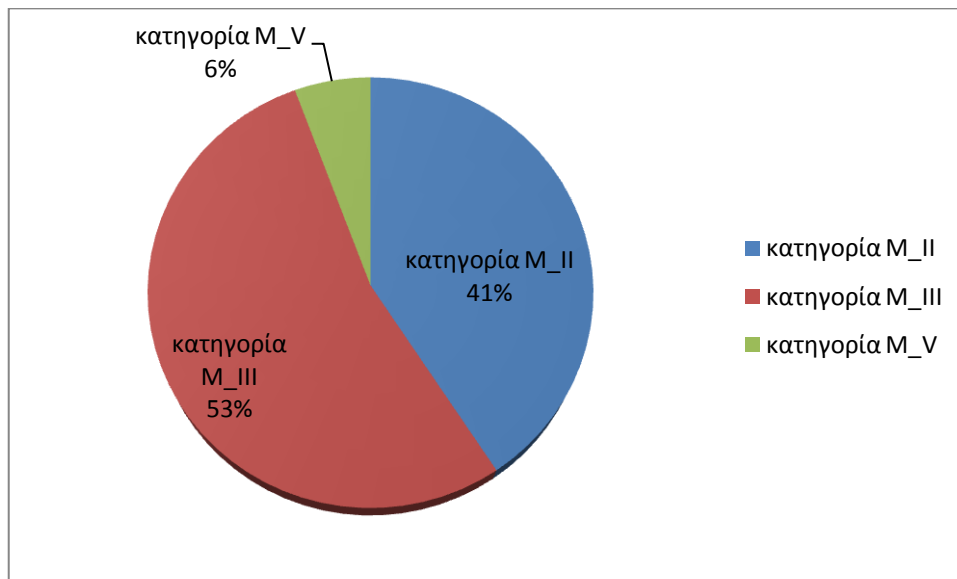
Εικόνα 6.4: Αναλογία μέτρων υποστήριξης στον αριστερό κλάδο

Το συνολικό μήκος του δεξιού κλάδου χωρίς τον πλευρικό χώρο στάθμευσης είναι 1109m από τα οποία το 43% καλύπτεται από την κατηγορία M_II, το 50% από την κατηγορία M_III και το 7% από την κατηγορία M_V. Τα παρακάτω αποτελέσματα φαίνονται σχηματικά στην παρακάτω εικόνα (6.5)



Εικόνα 6.5: Αναλογία μέτρων υποστήριξης στον δεξιό κλάδο

Η επόμενη εικόνα (6.6) μας δείχνει την αναλογία με την οποία χρησιμοποιήθηκαν τα μέτρα υποστήριξης στο συνολικό μήκος και των δύο κλάδων μαζί



Πίνακας 6.6: Αναλογία μέτρων υποστήριξης και στους 2 κλάδους συνολικά

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω η κατηγορία M_IV καταργείται εντελώς αφού ο σχηματισμός για το οποίο προοριζόταν παρουσίασε καλύτερη ποιότητα από την προβλεπόμενη. Τη θέση της κατηγορίας M_IV κατέλαβε τελικά η κατηγορία M_III και μεγάλο μέρος της κατηγορίας αυτής αντικαταστάθηκε από την νέα κατηγορία την M_II. Επίσης φαίνεται ξεκάθαρα ότι η έκταση της κατηγορίας M_V έχει μειωθεί πάρα πολύ και περιορίζεται πλέον μόνο στις περιοχές των εισόδων των κλάδων.

7 Συμπεράσματα

Η δίδυμη σήραγγα T11 «Μαύρα Λιθάρια» αποτελεί ένα μεγάλο σε έκταση έργο. Στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύθηκε η μελέτη καθώς και ο τρόπος με τον οποίο συλλέχθηκαν τα στοιχεία που οδήγησαν στον σχεδιασμό των μέτρων υποστήριξης της δίδυμης σήραγγας.

Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκε η γεωλογική μελέτη της περιοχής κατασκευής της σήραγγας και ακολούθησε το γεωτρητικό πρόγραμμα (ερευνητικές γεωτρήσεις) που φανέρωσε ότι η σήραγγα θα κατασκευαστεί κυρίως σε στρώματα μαργαϊκών σχηματισμών διαφόρων χρωμάτων, ενώ θα συναντηθούν επίσης και άλλοι σχηματισμοί, όπως κροκαλοπαγή και κορήματα.

Ύστερα από την αξιολόγηση της τεχνικογεωλογικής και γεωτεχνικής συμπεριφοράς των σχηματισμών αυτών ακολούθησε ο σχεδιασμός των μέτρων υποστήριξης. Ειδικότερα, σε έργα τέτοιας κλίμακας είναι σαφές ότι η γεωλογική μελέτη κόστους καλύπτει μόνο συγκεκριμένες θέσεις του έργου σε σχέση με τη συνολική του έκταση. Συνεπώς, κατά τη διάρκεια των εργασιών είναι δυνατόν να προκύψουν συνθήκες οι οποίες δεν είχαν προβλεφθεί στην αρχική μελέτη. Αυτό επιφέρει σημαντικές περαιτέρω διορθώσεις αλλά και προσθήκες. Συνήθως οι συνθήκες που συναντώνται και δεν συμπίπτουν με τις συνθήκες που αρχικά αναμένονται, τείνουν να είναι δυσμενέστερες των αρχικών. Έτσι η τροποποίηση τους παρουσιάζει σοβαρές οικονομικές συνέπειες καθώς και γενικότερες δυσχέρειες στην εκτέλεση των αλλαγών.

Στο συγκεκριμένο έργο, εντούτοις, συνέβη το αντίθετο. Οι συνθήκες κατά την εκσκαφή της σήραγγας αποκάλυψαν ότι οι σχηματισμοί μέσα από τους οποίους θα περάσει η σήραγγα είναι καλύτερης ποιότητας από την αρχικώς προβλεπόμενη. Κάτι τέτοιο, επιφέρει τροποποίηση της αρχικής μελέτης προς ευνοϊκότερες συνθήκες. Η αρχική μελέτη συνεπώς τροποποιήθηκε και εδώ προκειμένου τα μέτρα υποστήριξης να ανταποκριθούν στις πραγματικές συνθήκες του πετρώματος, για την οικονομία του έργου χωρίς να διαταράσσεται η ασφάλεια του.

Οι καινούργιες συνθήκες είχαν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία μίας επιπλέον κατηγορίας υποστήριξης από τις τρεις συνολικά που προέβλεπε η αρχική μελέτη (M_III, M_IV, M_V).

Αναλυτικότερα, η καινούργια κατηγορία (M_II) εμφανίζει πολλά κοινά στοιχεία με την κατηγορία M_III την οποία και αντικαθιστά σε μεγάλο βαθμό. Προκειμένου να διευκολυνθεί τόσο η κατασκευή όσο και η προσαρμογή στις νέες συνθήκες και κατασκευαστικές αλλαγές, η ποιότητα και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την καινούργια κατηγορία δεν διαφοροποιήθηκαν από την κατηγορία M_III, δηλαδή χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια βλήτρα, ο ίδιος τύπος και πάχος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, το ίδιο πάχος του περιβλήματος και του πλέγματος και τέλος, τα ίδια δοκάρια των πλαισίων.

