ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική εργασία

Καθιζήσεις κατά την διάνοιξη της σήραγγας μετρό στο τμήμα Αιγάλεω-Χαϊδάρι

ΜΟΙΡΑΓΙΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ – ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής
Α. Σοφιανός

ΑΘΗΝΑ 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα……2
Πρόλογος……8
Περίληψη……9
1.Εισαγωγή.....10
1.1 Ο σκοπός του έργου.....10
1.2 Πρόοδος του Έργου.....12
2.Στοιχεία του έργου.....16
2.1 Γεωτεχνικά στοιχεία.....16
2.1.1 Τεκτονική.....21
2.1.2 Σεισμικότητα.....23
2.2 Καθεστώς Υπογείων Υδάτων.....23
2.3 Διαπερατότητα Εδάφους.....26
2.4 Γεωτεχνικές Συνθήκες Κατά Μήκος της Σήραγγας.....31
2.4.1 Παρατηρήσεις στη Μεθοδολογία Προσδιορισμού Γεωτεχνικών Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΓΠΣ).....36
2.4.2 Συντελεστής Ουδέτερων Ωθήσεων Γαιών.....41
2.5 Γεωτεχνικές Τομές Σχεδιασμού (ΓΤΣ).....42
3. Μελέτη της κατασκευής.....49
3.1 Διάνοιξη και προσωρινή υποστήριξη.....50
3.2 Παραδοχές Σχεδιασμού.....52
3.2.1 Κανονισμοί.....52
3.2.2 Φορτία.....52
3.2.3 Υλικά.....53
3.3 Μέτρα προσωρινής υποστήριξης.....53
3.3.1 Γενικές αρχές σχεδιασμού διάνοιξης - υποστήριξης.....53
3.3.2 Κατηγορίες υποστήριξης σήραγγας διατομής τριπλής γραμμής.....54
3.3.2.1 Κατηγορία SC.....54
3.3.2.2 Κατηγορία SD.....55
3.3.2.3 Κατηγορία SE.....56
3.3.2.4 Κατηγορία SSR.....57
3.3.3 Κατηγορίες υποστήριξης σήραγγας διατομής διπλής γραμμής.....59
3.3.3.1 Κατηγορία SC.....59

3.3.3.2 Κατηγορία SD.....59
3.3.3.3 Κατηγορία SE.....60
3.3.4 Μέτρα υποστήριξης μετώπου εκσκαφής.....61
3.3.5 Κριτήρια επιλογής κατηγορίας υποστήριξης.....71
3.4 Στάδια προσομοίωσης……..…75

4. Κατασκευή της Σήραγγας.....80
4.1 Μεθοδολογία εκσκαφής σηράγγων με συμβατικά μηχανικά μέσα (N.A.T.M)……81
4.1.1 Ορισμός N.A.T.M.....81
4.1.2 Αντικείμενο - πεδίο εφαρμογής.....82
4.1.3 Περιγραφή της μεθόδου…….....83
4.1.4 Εκσκαφή.....83
4.1.5 Διαχείριση προϊόντων εκσκαφής.....87
4.1.6 Συστήματα και εγκαταστάσεις…….....87
4.1.7 Εξοπλισμός …….....88
4.1.8 Προσωπικό …….....90
4.1.9 Υλικά…..... …….....91
4.2 Κατασκευαστική διαδικασία.....91
4.2.1 Μεθοδολογία εγκατάστασης δοκών προπορείας.....92
4.2.1.1 Προετοιμασία πεδίου.....92
4.2.1.2 Περιγραφή της μεθόδου – Κατασκευή.....92
4.2.1.3 Εξοπλισμός.....95
4.2.2 Μεθοδολογία κατασκευής εδαφικών ηλώσεων.....97
4.2.2.1 Αντικείμενο.....97
4.2.2.2 Περιγραφή της μεθόδου – Κατασκευή…….....97
4.2.2.3 Εξοπλισμός…… 100
4.2.2.4 Υλικά ……..…….....100
4.3 Μεθοδολογία εκτοξευόμενου σκυροδέματος.....102
4.3.1 Περιγραφή τις μεθόδου.....102
4.3.2 Εξοπλισμός …….....104
4.3.3 Υλικά…..... …….....104
4.4 Μεθοδολογία εγκατάστασης χαλύβδινων δικτυωτών / πλαισιωτών υποστηριγμάτων.....107
4.4.1 Προετοιμασία πεδίου.....107

4.4.2 Περιγραφή της μεθόδου – Κατασκευή.....107
4.4.3 Εξοπλισμός …….....108
5. Οι μετακινήσεις στην επιφάνεια (καθηζήσεις)……114
5.1 Γενικά……..……..114
5.2 Καταβιβασμός υδροφόρου ορίζοντα και εκτίμηση καθιζήσεων……..115
5.2.1 Γενικά……115
5.2.2 Αριθμητικό προσομοίωμα……116
5.2.3 Ιδιότητες……117
5.2.4 Αποτελέσματα……..118
5.3 Εκτίμηση Παροχής Αντλήσεων και Ταπείνωσης Υπογείου Ορίζοντα..123
5.4 Εφαρμογή: Εκτίμηση Ακτίνας Επιρροής, Καθιζήσεων και Παροχής στη Σήραγγα Λόγω Ταπείνωσης του Υπογείου Ορίζοντα……..125
5.5 Καθιζήσεις στην επιφάνεια……..……128
5.6 Γεωμηχανική και Δομητική Παρακολούθηση (ΓΔΠ)……..……..……..133
5.6.1 Γενικά……..……..133
5.7 Γεωμηχανική και Δομητική Παρακολούθηση περιβάλλοντος εδάφους, επιφάνειας, κτηρίων και κατασκευών της ζώνης επιρροής του έργου……..……..135
5.7.1 Μετρήσεις στάθμης υπογείων υδάτων……..……..135
5.7.2 Μετρήσεις κατακόρυφων μετακινήσεων σε βάθος……..135
5.8 Θέσεις τοποθέτησης……137
5.9 Όργανα γεωτεχνικής παρακολούθησης σηράγγων……138
5.9.1 Κυψέλες μέτρησης πίεσης……138
5.9.2 Μετρητές φορτίου αγκυρίων……..……139
5.9.3 Πιεζόμετρα……140
5.10 Μέτρηση της πίεσης ……..…141
5.11 Παρουσίαση αποτελεσμάτων μετρήσεων ΓΔΠ……142
Συμπεράσματα……147
Βιβλιογραφία……149
Παράρτημα……..……152

Περιεχόμενα Σχημάτων

Σχήμα 1: Στάδια προσομοίωσης κατηγορίας σχεδιασμού SC ……78
Σχήμα 2: Στάδια προσομοίωσης Κατηγορίες σχεδιασμού SD και SE και SSR……..78
Σχήμα 3: Διάνοιξη Σήραγγας σε φάσεις……..82
Σχήμα 4: Μόνιμη επένδυση τυπικής διατομής σήραγγας με διπλή τροχιά……110
Σχήμα 5 : Κάνναβος πεπερασμένων διαφορών για τις αναλύσεις ροής……120
Σχήμα 6: Ταπεινωμένη στάθμη υδροφόρου ορίζοντα μετά την εκσκαφή της σήραγγας……..……120
Σχήμα 7: Διάγραμμα κατανομής πίεσης πόρων ……..…121
Σχήμα 8: Ισοδυναμικές γραμμές ροής (Energy head)……121
Σχήμα 9: Διάγραμμα εισροών –εκροών συναρτήσει του χρόνου……122
Σχήμα 10: Εισροές υπογείων υδάτων στη σήραγγα, Kolymbas, D. & Wagner, P. (2006)……122
Σχήμα 11: Καμπύλη καθιζήσεων στην επιφάνεια του εδάφους λόγω καταβιβασμού του υδροφόρου ορίζοντα ……123
Σχήμα 12: Καμπύλες καθιζήσεων - Κατηγορία SC ……..……131
Σχήμα 13: Καμπύλες καθιζήσεων - Κατηγορία SD ……..……..131
Σχήμα 14: Καμπύλες καθιζήσεων - Κατηγορία SE ……..132
Σχήμα 15: Καμπύλες καθιζήσεων - Κατηγορία SSR……..……132
Σχήμα 16 : διατομή γεωτεχνικής παρακολούθησης σήραγγας ……137
Σχήμα 17: πιεζόμετρα εταιρείας SISGEO (Cassagrande & drive in)……..140

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Ιεράρχηση κατα τον γεωλογικό δείκτη αντοχής (GSI)……18
Πίνακας 2: Στάθμες υπογείων υδάτων……..24
Πίνακας 3: Γεωτρήσεις……27
Πίνακας 4: Σχηματισμοί……33
Πίνακας 5: Αθηναϊκός Σχιστόλιθος Τμήμα Α –Γεωτεχνικές τομές Σχεδιασμού και παράμετροι……43
Πίνακας 6 : Νεογενή Τμήμα Β Γεωτεχνικές Τομές Σχεδιασμού και παράμετροι……44
Πίνακας 7 : Νεογενή Γεωτεχνικές Τομές Σχεδιασμού και Παράμετροι…….46
Πίνακας 8 : Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι Τομές Σχεδιασμού και Παράμετροι……47
Πίνακας 9 : Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι Τομές Σχεδιασμού και Παράμετροι…….48
Πίνακας10: Στοιχεία Διάνοιξης και Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης Σήραγγας τριπλής Γραμμής – Κατηγορία SC……64
Πίνακας11: Στοιχεία Διάνοιξης και Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης Σήραγγας τριπλής γραμμής– Κατηγορία SD……..……65
Πίνακας12: Στοιχεία Διάνοιξης και Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης Σήραγγας τριπλής γραμμής– Κατηγορία SE……..66
Πίνακας13: Στοιχεία Διάνοιξης και Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης Σήραγγας τριπλής γραμμής– Κατηγορία SSR…….……67
Πίνακας 14: Στοιχεία Διάνοιξης και Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης Σήραγγας διπλής Γραμμής SC……..……68
Πίνακας 15: Στοιχεία Διάνοιξης και Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης Σήραγγας Διπλής Γραμμής– Κατηγορία SD……69
Πίνακας 16: Στοιχεία Διάνοιξης και Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης Σήραγγας Διπλής Γραμμής – Κατηγορία SE……..70
Πίνακας 17: Κατηγορίες επιλογής μέτρων κατηγορίας προσωρινής υποστήριξης……72
Πίνακας 18: Στάδια προσομοίωσης - Κατηγορία ανάλυσης SC……..……75
Πίνακας 19: Στάδια προσομοίωσης - Κατηγορία ανάλυσης SD……..……76
Πίνακας 20: Στάδια προσομοίωσης - Κατηγορίες ανάλυσης SE/SSR……..……77
Πίνακας 21: Μέγιστες καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους……...130

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1 :Χάρτης κυριότερων ρηγμάτων Αττικής κατά Poll& Theodoropoulos.22
Εικόνα 2: Κάλυψη των διαφόρων κατηγοριών βραχομάζας από την εμπειρική βάση των Hoek & Diederichs 2005……..40
Εικόνα 3: Αρίθμηση των θέσεων όπου θα διατρηθούν οπές για την τοποθέτηση των δοκών προπορείας…….96
Εικόνα 4: Διάτρηση οπών στο μέτωπο για τη τοποθέτηση δοκών προπορείας.96
Εικόνα 5: Τοποθέτηση δοκών προπορείας……..…96
Εικόνα 6: Διάτρηση οπών στο μέτωπο για την τοποθέτηση αγκυρίων ινών υάλου……..97
Εικόνα 7:Αγκύρια ινών υάλου……..…100
Εικόνα 8: Εφαρμογή 1ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο μέτωπο.102
Εικόνα 9: Επιφάνεια έδρασης……105
Εικόνα 10 : Αγκυρώσεις, πλαίσια, πλέγμα έσω παρειάς……106
Εικόνα 11: Χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια……..107
Εικόνα 12: Τοποθέτηση Γεωυφάσματος (PVC)……..111
Εικόνα 13: Αυτοκινούμενος μηχανικός αναδευτήρας (βαρέλα)……112
Εικόνα 14: Όψη Μεταλλότυπου……112
Εικόνα 15: Κυψέλη πίεσης SISGEO για NATM……130

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε με σκοπό να περιγράψει τη διάνοιξη της σήραγγας του Μετρό από το Αιγάλεω προς το Χαϊδάρι, που αποτελεί επέκταση της υφιστάμενης Γραμμής 3.

Στην εργασία περιγράφονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί μέσα στους οποίους γίνεται η διάνοιξη της σήραγγας, οι γεωτεχνικές παράμετροι που ελήφθησαν υπόψη κατά τον σχεδιασμό της σήραγγας, η μέθοδος διάνοιξης και τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης.

Ακόμα, περιγράφεται η κατασκευαστική διαδικασία με τις επιμέρους εργασίες, καθώς και η παρακολούθηση της συμπεριφοράς της σήραγγας μέσω του προγράμματος της γεωμηχανικής παρακολούθησης.

Επίσης, έγινε προσπάθεια για την καταγραφή και ανάλυση των μετακινήσεων στην επιφάνεια κατά την εκτέλεση των επιμέρους εργασιών, με σχήματα και πίνακες.

Για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή Α. Σοφιανό για την ουσιαστική συμβολή και καθοδήγηση του.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική αναλύεται το τεχνικό έργο που αντικείμενο του είναι η διάνοιξη της σήραγγας για την επέκταση της γραμμής του μετρό από το Αιγάλεω προς το Χαϊδάρι.

Βασικός στόχος αυτής της ανάλυσης είναι να παρουσιαστεί το θεωρητικό, πρακτικό και κατασκευαστικό υπόβαθρο που εφαρμόστηκε για την κατασκευή του έργου.

Περιγράφονται και αναλύονται τα γεωτεκτονικά δεδομένα της περιοχής, γίνεται ταξινόμηση της μάζας των πετρωμάτων κατά μήκος της σήραγγας και αναλύονται τα χρησιμοποιούμενα μέτρα προσωρινής υποστήριξης και τελικής επένδυσης της σήραγγας.

Τέλος, περιγράφεται ο τρόπος παρακολούθησης και μέτρησης των μετακινήσεων-καθηζήσεων στην επιφάνεια.

ABSTRACT

In the current thesis is analyzed the technical work which has as objective the structure of the tunnel for the extension of the subway from Egaleo to Chaidari.

Basic goal of this analysis is the presentation of the theoretical, practical and structural background which was applied on this specific technical work.

Also, are described and analyzed the geological data of region, followed by classification of mass of rocks at length of tunnel and are analyzed the used measures that were taken for the temporary support and final lining of tunnel.

Finally, is described the way of follow-up and measurement of measurement of locomotions in the surface.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ο σκοπός του έργου

Η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΑΕ είναι μια σύγχρονη εταιρεία δημοσίου συμφέροντος, με προσωπικό υψηλής επιστημονικής κατάρτισης, η οποία με υπεύθυνο σχεδιασμό και συστηματική δουλειά υλοποιεί την ανάπτυξη του δικτύου του Μετρό της Αθήνας. Σήμερα, οι δύο Γραμμές του Μετρό της Αθήνας έχουν συνολικό μήκος περίπου 51,1 χλμ (συμπεριλαμβανομένων των 20,7 χλμ γραμμής του προαστιακού από τον σταθμό ΔΟΥΚΙΣΣΗΣ ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ προς Αεροδρόμιο), διαθέτουν 28 σύγχρονους σταθμούς και εξυπηρετούν 650.000 επιβάτες. Επίσης, η Γραμμή 1 του ΗΣΑΠ εξυπηρετεί αντίστοιχα περισσότερους από 415.000 επιβάτες. Έτσι -μαζί με το Τραμ και τον Προαστιακό- το Μετρό συμβάλλει στη σύνθεση ενός σύγχρονου συγκοινωνιακού δικτύου και στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής στο λεκανοπέδιο.

Η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΑΕ συνεχίζει την υλοποίηση ιδιαίτερα σημαντικών έργων με τα οποία οι υφιστάμενες Γραμμές του Μετρό επεκτείνονται συνολικά κατά 13 χλμ και 13 νέοι Σταθμοί εντάσσονται στο δίκτυο. Το κόστος των επεκτάσεων του Μετρό ανέρχεται συνολικά σε 1,4 δισ. € με χρηματοδότηση (επιδότηση) σε ποσοστό 50% από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Παράλληλα, η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΑΕ προχωρά στην υλοποίηση νέων επεκτάσεων του δικτύου και ήδη σε εξέλιξη βρίσκεται ο διαγωνισμός για την περαιτέρω επέκταση της Γραμμής 3 από το Χαϊδάρι μέχρι τον Πειραιά, προκειμένου ο Δήμος Πειραιά να αποκτήσει 3 Σταθμούς Μετρό και να συνδεθεί με το Αεροδρόμιο. Επίσης, το Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ) εξετάζει όλους τους πιθανούς τρόπους χρηματοδότησης για την κατασκευή μιας νέας Γραμμής, η οποία-με τον εκτιμώμενο αριθμό των επιβατών να ανέρχεται στις 400.000 σε καθημερινή βάση- αναμένεται να αλλάξει δραστικά τον συγκοινωνιακό χάρτη της Αθήνας αλλά και να αναβαθμίσει σημαντικά τη ζωή στο Λεκανοπέδιο. Πρόκειται για τη Γραμμή 4, μήκους 20,9 χλμ με 20 Σταθμούς (προϋπολογισμού 2,1 δισ. €), η οποία θα καλύψει την διαδρομή 'Αλσος Βεϊκου – Πανεπιστήμιο – Ευαγγελισμός –. 'Ανω Ιλίσια – Κατεχάκη – Μαρούσι.

Το Μετρό έχει μελετηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να αντιμετωπίζει τις επιπτώσεις ακόμα και των πιο δυσμενών συνθηκών σεισμικής δραστηριότητας που έχουν

καταγραφεί έως σήμερα, σύμφωνα με τα ελληνικά μελετητικά πρότυπα. Εκτός από την άνεση, την ταχύτητα και αξιοπιστία των δρομολογίων του, το Μετρό της Αθήνας φημίζεται για τα εντυπωσιακά αρχαιολογικά εκθέματα στους κεντρικούς Σταθμούς του δικτύου του, καθώς και για τα έργα τέχνης διακεκριμένων καλλιτεχνών σχεδόν σε όλους τους Σταθμούς των Γραμμών 2 και 3. Αξίζει να σημειωθεί ότι, χάρη στην κατασκευή του Μετρό της Αθήνας, πραγματοποιήθηκε η μεγαλύτερη αρχαιολογική ανασκαφή στην Πρωτεύουσα (79.000 τ.μ.) η οποία έφερε στο φως περισσότερα από 50.000 αρχαιολογικά ευρήματα από την νεολιθική περίοδο έως την σύγχρονη εποχή.

Στόχος του ΥΠΕΧΩΔΕ και της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΑΕ είναι το Μετρό να φθάνει σε ολοένα και περισσότερες γειτονιές της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, τονώνοντας τις τοπικές οικονομίες, αλλάζοντας την εικόνα τους και, κυρίως, μειώνοντας τις αποστάσεις.

Στις 20 Φεβρουαρίου 2006 υπογράφηκε η σύμβαση για την πρόσθετη επέκταση της Γραμμής 3 του Μετρό κατά 1,5 χλμ., με την προσθήκη ενός ακόμα Σταθμού στο ΧΑΪΔΑΡΙ και ενός αμαξοστασίου στην περιοχή του Ελαιώνα. Με το έργο αυτό η Γραμμή 3 του Μετρό της Αθήνας επεκτείνεται ακόμη περισσότερο στη Δυτική Αθήνα, φθάνοντας πλέον στις περιοχές του Χαϊδαρίου και της Αγίας Βαρβάρας.

Πρόκειται για ένα πολύ σημαντικό έργο κύριος στόχος του οποίου είναι η εξυπηρέτηση των κατοίκων της Δυτικής Αθήνας. Με τη θέση σε λειτουργία της εν λόγω επέκτασης ο χρόνος μετακίνησης των κατοίκων έως το κέντρο της Αθήνας (ΣΥΝΤΑΓΜΑ) θα είναι μόλις 9 λεπτά, ενώ θα υπάρχει η δυνατότητα απευθείας μετάβασης με άνεση, ασφάλεια και αξιοπιστία στο Αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος σε 40λεπτά!
Ειδικότερα, η επέκταση αυτή αναμένεται να συμβάλει αποφασιστικά στην αναβάθμιση περιοχών που επί σειρά ετών παρουσιάζουν σημαντικές δυσκολίες πρόσβασης στον κεντρικό ιστό της πρωτεύουσας, όπως η ευρύτερη περιοχή του Αιγάλεω, του Χαϊδαρίου και της Αγίας Βαρβάρας και θα εξυπηρετεί συγκοινωνιακά ιδιαίτερους προορισμούς, όπως το Νοσοκομείο Λοιμωδών Νόσων, το Δρομοκαΐτιο Θεραπευτήριο, το Αττικό Νοσοκομείο και τις εμπορικές επιχειρήσεις των περιοχών.

Υπολογίζεται ότι η λειτουργία του Σταθμού ΧΑΪΔΑΡΙ θα εξυπηρετεί καθημερινά περισσότερους από 30.000 νέους επιβάτες.

Το έργο της επέκτασης ΑΙΓΑΛΕΩ- ΧΑΪΔΑΡΙ περιλαμβάνει:

- Τη σήραγγα της γραμμής μήκους περίπου 1,5 χλμ., η οποία θα διέρχεται κάτω από την Ιερά Οδό και θα διανοιχτεί με τη συμβατική μέθοδο υπόγειας κατασκευής.

- Το Σταθμό ΧΑΪΔΑΡΙ, ο οποίος οριοθετείται στο οικοδομικό τετράγωνο της Ιεράς Οδού, Κρήνης, Κατσαρού και Αγίας Μαρίνας, με δύο εισόδους / εξόδους εκατέρωθεν της Ιεράς Οδού.

- Το Σταθμό Μετεπιβίβασης, ο οποίος θα κατασκευαστεί ταυτόχρονα στον ίδιο χώρο με τον Σταθμό ΧΑΪΔΑΡΙ και ο οποίος θα διαθέτει χωρητικότητα για στάθευση 380 ΙΧ οχημάτων.

- Το Αμαξοστάσιο στην περιοχή του Ελαιώνα, συνολικής εκτάσεως 86.000 τ.μ., έργο για το οποίο γίνεται αναφορά στη συνέχεια

1.2 Πρόοδος του Έργου

Οι εργασίες για την κατασκευή της επέκτασης του μετρό προς το Χαϊδάρι ξεκίνησαν τον Ιανουάριο του 2007 και η προγραμματισμένη περαίωση του έργου υπολογίζεται μετά από παράταση των εργάσιών να ολοκληρώθει μέσα στο 2011.

Πρόοδος εργασιών (ανά εξάμηνο)

α/α	Εξάμηνο	Εργασίες
1	1/2007-6/2007 	Ξεκίνησαν οι εργασίες εκσκαφής, οι προπαρασκευαστικες διεργασίες και οι παρακάμψεις δικτύων κοινής ωφέλειας στο σταθμό,Ενώ παραλληλα συνεχίζεται η αρχαιολογική έρευνα. Σε εξέλιξη βρίσκεται η διάνοιξη της σήραγγας του έργου από 4 διαφορετικά μέτωπα. Στο τέλος του εξαμήνου εχει ολοκληρωθεί η διανοιξη της διάνοιξη σήραγγας από το φρέαρ Ελ. Βενιζέλου προς το τέλος της επέκτασης. Συνολικα εχει ολοκληρωθεί το 25% της διάνοιξης του εργου.
2	7/2007- 12/2007 	Σε προχωρημένο στάδιο βρίσκεται η εκσκαφή του Σταθμού ΧΑΪΔΑΡΙ και του σταθμού Μετεπιβίβασης. Σε εξέλιξη βρίσκεται η διάνοιξη σήραγγας του έργου από 3 διαφορετικά μέτωπα. Εως σήμερα έχουν διανοιχτεί συνολικά 500 μέτρα σήραγγας. Σε τελικό στάδιο βρίσκεται η εκσκαφή και η προσωρινή αντιστήριξη του σταθμού (ποσοστό ολοκλήρωσης 99%). Στο τέλος του εξαμήνου ολοκληρώθηκε η διάνοιξη σήραγγας από Φρέαρ Ηρώων Πολυτεχνείου προς το σταθμό ΧΑΪΔΑΡΙ, η εκσκαφή και η προσωρινή αντιστήριξη του σταθμού ΧΑΪΔΑΡΙ και η διάνοιξη σήραγγας διπλής τροχιάς από την αρχή μέχρι το τελικό φρέαρ.
3	1/2008-6/2008 	Σε στάδιο ολοκλήρωσης βρίσκεται η διάνοιξη των 1200 μ. σήραγγας διπλής τροχιάς. Παράλληλα σε εξέλιξη βρίσκεται η διάνοιξη σήραγγας τριπλής τροχιάς (μήκους 350 μ.) προς Αιγάλεω. Σε εξέλιξη βρίσκονται οι εργασίες υδατοστεγάνωσης και μόνιμης επένδυσης του δαπέδου της διανοιχθείσας σήραγγας συνολικού μήκους 1.200 μ. Στο τέλος του εξαμήνου ολοκληρώθηκε η διάνοιξη σήραγγας διπλής τροχιάς και σε εξέλιξη βρίσκεται η διάνοιξη της σήραγγας τριπλής τροχιάς σε ποσοστό ολοκλήρωσης (77%). Παράλληλα ολοκληρώθηκαν οι εργασίες υδατοστεγάνωσης

		και μόνιμης επένδυσης του δαπέδου της σήραγγας διπλής τροχιάς ενώ ξεκίνησε η διαδικασία επένδυσης του θόλου.
4	7/2008-12/2008 	Σε στάδιο ολοκλήρωσης βρίσκεται η διάνοιξη σήραγγας της επέκτασης, καθώς έχουν πλέον διανοιχτεί 1.300 μ., ενώ σε προχωρημένο στάδιο βρίσκεται (77%) βρίσκεται η υδατοστεγάνωση και η κατασκευή του δαπέδου της.Σύντομα αναμένεται να ενωθεί η υπό κατασκευή σήραγγα της επέκτασης με την υφιστάμενη Γραμμή 3 του Μετρό. Ταυτόχρονα ξεκινά η εγκατάσταση των σιδηροτροχιών και του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού καθ'όλο το μήκος της επέκτασης.
5	1/2009-6/2009 	Ολοκληρώθηκε η μόνιμη επένδυση στον πυθμένα της σήραγγας της επέκτασης. Σε εξέλιξη βρίσκεται η τοποθέτηση γειώσεων και η κάλυψή τους με σκυρόδεμα κατά μήκος των 1.500μ της σήραγγας της επέκτασης. Σε τελικό στάδιο βρίσκονται οι εργασίες μόνιμης επένδυσης του θόλου της σήραγγας τριπλής τροχιάς.
6	7/2009-12/2009 	Σε εξέλιξη βρίσκονται οι εργασίες εγκατάστασης ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού σε τμήματα της σήραγγας. Ξεκίνησε η εγκατάσταση σιδηροτροχιών κατά μήκος της σήραγγας της επέκτασης. Σε εξέλιξη βρίσκεται η εγκατάσταση αεραγωγών στο επίπεδο αποβαθρών του σταθμού. Σε προχωρημένο στάδιο βρίσκονται οι ηλεκτρομηχανολογικές εργασίες (τοποθέτηση συστημάτων αερισμού και υδραυλικών) στον Σταθμό.Τέλος σε εξέλιξη βρίσκεται η κατασκευή πεζοδρομίων κατά μήκος της σήραγγας διπλής τροχιάς.

7	1/2010 -6/2010 	Συνεχίζεται η εγκατάσταση σιδηροτροχιών σε όλο το μήκος της επέκτασης. Σε προχωρημένο στάδιο βρίσκονται οι εργασίες εγκατάστασης ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Σε εξέλιξη η κατασκευή περιμετρικής οδού στο Αμαξοστάσιο. Προχωρούν οι εργασίες υδατοστεγάνωσης στον Σταθμό Μετεπιβίβασης. Σε τελικό στάδιο βρίσκονται οι εργασίες επικάλυψης καθώς και η τοποθέτηση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού στο ΑΜΑΞΟΣΤΑΣΙΟ ΕΛΑΙΩΝΑ (κτήριο επισκευών, πλυντήριο συρμών). Παράλληλα, ολοκληρώνεται η τοποθέτηση επιδομής.

2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

2.1 Γεωτεχνικά στοιχεία

Η φύση των σχηματισμών που απαντώνται κατά μήκος του έργου συνήθως δεν δίνει τη δυνατότητα αδιατάρακτης δειγματοληψίας της βραχομάζας και εκτέλεσης αντίστοιχης αντιπροσωπευτικότητας εργαστηριακών δοκιμών για τον άμεσο προσδιορισμό των χαρακτηριστικών γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού. Οι δοκιμές συνήθως γίνονται είτε στους καλύτερης ποιότητας πυρήνες υγιούς βράχου είτε στο τελείως εξαλλοιωμένο αργιλοποιημένο υλικό (που είναι κατάλληλα για τη διαμόρφωση κυλινδρικών δοκιμίων), με αποτέλεσμα να λαμβάνονται τιμές του ανώτερου και του κατώτερου ορίου των ιδιοτήτων του σχηματισμού.

Για το λόγο αυτό, η εκτίμηση των αντιπροσωπευτικών τιμών των γεωτεχνικών παραμέτρων των σχηματισμών (k, E, φ΄, c΄, κλπ.) έχει βασιστεί σε συνεκτίμηση των μετρηθεισών τιμών από τις εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές, στις βαθμονομήσεις της βραχομάζας με λήψη κατάλληλων παραμέτρων σχεδιασμού, και σε εμπειρικές συσχετίσεις και εκτιμήσεις.

<u>Συνδυάζονται μάλιστα τα παρακάτω:</u>

i. Οι τύποι των σχηματισμών που αναμένονται κατά μήκος του έργου ταξινομούνται με τη χρήση μιας σειράς Κατηγοριών Σχηματισμών. Οι Κατηγορίες Σχηματισμών καθορίζονται ως μία σειρά σταδιακά βελτιούμενων γεωτεχνικών χαρακτηριστικών με τα πτωχότερα να συνιστούν την κατηγορία “Επιφανειακό Έδαφος” και τα καλύτερα την κατηγορία “Βράχος (τύπου) Α”. Η κατηγοριοποίηση γίνεται ενιαία για τους σχηματισμούς της ενότητας του “Αθηναϊκού Σχιστόλιθου” και για τους σχηματισμούς της ενότητας των “Νεογενών” και βασίζεται στο γεωλογικό δείκτη αντοχής του πετρώματος.

ii. Μία σειρά Γεωτεχνικών Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΓΠΣ) καθορίζεται για κάθε κατηγορία σχηματισμών λαμβάνοντας όμως τις ιδιαιτερότητές της. Οι συγκεκριμένες τιμές για κάθε κατηγορία σχηματισμών προκύπτουν από συνεκτίμηση των παρακάτω:

(α): Εμπειρικές εκτιμήσεις

Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται εμπειρικές συσχετίσεις των αποτελεσμάτων των επιτόπου δοκιμών (SPT, πρεσσιόμετρησεις κ.α.) με τα μηχανικά χαρακτηριστικά, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις, ελλείψει στοιχείων, προτείνονται, βάσει της εμπειρίας, αυτούσια τα μηχανικά χαρακτηριστικά παρόμοιων σχηματισμών.

(β): Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών

Στην περίπτωση αυτή οι τιμές των παραμέτρων προκύπτουν:

- Λαμβάνοντας αυτούσια τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών. Στις περιπτώσεις όπου υπάρχει επαρκές πλήθος δεδομένων γίνεται στατιστική επεξεργασία και λαμβάνονται υπόψη στις προτεινόμενες τιμές
- Με κατ' οικονομία επίκληση των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών.

Στην περίπτωση απουσίας καταλληλότερων δοκιμών για τον προσδιορισμών των παραμέτρων, χρησιμοποιούνται εμπειρικές συσχετίσεις με υπάρχοντα στοιχεία εργαστηριακών δοκιμών (π.χ. εμπειρικές συσχετίσεις γωνίας φ΄ με το δείκτη πλαστικότητας PI).

- Από έμμεσους τρόπους εκτίμησης μηχανικών χαρακτηριστικών, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών (π.χ. προσδιορισμός παραμέτρων c' και φ' ασυνεχειών από δοκιμή μονοαξονικής θλίψης σε δοκίμιο μεπροϋπάρχουσα ασυνέχεια μειωμένης αντοχής)

(γ): Από τη βαθμονόμηση της βραχομάζας βάσει του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής (GSI) του ρηγματωμένου βράχου

Στην περίπτωση αυτή, εκτιμάται η θλιπτική αντοχή του "άρρηκτου" (intact) βράχου(σ_{ci}), είτε από εργαστηριακές δοκιμές, είτε εμπειρικά με βάση τη μακροσκοπική παρατήρηση των πυρήνων των γεωτρήσεων, ελλείψει εργαστηριακών δοκιμών.

Από την βιβλιογραφία ή από την εμπειρία, εκτιμάται επίσης ο συντελεστής m_i του κριτηρίου Hoek & Brown.

iii. Για κάθε επί μέρους κατασκευή (φρέαρ, κύρια σήραγγα, σήραγγα σύνδεσης/ πρόσβασης κλπ.) οι τοπικές γεωτεχνικές συνθήκες αξιολογούνται από τις διαθέσιμες γεωτρήσεις και η στρωματογραφία της θέσης προσαρμόζεται στο παραπάνω σύστημα "Κατηγοριών Σχηματισμών".

Το αποτέλεσμα της αξιολόγησης αυτής είναι μία σειρά από Γεωτεχνικές Τομές Σχεδιασμού (ΓΤΣ) για χρήση στο σχεδιασμό των έργων. Οι ιδιαιτερότητες κάθε θέσης (δηλ. η διαφοροποίηση των τοπικών συνθηκών) αξιολογούνται και ποσοτικοποιού-νται μέσω των Γεωτεχνικών Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΓΠΣ) που προορίζονται για χρήση στο σχεδιασμό των έργων. Με αυτόν τον τρόπο οι ΓΠΣ προκύπτουν βάσει της εμπειρίας και των χαρακτηριστικών κάθε κατασκευής (μορφή και μέγεθος επιβαλλό-μενων παραμορφώσεων, κατασκευαστικές ανοχές, διαθέσιμο περιθώριο αντοχής εδάφους , διαθεσιμότητα οργάνων παρακολούθησης, χρονικό περιθώριο προειδοποί-ησης ώστε να ληφθούν μέτρα αντιμετώπισης σε περίπτωση απρόοπτου κλπ).

Ο γεωτεχνικός διαχωρισμός των σχηματισμών σε επιμέρους Κύριες Κατηγορίες (γεωμηχανική ταξινόμηση), με βάση τις οποίες περιγράφονται οι τομές των γεωτρήσεων, στηρίζεται στην ιεράρχηση του γεωλογικού δείκτη αντοχής (GSI) του πετρώματος και της μηχανικής συμπεριφοράς των σχηματισμών που αναμένονται κατά μήκος του έργου (από πτωχές σε καλύτερες γεωτεχνικές συνθήκες) όπως παρουσιάζεται ακολούθως.

Πίνακας 1: Ιεράρχηση κατα τον γεωλογικό δείκτη αντοχής (GSI)

Τύπος εδάφους	**Κύριες Κατηγορίες Σχηματισμών**	**Περιγραφή**
Έδαφος	Επιφανειακό έδαφος (engineering soil)	(1) Τεχνητές επιχώσεις γενικώς. (2) Εδαφικοί σχηματισμοί με τιμές N_{SPT} : Συνεκτικοί : $N_{SPT} < 15$ Μη συνεκτικοί : $N_{SPT} < 30$
	Στιφρό έδαφος (stiff soil)	Εδαφικοί σχηματισμοί με τιμές N_{SPT}: Συνεκτικοί :$15 < N_{SPT} < 30$ Μη συνεκτικοί : $N_{SPT} > 30$

	Σκληρό έδαφος (hard soil)	Συνεκτικοί εδαφικοί σχηματισμοί και πλήρως εξαλλοιωμένοι βραχώδεις σχηματισμοί με τιμές N_{SPT} : $30 < N_{SPT} < 50$
Βράχος	Μαλακός Βράχος (semi-rock)	(1) Πολύ σκληροί συνεκτικοί εδαφικοί σχηματισμοί και πλήρως εξαλλοιωμένοι βραχώδεις σχηματισμοί με τιμές $N_{SPT} > 50$ (2) Βραχώδεις σχηματισμοί με GSI <15
	Βράχος Ε (Rock E)	Βραχώδεις σχηματισμοί με 15 < GSI <20
	Βράχος Δ (Rock D)	Βραχώδεις σχηματισμοί με 20 < GSI <25
	Βράχος Γ (Rock C)	Βραχώδεις σχηματισμοί με 25 < GSI < 35
	Βράχος Β (Rock B)	Βραχώδεις σχηματισμοί με 35 < GSI < 45
	Βράχος Α (Rock A)	Βραχώδεις σχηματισμοί με GSI > 45

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής (GSI) των βραχωδών σχηματισμών που συναντήθηκαν κατά μήκος του έργου, περιγράφεται στο Παράρτημα 1.

Η μέθοδος αυτή, η οποία προτάθηκε από τους Hoek et al (1998), βασίζεται στη μακροσκοπική περιγραφή των χαρακτηριστικών της βραχομάζας (περιγραφή της δομής και της κατάστασης των ασυνεχειών) και χρησιμοποιείται ευρέως σε ρηγματωμένους βραχώδεις σχηματισμούς. Μ΄ αυτή τη μέθοδο μπορούν να περιγραφούν τόσο ο Αθηναϊκός Σχιστόλιθος και οι Νεογενείς βραχώδεις

σχηματισμοί όσο και τα τεκτονισμένα κροκαλο-λατυποπαγή που συναντώνται κατά μήκος του έργου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της φύσης των σχηματισμών που αναμένονται να συναντηθούν, τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών αποτελούν βασικό μεν, αλλά όχι τον μοναδικό τρόπο επιλογής των παραμέτρων σχεδιασμού, και συνεκτιμώνται στην ποιοτική εκτίμηση των παραμέτρων σχεδιασμού για τους εξής λόγους:

(1) Οι εργαστηριακές δοκιμές (και κυρίως η δοκιμή μονοαξονικής θλίψης που αποτελεί την πιο συνηθισμένη δοκιμή) εκτελούνται κατά κανόνα στα καλύτερα και πιο συμπαγή δείγματα κάθε σχηματισμού ή στα τελείως εξαλλοιωμένα και αργιλοποιημένα, αφού αυτά τα δείγματα είναι εκείνα στα οποία μπορούν να μορφωθούν σε κυλινδρικά δοκίμια, όπως απαιτείται για την εκτέλεση κάθε δοκιμής. Αυτό, έχει σαν συνέπεια τα αποτελέσματα των δοκιμών να δίνουν το ανώτερο και το κατώτερο όριο των τιμών των παραμέτρων για τις γεωτεχνικές συνθήκες, οι οποίες αναμένονται επιτόπου.

(2) Το μέγεθος των εργαστηριακών κυλινδρικών δοκιμίων είναι πολύ μικρό ώστε να συμπεριλάβουν την επίδραση των ασυνεχειών, την ανομοιογένεια του σχηματισμού, την παρουσία ασθενών ζωνών που μπορεί να χαρακτηρίζουν τη βραχόμαζα, και πληθώρα άλλων παραγόντων που μπορεί να καθορίζουν την συμπεριφορά κάθε σχηματισμού.

Το τμήμα της σήραγγας που εξετάζεται, είναι δυνατόν να χωριστεί από γεωτεχνική σκοπιά σε δύο υποτμήματα:

Τμήμα Α: από Χ.Θ. 0+504,54 έως Χ.Θ. 0+900

Ο περιβάλλων σχηματισμός είναι τα νεογενή και κυρίως ο ανώτερος ορίζοντάς τους. Το φυσικό έδαφος κυμαίνεται από +47 m έως +56,5 m, ενώ το απόλυτο υψόμετρο της ερυθράς βαίνει από +29m έως +38,8 m. Η ανώτερη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (δυσμενής περίπτωση) κυμαίνεται από +44 m έως 50 m. Σημειώνεται ότι από περίπου Χ.Θ. 0+720 έως Χ.Θ. 0+800 η χάραξη αναμένεται να διέλθει δια του Μαργαϊκού Ασβεστολίθου. Από Χ.Θ. περίπου 0+840 έως 0+900 συναντάται η μεταβατική ζώνη που αποτελείται από αργιλόλιθους και κροκαλοπαγή. Από γεωτεχνική άποψη όμως τα υλικά αυτά αντιμετωπίζονται ως νεογενή.

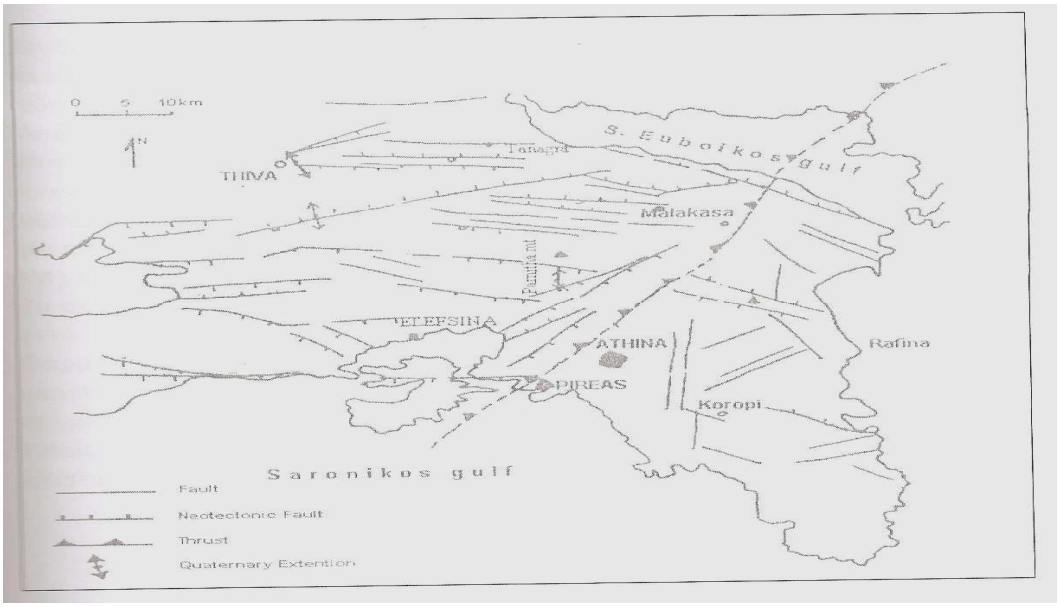
Τμήμα Β: από 0+900 έως τέλος (0+929,13)

Ο περιβάλλων σχηματισμός είναι οι Αθηναϊκοί σχιστόλιθοι του ανώτερου και κατώτερου ορίζοντα. Το φυσικό έδαφος κυμαίνεται από +58,6 m έως +60 m, ενώ το απόλυτο υψόμετρο της ερυθράς βαίνει από +39,6 m σε +40 m. Η ανώτερη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (δυσμενής περίπτωση) κυμαίνεται από +56,7 m έως +58 m.

2.1.1 Τεκτονική

Το λεκανοπέδιο της Αθήνας διαμοφώθηκε κατά το ανωτερο μειοκαινο από την δραση των περιθωριακών ΒΒΑ-ΝΝΔ ρηγμάτων,στους πρόποδες των σημερινων ορεινών ογκων , διαμορφώνοντας μια σύνθετη μορφη ασυμμετρης τάφρου. Το δυτικό περιθώριο ηταν πολύ πιο έντονο σε σχεση με το ανατολικο και διαμορφώθηκε από δύο ρηξιγενεις ζώνες ΒΒΑ-ΝΝΔ διέυθυνσης,που οριοθετούν τους μεταλπικους σχηματισμούς.

Όπως φαίνεται στο σχετικό χάρτη παρακάτω τα κυριότερα ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου των Αθηνών έχουν διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ και είναι αυτά που δημιούργησαν το τεκτονικό βύθισμα του λεκανοπεδίου,αλλα και την μεγάλη ρηξιγενή ζώνη του Κηφισού , που χωρίζει το λεκανοπέδιο σε δύο επιμέρους τμήματα. (Ανατολικό –Δυτικό) . Απαντώνται επίσης ρήγματα με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ, στα οποία εντάσσεται η ρηξιγενής ζώνη του Ζεφυρίου-Αγ. Παρασκευής που διαχωρίζει το λεκανοπέδιο σε δύο τμήματα (Βορειο-Νότιο), αλλα και νεότερα σε διεύθυνση Α-Δ.



Εικόνα 1 :Χάρτης κυριότερων ρηγμάτων Αττικής κατά Poll& Theodoropoulos

Κατά την Αττικό Μετρό (2006) και από την επεξεργασία των τεκτονικών στοιχείων , που αναφερονται στα μητρώα εκσκαφής του τμήματος της γραμμής από το φρέαρ Θηβών εως Άλσος, προκύπτει ότι τα επιπεδα σχιστότητας στην αρχή του υπο μελετη τμήματος εχουν μέσα στοιχεία S=54/264,(διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ). Στο ίδιο τμήμα τα επιπεδα ρηγμάτων και διαρρήξεων (F&J) που χαρτογραφήθηκαν ομαδοποιούνται στις παρακάτω οικογενειές :

48/278 (διέθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ)
69/246 (διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ)
48/214 (διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ)
54/320 (διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ)
17/56 (διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ)

Οι διευθύνσεις των οικογενειών αυτών,που σημειωτέον αφορουν κυρίως τα τεκτονικά στοιχεία των Αθηναϊκών Σχιστόλιθων, είναι παράλληλες με το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής.
Από μετρήσεις σε επιφανειακή εμφάνιση «Αθηναϊκού Σχιστόλιθου» κοντά στη θέση του σταθμού Χαιδαρίου στο τέλος του υπο μελέτη τμήματος φαίνεται ότι το υπόβαθρο σχηματίζει συνεχείς κλειστές πτυχές με διευθύνσεις αξόνων ΒΒΔ-ΝΝΑ και κλίσεις S=40/258 και S=45/75. Στην ίδια θέση μετρήθηκαν οι παρακατω οικογένειες διαρρήξεων J1 =75/61 /(διεύθυνση ΒΔ- ΝΑ) και J2=25/20 (διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ).

Τα ανωτέρω φαίνεται να επιβεβαιώνουν την ρηξιγενή προέλευση της τάφρου εντός της οποίας αποτέθηκαν τα νεογενή ιζήματα δεδομένου ότι οι διαρρήξεις στα ανατολικά στην αρχή του τμήματος πριν την εμφάνιση των νεογενών, εχουν κλίση προς τα Δ, ΝΔ, ενώ στα δυτικά προς το τέλος του τμήματος μετά την εμφάνιση των νεογενών εχουν κλίση προς τα Α, ΒΑ.
Όπως προκύπτει τέλος από τους πυρήνες των γεωτρήσεων στα νεογενή οι κλίσεις των στρώσεων είναι σχετικά ήπιες μεχρι 30^{o} .

2.1.2 Σεισμικότητα

Σύμφωνα με το αναθεωρημένο Ε.Α.Κ (Φ.Ε.Κ 1153/ 12-08-2003) , η περιοχή του έργου ανήκει στη ζώνη Ι με συντελεστή σεισμικής επιτάχυνσης a= 0,16g.
Οι γεωτεχνικοί σχηματισμοί εντός των οποίων πραγματοποιούνται τα υπο μελέτη έργα κατατάσσονται κατά τον Κανονισμό (ως έδαφος θεμελίωσης) στην κατηγορία Α.

2.2 Καθεστώς Υπογείων Υδάτων

Τα Γεωτεχνικά στοιχεια που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό, προέρχονται από γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά μήκος της σήραγγας.

Χ.Θ. 0+000 ~ Χ.Θ. 0+550

Γεώτρηση	Βάθος (m)
TEG404	36,0
BATPG01	37,0
BP3330	40,0
Γ302	25,10
BP3301	40,50
BATPG02	36,50
BP3302	40,90
BR3337	38,0
Γ301	25,0
BH3303	40,30
Γ377	15,12
BP3305	40,0
BP3306	40,0

Χ.Θ. 0+550 ~ Χ.Θ. 0+930

Γεώτρηση	Βάθος (m)
BATPG03	25,60
Γ376	15,25
BH3308	39,60
BP3333	40,20
Γ375	20,10
BP3309	40,50
BP3310	40,40
BP3307	40,10
BP3304	40,0

Με βάση τις παραπάνω γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν, ο πλέον σημαντικός υδροφόρος ορίζοντας είναι ο επιφανειακός, που αναπτύσσεται σε βάθος περίπου 3,0m από την επιφάνεια του κορηματικού τύπου τεταρτογενών αποθέσεων και του αμμοχαλικώδους μανδύα των αθηναϊκών σχιστόλιθων. Έχει εποχιακές διακυμάνσεις και για το σκοπό αυτό έχουν εγκατασταθεί αρκετές αντλίες σε υπόγειους χώρους για την απαγωγή των πλημμυρικών παροχών. Λόγω τις περιορισμένης πλέον χρήσης των υφιστάμενων υδροληπτικών έργων (πηγαδιών), τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση της στάθμης του.

Όπως προκύπτει από τα στοιχεία των υφιστάμενων υδρογεωτρήσεων, υδροφόροι ορίζοντες μικρής δυναμικότητας αναπτύσσονται εντός των αδρομερών φάσεων των Αθηναϊκών Σχιστόλιθων και των Νεογενών σχηματισμών, που τροφοδοτούνται από τους ανάντη ορεινούς όγκους. Οι ορίζοντες αυτοί αναμένεται να είναι επάλληλοι ,μερικώς υπό πίεση, η δε κυκλοφορία του νερού φαίνεται να είναι εντοπισμένη εντός ζωνών αυξημένου βαθμού κερματισμού και βαθιών αξόνων πτυχών.

Μετά το τέλος των γεωτρήσεων των πρόσφατων γεωτεχνικών ερευνών, τοποθετήθηκαν πιεζομετρικοί σωλήνες ανοικτού τύπου και μετρήθηκαν οι μεταβολές της στάθμης των υπογείων υδάτων σε μεταγενέστερα από τις εργασίες υπαίθρου χρονικά διαστήματα. Οι στάθμες που καταγράφηκαν κατά την περίοδο των μετρήσεων παρουσιάζονται συνοπτικά ακολούθως:

Πίνακας 2: Στάθμες υπογείων υδάτων

Γεώτρηση	*Ανώτερη μετρηθείσα στάθμη υπογείων υδάτων*		*Κατώτερη μετρηθείσα στάθμη υπογείων υδάτων*	
	Βάθος στάθμης υπογείων υδάτων (m)	*Υψόμετρο στάθμης υπογείων υδάτων (m)*	*Βάθος στάθμης υπογείων υδάτων (m)*	*Υψόμετρο στάθμης υπογείων υδάτων (m)*
BP3305	4,00	+43,35	5,42	+41,93
BP3306	3,90	+44,69	17,63	+30,96
BATPG03	3,76	+45,67	4,36	+44,98
Γ376	1,50	+50,00	-	-
BH3308	4,20 (κατά τη διάτρηση)	+48,84	-	-
BP3333	5,69	+49,26	10,60	+44,35
Γ375	4,30 (κατά τη διάτρηση)	+50,94	-	-
BP3309	3,96	+52,81	6,20	+50,57
BP3310	3,40	+55,36	4,70	+54,06
BP3307	1,40	+58,38	3,30	+56,48
BP3304	3,30	+56,32	4,30	+55,32

Όπως προκύπτει από τον παραπάνω συνοπτικό πίνακα αλλά και από επιτόπου παρατηρήσεις, η ανώτερη στάθμη των υπογείων υδάτων βρέθηκε σε μικρό βάθος, που κυμαίνεται βάσει του συνόλου των μετρήσεων του τμήματος που εξετάζεται από -1,40 έως -5,70m κάτω από το φυσικό έδαφος. Πιο συγκεκριμένα, στο κομμάτι της χάραξης στο οποίο η σήραγγα διανοίγεται μέσα στα Νεογενή και στη μεταβατική ζώνη των Λατυποπαγών (Χ.Θ. 0+504,54 έως Χ.Θ. 0+890 περίπου), η στάθμη των υπογείων υδάτων κυμαίνεται από -1,50 έως -5,70m, κάτω από το φυσικό έδαφος ενώ στο υπόλοιπο κομμάτι της χάραξης στο οποίο η σήραγγα διανοίγεται μέσα στους σχηματισμούς του Αθηναϊκού Σχιστολίθου (Χ.Θ. 0+890 περίπου έως Χ.Θ. 0+929,13), η στάθμη των υπογείων υδάτων κυμαίνεται από -1,40 έως -3,30m, κάτω από το φυσικό έδαφος.

Οι στάθμες αυτές βρίσκονται πολύ κοντά στην επαφή του επιφανειακού μανδύα πλήρους αποσάθρωσης και του συμπαγούς τμήματος των μειωμένης διαπερατότητας υποκείμενων βραχωδών σχηματισμών που εμφανίζονται στην περιοχή.

Με βάση τα παραπάνω, παρουσιάζεται ακολούθως η εκτίμηση των Σταθμών Σχεδιασμού των Υπογείων Υδάτων (Μέση, Κατώτερη και Ανώτερη αναμενόμενη στάθμη υπογείων υδάτων) για το σχεδιασμό των μόνιμων κατασκευών (DFD-2). Σημειώνεται ότι η ανώτερη και κατώτερη αναμενόμενη στάθμη των υπογείων υδάτων, εκτιμήθηκε από τις μετρήσεις της στάθμης των υδάτων στα πιεζόμετρα των γεωτρήσεων μετά το πέρας των εργασιών υπαίθρου.

Η συνολική χρονική περίοδος των μετρήσεων είναι περίπου τρία (3) χρόνια και θεωρείται επαρκής.

α) για το υποτμήμα της σήραγγας που διανοίγεται μέσα στα Νεογενή (Χ.Θ.0+504,54 έως Χ.Θ. 0+900):

- Μέσο απόλυτο υψόμετρο επιφανείας φυσικού εδάφους: +52,00m (διακύμανση απόλυτου υψομέτρου από +47,40 έως +58,00m).

- Μέση αναμενόμενη στάθμη υπογείων υδάτων (μέση Σ.Υ.Ο.): βάθος 3,50m (μέσο απόλυτο υψόμετρο +48,50m).

• Ανώτερη αναμενόμενη στάθμη υπογείων υδάτων (max Σ.Υ.Ο.): βάθος 1,00m (μέσο απόλυτο υψόμετρο +51,00m).

• Κατώτερη αναμενόμενη στάθμη υπογείων υδάτων (min Σ.Υ.Ο.): βάθος 5,50m (μέσο απόλυτο υψόμετρο +46,50m).

β) για το υποτμήμα της σήραγγας που διανοίγεται μέσα στον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο (Χ.Θ. 0+900 έως Χ.Θ. 0+929,13):

• Μέσο απόλυτο υψόμετρο επιφανείας φυσικού εδάφους: +59,00m (διακύμανση απόλυτου υψομέτρου από +58,50 έως +60,00m).

• Μέση αναμενόμενη στάθμη υπογείων υδάτων (μέση Σ.Υ.Ο.): βάθος 3,50m (μέσο απόλυτο υψόμετρο +55,50m).

• Ανώτερη αναμενόμενη στάθμη υπογείων υδάτων (max Σ.Υ.Ο.): βάθος 1,00m (μέσο απόλυτο υψόμετρο +58,00m).

• Κατώτερη αναμενόμενη στάθμη υπογείων υδάτων (min Σ.Υ.Ο.): βάθος 5,50m (μέσο απόλυτο υψόμετρο +53,50m).

2.3 Διαπερατότητα Εδάφους

Κατά τη διάτρηση των γεωτρήσεων των παλαιότερων και των συμπληρωματικών γεωτεχνικών ερευνών, εκτελέστηκαν επιτόπου δοκιμές διαπερατότητας τύπου Maag (δοκιμές πίπτοντος φορτίου) και Lugeon (δοκιμές εισπίεσης), σε εδαφικούς και βραχώδεις σχηματισμούς αντίστοιχα. Σκοπός σε κάθε περίπτωση, ήταν η εκτίμηση της διαπερατότητας των σχηματισμών από τους οποίους συνίσταται το υπέδαφος της περιοχής. Οι δοκιμές που εκτελέστηκαν σε κάθε γεώτρηση παρουσιάζονται συνοπτικά ακολούθως:

Πίνακας 3: Γεωτρήσεις

Γεώτρηση	*Τύπος δοκιμής*	*Βάθος δοκιμής (m)*	*Μέσος συντελεστής διαπερατότητας k (cm/sec)*	*Περιγραφή σχηματισμού*
BP3305	Maag	14,00 – 15,00	$2,0 \times 10^{-7}$	Νεογενή (μάργα)
	Maag	18,50 – 20,20	- (χωρίς απώλειες)	Νεογενή (μάργα)
	Maag	22,50 – 24,40	$8,0 \times 10^{-7}$	Νεογενή (μάργα)
BP3306	Lugeon	10,30 – 15,30	$2,3 \times 10^{-5}$ ($2,0 – 3,0 \times 10^{-5}$)	Νεογενή (μάργα)
	Lugeon	16,00 – 21,00	$1,0 \times 10^{-5}$ ($0,57 – 1,8 \times 10^{-5}$)	Νεογενή (ασβεστιτικός ιλυόλιθος)
	Lugeon	20,60 – 25,60	$4,4 \times 10^{-5}$ ($3,7 – 5,8 \times 10^{-5}$)	Νεογενή (ασβεστιτικός ιλυόλιθος και μαργαϊκός ασβεστόλιθος)
BATPG03	Maag	8,00 – 9,20	$2,7 \times 10^{-5}$	Νεογενή (ψαμμούχα μάργα αποσαθρωμένη)
	Maag	20,30 – 21,00	$5,6 \times 10^{-5}$	Νεογενή (ασβεστιτικός ιλυόλιθος)
Γ376	Lefranc	5,20 – 5,70	- (πρακτικά αδιαπέρατο)	Νεογενή (μάργα)

Γεώτρηση	*Τύπος δοκιμής*	*Βάθος δοκιμής (m)*	*Μέσος συντελεστής διαπερατότητας k (cm/sec)*	*Περιγραφή σχηματισμού*
BP3307	Maag	8,80 – 10,49	$5,2 \times 10^{-5}$	Αθηναϊκός Σχιστόλιθος (Μεταψαμμίτης)
	Maag	12,00 – 15,30	$1,3 \times 10^{-5}$	Αθηναϊκός Σχιστόλιθος (Μεταψαμμίτης)
	Maag	16,00 – 19,80	$8,8 \times 10^{-6}$	Αθηναϊκός Σχιστόλιθος (Μεταψαμμίτης)
	Maag	23,00 – 26,10	$5,8 \times 10^{-6}$	Αθηνηναϊκός Σχιστόλιθος (Μεταψαμμίτης)
BP3304	Maag	13,00 – 14,70	$1,7 \times 10^{-5}$	Αθηνηναϊκός Σχιστόλιθος (Μεταψαμμίτης)
	Maag	17,50 – 19,80	$8,8 \times 10^{-6}$	Αθηνηναϊκός Σχιστόλιθος (Μεταψαμμίτης)
	Maag	25,00 – 26,70	$6,8 \times 10^{-6}$	Αθηνηναϊκός Σχιστόλιθος (Μεταψαμμίτης)

Γεώτρηση	*Τύπος δοκιμής*	*Βάθος δοκιμής (m)*	*Μέσος συντελεστής διαπερατότητας k (cm/sec)*	*Περιγραφή σχηματισμού*
BH3308	Lugeon	9,40 – 14,40	$7,5 \times 10^{-6}$ ($0,39 – 1,5 \times 10^{-5}$)	Νεογενή (μάργα)
	Lugeon	14,40 – 19,40	$8,0 \times 10^{-6}$ ($0,45 – 1,4 \times 10^{-5}$)	Νεογενή (μάργα)
	Lugeon	19,80 – 24,80	$2,2 \times 10^{-5}$ ($1,8 – 3,6 \times 10^{-5}$)	Νεογενή (μάργα)
BP3333	Lugeon	5,90 – 10,90	$9,6 \times 10^{-5}$ ($0,83 – 1,1 \times 10^{-4}$)	Νεογενή (μάργα – μαργαϊκός ασβεστόλιθος)
	Lugeon	10,40 – 15,40	$9,4 \times 10^{-5}$ ($0,85 – 1,0 \times 10^{-4}$)	Μαργαϊκός Ασβεστόλιθος
	Lugeon	14,90 – 19,90	$8,2 \times 10^{-5}$ ($7,7 – 8,6 \times 10^{-5}$)	Μαργαϊκός Ασβεστόλιθος
	Lugeon	20,80 – 25,80	$7,9 \times 10^{-5}$ ($7,6 – 8,6 \times 10^{-5}$)	Μαργαϊκός Ασβεστόλιθος
BP3309	Maag	13,50 – 15,80	$6,9 \times 10^{-6}$	Νεογενή (μάργα-ψαμμίτης)
	Lugeon	14,70 – 19,70	$8,2 \times 10^{-6}$ ($0,01 – 1,1 \times 10^{-5}$)	Νεογενή (ψαμμίτης) – Μεταβατικά (Λατυποπαγή)
	Lugeon	20,80 – 25,80	$4,9 \times 10^{-7}$ ($0,4 – 1,3 \times 10^{-6}$)	Μεταβατική Ζώνη (Λατυποπαγή)
	Lugeon	25,40 – 30,40	$6,9 \times 10^{-7}$ ($0,28 – 1,3 \times 10^{-6}$)	Μεταβατική Ζώνη (Λατυποπαγή)
BP3310	Maag	7,50 – 9,50	- (χωρίς απώλειες)	Μεταβατική Ζώνη (Αργιλόλιθοι)
	Maag	12,00 – 14,14	$9,4 \times 10^{-8}$	Μεταβατική Ζώνη (Αργιλόλιθοι)
	Maag	18,50 – 21,40	- (χωρίς απώλειες)	Μεταβατική Ζώνη (Αργιλόλιθοι)
	Lugeon	20,60 – 25,60	- (χωρίς απώλειες)	Μεταβατική Ζώνη (Αργιλόλιθοι) – Αθην. Σχιστόλιθος (Μεταψαμμίτης)

Με βάση τα αποτελέσματα του παραπάνω συνοπτικού πινάκα, προκύπτει κατ' αρχήν ότι ως προς την περατότητα, στο συγκεκριμένο υποτμήμα, οι Νεογενείς σχηματισμοί εμφανίζονται από πρακτικώς αδιαπέρατοι έως μικρής περατότητας (μέγιστος συντελεστής διαπερατότητας k = 10-4 cm/sec περίπου).

Η διακύμανση της διαπερατότητας μεταξύ των δοκιμών που εκτελέστηκαν στα Νεογενή, μπορεί να συσχετιστεί αρχικά με την φύση των απαντώμενων υλικών και την πυκνότητα των διαρρήξεων των χαλαρών, κατακερματισμένων και διαπερατών στρώσεων που συναντήθηκαν σε κάθε γεώτρηση με τις μάργες να εμφανίζονται εν γένει πιο αδιαπέρατες από τους πιο κερματισμένους

ψαμμούχους σχηματισμούς. Αντιστοίχως, η συγκριτικά αυξημένη διαπερατότητα στους μαργαϊκούς ασβεστολίθους μπορεί να αποδοθεί στην παρουσία μικροκαρστικών εγκοίλων. Δευτερευόντως μπορεί να διατυπωθεί μικρή συσχέτιση της διακύμανσης των παραπάνω τιμών με τον τύπο και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των δοκιμών που εκτελέστηκαν σε κάθε γεώτρηση, με τις δοκιμές Lugeon να δίνουν συνήθως υψηλότερες τιμές του μέσου συντελεστή διαπερατότητας από τις αντίστοιχες Maag.

Σε ό,τι αφορά τους Λατυποπαγείς σχηματισμούς της μεταβατικής ζώνης, από τον μικρό αριθμό δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν στο υπ' όψιν υποτμήμα, παρατηρείται συγκριτικά χαμηλότερη υδατοπερατότητα απ' ό,τι στα νεογενή. Κάτι τέτοιο μπορεί να θεωρηθεί αναμενόμενο λόγω του αργιλομαργαϊκού συνδετικού υλικού του λατυποπαγούς σχηματισμού που ακόμη και σε θέσεις αποσάθρωσης ή διαρρήξεων πληρώνει τις εμφανιζόμενες ασυνέχειες. Σημειώνεται ότι στις βαθύτερες θέσεις τη γεώτρησης ΒΡ3309, όπου μετρήθηκαν και οι χαμηλότερες τιμές περατότητας, ο σχηματισμός παρουσιάζεται αρκετά συμπαγής. Η ελάχιστη μετρηθείσα τιμή του μέσου κατά δοκιμή συντελεστή διαπερατότητας προέκυψε k = 4,9 × 10-7 cm/sec ενώ η μέγιστη τιμή k = 8,2 × 10-6 cm/sec εμφανίζεται σε δοκιμή που πραγματοποιήθηκε σε βάθος περί την επαφή μεταξύ του λατυποπαγούς σχηματισμού και του υπερκείμενου στρώματος νεογενών ψαμμιτών.

Για τους υπολογισμούς όμως, λαμβάνοντας υπόψη και τα αποτελέσματα της αναθεωρημένηςυδρογεωλογικής μελέτης προτείνεται η ενιαία αντιμετώπιση των σχηματισμών που ανήκουν στα Νεογενή με συντελεστή διαπερατότητας
$k = 9,48 \times 10^{-7}$ m/sec. Για τους σχηματισμούς από Χ.Θ. 0+820 έως Χ.Θ. 0+900 (μεταβατική ζώνη) προτείνεται $k = 3,42 \times 10^{-9}$ m/sec

Ο μέσος συντελεστής διαπερατότητας ανά δοκιμή για τους σχηματισμούς του Αθηναϊκού Σχιστολίθου που συναντώνται στα όρια του συγκεκριμένου υποτμήματος της σήραγγας και στην είσοδο του Σταθμού Χαϊδαρίου όπου και χαρακτηρίζονται γενικά ως μεταψαμμίτες, κυμαίνεται από $k = 5,80 \times 10^{-6}$ cm/sec έως $5,20 \times 10^{-5}$ cm/sec. Η διαπερατότητα των σχηματισμών αυτών στο σύνολό τους καθορίζεται κυρίως από τις διαρρήξεις και τις κερματισμένες ζώνες (δευτερογενές πορώδες), που συναντώνται στη μάζα τους.

Για τους υπολογισμούς, λαμβάνοντας υπόψη τα συμπεράσματα της αναθεωρημένης υδρογεωλογικής μελέτης, μπορεί να ληφθεί για τους σχιστολίθους, ενιαίος συντελεστής διαπερατότητας $k = 8,16 \times 10^{-7}$ m/sec.
Οι αναμενόμενες εισροές υδάτων κατά τη διάνοιξη της σήραγγας εκτιμάται ότι θα είναι γενικά περιορισμένες και εξαρτώνται άμεσα από τη συχνότητα εμφάνισης ζωνών αυξημένης διαπερατότητας αλλά και τη συνέχειά τους.
Δεν μπορεί βέβαια να αποκλειστεί και η περίπτωση εμφάνισης περιστασιακά κάποιων ζωνών με υψηλή διαπερατότητα, που θα έχει σα συνέπεια τη στιγμιαία αύξηση των εισροών μέσα στη σήραγγα. Εκτιμάται όμως ότι τέτοιες περιπτώσεις οι πιο διαπερατοί ορίζοντες θα αποφορτιστούν σύντομα επιτρέποντας τη συνέχιση των εργασιών

Συνοψίζοντας, από τα παραπάνω και λαμβάνοντας υπ' όψιν τα αποτελέσματα της Υδρογεωλογικής Μελέτης αλλά και τις τοπικές συνθήκες όπως αποτυπώνονται στις επί τόπου δοκιμές διαπερατότητας στο εξεταζόμενο τμήμα, προτείνονται για τους υπολογισμούς οι ακόλουθες τιμές του μέσου συντελεστή διαπερατότητας για τους συγκεκριμένους σχηματισμούς που συναντήθηκαν κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής:

α) για το υποτμήμα της σήραγγας που διανοίγεται μέσα στα νεογενή (Χ.Θ. 0 +504,54 ÷Χ.Θ. 0+8400 : $k = 9,48 \times 10^{-7}$ m/sec.
β) για το υποτμήμα της σήραγγας που διανοίγεται στη μεταβατική ζώνη των Νεογενών (Χ.Θ. 0+840 ¸ Χ.Θ. 0+900): $k = 3,42 \times 10^{-9}$ m/sec.
γ) για το υποτμήμα της σήραγγας που διανοίγεται μέσα στον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο (Χ.Θ. 0+900 ÷Χ.Θ. 0+929,13): $k = 8,16 \times 10^{-7}$ m/sec.

2.4 Γεωτεχνικές Συνθήκες Κατά Μήκος της Σήραγγας

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε τα απαραίτητα γεωτεχνικά στοιχεία (Γεωτεχνικές Τομές και Γεωτεχνικές Παράμετροι Σχεδιασμού) για το σχεδιασμό της διάνοιξης, της προσωρινής υποστήριξης και της τελικής επένδυσης της κύριας σήραγγας στο τμήμα αυτό.

Το τμήμα της κύριας σήραγγας όπως εξετάζεται στην έκθεση γεωτεχνικής αξιολόγησης (Χ.Θ. 0+504,54 έως 0+929,13 περίπου), είναι δυνατόν να χωριστεί στα παρακάτω υποτμήματα. Στο πρώτο και εκτενέστερο υποτμήμα, το οποίο εκτείνεται από Χ.Θ. 0+504,54 μέχρι τη Χ.Θ. 0+840 περίπου, η σήραγγα διανοίγεται μέσα στους Νεογενείς σχηματισμούς.

Η διάνοιξη προβλέπεται να γίνει κυρίως στον ανώτερο ορίζοντα των Νεογενών, δηλαδή σε αμυδρά έως πολύ αποσαθρωμένες Μάργες – Ψαμμούχες Μάργες, ενώ τοπικά μόνο ενδέχεται να συναντηθούν σχηματισμοί του κατώτερου ορίζοντα των Νεογενών, δηλαδή Ασβεστιτικοί Ιλυόλιθοι και Ψαμμίτες. Σε περιορισμένη έκσταση επίσης αναμένεται να συναντηθούν μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι.

Όλοι οι παραπάνω σχηματισμοί αποτελούν προϊόντα λιμναίων αποθέσεων.

Στο υποτμήμα, μεταξύ των χιλιομετρικών θέσεων 0+840 και 0+900, η διάνοιξη θα διασχίσει ζώνη μετάβασης από τη νεογενή λεκάνη στους παλαιότερους Αθηναϊκούς σχιστόλιθους η οποία αποτελείται από υλικά τα οποία είναι συγγενικά με αυτά της νεογενούς λεκάνης

Επειδή τα υλικά μεταβατικής ζώνης συναντώνται τεκτονισμένα και χαρακτηρίζονται από συχνές λιθολογικές μεταβολές, προτείνεται η διάνοιξη, συντηρητικά, να υιοθετήσει την αμέσως βαρύτερη κατηγορία μέτρων υποστήριξης από αυτή που θα επιλεγόταν με βάση τη χαρτογράφηση του μετώπου.

Στο τελευταίο υποτμήμα, το οποίο εκτείνεται από Χ.Θ. 0+900 περίπου μέχρι τη Χ.Θ. 0+929,13 περίπου, η διάνοιξη γίνεται μέσα στους σχηματισμούς που συνιστούν τον ανώτερο ορίζοντα του Αθηναϊκού Σχιστολίθου, δηλαδή εντός των μεταψαμμιτών, αλλά και με αναμενόμενες λεπτές ενστρώσεις μεταϊλυολίθων.

Η περιοχή στην οποία εκτείνεται το πρώτο υποτμήμα καλύπτεται από Νεογενείς σχηματισμούς σημαντικού πάχους. Επιφανειακά και μέχρι τα 3,0m περίπου συναντώνται τεχνητές επιχώσεις, ακολουθούμενες από τον ανώτερο ορίζοντα των Νεογενών σχηματισμών, οι οποίοι παρουσιάζονται κατά θέσεις, πολύ αποσαθρωμένοι και εξαλλοιωμένοι. Οι μαργαϊκοί σχηματισμοί του ανώτερου ορίζοντα εμφανίζονται ως βραχώδεις σχηματισμοί ασθενούς έως μέτρια ασθενούς αντοχής. Ο κατώτερος ορίζοντας που συναντάται βαθύτερα από τη σήραγγα αποτελείται από βραχώδεις σχηματισμούς ασθενούς έως μέτρια υψηλής αντοχής, ενώ μέσα στη μάζα τους συναντώνται τοπικές ενστρώσεις λιγνίτη. Η στάθμη των υπογείων υδάτων συναντήθηκε κοντά στην επιφάνεια του φυσικού εδάφους σε μέσο βάθος περίπου 3,50m περίπου.

Οι Νεογενείς σχηματισμοί και τα υλικά της μεταβατικής ζώνης που θα συναντηθούν κατά τη διάνοιξη της σήραγγας αντιμετωπίζονται με βάση τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των παλαιότερων και των πρόσφατων ερευνών σαν μία ενότητα, καθώς τα μηχανικά χαρακτηριστικά των επιμέρους σχηματισμών τους (μάργες, ψαμμούχες μάργες, αργιλόλιθοι, κροκαλοπαγή), βρίσκονται στην ίδια περίπου τάξη μεγέθους και λαμβάνοντας υπόψη τις συχνές εναλλαγές τους και την περίπλοκη δομή της βραχομάζας που συγκροτούν.

Στο τμήμα από Χ.Θ. 0+560 περίπου έως και περί την Χ.Θ. 0+700 καθώς και περί τις Χ.Θ. 0+800 έως 0+820 με βάση τα αποτελέσματα των διερευνητικών γεωτρήσεων συναντάται έντονα αποσαθρωμένο στρώμα νεογενών (που κατατάσσεται στη γεωτεχνική κατηγορία Μαλακού Βράχου) υπερκείμενο της σήραγγας και μέγιστου πάχους περί τα 7,00 m (χωρίς να περιλαμβάνεται σε αυτό, το πάχος των επιφανειακών εδαφών και τεχνητών επιχώσεων που λαμβάνεται κατά συνθήκη περί τα 3,50m

Σημειώνεται επίσης ότι εντός των Νεογενών συναντώνται στρώσεις συμπαγούς έως μέτρια αποσαθρωμένου Μαργαϊκού Ασβεστολίθου, κυρίως μέτρια υψηλής έως υψηλής αντοχής, οι οποίες χαρακτηρίζονται από μέτρια έως καλή ποιότητα βραχομάζας και υψηλό γεωλογικό δείκτη αντοχής (συνήθως GSI = 40 έως 60). Ο σχηματισμός αυτός που αναμένεται να συναντηθεί στην περιοχή κατ' εκτίμηση μεταξύ Χ.Θ. 0+720 και περίπου Χ.Θ. 0+800, αντιμετωπίζεται ως διακριτό

στρώμα μέσα στους Νεογενείς σχηματισμούς, εξ' αιτίας των βελτιωμένων μηχανικών χαρακτηριστικών και ποιότητας πετρώματος.

Με δεδομένο ότι ο μαργαϊκός ασβεστόλιθος συναντάται με σημαντικό πάχος στη γεώτρηση ΒΡ3333 και μάλιστα σε βάθος που αντιστοιχεί στη στάθμη διέλευσης της σήραγγας, θεωρείται χρήσιμη η διαμόρφωση διακριτών Γεωτεχνικών Τομών Σχεδιασμού για το σχηματισμό αυτό.

Η περιοχή στην οποία εκτείνεται το τελευταίο υποτμήμα από Χ.Θ. 0+900 έως Χ.Θ. 0+929,13 καλύπτεται επιφανειακά και μέχρι τα 3,0 - 3,5 m περίπου από τεχνητές επιχώσεις, ακολουθούμενες από μικρού κυμαινόμενου πάχους μανδύα αποσάθρωσης του υποκείμενου ανώτερου ορίζοντα του Αθηναϊκού σχιστολίθου. Σε μεγαλύτερο βάθος συναντάται ο ανώτερος ορίζοντας που συνίσταται από εναλλαγές κυρίως μεταψαμμιτών και μεταϊλυολίθων, κυμαινόμενης ποιότητας και αντοχής. Στην εξεταζόμενη περιοχή της σήραγγας οι σχηματισμοί που αναμένονται συνίστανται κυρίως σε ασβεστιτικούς μεταψαμμίτες, με πιθανές λεπτές ενστρώσεις μεταϊλυολίθων και χαρακτηρίζονται κυρίως ως ασθενούς έως μέτρια ασθενούς αντοχής ενώ βάσει των γειτονικών γεωτρήσεων ΒΡ3307 και ΒΡ3304 θεωρείται πιθανό να συναντηθούν προς την πλευρά του σταθμού και στρώσεις σχιστολίθων με μεγαλύτερη αντοχή. Η στάθμη των υπογείων υδάτων συναντήθηκε κοντά στην επιφάνεια του φυσικού εδάφους σε μέσο βάθος 3,5m περίπου.

Συμπερασματικά τα τμήματα της σήραγγας και οι αντίστοιχοι σχηματισμοί που αναμένεται να συναντηθούν κατά τη διάνοιξή της είναι :

Πίνακας 4: Σχηματισμοί

ΤΜΗΜΑ Χ.Θ.	***ΑΠΑΝΤΩΜΕΝΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ***
0+504,54 ÷ 0+720	Νεογενή (Μάργες, Ψαμμούχες Μάργες, Ασβεστιτικοί Ιλυόλιθοι)
0+720 ÷ 0+800	Νεογενή (Μαργαϊκός Ασβεστόλιθος)

0+800 ÷ 0+840	Νεογενή (Μάργες, Ψαμμούχες Μάργες, Ασβεστιτικοί Ιλυόλιθοι)
0+840 ÷ 0+900	Υλικά Μεταβατικής ζώνης (Αργιλόλιθοι, Κροκαλοπαγή) Αντιμετωπίζονται ως νεογενή
0+900 ÷ 0+929,13	Ανώτερος Ορίζοντας Αθηναϊκού Σχιστόλιθου (κυρίως μεταψαμμίτης)

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, διακρίνονται τα ακόλουθα στρώματα γεωυλικών με βάση τα οποία θα διαμορφωθούν οι εξιδανικευμένες Γεωτεχνικές Τομές Σχεδιασμού (ΓΤΣ) που θα χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση της σήραγγας στο τμήμα που εξετάζεται:

Στρώμα I **:** Επιφανειακός σχηματισμός (Στιφρό έδαφος χωρίς συνοχή, τοπικά με ανάπτυξη μικρής συνεκτικότητας, έως Στιφρό έδαφος με συνοχή)

Στρώμα II **:** Νεογενή, Υλικά Μεταβατικής ζώνης – Μάργες, Ψαμμούχες Μάργες, Αργιλόλιθοι, με μικρή πιθανότητα εμφάνισης Ψαμμιτών, Ασβεστιτικών Ιλυολίθων (Κατηγορίες από «Βράχος Β» έως «Βράχος Ε» και επιπλέον μία μικτή τομή με Κατηγορία Μαλακού Βράχου πάνω από τη σήραγγα και μέχρι περίπου τη στάθμη της κλείδας του εσωρραχίου και Βράχου Δ κάτω από αυτήν)

Στρώμα III **:** Νεογενή – Μαργαϊκός Ασβεστόλιθος (Κατηγορίες : «Βράχος Β» έως «Βράχος Γ»)

Στρώμα IV **:** Σχιστόλιθοι (Κατηγορίες από «Βράχος Δ» έως «Βράχος Ε»)

Αξίζει να σημειωθεί ότι, όλες οι σήραγγες του Μετρό της Αθήνας έχουν σχεδιαστεί και διανοιχτεί με τις ίδιες παραδοχές, δηλαδή πλήρως στραγγιζόμενων συνθηκών στην περιοχή γύρω από τις σήραγγες. Είναι γεγονός ότι σε σχηματισμούς χαμηλής διαπερατότητας, όπως οι σχηματισμοί του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου και τα Νεογενή, η επίδραση στην ακτίνα επιρροής της ζώνης στράγγισης είναι σχετικά μικρή και κατά συνέπεια η ζώνη υποβιβασμού

των υπογείων υδάτων περιορίζεται σε έκταση (όπως άλλωστε παρατηρήθηκε τόσο στις σήραγγες στην περιοχή του Σταυρού όσο και σε πολλές άλλες θέσεις)

Η παραδοχή πλήρως στραγγιζόμενων συνθηκών για το σχεδιασμό των σηράγγων, δεν υποστηρίζεται από πιεζομετρικές μετρήσεις, διότι αναφέρεται σε μία στενή ζώνη 4,0 έως 6,0m γύρω από τη σήραγγα, ζώνη μέσα στην οποία δε μπορούν να τοποθετηθούν πιεζόμετρα εξαιτίας της παρουσίας των αγκυρίων της επένδυσης των σηράγγων. Εξασφαλίζεται όμως με την παρουσία ικανοποιητικού αριθμού αποστραγγιστικών οπών, δηλαδή κατ΄ ουσία ικανοποιητικής αποστράγγισης στη ζώνη αυτή γύρω από τη σήραγγα, έτσι ώστε να μειώνονται οι πιέσεις πόρων και να αποφεύγεται η ανάπτυξη υδροστατικών πιέσεων στην επένδυση των σηράγγων.

Αν η διαπερατότητα των σχηματισμών που συναντώνται είναι σχετικά μικρή και το δίκτυο των αποστραγγιστικών οπών ικανοποιητικά πυκνό, η κρίσιμη ζώνη γύρω από τη σήραγγα θα αποστραγγίζεται επαρκώς. Πρέπει να σημειωθεί ότι μετρήσεις με υψηλές πιεζομετρικές στάθμες (δηλαδή πολύ μικρό υποβιβασμό των υπογείων υδάτων) σε αποστάσεις 15,0 έως 20,0m γύρω από τις σήραγγες, γεγονός που παρατηρείται πολύ συχνά στην περίπτωση σηράγγων που διανοίγονται μέσα στον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο και στα Νεογενή, δεν αποτελούν ένδειξη στραγγιζομένων ή αστράγγιστων συνθηκών.

Υποδηλώνει απλά, ότι η διαπερατότητα του εδάφους είναι τόσο χαμηλή, έτσι ώστε να διατηρείται μία πολύ απότομη καμπύλη υποβιβασμού των υπογείων υδάτων γύρω από τις σήραγγες. Παρόλα αυτά, η συμπεριφορά των σηράγγων δεν επηρεάζεται από τις επιτόπου συνθήκες σε απόσταση 15,0 έως 20,0m μακριά από τις σήραγγες, και κατά συνέπεια οι υδροστατικές πιέσεις σ΄ αυτή τη ζώνη δε σχετίζονται με το κατά πόσο οι στραγγιζόμενες ή οι αστράγγιστες συνθήκες υπερισχύουν.

Τονίζεται για ακόμη μία φορά ότι οι στραγγιζόμενες ή οι αστράγγιστες συνθήκες επηρεάζονται άμεσα από την πυκνότητα, το μήκος και την αποτελεσματικότητα του δικτύου των αποστραγγιστικών οπών που διανοίγονται γύρω από τις σήραγγες.

Σημειώνεται, ασφαλώς, ότι στην περίπτωση που από το ενόργανο σύστημα παρακολούθησης καταδειχθεί η διατήρηση υψηλών τιμών πιέσεων πόρων στην περιοχή της σήραγγας (σε απόσταση μέχρι περίπου 10,0m από αυτήν),

συνιστάται η διάνοιξη συμπληρωματικών αποστραγγιστικών οπών για αποτόνωση των υδροστατικών πιέσεων.
Στην τυπική περίπτωση των υπόγειων διανοίξεων, ο σχεδιασμός πραγματοποιείται για περισσότερες από μία Γεωτεχνικές Τομές Σχεδιασμού, ώστε να καλυφθεί το πλήρες φάσμα των αναμενόμενων γεωτεχνικών συνθηκών. Καθορίζεται έτσι μία σειρά εναλλακτικών σχεδιασμών (υποστήριξης και επένδυσης) μία για κάθε εξιδανικευμένη τομή. Μία μοναδική Τομή Σχεδιασμού χρησιμοποιείται μόνο όταν η διαφοροποίηση των γεωτεχνικών συνθηκών δεν αναμένεται να είναι σημαντική ή, η τυχόν διαφοροποίηση των γεωτεχνικών συνθηκών δεν επηρεάζει σημαντικά το σχεδιασμό (π.χ. μικρά σε κάτοψη φρέατα εκσκαφής).

Προβλέπεται ένα σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης (από τις μελέτες εφαρμογής της Γεωδομητικής παρακολούθησης) για την σύγκριση της εκτιμώμενης γεωτεχνικής συμπεριφοράς με επί τόπου μετρήσεις (π.χ. οριζόντιες μετακινήσεις των παρειών της εκσκαφής, σύγκλιση τοιχωμάτων σήραγγας, καθιζήσεις της επιφάνειας του εδάφους κλπ.) κατά την κατασκευή. Τα μέτρα διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης αποφασίζονται κατά την κατασκευή, με βάση τη βαθμονόμηση του πετρώματος και συναντάται στο μέτωπο (π.χ. GSI) σε συνδυασμό με τη συμπεριφορά του πετρώματος κατά τη διάνοιξη (ευστάθεια μετώπου – ανυποστήρικτο τμήμα) όπως επίσης και τις ενόργανες μετρήσεις (καθιζήσεις, συγκλίσεις).

2.4.1 Παρατηρήσεις στη Μεθοδολογία Προσδιορισμού Γεωτεχνικών Παραμέτρων Σχεδιασμού (ΓΠΣ)

Η μεθοδολογία προσδιορισμού αντιπροσωπευτικών ΓΠΣ, βασίζεται στη συνεκτίμηση: α) αποτελεσμάτων εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών, β) έμμεσων ή εμπειρικών συσχετίσεων, γ) συμπερασμάτων από εμπειρία στα εξεταζόμενα υλικά και την ως τώρα πραγματοποίηση του έργου, και τέλος δ) προβλέψεων των παραμέτρων διατμητικής αντοχής (φ', c') και του μέτρου ελαστικότητας (Ε) μέσω της Γεωτεχνικής/Γεωλογικής Ταξινόμησης (δείκτης GSI)

και των εμπειρικών συσχετίσεων που κάνουν χρήση των παραμέτρων του κριτηρίου Hoek-Brown.

Από τις παραπάνω συνεκτιμήσεις προκύπτει ένα εύρος διακύμανσης τιμών για την εξεταζόμενη παράμετρο αντοχής/παραμορφωσιμότητας όπου, κατά περίπτωση, εξαιρούνται οι μη αντιπροσωπευτικές τιμές σύμφωνα με τα παρακάτω:

(α) Στην περίπτωση των εργαστηριακών ή επιτόπου δοκιμών γίνεται αξιολόγηση και δεν λαμβάνονται υπόψη οι δοκιμές που δίδουν αναξιόπιστα αποτελέσματα, πχ δεν λαμβάνονται υπόψη οι δοκιμές προσδιορισμού θλιπτικής ή εφελκυστικής αντοχή, όπου το δοκίμιο σπάει σε προϋπάρχουσα ασυνέχεια. Επίσης, δεν λαμβάνονται υπόψη οι μη αντιπροσωπευτικές δοκιμές, πχ για τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών της βραχομάζας, δεν λαμβάνονται υπόψη οι δοκιμές προσδιορισμού αντοχής στα εδαφικά της τμήματα ή στους φακούς πιο συμπαγών και ισχυρών τμημάτων της. Ορισμένες δοκιμές όμως αξιοποιούνται μόνο βοηθητικά, πχ οι δοκιμές διάτμησης σε ασυνέχεια δίδουν ένα κάτω όριο της γωνίας διατμητικής αντίστασης της βραχομάζας, οι δοκιμές πρεσσιομέτρου χρησιμοποιούνται ποιοτικά για την εύρεση της μεταβολής του μέτρου παραμορφωσιμότητας με το βάθος κλπ.

(β) Στην περίπτωση επίσης των συσχετίσεων γίνεται αξιολόγηση και δεν λαμβάνονται υπόψη οι συσχετίσεις που οδηγούν σε αναξιόπιστες τιμές αντοχής/παραμορφωσιμότητας, πχ στην περίπτωση μετατροπής της αντοχής σε σημειακή φόρτιση σε θλιπτική αντοχή: $\sigma_c = k \times I_s50$ ο συντελεστή k δεν λαμβάνει τη γνωστή από τη βιβλιογραφία τιμή k = 24 για τους απαντώμενους σχηματισμούς, αλλά k = 13 ÷ 20 . Επίσης ο προσδιορισμός των μέτρων παραμορφωσιμότητας E της βραχομάζας αποκλειστικά από το GSI , κατά Hoek & Diederich, οδηγεί είτε σε υψηλές τιμές, είτε σε μη αξιόπιστες τιμές, εφόσον στον προσδιορισμό τους υπεισέλθει και το μέτρο παραμορφωσιμότητας του άρρηκτου βράχου Ei για το οποίο δεν υπάρχουν αξιόπιστες εκτιμήσεις.

(γ) Σε ορισμένες περιπτώσεις που δεν υπάρχουν αξιόπιστα στοιχεία από δοκιμές, συσχετίσεις ή βαθμονομήσεις η επιλογή των ΓΠΣ γίνεται αποκλειστικά

βάσει της εμπειρίας στα εξεταζόμενα υλικά και των συμπεριφορά των κατασκευών σε αυτά μέχρι την ως τώρα πραγματοποίηση
του έργου, όπως πχ η οριακή διατμητική αντοχή αγκυρίων fsu και το ελάχιστο μήκος πάκτωσή τους L_{min}.
Με βάση τα παρατιθέμενα στοιχεία έγινε επιπροσθέτως εμπειρική αποκλιμάκωση των τιμών ανάλογα με την κατηγορία βραχομάζας. Φυσικά οι τιμές κατά την κατασκευή επιβεβαιώνονται με τρέχουσες δοκιμές ποιοτικού ελέγχου.

(δ) Ειδικά στην περίπτωση (δ) πρόβλεψης των παραμέτρων αντοχής/παραμορφωσιμότητας μέσω του GSI, επισημαίνονται τα εξής:

(i) οι αντιπροσωπευτικές τιμές του GSI (γεωλογικού δείκτη αντοχής) λαμβάνονται από τις αντίστοιχες Εκθέσεις Αξιολόγησης των Αποτελεσμάτων των αρχικών και των συμπληρωματικών γεωτεχνικών ερευνών,

(ii) οι απαιτούμενες τιμές θλιπτικής αντοχής σci άρρηκτου βράχου βασίζονται κυρίως στα διαθέσιμα εργαστηριακά αποτελέσματα συναξιολογούνται με τη γενικότερη εικόνα των γεωτεχνικών συνθηκών όπως αποτυπώνεται στις γεωτεχνικές έρευνες, και

(iii) Οι εφαρμοστέες τιμές της παραμέτρου mi του κριτηρίου Hoek-Brown λαμβάνονται από τη διαθέσιμη βιβλιογραφία για τις αντιπροσωπευτικές τιμές αντίστοιχων σχηματισμών ή από ελαφρά προσαρμογή τους όπου η αντιστοιχία δεν κρίνεται απόλυτα μονοσήμαντη. Με την παραπάνω λογική λαμβάνονται εύρη τιμών των GSI, σ_{ci} και m_i για κάθε ομάδα σχηματισμών και κάθε γεωτεχνική κατηγορία από τα οποία και προκύπτουν αντίστοιχα εύρη προβλέψεων κατά Hoek-Brown των παραμέτρων διατμητικής αντοχής c', φ' (ισοδύναμου «γραμμικού» κριτηρίου Mohr-Coulomb για χαρακτηριστικό βάθος z του έργου) και παραμορφωσιμότητας (μέτρο ελαστικότητας E).
Τα εύρη των προκυπτουσών προβλέψεων κατά Hoek-Brown των παραμέτρων (c', φ', E) όπως υπολογίζονται από το σύνολο των συνδυασμών των εισαγομένων τιμών (GSI, σ_{ci} , m_i) που λαμβάνονται στο εύρος που έχουν προεκτιμηθεί με τον τρόπο που ήδη αναφέρθηκε (χωρίς ασφαλώς αυτό να σημαίνει ότι όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί των GSI, σ_{ci} , m_i εντός των ορίων των

επιμέρους ευρών τους θεωρούνται κατ' ανάγκη ίσης πιθανότητας εκδήλωσης στην πράξη).

(iv) Οι εκτιμήσεις παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας έχουν γίνει εκτός των άλλων και με το λογισμικό Rock Lab βάση της μεθοδολογίας του (Hoek 2002). Οσον αφορά τον υπολογισμό του μέτρου παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας, έχουν γίνει υπολογισμοί και με τις δύο πιο πρόσφατες προσεγγίσεις (Hoek 2002 και Hoek & Diederichs 2005) που περιλαμβάνονται σε παλιότερη και την τελευταία έκδοση του (εκδόση v 1.0003 και v1.031). Παρ' όλα αυτά για λόγους που περιγράφονται παρακάτω βαρύτητα έχει δοθεί στην προγενέστερη εμπειρική σχέση του Hoek.

Συμφωνα με τα παραπάνω το μέτρο παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας υπολογίζεται συναρτήσει του γεωλογικού δείκτη αντοχής και της μονοαξονικής αντοχής του άρρηκτου βράχου από την σχέση:

(α)

$$E_{rm}=\sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}}\;10^{\frac{GSI-10}{40}}$$

Σε μια πιο πρόσφατη ερευνητική εργασία των Hoek & Diederichs (2005) συγκροτώντας μια βάση δεδομένων 497 περιπτώσεων μετρήσεων του μέτρου παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας στην Κίνα και την Taiwan προτείναν δύο εμπειρικές σχέσεις:

(β)

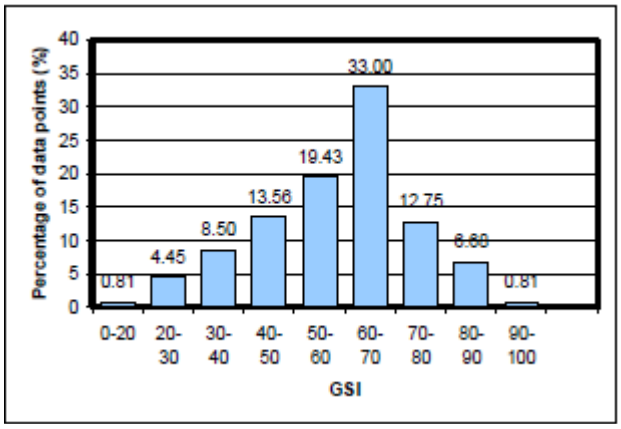
$$E_{rm} = 100.000\left(\frac{1-D/2}{1+e^{[(75+25D-GSI)/11]}}\right)$$

(γ)

$$E_{rm} = E_i\left(0{,}02+\frac{1-D/2}{1+e^{[(60+15D-GSI)/11]}}\right)$$

όπου GSI: Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής Βραχομάζας,
Ei: Μέτρο παραμορφωσιμότητας άρρηκτου βράχου.

Η σχέση (β) που αναφέρεται και ώς απλοποιημένη σχέση Hoek & Diederichs (εικ.2) είναι συνάρτηση μόνο του GSI και του δείκτη διατάραξης της Βραχομάζας D. Η σχέση (γ) περιλαμβάνει μια ακόμα παράμετρο, το μέτρο ελαστικότητας του άρρηκτου βράχου όπως προσδιορίζεται με βάση εργαστηριακές δοκιμές. Η άμεση χρήση της σχέσης (γ) είναι εφικτή μόνοόταν υπάρχουν αξιόπιστες μετρήσεις του μέτρου Ei .
Στην περίπτωση μας όμως, όπου οι τιμές που έχουμε για τα Ei δεν είναι ιδιαίτερα αξιόπιστες λόγω της ετερογένειας, του κερματισμού και της εξαλοίωσης του πετρώματος που φθάνει και επηρεάζει και την κλίμακα των εργαστηριακών δειγμάτων, αλλά κυριότερα λόγω της διατάραξης του πετρώματος λόγω της αποτόνωσης των τάσεων (Stress relief) κατα την δειγματοληψία φαινόμενο ιδιαίτερα έντονο σε ασθενή πετρώματα με σχιστότητα ή στρωσιγένεια σε κλίμακα εργαστηριακού δείγνματος η δευτερη σχέση μόνο έμμεσα μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Υπάρχουν οδηγίες και συστάσεις για τον έμμεσο προσδιορισμό του Ei από το σ_{ci} αλλά σε αυτή την περίπτωση πέραν των αβεβαιοτήτων που υφίσταται στον προσδιορισμό της παραμέτρου σ_{ci} προστίθεται και η αβεβαιότητα από την επιλογή του συντελεστή μετατροπής ER.



Εικόνα 2: Κάλυψη των διαφόρων κατηγοριών βραχομάζας από την εμπειρική βάση των Hoek & Diederichs 2005

Συγκριτικοί υπολογισμοί με τις τρείς παραπάνω σχέσεις που παρουσιάζονται στο σχετικό παράρτημα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η σχέση (β) οδηγεί σε

αρκετά υψηλότερες τιμές του μέτρου Em ενώ η σχέση (γ) σε σημαντικά χαμηλότερες τιμές, ιδιαίτερα σε πτωχότερες κατηγορίες βραχομάζας.
Μελετώντας προσεκτικότερα τα στοιχεία της βάσεως δεδομένων των Hoek & Diederichs φαίνεται πώς μόνο ένα εξαιρετικά μικρό ποσοστό των μετρήσεων αφορά τις πτωχές κατηγορίες βραχομάζας που ενδιαφέρουν εδώ. Στο παρακάτω σκαρίφημα που φαίνεται η κάλυψη της βάσεως δεδομένων παρατηρείται ότι μόνο το 5% των μετρήσεων αφορά κατηγορίες βραχομάζας με GSI <30 (κατηγορίες Ε και Δ) και μόλις το 12% κατηγορίες βραχομάζας με GSI <40 (κατηγορία Γ) . Επιπροσθέτως η βάση δεδομένων των E. Hoek και M.S. Diederichs περιέχει εν γενει μετρήσεις (εργαστηριακές και επιτόπου) σε υλικά αρκετα διαφορετικά από απόψεως λιθολογίας σε σχέση με αυτά του παρόντος έργου, ενώ στην σχετική δημοσίευση δεν παρατίθεται στοιχεία για το εύρος των τιμών του Ει και του σci. Για τους παραπάνω λόγους μεγαλύτερη βαρύτητα στον προσδιορισμό των παραμέτρων παραμορφωσιμότητας δόθηκε στην σχέση (α).

2.4.2 Συντελεστής Ουδέτερων Ωθήσεων Γαιών

Θα πρέπει αρχικά να διευκρινιστεί ότι οι σχηματισμοί που συνθέτουν τον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο (όπως άλλωστε και τα Νεογενή που συναντήθηκαν σε γειτονικό τμήμα του έργου), αποτελούν βραχώδεις σχηματισμούς.