Η ένταξη της νέας αυτής κατηγορίας στο σχεδιασμό προκάλεσε ταυτόχρονα την κατάργηση μιας άλλης κατηγορίας, της M_IV. Η κατηγορία αυτή στο μεγαλύτερο βαθμό αντικαταστάθηκε από την M_III και η χρήση της πιο ενισχυμένης κατηγορία (M_V) περιορίστηκε μόνο στις εισόδους της σήραγγας. Σε πολλά σημεία κατά τη διάρκεια κατασκευής αποφεύχθηκε τόσο η δημιουργία όσο και η σκυροδέτηση ανάστροφου τόξου, όπως προβλεπόταν από τη μελέτη διότι το έδαφος σε εκείνο το σημείο διαπιστώθηκε ότι ήταν βράχος καλής ποιότητας. Συνοπτικά, οι καινούργιες κατηγορίες που εφαρμόστηκαν τελικά είναι οι κατηγορίες M_II, M_III και M_V με διαφοροποιήσεις στο μήκος ανάλογα με την κάθε κατηγορία.

Εν κατακλείδι, προκύπτει ότι οι γεωλογικές συνθήκες τόσο από πλευράς τεκτονικής όσο και από πλευράς τεχνικογεωλογικών συνθηκών συνέβαλλαν καίρια ώστε η βραχομάζα να παρουσιάσει ποιοτικά καλύτερη συμπεριφορά από αυτήν που αναμενόταν με συνέπεια την εξασφάλιση ασφαλέστερης και οικονομικότερης κατασκευής.

Βιβλιογραφία

- Armijo R., Meyer B., King G., Rigo A., Papanastassiou D., 1996. Quaternary evolution of the Corinth Rift and its implications for the Late Cenozoic evolution of the Aegean. *Geophys. J. Int.*, 126, 11-53.
- Avallone A., Briole P., Agatza-Balodimou A.M., Billiris H., Charade O., Mitsakaki CH., Nercessian A., Papazissi K., Paradissis D., Veis G., 2004. Analysis of eleven years of deformation measured by GPS in the Corinth Rift Laboratory area. *C. R. Geoscience*, 336, 306-311.
- Palyvos N., Lemeille F., Sorel D., Pantosti D., Pavlopoulos K., 2008. Geomorphic and biological indicators of paleoseismicity and Holocene uplift rate at a coastal normal fault footwall (western Corinth Gulf, Greece). *Geomorphology* 96, 16–38
- Pirazzoli P.A., Stiros S.C., Fontunge M. & Arnold M., 2004. Holocene and Quaternary uplift in the central part of the southern coast of the Corinth Gulf (Greece). *Mar. Geol.* 212, 35–44
- Rigo A., 1994. Etude sismotectonique et geode'sique du Golfe de Corinthe (Grèce). PhD thesis, Paris VI
- Sorel D., 2000. Greece. *Geology*, 28/1, 83–86.
- Αξιολόγηση ενεργών ρηγμάτων σε σχέση με τη σήραγγα «Μαύρων Λιθαριών» του υτοκινητόδρομου Κορίνθου – Πατρών, Όμιλος Τεχνικών Μελετών, Αθήνα 2008
- Δίδυμες σήραγγες περιοχής «Μαύρα Λιθάρια», Έκθεση παρουσίασης και αξιολόγησης αποτελεσμάτων γεωτεχνικής έρευνας, Όμιλος Τεχνικών Μελετών, Αθήνα 2007
- Σήραγγα 11 «Μαύρα Λιθάρια», Εκσκαφή και προσωρινή υποστήριξη – Τεχνική έκθεση – Υπολογισμοί, Όμιλος Τεχνικών Μελετών, Αθήνα 2008
- Σήραγγα 11 «Μαύρα Λιθάρια», Εκσκαφή και προσωρινή υποστήριξη – Πρόσθετοι υπολογισμοί κατηγορίας M_II, Όμιλος Τεχνικών Μελετών, Αθήνα 2009

Διαδικτυακοί τόποι

- www.olympiaodos.gr
- <http://maps.google.com/>
- <http://translate.google.com>
- <http://www.michanikos.gr>
- <http://www.edrasis.gr>
- <http://www.jp-avax.gr/>
- <http://www.igme.gr>
- <http://en.wikipedia.org>