Για τους βραχώδεις λοιπόν αυτούς σχηματισμούς, για τους υπολογισμούς ο συντελεστής ουδετέρων ωθήσεων υπολογίζεται από την γενική σχέση

$$k_0 = \frac{v}{1 - v}$$

όπου για v=1/4-1/3 προκύπτει k_0 = 0.40-0.50

Και επί τω δυσμενέστερω για τους υπολογισμούς προτείνεται να ληφθεί k_o = 0.50 Εξάλλου επισημαίνεται ότι η γενική κατάσταση τεκτονικού εφελκυσμού που υφίσταται ο φλοιός στην ευρύτερη περιοχή του Αιγιακού χώρου κατά το πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν και μέχρι και σήμερα έχει ακυρώσει υψηλές

τιμές των οριζοντίων τάσεων και είναι συμβατός με την παραπάνω θέώρηση του $k_o = 0.50$.

Διευκρινιστικά επισημαίνεται ότι οι τιμές των επί τόπου ενεργών οριζοντίων τάσεων μέσα στο έδαφος δεν μπορούν να ταυτιστούν με τις οριζόντιες ωθήσεις που καταπονούν τα πλευρικά τοιχώματα των δομικών κατασκευών. Λόγω των εργασιών διάτρησης των πασσάλων ήδη και στην συνέχεια των εκσκαφών των ορυγμάτων των Σταθμών, (αλλά και των σηράγγων), οι οριζόντιες τάσεις απομειώνονται σημαντικά (εξ΄ αιτίας της οριζόντιας μετακίνησης που λαμβάνει χώρα κατά στη διάρκεια των εργασιών κατασκευής). Ενδεχόμενες ανακατανομές και μελλοντικές αυξήσεις των οριζοντίων τάσεων, λόγω ερπυσμού κλπ., μετά την ολοκλήρωση των έργων δεν πρόκειται να αποκαταστήσουν τις επί τόπου αρχικές τιμές ακόμα και με την παρέλευση χρόνου υπερπολλαπλάσιου του χρόνου ζωής για τον οποίο σχεδιάζονται τα έργα.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω,προτείνεται για το σχεδιασμό, ο συντελεστής ουδετέρων ωθήσεων να λαμβάνεται ενιαίος (εν γένει Ko=0,50) για βραχυχρόνιες όσο και για μακροχρόνιες συνθήκες.

2.5 Γεωτεχνικές Τομές Σχεδιασμού (ΓΤΣ)

Οι Γεωτεχνικές Τομές Σχεδιασμού (ΓΤΣ) που προτείνονται για κάθε σχηματισμό που πρόκειται να συναντηθεί κατά τη διάνοιξη της σήραγγας παρουσιάζονται στους επόμενους πίνακες (Πίν.5-9). Η ανώτερη και κατώτερη αναμενόμενη στάθμη των υπογείων υδάτων, εκτιμήθηκε από τις μετρήσεις της στάθμης των υδάτων στα πιεζόμετρα των γεωτρήσεων μετά το πέρας των εργασιών υπαίθρου.

Τα αρχικά και τελικά τμήματα εκσκαφής των σηράγγων από τις θέσεις προσβολής, πρόκειται να σχεδιαστούν συντηρητικά με τη δυσμενέστερη προταθείσα Γεωτεχνική Τομή Σχεδιασμού, ανεξαρτήτως των τοπικών εδαφικών συνθηκών που συναντήθηκαν στις θέσεις αυτές. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η ενδεχόμενη επιβάρυνση της επένδυσης των σηράγγων από μεγαλύτερα και πιθανόν δυσπροσδιόριοτα εδαφικά φορτία που οφείλονται σε ανακατανομές τάσεων μέσα στο έδαφος λόγω της κατασκευής των φρεάτων προσβολής των σηράγγων. Η κατάλληλη επιλογή της χρησιμοποιούμενης ΓΤΣ κατά την διάνοιξη των σηράγγων, στηρίζεται αφενός στην επιτόπου γεωλογική βαθμονόμηση της βραχομάζας του μετώπου εκσκαφής της σήραγγας, αφετέρου

δε στην ενόργανη παρακολούθηση των συγκλίσεων και των επιφανειακών καθιζήσεων μπροστά από το μέτωπο εκσκαφής της σήραγγας, καθώς και στην αποκτηθείσα εμπειρία συμπεριφοράς άλλων σηράγγων κατά την εκσκαφή τους σε αντίστοιχες εδαφικές συνθήκες.
Συγκεκριμένα οι Γεωτεχνικές Τομές Σχεδιασμού είναι οι ακόλουθες:

Οι **(ΑΒ)ΓΤΣ-Ι - (ΑΒ)ΓΤΣ-4,** που αναφέρονται στον σχηματισμό των Αθηναϊκών Σχιστολίθων (Τμήμα Α).
Οι **(ΑΒ)ΓΤΣ-5 - (ΑΒ)ΓΤΣ-8,** οι οποίες αναφέρονται στην ενότητα των Νεογενών (Τμήμα Β).
Οι **(ΓΔ)ΓΤΣ-Ι - (ΓΔ)ΓΤΣ-5** αναφέρονται στον σχηματισμό των Νεογενών (για το τμήμα από Χ.Ο. 0+349 έως Χ.Ο. 0+929 περίπου).
Οι **(ΓΔ)ΓΤΣ-6 και (ΓΔ)ΓΤΣ-7** αναφέρονται στον σχηματισμό των Μαργαϊκών Ασβεστόλιθων (που αποτελεί μέρος της Νεογενούς λεκάνης).
Οι **(ΓΔ)ΓΤΣ-8 και (ΓΔ)ΓΤΣ-9,** οι οποίες αναφέρονται στην ενότητα των Αθηναϊκών Σχιστολίθων (για το τμήμα από Χ.Θ. 0 + 349 έως Χ.Θ. 0+929 Περίπου).

Πίνακας 5: Αθηναϊκός Σχιστόλιθος Τμήμα Α –Γεωτεχνικές τομές Σχεδιασμού και παράμετροι

ΓΤΣ	**Πεδίο Εφαρμογής**	**Στρώσεις**	**Γεωτεχνικές παράμετροι στρώσεων**				
			GSI	**γ (kN/m^3)**	**c ' (kPa)**	**φ ' (°)**	**E (MPa)**
(ΑΒ)ΓΤΣ-1	Βράχος Γ στο μέτωπο	Στρώμα I (0,0-3,50m) - Στιφρό έδαφος χωρίς συνοχή	-	21	0-10	35-38	40
		Στρώμα II-1 (> -3,50m) -Βράχος Γ	25-35	23	70	38	800

(ΑΒ)ΓΤΣ-2	Βράχος Δ στο μέτωπο	Στρώμα Ι (0,0-3,50m) - Στιφρό έδαφος χωρίς συνοχή	-	21	0-10	35-38	40
		Στρώμα Π-2 (> -3,50m) -Βράχος Δ	20-25	23	50	35	500

(ΑΒ)ΓΤΣ-3	Βράχος Ε στο μέτωπο	Στρώμα Ι (0,0-3,50m) - Στιφρό έδαφος χωρίς συνοχή	-	21	0-10	35-38	
		Στρώμα ΙΙ-3(> -3,50m) -Βράχος Ε	15-20	23	40	30	
(ΑΒ)ΓΤΣ-4	Μαλακός Βράχος στο μέτωπο	Στρώμα Ι (0,0-3,50m) - Στιφρό έδαφος χωρίς συνοχή	-	21	0-10	35-38	40
		Στρώμα ΙΙ-4 (> -3,50m) -Μαλακός Βράχος	10-15	22	35	28	250

Πίνακας 6 : Νεογενή

Τμήμα Β :Γεωτεχνικές Τομές Σχεδιασμού και Παράμετροι

ΓΤΣ	**Πεδίο Εφαρμογής**	**Στρώσεις**	**Γεωτεχνικές παράμετροι στρώσεων**				
			GSI	**γ (kN/m^3)**	**c ' (kPa)**	**φ ' (°)**	**E (MPa)**
(ΑΒ)ΓΤΣ-5	Βράχος Β στο μέτωπο	Στρώμα Ι (0,0-3,50m) - Στιφρό έδαφος χωρίς συνοχή	-	21	0-10	35-38	40
		Στρώμα ΙΙΙ-1 (> -3,50m) -Βράχος Β	35-45	23	60	36	1200

(ΑΒ)ΓΤΣ-6	Βράχος Γ στο μέτωπο	Στρώμα Ι (0,0-3,50m) - Στιφρό έδαφος χωρίς συνοχή	-	21	0-10	35-38	40
		Στρώμα ΙΙΙ-2 (> -3,50m) -Βράχος Γ	25-35	23	50	35	750
	Βράχος Δ στο μέτωπο	Στρώμα Ι (0,0-3,50m) - Στιφρό έδαφος χωρίς συνοχή	-	21	0-10	35-38	40
		Στρώμα ΙΠ-3 (> -3,50m) -Βράχος Δ	20-25	23	45	32	450
	Βράχος Ε στο μέτωπο	Στρώμα Ι (0,0-3,50m) Στιφρό έδαφος χωρίς συνοχή	-	21	0-10	35-38	40
		Στρώμα ΙΠ-4 (> -3,50m) -Βράχος Ε	15-20	23	35	32	300

Πίνακας 7 : Νεογενή

Γεωτεχνικές Τομές Σχεδιασμού και Παράμετροι Γεωτεχνικού

ΓΤΣ	**Πεδίο Εφαρμογής**	**Στρώσεις**	**GSI**	**γ (kIM/m^3)**	**c " (kPa)**	**φ ' (°)**	**E (MPa)**
(ΓΔ)ΓΤΣ-1	Βράχος Β στο μέτωπο	Στρώμα I (0,0-3,50m) - Στιφρό έδαφος χωρίς συνοχή	-	21	0	38	40
	GSI 35-45	Στρώμα II-1 (> -3,50m) -Βράχος Β	35-45	23	60	36	1200
(ΓΔ)ΓΤΣ-2	Βράχος Γ στο μέτωπο	Στρώμα I (0,0-3,50m) - Στιφρό έδαφος χωρίς συνοχή	-	21	0	38	40
	GSI 25-35	Στρώμα Π-2 (> -3,50m) -Βράχος Γ	25-35	23	50	35	750
(ΓΔ)ΓΤΣ-3	Βράχος Δ στο μέτωπο	Στρώμα I (0,0-3,50m) - Στιφρό έδαφος χωρίς συνοχή	-	21	0	38	40
	GSI 20-25	Στρώμα II-3 (> -3,50m) -Βράχος Δ	20-25	23	45	32	450
(ΓΔ)ΓΤΣ-4	Βράχος Ε στο μέτωπο	Στρώμα I (0,0-3,50m) - Στιφρό έδαφος χωρίς συνοχή	-	21	0	38	40
	GSI 15-20	Στρώμα II-4 (> -3,50m) -Βράχος Ε	15-20	23	35	32	300

(ΓΔ)ΠΓΣ-5	Μαλακός Βράχος υπερκείμενος Βράχος Δ στο μέτωπο	Στρώμα Ι (0,0-3,50m) – Στιφρό έδαφος χωρίς συνοχή	-	21	0	38	40
		Στρώμα Π-5 (-3,50-13,00m) - Μαλακός Βράχος	10-15	23	25	30	250
		Στρώμα ΙΙ-3 (> -13,00m) -Βράχος Δ	20-25	23	45	32	450

Πίνακας 8: Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι

Γεωτεχνικές Τομές Σχεδιασμού και Παράμετροι Γεωτεχνικού Σχεδιασμού

ΓΤΣ	**Πεδίο Εφαρμογής**	**Στρώσεις**	**Γεωτεχνικές παράμετροι στρώσεων**				
			GSI	**γ (kN/m^3)**	**c ' (kPa)**	**φ ' (°)**	**E (MPa)**
(ΓΔ)ΓΤΣ-6	Βράχος Β στο μέτωπο GSI 35-45	Στρώμα Ι (0,0-3,50m) - Στιφρό έδαφος χωρίς συνοχή	-	21	0	38	40
		Στρώμα ΙΠ-1 (> -3,50m) - Βράχος Β	35-45	23	110	48	2400
(ΓΔ)ΓΤΣ-7	Βράχος Γ στο μέτωπο GSI 25-35	Στρώμα Ι (0,0-3,50m) - Στιφρό έδαφος χωρίς συνοχή	-	21	0	38	40
		Στρώμα ΙΓΙ-2 (> -3,50m) - Βράχος Γ	25-35	23	90	45	1300

Πίνακας 9 : Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι

Γεωτεχνικές Τομές Σχεδιασμού και Παράμετροι Γεωτεχνικού Σχεδιασμού

ΓΤΣ	**Πεδίο Εφαρμογής**	**Στρώσεις**	**Γεωτεχνικές παράμετροι στρώσεων**				
			GSI	**γ (kN/m^3)**	**c " (kPa)**	**φ ' (°)**	**E (MPa)**
(ΓΔ)ΓΤΣ-8	Βράχος Δ στο μέτωπο GSI 20-25	Στρώμα I (0,0-3,50m) - Στιφρό έδαφος χωρίς συνοχή	-	21	0	38	40
		Στρώμα V-I (> -3,50m) -Βράχος Δ	20-25	23	80	35	600
(ΓΔ)ΓΤΣ-9	Βράχος Ε στο μέτωπο GSI15-20	Στρώμα I (0,0-3,50m) - Στιφρό έδαφος χωρίς συνοχή	-	21	0	38	40
		Στρώμα V-2 (> -3,50m) -Βράχος Ε	15-20	23	60	32	450

3.ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

3.1 Διάνοιξη και προσωρινή υποστήριξη

Οι εργασίες διάνοιξης και προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας από τη Χ.Θ. 0 + 000 έως τη Χ.Θ. 0+343,72 θα ξεκινήσουν από τη σήραγγα διατομής διπλής γραμμής στη Χ.Θ. 0+350,72, όπου έχει σχεδιαστεί ζώνη μετάβασης από τη διατομή διπλής σε διατομή τριπλής γραμμής συνολικού μήκους 7,0m και θα ακολουθήσει η διάνοιξη του υπολοίπου τμήματος σε διατομή τριπλής γραμμής.
Επίσης, η σήραγγα που εκτείνεται από τη Χ.Θ. 0+349 έως την είσοδο του Σταθμού Χαϊδαρίου στη Χ.Θ. 0+929, θα διανοιχθεί από τον θάλαμο προσβολής που έχει κατασκευαστεί στη θέση του Φρέατος Ηρώων Πολυτεχνείου, τόσο προς τη κατεύθυνση του φρέατος Άλσους όσο και προς τη κατεύθυνση του σταθμού Χαϊδαρίου.

Η κατά μήκος κλίση της σήραγγας από τη Χ.Θ. 0+000 μέχρι τη Χ.Θ. 0+075 είναι σχεδόν οριζόντια ήπια ανοδική και στη συνέχεια ανοδική ακολουθώντας το ανάγλυφο του φυσικού εδάφους από τη Χ.Θ. 0+125 έως τη Χ.Θ. 0 + 343,72. Το ύψος των υπερκείμενων γαιών πάνω από τη κλείδα της σήραγγας βαίνει μειούμενο από Η = 20,50 - 11,50m περίπου. Επίσης, στο μεγαλύτερο τμήμα της σήραγγας από τη Χ.Θ. 0+349 έως τη Χ.Θ. 0+929, η κατά μήκος κλίση της σήραγγας ακολουθεί το ανάγλυφο του φυσικού εδάφους και το ύψος των υπερκείμενων γαιών πάνω από τη κλείδα της σήραγγας δεν μεταβάλλεται αξιοσημείωτα και κυμαίνεται από Η = 12,00 -13,00m περίπου. Περί την Χ.Θ. 0+820, όπου η χάραξη προσεγγίζει τον Σταθμό Χαϊδαρίου, η χάραξη μηκοτομικά γίνεται περίπου οριζόντια και το ύψος του υπερκειμένου φτάνει στο πέρας του τμήματος τα 14,00m περίπου. Η διατομή της σήραγγας τριπλής γραμμής έχει πλάτος περίπου 14,50m και ύψος 11,50m και το εμβαδόν διατομής διάνοιξης είναι 134m^2. Δεδομένου του μεγέθους της διατομής διάνοιξης η εκσκαφή επιλέγεται να γίνει σε δύο φάσεις με διαμόρφωση δαπέδου ανεστραμμένου θόλου και στη πρώτη φάση (προσωρινό) και τη δημιουργία επομένως ενός κλειστού δακτυλίου σε μικρή απόσταση από το μέτωπο εκσκαφής σε κάθε μία από τις φάσεις εκσκαφής, ενισχύοντας με αυτό τον τρόπο την ευστάθεια της διατομής. Η ευστάθεια του μετώπου ενισχύεται με διατήρηση βαθμίδας.

Αντίθετα, η διατομή εκσκαφής της σήραγγας διπλής γραμμής έχει πλάτος 9,60m και ύψος 8,00m περίπου και το εμβαδόν της διατομής διάνοιξης είναι περίπου 62m^2. Με δεδομένο το σχετικά μικρό μέγεθος της διατομής διάνοιξης, η εκσκαφή και υποστήριξη του μεγαλύτερου μέρους της διατομής επιλέγεται να γίνει σε μια φάση αφήνοντας ικανό χώρο για την προσέγγιση του μηχανικού εξοπλισμού στην περιοχή του μετώπου, ενώ σε μικρή απόσταση από το μέτωπο εκσκαφής (<15m) ακολουθεί η διαμόρφωση και επένδυση του δαπέδου ανεστραμμένου θόλου και ουσιαστικά το «κλείσιμο» της διατομής εξασφαλίζοντας την λειτουργία κλειστού δακτυλίου. Η ευστάθεια του μετώπου εξασφαλίζεται, όπου είναι απαραίτητο, με διαμόρφωση αναβαθμού και αγκύρια μετώπου.
Ανάλογα με την αναμενόμενη συμπεριφορά της βραχομάζας κατά την διάνοιξη, έχουν σχεδιαστεί τέσσερις κατηγορίες διάνοιξης και εφαρμογής μέτρων προσωρινής υποστήριξης για τη διατομή της σήραγγας τριπλής γραμμής και τρεις κατηγορίες για τη διατομή διπλής γραμμής, στις οποίες κλιμακώνονται το βήμα διάνοιξης, το πάχος της προσωρινής επένδυσης, οι αγκυρώσεις, τα μέτρα υποστήριξης μετώπου, καθώς και τα μέτρα προϋποστήριξης
<u>Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των διατομών διάνοιξης είναι τα εξής:</u>

- Η κατηγορία **SC** εφαρμόζεται σε περιοχές όπου η βραχομάζα δεν εκδηλώνει τάση αστάθειας ή καταπτώσεων στο μέτωπο και το ανυποστήρικτο τμήμα και γι' αυτό για την κατηγορία αυτή δεν προβλέπονται μέτρα προϋποοτήριξης ή υποστήριξης μετώπου. Η κατηγορία SC ορίζει τα ελάχιστα μέτρα προσωρινής υποστήριξης που μπορούν να εφαρμοστούν και εφαρμόζεται σε κατηγορίες βραχομάζας με GSI>25.

- Η κατηγορίας **SD** εφαρμόζεται σε περιοχές όπου η βραχομάζα έχει τάση εκδήλωσης καταπτώσεων στην περιοχή του μετώπου, καθοριζόμενων είτε από συστηματικές ασυνέχειες είτε από την παρουσία ενστρώσεων αδρομερών οριζόντων χαμηλής ή μηδενικής συνοχής. Προβλέπει την προϋποστήριξη της περιοχής του μετώπου από δοκούς προπορείας και αγκυρώσεις υαλοϊνών στο μέτωπο. Το βήμα εκσκαφής είναι μειωμένο σε σχέση με την προηγούμενη κατηγορία, ενώ το πάχος της επένδυσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος αυξημένο.

- Η κατηγορία **SE** εφαρμόζεται σε περιοχές όπου η βραχομάζα έχει εντονότερη τάση εκδήλωσης καταπτώσεων στην περιοχή του μετώπου, λόγω του έντονου κερματισμού του πετρώματος ή λόγω της συστηματικής παρουσίας στρώσεων αδρομερών (αμμωδών ή χαλικωδών) οριζόντων χαμηλής ή μηδενικής συνοχής. Προβλέπει την προϋποστήριξη της περιοχής του μετώπου από βαρύτερες δοκούς προπορείας και πυκνότερες αγκυρώσεις υαλοϊνών στο μέτωπο. Το βήμα εκσκαφής είναι μειωμένο σε σχέση με την προηγούμενη κατηγορία SD, ενώ το πάχος της επένδυσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος αυξημένο.

- Η κατηγορία **SSR** εφαρμόζεται σε περιοχές όπου η βραχομάζα έχει έντονη τάση εκδήλωσης καταπτώσεων, αλλά και πλαστικών παραμορφώσεων τόσο στο θόλο όσο και στην περιοχή του μετώπου, λόγω του έντονου κερματισμού του πετρώματος ή λόγω της συστηματικής παρουσίας εδαφοποιημένων ενστρώσεων συχνά αργιλικών.

Η έναρξη της διάνοιξης από τον θάλαμο προσβολής που έχει διανοιχθεί στην περιοχή του φρέατος Ηρώων Πολυτεχνείου γίνεται με εφαρμογή μέτρων προσωρινής υποστήριξης κατηγορίας **SE** με την προστασία, στα πρώτα μέτρα διάνοιξης, δοκών προπορείας μήκους 6,00m/4,00m μέχρι τη διάνοιξη ικανού τμήματος που να επιτρέπει την τοποθέτηση δωδεκάμετρων δοκών προπορείας. Ένα τμήμα σήραγγας μήκους 55,0m περίπου, θα διανοιχθεί από το όρυγμα του σταθμού Χαϊδαρίου και η συνάντηση των δύο μετώπων διάνοιξης έχει σχεδιαστεί να γίνει περίπου στη Χ.Θ. 0+874,78, ώστε να αποφευχθεί η θέση των υπερκείμενων κτηρίων. Στην ζώνη αυτή η διάνοιξη θα γίνει με υποχρεωτική εφαρμογή μέτρων προσωρινής υποστήριξης κατηγορίας **SE**.

3.2 Παραδοχές Σχεδιασμού

3.2.1 Κανονισμοί

- Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος (Ε.Κ.Ω.Σ.-2000) ΦΕΚ 1329/Β/06.11. 00, όπως τροποποιήθηκε (ΦΕΚ 447/Β/05.04.04)
- Ελληνικός Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ.-1997) ΦΕΚ 315/Β/17.04.97, όπως τροποποιήθηκε (Απόφαση Δ14/50504-ΦΕΚ 537/Β/01.05.02)
- Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος (Κ.Τ.Χ.-2000) ΦΕΚ 381/Β/24.03.00

3.2.2 Φορτία

Φορτία στην επιφάνεια του εδάφους

- Φορτίο ανά όροφο κτηρίου 10 kN/m^2
- Φορτίο οδικής κυκλοφορίας 15 kN/m^2

Μόνιμα Φορτία

- Ίδιο βάρος οπλισμένου σκυροδέματος 25 kN/m^3
- Φαινόμενο βάρος εδάφους 21 kN/m^3

Στιφρό έδαφος

- Βράχος Γ 23 kN/m^3
- Βράχος Δ 23 kN/m^3
- Βράχος Ε 23 kN/m^3

Μαλακός Βράχος

- Διατομή τριπλής γραμμής 22 kN/m^3
- Διατομή διπλής γραμμής 23 kN/m^3

3.2.3 Υλικά

Οπλισμένο σκυρόδεμα (μόνιμες κατασκευές)	C 30/37
Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	C 25/30
Δομικός χάλυβας	Fe 360
Χάλυβας οπλισμών	S 500s
Χάλυβας δομικού πλέγματος	S 500s
Χάλυβας δικτυωτών πλαισίων	S 500s
Σωλήνες δοκών προπορείας	Fe 360
Αυτοδιατρώμενα αγκύρια	R30/11

Αγκύρια υαλοϊνών

- Διατομή τριπλής γραμμής Φ.Ι. 250 kN
- Διατομή διπλής γραμμής Φ.Ι. 240 kN

3.3 Μέτρα προσωρινής υποστήριξης

3.3.1 Γενικές αρχές σχεδιασμού διάνοιξης - υποστήριξης

Για το σχεδιασμό της σήραγγας, έγινε θεώρηση των Γεωτεχνικών Τομών Σχεδιασμού που καλύπτουν επαρκώς το σύνολο του μήκους της σήραγγας. Οι τομές αυτές αντιμετωπίζονται αντίστοιχα με τις κατηγορίες μέτρων προσωρινής υποστήριξης και συγκεκριμένα:

- Οι (ΑΒ)ΓΤΣ-Ι, (ΑΒ)ΓΤΣ-5 και (ΑΒ)ΓΤΣ-6 (Βράχος Γ και Β) αντιμετωπίζονται με την Κατηγορία **SC** διατομής τριπλής γραμμής.
- Οι (ΑΒ)ΓΤΣ-2 και η (ΑΒ)ΓΤΣ-7 (Βράχος Δ) αντιμετωπίζονται με την Κατηγορία **SD** διατομής τριπλής γραμμής.
- Οι (ΑΒ)ΓΤΣ-3 και η (ΑΒ)ΓΤΣ-8 (Βράχος Ε) αντιμετωπίζονται με την Κατηγορία **SE** διατομής τριπλής γραμμής.
- Η (ΑΒ)ΓΤΣ-4 (Μαλακός Βράχος) αντιμετωπίζεται με την Κατηγορία **SSR** διατομής τριπλής γραμμής.
- Η (ΓΔ)ΓΤΣ-2 (Βράχος Γ) αντιμετωπίζεται με την Κατηγορία **SC** διατομής διπλής γραμμής.
- Η (ΓΔ)ΓΤΣ-3 (Βράχος Δ) αντιμετωπίζεται με την Κατηγορία **SD** διατομής διπλής γραμμής.
- Οι (ΓΔ)ΓΤΣ-4 (Βράχος Ε) και ΓΔ-ΓΤΣ-5 (υπερκείμενος Μαλακός Βράχος με Βράχο Δ στο μέτωπο) αντιμετωπίζονται με την Κατηγορία **SE** διατομής διπλής γραμμής

Η προσωρινή επένδυση σ' όλες τις κατηγορίες είναι σκυρόδεμα κατάλληλου πάχους, οπλισμένο με δομικό πλέγμα στις δύο παρειές και χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια (Lattice Girders).
Για τον οπλισμό του κελύφους επιλέγεται η χρήση χαλύβδινων δικτυωτών πλαισίων, διότι η χρήση τους συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας της επένδυσης, αφού δεν επιτρέπει την δημιουργία «σκιών» κατά την φάση εκτόξευσης και έτσι εξασφαλίζεται καλύτερη συνάφεια μεταξύ πλαισίου και εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

3.3.2 Κατηγορίες υποστήριξης σήραγγας διατομής τριπλής γραμμής

3.3.2.1 Κατηγορία SC

Η διάνοιξη της σήραγγας στον Βράχο κατηγορίας Γ γίνεται με εφαρμογή της κατηγορίας SC. Η κατηγορία αυτή καλύπτει επίσης την διάνοιξη σε όλες τις κατηγορίες καλύτερου υλικού από αυτό της κατηγορίας Γ (Βράχος κατηγορίας

Β). Στις κατηγορίες αυτές το μέτωπο της σήραγγας, καθώς και το ανυποστήρικτο τμήμα (που εδώ ορίζεται σε 1,20m) αναμένεται να είναι γενικά ευσταθή, περιορίζοντας τις ανάγκες λήψης μέτρων προϋποστήριξης. Η εκσκαφή του θόλου της διατομής γίνεται σε μία φάση και ακολουθεί η εκσκαφή και η επένδυση του προσωρινού δαπέδου ανεστραμμένου θόλου σε απόσταση όχι μεγαλύτερη από 10,80m από την θέση του μετώπου. Το δάπεδο ανεστραμμένου θόλου υποστηρίζεται από επένδυση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 0,15m οπλισμένη με δομικό πλέγμα Τ188 στην άνω παρειά.

Όπως προαναφέρθηκε, το βήμα προχώρησης της εκσκαφής είναι 1,20m, ενώ η σκυροδέτηση του δαπέδου ανεστραμμένου θόλου πραγματοποιείται σε βήματα μήκους 3,60m. Στην συνέχεια και σε απόσταση μεγαλύτερη από 20,00m ακολουθεί η εκσκαφή της βαθμίδας της διατομής με βήμα 3,60m και η διαμόρφωση και η επένδυση του δαπέδου ανεστραμμένου θόλου με βήμα 7,20m σε απόσταση από το μέτωπο της βαθμίδας όχι μεγαλύτερη από 10,80m. Η διατομή υποστηρίζεται από επένδυση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 0,25m οπλισμένη με δομικό πλέγμα Τ188 στην έσω και έξω παρειά και χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια (Lattice Girder 140-4Φ18), που τοποθετούνται ανά 1,20m. Ο θόλος και τα τοιχώματα της διατομής ενισχύονται με τοποθέτηση αυτοδιατρώμενων αγκυρώσεων R30/11 μήκους 4,50m στον θόλο και στα τοιχώματα της βαθμίδας και 6,00m στις παρειές της άνω ημιδιατομής για την στήριξη των πλαισίων. Τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης της κατηγορίας SC παρουσιάζονται στον Πίνακα 10 που ακολουθεί.

3.3.2.2 Κατηγορία SD

Η διάνοιξη της σήραγγας στον Βράχο Δ γίνεται με εφαρμογή της κατηγορίας SD. Σε αυτές τις κατηγορίες η βραχομάζα εκδηλώνει τοπικά τάσεις αστάθειας στο ανυποστήρικτο τμήμα, που οδηγούν σε υπερεκσκαφές αλλά και κατά θέσεις σε μικρές αστοχίες. Αυτές είναι πιθανό να υποβοηθούνται από αστάθειες του μετώπου, που στην κατηγορία αυτή οφείλονται στην παρουσία ασυνεχειών με δυσμενή προσανατολισμό. Με βάση τους παραπάνω παράγοντες που εκφράζουν την συμπεριφορά του πετρώματος κατά την διάνοιξη στην κατηγορία SD, το βήμα προχώρησης μειώνεται σε 1,0m και η διάνοιξη πραγματοποιείται

κάτω από την προστασία ομπρέλας ελαφρών δοκών προπορείας (forepoling) Φ76/63 μήκους 12,0m ανά 9,0m υπό γωνία 6°. Επιπροσθέτως, για την περαιτέρω διασφάλιση του μετώπου της εκσκαφής, τοποθετούνται αγκύρια υαλοϊνών μήκους 12,0m ανά 9,0m με διατήρηση αναβαθμού σταθεροποίησης όπου απαιτείται. Και στην κατηγορία SD η εκσκαφή του θόλου της διατομής γίνεται σε μία φάση και ακολουθεί η εκσκαφή και η επένδυση του προσωρινού δαπέδου ανεστραμμένου θόλου σε απόσταση όχι μεγαλύτερη από 9,0m από την θέση του μετώπου. Το δάπεδο ανεστραμμένου θόλου υποστηρίζεται από επένδυση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 0,20m οπλισμένη με δομικό πλέγμα Τ188 στην άνω παρειά. Στην συνέχεια και σε απόσταση μεγαλύτερη από 20,0m ακολουθεί η εκσκαφή της βαθμίδας της διατομής με βήμα 3,0m και η διαμόρφωση και η επένδυση του δαπέδου ανεστραμμένου θόλου με βήμα 3,0m σε απόσταση από το μέτωπο της βαθμίδας όχι μεγαλύτερη από 9,0m. Η διατομή υποστηρίζεται από μια επένδυση πάχους 0,30m οπλισμένης με δομικό πλέγμα Τ188 στην έσω και έξω παρειά, καθώς και χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια (Lattice Girder 160-4Φ25), που τοποθετούνται ανά 1,0m. Η επένδυση σταθεροποιείται στις παρειές της άνω ημιδιατομής με αυτοδιατρώμενα αγκύρια R30/11 μήκους 6,0m και στα τοιχώματα της βαθμίδας με αυτοδιατρώμενα αγκύρια R30/11 μήκους 4,50m. Τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης της κατηγορίας SD παρουσιάζονται στον Πίνακα 11 που ακολουθεί.

3.3.2.3 Κατηγορία SE

Η διάνοιξη της σήραγγας σε πτωχές κατηγορίες βραχομάζας, δηλαδή στον Βράχο Ε, γίνεται με εφαρμογή των μέτρων κατηγορίας SE. Σε αυτή την κατηγορία η βραχομάζα, που τα μηχανικά της χαρακτηριστικά είναι υποβαθμισμένα, εκδηλώνονται συστηματικότερες τάσεις αστάθειας στο ανυποστήρικτο τμήμα, οι οποίες αν αφεθούν ανεξέλεγκτες μπορούν να οδηγήσουν σε προοδευτικά διευρυνόμενες υπερεκσκαφές και αστοχίες μορφής καμινάδας, ενώ σε συνδυασμό με αστάθειες του μετώπου, που μπορούν να υποβοηθούνται και από την παρουσία ασυνεχειών (στρώση -σχιστότητα - slickensides) με δυσμενή προσανατολισμό, μπορούν να οδηγήσουν σε γενικευμένες αστάθειες, ιδιαίτερα εφόσον η δομή του σχηματισμού κυριαρχείται

από πλαστικά κλάσματα σε συνδυασμό με μη συνεκτικές αδρομερείς ενστρώσεις.

Με βάση τις παραπάνω θεωρήσεις στην κατηγορία SE, το βήμα προχώρησης παραμένει 1,0m και η διάνοιξη πραγματοποιείται κάτω από την προστασία ομπρέλας βαρύτερων δοκών προπορείας (forepoling) Φ114/101 μήκους 12,0m ανά 9,0m υπό γωνία 6°. Επιπροσθέτως, για την περαιτέρω εξασφάλιση της ευστάθειας του μετώπου εκσκαφής, τοποθετούνται πυκνότερα αγκύρια υαλοϊνών μήκους 12,0m ανά 9,0m και γίνεται συστηματική διαμόρφωση αναβαθμού σταθεροποίησης. Με την εξασφάλιση των δοκών προπορείας η εκσκαφή του θόλου μπορεί να γίνει με ασφάλεια σε μία φάση σε βήματα του 1,0m και ακολούθως σε μέγιστη απόσταση 8,0m από την θέση του μετώπου, μπορεί να γίνεται η επένδυση του προσωρινού δαπέδου ανεστραμμένου θόλου σε βήματα των 3,0m. Το δάπεδο ανεστραμμένου θόλου υποστηρίζεται από επένδυση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 0,25m οπλισμένη με δομικό πλέγμα Τ196 στην άνω παρειά. Η εκσκαφή της βαθμίδας ακολουθεί σε απόσταση μεγαλύτερη των 20,0m με βήμα 3,0m και σε απόσταση όχι μεγαλύτερη από 9,0m από το μέτωπο της βαθμίδας, ολοκληρώνεται η εκσκαφή της διατομής με την διαμόρφωση και την επένδυση του δαπέδου ανεστραμμένου θόλου σε βήματα των 6,0m. Η διατομή υποστηρίζεται από επένδυση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 0,35m οπλισμένο με δομικό πλέγμα Τ188 στην έσω και έξω παρειά και χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια (Lattice Girder 160-4Φ25), που τοποθετούνται ανά 1,0m. Η επένδυση σταθεροποιείται στις παρειές της άνω ημιδιατομής με αυτοδιατρώμενα αγκύρια R30/11 μήκους 6,0m και στα τοιχώματα της βαθμίδας με αυτοδιατρώμενα αγκύρια R30/11 μήκους 4,50m. Τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης της κατηγορίας SE παρουσιάζονται στον Πίνακα 12 που ακολουθεί.

3.3.2.4 Κατηγορία SSR

Η διάνοιξη της σήραγγας στην πτωχότερη κατηγορία βραχομάζας, δηλαδή στον Μαλακό Βράχο, γίνεται με εφαρμογή των μέτρων κατηγορίας SSR. Σε αυτή την κατηγορία η βραχομάζα, τα μηχανικά χαρακτηριστικό της οποίας είναι ακόμα πιο υποβαθμισμένα, εκδηλώνει συστηματικές τάσεις αστάθειας στο ανυποστήρικτο τμήμα, οι οποίες όπως και στην κατηγορία Ε, αν αφεθούν ανεξέλεγκτες μπορούν

να οδηγήσουν σε προοδευτικά διευρυνόμενες υπερεκσκαφές και αστοχίες μορφής καμινάδας ή ακόμα και σε γενικευμένες αστάθειες δεδομένου ότι το ποσοστό εμφάνισης εδαφοποιημένων οριζόντων στην εν λόγω κατηγορία είναι ακόμα υψηλότερο.

Με βάση τα παραπάνω, στην κατηγορία SSR η εκσκαφή του θόλου πραγματοποιείται τμηματικά σε δύο φάσεις (side drifting) με βήμα προχώρησης 1,0m και η διάνοιξη πραγματοποιείται κάτω από την προστασία ομπρέλας δοκών προπορείας (forepoling) Φ114/101 μήκους 12,0m ανά 9,0m υπό γωνία 6°.

Για την περαιτέρω εξασφάλιση της ευστάθειας του μετώπου εκσκαφής, γίνεται και σε αυτή την κατηγορία βραχομάζας, η τοποθέτηση αγκυρίων υαλοϊνών μήκους 12,0m ανά 9,0m και η συστηματική διαμόρφωση αναβαθμού σταθεροποίησης στο προπορευόμενο τμήμα της α' φάσης εκσκαφής. Το κάθε τμήμα εκσκαφής της α' φάσης διανοίγεται με βήμα 1,0m και ακολούθως σε μέγιστη απόσταση 6,0m από την εκσκαφή του θόλου, μπορεί να γίνεται η εκσκαφή και η επένδυση του προσωρινού δαπέδου ανεστραμμένου θόλου σε βήματα των 3,0m.

Το δάπεδο ανεστραμμένου θόλου υποστηρίζεται από επένδυση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 0,25m οπλισμένη με διπλό δομικό πλέγμα Τ196 στην άνω παρειά. Το προσωρινό πλευρικό τοίχωμα υποστηρίζεται από επένδυση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 0,25m οπλισμένο με δομικό πλέγμα Τ196 στην έσω και έξω παρειά και η επένδυση σταθεροποιείται με αγκύρια υαλοϊνών μήκους 4,0m. Η καθαίρεση του ενδιάμεσου τοιχώματος γίνεται σε βήματα των 3,0 και σε απόσταση όχι μικρότερη των 3,0m από το μέτωπο. Η απόσταση των μετώπων των δύο επιμέρους ημιδιατομών εκσκαφής της α' φάσης δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 9,0m. Με την ολοκλήρωση του συνόλου της διατομής της α' φάσης εκσκαφής τοποθετείται η νέα ομπρέλα των δοκών προπορείας. Η εκσκαφή της βαθμίδας ακολουθεί σε απόσταση μεγαλύτερη των 20,0m με βήμα 3,0m και σε απόσταση όχι μεγαλύτερη από 9,0m από το μέτωπο της βαθμίδας, ολοκληρώνεται η εκσκαφή της διατομής με την διαμόρφωση και την επένδυση του δαπέδου ανεστραμμένου θόλου σε βήματα των 6,0m.

Η διατομή υποστηρίζεται από επένδυση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 0,35m οπλισμένο με δομικό πλέγμα Τ196 στην έσω και έξω παρειά και χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια (Lattice Girder 160-4Φ25) που επίσης τοποθετούνται ανά 1,0m. Στις παρειές της άνω ημιδιατομής και στα τοιχώματα της βαθμίδας η επένδυση ενισχύεται από αυτοδιατρώμενα αγκύρια R30/11 μήκους 6,0m.
Τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης της κατηγορίας SSR παρουσιάζονται στον Πίνακα 13 που ακολουθεί.

3.3.3 Κατηγορίες υποστήριξης σήραγγας διατομής διπλής γραμμής

3.3.3.1 Κατηγορία SC

Η διάνοιξη της σήραγγας στον Βράχο κατηγορίας Γ των νεογενών και των αθηναϊκών σχιστολίθων γίνεται με εφαρμογή της κατηγορίας SC. Η κατηγορία αυτή καλύπτει επίσης την διάνοιξη σε όλες τις κατηγορίες καλύτερου υλικού από αυτό της κατηγορίας Γ, συμπεριλαμβανομένων και των μαργαϊκών ασβεστόλιθων. Στις κατηγορίες αυτές το μέτωπο της σήραγγας καθώς και το ανυποστήρικτο τμήμα (που εδώ ορίζεται σε 1,50m) είναι γενικά ευσταθή, περιορίζοντας τις ανάγκες λήψης μέτρων προϋποστήριξης. Η εκσκαφή του θόλου της διατομής γίνεται σε μία φάση και ακολουθεί η διαμόρφωση δαπέδου ανεστραμμένου θόλου και η επένδυση του σε απόσταση όχι μεγαλύτερη από 13,50m από την θέση του μετώπου. Όπως προαναφέρθηκε, το βήμα προχώρησης της εκσκαφής είναι 1,50m, ενώ η διαμόρφωση του δαπέδου ανεστραμμένου θόλου πραγματοποιείται σε βήματα μήκους 4,50m. Η διατομή υποστηρίζεται από επένδυση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 0,25m οπλισμένη με δομικό πλέγμα Τ188 στην έσω και έξω παρειά και χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια (Lattice Girder 110-18/25), που τοποθετούνται ανά 1,50m, δηλαδή ένα σε κάθε βήμα εκσκαφής. Ο θόλος ενισχύεται με τοποθέτηση αυτοδιατρώμενων αγκυρώσεων R30/11 μήκους 3,0m στον θόλο και 6,0m στις παρειές. Τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης της κατηγορίας SC παρουσιάζονται στον Πίνακα 14 που ακολουθεί.

3.3.3.2 Κατηγορία SD

Η διάνοιξη της σήραγγας στον Βράχο Δ, των νεογενών και των αθηναϊκών σχιστολίθων γίνεται με εφαρμογή της κατηγορίας SD. Σε αυτές τις κατηγορίες η βραχομάζα εκδηλώνει τοπικά τάσεις αστάθειας στο ανυποστήρικτο τμήμα που οδηγούν σε υπερεκσκαφές αλλά και κατά θέσεις σε μικρές αστοχίες. Αυτές υποβοηθώνται από αστάθειες του μετώπου που στην κατηγορία αυτή καθορίζονται από την παρουσία ασυνεχειών με δυσμενή προσανατολισμό ως προς την διεύθυνση διάνοιξης. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τους παραπάνω παράγοντες που ρυθμίζουν την συμπεριφορά του πετρώματος, κατά την διάνοιξη στην κατηγορία Δ, το βήμα προχώρησης μειώνεται σε 1,20m και η διάνοιξη πραγματοποιείται κάτω από την προστασία ομπρέλας ελαφρών δοκών προπορείας (forepoling) 0>76/63 μήκους 12,0m ανά 9,60m υπό γωνία 6°. Επιπροσθέτως, για την περαιτέρω διασφάλιση του μετώπου της εκσκαφής, γίνεται τοποθέτηση στο μέτωπο αγκυρίων υαλοϊνών μήκους 12,0m ανά 9,60m και διατήρηση αναβαθμού σταθεροποίησης. Και στην κατηγορία SD η εκσκαφή του θόλου της διατομής γίνεται σε μία φάση και ακολουθεί η διαμόρφωση και επένδυση δαπέδου ανεστραμμένου θόλου σε απόσταση όχι μεγαλύτερη από 9,60m από την εκσκαφή του θόλου. Η διατομή υποστηρίζεται από μια επένδυση πάχους 0,30m οπλισμένης με δομικό πλέγμα Τ188 στην έσω και έξω παρειά, καθώς και χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια (Lattice Girder 115-20/28) που τοποθετούνται ανά 1,20m, δηλαδή ένα σε κάθε βήμα εκσκαφής. Η επένδυση σταθεροποιείται στις παρειές με αυτοδιατρώμενα αγκύρια R30/11 μήκους 6,0m.
Τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης της κατηγορίας SD παρουσιάζονται στον Πίνακα 15 που ακολουθεί.

3.3.3.3 Κατηγορία SE

Η διάνοιξη της σήραγγας στις πτωχότερες κατηγορίες βραχομάζας, δηλαδή στον Βράχο Ε των νεογενών, των αθηναϊκών σχιστολίθων και της ζώνης μετάβασης, γίνεται με εφαρμογή των μέτρων κατηγορίας SE. Επιπλέον, τα μέτρα της κατηγορίας SE εφαρμόζονται και σε συγκεκριμένες χιλιομετρικές θέσεις, όπου συναντάται στο μέτωπο Βράχος Δ και υπέρκειται βραχομάζα κατηγορίας Μαλακού Βράχου. Σε αυτές τις κατηγορίες η βραχομάζα, που τα μηχανικά της χαρακτηριστικά είναι υποβαθμισμένα, εκδηλώνει συστηματικότερες τάσεις αστάθειας στο ανυποστήρικτο τμήμα, οι οποίες αν αφεθούν ανεξέλεγκτες

οδηγούν σε προοδευτικά διευρυνόμενες υπερεκσκαφές και αστοχίες μορφής καμινάδας (κυρίως στους αδρομερείς σχηματισμούς), ενώ σε συνδυασμό με αστάθειες του μετώπου, που υποβοηθώνται και από την παρουσία ασυνεχειών (στρώση - σχιστότητα – slickensides) με δυσμενή προσανατολισμό, οδηγούν σε γενικευμένες αστάθειες ιδιαίτερα στους αθηναϊκούς σχιστόλιθους ή τα νεογενή εφόσον η δομή τους κυριαρχείται από πλαστικά κλάσματα σε συνδυασμό με μη συνεκτικές αδρομερείς ενστρώσεις. Με τις παραπάνω θεωρήσεις στην κατηγορία SE, το βήμα προχώρησης μειώνεται σε 1,0m και η διάνοιξη πραγματοποιείται κάτω από την προστασία ομπρέλας βαρύτερων δοκών προπορείας (forepoling) Φ114/101 μήκους 12,0m ανά 9,0m. Επιπροσθέτως, για την περαιτέρω εξασφάλιση της ευστάθειας του μετώπου εκσκαφής, τοποθετούνται πυκνότερα αγκύρια υαλοϊνών μήκους 12,0m ανά 9, 0m με συστηματική διαμόρφωση αναβαθμού σταθεροποίησης. Με την εξασφάλιση των δοκών προπορείας η εκσκαφή του θόλου γίνεται με ασφάλεια σε μία φάση σε βήματα του 1,0m και ακολούθως σε μέγιστη απόσταση 8,0m από την εκσκαφή του θόλου, γίνεται η διαμόρφωση και επένδυση του δαπέδου ανεστραμμένου θόλου σε βήματα των 3,0 μέτρων. Η διατομή υποστηρίζεται από επένδυση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 0,30m οπλισμένο με δομικό πλέγμα Τ188 στην έσω και έξω παρειά και χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια (Lattice Girder 115-20/28), που τοποθετούνται ανά 1,0m. Στις παρειές της διατομής η επένδυση ενισχύεται από αυτοδιατρώμενα αγκύρια R30/11 μήκους 6,0m.
Τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης της κατηγορίας SE παρουσιάζονται στον Πίνακα 16 που ακολουθεί.

3.3.4 Μέτρα υποστήριξης μετώπου εκσκαφής

Για την εξασφάλιση της ευστάθειας του μετώπου εκσκαφής έχουν σχεδιαστεί τρεις διατάξεις αγκύρωσης μετώπου, που εφαρμόζονται κατά περίπτωση σε συνδυασμό με την εκάστοτε κατηγορία μέτρων προσωρινής υποστήριξης ανάλογα με την πραγματική συμπεριφορά του μετώπου. Αυτές οι διατάξεις χαρακτηρίζονται ως Κατηγορία F1 που έχει κύριο πεδίο εφαρμογής στην κατηγορία SD, Κατηγορία F2 που έχει κύριο πεδίο εφαρμογής στην κατηγορία SE και Κατηγορία F3 που αντιμετωπίζει ακόμα δυσχερέστερες συνθήκες διάνοιξης, όπως την κατηγορία SSR.

Αναλυτικότερα, στην Κατηγορία F1, εφαρμόζονται στο μέτωπο της εκσκαφής 28/29 αγκύρια υαλοϊνών Φ.Ι. 250kN, μήκους 12,0m, σε πεσσοειδή ακτινικό κάνναβο #l,0x2,0m για τη διατομή τριπλής γραμμής, ενώ για τη διατομή διπλής γραμμής εφαρμόζονται στο μέτωπο της εκσκαφής 21/22 αγκύρια υαλοϊνών Φ.Ι. 240kN, μήκους 12,0m, σε πεσσοειδή ακτινικό κάνναβο #l,0x2,0m με τη διατήρηση αναβαθμού σταθεροποίησης. Η κατηγορία αυτή έχει κύρια εφαρμογή, όπως περιγράφθηκε παραπάνω, στην κατηγορία μέτρων υποστήριξης SD της σήραγγας, όπου το μέτωπο είναι γενικά εύθρυπτο και είναι πιθανό να εκδηλώνονται καταπτώσεις τεμαχίων εάν δεν ληφθούν μέτρα. Στην περίπτωση αυτή τα αγκύρια εφαρμόζονται σύμφωνα με το βήμα τοποθέτησης των δοκών προπορείας της Κατηγορίας SD, δηλαδή ανά 9,60m.

Στην Κατηγορία F2, εφαρμόζονται στο μέτωπο της εκσκαφής 37/38 αγκύρια υαλοϊνών Φ.Ι. 250kN, μήκους 12,0m, σε πεσσοειδή ακτινικό κάνναβο #1,0x1,50m για τη διατομή τριπλής γραμμής, ενώ για τη διατομή διπλής γραμμής εφαρμόζονται στο μέτωπο της εκσκαφής 28/29 αγκύρια υαλοϊνών Φ.Ι. 240kN, μήκους 12,0m, σε πεσσοειδή ακτινικό κάνναβο #1,0x1,50m με διατήρηση αναβαθμού σταθεροποίησης. Η κατηγορία αυτή έχει κύρια εφαρμογή στην κατηγορία μέτρων υποστήριξης SE της σήραγγας, όπου το μέτωπο είναι ασταθές και υπάρχει κίνδυνος, αν δεν ληφθούν μέτρα σταθεροποίησης, εκδήλωσης γενικευμένης αστοχίας εφόσον ευνοηθεί από την σχετική θέση ασυνεχειών και μετώπου. Στην περίπτωση αυτή τα αγκύρια εφαρμόζονται σύμφωνα με το βήμα τοποθέτησης των δοκών προπορείας της Κατηγορίας SE δηλαδή ανά 9,0m.

Επιπροσθέτως, η κατηγορία F2 εφαρμόζεται και σε περιπτώσεις αντιμετώπισης συνθηκών ιδιαίτερα ασταθούς μετώπου ανεξάρτητα της εφαρμοζόμενης κατηγορίας υποστήριξης. Σε συστηματικά ασταθείς συνθήκες μετώπου η τοποθέτηση των αγκυρίων στο μέτωπο γίνεται στο μέσον της ομπρέλας των δοκών προπορείας.

Στην Κατηγορία F3, εφαρμόζονται στο μέτωπο της εκσκαφής 33/33 αγκύρια υαλοϊνών Φ.Ι. 250kN, μήκους 12,0m, σε πεσσοειδή κάνναβο #1,0x1,50m για τη διατομή τριπλής γραμμής, ενώ για τη διατομή διπλής γραμμής εφαρμόζονται στο μέτωπο της εκσκαφής 39/42 αγκύρια υαλοϊνών Φ.Ι. 240kN, μήκους 12,0m, σε πεσσοειδή ακτινικό κάνναβο #l,0xl,0m με διατήρηση αναβαθμού σταθεροποίησης. Η κατηγορία αυτή εφαρμόζεται σε περιπτώσεις αντιμετώπισης συνθηκών ιδιαίτερα ασταθούς μετώπου ανεξάρτητα της

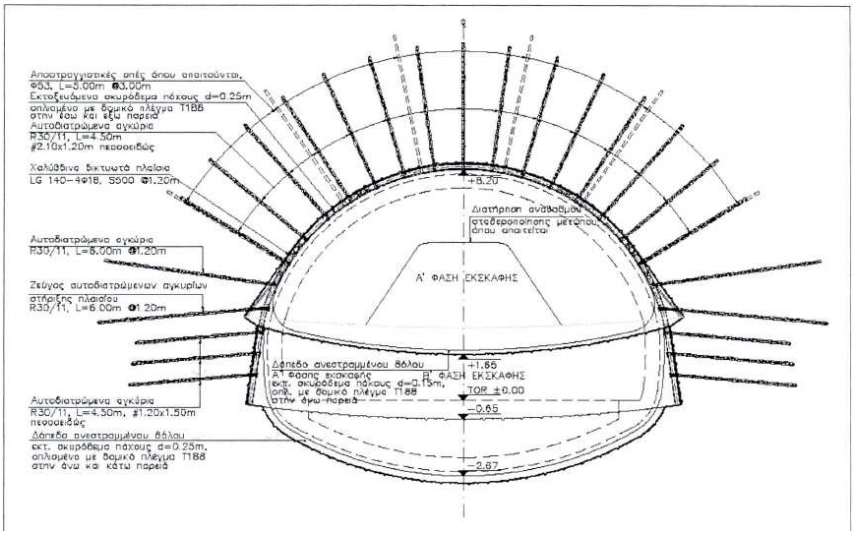
εφαρμοζόμενης κατηγορίας υποστήριξης. Στην περίπτωση αυτή τα αγκύρια εφαρμόζονται σύμφωνα με το βήμα εκσκαφής της εφαρμοζόμενης κατηγορίας μέτρων προσωρινής υποστήριξης της σήραγγας, δηλαδή είτε ανά 9,60m για τη διατομή διπλής γραμμής, είτε ανά 9,0m για τη διατομή τριπλής γραμμής. Και εδώ η τοποθέτηση των αγκυρίων στο μέτωπο σε συστηματικά ασταθείς συνθήκες μετώπου γίνεται στο μέσον της ομπρέλας των δοκών προπορείας.

Πρέπει να σημειωθεί ότι αν και προβλέπεται για τις ανωτέρω κατηγορίες μέτρων υποστήριξης του μετώπου (Fl, F2 και F3) αντιστοιχία με τις κατηγορίες μέτρων υποστήριξης της σήραγγας (SD, SE και SSR), σε κάθε περίπτωση η επιλογή της κατηγορίας καθορίζεται με γνώμονα τις εκάστοτε συνθήκες στο μέτωπο.

Στην κατηγορία SC δεν γίνεται τοποθέτηση αγκυρίων υαλοϊνών στο μέτωπο της εκσκαφής, καθώς αυτό είναι γενικά ευσταθές, αλλά μόνο διατήρηση βαθμίδας σταθεροποίησης, όπου αυτή απαιτείται Σε διαφορετική περίπτωση όμως, εφαρμόζεται η καταλληλότερη εκ των παραπάνω κατηγοριών μέτρων υποστήριξης μετώπου.

Ακόμα, σε όλες τις κατηγορίες υποστήριξης του μετώπου γίνονται διατρήσεις αποστραγγιστικών οπών 053 και μήκους 8,0m (Κατηγορία SC) ή 12,0m (Κατηγορίες SD, SE και SSR) στο μέτωπο της εκσκαφής, εφόσον συναντηθούν υπόγεια ύδατα ή υπάρχουν υπόνοιες ότι συγκεντρώνονται αυτά μπροστά από το μέτωπο. Επίσης για τις κατηγορίες SE και SSR, αλλά και γενικά σε περιόδους παύσης των εργασιών διάνοιξης για διάστημα μεγαλύτερο της μίας ημέρας, γίνεται σφράγιση του μετώπου με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ελάχιστου πάχους 0,05m και διανοίγονται αποστραγγιστικές οπές.

Πίνακας10: Στοιχεία Διάνοιξης και Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης Σήραγγας τριπλής Γραμμής – Κατηγορία SC



ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ

Τμηματική εκσκαφή διατομής σε δύο φάσεις με διαμόρφωση δαπέδου ανεστραμμένου θόλου σε κάθε φάση.

Βήμα εκσκαφής:Α΄ φάσης 1.20m

Β΄ φάσης 3.60m.

Απόσταση μεταξύ Α΄ και Β΄ φάσης εκσκαφής > 20.00m.

ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Α΄ Φάση Εκσκαφής

Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους d=0.25m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188 στην έσω και έξω παρειά.

Χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια Lattice Girder 140-4Φ18 ανά 1.20m.

Αυτοδιατρώμενα αγκύρια στον θόλο της σήραγγας R30/11, L=4.50m, σε πεσσοειδή κάνναβο #2.10x1.20m.

Αυτοδιατρώμενα αγκύρια στις παρειές της σήραγγας και για την στήριξη του πλαισίου R30/11, L=6.00m, ανά 1.20m.

Αποστραγγιστικές οπές στο θόλο ∅53, L=5.00m, όπου απαιτούνται .

Κατασκευή δαπέδου ανεστραμμένου θόλου πάχους 0.15m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188 στην άνω παρειά σε

μέγιστη απόσταση 10.80m από το μέτωπο της Α΄ φάσης εκσκαφής.

Β΄ Φάση Εκσκαφής

Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους d=0.25m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188 στην έσω και έξω παρειά.

Χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια Lattice Girder 140-4Φ18 ανά 1.20m.

Αυτοδιατρώμενα αγκύρια R30/11, L=4.50m, σε πεσσοειδή κάνναβο #1.20x1.50m.

Κατασκευή δαπέδου ανεστραμμένου θόλου πάχους 0.25m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188 στην άνω και κάτω παρειά σε μέγιστη απόσταση 7.20m από το μέτωπο της Β΄ φάσης εκσκαφής.

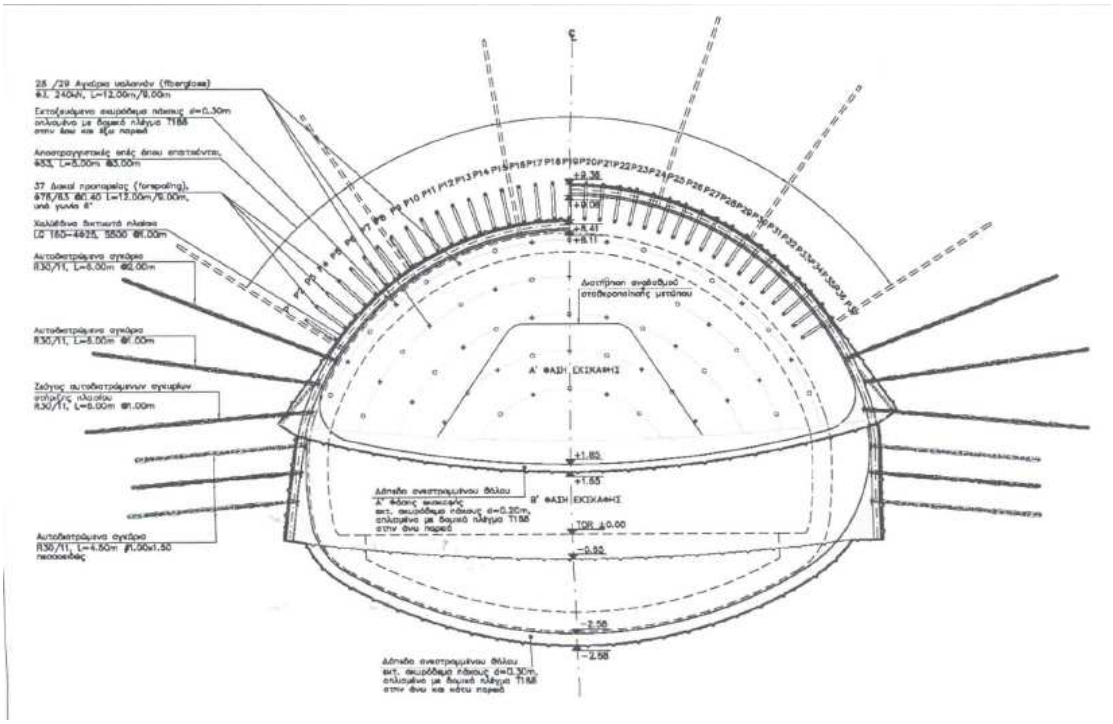
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕΤΩΠΟΥ

Αγκύρια υαλοϊνών Φ.Ι.240kN, L=12.00m / 9.00m, σε πεσσοειδή ακτινικό κάνναβο #1.00x2.00m

Αποστραγγιστικές οπές στο μέτωπο ∅53, L=12.00m / 9.00m, όπου απαιτούνται.

Διατήρηση βαθμίδας σταθεροποίησης μετώπου.

Πίνακας11: Στοιχεία Διάνοιξης και Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης Σήραγγας τριπλής γραμμής– Κατηγορία SD



ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ

Τμηματική εκσκαφή διατομής σε δύο φάσεις με διαμόρφωση δαπέδου ανεστραμμένου θόλου σε κάθε φάση.

Βήμα εκσκαφής:Α΄ φάσης 1.00m

Β΄ φάσης 3.00m.

Απόσταση μεταξύ Α΄ και Β΄ φάσης εκσκαφής > 20.00m.

ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Α΄ Φάση Εκσκαφής

Κατασκευή ομπρέλας 37 δοκών προπορείας με σωλήνες ∅76/63 ανά 0.40m, L=12.00m / 9.00m υπό γωνία 6°

Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους d=0.30m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188 στην έσω και έξω παρειά.

Χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια Lattice Girder 160-4Φ25 ανά 1.00m.

Αυτοδιατρώμενα αγκύρια στις παρειές της σήραγγας και για την στήριξη του πλαισίου R30/11, L=6.00m, ανά 2.00m και ανά 1.00m *αντιστοιχα*.

Αποστραγγιστικές οπές στο θόλο ∅53, L=5.00m, όπου απαιτούνται .

Κατασκευή δαπέδου ανεστραμμένου θόλου πάχους 0.20m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188 στην άνω παρειά σε

μέγιστη απόσταση 9.00m από το μέτωπο της Α΄ φάσης εκσκαφής.

Β΄ Φάση Εκσκαφής

Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους d=0.30m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188 στην έσω και έξω παρειά.

Χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια Lattice Girder 160-4Φ25 ανά 1.00m.

Αυτοδιατρώμενα αγκύρια R30/11, L=4.50m, σε πεσσοειδή κάνναβο #1.00x1.50m.

Κατασκευή δαπέδου ανεστραμμένου θόλου πάχους 0.30m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188 στην άνω και κάτω παρειά σε μέγιστη απόσταση 9.00m από το μέτωπο της Β΄ φάσης εκσκαφής.

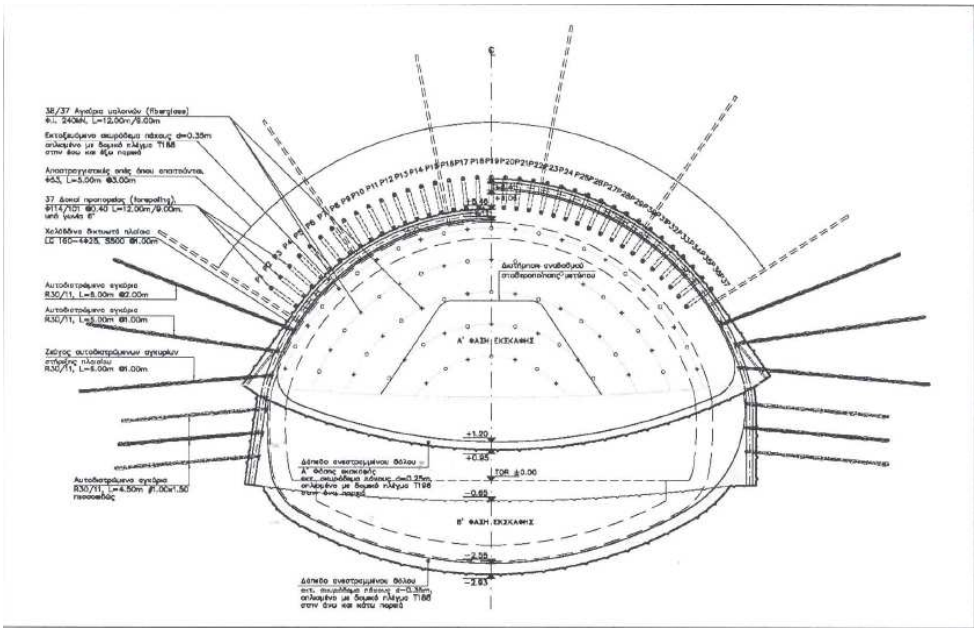
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕΤΩΠΟΥ

Αγκύρια υαλοϊνών Φ.Ι.240kN, L=12.00m / 9.00m, σε πεσσοειδή ακτινικό κάνναβο #1.00x2.00m

Αποστραγγιστικές οπές στο μέτωπο ∅53, L=12.00m / 9.00m, όπου απαιτούνται.

Διατήρηση βαθμίδας σταθεροποίησης μετώπου.

Πίνακας12: Στοιχεία Διάνοιξης και Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης Σήραγγας τριπλής γραμμής– Κατηγορία SE



ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Α΄ Φάση Εκσκαφής

Κατασκευή ομπρέλας 37 δοκών προπορείας με σωλήνες ∅114/101 ανά 0.40m, L=12.00m / 9.00m υπό γωνία 6°

Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους d=0.35m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188 στην έσω και έξω παρειά.

Χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια Lattice Girder 160-4Φ25 ανά 1.00m.

Αυτοδιατρώμενα αγκύρια στις παρειές της σήραγγας και για την στήριξη του πλαισίου R30/11, L=6.00m, ανά 2.00m και ανά 1.00m *αντιστοιχα*.

Αποστραγγιστικές οπές στο θόλο ∅53, L=5.00m, όπου απαιτούνται .

Κατασκευή δαπέδου ανεστραμμένου θόλου πάχους 0.25m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T196 στην άνω παρειά σε

μέγιστη απόσταση 8.00m από το μέτωπο της Α΄ φάσης εκσκαφής.

Β΄ Φάση Εκσκαφής

Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους d=0.35m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188 στην έσω και έξω παρειά.

Χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια Lattice Girder 160-4Φ25 ανά 1.00m.

Αυτοδιατρώμενα αγκύρια R30/11, L=4.50m, σε πεσσοειδή κάνναβο #1.00x1.50m.

Κατασκευή δαπέδου ανεστραμμένου θόλου πάχους 0.35m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188 στην άνω και κάτω παρειά σε μέγιστη απόσταση 9.00m από το μέτωπο της Β΄ φάσης εκσκαφής.

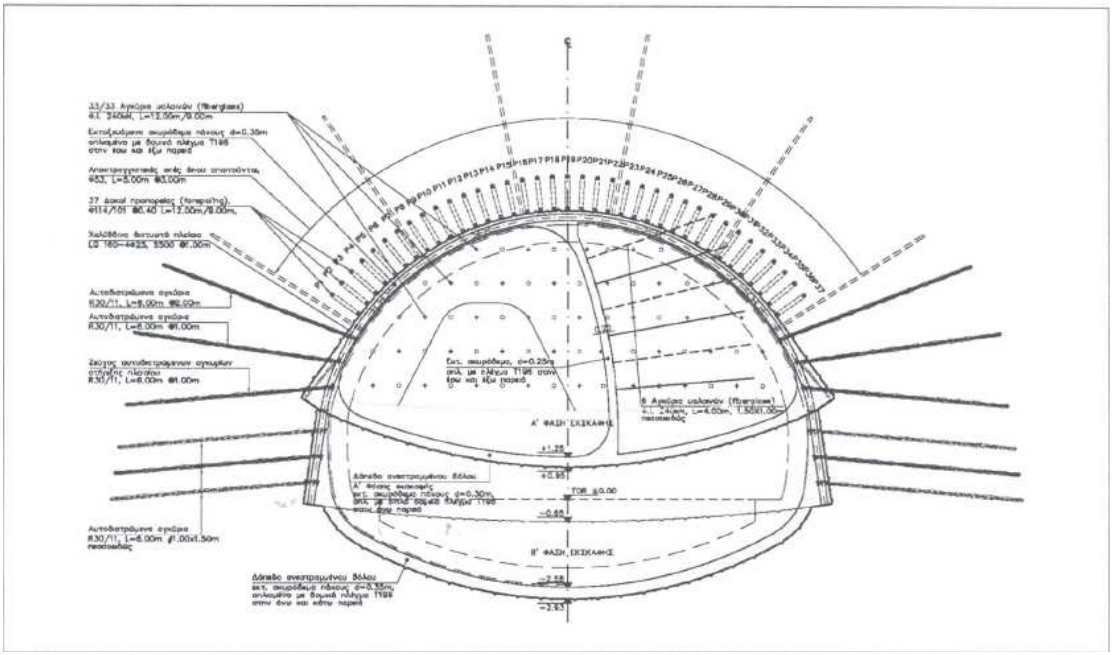
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕΤΩΠΟΥ

Αγκύρια υαλοϊνών Φ.Ι.240 kN, L=12.00 m / 9.00m, σε πεσσοειδή ακτινικό κάνναβο #1.00x1.50m

Αποστραγγιστικές οπές στο μέτωπο ∅53, L=12.00m/9.00m, όπου απαιτούνται.

Διατήρηση βαθμίδας σταθεροποίησης μετώπου.

Πίνακας13: Στοιχεία Διάνοιξης και Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης Σήραγγας τριπλής γραμμής– Κατηγορία SSR



ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ

Τμηματική εκσκαφή διατομής σε δύο φάσεις Α΄ και Β΄ με διαμόρφωση δαπέδου ανεστραμμένου θόλου σε κάθε φάση και επιπλέον τμηματική εκσκαφή της Α΄ φάσης σε Α1΄ και Α2΄ (side drifting)

Βήμα εκσκαφής:Α΄ φάσης 1.00m

Β΄ φάσης 3.00m.

Απόσταση μεταξύ Α1΄ και Α2΄ φάσης εκσκαφής < 9.00m.

Απόσταση μεταξύ Α΄ και Β΄ φάσης εκσκαφής > 20.00m.

ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Α΄ Φάση Εκσκαφής

Κατασκευή ομπρέλας 37 δοκών προπορείας με σωλήνες ∅114/101 ανά 0.40m, L=12.00m / 9.00m υπό γωνία 6^{o}

Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ελάχιστου πάχους d=0.35m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T196 στην έσω και έξω παρειά.

Χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια Lattice Girder 160-4Φ25 ανά 1.00m.

Αυτοδιατρώμενα αγκύρια στις παρειές της σήραγγας και για την στήριξη του πλαισίου R30/11, L=6.00m, ανά 2.00m και ανά 1.00m αντίστοιχα.

Αποστραγγιστικές οπές στο θόλο ∅53, L=5.00m, όπου απαιτούνται .

Κατασκευή δαπέδου ανεστραμμένου θόλου πάχους 0.30m οπλισμένο με διπλό δομικό πλέγμα T196 στην άνω παρειά σε

μέγιστη απόσταση 6.00m από το μέτωπο της Α΄ φάσης εκσκαφής.

Β΄ Φάση Εκσκαφής

Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους d=0.35m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T196 στην έσω και έξω παρειά.

Χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια Lattice Girder 160-4Φ25 ανά 1.00m.

Αυτοδιατρώμενα αγκύρια R30/11, L=6.00m, σε πεσσοειδή κάνναβο #1.00x1.50m.

Κατασκευή δαπέδου ανεστραμμένου θόλου πάχους 0.35m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T196 στην άνω και κάτω παρειά σε μέγιστη απόσταση 9.00m από το μέτωπο της Β΄ φάσης εκσκαφής.

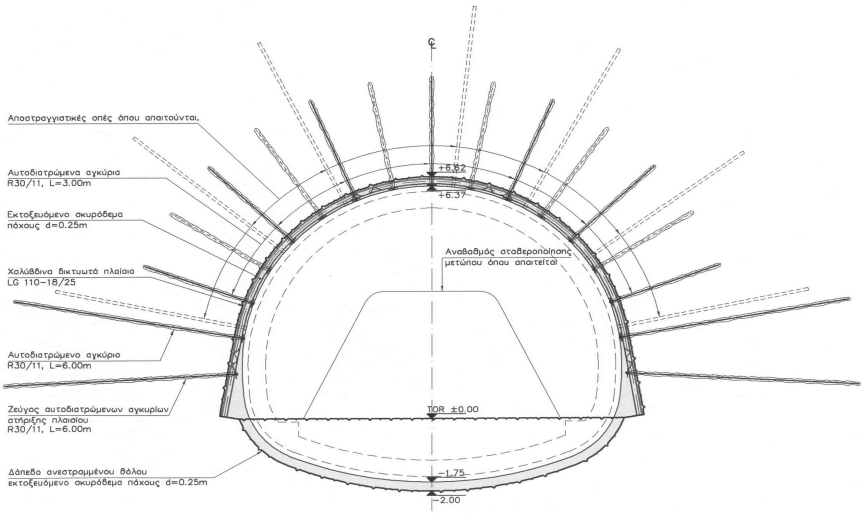
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕΤΩΠΟΥ

Αγκύρια υαλοϊνών Φ.Ι.240kN, L=12.00m / 9.00m, σε πεσσοειδή ορθογωνικό κάνναβο #1.00x1.50m

Αποστραγγιστικές οπές στο μέτωπο ∅53, L=12.00m / 9.00m, όπου απαιτούνται.

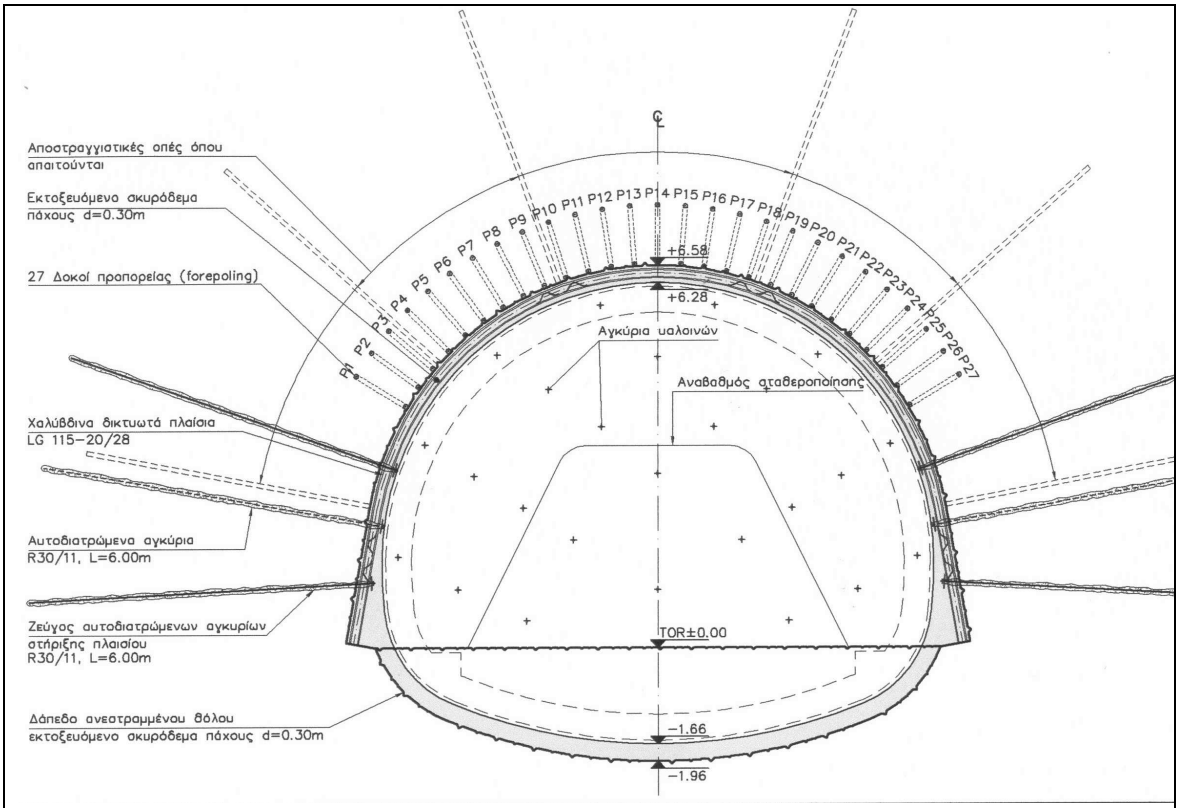
Διατήρηση βαθμίδας σταθεροποίησης μετώπου.

Πίνακας 14: Στοιχεία Διάνοιξης και Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης Σήραγγας διπλής Γραμμής SC



ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ
Εκσκαφή θόλου — Βήμα εκσκαφής: 1.50m
Διαμόρφωση δαπέδου ανεστραμμένου θόλου — Βήμα εκσκαφής: 4.50m
Μέγιστη απόσταση εκσκαφής δαπέδου ανεστραμμένου θόλου από το μέτωπο: 13.50m
ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ
Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 0.25m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188 στην έσω και έξω παρειά
Χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια Lattice Girder 110-18/25 ανά 1.50m
Αυτοδιατρώμενα αγκύρια στον θόλο της σήραγγας R30/11, L=3.00m, σε πεσσοειδή κάνναβο #2.00x1.50m
Αυτοδιατρώμενα αγκύρια στις παρειές της σήραγγας R30/11, L=6.00m, ανά 1.50m
Αυτοδιατρώμενα αγκύρια για την στήριξη του πλαισίου R30/11, L=6.00m, ανά 1.50m
Αποστραγγιστικές οπές στο θόλο ∅53, L=5.00m, όπου απαιτούνται
Κατασκευή δαπέδου ανεστραμμένου θόλου πάχους 0.25m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188 στην άνω και κάτω παρειά
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕΤΩΠΟΥ
Αποστραγγιστικές οπές στο μέτωπο ∅53, L=8.00m, όπου απαιτούνται
Διατήρηση βαθμίδας σταθεροποίησης μετώπου όπου απαιτείται

Πίνακας 15: Στοιχεία Διάνοιξης και Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης Σήραγγας Διπλής Γραμμής– Κατηγορία SD

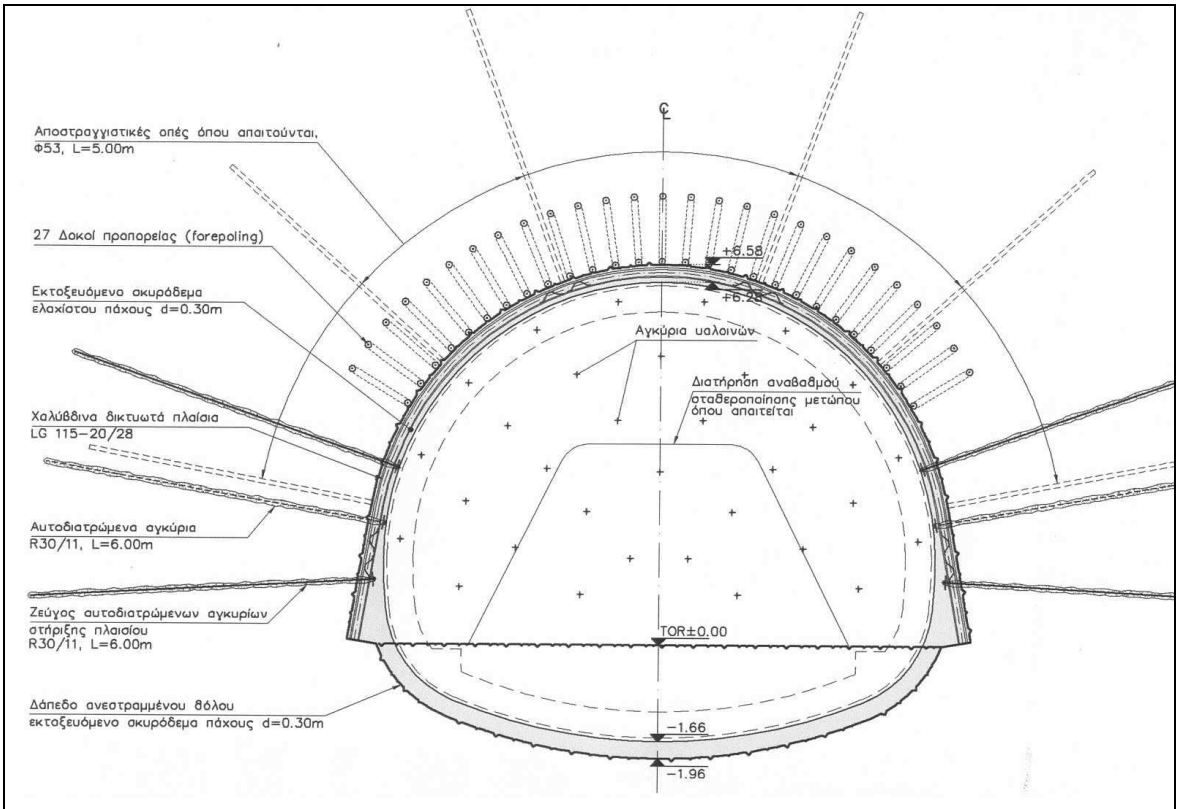


ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ	
Εκσκαφή θόλου	Βήμα εκσκαφής: 1.20m
Διαμόρφωση δαπέδου ανεστραμμένου θόλου	Βήμα εκσκαφής: 6.00m
Μέγιστη απόσταση εκσκαφής δαπέδου ανεστραμμένου θόλου από το μέτωπο: 9.60m	

ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ
Κατασκευή ομπρέλας 27 δοκών προπορείας με σωλήνες ∅76/63 ανά 0.40m, L=12.00m/9.60m υπό γωνία 6^{o}
Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 0.30m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188 στην έσω και έξω παρειά
Χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια Lattice Girder 115-20/28 ανά 1.20m
Αυτοδιατρώμενα αγκύρια στις παρειές της σήραγγας R30/11, L=6.00m, ανά 1.20m πεσσοειδώς
Αυτοδιατρώμενα αγκύρια για την στήριξη του πλαισίου R30/11, L=6.00m, ανά 1.20m
Αποστραγγιστικές οπές στο θόλο ∅53, L=5.00m, όπου απαιτούνται

Κατασκευή δαπέδου ανεστραμμένου θόλου πάχους 0.30m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188 στην άνω και κάτω παρειά
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕΤΩΠΟΥ
Αγκύρια υαλοϊνών Φ.Ι.240kN, L=12.00m/9.60 m, σε πεσσοειδή ακτινικό κάνναβο #1.00x2.00m
Αποστραγγιστικές οπές στο μέτωπο ∅53, L=12.00m/9.60 m, όπου απαιτούνται
Διατήρηση βαθμίδας σταθεροποίησης μετώπου

Πίνακας 16: Στοιχεία Διάνοιξης και Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης Σήραγγας Διπλής Γραμμής – Κατηγορία SE



ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ
Εκσκαφή θόλου — Βήμα εκσκαφής: 1.00m
Διαμόρφωση δαπέδου ανεστραμμένου θόλου — Βήμα εκσκαφής: 3.00m
Μέγιστη απόσταση εκσκαφής δαπέδου ανεστραμμένου θόλου από το μέτωπο: 8.00m

ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ
Κατασκευή ομπρέλας 27 δοκών προπορείας με σωλήνες ∅114/101 ανά 0.40m, L=12.00m/9.00m υπό γωνία 7.20^{o}
Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 0.30m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188 στην έσω και έξω παρειά
Χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια Lattice Girder 115-20/28 ανά 1.00m
Αυτοδιατρώμενα αγκύρια στις παρειές της σήραγγας R30/11, L=6.00m, ανά 1.00m πεσσοειδώς
Αυτοδιατρώμενα αγκύρια για την στήριξη του πλαισίου R30/11, L=6.00m, ανά 1.00m
Αποστραγγιστικές οπές στο θόλο ∅53, L=5.00m, όπου απαιτούνται
Κατασκευή δαπέδου ανεστραμμένου θόλου πάχους 0.30m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188 στην άνω και κάτω παρειά
ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕΤΩΠΟΥ
Αγκύρια υαλοϊνών Φ.Ι.240kN, L=12.00m/9.00 m, σε πεσσοειδή ακτινικό κάναβο #1.00x1.50m
Αποστραγγιστικές οπές στο μέτωπο ∅53, L=12.00m/9.00 m, όπου απαιτούνται
Διατήρηση βαθμίδας σταθεροποίησης μετώπου

3.3.5 Κριτήρια επιλογής κατηγορίας υποστήριξης

Για την επιλογή μιας εκ των παραπάνω κατηγοριών υποστήριξης συναξιολογούνται η συμπεριφορά του μετώπου και του ανυποστήρικτου τμήματος κατά την διάνοιξη, οι μετρώμενες καθιζήσεις στην επιφάνεια καθώς και οι συγκλίσεις στο εσωτερικό της σήραγγας, η παρουσία υδάτων και οι εισροές τους στην σήραγγα και ο χαρακτηρισμός της βραχομάζας όπως αυτή χαρτογραφείται στο μέτωπο διάνοιξης.

Τα στοιχεία συμπεριφοράς της βραχομάζας και χαρακτηρισμού της οργανώνονται σε ημιποσοτικά κριτήρια επιλογής κατηγορίας μέτρων υποστήριξης, όπως φαίνονται στον Πίνακα 17 που ακολουθεί. Σημειώνεται ακόμα, ότι από τη Χ.Θ. 0 + 560 έως τη Χ.Θ. 0+700 καθώς και από τη Χ.Θ. 0+800 έως τη Χ.Θ. 0+929, εφαρμόζονται μέτρα υποστήριξης κατηγορίας SE

ανεξαρτήτως της ποιότητας βραχομάζας του μετώπου, λαμβάνοντας υπ' όψιν ενδείξεις για την παρουσία υλικών υποβαθμισμένων χαρακτηριστικών στην ζώνη που υπέρκειται της στάθμης διάνοιξης, αλλά επίσης και την ετερογένεια του σχηματισμού στην ζώνη μετάβασης με ταυτόχρονη την διέλευση κάτω από κτήρια.

Η παρουσία υδάτων και κυριότερα ροής νερού στην επιφάνεια του μετώπου δεν αποτελεί από μόνη της ούτε αναγκαία ούτε ικανή συνθήκη για την επιλογή μιας συγκεκριμένης κατηγορίας. Οι συνθήκες υδροφορίας αξιολογούνται ανάλογα με την επιβάρυνση που αυτές προκαλούν στην ευστάθεια του μετώπου και του ανυποστήρικτου τμήματος και με την αποτελεσματικότητα που έχουν τα μέτρα αποστράγγισης (αποστραγγιστικές οπές στο μέτωπο, κλπ).

Η βαθμονόμηση μέσω του συστήματος GSI παρέχει την απαραίτητη σύνδεση με τις παραμέτρους σχεδιασμού και την υπολογιστική προσέγγιση του προβλήματος της διάνοιξης, αλλά δεν αποτελεί παρά ένα σημείο εκκίνησης για την επιλογή της καταλληλότερης κατηγορίας διάνοιξης. Είναι ξεκάθαρο ότι η βαρύτητα δίδεται στις συνθήκες ευστάθειας του μετώπου και ελέγχου των καθιζήσεων στην επιφάνεια.

Πίνακας 17: Κατηγορίες επιλογής μέτρων κατηγορίας προσωρινής υποστήριξης.

GSI	Περιγραφή Βραχομάζας Ενότητα Αθηναϊκών Σχιστολίθων	Περιγραφή Βραχομάζας Ενότητα Νεογενών	Παρουσία υδάτων	Συμπεριφορά ανυποστήρικτου τμήματος και μετώπου κατά την εκσκαφή	Κατηγορία μέτρων υποστήριξης
25-35	Αποσαθρωμένος Αθηναϊκός Σχιστόλιθος - Περιλαμβάνει ενότητες τεκτονισμένου μεταψαμμίτη ή μεταϊλυολίθου με μικρές ενστρώσεις αργιλικού σχιστολίθου	Ομοιογενής σκληρή έως πολύ σκληρή αργιλική ή ψαμμιτική Μάργα με σποραδικές ενστρώσεις χαλικωδών ή κροκαλοπαγών οριζόντων. - Τοπικά μπορεί να εμφανίζονται επίσης οριζόντες μαργαϊκού ασβεστολίθου ή ιλυολίθου.	- Υγρές επιφάνειες εκσκαφής και τοπικά πολύ υγρές. - Τοπικά μπορεί να εμφανίζεται στάγδην ροή, κυρίως μέσα από τους πιο διαπερατούς χαλικώδεις οριζόντες.	Μέτωπο ευσταθές - Μικρές καταπτώσεις τεμαχίων μεγέθους όχι μεγαλύτερου του 0,5m^3.	SC

20-25	Αποσαθρωμένος Αθηναϊκός Σχιστόλιθος - Περιλαμβάνει ενότητες τεκτονισμένου μεταψαμμίτη και μεταϊλυολίθου ή μέτρια αποσαθρωμένου αργιλικού σχιστολίθου. - Στην επιφάνεια του μετώπου εμφανίζονται και εδαφοποιημένοι ορίζοντες, το ποσοστό των οποίων δεν ξεπερνά το 15% της επιφάνειας του μετώπου.	Σχετικά ομοιογενής σχηματισμός σκληρής έως πολύ σκληρής αργιλικής ή ψαμμιτικής Μάργας. - Στην επιφάνεια του μετώπου εμφανίζονται ενστρώσεις μη συνεκτικών χαλικωδών οριζόντων ή χαλαρών κροκαλοπαγών πάχους μεγαλύτερου του 1,0m. - Επίσης μπορούν να εμφανίζονται ενστρώσεις οργανικών πάχους μικρότερου του 1,0cm.	- Στάγδην ροή και κατά θέσεις μέση ροή μέσα από τους πιο διαπερατούς χαλικώδεις ορίζοντες με περιορισμένο όμως δυναμικό απόπλυσης του λεπτόκοκκου υλικού. - Οι ροές περιορίζονται στην περιοχή του μετώπου και εξασθενούν με την αποστράγγιση που προκαλεί η διάνοιξη.	Μέτωπο τοπικά εύθρυπτο - Κατά τη διάνοιξη δημιουργούνται υπερεκσκαφές στην περιοχή του θόλου, λόγω της παρουσίας μη συνεκτικών οριζόντων. - Στην περιοχή του μετώπου μπορούν να εμφανίζονται καταπτώσεις τεμαχίων μεγέθους έως και $2m^3$ εάν δεν ληφθούν μέτρα.	**SD**

GSI	**Περιγραφή Βραχομάζας Ενότητα Αθηναϊκών Σχιστολίθων**	**Περιγραφή Βραχομάζας Ενότητα Νεογενών**	**Παρουσία υδάτων**	**Συμπεριφορά ανυποστήρικτου τμήματος και μετώπου κατά την εκσκαφή**	**Κατηγορία μέτρων υποστήριξης**
15-20	Πολύ αποσαθρωμένος Αθηναϊκός Σχιστόλιθος - Περιλαμβάνει ενότητες έντονα τεκτονισμένου και αποσαθρωμένου μεταψαμμίτη ή μεταϊλυολίθου ή μέτρια και τοπικά έντονα αποσαθρωμένου αργιλικού σχιστόλιθου - Στην επιφάνεια του μετώπου εμφανίζονται και εδαφοποιημένοι ορίζοντες, το ποσοστό των οποίων δεν ξεπερνά το 30% της επιφάνειας του μετώπου.	Ετερογενής σχηματισμός στον οποίο επικρατεί σκληρή αργιλική Μάργα. - Στον σχηματισμό συμμετέχουν επίσης ζώνες εδαφοποιημένου υλικού, που καλύπτουν λιγότερο από το 30% της επιφάνειας του μετώπου. - Επιπροσθέτως, στην επιφάνεια του μετώπου μπορούν να εμφανίζονται ενστρώσεις μη συνεκτικών χαλικωδών οριζόντων ή χαλαρών κροκαλοπαγών πάχους μεγαλύτερου του 1,0m ή ενστρώσεις οργανικών (λιγνίτες).	- Εκλεκτικές εισροές υδάτων μέσα από τους διαπερατούς χαλικώδεις ορίζοντες. - Ο κίνδυνος απόπλυσης υλικού είναι υπαρκτός και απαιτείται έλεγχος των ροών (με αποστράγγιση).	Μέτωπο ασταθές - Κατά τη διάνοιξη δημιουργούνται υπερεκσκαφές στην περιοχή του θόλου, λόγω της παρουσίας μη συνεκτικών οριζόντων. - Υπάρχει κίνδυνος γενικευμένης αστοχίας του μετώπου εφ' όσον ευνοηθεί από την σχετική θέση ασυνεχειών και αδρομερών μη συνεκτικών οριζόντων.	**SE**

GSI	Περιγραφή Βραχομάζας Ενότητα Αθηναϊκών Σχιστολίθων	Περιγραφή Βραχομάζας Ενότητα Νεογενών	Παρουσία υδάτων	Συμπεριφορά ανυποστήρικτου τμήματος και μετώπου κατά την εκσκαφή	Κατηγορία μέτρων υποστήριξης
<15	Πολύ αποσαθρωμένος Αθηναϊκός Σχιστόλιθος - Περιλαμβάνει ενότητες έντονα τεκτονισμένου και αποσαθρωμένου μεταϊλυολίθου ή έντονα αποσαθρωμένου αργιλικού σχιστολίθου. Η βραχομάζα παρουσιάζει έλλειψη αλληλεμπλοκής, λόγω συστηματικής παρουσίας ασθενών επιπέδων σχιστότητας και διάτμησης. - Στην επιφάνεια του μετώπου εμφανίζονται και εδαφοποιημένοι ορίζοντες, το ποσοστό των οποίων δεν ξεπερνά το 50% της επιφάνειας του μετώπου.		- Στάγδην και κατά θέσεις μέση ροή μέσα από εδαφοποιημένες στρώσεις κλαστικού υλικού με περιορισμένο έως μέσο δυναμικό απόπλυσης του λεπτόκοκκου υλικού πλήρωσης. - Στάγδην και κατά θέσεις μέση ροή μέσα από αδρομερείς εδαφοποιημένες στρώσεις. Σε αυτή την περίπτωση, ο κίνδυνος απόπλυσης υλικού είναι υπαρκτός και απαιτείται έλεγχος των ροών (με αποστράγγιση).	Μέτωπο ασταθές - Κατά τη διάνοιξη δημιουργούνται υπερεκσκαφές στην περιοχή του θόλου, λόγω της παρουσίας μη συνεκτικών οριζόντων. - Υπάρχει κίνδυνος γενικευμένης αστοχίας του μετώπου εφ' όσον ευνοηθεί από την σχετική θέση ασυνεχειών και αδρομερών μη συνεκτικών οριζόντων.	SSR

3.4 Στάδια προσομοίωσης

Στους πίνακες 18, 19 και 20 συνοψίζονται για τις κατηγορίες ανάλυσης SC, SD και SE αντίστοιχα. Η κατηγορία SSR (Μαλακός Βράχος / Βράχος Δ) ακολουθεί τις παραδοχές της SE.

Πίνακας 18**:** Στάδια προσομοίωσης - Κατηγορία ανάλυσης SC

Στάδιο		**Απόσταση**	**1-λ**	**Εκτοξευόμενο**	**Αγκύρια**
0	Στάδιο ισορροπίας υπό αρχικές γεωστατικές	-	-	-	-
1	Επιβολή φορτίου στην επιφάνεια του εδάφους	-	-	-	-
2	Εκσκαφή θόλου	0.75m	0.60	-	-
3	Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυρ/τος (νεαρό σκυρ/μα)	2.25m	0.50	d’ = 0.20m E’ = 15GPa	-
4	Τοποθέτηση αγκυρίων και ωρίμανση σκυρ/τος	3.75m	0.43	$d_{o\lambda}$ = 0.25m E = 31GPa	Αυτοδιατρώμενα αγκύρια R30/11, Φ.l.320kN, L=3.0m, κάνναβος #2.00x1.50m πεσσοειδώς
5	Προχώρηση μετώπου	11.00m	0.11	-	-
6	Ολοκλήρωση εκσκαφής και εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυρ/τος	>11.00m	0.00	$d_{o\lambda}$ = 0.25m E = 31GPa	-

Πίνακας 19**:** Στάδια προσομοίωσης - Κατηγορία ανάλυσης SD

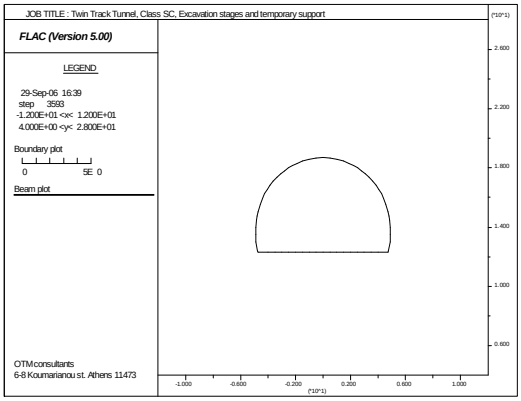
Στάδιο		**Απόσταση**	**1-λ**	**Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα**	**Αγκύρια**
0	Στάδιο ισορροπίας υπό αρχικές γεωστατικές τάσεις	-	-	-	-
1	Επιβολή φορτίου στην επιφάνεια του εδάφους	-	-	-	-
2	Εκσκαφή θόλου	0.60m	0.53	-	-
3	Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυρ/τος	1.80m	0.45	d’ = 0.25m E’ = 15GPa	-
4	Τοποθέτηση αγκυρίων και σκλήρυνση σκυρ/τος	3.00m	0.36	$d_{o\lambda}$ = 0.30m E = 31GPa	Αυτοδιατρώμενα αγκύρια R30/11, Φ.Ι.320kN, L=6.0m, @1.20m
5	Προχώρηση μετώπου	6.50m	0.17	-	-
6	Ολοκλήρωση εκσκαφής και εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυρ/τος	>6.50m	0.00	$d_{o\lambda}$ = 0.30m E = 31GPa	-

Πίνακας 20**:** Στάδια προσομοίωσης - Κατηγορίες ανάλυσης SE/SSR

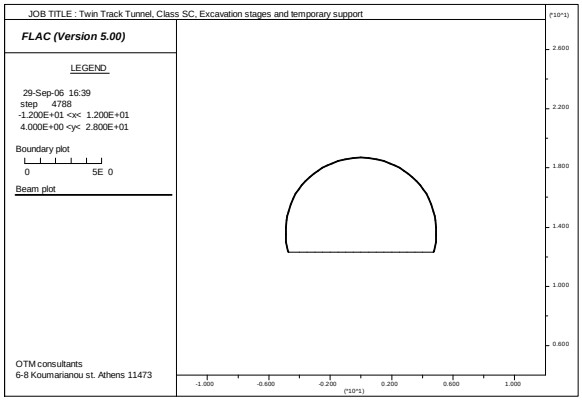
Στάδιο		**Απόσταση**	**1-λ**	**Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα**	**Αγκύρια**
0	Στάδιο ισορροπίας υπό αρχικές γεωστατικές τάσεις	-	-	-	-
1	Επιβολή φορτίου στην επιφάνεια του εδάφους	-	-	-	-
2	Εκσκαφή θόλου	0.50m	0.48	-	-
3	Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυρ/τος (νεαρό σκυρ/μα)	1.50m	0.39	d' = 0.25m E' = 15GPa	-
4	Τοποθέτηση αγκυρίων και σκλήρυνση σκυρ/τος	2.50m	0.33	$d_{ολ}$ = 0.30m E = 31GPa	Αυτοδιατρώμενα αγκύρια R30/11, Φ.Ι.320kN, L=6.0m @ 1.00m
5	Προχώρηση μετώπου	6.50m	0.14	-	-
6	Ολοκλήρωση εκσκαφής και εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυρ/τος	>6.50m	0.00	$d_{ολ}$ = 0.30m E = 31GPa	-

Τα στάδια προσομοίωσης που θεωρήθηκαν κατά την ανάλυση παρουσιάζονται γραφικά στα σχήματα 1 και 2 για τις τομές σχεδιασμού ΓΤΣ-2 και ΓΤΣ-3 / ΓΤΣ-4 / ΓΤΣ-5 αντίστοιχα. Το πρόγραμμα στο οποίο έγιναν αυτά είναι το Flac (vers. 5.0)

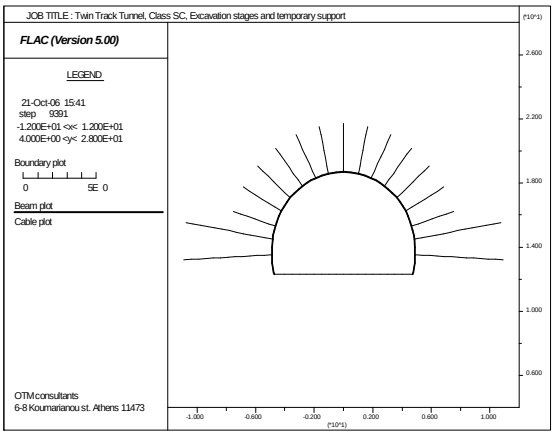
Σχήμα 1 : Στάδια προσομοίωσης κατηγορίας σχεδιασμού SC



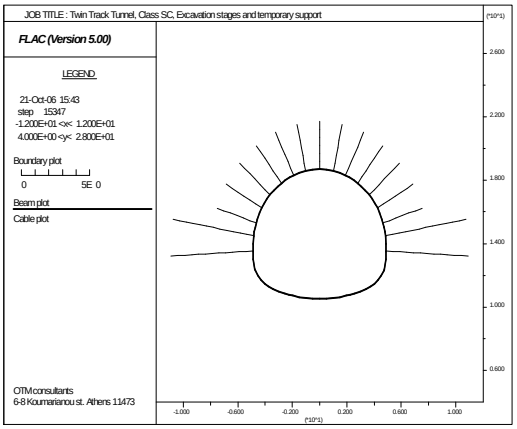
Στάδιο 2



Στάδιο 3

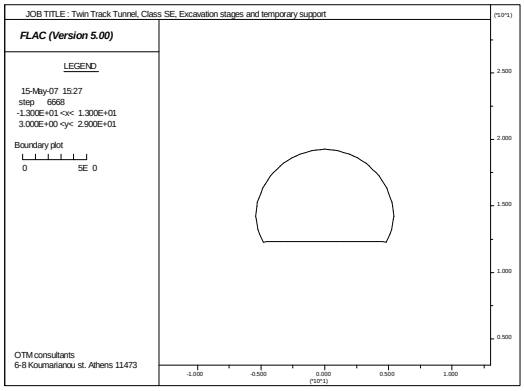


Στάδιο 4

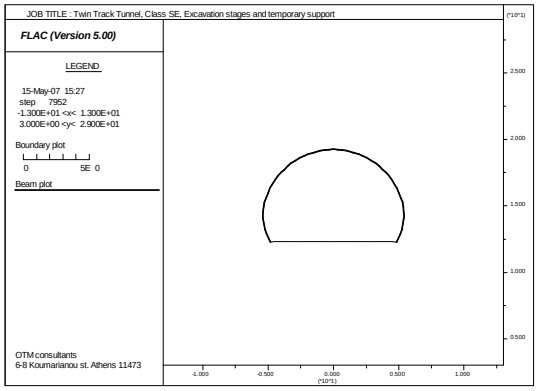


Στάδιο 6

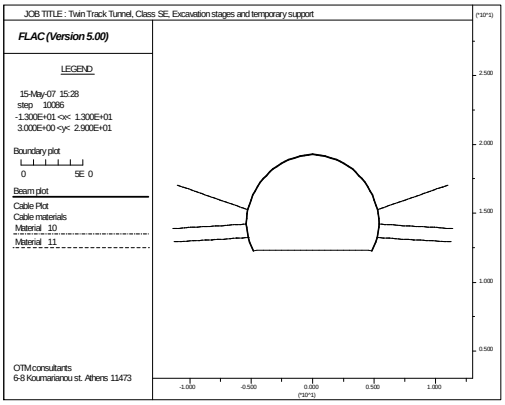
Σχήμα 2: Στάδια προσομοίωσης Κατηγορίες σχεδιασμού SD και SE και SSR



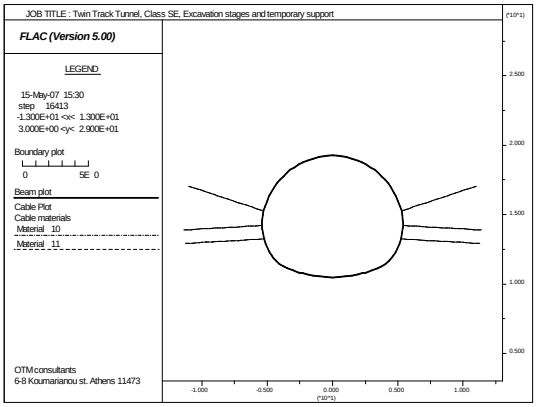
Στάδιο 2



Στάδιο 3



Στάδιο 4



Στάδιο 6

4.Κατασκευή της Σήραγγας

Σ' αυτό το κεφάλαιο αναλύεται ο τρόπος εφαρμογής των ΓΤΣ και ΓΠΣ που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο δίνοντας παράλληλα μια περιγραφή των επιμέρους διεργασιών που απαιτούνται για να εξασφαλίσουμε τη μέγιστη δυνατή προχώρηση της σήραγγας κάτω από ασφαλείς συνθήκες.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο το τμήμα της κύριας σήραγγας όπως εκτείνεται από Χ.Θ. 0+504,54 έως 0+929,13 περίπου, είναι δυνατόν να χωριστεί στα παρακάτω υποτμήματα :

- Στο πρώτο και εκτενέστερο υποτμήμα, το οποίο εκτείνεται από Χ.Θ. 0+504,54 μέχρι τη Χ.Θ. 0+840 περίπου, η σήραγγα διανοίγεται μέσα στους Νεογενείς σχηματισμούς.
- Στο υποτμήμα, μεταξύ των χιλιομετρικών θέσεων 0+840 και 0+900, η διάνοιξη θα διασχίσει ζώνη μετάβασης από τη νεογενή λεκάνη στους παλαιότερους Αθηναϊκούς σχιστόλιθους η οποία αποτελείται από υλικά τα οποία είναι συγγενικά με αυτά της νεογενούς λεκάνης
- Και στο τελευταίο υποτμήμα, το οποίο εκτείνεται από Χ.Θ. 0+900 περίπου μέχρι τη Χ.Θ. 0+929,13 περίπου, η διάνοιξη γίνεται μέσα στους σχηματισμούς που συνιστούν τον ανώτερο ορίζοντα του Αθηναϊκού Σχιστολίθου, δηλαδή εντός των μεταψαμμιτών, αλλά και με αναμενόμενες λεπτές ενστρώσεις μεταϊλυολίθων.

Για να επιτύχουμε τη διάνοιξη της σήραγγας με τις προδιαγραφές που θέσαμε στην αρχή ακολουθείται μια σειρά εργασιών, η οποία περιλαμβάνει εργασίες εκσκαφής και τοποθέτησης των μέτρων προσωρινής υποστήριξης

Η μεθοδολογία αυτή ονομάζεται εκσκαφή σηράγγων με συμβατικά μηχανικά μέσα ή αλλιώς N.A.T.M (New Austrian Tunneling Method).

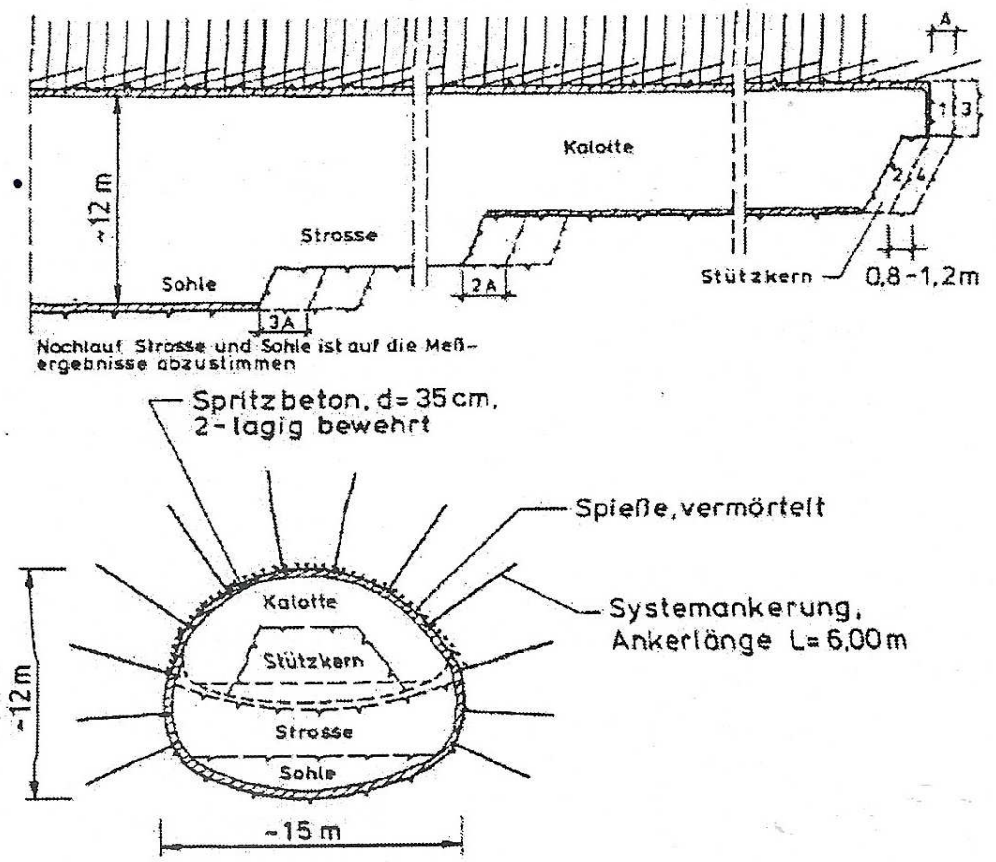
4.1 Μεθοδολογία εκσκαφής σηράγγων με συμβατικά μηχανικά μέσα (N.A.T.M)

4.1.1 Ορισμός N.A.T.M

Βασικά στοιχεία του συστήματος στήριξης είναι η επένδυση από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και ενίσχυση του πετρώματος με ηλώσεις. Οι εφαρμογές της μεθόδου δημοσιεύθηκαν αρχικά από τους Rabcewicz (1964) και Pacher (1964). Ο εκ των ιδρυτών της μεθόδου Muller (1978) δίνει 21 αρχές στις οποίες βασίζεται η μέθοδος, εκ των οποίων οι έξι βασικότερες είναι:

1. Η αντοχή της γεωμάζας γύρω από μια σήραγγα πρέπει να κινητοποιηθεί σκόπιμα στη μεγαλύτερη δυνατή έκταση. Η κινητοποίηση της αντοχής της,γεωμάζας επιτυγχάνεται επιτρέποντας την παραμόρφωση της.
2. Τοποθετείται κατάλληλη ελαφριά, εύκαμπτη, υποστήριξη, με λεπτή πρώτη στρώση από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και ήλους αμέσως μετά την εκσκαφή, που καθορίζεται από την ταξινόμηση του πετρώματος. Η πρώτη στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος έχει σα σκοπό το σφράγισμα το ρωγμών και την προστασία τους από τη διάβρωση και την εν συνεχεία χαλάρωση. Η στρώση αυτή ουσιαστικά, λόγω ερπυστικών παραμορφώσεων του σκυροδέματος δεν αναλαμβάνει φορτία. Χαρακτηριστικό είναι ότι η μέθοδος αναπτύχθηκε συγχρόνως με την ανάπτυξη της τεχνικής του εκτοξευόμενου σκυροδέματος.
3. Μετρήσεις των μετακινήσεων και πιέσεων αμέσως μετά την τοποθέτηση της πρώτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Όπου απαιτείται, τα αποτελέσματα του ελέγχου αποτελούν τη βάση για αλλαγή της αρχικής (και μόνιμης) υποστήριξης, και την ακολουθία των φάσεων της διάνοιξης.
4. Κλείσιμο του ανάστροφου τόξου για μηχανική λειτουργία· της σήραγγας σαν σωλήνα.
5. Η μόνιμη υποστήριξη εκτελείται γενικά σε ένα μεταγενέστερο στάδιο.
6. Ειδική σύμβαση κατασκευής του έργου που να επιτρέπει αλλαγές στον τρόπο διάνοιξης και υποστήριξης.

Οι αρχές της Ν.Α.Τ.Μ. έχουν δεχθεί ισχυρότατες επικρίσεις διεθνώς τόσον ως προς την επιστημονικότητά τους, όσον και ως προς την οικειοποίηση τους από τη μέθοδο.



Σχήμα 3: Διάνοιξη Σήραγγας σε φάσεις.

4.1.2. Αντικείμενο - πεδίο εφαρμογής

Το αντικείμενο της μεθοδολογίας αυτής καλύπτει το σύνολο των δραστηριοτήτων για την εκσκαφή και προσωρινή αντιστήριξη σηράγγων οποιασδήποτε διατομής. Τα τμήματα του υπόψη έργου που καλύπτει αυτή η μεθοδολογία είναι:

- Τμήμα σήραγγας τριπλής τροχιάς (από Χ.Θ. 0+000 έως Χ.Θ. 0 + 260)
- Τμήμα σήραγγας μεταβλητής διατομής από σήραγγα τριπλής σε σήραγγα διπλής τροχιάς (από Χ.Θ. 0+260 έως Χ.Θ.0+340)
- Τμήμα σήραγγας διπλής τροχιάς (από Χ.Θ. 0+340 έως Χ.Θ. 0+929,13)

4.1.3 Περιγραφή της μεθόδου

Η κατασκευή των σηράγγων με μηχανικά μέσα ακολουθεί μια βασική μεθοδολογία που είναι ουσιαστικά ένας επαναλαμβανόμενος κύκλος εργασιών εκσκαφής και εφαρμογής μέτρων αντιστήριξης. Οι εργασίες αφορούν την εκσκαφή εδάφους οποιασδήποτε κατηγορίας (από υγιή βράχο μέχρι εδαφικό υλικό) σε μία ή περισσότερες φάσεις εκσκαφής (θόλος, βαθμίδα, ανάστροφο τόξο, κλπ) και σε διαδοχικά βήματα. Η εκσκαφή των σηράγγων γίνεται χωρίς τη χρήση εκρηκτικών.

4.1.4 Εκσκαφή

Πριν την έναρξη των εργασιών εκσκαφής των σηράγγων εντοπίζονται οι θέσεις παλαιότερων και νέων διερευνητικών οπών και γεωτρήσεων και διερευνείται (μητρώα υπηρεσιών, δημοτικά αρχεία, αυτοψίες, διερεύνηση μαρτυριών) η ύπαρξη φρεάτων, υδροληπτικών έργων (πηγάδια) και άλλων κενών που αναμένεται να συναντηθούν κατά την εκσκαφή. Μετά την εξακρίβωση και καταγραφή της κατάστασης στην οποία βρίσκονται ακολουθεί πλήρωση και σφράγιση τους για την αποφυγή εισροής υδάτων ή εκδήλωσης καταπτώσεων.

Η εκσκαφή πραγματοποιείται πάντοτε με την απαιτούμενη προσοχή (ειδικά στο μέτωπο της εκσκαφής), ώστε να αποφεύγεται υπερεκσκαφή και χαλάρωση του περιβάλλοντος όγκου του πετρώματος.

Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην διάτρηση των ορίων εκσκαφής εντός της θεωρητικής γραμμής (όπως αυτή προσδιορίζεται από την εγκεκριμένη μελέτη). Ο έλεγχος και επαλήθευση των γραμμών εκσκαφής για αποφυγή υπερεκσκαφών και υποεκσκαφών πραγματοποιείται από τοπογραφική ομάδα κατά τη διάρκεια και στο τέλος κάθε βήματος εκσκαφής. Μετά την ολοκλήρωση του κάθε βήματος (φάση) εκσκαφής ακολουθεί η εγκατάσταση των βασικών μέτρων αντιστήριξης (τύπος πλαισίου, δομικό πλέγμα, στρώσεις εκτοξευόμενου σκυροδέματος κλπ).

Η αρχική επικάλυψη με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι ~5cm ακολουθώντας πάντα το εκάστοτε βήμα εκσκαφής.

Μετά την εφαρμογή της σφραγιστικής στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος τοποθετείται ο οπλισμός, ο οποίος δεν είναι λιγότερος από τον ελάχιστο προβλεπόμενο και εξασφαλίζεται η συνέχεια των οπλισμών. Η εφαρμογή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος γίνεται με αυτοκινούμενες πρέσες τύπου CIFA ή

αναλόγου και η τροφοδοσία γίνεται είτε μέσω σταθερού δικτύου είτε μέσω αυτοκινούμενων αναδευτήρων (βαρέλες) ανάλογα την απόσταση από το φρέαρ Ηρώων Πολυτεχνείου που αποτελεί την κύρια είσοδο προς τις σήραγγες.

Ο εκάστοτε χειριστής πρέπει να είναι έμπειρος για την συγκεκριμένη εργασία και η διάστρωση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος γίνεται από τα χαμηλότερα προς τα ανώτερα τμήματα της διατομής. Το ακροφύσιο πρέπει να απέχει 1 έως 1,5m από την επιφάνεια της εκσκαφής και η γωνία εφαρμογής να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται πλήρωση όλων των κοιλοτήτων και «σκιών» πίσω από τον οπλισμό. Πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε τελικά να προκύπτει μια ομαλή εσωτερική επιφάνεια χωρίς ανωμαλίες.

Στην περίπτωση εκδήλωσης υπερεκσκαφών ή καταπτώσεων, το περιστατικό αντιμετωπίζεται άμεσα με την εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος σε διαδοχικές στρώσεις και με τέτοιο τρόπο που να αποτρέπει την περαιτέρω χαλάρωση του περιβάλλοντος εδάφους.

Για το λόγο αυτό υπάρχει πάντοτε διαθέσιμο νωπό σκυρόδεμα σε κατάλληλες δεξαμενές συντήρησης, καθώς και σε ετοιμότητα ο απαιτούμενος βασικός και εφεδρικός εξοπλισμός και το απαιτούμενο προσωπικό καθ' όλη τη διάρκεια των εργασιών εκσκαφής σηράγγων και σε όλα τα μέτωπα εκσκαφής. Επιπρόσθετα, το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μπορεί να είναι οπλισμένο είτε με ίνες είτε με δομικό πλέγμα.

Στη διατομή διπλής τροχιάς ο εκσκαφέας πρέπει να απομακρύνεται από το μέτωπο κατά τη διάρκεια κάθε βήματος εκσκαφής προκειμένου ο φορτωτής να απομακρύνει τα προϊόντα εκσκαφής.

Εάν για την ολοκλήρωση της διατομής απαιτείται εκσκαφή σε περισσότερες από μία φάσεις, όλες οι εργασίες συναρμογής εκτελούνται με ιδιαίτερη επιμέλεια και προσοχή για την ορθή και έντεχνη ένωση τμημάτων πλαισίων, επικαλύψεις οπλισμών, συνέχεια δακτυλίων εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Στο σύνολο των μέτρων άμεσης υποστήριξης περιλαμβάνεται και η κατασκευή ανακουφιστικών οπών στο μέτωπο και τις παρειές της σήραγγας και όπου οι συνθήκες το απαιτούν.

Σε περίπτωση που οι εργασίες εκσκαφής των σηράγγων διακόπτονται για διάστημα μεγαλύτερο των 24 ωρών (όπως Σαββατοκύριακα, επίσημες αργίες κλπ), τα μέτωπα πρέπει να υποστηρίζονται και να εξασφαλίζονται ώστε να αποτραπεί οποιαδήποτε μετακίνηση του εδάφους.

Η εξασφάλιση του μετώπου επιτυγχάνεται με λήψη κατάλληλων μέτρων, όπως με την εφαρμογή ικανού πάχους (>5cm) εκτοξευόμενου σκυροδέματος (ενδεχομένως ενισχυμένο με δομικό πλέγμα ή ίνες), κατασκευή μόνιμου ή προσωρινού δαπέδου ανεστραμμένου τόξου, κατασκευή των οριζόμενων από τη μελέτη ηλώσεων, διαμόρφωση πυρήνα προστασίας μετώπου. Κατά την εκσκαφή των σηράγγων πραγματοποιείται γεωλογική χαρτογράφηση του συνόλου της αποκαλυπτόμενης επιφάνειας του πετρώματος (μέτωπο, παρειές, θόλος). Η εκτέλεση της εργασίας αυτής είναι δυνατόν να γίνει είτε αμέσως μετά την ολοκλήρωση της εκσκαφής είτε και παράλληλα με αυτή εφόσον οι συνθήκες απαιτούν άμεση εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος για την ασφαλή εκτέλεση των εργασιών. Οι εργασίες κατασκευής δοκών προπορε'ιας και αγκυρίων ινών υάλου παρέχουν πλήθος πληροφοριών για τις αναμενόμενες συνθήκες στα προς εκσκαφή τμήματα. Κατά την παρακολούθηση της διάτρησης συλλέγονται στοιχεία, όπως η ταχύτητα διάτρησης, η κρούση ή όχι του κοπτικού, το είδος των επιστρεφομένων υλικών διάτρησης (θραυσμένο υλικό, ποσότητα νερού διάτρησης) καθώς και το χρώμα των επιστρεφομένων.

Επιπροσθέτως, οι εργασίες ενεμάτωσης των δομικών αυτών στοιχείων παρέχουν επίσης πληροφορίες για τις τοπικές διαφοροποιήσεις και το πορώδες των συναντούμενων εδαφικών σχηματισμών.

Πλεονεκτήματα στη χρήση των διατρημάτων κατασκευής δοκών προπορείας και αγκυρίων ινών υάλου ως τακτικές ερευνητικές διατρήσεις είναι το μεγάλο πλήθος και μήκος των διατρημάτων, η κατανομή τους σε όλη τη διατομή και οι επικαλύψεις τους που βοηθούν στη σύνθεση μιας συνεχούς εικόνας για τις αναμενόμενες συνθήκες εδάφους, υδροφορίας κλπ.

Επιπλέον, έχουν ήδη εκτελεστεί δειγματοληπτικές γεωτρήσεις κατά μήκος της χάραξης. Τα αποτελέσματα αυτά μαζί και με τα δεδομένα που συλλέγονται κατά την εκτέλεση ερευνητικών γεωτρήσεων στα πλαίσια εγκατάστασης οργάνων ΓΔΠ, βοηθούν στην διαπίστωση των εδαφικών συνθηκών στα προς εκσκαφή τμήματα των σηράγγων.

Το δάπεδο εργασίας των σηράγγων πρέπει να διατηρείται καθαρό επιτρέποντας την ασφαλή και απρόσκοπτη διέλευση προς και από τα μέτωπα εργασίας. Για το λόγο αυτό πιθανές λάσπες και χαλαρά υλικά απομακρύνονται τακτικό από το δάπεδο εργασίας. Στις περιπτώσεις εκείνες που το δάπεδο εργασίας είναι αναζυμωμένο και χαλαρωμένο γίνεται αντικατάσταση του με αδρόκοκκο υλικό ή ακόμη και σκυροδέτησή του. Σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ.

σε περιορισμένους χώρους) για την εκτέλεση συγκεκριμένων μέτρων αντιστήριξης κατασκευάζονται μικροί αναβαθμοί (ράμπες). Η κατασκευή τους είναι προσωρινή και απομακρύνονται μετά το πέρας των συγκεκριμένων εργασιών. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται κατάλληλα υλικά (π.χ. αδρόκοκκο υλικό) ή εναλλακτικά κατασκευάζεται προσωρινό δάπεδο εργασίας από εκτοξευόμενο ή έγχυτο σκυρόδεμα.

Τα εισρέοντα ύδατα συλλέγονται και διευθετούνται προς ανοικτά κανάλια στις παρειές των σηράγγων και μέσω αντλιών εγκατεστημένων σε διαδοχικά φρέατα απομακρύνονται από τις σήραγγες. Η κατασκευή των προσωρινών φρεατίων άντλησης γίνεται σε θέσεις τέτοιες οι οποίες σε καμία περίπτωση δεν διακόπτουν την συνέχεια κατασκευασμένου μόνιμου ή προσωρινού δαπέδου ανάστροφου τόξου.

Επιπροσθέτως, όπου απαιτείται από τις τοπικές συνθήκες, γίνεται διάστρωση κατάλληλου αδρόκοκκου υλικού.

Στην περίπτωση έκτακτων περιστατικών καθώς επίσης και για περιπτώσεις προσέγγισης των ορίων επιφυλακής ή συναγερμού, υπάρχουν διαθέσιμα για άμεση χρήση επαρκή κατάλληλα μέσα και υλικά.

Στην περίπτωση που κατά την εκσκαφή διαπιστώνεται η ύπαρξη αρχαιοτήτων, ειδοποιείται άμεσα η Αρχαιολογική Υπηρεσία και ταυτόχρονα η ΑΜ, ενώ διακόπτεται κάθε εργασία στην περιοχή των ευρημάτων. Επιπροσθέτως λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα μέτρα για τη διατήρηση και διαφύλαξη των ευρημάτων για τη διευκόλυνση των εργασιών της Αρχαιολογικής Υπηρεσίας.

Πριν την έναρξη των εργασιών αλλά και κατά την διάνοιξη των σηράγγων πρέπει να πληρούνται οι απαιτήσεις Δομητικής και Γεωμηχανικής Παρακολούθησης (ΓΔΠ), με την εγκατάσταση, συντήρηση και λειτουργία (λήψη μετρήσεων, επεξεργασία δεδομένων) όλων των απαιτούμενων οργάνων παρακολούθησης.

Με βάση τα αποτελέσματα της ΓΔΠ των σηράγγων, είναι πιθανό να απαιτηθεί συμπληρωματική ενίσχυση της άμεσης υποστήριξης.

Οι συμπληρωματικές αυτές εργασίες ενδεικτικά περιλαμβάνουν τα παρακάτω: .

- Διάτρηση επιπρόσθετων αποστραγγιστικών οπών.
- Ενίσχυση του κελύφους της επένδυσης με πρόσθετες στρώσεις εκτοξευόμενου σκυροδέματος, ενδεχομένως οπλισμένου με δομικό πλέγμα και μέχρι της πλήρωσης της οδόντωσης των κατηγοριών αντιστήριξης που προβλέπουν την κατασκευή δοκών προπορείας.

- Πρόσθετες αγκυρώσεις.
- Κατασκευή μικροπασσάλων στην περιοχή έδρασης των πλαισίων. Τμηματική εκσκαφή του μετώπου.
- Μετάβαση σε βαρύτερη κατηγορία προϋποστήριξης μετώπου. Μείωση της απόστασης σκυροδέτησης του δαπέδου ανεστραμμένου θόλου από το μέτωπο διάνοιξης ή κατασκευή προσωρινού δαπέδου. Αποκαταστάσεις τυχόν αστοχιών και μέτρων άμεσης υποστήριξης.

4.1.5 Διαχείριση προϊόντων εκσκαφής

Η αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής γίνεται αρχικά με μεταφορά από το μέτωπο εργασίας με τη βοήθεια φορτωτή. Καθώς η προς κατασκευή σήραγγα δεν έχει άμεση πρόσβαση στην επιφάνεια, τα προϊόντα των εκσκαφών ανυψώνονται δια μέσου φρέαρ και αποτίθενται προσωρινώς κοντά στο στόμιο του φρέατος.

Οι χώροι προσωρινής απόθεσης είναι χωροταξικά ανεξάρτητοι από τις οδούς πρόσβασης του φρέατος (ανελκυστήρες, κλίμακες), ώστε να μην παρεμποδίζεται η ασφαλής πρόσβαση και η ταχεία έξοδος του προσωπικού σε περίπτωση έκτακτου συμβάντος. Οι χώροι αυτοί είναι κατάλληλα διαμορφωμένοι με κάθετα στοιχεία οπλισμού και προκατασκευασμένα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος διαμορφώνοντας έτσι ένα πέτασμα εντός του οποίου αποτίθενται τα προϊόντα εκσκαφής και βρίσκονται σε απόσταση άνω των δέκα μέτρων από το στόμιο του φρέατος. Ακολούθως γίνεται επαναφόρτωση, αποκομιδή και απόθεση των προϊόντων εκσκαφής σε κατάλληλους χώρους εκτός Έργου. Προσωρινή απόθεση των προϊόντων εκσκαφής γίνεται περιοδικά και εντός της σήραγγας σε κατά μήκος σωρούς. Οι σωροί αυτοί σχηματίζονται σε τμήματα της σήραγγας της οποίας έχει ολοκληρωθεί το σύνολο των εργασιών αντιοτήριξης και με τέτοιο τρόπο που να μην δημιουργούν πρόβλημα στην πρόσβαση εργατικού δυναμικού, εξοπλισμού και υλικών κατασκευής προς τις θέσεις εργασίας.

4.1.6 Συστήματα και εγκαταστάσεις

Για την εκτέλεση των εργασιών στον εξοπλισμό του έργου περιλαμβάνονται και όλα τα απαραίτητα δίκτυα για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, πεπιεσμένου αέρα, νερού, φωτισμού (κύριου και βοηθητικού), τηλεπικοινωνιών, κλπ.

Η εγκατάσταση των δικτύων γίνεται στις παρειές των διατομών και σε κατάλληλο ύψος, έτσι ώστε να μην εμποδίζουν την εκτέλεση των εργασιών, να είναι ορατά και εύκολα προσβάσιμα. Επιπλέον, όπου απαιτείται, υπάρχει αδιάβροχη επικάλυψη του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού. Για τον εξαερισμό της σήραγγας εξασφαλίζεται διαρκής παροχή αέρα σε όλο το μήκος της μέσω κατάλληλα σχεδιασμένου συστήματος αερισμού, ενώ τόσο οι εκπομπές ρύπων, σκόνης όσο και του θορύβου παρακολουθούνται ώστε να περιορίζονται στο ελάχιστο σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία. Παρακολουθούνται επίσης η θερμοκρασία, η ταχύτητα και η υγρασία του αέρα και τα αποτελέσματα των μετρήσεων καταγράφονται στο «Έντυπο Μέτρησης Κλιματικών Παραμέτρων Σήραγγας», το οποίο τηρείται σε αρχείο στο εργοτάξιο.

Ανάλογη μέριμνα λαμβάνεται σε ζητήματα πυροπροστασίας και ασφάλειας με εγκατάσταση κατάλληλων μέσων (πυροσβεστήρες, πυροσβεστικές φωλιές, φορεία, φαρμακείο, κλίμακες διαφυγής) που αναπροσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες των εργασιών. Οι εργασίες εντός της σήραγγας υποστηρίζονται και από κατάλληλα συνεργεία στην επιφάνεια με σκοπό την κάλυψη διαφόρων αναγκών, όπως την ανύψωση και αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής, την συντήρηση και αντιμετώπιση προβλημάτων του μηχανικού εξοπλισμού, των συστημάτων φωτισμού, των συστημάτων άντλησης υδάτων, κλπ. Οι έλεγχοι και οι διαδικασίες συντήρησης του μηχανικού εξοπλισμού γίνεται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή για κάθε μηχάνημα και σύμφωνα με τις επιτόπου ανάγκες του Έργου, ώστε αυτός να είναι πάντοτε σε άριστη κατάσταση, επαρκής και άμεσα διαθέσιμος.

Για το λόγο αυτό στο στόμιο του φρέατος λειτουργούν οι αντίστοιχες εγκαταστάσεις υποστήριξης, όπως συνεργείο, αποθήκες ανταλλακτικών, υδραυλικού και ηλεκτρολογικού υλικού.

Καθώς το βασικό υλικό κατασκευής είναι το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, ο σημαντικότερος ρόλος του συνεργείου επιφανείας είναι η αποθήκευση και συντήρηση του νωπού σκυροδέματος, το οποίο είναι πάντοτε διαθέσιμο σε ικανές ποσότητες για την αντιμετώπιση οποιουδήποτε έκτακτου περιστατικού.

4.1.7 Εξοπλισμός

Λόγω του περιορισμένου χώρου κατά την κατασκευή των πρώτων σταδίων των υπόγειων εκσκαφών, αρχικά διατηρείται ο ελάχιστος εξοπλισμός για την εκτέλεση των παραπάνω εργασιών. Με την ανάπτυξη της σήραγγας σε ικανό

μήκος είναι δυνατή η προσωρινή στάθμευση εξοπλισμού και εντός της σήραγγας, ώστε να είναι πάντοτε διαθέσιμος και σε μικρή απόσταση από το μέτωπο εργασίας. Η διατήρηση του εξοπλισμού εγγύς του μετώπου εργασίας μειώνει τους χρόνους εφαρμογής των μέτρων άμεσης υποστήριξης, επιτρέπει την άμεση αντιμετώπιση έκτακτων περιστατικών και μειώνει την εκπομπή ρύπων από την άσκοπη μετακίνηση τους. Από το πρώτο στάδιο έναρξης των εργασιών και καθ' όλη τη διάρκεια των εργασιών διάνοιξης υπάρχει διαθέσιμος για άμεση χρήση και ο πάσης φύσεως εφεδρικός εξοπλισμός.

Γενικά, ο βασικός εξοπλισμός για την ορθή και έντεχνη εκτέλεση των εργασιών είναι:

- Υδραυλικοί εκσκαφείς με δυνατότητα χρήσης υδραυλικής σφύρας αν απαιτηθεί.
- Φορτωτές (λαστιχοφόροι ή / και ερπυστριοφόροι), τόσο για την αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής εντός της σήραγγας όσο και για μεταφόρτωση τους στην επιφάνεια του φρέατος.
- Οικοδομικοί γερανοί εγκατεστημένοι στην επιφάνεια του φρέατος για την αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής και την τροφοδοσία με υλικά κατασκευής.
- Αυτοκινούμενες πρέσες εκτοξευόμενου σκυροδέματος τύπου CIFA ή αναλόγου.
- Αυτοκινούμενες βαρέλες για τη μεταφορά του εκτοξευόμενου σκυροδέματος πλησίον του εκάστοτε μετώπου εκσκαφής.
- Διατρητικό εξοπλισμό τύπων Puntel, Monomatic, Para, Casagranae ή αναλόγων (με το σύνολο των αναγκαίων εξαρτημάτων, κοπτικών κεφαλών κλπ) για την εκτέλεση πάσης φύσεως εργασιών διάτρησης (αγκύρια αυτοδιατρώμενα, πλήρους πάκτωσης, ήλων ινών υάλου, δοκών προπορείας κλπ).
- Αεροσυμπιεστή
- Συγκρότημα παρασκευής ενέματος τύπου MAI PUMP ή αναλόγου.
- Εξοπλισμό εξαερισμού σήραγγας.
- Δεξαμενή συντήρησης (αναδευτήρας) νωπού σκυροδέματος.
- Δεξαμενή καθίζησης.

Τον βοηθητικό εξοπλισμό αποτελούν:

- Περιστροφικές - κρουστικές σφύρες χειρός
- Αντλίες υδάτων
- Κλίμακες πρόσβασης
- Ανελκυστήρες
- Δίκτυα μεταφοράς νωπού σκυροδέματος
- Δίκτυα πεπιεσμένου αέρα, νερού κλπ

4.1.8 Προσωπικό

Όλο το απασχολούμενο προσωπικό (επιστημονικό και τεχνικό) πρέπει να είναι επαρκές τόσο αριθμητικά όσο και ποιοτικά (με εμπειρία στα υπόγεια έργα) για την κάλυψη των αναγκών του έργου.

Το κυρίως τεχνικό προσωπικό ανά βάρδια εργασίας απαρτίζεται από:

- (1) Επιστάτη
- (3 + 1) Χειριστές μηχανημάτων (εκσκαφέα, φορτωτή, πρέσας εκτοξευόμενου σκυροδέματος, διατρητικού εξοπλισμού).
- (4) Εξειδικευμένο εργατοτεχνικό προσωπικό.
- (1) Ηλεκτρολόγο

Ενώ, το βοηθητικό προσωπικό επιφάνειας ανά βάρδια εργασίας απαρτίζεται από:

- (1)Μηχανοτεχνίτη
- (1) Υδραυλικό
- (1)Χειριστές μηχανημάτων (οικοδομικού γερανού, φορτωτή)
- (2) Εργατοτεχνικό προσωπικό (1 + 1) Οδηγό

Το εργατικό αυτό δυναμικό επιβλέπεται και καθοδηγείται από έμπειρους ανά θέση: Μηχανικό Σήραγγας, Μηχανικούς βάρδιας, Μηχανικό Υγιεινής και Ασφάλειας, Γεωλόγους, Τοπογράφους, Γενικό Εργοδηγό, που κατέχουν τα απαραίτητα προσόντα και εξειδίκευση σε εργασίες διάνοιξης σηράγγων.

4.1.9 Υλικά

Συνοπτικά, ορισμένα από τα υλικά άμεσης υποστήριξης που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή της σήραγγας είναι:

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
- Δομικό πλέγμα
- Ίνες εκτοξευόμενου σκυροδέματος (χαλύβδινες, πλαστικές)
- Χαλύβδινα δικτυωτά υποστηρίγματα
- Ηλώσεις, αγκυρώσεις (αγκύρια πλήρους πάκτωσης, αυτοδιατρώμενα, ινών υάλου κλπ)
- Ράβδοι και δοκοί προπορείας
- Μικροπάσσαλοι

Τα υλικά αυτά καθώς και ότι άλλο απαιτεί η εγκεκριμένη μελέτη, είναι διαθέσιμα σε επαρκείς ποσότητες στο χώρο του εργοταξείου τόσο για την εύρυθμη εκτέλεση των εργασιών διάνοιξης όσο και για την αντιμετώπιση έκτακτων περιστατικών.

4.2 Κατασκευαστική διαδικασία

Η N.A.T.M. εφαρμόζεται είτε με ολομέτωπη εκσκαφή της διατομής, είτε με ολομέτωπη εκσκαφή της διατομής με προπορευόμενη τη διάνοιξη ερευνητικής στοάς, είτε με προπορευόμενη την εκσκαφή της άνω ημιδιατομής (Kalotte, top heading) είτε με διάνοιξη και στήριξη επιμέρους τμημάτων της διατομής. Η διάνοιξη πραγματοποιείται σε 3 φασεις. Η αποτελεσματικότητα της τεχνικής εξαρτάται από τις σχέσεις "Χρόνος ευστάθειας -Ταχύτητα κατασκευής της προσωρινής στήριξης", "Παραμόρφωση του πετρώματος -Κλείσιμο του δαπέδου" και "Βάθος κοπής ή ανατίναξης - Ταχύτητα αποκομιδής.

Αρχικά κατά την ‘Α φάση εκσκαφής πραγματοποιούνται εργασίες με σκοπό την εξασφάλιση του μετώπου και οι οποίες είναι:

- υποστήριξη θόλου διατομής με δοκούς προπορείας (forepoling),
- τοποθέτηση αγκυρίων υαλοϊνών (fiberglass),
- διάτρηση αποστραγγιστικών οπών στο μέτωπο (όπου απαιτείται).

Η προενίσχυση του θόλου διατομής γίνεται με την τεχνική τοποθέτησης μεταλλικών δοκών προπορείας, ώστε η εκσκαφή του βήματος προχώρησης να

γίνεται υπό ασφαλείς συνθήκες. Πριν την τοποθέτηση των δοκών στο μέτωπο σημειώνονται - αριθμούνται από το τοπογραφικό συνεργείο οι θέσεις των διατρημάτων

4.2.1 Μεθοδολογία εγκατάστασης δοκών προπορείας

4.2.1.1 Προετοιμασία πεδίου

Οι ακόλουθες εργασίες εκτελούνται πριν την έναρξη των εργασιών:

α. Προετοιμασία του δαπέδου εργασίας για την σωστή εγκατάσταση του διατρητικού εξοπλισμού
β.Έλεγχος επάρκειας υλικών κατασκευής.
γ. Έλεγχος του απαιτούμενου για τις εργασίες μηχανολογικού εξοπλισμού,
δ. Σημείωση - αρίθμηση πάνω στο μέτωπο εργασίας των θέσεων των διατρημάτων.
ε. Εγκατάσταση του διατρητικού εξοπλισμού με τη βοήθεια τοπογραφικού συνεργείου και έλεγχος των απαιτούμενων κλίσεων για κάθε ομπρέλα που πρόκειται να κατασκευαστεί.

4.2.1.2 Περιγραφή της μεθόδου – Κατασκευή

Η μέθοδος αυτή αναφέρεται στην κατασκευή μιας προστατευτικής «ομπρέλας» που σχηματίζεται με την τοποθέτηση χαλύβδινων διατομών, χαλυβδοσωλήνων ή χαλύβδινων ράβδων οπλισμού για την υποστήριξη του θόλου μιας εκσκαφής.
Αποτελεί τμήμα των τεχνικών κατασκευής σηράγγων με μηχανικά μέσα και εφαρμόζεται σε εδάφη με προβλήματα ευστάθειας. Η κατασκευή τους προηγείται χρονικά της εκσκαφής και εφαρμογής οποιουδήποτε άλλου μέτρου προσωρινής υποστήριξης.
Η εκσκαφή των σηράγγων πραγματοποιείται έτσι κάτω από αυτό το κωνικό «στέγαστρο» (ομπρέλα), η οποία προσφέρει προστασία για την διάνοιξη ορισμένων μέτρων μήκους σήραγγας. Μάλιστα το σχήμα της αποτελεί και οδηγό της γραμμής εκσκαφής στον θόλο της σήραγγας. Μετά την εκτέλεση ορισμένων

φάσεων εκσκαφής, η εργασία κατασκευής δοκών / ράβδων προστασίας επαναλαμβάνεται.

Το μήκος των δοκών ή ράβδων που χρησιμοποιούνται ποικίλει, αλλά συνήθως έχουν μήκος 6.00, 9.00 ή 12.00 μέτρων. Βασική παράμετρος των διαδοχικών «ομπρελών» είναι η επικάλυψη των στοιχείων τους σε μήκη συνήθως της τάξεως των 3.00 μέτρων ή όπως αλλιώς ορίζουν τα εγκεκριμένα σχέδια.

Οι θέσεις που θα γίνει η διάτρηση των οπών για την τοποθέτηση τους αριθμείται (εικ.3) ενώ απόσταση μεταξύ των δοκών μιας ομπρέλας ορίζεται επίσης από τα εγκεκριμένα σχέδια, και συνήθως είναι της τάξεως των 0.40m.

Η κατασκευή μιας ομπρέλας δοκών προστασίας μπορεί να χωριστεί σε τρεις επιμέρους εργασίες:

- Διάτρηση
- Τοποθέτηση
- Ενεμάτωση

α) Διάτρηση

Η διάτρηση των οπών μέσα στις οποίες θα τοποθετηθούν οι δοκοί προστασίας γίνεται με κατάλληλα διατρητικά μέσα διαφόρων τύπων όπως Casagrande, Puntel, Para, MCV.(εικ.4) Η διάμετρος τους εξαρτάται από την εξωτερική διάμετρο των δοκών που πρόκειται να τοποθετηθούν.

Η διάτρηση γίνεται με χρήση αέρα ή / και νερού. Αν παρατηρούνται φαινόμενα απόφραξης της οπής χρησιμοποιείται αρχικά μόνο ο αέρας με ταυτόχρονη μετακίνηση της διατρητικής στήλης για τον καθαρισμό της, και η διάτρηση συνεχίζεται με χρήση μικρής ποσότητας νερού προκειμένου να δημιουργείται μια προστατευτική μεμβράνη για την συγκράτηση των τοιχωμάτων του διατρήματος.

Γενικά πάντως αποφεύγεται η χρήση αέρα στις θέσεις εκείνες όπου το πάχος των υπερκείμενων είναι μικρό και όπου είναι πιθανόν η χρήση αέρα να οδηγήσει στην χαλάρωση του περιβάλλοντος πετρώματος (π.χ. χαλαροί, ασύνδετοι εδαφικοί σχηματισμοί).

Στις περιπτώσεις εκείνες που κατά την διάτρηση παρατηρείται έντονη εισροή νερού κατασκευάζονται αποστραγγιστικές οπές στο μέτωπο και γίνεται εκτροπή των υδάτων προς το προσωρινό αποστραγγιστικό δίκτυο των σηράγγων που ούτως ή άλλως κατασκευάζεται στις παρειές κατά μήκος των σηράγγων.

Εάν το διάτρημα δεν είναι δυνατόν να παραμείνει για εύλογο χρονικό διάστημα σταθερό, η δοκός τοποθετείται άμεσα στην οπή με την ολοκλήρωση της διάτρησης και ακολούθως ενεματώνεται.
Στην περίπτωση που το διάτρημα καταρρέει, η οπή ενεματώνεται με σκοπό να επαναδιατρηθεί. Επιπλέον είναι δυνατή η χρήση συστήματος διάτρησης ODEX που επιτρέπει την ταυτόχρονη διάτρηση και σωλήνωση του διατρήματος.

Για την προστασία των διατρημάτων αλλά και την ταχύτερη εκτέλεση των εργασιών είναι δυνατόν η διάτρηση των οπών να μην είναι συνεχόμενη αλλά εναλλάξ –μία παρα μία- προκειμένου να είναι εφικτή η τοποθέτηση και ενεμάτωση των ενδιάμεσων δοκών.

β) Τοποθέτηση – Ενεμάτωση

Μετά την ολοκλήρωση της διάτρησης, οι καθαρίζονται οι οπές και τοποθετούνται οι δοκοί με χρήση του ίδιου εξοπλισμού. Η τοποθέτηση των δοκών εντός των διατρημάτων γίνεται με ώθηση ή / και περιστροφή.(εικ.5)
Οι δοκοί φέρουν στην περίμετρο τους οπές για την έξοδο του ενέματος (διαμέτρου 8mm, ανά ~200mm στο κατώτερο 2/3 του μήκους τους), ενώ το πρόσθιο τμήμα τους είναι διαμορφωμένο σε κωνικό σχήμα για την ευκολότερη τοποθέτηση τους.
Μετά την τοποθέτηση τους, το τμήμα στο στόμιο του διατρήματος μεταξύ της δοκού και του τοιχώματος σφραγίζεται για την αποφυγή απώλειας του ενέματος. Ταυτόχρονα, τοποθετείται σωλήνας μικρής διαμέτρου σε όλο το μήκος της δοκού που επιτρέπει την διαφυγή του αέρα κατά την ενεμάτωση, ενώ βοηθά και τον οπτικό έλεγχο της πλήρωσης της δοκού. Ακολούθως εφαρμόζονται στις δοκούς μηχανικά παρεμβύσματα (packers) μέσω των οποίων γίνεται η ενεμάτωση.
Οι πρέσες που χρησιμοποιούνται είναι τύπου MAI PUMP ή CLIVIO, οι οποίες είναι εύκολες στην μεταφορά τους κοντά στη θέση εργασίας. Το ένεμα έχει λόγο Ν/Τ από 4/10 έως 6/10, ανάλογα τις εδαφικές συνθήκες, ούτως ώστε να εξασφαλίζεται η καλύτερη δυνατή ενεμάτωση των δοκών / ράβδων. Η εφαρμοζόμενη πίεση είναι 3 bar και θα διατηρείται μέχρι να διαπιστωθεί επιστροφή του ενέματος δια μέσω του σωλήνα εξαέρωσης. Τότε ο σωλήνας

αυτός αποφράσσετε και η εφαρμοζόμενη πίεση ανέρχεται στα 5 έως 7 bar για την ολοκλήρωση της ενεμάτωσης.
Ο χρονισμός των εργασιών και η σύνθεση του ενέματος είναι τέτοιες που επιτρέπει την ανάπτυξη αντοχής του ενέματος πριν την εκσκαφή του πρώτου βήματος κάθε «ομπρέλας». Έτσι, μετά την κατασκευή των δοκών προπορείας και πριν την έναρξη νέων εκσκαφών μπορούν να εκτελούνται άλλες εργασίες, όπως κατασκευή δαπέδου ανεστραμμένου θόλου, τοποθέτηση δομικού πλέγματος έσω παρειάς, εφαρμογή 3^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος, τοποθέτηση αυτοδιατρώμενων αγκυρίων στις παρειές της σήραγγας.

Οι εργασίες κατασκευής δοκών προπορείας παρέχουν πληροφορίες για τις τοπικές διαφοροποιήσεις και το πορώδες των συναντώμενων εδαφικών σχηματισμών. Αυτό γίνεται εύκολα με τη σύγκριση της πραγματικής ποσότητας εισπιεζόμενου ενέματος σε σχέση με την θεωρητική ποσότητα που υπολογίζεται από την γεωμετρία των διατρημάτων.
Επίσης, πλήθος πληροφοριών για τις αναμενόμενες συνθήκες στα προς εκσκαφή τμήματα έχουν ήδη συλλεχθεί από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις κατά μήκος της χάραξης.
Τα αποτελέσματα αυτά μαζί και με τα δεδομένα που συλλέγονται κατά την εκτέλεση ερευνητικών γεωτρήσεων στα πλαίσια εγκατάστασης οργάνων ΓΔΠ, βοηθούν στην διαπίστωση των εδαφικών συνθηκών στα προς εκσκαφή τμήματα των σηράγγων.

4.2.1.3 Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιηθεί είναι:

- Διατρητικός εξοπλισμός τύπων Puntel, Monomatic, Para, Casagrande ή αναλόγων, με το σύνολο των αναγκαίων εξαρτημάτων, κοπτικών κεφαλών κλπ, ανάλογα με τις εδαφικές συνθήκες.
- Πρέσες ενεμάτωσης τύπων MAI PUMP ή CLIVIO, με τις ανάλογες σωληνώσεις και δίκτυα.
- Μηχανικά παρεμβύσματα (mechanical packers)
- Σωλήνες PVC για την εξαέρωση των οπών.
- Αφρός πολυουρεθάνης για την απόφραξη των στομίων των διατρημάτων

Εικόνα 3: Αρίθμηση των θέσεων όπου θα διατρηθούν οπές για την τοποθέτηση των δοκών προπορείας

Εικόνα 4: Διάτρηση οπών στο μέτωπο για τη τοποθέτηση δοκών προπορείας

Εικόνα 5: Τοποθέτηση δοκών προπορείας

4.2.2 Μεθοδολογία κατασκευής εδαφικών ηλώσεων

Μετά το τέλος της εγκατάστασης των δοκών προπορείας πραγματοποιείται διάτρηση οπών στο μέτωπο για την τοποθέτηση αγκυρίων υαλοϊνών (fiberglass) (εικ.6). Η διάτρηση γίνεται με το ίδιο μηχάνημα που χρησιμοποιείται για το forepoling.Η εργασία αυτή πολλές φορές μπορεί να προηγείται χρονικά της εργασίας κατασκευής των δοκών προπορείας.

Εικόνα 6: Διάτρηση οπών στο μέτωπο για την τοποθέτηση αγκυρίων ινών υάλου

4.2.2.1 Αντικείμενο

Το αντικείμενο της μεθοδολογίας αυτής καλύπτει το σύνολο των δραστηριοτήτων για την κατασκευή παθητικών ηλώσεων και κοχλιώσεων (αγκύρια πλήρους πάκτωσης, αυτοδιατρώμενα αγκύρια, ήλων ινών υάλου, κλπ).

4.2.2.2 Περιγραφή της μεθόδου - Κατασκευή

Η μέθοδος αυτή αναφέρεται στην κατασκευή ηλώσεων και κοχλιώσεων στην περίμετρο και στο μέτωπο διάνοιξης σηράγγων. Η κατασκευή τους εντάσσεται στις τεχνικές κατασκευής σηράγγων με μηχανικά μέσα και μάλιστα αποτελούν τμήμα των άμεσων μέτρων προσωρινής υποστήριξης. Ο ρόλος τους είναι η ενίσχυση της δομής του περιβάλλοντος πετρώματος, η αγκύρωση επισφαλών όγκων ή ακόμα και η προ-ενίσχυση εδαφικού υλικού που πρόκειται να εκσκαφθεί.

Η διαδικασία κατασκευής τους περιλαμβάνει την διάτρηση οπών, την τοποθέτηση των ήλων / κοχλιών, την ενεμάτωσή τους και επιπλέον στην περίπτωση των κοχλιώσεων (αγκύρια πλήρους πάκτωσης, αυτοδιατρώμενα) την σύσφιξη των περικοχλίων.

Για την διάτρηση των οπών χρησιμοποιείται διατρητικός εξοπλισμός τύπου jumbo, και στην περίπτωση κατασκευής ήλων ινών υάλου στο μέτωπο της σήραγγας χρησιμοποιείται εξοπλισμός τύπου Casagrande ή αναλόγου. Οι οπές διατρώνται σε βάθος 20cm πέραν του θεωρητικού άκρου του κοχλία για οπές κεκλιμένες προς τα κάτω και όχι περισσότερο από 10cm για οπές κεκλιμένες προς τα πάνω. Στη συνέχεια, οι οπές καθαρίζονται από τα προϊόντα της διάτρησης (λάσπες και θραύσματα βράχου) με τη χρήση αέρα και νερού υπό πίεση.

Στις περιπτώσεις διατρημάτων με τάσεις διόγκωσης λόγω παρουσίας αργιλικού υλικού εκτελείται ξηρή διάτρηση και ο καθαρισμός των οπών γίνεται μόνο με χρήση αέρα. Η ορθότητα της θέσης, της γωνίας διάτρησης, του μήκους των ηλώσεων και γενικά των όσων προβλέπονται για την συγκεκριμένη εργασία από την μελέτη εφαρμογής, ελέγχεται από το κατάλληλο προσωπικό (π.χ. τοπογραφικό συνεργείο, μηχανικοί βάρδιας, γεωλόγοι).

Η διάμετρος των οπών είναι ανάλογη με τη διάμετρο των κοχλιώσεων και στην περίπτωση των ήλων ινών υάλου ανάλογη του πλάτους αυτών. Το είδος του κοπτικού εξαρτάται από τις συναντώμενες εδαφικές συνθήκες, αλλά σε κάθε περίπτωση είναι διαθέσιμοι όλοι οι τύποι διατρητικών κεφαλών (Button, Cross type, X-type, διευρυντήρες, κλπ) για όλους τους πιθανούς τύπους πετρωμάτων.

Μετά την ολοκλήρωση της διάτρησης, ανάλογα τον τύπου του ήλου / κοχλία, ακολουθεί είτε αρχικά η τοποθέτηση του και μετά η ενεμάτωση είτε αντιστρόφως.

Στην περίπτωση των αγκυρίων πλήρους πάκτωσης, πρώτα ενεματώνεται η οπή και ακολούθως τοποθετείται το αγκύριο. Η ενεμάτωση του διατρήματος γίνεται με χρήση μεταλλικής σωλήνας, η οποία εισέρχεται εντός της οπής και επιτρέπει την πλήρωση με ένεμα από το πυθμιαίο προς το κορυφαίο τμήμα με σταδιακή ανάσυρση της σωλήνας ενεμάτωσης. Μετά την πλήρη ενεμάτωση της οπής ακολουθεί η τοποθέτηση του αγκυρίου, δίδοντας προσοχή ώστε το κοχλιωτό τμήμα να παραμένει εκτός οπής για την τοποθέτηση της πλάκας και του περικοχλίου.

Μετά την παρέλευση τριών (3) ημερών - και πριν την εφαρμογή τελικής στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος - γίνεται η σύσφιξη των περικοχλίων. Ειδική μνεία λαμβάνεται ώστε η επιφάνεια έδρασης του περικοχλίου να είναι κάθετη προς τον άξονα του κοχλία. Αυτό επιτυγχάνεται με την μόρφωση της επιφάνειας έδρασης ή την χρήση σφηνοειδών ροδέλων.

Στην περίπτωση των αυτοδιατρώμενων αγκυρίων, το ίδιο το στέλεχος της διάτρησης είναι το αγκύριο, το οποίο αφού απεμπλακεί από το jumbo είναι έτοιμο για ενεμάτωση μέσω της διαμήκους κεντρικής οπής που φέρει. Ολόκληρο το σώμα του αγκυρίου φέρει σπείρωμα και έτσι είναι εύκολη η σύνδεση της σωλήνας ενεμάτωσης.

Για τα αυτοδιατρώμενα αγκύρια δεν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις αντιδιαβρωτικής προστασίας, καθώς ολόκληρο το αγκύριο περιβάλλεται από ένεμα, ενώ και οι κεφαλές αυτών καλύπτονται πλήρως από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατά την φάση εφαρμογής της 3^{ης} σφραγιστικής στρώσης. Η κατεύθυνση των ήλων / κοχλιών προσαρμόζεται πάντοτε στα συστήματα ασυνεχειών της βραχομάζας, ώστε να αποφεύγεται η χαλάρωση της και η δημιουργία και αποκόλληση σφηνών. Η κατεύθυνση των ήλων κατά κανόνα σχηματίζει γωνία μεγαλύτερη των 20° μοιρών με τις επιφάνειες των ασυνεχειών. Η παραπάνω προσαρμογή της κατεύθυνσης των ήλων / κοχλιών ενδέχεται να δημιουργήσει απόκλιση από τη θεωρητική τους κατεύθυνση, που δεικνύεται στα σχέδια και να μην είναι πάντα κάθετη προς την επιφάνεια της βραχόμαζας.

Στην περίπτωση των ήλων ινών υάλου, απαιτείται προετοιμασία του ήλου πριν την τοποθέτηση του. Αποστάτες τοποθετούνται στον ήλο εξασφαλίζοντας το κεντράρισμά του εντός του διατρήματος, προσδένεται σε όλο το μήκος του σωλήνας ενεμάτωσης, ενώ στο κορυφαίο τμήμα του τοποθετείται σωλήνας εξαέρωσης.

Ακολουθεί η τοποθέτηση του ήλου εντός της οπής, και το στόμιο της σφραγίζεται με πολυουρεθανικό αφρό για να αποτραπεί η απώλεια ενέματος. Ο ήλος θεωρείται ότι έχει ενεματωθεί πλήρως όταν παρατηρείται σταθερή επιστροφή ενέματος μέσα από το σωλήνα εξαέρωσης.

Εάν κατά τη διάρκεια ενεμάτωσης ενός ήλου παρατηρηθεί απώλεια ενέματος, είτε από σημεία γύρω από αυτόν είτε από γειτονικά σημεία στη βραχόμαζα, οι

διαρροές αυτές εμφράζονται (π.χ. με σφήνες) προκειμένου να σταματήσει η διαρροή.

Σημειώνεται ότι σε όλες τις περιπτώσεις το προεξέχων τμήμα των ήλων / κοχλιών είναι επαρκές για την εκτέλεση των απαιτούμενων δοκιμών (π.χ. δοκιμή εξόλκευσης). Πιο συγκεκριμένα εκτελείται μια μη καταστροφική δοκιμή εξόλκευσης για κάθε πενήντα (50) τοποθετημένους κοχλίες (DIN 21 521 Acceptance - pull test).

Για την ενεμάτωση θα χρησιμοποιηθούν πρέσες τύπου MAI PUMP οι οποίες είναι εύκολες στην μεταφορά τους κοντά στη θέση εργασίας. Το ένεμα είναι μίγμα νερού - τσιμέντου με αναλογία βάρους περίπου 4/10. Το ένεμα παράγεται στο εργοτάξιο με τη χρήση βαθμονομημένων δοχείων ώστε να επιτυγχάνεται η σωστή αναλογία βάρους 4/10. Επίσης το ένεμα αναμιγνύεται τουλάχιστον για 3 λεπτά σε αναδευτήρα υψηλής ταχύτητας, προτού να εισπιεστεί στην οπή. Το τσιμέντο είναι τύπου Ι Πόρτλαντ (Portlana) σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ ΕΝ 197-1 Π.Δ. 244/80.

4.2.2.3 Εξοπλισμός

Χρησιμοποιείται διατρητικός εξοπλισμός τύπων Puntel, Monomatic, Para, Casagrande ή αναλόγων, με το σύνολο των αναγκαίων εξαρτημάτων, κοπτικών κεφαλών κλπ, ανάλογα με τις εδαφικές συνθήκες. Πρέσες ενεμάτωσης τύπων MAI PUMP ή CLIVIO, με τις ανάλογες σωληνώσεις και δίκτυα.

4.2.2.4 Υλικά

Εικόνα 7:Αγκύρια ινών υάλου

Γενικά, απαιτούνται:

- Αγκύρια πλήρους πάκτωσης, αυτοδιατρώμενα αγκύρια, ήλοι ινών υάλου κλπ, στα μήκη και στις διαμέτρους που ορίζει η μελέτη.
- Σωλήνες PVC για την ενεμάτωση και εξαέρωση των οπών.
- Αφρός πολυουρεθάνης για την απόφραξη των στομίων των διατρημάτων.
- Τσιμέντο τύπου Portland, για την παρασκευή του ενέματος.

Κατά την εκτέλεση των εργασιών υπάρχουν πάντα διαθέσιμα τουλάχιστον 10 τεμάχια για προεκτάσεις ήλων βράχου και γενικά υπάρχουν πάντα διαθέσιμα εξοπλισμός και επιπλέον υλικά για την αντιμετώπιση έκτακτων περιστατικών.

Έπειτα ακολουθεί η διάτρηση αποστραγγιστικών οπών στο μέτωπο, όπου απαιτείται, με τη χρήση του ίδιου διατρητικού εξοπλισμού και ο αριθμός των οποίων εξαρτάται από τις συναντώμενες συνθήκες υπόγειας υδροφορίας. Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών για την εξασφάλιση του μετώπου, ακολουθούν οι εργασίες εκσκαφής θόλου. Μετά την εκσκαφή ακολουθεί η εφαρμογή μιας πρώτης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος, που καλείται στρώση ασφαλείας και σκοπό έχει την άμεση σφράγιση του μετώπου κλείνοντας έτσι την Α’ φάση της εκσκαφής της σήραγγας.

Η εφαρμογή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος γίνεται με τη χρήση διαφόρων τύπων μηχανημάτων. Αρχικά χρησιμοποιούνται οχήματα για τη μεταφορά του σκυροδέματος για την απόθεση του στη δεξαμενή συντήρησης (mixer). Επίσης χρησιμοποιούνται αυτοκινούμενη πρέσσα εκτοξευόμενου σκυροδέματος CIFA ή ανάλογη, πρέσσα σκυροδέματος CIFA PC ή ανάλογη, αεροσυμπιεστής ATLAS COPCO ή ανάλογος.

4.3 Μεθοδολογία εκτοξευόμενου σκυροδέματος

Εικόνα 8: Εφαρμογή 1ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο μέτωπο

4.3.1 Περιγραφή τις μεθόδου

Α) Προκαταρκτικοί έλεγχοι και εργασίες

Πριν την έναρξη των εργασιών, οι επιφάνειες του υποστρώματος που δέχεται το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ελέγχονται για την ύπαρξη τυχόν χαλαρών υλικών. Τα υλικά αυτά μειώνουν την ικανότητα πρόσφυσης του εκτοξευόμενου σκυροδέματος και απομακρύνονται με σάρωση ή όπου η κατάσταση τις βραχόμαζας το επιτρέπει με έκπλυση υπό πίεση. Όπου υπάρχει ισχυρή ροή νερού, αυτό απομακρύνεται από την περιοχή προκειμένου να επιτευχθεί καλή πρόσφυση και να αποφευχθεί η απόπλυση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Η απομάκρυνση του από την περιοχή γίνεται με έμφραξη ή εκτροπή με σωλήνες, συλλεκτήρες ή άλλα εγκεκριμένα μέσα. Τα μέτρα αυτά διατηρούνται για ορισμένο διάστημα, ώστε το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα να μην υπόκειται σε υδροστατικές πιέσεις ή συνθήκες διάβρωσης εξαιτίας του διηθούμενου νερού.

Στις περιοχές εκείνες όπου το πρόβλημα δεν είναι έντονο, η εισροή νερού τίθεται υπό έλεγχο με σφράγιση μόνο με το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, με διάτρηση αποστραγγιστικών οπών ή με τη τοποθέτηση μεμβράνης τύπου Doerken.

Β) Οπλισμός

Μετά τα ανωτέρω ακολουθεί η τοποθέτηση του οπλισμού σύμφωνα με τις εγκεκριμένες μελέτες. Ιδιαίτερη προσοχή δίδεται στον τύπο, την καθαριότητα από

λάδια, την οξείδωση, την επικάλυψη αλλά και στον τύπο, το μέγεθος και τη θέση τυχόν αγκυρίων.

Μετά το πέρας των ελέγχων αυτών ακολουθεί η εκτόξευση του σκυροδέματος, σύμφωνα με τα πάχη και τις φάσεις που προσδιορίζονται στην εγκεκριμένη μελέτη εφαρμογής.

Γ) Παρασκευή μίγματος

Η παρασκευή των αναγκαίων ποσοτήτων μίγματος μαζί με τη προσθήκη πρόσμικτων γίνεται σε εγκεκριμένα από την ΑΜ παρασκευαστήρια σκυροδέματος.

Δ) Εφαρμογή / Διάστρωση εκτοξευόμενου σκυροδέματος

Σε κατακόρυφες επιφάνειες ή σε επιφάνειες με έντονη κλίση, η εφαρμογή του σκυροδέματος ξεκινά από το χαμηλότερο σημείο και προοδευτικά προχωρά προς τα ανώτερα τμήματα μέχρι την επικάλυψη ολόκληρης τις επιφάνειας. Ο χειριστής εξασφαλίζει το απαιτούμενο πάχος στρώσης με επαναλαμβανόμενες κυκλικές ή ελλειπτικές κινήσεις (περάσματα) του ακροφυσίου. Η απόσταση του ακροφύσιου από την επιφάνεια εφαρμογής εξαρτάται από την ταχύτητα εκτόξευσης αλλά κατά κανόνα κυμαίνεται μεταξύ 1.0 και 1.5m. Ο προσανατολισμός του ακροφυσίου είναι γενικά κάθετα προς την επιφάνεια εφαρμογής προκειμένου να αποφεύγεται η υπέρμετρη αναπήδηση του υλικού. Στις θέσεις εκείνες που υπάρχει οπλισμός, η θέση του ακροφύσιου είναι υπό μικρή γωνία προκειμένου να εξασφαλιστεί πλήρωση του χώρου και συμπύκνωση του σκυροδέματος πίσω από τα στοιχεία του οπλισμού.

Οι κατασκευαστικοί αρμοί θα μορφώνονται με κλίση 45° προς την παρακείμενη επιφάνεια του εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Όπου έχει πραγματοποιηθεί διάτρηση αποστραγγιστικών / ανακουφιστικών οπών ή έχουν εγκατασταθεί όργανα, ειδική μέριμνα λαμβάνεται για την αποφυγή έμφραξης των εν λόγω οπών ή πρόκλησης φθορών στα όργανα. Με την ολοκλήρωση των εργασιών ή πριν την εφαρμογή τις επόμενης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος γίνεται έλεγχος προκειμένου να εντοπιστούν τυχόν κενά, ρωγμές, θύλακες αδρανών ή άλλα ελαττώματα στην ήδη διαστρωμένη επιφάνεια.

Όλα τα άχρηστα υλικά απομακρύνονται και αν απαιτείται γίνεται αποκοπή και αποκατάσταση του ελαττωματικού εκτοξευόμενου σκυροδέματος, λαμβάνοντας ειδική

μνεία για τη σωστή προετοιμασία τις επιφάνειας και συγκόλληση του νέου σκυροδέματος.

Στις θέσεις εκείνες που ακολουθεί τοποθέτηση στεγανωτικής μεμβράνης, λαμβάνονται μέτρα προκειμένου η τραχύτητα τις τελικής επιφάνειας να είναι σύμφωνη με τις απαιτήσεις και τις σχετικές προδιαγραφές τοποθέτησης τις στεγανωτικής μεμβράνης. Προσοχή δίδεται ώστε να μην προεξέχουν τμήματα πλέγματος ή χαλύβδινου οπλισμού ούτε εξαρτήματα αγκυρώσεων, όπως πλάκες, κοχλίες κλπ.

Γενικά, αν κατά την διάστρωση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος παρατηρείται υπερβολική αναπήδηση, γίνονται μικρές αλλαγές στην διαδικασία εφαρμογής ή στη σύνθεση του μίγματος.

4.3.2 Εξοπλισμός

Σε όλες τις θέσεις εργασίας εξασφαλίζεται επαρκής εξοπλισμός και το μηχάνημα του εκτοξευόμενου σκυροδέματος διαθέτει επαρκή ικανότητα διάστρωσης για την επίτευξη του ελαχίστου ορίου καθυστερήσεων. Οι τύποι μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται είναι:

- Αυτοκινούμενη πρέσσα εκτοξευόμενου σκυροδέματος: CIFA ή ανάλογη
- Πρέσσα σκυροδέματος CIFA PC ή ανάλογη
- Δεξαμενή (mixer) συντήρησης σκυροδέματος
- Αεροσυμπιεστής ATLAS COPCO ή ανάλογος.
- Οχήματα μεταφοράς σκυροδέματος

Ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός καθαρίζεται καθημερινά και ελέγχεται για φθαρμένα τμήματα.

4.3.3 Υλικά

<u>Α) Τσιμέντο</u>

Χρησιμοποιείται τσιμέντο τύπου CEM I 42,5 το οποίο είναι εγκεκριμένο από την Αττικό Μετρό με ελάχιστη απαιτούμενη περιεκτικότητα σε τσιμέντο 400kg/m^3 και συμμορφώνεται προς τις απαιτήσεις του ΕΛΟΤ ΕΝ 197-1.

Β) Αδρανή Τα αδρανή είναι εγκεκριμένα από την ΑΜ και σύμφωνα με τις απαιτήσεις (ΕΛΟΤ 408, ΚΤΣ) με μέγιστο κόκκο 16mm.

Γ) Νερό Σύμφωνα με ΕΛΟΤ 345.

Δ) Πρόσμικτα

Η επιλογή και ακριβής δοσολογία τους καθορίζεται μέσω εργαστηριακών δοκιμών στα πλαίσια της μελέτης σύνθεσης. Η ποσότητα του επιταχυντή κυμαίνεται μεταξύ 3% και 8% επί του βάρους του τσιμέντου και η ακριβής δοσολογία του προκύπτει από επί τόπου δοκιμές.

Ε) Οπλισμός

Ο οπλισμός (δομικό πλέγμα, χαλύβδινες ράβδοι, συνθετικές ίνες, χαλύβδινες ίνες) είναι σύμφωνος με τα εγκεκριμένα κατασκευαστικά σχέδια και τις απαιτήσεις των προδιαγραφών και αποθηκεύεται προσωρινά σε χώρους όπου μπορεί να προστατευτεί και να διατηρηθεί καθαρός.

Μετά την εφαρμογή της 1^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος ακολουθεί η επιμελής διαμόρφωση των επιφανειών έδρασης (εικ.9) μέσω τοποθέτησης ποδαρικών (elephant foot), έτσι ώστε να ξεκινήσουν οι εργασίες τοποθέτησης των χαλύβδινων δικτυωτών πλαισίων, τα οποία μεταφέρονται στους χώρους του εργοταξίου ως έτοιμα προς συναρμολόγηση τεμάχια.

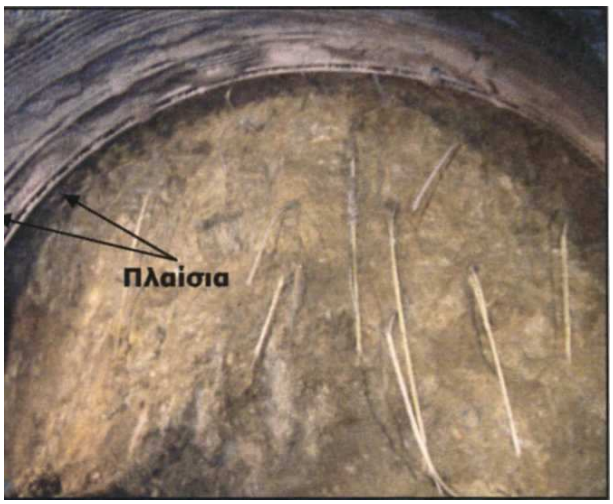
Εικόνα 9: Επιφάνεια έδρασης

Η τελική συναρμολόγηση γίνεται επί τόπου στο έργο και κοντά στο μέτωπο της εκσκαφής. Στη συνέχεια ακολουθεί η τοποθέτηση δομικού πλέγματος έξω παρειάς, το οποίο είναι ποιότητας S500s, σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ 971, με νευρώσεις που χρησιμοποιείται ως οπλισμός σκυροδέματος ή εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Η τοποθέτηση του πλέγματος γίνεται από το τεχνικό προσωπικό. Πριν τη στερέωση του στο έδαφος, εφαρμόζονται στο πλέγμα αγκύρια για τη στήριξη του, τα οποία είναι χωρίς ένεμα, μήκους 0,50m και διαμέτρου 16mm, πλήρη με μηχανισμούς πάκτωσης, περικόχλια, ροδέλες και πλάκες έδρασης, με ελάχιστο πάχος 5mm και επιφάνεια τουλάχιστον 150cm^2. Τα σημεία στερέωσης του πλέγματος τοποθετούνται σε τέτοια διάταξη ώστε το πλέγμα να στερεώνεται περίπου ανά 1,0 - 1,5cm. Έπειτα, ακολουθεί η εφαρμογή της επόμενης (και μεγαλύτερου πάχους) στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος της προσωρινής επένδυσης. Στη συνέχεια το μέτωπο διάνοιξης προωθείται με την εκσκαφή του επόμενου βήματος (Εικόνα 4-10), ενώ σε κάποια απόσταση πίσω από το μέτωπο διάνοιξης τοποθετούνται οι αγκυρώσεις, οι οπλισμοί έδρασης του κελύφους και το πλέγμα της έσω παρειάς, (στοιχεία που καλύπτονται και ενσωματώνονται στην τελευταία στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος της επένδυσης του θόλου που ακολουθεί)

Εικόνα 10 : Αγκυρώσεις, πλαίσια, πλέγμα έσω παρειάς

Ακολουθεί η διαδικασία τοποθέτησης του δομικού πλέγματος έσω παρειάς, η οποία είναι όμοια με τη διαδικασία τοποθέτησης του δομικού πλέγματος έξω παρειάς (εικ.10).

4.4 Μεθοδολογία εγκατάστασης χαλύβδινων δικτυωτών / πλαισιωτών υποστηριγμάτων



Εικκόνα 11: Χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια

4.4.1 Προετοιμασία πεδίου

Οι ακόλουθες εργασίες εκτελούνται πριν την έναρξη των εργασιών:

α. Έλεγχος των γραμμών εκσκαφής.

β. Έλεγχος επάρκειας υλικών κατασκευής.

γ. Έλεγχος του προς εγκατάσταση πλαισίου ως προς τη προβλεπόμενη γεωμετρία διατομής.

4.4.2 Περιγραφή της μεθόδου – Κατασκευή

Η μέθοδος αυτή αναφέρεται στην τοποθέτηση δικτυωτών και πλαισιωτών υποστηριγμάτων στην περίμετρο κατασκευαζόμενων σηράγγων. Η τοποθέτηση τους εντάσσεται στις τεχνικές κατασκευής σηράγγων με μηχανικά μέσα και μάλιστα αποτελούν τμήμα των άμεσων μέτρων προσωρινής υποστήριξης. Η κατασκευή τους γίνεται σύμφωνα με τις τεχνικές απαιτήσεις από έμπειρους κατασκευαστές και μεταφέρονται στους χώρους των εργοταξίων ως έτοιμα προς συναρμολόγηση τεμάχια. Η τελική συναρμολόγηση γίνεται επί τόπου στο έργο και κοντά στα μέτωπα των εκσκαφών. Με την ολοκλήρωση της εκσκαφής και την απομάκρυνση των μη αναγκαίων μηχανημάτων, ξεκινούν άμεσα οι εργασίες εγκατάστασης του υποστηρίγματος. Αρχικά τοποθετούνται τα τμήματα έδρασης (ποδαρικά), τα οποία στερεώνονται από τα προηγούμενα

τοποθετημένα υποστηρίγματα με τη βοήθεια συνδετήρων - αποστατών. Ακολούθως, συναρμολογούνται τα κορυφαία τμήματα του υποστηρίγματος, τα οποία ανυψώνονται και τοποθετούνται στη θέση τους με τη βοήθεια εκσκαφέα, πάνω στον οποίο έχει προσαρμοστεί ειδική υποδοχή για την εκτέλεση αυτής της εργασίας. Η συναρμολόγηση του υποστηρίγματος ολοκληρώνεται με τη σύνδεση των τμημάτων έδρασης και του κορυφαίου τμήματος με τη βοήθεια κοχλιών και περικοχλίων. Αφού σταθεροποιηθεί προσωρινά το υποστήριγμα, ελέγχεται η θέση του από τοπογραφικό συνεργείο. Αν απαιτείται ρύθμιση της θέσης του, αυτή γίνεται με τη βοήθεια προκατασκευασμένων τάκων, σφηνών, παρενθεμάτων κλπ, ώστε να αντιστοιχεί στις απαιτήσεις των θεωρητικών γραμμών, των κλίσεων και διαστάσεων που ορίζουν τα εγκεκριμένα σχέδια. Μετά την διόρθωση της θέσης του, ολοκληρώνεται η στήριξη του με την τοποθέτηση όλων των απαιτούμενων συνδετήρων - αποστατών.

Ειδική μέριμνα λαμβάνεται για τα υποστηρίγματα που τοποθετούνται πρώτα μέσα σε μια διατομή, καθώς δεν υπάρχουν προηγούμενα για την στερέωση τους. Στις περιπτώσεις αυτές γίνεται συγκόλληση των υποστηριγμάτων μέσω συνδετήρων, ράβδων με άλλα στοιχεία προσωρινής υποστήριξης, όπως π.χ. συγκόλληση με τον οπλισμό φρεατοπασσάλων. Στην περίπτωση που η σήραγγα κατασκευάζεται σε περισσότερες από μια φάσεις που απαιτούν τοποθέτηση υποστηρίγματος (π.χ. β' φάση), τότε γίνεται επιμελής καθαρισμός της έδρασης των υπερκείμενων υποστηριγμάτων και σύνδεση των επεκτάσεων με τη βοήθεια κοχλιών και περικοχλίων.

4.4.3 Εξοπλισμός

Ο μηχανολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την μεταφορά και τοποθέτηση των πλαισιωτών και δικτυωτών υποστηριγμάτων είναι:

- Οικοδομικός γερανός, για τον καταβιβασμό των υποστηριγμάτων εντός των φρεάτων.
- Φορτωτής, για την μεταφορά των αποσυναρμολογημένων υποστηριγμάτων στη θέση εργασίας.
- Εκσκαφέας με ειδική υποδοχή για την τοποθέτηση των υποστηριγμάτων.

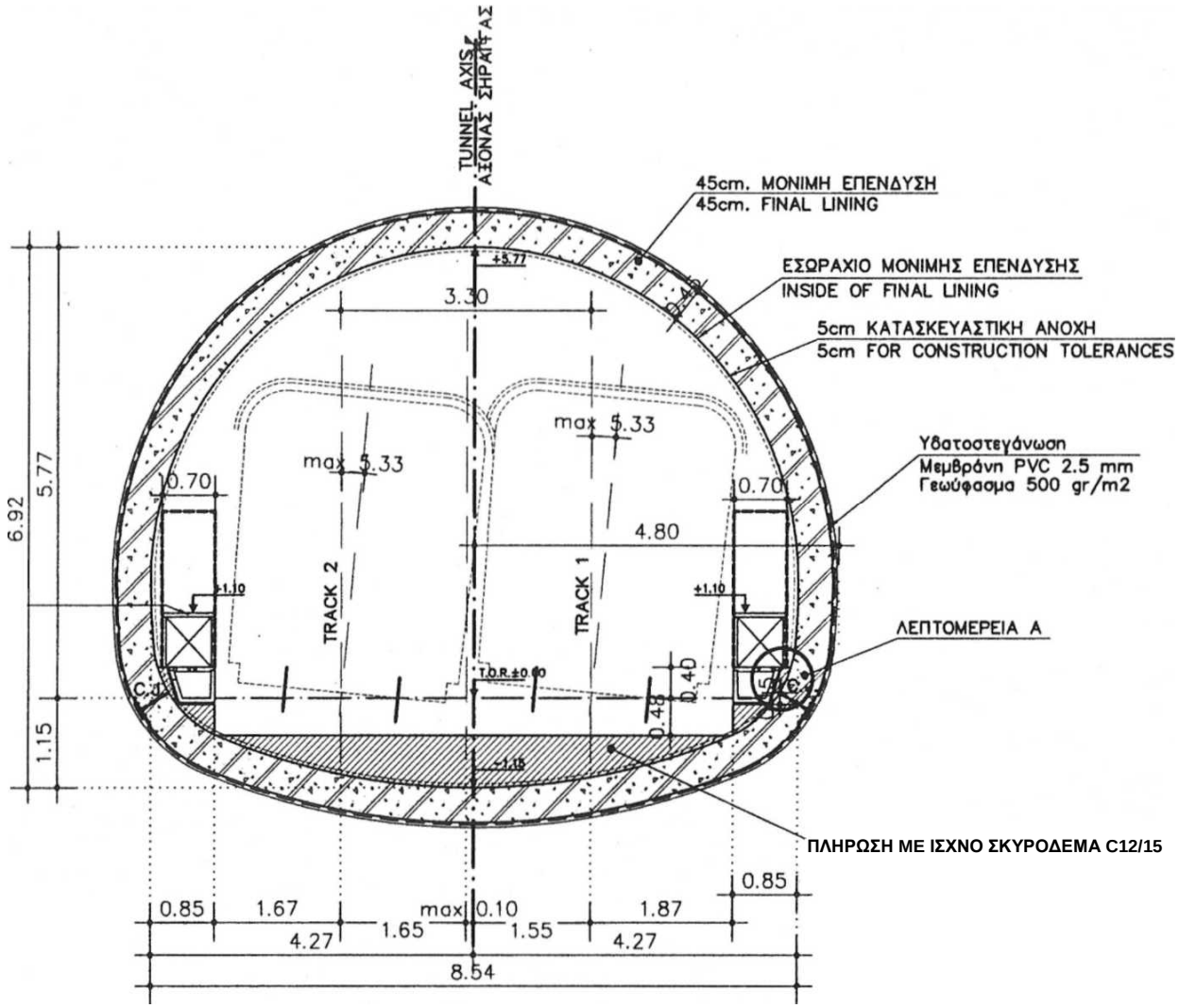
Η τελική εργασία για την ολοκλήρωση της Α' φάσης εκσκαφής είναι η εφαρμογή της τελευταίας ($3^{ης}$) στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος και σε ορισμένες περιπτώσεις, όπου απαιτείται, εφαρμόζεται επιπλέον εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για την πλήρωση των υπερεκσκαφών.

Μετά το τέλος της Α' φάσης εκσκαφής ακολουθεί η εκσκαφή της βαθμίδας και του δαπέδου ανεστραμμένου θόλου. Η απόσταση της εκσκαφής του invert από την α' φάση είναι μικρότερη των 8m και το βήμα εκσκαφής 3m. Μετά την εκσκαφή ακολουθεί η τοποθέτηση του πλέγματος στο δάπεδο ανεστραμμένου θόλου και έπειτα γίνεται η σκυροδέτηση του με χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Η χρονική στιγμή τοποθέτησης της αρχικής αντιστήριξης είναι βασικής σημασίας για τον έλεγχο των παραμορφώσεων.

Στη συνέχεια ξεκινάει η δίανοιξη της Β’ φάσης της εκσκαφής κατά την οποία θα διανοιχθεί το κάτω μέρος της σήραγγας (εκβάθυνση) επαναλαμβάνοντας ουσιαστικά όλα τα βήματα της Α’ φάσης ούτως ώστε να ολοκληρωθεί ο πλήρης δακτύλιος της επένδυσης. Το σύστημα της άμεσης υποστήριξης μαζί με το περιβάλλον έδαφος αποτελούν το στατικό φορέα της σήραγγας στη φάση αυτή. Είναι σύνηθες στο υπέδαφος της Αθήνας να συναντούνται υπόγεια ύδατα, οπότε τότε γίνεται συστηματική άντληση κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

Σταδιακά ξεκινάει και η Γ’ φάση της κατασκευής, η οποία είναι η τοποθέτηση της τελικής επένδυσης. Η τελική (μόνιμη) επένδυση της σήραγγας κατασκευάζεται όταν το σύστημα της αρχικής υποστήριξης έχει φθάσει σε συνθήκες ισορροπίας. Η μόνιμη επένδυση προσφέρει αυξημένη ασφάλεια στο χρόνο ζωής του έργου, δημιουργεί μία ομοιόμορφη εσωτερική επιφάνεια και βελτιώνει την στεγανότητά της. Η μόνιμη επένδυση των σηράγγων κατασκευάζεται απο οπλισμένο σκυρόδεμα, έγχυτο επί τόπου. Χρησιμοποιούνται ειδικοί σιδηρότυποι, συνήθως αυτοφερόμενοι, κάτι που μειώνει σημαντικά το χρόνο και το κόστος του έργου. Υπάρχουν υδραυλικοί μοχλοί που μπορούν να ρυθμίζουν το επιθυμητό πάχος της επένδυσης. Το συνολικό μήκος τέτοιων καλουπιών είναι της τάξεως των 10-12 μ, αναλόγως της διατομής. Σε πρώτη φάση κατασκευάζεται το κάτω μέρος της σήραγγας (πυθμένας) και στους κατασκευαστικούς αρμούς τοποθετούνται ειδικοί υδατοφραγμοί (waterstop) για υδατοστεγάνωση. Σε επόμενη φάση σκυροδετείται ο θόλος με τη χρήση του αυτοφερόμενου σιδηρότυπου. Ο χρόνος αφαίρεσης του σιδηροτύπου είναι της τάξεως ωρών απο την έγχυση. Για την ανάπτυξη επαρκούς αντοχής του σκυροδέματος σε σύντομο χρόνο, χρησιμοποιούνται στη σύνθεση

του ειδικά χημικά πρόσμεικτα. Επειδή πάντοτε απομένει μικρό κενό μεταξύ της στέψης του σκυροδέματος και του εδάφους στην οροφή της σήραγγας, ακολουθούν τσιμεντενέσεις πλήρωσης αυτών των κενών.



Σχήμα 4 : Μόνιμη επένδυση τυπικής διατομής σήραγγας με διπλή τροχιά

Συνοψίζοντας λοιπόν μπορούμε να πούμε ότι αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία :

- Γεωύφασμα
- Γεωμεμβράνη
- Οπλισμός
- Τελική στρώση σκυροδέματος.

Στις Τεχνικές Προδιαγραφές των έργων του Μετρό ορίζονται οι απαιτούμενοι βαθμοί υδατοστεγανότητας για τα διάφορα τμήματα των κατασκευών.

Βάση για την ικανοποιητική στεγάνωση των υπογείων έργων είναι πάντοτε η καλή μελέτη και κατασκευή. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην σύνθεση του σκυροδέματος, στην συμπύκνωση και συντήρηση μετά τη διάστρωση, καθώς και στην επαρκή επικάλυψη του οπλισμού. Αρχικά, για τις σήραγγες του Μετρό δεν απαιτείτο γενικά η τοποθέτηση υδατοστεγανούς μεμβράνης , ενώ η περιορισμένη διήθηση νερού ήταν αποδεκτή. Στις νέες επεκτάσεις του Μετρό οι προδιαγραφές έγιναν ακόμη αυστηρότερες και πλέον απαιτείται η τοποθέτηση συστήματος υδατοστεγάνωσης ακόμα και στις σήραγγες του Έργου.

Για να διασφαλιστεί αυτό χρησιμοποιούνται συστήματα υδατοστεγάνωσης με υλικά και εργασία κατάλληλης ποιότητας. Οι υδατοστεγανωτικές μεμβράνες είναι συνήθως από PVC ή απο πολυαιθυλένιο και τοποθετούνται μεταξύ της προσωρινής και της τελικής επένδυσης της σήραγγας, προστατευμένες με γεωυφάσματα (εικ.12) . Τα τμήματα (ρολά) των μεμβρανών συγκολλούνται μεταξύ τους με κατάλληλο τρόπο, ενώ στις θέσεις των αρμών της κατασκευής (διακοπής σκυροδέτησης ή αρμού μετακίνησης) τοποθετούνται υδατοφραγμοί. Όλα τα υλικά υπόκεινται σε δοκιμές τοποθετημένα επί τόπου στο έργο και ακολουθούν τις γερμανικές προδιαγραφές DS 853 και DIN 16726.

Εικόνα 12: Τοποθέτηση Γεωυφάσματος (PVC)

Η τελική επένδυση ολοκληρώνεται από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο φορέας αυτός θεωρείται ότι αποτελεί τη μοναδική μόνιμη ποιοτικά ελεγχόμενη υποστήριξη της σήραγγας, και ως εκ τούτου θα πρέπει να είναι ικανός να αναλάβει με ασφάλεια τα

μακροπρόθεσμα φορτία που θα του ασκηθούν, χωρίς λειτουργικές ή θραυστικές αστοχίες. Η όπλιση αυτή βέβαια έρχεται σε αντίθεση με τις παλαιότερες άοπλες τελικές επενδύσεις σηράγγων που ήταν απλά έντεχνες λιθοδομές.

Το νωπό σκυρόδεμα έρχεται στη θέση τοποθέτησης του με βαρέλα (εικ.13)συνήθως, η οποία τροφοδοτεί αντλία, που στη συνέχεια μέσω δακτυλίου διανομής το αντλεί στο μεταλλότυπο.

Εικόνα 13: Αυτοκινούμενος μηχανικός αναδευτήρας (βαρέλα)

Ο δακτύλιος διανομής έχει σκοπό την ισόρροπη διανομή του νωπού σκυροδέματος στο μεταλλότυπο. Το έγχυτο σκυρόδεμα τοποθετείται συνήθως με τη βοήθεια καλουπιού και χρησιμοποιείται ως μόνιμη τελική επένδυση της σήραγγας. Κατασκευαστικοί λόγοι επιβάλλουν ως ελάχιστο πάχος τα 20 έως 30cm

Εικόνα 14: Όψη Μεταλλότυπου

Ο χρόνος αφαίρεσης του μεταλλοτύπου εξαρτάται από τον τόπο του τσιμέντου, τη σύνθεση του σκυροδέματος, τη θερμοκρασία σκυροδέτησης, τις συνθήκες

ωρίμανσης, και τη διαδικασία κατασκευής. Η συμπύκνωση του σκυροδέματος επιτυγχάνεται με τη χρήση δονητών που είναι εγκατεστημένοι στο μεταλλότυπο.

Στη σηραγγοποιία, λόγω της διαδοχικής κατασκευαστικής διαδικασίας απαιτούνται σύντομοι χρόνοι ξεκαλουπώματος. Στην περίπτωση μας ο χρόνος ξεκαλουπώματος είναι δύο βάρδιες δηλαδή 16 ώρες περίπου. ($1^{η}$ βάρδια σκυροδέτηση, $2^{η}$ βάρδια ωρίμανση ,$3^{η}$ βάρδια ξεκαλούπωμα και μεταφορά σε επόμενο τμήμα)

5. Οι μετακινήσεις στην επιφάνεια (καθιζήσεις)

5.1 Γενικά

Για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς του εδάφους κατά την διάνοιξη της σήραγγας αλλά και τον έλεγχο της συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων της προσωρινής υποστήριξης θα συνταχθεί σχετική μελέτη εφαρμογής γεωδομητικής παρακολούθησης.

Επιπροσθέτως και πέραν αυτών που η σύμβαση και οι σχετικές προδιαγραφές προβλέπουν κατά την γεωδομητική παρακολούθηση θα πρέπει:

- Να παρακολουθούνται οι κατακόρυφες και οριζόντιες μετακινήσεις των τοιχωμάτων της διάνοιξης σε διατομές τριών σημείων (θόλος και τοιχώματα) ανά 10 τουλάχιστον μέτρα
- Να παρακολουθούνται κατακόρυφες μετακινήσεις στην επιφάνεια σε διατομές κάθετα στον άξονα της διάνοιξης (5 σημείων) ανά 10 μέτρα.
- Να παρακολουθούνται οι μετακινήσεις των κτιρίων που βρίσκονται εντός της ζώνης επιρροής.
- Μπορούν να παρακολουθούνται οι μετακινήσεις του εδάφους εις βάθος με εκτασιόμετρα πολλαπλών σημείων.

Αυτά προτείνεται να διαταχθούν σε δύο διατομές

I. περί την Χ.Θ. 0+660 όπου η παρουσία μιας εδαφικής ζώνης πτωχών μηχανικών χαρακτηριστικών πάνω από την στάθμη της κλείδας της διάνοιξης θα επηρεάσει σημαντικά το πεδίο των μετακινήσεων.

II. περί την Χ.Θ. 0+880 θέση η οποία βρίσκεται στο δυτικό όριο της νεογενούς Λεκάνης στην επαφή των Νεογενών με τους υποκείμενους Αθηναϊκούς σχιστόλιθους.

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στην επιλογή των θέσεων παρακολούθησης των καθιζήσεων και η αποφυγή θέσεων που μπορεί να επηρεάζονται από την παρουσία δύσκαμπτων θαμμένων κατασκευών (αγωγοί) ή ακόμα από χαλαρωμένες ζώνες εδάφους σε περιοχές πρόσφατων εκσκαφών ορυγμάτων και τεχνητών επιχώσεων (επιχωμένες περιοχές ή ορύγματα διέλευσης καλωδιώσεων και σωληνώσεων). Σε κάθε περίπτωση η παρουσία τέτοιων

κατασκευών και αναπόφευκτων ιδιαιτεροτήτων της κάθε θέσης θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν κατά την αξιολόγηση των μετρήσεων.

5.2 Καταβιβασμός υδροφόρου ορίζοντα και εκτίμηση καθιζήσεων

5.2.1 Γενικά

Κατά τη διάνοιξη της σήραγγας λαμβάνονται μέτρα για την αποστράγγιση των υπογείων υδάτων περί το άνοιγμα, ώστε να αποφευχθεί η ανάπτυξη υδροστατικών πιέσεων στην προσωρινή επένδυση της σήραγγας, αλλά και για να περιοριστούν οι ροές διαμέσου ασυνεχειών και άλλων διαπερατών ενστρώσεων στα ανεπένδυτα τμήματα (μέτωπο), ροές που μπορούν να επιφέρουν μια δραστική μείωση της ευστάθειας του εδαφικού υλικού στις περιοχές αυτές.

Τα μέτρα αυτά συνίστανται κυρίως σε αποστραγγιστικές και ανακουφιστικές οπές που διανοίγονται στο μέτωπο κατά τη διάρκεια της διάνοιξης και στον θόλο και στα τοιχώματα αμέσως μετά την εφαρμογή των μέτρων προσωρινής υποστήριξης. Οι προσωρινές αποστραγγίσεις επιφέρουν με τη σειρά τους παροδικό καταβιβασμό (μέχρι την κατασκευή της μόνιμης επένδυσης) της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή διέλευσης της υπόγειας διάνοιξης.

Σκοπός των αναλύσεων που παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο είναι:

α) ο προσδιορισμός της ποσότητας αναμενόμενων εισροών στο εσωτερικό της σήραγγας για την εκτίμηση της απαιτούμενης παροχής αντλήσεων και

β) η εκτίμηση των καθιζήσεων από τον καταβιβασμό της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα.

Παρά το γεγονός ότι το πρόβλημα των εισροών και των καθιζήσεων έχει αντιμετωπισθεί με την βοήθεια αναλυτικών σχέσεων στα πλαίσια της υδρογεωλογικής μελέτης και στα πλαίσια σύνταξης των εκθέσεων γεωτεχνικής αξιολόγησης (ΕΓΑ), εδώ γίνεται ένας συμπληρωματικός

υπολογισμός με την βοήθεια αριθμητικών προσομοιωμάτων για την αμεσότερη προσέγγιση του θέματος.

Επισημαίνεται, ότι λόγω των περίπλοκων συνοριακών συνθηκών του προβλήματος υπόγειας ροής σε έναν πραγματικό υδροφορέα, η συμπεριφορά του οποίου χαρακτηρίζεται από εκλεκτική διέλευση νερών μέσα από ανοιχτές ρωγμές ή διακλάσεις που είτε έχουν είτε δεν έχουν επικοινωνία μεταξύ τους, αλλά και τροφοδοσία από τα πλευρικά σύνορα ή από διηθήσεις από την επιφάνεια, οι υπολογισμοί υπόγειας ροής ούτως ή άλλως αποσκοπούν στον προσεγγιστικό μόνο προσδιορισμό του μεγέθους των εισροών με εκ των πραγμάτων απλοποιητικά προσομοιώματα. Τα απλοποιητικά αυτά προσομοιώματα λαμβάνουν υπ' όψιν τις πραγματικές υδρογεωλογικές λεπτομέρειες με κατάλληλη προσαρμογή των παραμέτρων υπολογισμού ώστε να αντιστοιχούν στις μέσες τιμές των πραγματικών μεγεθών. Για τις συνοριακές συνθήκες επίσης, αναπόφευκτα γίνονται ανάλογες απλοποιήσεις δεδομένου ότι δεν μπορεί να προσομοιωθεί το σύνολο της έκτασης του υδροφορέα.

5.2.2 Αριθμητικό προσομοίωμα

Η ανάλυση ροής και η συνακόλουθη ανάλυση καθιζήσεων γίνεται με το πρόγραμμα πεπερασμένων διαφορών FLAC με το οποίο έχουν εκτελεσθεί και οι υπολογισμοί προσομοίωσης της διάνοιξης.

Κατά την προσομοίωση της υπόγειας ροής με την μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών ορίζεται η γεωμετρία του μέσου και οι συνοριακές συνθήκες ροής (συνθήκες τροφοδοσίας, αδιαπέρατα σύνορα, σύνορα απάντλησης) και στη συνέχεια με διαδοχική επίλυση των εξισώσεων ροής και συνέχειας προσδιορίζονται οι μεταβολές στην στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και των πιέσεων πόρων μέχρις ότου επέλθει υδραυλική ισορροπία.

Η γεωμετρία του προσομοιώματος ανάλυσης της ροής που καταστρώθηκε παρουσιάζεται στο σχήμα 5. Όσον αφορά τις συνοριακές συνθήκες ορίζεται

συνεχής και απεριόριστη υδραυλική τροφοδοσία από τα πλευρικά σύνορα του προσομοιώματος. Η τροφοδοσία από την ακόρεστη ζώνη (από διήθηση των ομβρίων που δεν απορρέουν επιφανειακά) δεν λαμβάνεται άμεσα υπ' όψιν από το αριθμητικό προσομοίωμα αλλά έμμεσα μέσω ορισμού της ακτίνας επιρροής της σήραγγας, R. Στο εσωτερικό της σήραγγας ορίζεται πίεση P=0, για να προσομοιωθεί με αυτόν τον τρόπο η λειτουργία της αποστράγγισης στο εσωτερικό της σήραγγας.
Η ανάλυση γίνεται στα εξής στάδια:

Στάδιο 1. Ορισμός ιδιοτήτων

Ορισμός μηχανικών και υδραυλικών ιδιοτήτων. Ορισμός της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα σε βάθος 3.50 m από την επιφάνεια του εδάφους.

Στάδιο 2. Ανάλυση ροής

Διάνοιξη της σήραγγας, ορισμός των συνοριακών υδραυλικών συνθηκών στο εσωτερικό της σήραγγας, πίεση P=0. Ανάλυση ροής έως ότου οι εισροές στο προσομοίωμα εξισωθούν με τις εκροές (εξασφάλιση συνθηκών υδραυλικής ισορροπίας).

Στάδιο 3. Ανάλυση καθιζήσεων

Σε αυτό το στάδιο με σταθερή την κατανομή των πιέσεων πόρων, όπως αυτή προσδιορίσθηκε στο προηγούμενο στάδιο, προσδιορίζονται οι καθιζήσεις που προκαλούνται λόγω αύξησης των ενεργών τάσεων από τον καταβιβασμό του υδροφόρου ορίζοντα.

5.2.3 Ιδιότητες

Η ανάλυση γίνεται για μία μέση διαπερατότητα που χαρακτηρίζει τον σχηματισμό στο τμήμα που μελετάται, η οποία σύμφωνα με την υδρογεωλογική μελέτη λαμβάνεται $k=9.5 \times 10^{-7}$ m/sec.
Το υδραυλικό πλάτος επιρροής της σήραγγας, η απόσταση δηλαδή πέραν της οποίας ο υδροφόρος ορίζοντας δεν επηρεάζεται από την άντληση υδάτων

από τη σήραγγα, μπορεί να εκτιμηθεί με την εμπειρική σχέση του Sichardt[1] (1928):

$$R = c \cdot S_w \cdot \sqrt{k}$$

όπου,

R η ακτίνα επιρροής (m)

S_w το ύψος καταβιβασμού του υδροφόρου ορίζοντα (m)

k η διαπερατότητα της βραχόμαζας (m/sec) και

c σταθερά όπου για γραμμικό στραγγιστήριο λαμβάνει τιμή ίση με c=1500, σύμφωνα με τις Εκθέσεις Γεωτεχνικής Αξιολόγησης

Με βάση τα παραπάνω για S_w=16.50 m και k=9.5 x10^{-7} m/sec προκύπτει R=24 m.

Ο υπολογισμός των καθιζήσεων γίνεται λαμβάνοντας υπ' όψιν (επί το συντηρητικότερο) τις ιδιότητες κατηγορίας βραχόμαζας κατηγορίας Ε, δηλαδή:

Φαινόμενο βάρος:γ=23 kN/m^3

Μέτρο ελαστικότητας: E=300 MPaΛόγος Poisson: v=0.30

5.2.4 Αποτελέσματα

α) Εισροές στη σήραγγα

Η καμπύλη καταβιβασμού του υδροφόρου ορίζοντα μέχρι τη στάθμη εκσκαφής της σήραγγας όπου και έχει επιτευχθεί υδραυλική ισορροπία παρουσιάζεται στο σχήμα 6 και στο σχήμα 7 παρουσιάζεται το διάγραμμα των πιέσεων πόρων για την ίδια χρονική στιγμή. Στο σχήμα 8 παρουσιάζεται το δίκτυο των ισοδυναμικών γραμμών ροής.

Στο σχήμα 9 παρουσιάζεται το διάγραμμα εισροών–εκροών. Οι εισροές εξισώνονται με τις εκροές όταν έχουμε υδραυλική ισορροπία και η παροχή

που προκύπτει ισούται με Q=0.21x 10^{-4} m^3/sec. Δηλαδή Q= 0.08m^3/h ανά μέτρο μήκους σήραγγας.

Επιπροσθέτως υπολογίσθηκαν οι εισροές στη σήραγγα στην θεωρητική περίπτωση που η εκσκαφή πραγματοποιείται ακαριαία και δεν έχουμε ταπείνωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα δηλαδή αμέσως μετά τη διάνοιξη της σήραγγας, με βάση τη σχέση κατά Kolymbas D. & Wagner P.(βλ.σχήμα 10):

$$Q = \frac{2\pi k(h_1)}{\ln(2h_1 / r)}$$

όπου: k , η διαπερατότητα της βραχόμαζας (m/sec)

h_1 , το ύψος της στήλης νερού μέχρι το κέντρο μιας ισοδύναμης κυκλικής σήραγγας (m)

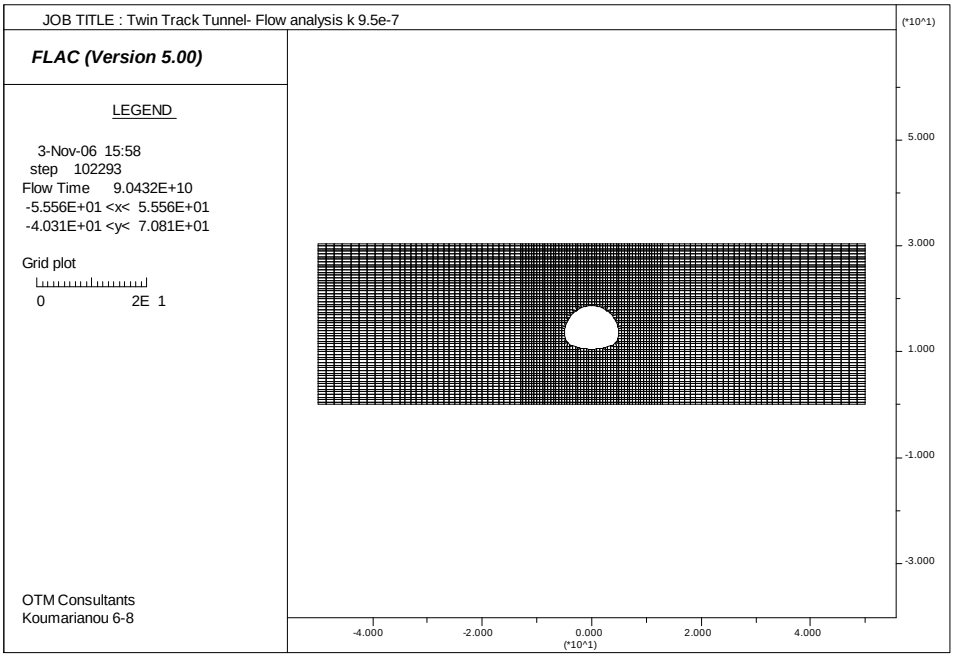
r, η ακτίνα της σήραγγας (m)

Επομένως για k=9.5 x10^{-7} m/sec, h_1=13.20m, r=5.00m, οι εισροές είναι Q=0.47x 10^{-4} m^3/sec δηλ. Q=0.17 m^3/h ανά μέτρο μήκους σήραγγας.

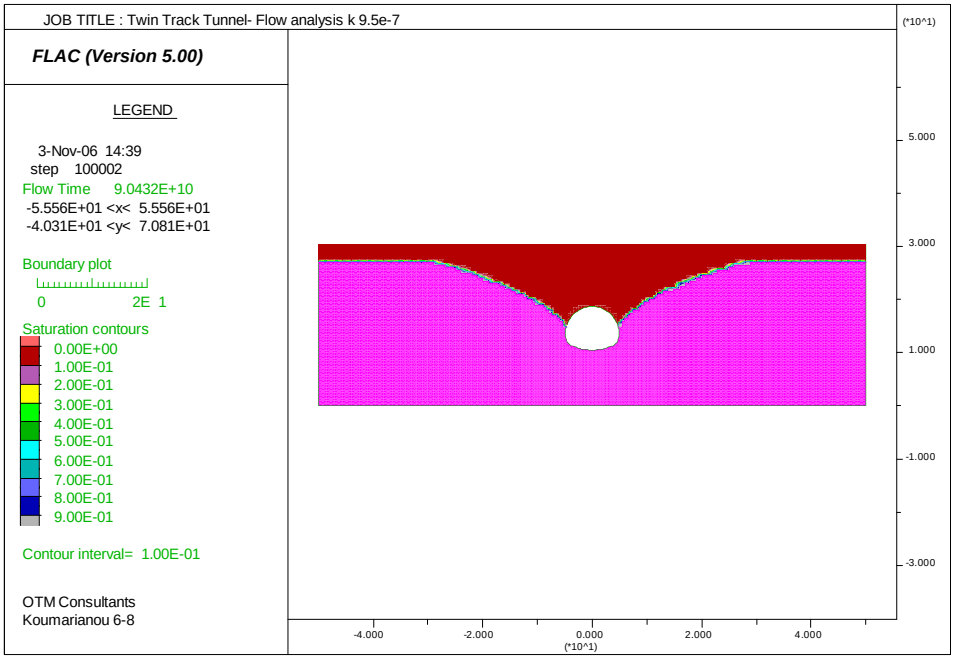
β) Υπολογισμός καθιζήσεων

Εκτός από τον υπολογισμό των εισροών στη σήραγγα σκοπός της ανάλυσης ήταν και ο υπολογισμός των καθιζήσεων στην επιφάνεια του εδάφους λόγω καταβιβασμού του υδροφόρου ορίζοντα.

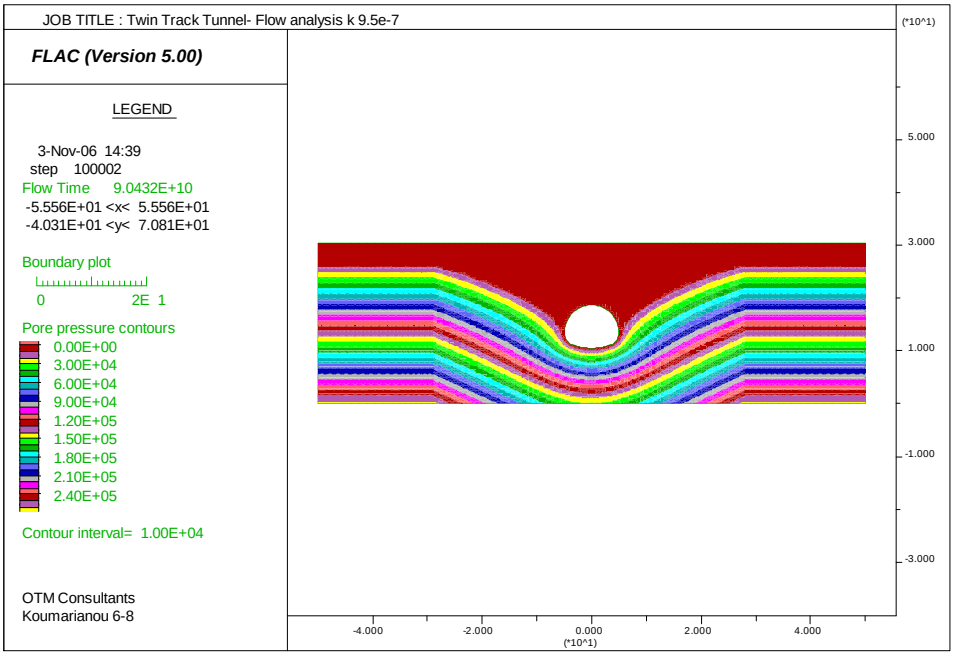
Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης οι μέγιστες καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους λόγω καταβιβασμού του υδροφόρου ορίζοντα για τη δυσμενέστερη κατηγορία, δηλαδή την κατηγορία βραχόμαζας Ε, είναι s=2.1mm. Στο σχήμα 11 παρουσιάζεται η καμπύλη των καθιζήσεων στην επιφάνεια του εδάφους. Οι τιμές αυτές θα προστεθούν στις τιμές των καθιζήσεων που υπολογίζονται από την προσομοίωση της διάνοιξης της σήραγγας για να προκύψουν οι συνολικές καθιζήσεις.



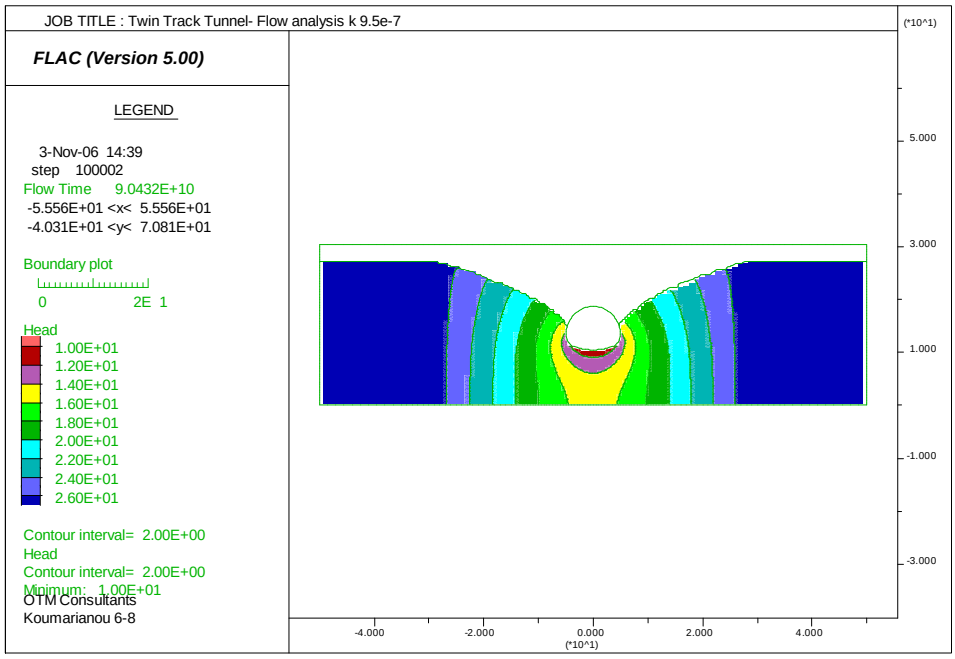
Σχήμα 5: Κάνναβος πεπερασμένων διαφορών για τις αναλύσεις ροής



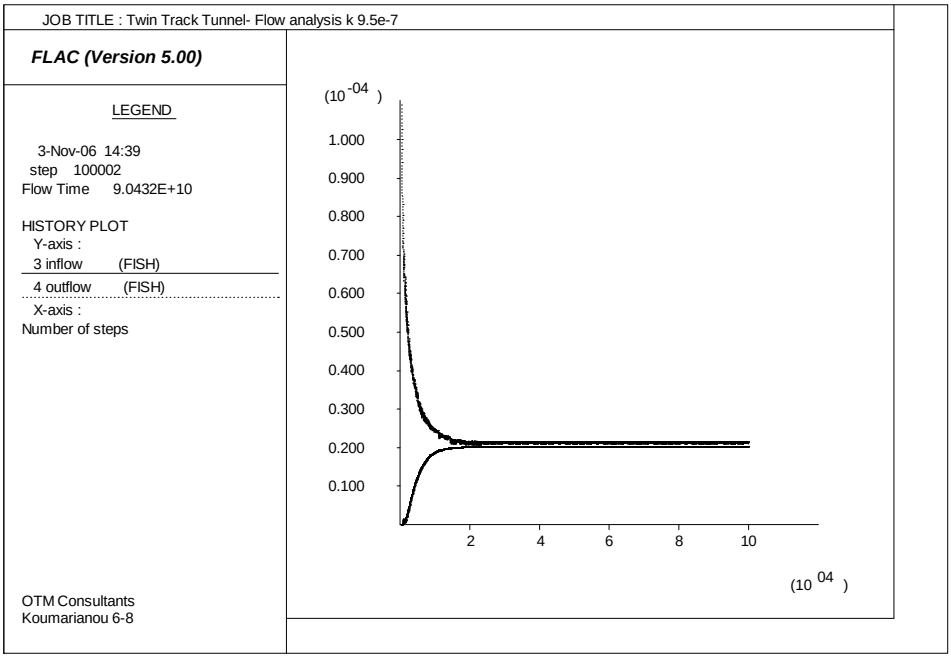
Σχήμα 6: Ταπεινωμένη στάθμη υδροφόρου ορίζοντα μετά την εκσκαφή της σήραγγας



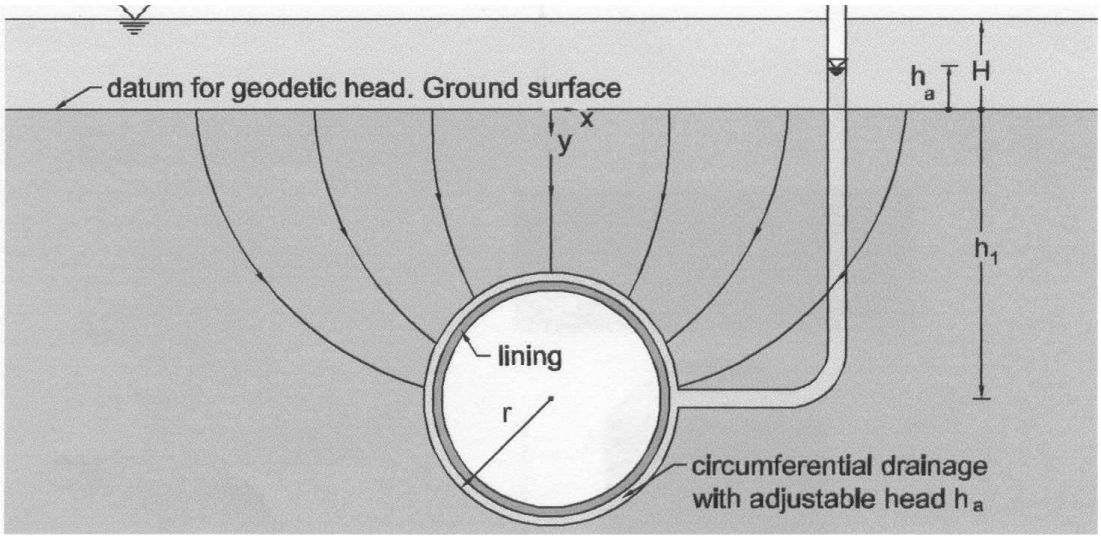
Σχήμα 7: Διάγραμμα κατανομής πίεσης πόρων



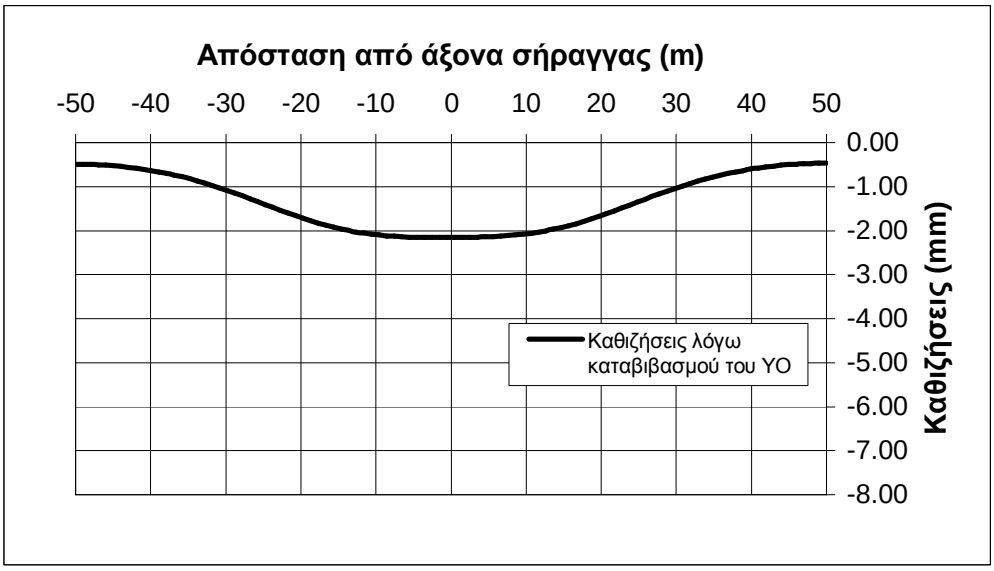
Σχήμα 8: Ισοδυναμικές γραμμές ροής (Energy head)



Σχήμα 9: Διάγραμμα εισροών –εκροών συναρτήσει του χρόνου



Σχήμα 10: Εισροές υπογείων υδάτων στη σήραγγα, Kolymbas, D. & Wagner, P. (2006)



Σχήμα 11: Καμπύλη καθιζήσεων στην επιφάνεια του εδάφους λόγω καταβιβασμού του υδροφόρου ορίζοντα

5.3 Εκτίμηση Παροχής Αντλήσεων και Ταπείνωσης Υπογείου Ορίζοντα

Το αναλυτικό προσομοίωμα που χρησιμοποιείται, θεωρεί μία ισοδύναμη σήραγγα μεγάλου μήκους και πλάτους (*B*), και υποβιβασμό της στάθμης του υπόγειου ορίζοντα (*s*) μέχρι τη βάση της σήραγγας. Η απόσταση (*x*) μετριέται από τα πλευρικά τοιχώματα της σήραγγας. Εξ αιτίας των ασαφειών στον προσδιορισμό της διαπερατότητας του εδάφους (απόκλιση μιας τάξης μεγέθους τουλάχιστον) καθώς χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της δοκιμές μικρής κλίμακας (επιτόπου δοκιμές υδατοπερατότητας ή στις εργαστηριακές δοκιμές), η παραπάνω απλοποιητική προσέγγιση του προβλήματος θεωρείται ικανοποιητική. Για το λόγο αυτό, οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στο παραπάνω προσομοίωμα, θα προσαρμοσθούν καταλλήλως βασιζόμενες στα αποτελέσματα του προγράμματος παρακολούθησης (εξέλιξη των καθιζήσεων του εδάφους με το χρόνο). Η μεθοδολογία του υπολογισμού περιγράφεται παρακάτω, και παρέχει μια χονδροειή εκτίμηση της παροχής μέσα στη σήραγγα: Ο καταβιβασμός του υπόγειου ορίζοντα (*s*) σε απόσταση (*x*) από το τοίχωμα της σήραγγας σε χρόνο (*t*) δίδεται από τη σχέση του Theis που ισχύει για μεταβατικές ροές (transient flow):

$$s = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{k\,B}(R - x)}$$

όπου:

Q = η μέση αντλούμενη παροχή μέσα από τη σήραγγα ανά τρέχον μέτρο σήραγγας (μπορεί να είναι μεταβλητή με το χρόνο)

R = η ακτίνα επιρροής η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$R = 1{,}50\sqrt{\frac{T\,t}{S}}$$

R = 1,50 *T t*

T = *k H* = η υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφόρου στρώματος,

όπου

k = ο μέσος συντελεστής διαπερατότητας του εδάφους

H = το πάχος του υδροφορέα

S = ο συντελεστής αποθηκευτικότητας του υδροφορέα

B = το πλάτος της σήραγγας

Εάν (*sw*) είναι ο γνωστός καταβιβασμός στάθμης του υπόγειου ορίζοντα στο εσωτερικό της σήραγγας (π.χ. για *x* = *0*), η παραπάνω σχέση δίνει :

$$s_w = H - \sqrt{H^2 - Q\frac{R}{k\,B}}$$

ή αλλιώς :

$$Q = k\,B\left(\frac{s_w}{R}\right)(2H - s_w)$$

Συνδυάζοντας τις παραπάνω σχέσεις, μπορεί να ληφθεί και η μεταβολή της ταπείνωσης του υπόγειου ορίζοντα (*s*) σε απόσταση (*x*) από το πλευρικό τοίχωμα της σήραγγας σε συνάρτηση με το χρόνο (*t*), όπου (*sw*) είναι ο καταβιβασμός στο εσωτερικό της σήραγγας, από την παρακάτω σχέση:

$$s = H - \sqrt{H^2 - \left(1 - \frac{x}{R}\right)(2H - s_w)\,s_w}$$

5.4 Εφαρμογή: Εκτίμηση Ακτίνας Επιρροής, Καθιζήσεων και Παροχής στη Σήραγγα Λόγω Ταπείνωσης του Υπογείου Ορίζοντα

Οι δύο εφαρμογές της παραπάνω μεθόδου που ακολουθούν, αφορούν ενδεικτικά τυπικές Γεωτεχνικές Τομές Σχεδιασμού. Σε κάθε περίπτωση, ως αρχική στάθμη των υπογείων υδάτων πριν τον καταβιβασμό τους (*ΑΣΥΟ*), λαμβάνεται κατά προσέγγιση η στάθμη που αντιστοιχεί στη μέση αναμενόμενη στάθμη (μέση *Σ.Υ.Ο.*). Η τελική στάθμη των υπογείων υδάτων μετά την ολοκλήρωση του καταβιβασμού των υπογείων υδάτων στην περιοχή της σήραγγας (*ΤΣΥΟ*), λαμβάνεται περίπου στη στάθμη εκσκαφής του πυθμένα της σήραγγας.

Υποτμήμα 1, Χ.Θ. 0+504,54 έως Χ.Θ. 0+900

Διάνοιξη σήραγγας μέσα στα Νεογενή και στη μεταβατική ζώνη

Ο υπολογισμός γίνεται για τη Γεωτεχνική Τομή Σχεδιασμού ΓΤΣ-4, με βάση την οποία στο μέτωπο εκσκαφής της σήραγγας συναντάται κατηγορία Βράχου Ε. Οι βασικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται, έχουν συνοπτικά ως εξής:

Αρχική στάθμη υπογείων υδάτων (ΑΣΥΟ) : βάθος -3,50m

Τελική στάθμη υπογείων υδάτων (ΤΣΥΟ) και πυθμένας σήραγγας : βάθος -20,0m

Συντελεστής διαπερατότητας: $k = 9,5 \times 10^{-7}$ m/sec

Βάθος αδιαπέρατου στρώματος: -43,50m

Απόσταση τελικής στάθμης από αδιαπέρατο στρώμα: hw = 43,5 – 20,0 = 23,50m

Μέγιστος καταβιβασμός υπογείου ορίζοντα στη θέση της σήραγγας: sw = 20,0 - 3,50 = 16,50m

Μέσο πλάτος σήραγγας: B = 11,0m

Μέτρο μονοδιάστατης παραμόρφωσης (για μικρές παραμορφώσεις) :

ESL = 810 MPa (για Βράχο Ε - Νεογενή, βλ. Παράρτημα 1)

Πάχος υδροφορέα: H = 43,50 - 3,50 = 40,00m

Αγωγιμότητα του υδροφόρου στρώματος: $T = k\,H = 3,8 \times 10^{-5}$ m2 /sec

Αποθηκευτικότητα του υδροφόρου στρώματος: S = 0,005

Ειδικό βάρος νερού : γw = 10 kN/m3

Χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους αυτές, λαμβάνονται τα ακόλουθα αποτελέσματα :

(Α) Ακτίνα επιρροής

Το πλάτος της ζώνης επιρροής μέσα στην οποία θα προκληθούν επιφανειακές καθιζήσεις λόγω της ταπείνωσης του υπόγειου ορίζοντα προκύπτει ίσο με R = 24 m περίπου.

(Β) Καθιζήσεις

Η μέγιστη καθίζηση του εδάφους στην περιοχή του άξονα της κύριας σήραγγας είναι δmax = 6,50mm περίπου, και μειώνεται σταδιακά με την απομάκρυνση από τον άξονα της σήραγγας μέχρι την ακτίνα επιρροής. Η μέση κλίση καθίζησης είναι της τάξης του 1 : 3325. Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ότι ο καταβιβασμός του υπόγειου ορίζοντα δεν αναμένεται να προκαλέσει σημαντικές καθιζήσεις εξαιτίας της μεταβολής των ενεργών τάσεων γύρω από τη σήραγγας.

(Γ) Παροχή

Η μέγιστη παροχή άντλησης της σήραγγας είναι της τάξης του Q = 0,27 - 0,19 m3/ώρα ανά τρέχον μέτρο εκσκαφής της σήραγγας (σε διάστημα 15 έως 30 ημερών μετά την έναρξη των εκσκαφών της σήραγγας), και θα μειωθεί ακόμη περισσότερο με το χρόνο (Q = 0,14 m3/ώρα ανά τρέχον μέτρο εκσκαφής της σήραγγας μετά την παρέλευση 2 μηνών από την έναρξη των εκσκαφών). Η υπολογισθείσα παροχή άντλησης είναι πολύ μικρή και δεν αναμένεται να δημιουργήσει προβλήματα στις εργασίες διάνοιξης της σήραγγας.

Υποτμήμα 2, Χ.Θ 0+900 έως Χ.Θ. 0+929,13

Διάνοιξη σήραγγας μέσα στον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο

Ο υπολογισμός γίνεται για τη Γεωτεχνική Τομή Σχεδιασμού ΓΤΣ-11, με βάση την οποία στο μέτωπο εκσκαφής της σήραγγας συναντάται κατηγορία Βράχου Ε. Οι βασικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται, έχουν συνοπτικά ως εξής:

Αρχική στάθμη υπογείων υδάτων (ΑΣΥΟ) : βάθος -3,5m

Τελική στάθμη υπογείων υδάτων (ΤΣΥΟ) και πυθμένας σήραγγας : βάθος -22,0m

Συντελεστής διαπερατότητας: k = 8,16 x 10^{-7} m/sec

Βάθος αδιαπέρατου στρώματος: -43,50m

Απόσταση τελικής στάθμης από αδιαπέρατο στρώμα: hw = 43,50 – 22,0 = 21,50m

Μέγιστος καταβιβασμός υπογείου ορίζοντα στη θέση της σήραγγας: sw = 22,0 - 3,5 = 18,50m

Μέσο πλάτος σήραγγας: B = 11,0m

Μέτρο μονοδιάστατης παραμόρφωσης (για μικρές παραμορφώσεις) :

ESL = 1215 MPa (για Βράχο Ε - Σχιστόλιθοι, βλ. Παράρτημα 1)

Πάχος υδροφορέα: H = 43,50 - 3,5 = 40,0m

Αγωγιμότητα του υδροφόρου στρώματος: $T = k\,H = 3{,}3 \times 10^{-6}$ m2 /sec

Αποθηκευτικότητα του υδροφόρου στρώματος: S = 0,005

Ειδικό βάρος νερού : γw = 10 kN/m3

Χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους αυτές, λαμβάνονται τα ακόλουθα αποτελέσματα :

(Α) Ακτίνα επιρροής

Το πλάτος της ζώνης επιρροής μέσα στην οποία θα προκληθούν επιφανειακές καθιζήσεις λόγω της ταπείνωσης του υπόγειου ορίζοντα προκύπτει ίσο με R = 25 m περίπου.

(Β) Καθιζήσεις

Η μέγιστη καθίζηση του εδάφους στην περιοχή του άξονα της κύριας σήραγγας είναι δmax = 4,7mm περίπου, και μειώνεται σταδιακά με την απομάκρυνση από τον άξονα της σήραγγας μέχρι την ακτίνα επιρροής. Οι καθιζήσεις λόγω ταπείνωσης του υπογείου ορίζοντα προκαλούν πολύ μικρές κλίσεις καθιζήσεων. Η μέση κλίση καθίζησης είναι της τάξης του 1 : 2565. Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ότι ο καταβιβασμός του υπόγειου ορίζοντα δεν αναμένεται να προκαλέσει σημαντικές καθιζήσεις εξαιτίας της μεταβολής των ενεργών τάσεων γύρω από τη σήραγγας

(Γ) Παροχή

Η μέγιστη παροχή άντλησης της σήραγγας είναι της τάξης του Q = 0,26 - 0,18 m3/ώρα ανά τρέχον μέτρο εκσκαφής της σήραγγας (σε διάστημα 15 έως 30 ημερών μετά την έναρξη των εκσκαφών της σήραγγας), και θα μειωθεί ακόμη περισσότερο με το χρόνο (Q = 0,13 m3/ώρα ανά τρέχον μέτρο εκσκαφής της

σήραγγας μετά την παρέλευση 2 μηνών από την έναρξη των εκσκαφών). Η υπολογισθείσα παροχή άντλησης είναι πολύ μικρή και δεν αναμένεται να δημιουργήσει προβλήματα στις εργασίες διάνοιξης της σήραγγας.

5.5 Καθιζήσεις στην επιφάνεια

Ένας από τους κύριους σκοπούς των αριθμητικών αναλύσεων της διάνοιξης είναι ο υπολογισμός των καθιζήσεων στην επιφάνεια του εδάφους, για κάθε κατηγορία σχεδιασμού, ούτως ώστε να εκτιμηθεί το δυναμικό πρόκλησης βλαβών τους σε παρακείμενες κατασκευές αλλά και για να αποτελέσουν μια βάση για τον ορισμό ορίων επιφυλακής και συναγερμού σε σχέση με τις μετρήσεις του προγράμματος γεωδομητικής παρακολούθησης καθώς και τη ζώνης επιρροής της σήραγγας.

Έτσι με βάση αριθμητικές αναλύσεις προκύπτουν, για κάθε κατηγορία ανάλυσης, οι καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και οι καθιζήσεις στην μέση στάθμη θεμελίωσης κτιρίων που λαμβάνεται 4.00m βαθύτερα από την επιφάνεια. Με βάση τις υπολογιζόμενες καθιζήσεις υπολογίζεται η καμπύλη των γωνιακών παραμορφώσεων με παραγώγιση της παραπάνω συνάρτησης. Με τον ίδιο τρόπο αφού εξαχθούν οι οριζόντιες μετακινήσεις υπολογίζεται η καμπύλη των ανηγμένων οριζοντίων μετακινήσεων.

Οι υπολογιζόμενες καμπύλες των γωνιακών παραμορφώσεων, για κάθε κατηγορία σχεδιασμού, συγκρίνονται με τα επιτρεπόμενα όρια 1/800 και 1/600 για ευαίσθητα και μη ευαίσθητα κτίρια αντίστοιχα, ενώ οι υπολογιζόμενες καμπύλες οριζοντίων παραμορφώσεων συγκρίνονται με τα επιτρεπόμενα όρια 0.15% και 0,30% για ευαίσθητα και μη ευαίσθητα κτίρια αντίστοιχα.

Στα σχήματα που φαίνονται στο παράρτημα έχουν παρουσιαστεί οι καμπύλες των καθιζήσεων, των γωνιακών και των οριζοντίων παραμορφώσεων για κάθε κατηγορία σχεδιασμού, όπως προκύπτουν από την ανάλυση με το FLAC. Στον πίνακα 21 συνοψίζονται οι υπολογιστικά μέγιστες καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους, τόσο πάνω από τον άξονα της σήραγγας όσο και σε απόσταση 10m εκατέρωθεν του άξονα, για κάθε κατηγορία ανάλυσης.

Στις τιμές των υπολογιζόμενων μέγιστων καθιζήσεων προστίθενται και οι καθιζήσεις λόγω του καταβιβασμού του Υδροφόρου Ορίζοντα, που

υπολογίζονται με τη συμπληρωματική ανάλυση ροής. Δεδομένου ότι οι καθιζήσεις που προκαλούνται από τον καταβιβασμό δεν εξαρτώνται αποκλειστικά και μόνο από την κατηγορία βραχομάζας της θέσης όπου διανοίγεται η σήραγγα και λαμβάνοντας υπ' όψιν την μεγάλη ετερογένεια των σχηματισμών στην περιοχή του έργου, για όλες τις κατηγορίες σχεδιασμού λαμβάνεται ως καθίζηση λόγω καταβιβασμού του Υδροφόρου Ορίζοντα, επί το δυσμενέστερο, τιμή ίση με s=3.00mm, δηλαδή κατά τι προσαυξημένη σε σχέση με την προσδιοριζόμενη για την κατηγορία βραχομάζας Ε.

Η τιμή αναφοράς προσδιορίζεται για κάθε κατηγορία ανάλυσης επί τη βάσει του αθροίσματος των υπολογιστικών καθιζήσεων και της καθίζησης λόγω καταβιβασμού του Υδροφόρου Ορίζοντα με κατάλληλη προσαύξηση τους (εδώ 1.50 s) για να ληφθούν επίσης υπ' όψιν αποκλίσεις της μεθόδου κατασκευής από την θεωρητική–υπολογιστική προσομοίωση που μπορεί να οδηγεί σε ελαφρώς μεγαλύτερες καθιζήσεις όπως επίσης και να εξασφαλιστεί ότι μικρά σφάλματα στις μετρήσεις (θόρυβος) δεν θα οδηγούν σε συνεχείς και χωρίς περιεχόμενο συναγερμούς.

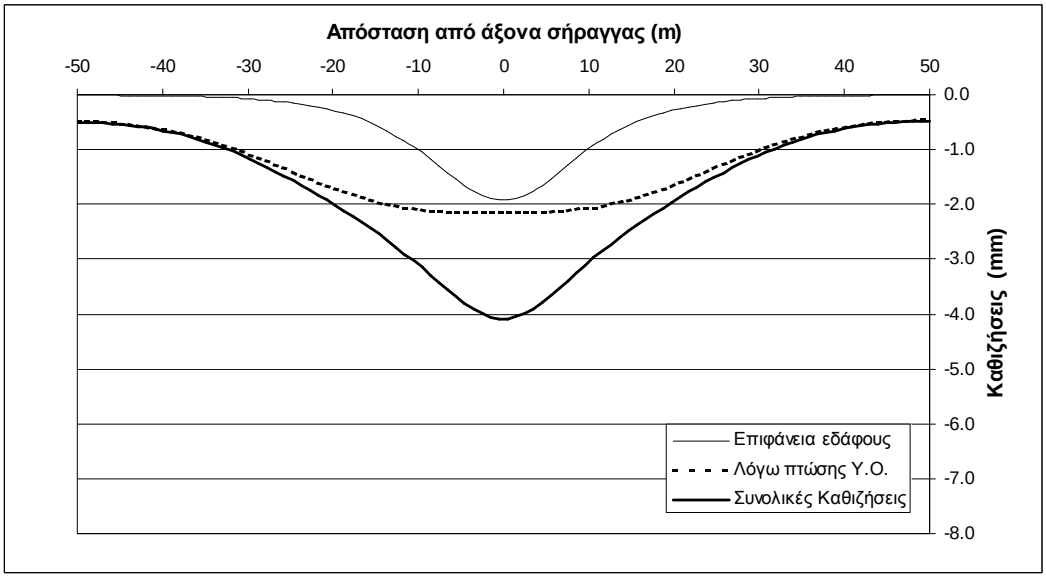
Η τιμή επιφυλακής προσδιορίζεται ως το 80% της τιμής αναφοράς ενώ το όριο συναγερμού λαμβάνεται ως το 120% της τιμής αναφοράς. Τα όρια αυτά για κάθε κατηγορία, τόσο στον άξονα της σήραγγας όσο και σε απόσταση 10m εκατέρωθεν του άξονα (στρογγυλοποιήμενες προς τα πάνω), παρουσιάζονται στον πίνακα 21 που ακολουθεί.

Πίνακας 21: Μέγιστες καθιζήσεις στην επιφάνεια του εδάφους

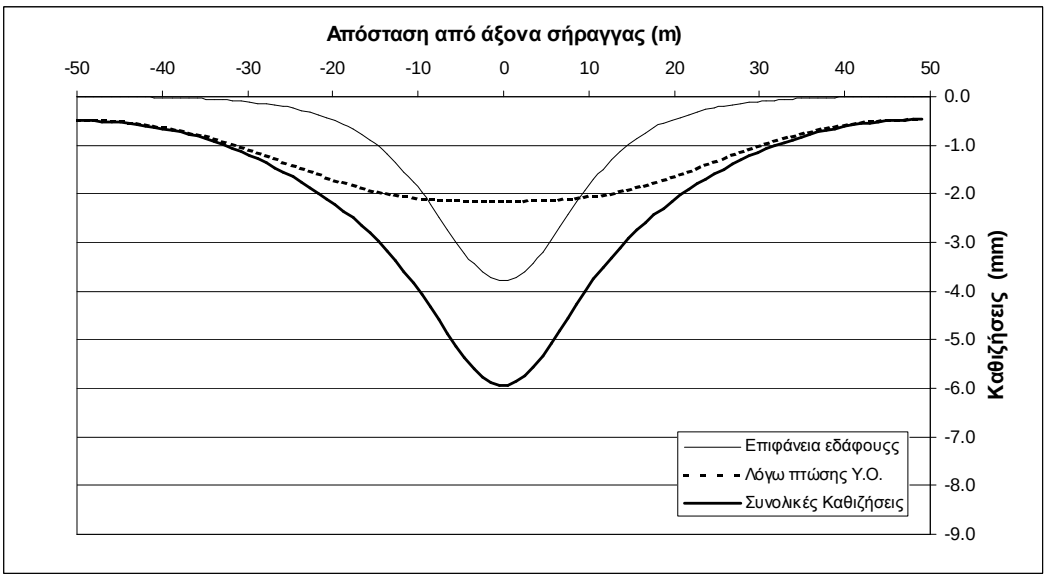
Κατηγορία σχεδιασμού	**Μέγιστες καθιζήσεις (mm)**							
	SC		**SD**		**SE**		**SSR**	
	Στον άξονα της σήραγγας	Σε απόσταση ±10m από τον άξονα	Στον άξονα της σήραγγας	Σε απόσταση ±10m από τον άξονα	Στον άξονα της σήραγγας	Σε απόσταση ±10m από τον άξονα	Στον άξονα της σήραγγας	Σε απόσταση ±10m από τον άξονα
Ολοκλήρωση εκσκαφής	1.90	0.95	3.80	1.80	6.10	2.90	4.80	2.10
Καθιζήσεις λόγω πτώσης Υ.Ο.	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Υπολογιστική Καθίζηση **s** (mm)	4.90	3.95	6.80	4.80	9.10	5.90	7.80	5.10
Τιμή Αναφοράς **R**=1.50 s (mm)	7.50	6.00	10.50	7.50	14.00	9.00	12.00	8.00
Όριο Επιφυλακής **T** = 0.80 R (mm)	6.00	5.00	8.50	6.00	11.50	7.50	10.00	6.50
Όριο Συναγερμού **L** = 1.20 R (mm)	9.00	7.50	13.00	9.00	17.00	11.00	14.50	9.60

Στα σχήματα 12 έως 15 που ακολουθούν παρουσιάζονται ξεχωριστά η καμπύλη των υπολογιζόμενων καθιζήσεων στην επιφάνεια του εδάφους λόγω διάνοιξης της σήραγγας, η καμπύλη των καθιζήσεων λόγω καταβιβασμού του Υδροφόρου Ορίζοντα καθώς και η καμπύλη των συνολικών καθιζήσεων για τις κατηγορίες ανάλυσης SC, SD, SE και SSR.

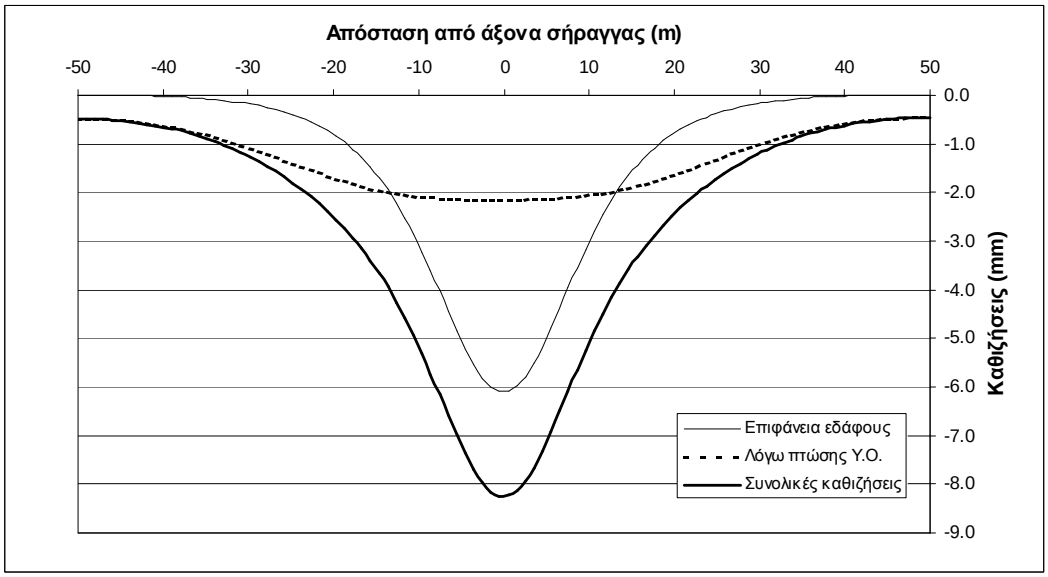
Από τα σχήματα αυτά φαίνεται ότι σε κάθε περίπτωση η ζώνη επιρροής της σήραγγας όπως αυτή ορίζεται από την σύμβαση, δηλαδή η ζώνη όπου η καθίζηση είναι μεγαλύτερη από 1mm, δεν ξεπερνάει τα 35m. Παρατηρείται ακόμη ότι το πλάτος της ζώνης επιρροής εξαρτάται κατά κύριο λόγω από τις καθιζήσεις από τον καταβιβασμό της στάθμης του Υδροφόρου Ορίζοντα. Το γεγονός αυτό δικαιολογεί την επιλογή, επί το δυσμενέστερο, της τιμής των καθιζήσεων για βραχομάζα κατηγορίας Ε σε όλες τις κατηγορίες σχεδιασμού.



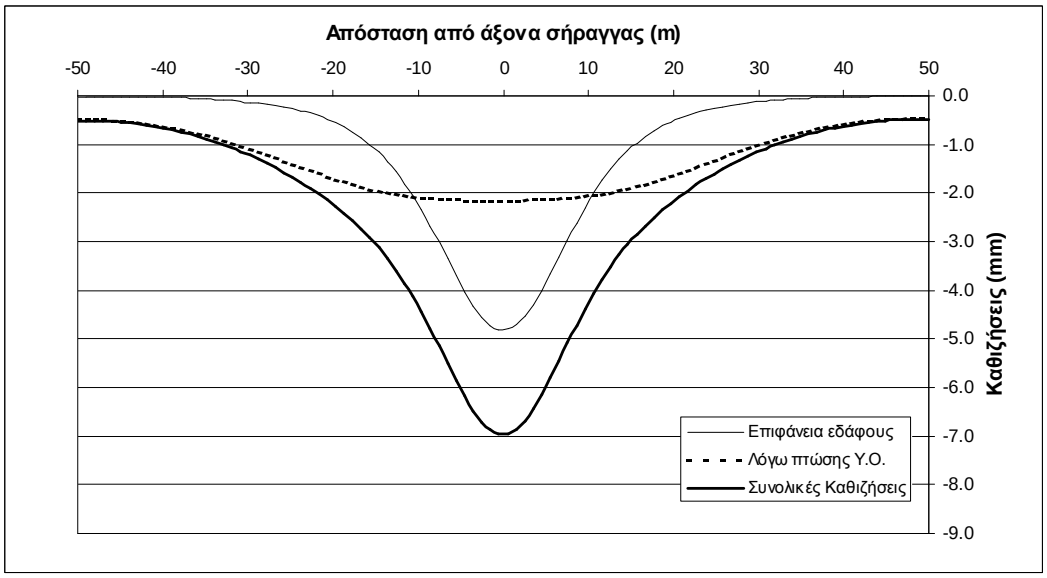
Σχήμα 12: Καμπύλες καθιζήσεων - Κατηγορία SC



Σχήμα 13**:** Καμπύλες καθιζήσεων - Κατηγορία SD



Σχήμα 14**:** Καμπύλες καθιζήσεων - Κατηγορία SE



Σχήμα 15: Καμπύλες καθιζήσεων - Κατηγορία SSR

5.6 Γεωμηχανική και Δομητική Παρακολούθηση (ΓΔΠ)

5.6.1 Γενικά

Γεωμηχανική και Δομητική Παρακολούθηση είναι το σύνολο των μελετών, ενεργειών, διαδικασιών και εργασιών, που απαιτούνται από τις συνθήκες κατασκευής του Έργου και αφορούν στην καταγραφή των επιπτώσεων και της συμπεριφοράς των κατασκευών, ώστε να εξασφαλιστεί η αποτελεσματική υλοποίηση του με ασφάλεια και ποιότητα. Η ΓΔΠ περιλαμβάνει τον σχεδιασμό, προμήθεια, εγκατάσταση, συντήρηση, διαβίβαση και αναφορά μετρήσεων των μετακινήσεων, παραμορφώσεων, τάσεων και άλλων παραμέτρων στη ζώνη επιρροής του Έργου.

Η ΓΔΠ είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη μελέτη εφαρμογής του έργου τόσο κατά τη φάση σχεδιασμού όσο και κατά την υλοποίηση της.

Πραγματοποιείται προκειμένου να αποκτηθούν δεδομένα για τα παρακάτω θέματα:

- Συμπεριφορά και απόκριση «ελεύθερου πεδίου» (green field) κατά την κατασκευή του έργου.
- Αλληλεπίδραση εδάφους, κατασκευής και κτηρίων.
- Εδαφικές συνθήκες.

Αναλυτικότερα, σκοπός της ΓΔΠ είναι:

- Η καταγραφή της επίδρασης των κατασκευαστικών εργασιών στο ίδιο το Έργο, στη ζώνη επιρροής του και των κατασκευών εντός αυτής ή και πέραν αυτής εάν απαιτηθεί.
- Η συμβολή στην βελτιστοποίηση της μεθόδου εκσκαφής και αντιστήριξης.
- Η επιβεβαίωση των παραδοχών των μελετών του Αναδόχου για την καλύτερη βαθμονόμηση των αριθμητικών μοντέλων.
- Η συσχέτιση της μελέτης εφαρμογής με τις κατασκευαστικές δραστηριότητες.
- Η συσχέτιση της μελέτης εφαρμογής με τις πραγματικές συνθήκες που συναντώνται με την πρόοδο του Έργου.
- Η συμπλήρωση και επαναξιολόγηση από τον Ανάδοχο των εδαφικών συνθηκών κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Η έγκαιρη προειδοποίηση σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης κατά τη διάρκεια κατασκευής

(προσέγγιση ορίων επιφυλακής ή/και συναγερμού της μελέτης εφαρμογής, κλπ), οι οποίες μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα ασφάλειας, έτσι ώστε ο Ανάδοχος να εφαρμόσει στο σωστό χρόνο τα απαραίτητα διορθωτικά μέτρα.

- Η συμβολή στη συνολική αξιολόγηση της μελέτης και της κατασκευής του Έργου σε σχέση με τις συνθήκες που θα συναντήσουμε, ώστε να πραγματοποιηθούν οι απαιτούμενες ανάδρομες αναλύσεις για την αλληλεπίδραση εδάφους - κατασκευών και κτηρίων και να εξαχθούν τελικά συμπεράσματα χρήσιμα για τα υπόλοιπα και τα μελλοντικά έργα του Μετρό.

Τα στοιχεία που μετρώνται και καταγράφονται είναι:

1. Μετακινήσεις κτηρίων και κατασκευών που βρίσκονται μέσα στη ζώνη επιρροής του έργου ή και πέραν αυτής, περιλαμβάνοντας ολική και διαφορική καθίζηση, ανύψωση, μετακινήσεις σε τρεις διαστάσεις (3D), κλίση, κλπ.
2. Μετακινήσεις της επιφάνειας του εδάφους (καθίζηση, ανύψωση, μετακινήσεις σε τρεις διαστάσεις (3D)).
3. Μετακινήσεις στη ζώνη κάτω από την επιφάνεια του εδάφους που περιβάλλει το έργο (οριζόντιες και κατακόρυφες).
4. Συγκλίσεις και μετακινήσεις των προσωρινών και μόνιμων τοιχωμάτων των εκσκαφών, σηράγγων και κατασκευών.
5. Μεταβολές πιέσεων του εδάφους και του υπόγειου νερού.
6. Τάσεις στα δομοστατικά στοιχεία του έργου.
7. Παραμορφώσεις στο έδαφος και στα δομοστατικά στοιχεία του έργου ή την επένδυση των σηράγγων.
8. Οριζόντιες παραμορφώσεις κάτω από τη στάθμη θεμελίωσης κτηρίων σε βαθιές ανοικτές εκσκαφές.
9. φορτία σε αγκυρώσεις και τάσεις αντηρίδων των προσωρινών αντιστηρίξεων.
10. Στάθμη υπογείων υδάτων.
11. Εισροή υδάτων στις εκσκαφές κα τα υπόγεια έργα.
12. Διαρροή νερού σε ολοκληρωμένες με τελική επένδυση κατασκευές.

13. Μετεωρολογικά στοιχεία, όπως θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση, υγρασία, ορατότητα και ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις κατά τη διάρκεια λήψης των μετρήσεων.

5.7 Γεωμηχανική και Δομητική Παρακολούθηση περιβάλλοντος εδάφους, επιφάνειας, κτηρίων και κατασκευών της ζώνης επιρροής του έργου

5.7.1 Μετρήσεις στάθμης υπογείων υδάτων

Οι μεταβολές της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα γίνεται με τη χρήση πιεζομέτρων, τα οποία τοποθετούνται μέσα σε γεωτρήσεις σε επιλεγμένες θέσεις κατά μήκος της σήραγγας (ανά 50m σήραγγας). Οι τύποι των πιεζομέτρων που χρησιμοποιούνται είναι: πιεζόμετρα ανοικτού τύπου, Casagrande και ηλεκτρικά πιεζόμετρα δονούμενης χορδής.

5.7.2 Μετρήσεις κατακόρυφων μετακινήσεων σε βάθος

Για τη μέτρηση καθίζησης ή ανύψωσης της σήραγγας και τη μέτρηση συγκλίσεων στα πλευρικά τοιχώματα χρησιμοποιούνται εκτασιόμετρα τύπου ράβδου. Οι ράβδοι είναι από ίνες υάλου ή χαλύβδινες για εκτασιόμετρα μεγάλου μήκους. Τα εκτασιόμετρα τοποθετούνται σε γεωτρήσεις στο περιβάλλον έδαφος σε διατομές που απέχουν μεταξύ τους κατά μέγιστο 250m. Κάθε διατομή αποτελείται από τρία εκτασιόμετρα, ως εξής:

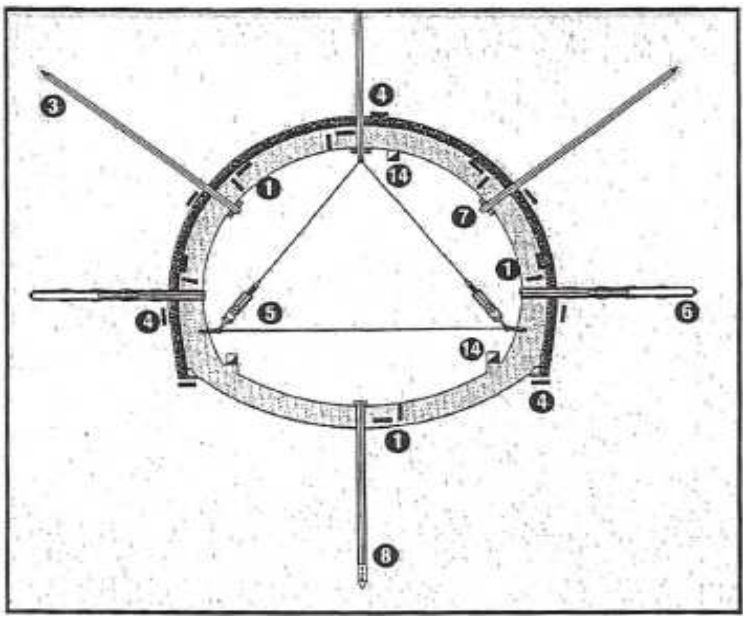
- δύο εκτασιόμετρα πέντε ράβδων τοποθετούνται εκατέρωθεν της σήραγγας και εκτείνονται σε βάθος 5m χαμηλότερα από το δάπεδο της σήραγγας, και

- ένα εκτασιόμετρο τριών ράβδων που τοποθετείται στον άξονα της σήραγγας και εκτείνεται σε βάθος μέχρι lm πάνω από τη στέψη της σήραγγας.

Εκτός από τα εκτασιόμετρα ράβδων χρησιμοποιούνται και μαγνητικά, τα οποία μετρούν καθιζήσεις και ανυψώσεις του εδάφους σε βάθος, ανάλογα με τις μετακινήσεις των μαγνητικών αισθητήρων. Αποτελούνται από σωλήνες ιδίου τύπου με των κλισιομέτρων και αρθρωτούς μαγνήτες τοποθετημένους εξωτερικά της σωλήνωσης ανά τακτά διαστήματα. Το όργανο μέτρησης είναι χαλύβδινη βολίδα συνδεδεμένη με μετροταινία βαθμονομημένη σε χιλιοστά του μέτρου και συνδεδεμένη με βομβητή και φωτεινή ένδειξη για την μέτρηση του εκάστοτε βάθους των μαγνητών.

5.8 Θέσεις τοποθέτησης

Προκειμένου να είναι δυνατή η αξιοποίηση και συσχέτιση των μετρήσεων, θα πρέπει να καταγράφεται η θέση τους και η χρονική στιγμή λήψης τους. Η συνεχής παρακολούθηση και η άμεση ενημέρωση των υπευθύνων απαιτεί την αυτοματοποιημένη λήψη των μετρήσεων με καταγραφικά δεδομένων και ψηφιακές οθόνες .Η τοποθέτηση των διαφόρων τύπων μετρήσεων στην ίδια διατομή και ει δυνατόν στα ίδια σημεία, επιτρέπει τη μεγαλύτερη δυνατή αξιοποίηση τους. Στο Σχήμα 16 φαίνεται διατομή πολλαπλών μετρήσεων σήραγγας.



Σχήμα 16: διατομή γεωτεχνικής παρακολούθησης σήραγγας.

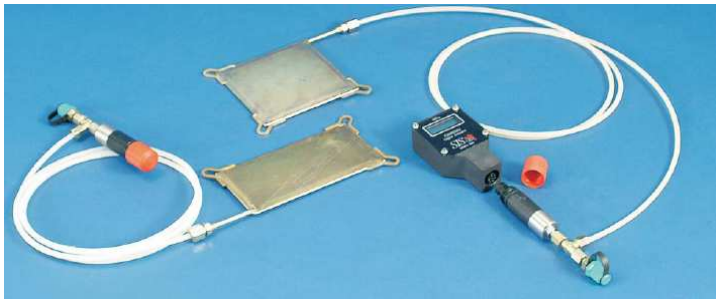
Σύμφωνα με το σχήμα 19 τα όργανα παρακολούθησης των γεωτεχνικών συνθηκών μέσα στη σήραγγα είναι τα εξής :

1. Κυψέλη μέτρησης πίεσης σκυροδέματος
3. Μετρητικό Αγκύριο
4. Κυψέλη Πίεσης
5. Συγκλισιόμετρο
6. Μετακινούμενο επιμηκυνσιόμετρο
7. Κυψέλη φορτίου αγκυρίων
8. Στήλη μέτρησης στάθμης ύδατος και καθίζησης(πιεζόμετρο)
14. Επιταχυνσιογράφος.

Παράλληλα χρησιμοποιούνται αποκλισιόμετρα , εγκιβωτιζόμενοι μετρητές παραμόρφωσης και ρωγμόμετρα.

5.9 Όργανα γεωτεχνικής παρακολούθησης καθιζήσεων

5.9.1 Κυψέλες μέτρησης πίεσης



Εικόνα 15: κυψέλη πίεσης SISGEO για NATM

Οι κυψέλες μέτρησης πίεσης (Εικ.15) αποτελούνται από έναν επίπεδο γρύλο που συνδέεται με έναν υδραυλικό ή πνευματικό μορφοτροπέα διαφράγματος και στη συνέχεια μέσω εύκαμπτης σωλήνωσης με μια μονάδα ανάγνωσης .Η ορθή τάση που μεταφέρεται από το περιβάλλον πέτρωμα ή σκυρόδεμα, μετρείται με την εξισορρόπηση της υδραυλικής πίεσης στην κυψέλη από μια πίεση που εφαρμόζεται στην άλλη πλευρά του διαφράγματος.

Χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν την ορθή τάση σε υλικά όπως επιχώματα, στις διεπαφές μεταξύ υλικών, π.χ. σε διεπαφή βράχου-σκυροδέματος, καθώς και μέσα στο σκυρόδεμα της επένδυσης για να μετρήσουν την αξονική και περιφερειακή τάση. Εάν απαιτούνται οι ενεργές τάσεις, πρέπει να εγκατασταθεί ένα πιεζόμετρο παράλληλα με την κυψέλη πίεσης.

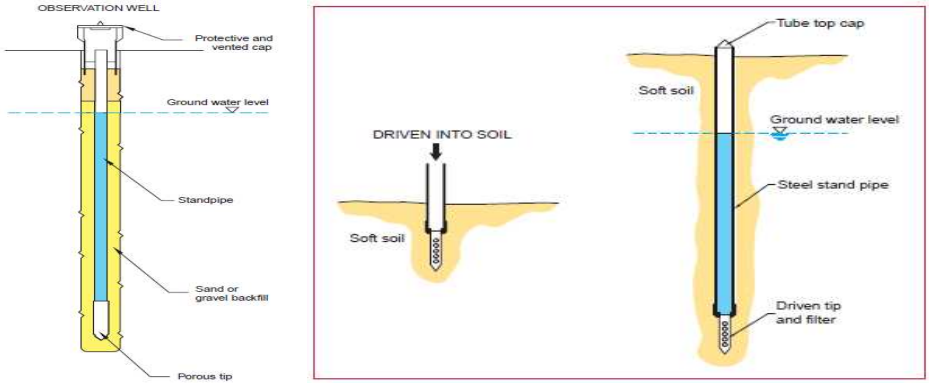
Σε περίπτωση τοποθέτησης του γρύλου στο σκυρόδεμα (κυψέλη μέτρησης πίεσης σκυροδέματος) , κατά τη σκλήρυνση αυτό συρρικνώνεται και μπορεί να αναπτυχθεί ένα κενό αέρα στις επιφάνειες του γρύλου. Γι' αυτό, συνδέεται με το γρύλο ένας σωλήνας αντιστάθμισης μέσω του οποίου εγχέεται ένας μικρός όγκος ρευστού, αμέσως μετά την εγκατάσταση, που διαστέλλει το

γρύλο. Μια μικρή θετική πίεση αποκαθίσταται μέσα στο γρύλο, και όλες οι επόμενες αναγνώσεις πίεσης αναφέρονται σε αυτήν την αρχική τιμή.
Το ρευστό που χρησιμοποιείται για να γεμίσει εξαρτάται από το υλικό στο οποίο εγκαθίσταται. Η συμπιεστότητα πρέπει να είναι παρόμοια με αυτήν του περιβάλλοντος υλικού προκειμένου να δώσει το κύτταρο τη σωστή μέτρηση.
Μια κυψέλη που είναι πάρα πολύ δύσκαμπτη σχετικά με το περιβάλλον πέτρωμα θα καταγράψει μια υπερβολική πίεση, και κάποια που είναι εύκαμπτη θα καταγράψει μια πίεση που είναι πολύ χαμηλή. Όταν εγκαθίστανται σε εδάφη πληρούνται συνήθως με υδραυλικό έλαιο και εκείνα που εγκαθίστανται σε βράχο ή σκυρόδεμα πληρούνται με υδράργυρο.
Η πίεση του ρευστού μετρείται με την εφαρμογή μιας πίεσης αέρα ή ελαίου σε ένα από τους δίδυμους σωλήνες που συνδέουν τον υδραυλικό μορφοτροπέα με τη μονάδα ανάγνωσης. Όταν αυτή η πίεση είναι επαρκής για να εξισορροπήσει την πίεση στο κύτταρο, καταγράφεται μια επιστροφή ροής αέρα ή ελαίου στη μονάδα ανάγνωσης.

5.9.2 Μετρητές φορτίου αγκυρίων

Αποτελούνται συνήθως από έναν κυλινδρικό δακτύλιο χάλυβα ή αλουμινίου . Η μέτρηση επιτυγχάνεται είτε από ηλεκτρική αντίσταση είτε από δονούμενη χορδή. Επίσης, υπάρχουν μετρητές φορτίου υδραυλικού τύπου, στους οποίους η επιβαλλόμενη εξωτερική φόρτιση μετατρέπεται σε πίεση του υγρού που υπάρχει μέσα στο δακτύλιο.

5.9.3 Πιεζόμετρα



Σχήμα 17 : πιεζόμετρα εταιρείας SISGEO (Cassagrande & drive in)

Τα πιεζόμετρα είναι συσκευές μέτρησης της πίεσης του νερού των πόρων του εδάφους, αλλά και γενικότερα της πίεσης του νερού στη βραχομάζα. Διακρίνονται σε πιεζόμετρα κατακόρυφου σωλήνα, διαφράγματος, και υδραυλικά.

Τα πιεζόμετρα κατακόρυφου σωλήνα τοποθετούνται στο βάθος γεώτρησης και εγκιβωτίζονται μέσα σε άμμο. Διακρίνονται σε φρεάτια παρατήρησης και σε πιεζόμετρα Casagrande. Στα δεύτερα, η άμμος στεγανώνεται καλυπτόμενη από μπεντονίτη και τσιμεντένεμα. Τα πιεζόμετρα διαφράγματος βασίζονται στην ύπαρξη ευλύγιστου διαφράγματος που έρχεται σε επαφή με το νερό του εδάφους. Όταν η πίεση που ασκεί το νερό στο διάφραγμα μεταβάλλεται το διάφραγμα μετακινείται. Η μέτρηση της πίεσης του νερού επιτυγχάνεται είτε με τη μέτρηση της πίεσης αντιστάθμισης πιεσμένου αέρα, είτε με τη μέτρηση της μετακίνησης του διαφράγματος από μετρητή δονούμενης χορδής ή ηλεκτρικής αντίστασης. Τα υδραυλικά πιεζόμετρα αποτελούνται από σύστημα δύο πλαστικών σωλήνων απαερωμένου νερού και μετρητή πίεσης. Οι δύο σωλήνες στο βάθος της γεώτρησης εισέρχονται στο πιεζόμετρο που έχει κεραμικό φίλτρο.

Η πίεση του νερού μετρείται από τους μετρητές πίεσης στην επιφάνεια.

5.10 Μέτρηση της πίεσης

Ο μετρητής τάσης (stressmeter) μετρά τη μεταβολή της πίεσης σε μια κατεύθυνση μόνο. Συχνά λαμβάνονται τρεις μετρήσεις σε αμοιβαία κάθετες κατευθύνσεις, αλλά ακόμη και αυτές οι μετρήσεις δεν μπορούν να δώσουν την πλήρη μεταβολή του τανυστή της τάσης, εκτός αν οι τρεις κατευθύνσεις που επιλέγονται είναι κύριες. Επειδή η τιμή της τάσης προκύπτει από τη μετρούμενη παραμόρφωση, η αναμενόμενη ακρίβεια είναι αρκετά μικρότερη από αυτή των μετρήσεων μετατόπισης. Το όργανο αποτελείται από ένα κοίλο σώμα σκληρυμένου χάλυβα που προφορτίζεται διαμετρικά, έναντι των τοιχωμάτων μιας γεώτρησης διαμέτρου 38 mm, με τη βοήθεια ολισθαίνουσας σφήνας. Ο μετρητής τοποθετείται χρησιμοποιώντας ένα χειρωνακτικό ή υδραυλικό εργαλείο ρύθμισης που έλκει τη σφήνα εμπρός από το πλακίδιο και το σώμα του μετρητή και προφορτίζει την πλάκα στερέωσης και το μετρητή εντός του τοιχώματος.

Μεταβολές της τάσης του πετρώματος στη διεύθυνση προφόρτισης προκαλούν μικρές μεταβολές στη διάμετρο του κυλίνδρου μέτρησης. Αυτές οι αλλαγές μετρούνται από μετρητή δονούμενης χορδής. Οι μετρούμενες παραμορφώσεις μετατρέπονται σε μεταβολές της τάσης με βάση τις ελαστικές ιδιότητες του πετρώματος που θα πρέπει να είναι γνωστές. Η μέτρηση της μεταβολής της τάσης σε μια κατεύθυνση είναι επαρκής σε περιπτώσεις όπως σε στύλους, όπου η αύξηση στην αξονική ορθή τάση είναι πρωταρχικής σημασίας. Εφόσον απαιτείται η γνώση της μεταβολής της τάσης στο επίπεδο το κάθετο στον άξονα μιας γεώτρησης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τρεις μετρητές που κλίνουν μεταξύ τους 45°.

5.11 Παρουσίαση αποτελεσμάτων μετρήσεων ΓΔΠ

Για την καλύτερη παρουσίαση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μετρήσεων της ΓΔΠ έχουν σχεδιαστεί τα παρακάτω διαγράμματα:

1. Διαγράμματα των μετακινήσεων 3D της επιφάνειας και των κτηρίων και κατασκευών, συναρτήσει του χρόνου και της προώθησης του μετώπου εκσκαφής (ανά φάση). Κάθε διάγραμμα αποτελείται από τρία επιμέρους διαγράμματα (ένα για κάθε συνιστώσα X, Y, Z), σε κάθε διάγραμμα απεικονίζονται κατά μέγιστο ομάδες έως έξι σημείων μέτρησης που ανήκουν στο ίδιο κτήριο ή κατασκευή ή στην ίδια διατομή σημείων στην επιφάνεια. Στα διαγράμματα 1 (Α, Β και Γ) απεικονίζονται οι ακτινικές και οι κατά μήκος ως προς τον άξονα της σήραγγας μετακινήσεις και οι κατακόρυφες μετακινήσεις. Οι μεγαλύτερες μετακινήσεις καταγράφονται μετά τις 23/08/07, αλλά πάντα μέσα στα όρια ανοχής και χωρίς να δημιουργήσουν κάποιο πρόβλημα στα κτήρια.

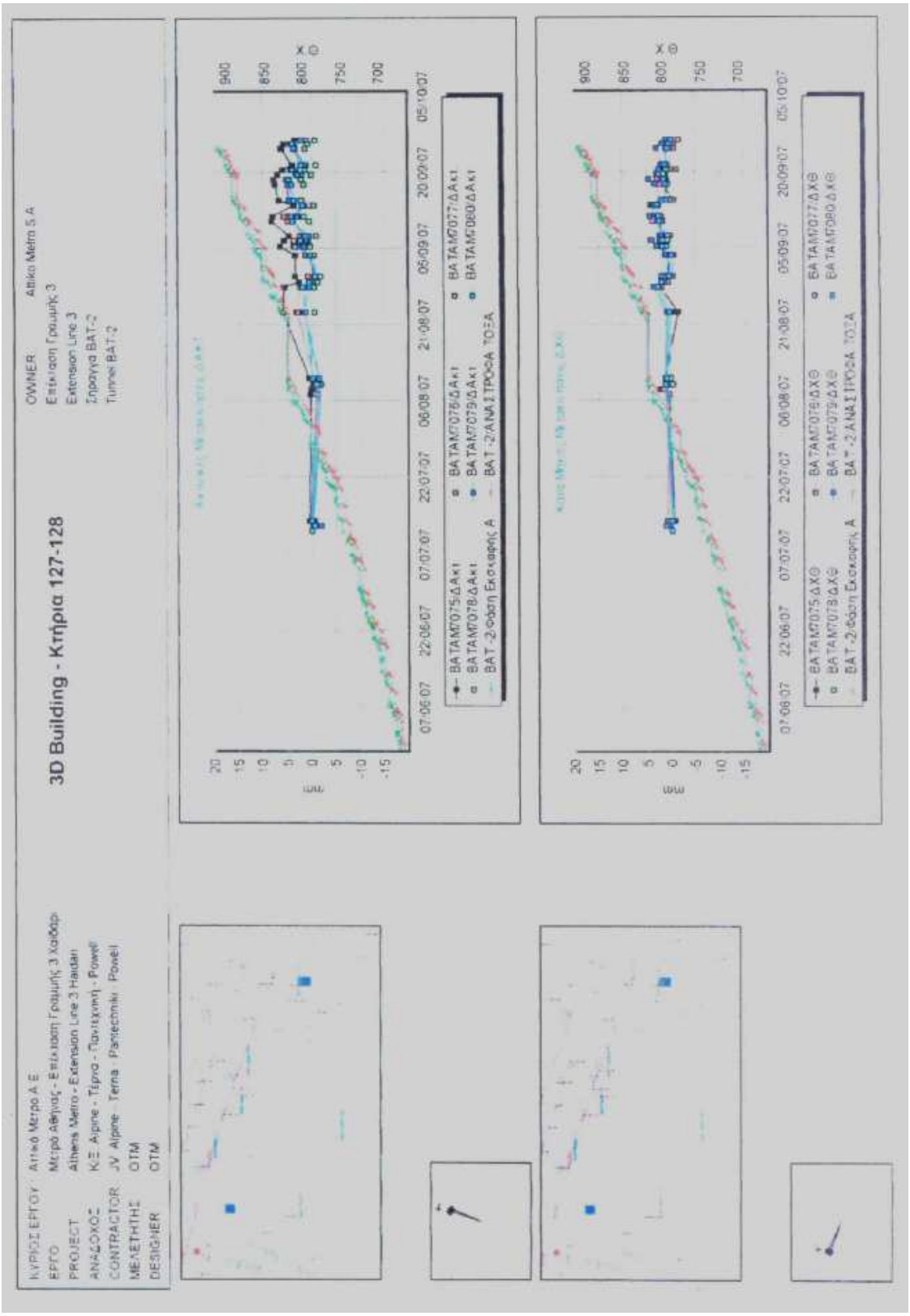
2. Διαγράμματα των κατακόρυφων μετακινήσεων της επιφάνειας και των κτηρίων και κατασκευών, συναρτήσει του χρόνου και της προώθησης του μετώπου εκσκαφής.

Στο διάγραμμα 2 φαίνονται οι μετακινήσεις της επιφάνειας πάνω από τη σήραγγα, οι οποίες επί το πλήστον είναι σχεδόν μηδενικές με τις μέγιστες να αγγίζουν τα 5,5mm.

Στο διάγραμμα 3 επίσης που απεικονίζονται οι κατακόρυφες μετακινήσεις των κτηρίων (κτήρια 127-128), οι μετακινήσεις είναι μικρές. Επίσης, έχοντας τις μετρήσεις και έναν σχετικά πυκνό κάνναβο, μπορούν να παραχθούν διαγράμματα ισοκαθιζήσεων, τα οποία δείχνουν μία εποπτική εικόνα για το πώς εξελίσσονται οι καθιζήσεις και πως διαμορφώνεται για μία χρονική στιγμή η επιφάνεια κάτω από την οποία γίνεται το έργο.

3. Διαγράμματα παρουσίασης μεταβολής της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα σε πιεζόμετρα σε συνάρτηση με τον χρόνο, με την πρόοδο των μετώπων ή επιπέδων εκσκαφής και με τα μετεωρολογικά στοιχεία που επηρεάζουν τις μετρήσεις.

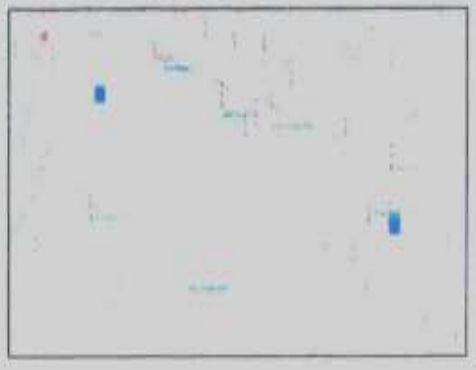
1. Διάγραμμα μετακινήσεων σε τρεις διαστάσεις της επιφάνειας και των κτηρίων και κατασκευών (Α, Β, Γ)

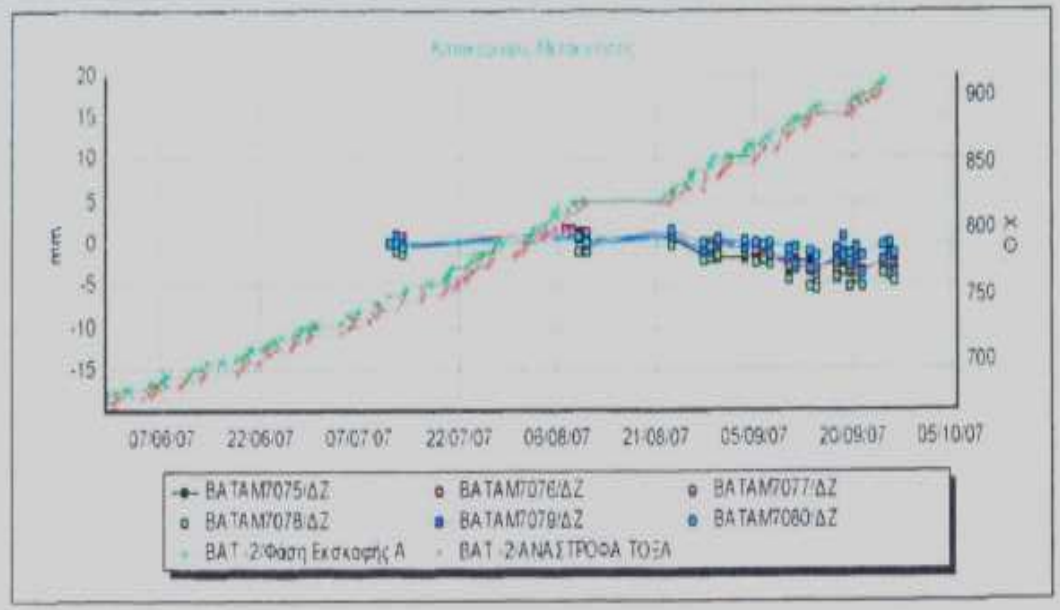


ΚΥΡΙΟΣ ΕΡΓΟΥ	Αττικό Μετρό Α.Ε.
ΕΡΓΟ	Μετρό Αθήνας - Επέκταση Γραμμής 3 Χαϊδαρι
PROJECT	Athens Metro - Extension Line 3 Haidari
ΑΝΑΔΟΧΟΣ	Κ/Ξ Alpine - Τέρνα - Παντεχνική - Powell
CONTRACTOR	JV Alpine - Terna - Pantechniki - Powell
ΜΕΛΕΤΗΤΗΣ	ΟΤΜ
DESIGNER	ΟΤΜ

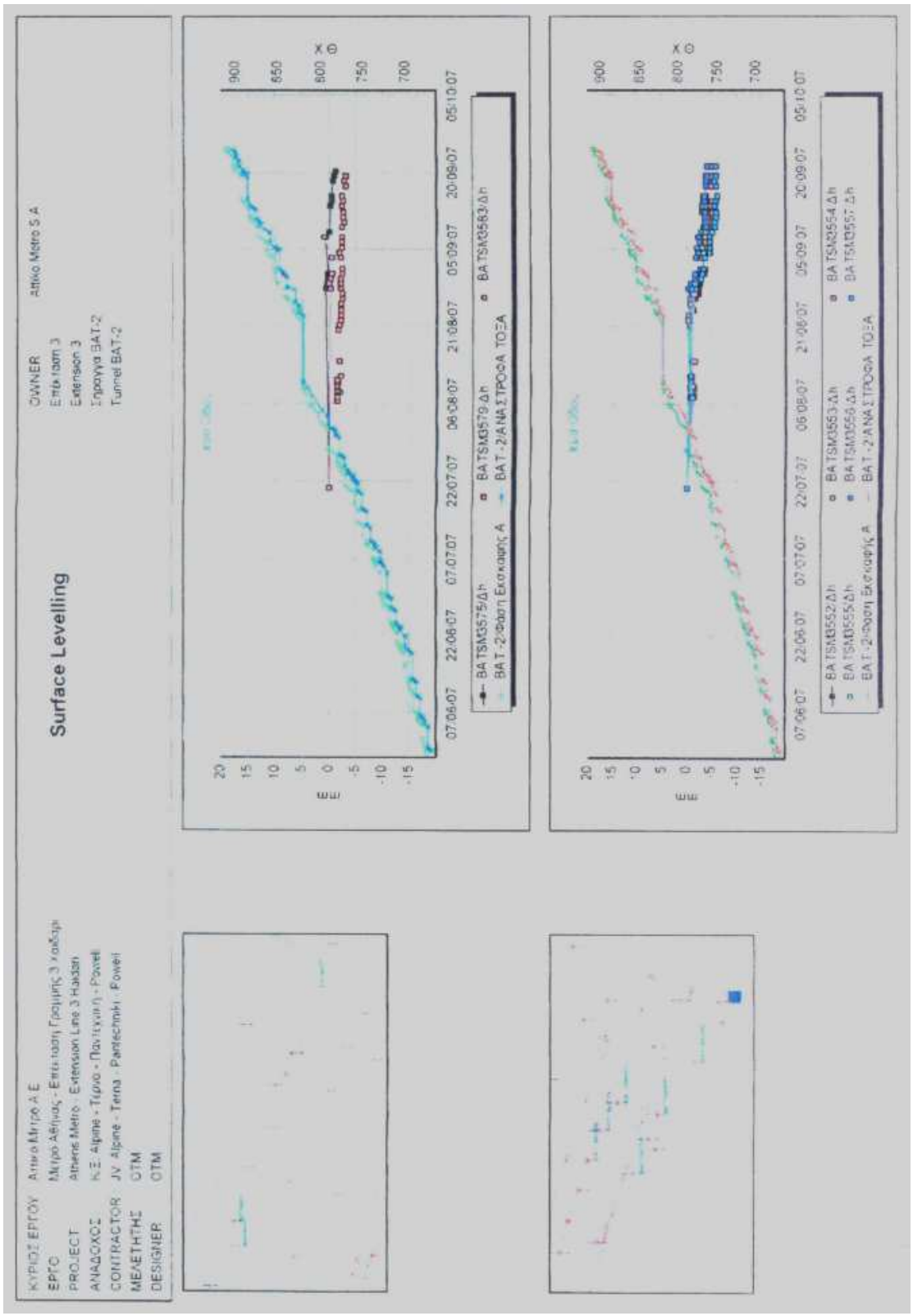
3D Building - Κτήρια 127-128

OWNER	Attiko Metro S.A.
Επέκταση Γραμμής 3	
Extension Line 3	
Σήραγγα ΒΑΤ-2	
Tunnel BAT-2	

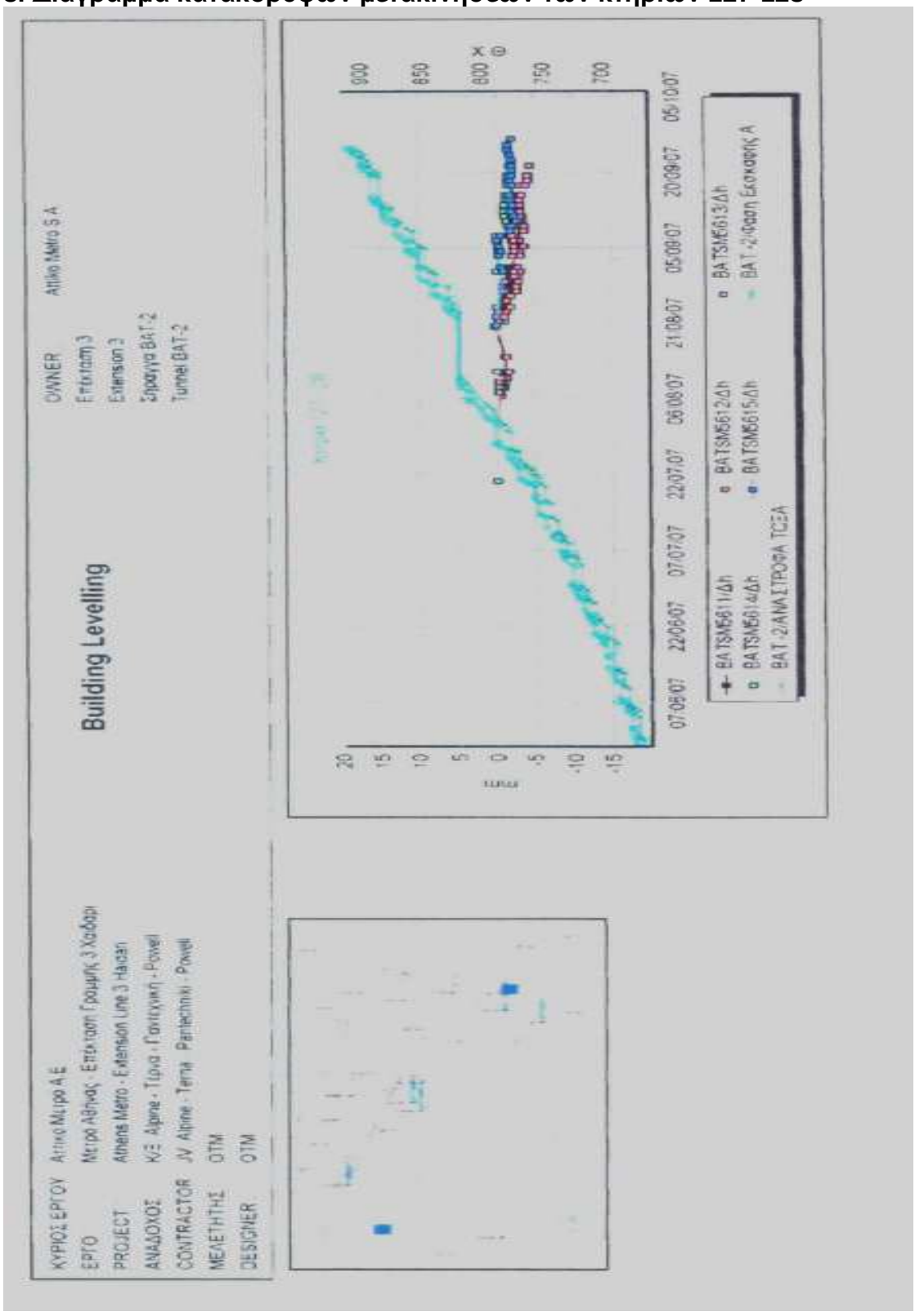




2. Διάγραμμα κατακόρυφων μετακινήσεων της επιφάνειας και των κτηρίων και κατασκευών



3. Διάγραμμα κατακόρυφων μετακινήσεων των κτηρίων 127-128



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της εργασίας ήταν η παρακολούθηση όλων των σταδίων παραγωγής μιας σήραγγας Μετρό, ώστε να φανούν τυχόν αστοχίες παραγωγής του έργου. Αυτή η παραγωγή διακρίνεται στις φάσεις γεωλογικής πρόγνωσης, γεωτεχνικής μελέτης, κατασκευής και παρακολούθησης του έργου.

Η γεωλογία της περιοχής του έργου αποτελείται από τους σχηματισμούς του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου και των Νεογενών, όπως διαπιστώθηκε από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν πριν την έναρξη των εργασιών της σήραγγας. Κατά τη διάνοιξη της σήραγγας που έγινε από το φρέαρ Ηρώων Πολυτεχνείου (Χ.Θ. 0+504,54) έως το σταθμό του Χαϊδαρίου (Χ.Θ. 0+929,13), οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντήθηκαν ήταν τα Νεογενή, που αποτελούνται από μάργες, ιλυόλιθους και ψαμμίτες, και η μεταβατική ζώνη (στο μέσον του τμήματος) από τα Νεογενή στους σχηματισμούς του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου.

Οι σχηματισμοί των Νεογενών ήταν ελαφρά έως πολύ αποσαθρωμένοι με μικρή περατότητα, η οποία οφειλόταν στην πυκνότητα των διαρρήξεων. Οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι που συναντήθηκαν στο τμήμα από Χ.Ο. 0+720 έως Χ.Θ. 0+800 περίπου είχαν αυξημένη διαπερατότητα, σε σύγκριση με τους σχηματισμούς των Νεογενών, η οποία οφειλόταν κατά κύριο λόγο στην παρουσία μικροκαρστικών εγκοίλων.

Στο τελευταίο τμήμα της σήραγγας, πριν το σταθμό του Χαϊδαρίου, συναντήθηκαν οι σχηματισμοί του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου, η διαπερατότητα των οποίων ήταν γενικώς περιορισμένη, με εξαίρεση κάποια σημεία όπου υπήρχε εμφάνιση κάποιων πιο διαπερατών στρώσεων.

Κατά τη συνάντηση αυτών των σχηματισμών, η διάνοιξη της σήραγγας σε γενικές γραμμές έγινε χωρίς προβλήματα, ή όπου παρουσιάστηκαν κάποια προβλήματα, όπως η απρόοπτη συμπεριφορά του μετώπου όταν γινόταν μετάβαση από τους σχηματισμούς των Νεογενών στους σχηματισμούς του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου, αντιμετωπίστηκαν άμεσα χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες.

Η προχώρηση της σήραγγας μέσα σε αυτούς τους σχηματισμούς ήταν ικανοποιητική χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα αστάθειας του μετώπου ή των παρειών.

Στο στάδιο της γεωτεχνικής μελέτης στο υπό διάνοιξη τμήμα, βάσει της μελέτης σχεδιάστηκαν τρεις κατηγορίες υποστήριξης της σήραγγας (SC, SD, SE), όπου τελικώς επιλέχθηκε η κατηγορία SE, που αντιμετώπιζε τις δυσμενέστερες συνθήκες. Η SE κατηγορία υποστήριξης που επιλέχθηκε αντιμετώπιζε επιτυχώς την απρόοπτη συμπεριφορά του μετώπου, στο οποίο η βραχομάζα είχε τάση εκδήλωσης καταπτώσεων. Οι καταπτώσεις οφείλονταν κυρίως λόγω του κερματισμού του πετρώματος και της παρουσίας, σε πολλά τμήματα, αμμωδών και χαλικωδών στρώσεων χαμηλής αντοχής. Συμπερασματικά η επιλογή, στη συγκεκριμένη περίπτωση, της κατηγορίας SE γίνεται έτσι ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή υποστήριξη της σήραγγας και για να δημιουργηθεί ένα ασφαλές περιβάλλον εργασίας, σε συνδυασμό πάντοτε τη μέγιστη δυνατή προχώρηση της σήραγγας, γεγονός που μειώνει το κόστος του έργου.

Το έργο πρέπει να πραγματοποιηθεί μέσα σε συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα, που προβλέπεται σύμφωνα και με τη μελέτη. Η αλληλουχία των εργασιών ακολουθούσε το πρόγραμμα το οποίο οριζόταν βάσει των σχετικών μεθοδολογιών κατασκευής της σήραγγας. Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνταν ήταν παλαιάς τεχνολογίας, παρ' όλα αυτά όμως ανταποκρίνονταν στις απαιτήσεις του έργου χωρίς να επηρεάζουν την προχώρηση της σήραγγας.

Τέλος, τα έργα αυτά ενέχουν πάντοτε κίνδυνο δομικής αστοχίας. Για το σκοπό αυτό γίνεται πάντοτε παρακολούθηση της μηχανικής συμπεριφοράς της γεωμάζας, λόγω της διάνοιξης τόσο υπόγεια όσο και στην επιφάνεια. Στην επιφάνεια δεν παρουσιάστηκαν αστοχίες στα κτήρια και όπου οι μετρήσεις πλησίαζαν τα όρια ανοχής γινόταν μετάβαση σε μεγαλύτερη κατηγορία υποστήριξης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αττικό Μετρό Α.Ε., Προδιαγραφές Μελετών Έργων Πολιτικού Μηχανικού, Αθήνα 2006
2. Αττικό Μετρό Α.Ε., Προδιαγραφές Υλικών και Εργασιών Έργων Πολιτικού Μηχανικού, Αθήνα 2006
3. Αττικό Μετρό Α.Ε., Τεχνική Περιγραφή, Αθήνα 2006
4. Γεωργιαννού Β.Ν., Χρήση Γεωτεχνικών Οργάνων, Οργανομετρήσεις, Αθήνα 2000

4. Κοινοπραξία Έργου, Μεθοδολογία Εγκατάστασης Δοκών Προπορείας, Αθήνα 2007
5. Κοινοπραξία Έργου, Μεθοδολογία Εγκατάστασης Χαλύβδινων Δικτυωτών / Πλαισιωτών Υποστηριγμάτων, Αθήνα 2006
6. Κοινοπραξία Έργου, Μεθοδολογία Εκσκαφής Ανοικτού Ορύγματος, Αθήνα 2006
7. Κοινοπραξία Έργου, Μεθοδολογία Εκσκαφής Σηράγγων με Συμβατικά Μέσα, Αθήνα 2006
8. Κοινοπραξία Έργου, Μεθοδολογία Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος, Αθήνα 2006
9. Κοινοπραξία Έργου, Μεθοδολογία Κατασκευής Εδαφικών Ηλώσεων και Κοχλιώσεων, Αθήνα 2007
10. Κοινοπραξία Έργου, Μεθοδολογία Κατασκευής Μικροπασσάλων, Αθήνα 2007
11. Κοινοπραξία Έργου, Μεθοδολογία Προεντεταμένων Αγκυρίων, Αθήνα 2006
12. ΟΤΜ ΑΤΕ, Γεωλογική - Υδρογεωλογική και Γεωτεχνική Μελέτη, Τεύχος 4: Έκθεση Αξιολόγησης Αποτελεσμάτων Γεωτεχνικών Ερευνών, Αθήνα 2006
13. ΟΤΜ ΑΤΕ, Έκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης, Κύρια Σήραγγα από Φρέαρ Άλσους εως Φρέαρ Ηρώων Πολυτεχνείου, Χ.Ο. 0+000 εως Χ.Ο. 0+504,54, Αθήνα 2007

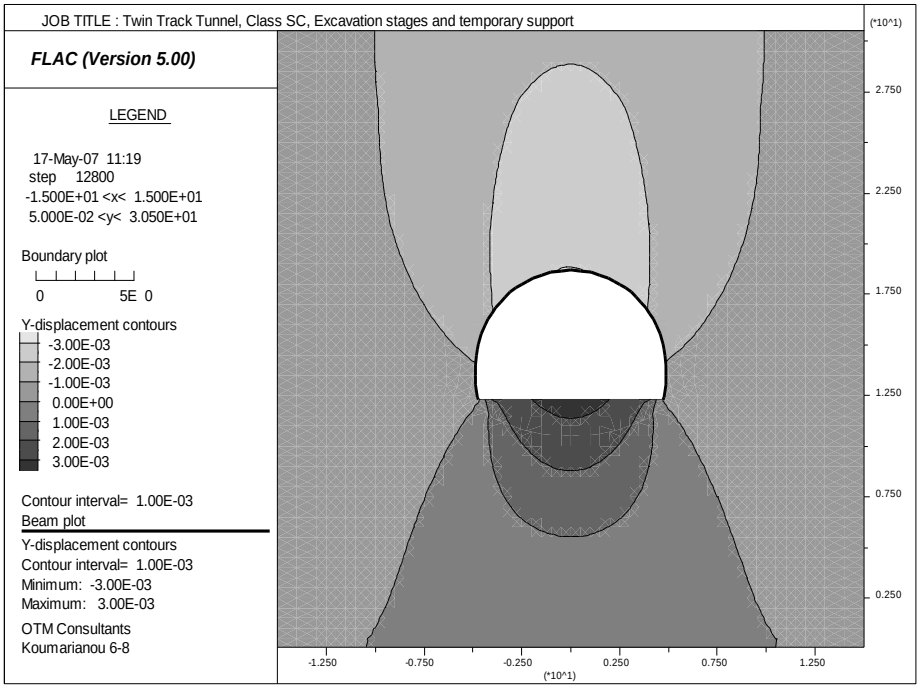
14. ΟΤΜ ΑΤΕ, Έκθεση Γεωτεχνικής Αξιολόγησης, Κύρια Σήραγγα από Φρέαρ Άλσους εως Φρέαρ Ηρώων Πολυτεχνείου, Χ.Ο. 0+504,54 εως Χ.Θ. 0+929,13, Αθήνα 2007
15. ΟΤΜ ΑΤΕ, Προσωρινή Υποστήριξη Σήραγγας Διατομής Τριπλής Γραμμής από Χ.Ο. 0+000 έως Χ.Θ. 0+349, Τεύχος Υπολογισμών, Αθήνα 2007
16. ΟΤΜ ΑΤΕ, Προσωρινή Υποστήριξη Σήραγγας Διατομής Διπλής Γραμμής από Χ.Θ. 0 + 349 έως Χ.Θ. 0+929, Τεύχος Υπολογισμών, Αθήνα 2007
17. ΟΤΜ ΑΤΕ, Προσωρινή Υποστήριξη Σήραγγας Διατομής Τριπλής Γραμμής από Χ.Ο. 0+000 έως Χ.Ο. 0+349, Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης -Κατηγορία SC, Αθήνα 2007
18. ΟΤΜ ΑΤΕ, Προσωρινή Υποστήριξη Σήραγγας Διατομής Τριπλής Γραμμής από Χ.Ο. 0+000 έως Χ.Ο. 0+349, Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης -Κατηγορία SD, Αθήνα 2007
19. ΟΤΜ ΑΤΕ, Προσωρινή Υποστήριξη Σήραγγας Διατομής Τριπλής Γραμμής από Χ.Ο. 0+000 έως Χ.Ο. 0+349, Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης -Κατηγορία SE, Αθήνα 2007
20. ΟΤΜ ΑΤΕ, Προσωρινή Υποστήριξη Σήραγγας Διατομής Τριπλής Γραμμής από Χ.Ο. 0+000 έως Χ.Ο. 0+349, Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης -Κατηγορία SSR, Αθήνα 2007
21. ΟΤΜ ΑΤΕ, Προσωρινή Υποστήριξη Σήραγγας Διατομής Τριπλής Γραμμής από Χ.Ο. 0 + 000 έως Χ.Ο. 0+349, Μέτρα Υποστήριξης Μετώπου, Αθήνα 2007
22. ΟΤΜ ΑΤΕ, Προσωρινή Υποστήριξη Σήραγγας Διατομής Τριπλής Γραμμής από Χ.Ο. 0 + 000 έως Χ.Ο. 0+349, Συγκλίσεις και Καθιζήσεις, Αθήνα 2007
23. ΟΤΜ ΑΤΕ, Προσωρινή Υποστήριξη Σήραγγας Διατομής Διπλής Γραμμής από Χ.Ο. 0+349 έως Χ.Ο. 0+929, Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης - Κατηγορία SC, Αθήνα 2007
24. ΟΤΜ ΑΤΕ, Προσωρινή Υποστήριξη Σήραγγας Διατομής Διπλής Γραμμής από Χ.Ο. 0 + 349 έως Χ.Ο. 0+929, Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης - Κατηγορία SD, Αθήνα 2007

25. ΟΤΜ ΑΤΕ, Προσωρινή Υποστήριξη Σήραγγας Διατομής Διπλής Γραμμής από Χ.Ο. 0+349 έως Χ.Ο. 0+929, Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης - Κατηγορία SE, Αθήνα 2007
26. ΟΤΜ ΑΤΕ, Προσωρινή Υποστήριξη Σήραγγας Διατομής Διπλής Γραμμής από Χ.Ο. 0+349 έως Χ.Ο. 0+929, Μέτρα Υποστήριξης Μετώπου, Αθήνα 2007
27. ΟΤΜ ΑΤΕ, Προσωρινή Υποστήριξη Σήραγγας Διατομής Διπλής Γραμμής από Χ.θ. 0 + 349 έως Χ.Ο. 0+929, Συγκλίσεις και Καθιζήσεις
28. Σοφιανός Α., Τεχνικές Διάνοιξης Σηράγγων, Τόμος Ι, Αθήνα 2004
29. ITA AITES, Safe working in tunneling, 1989

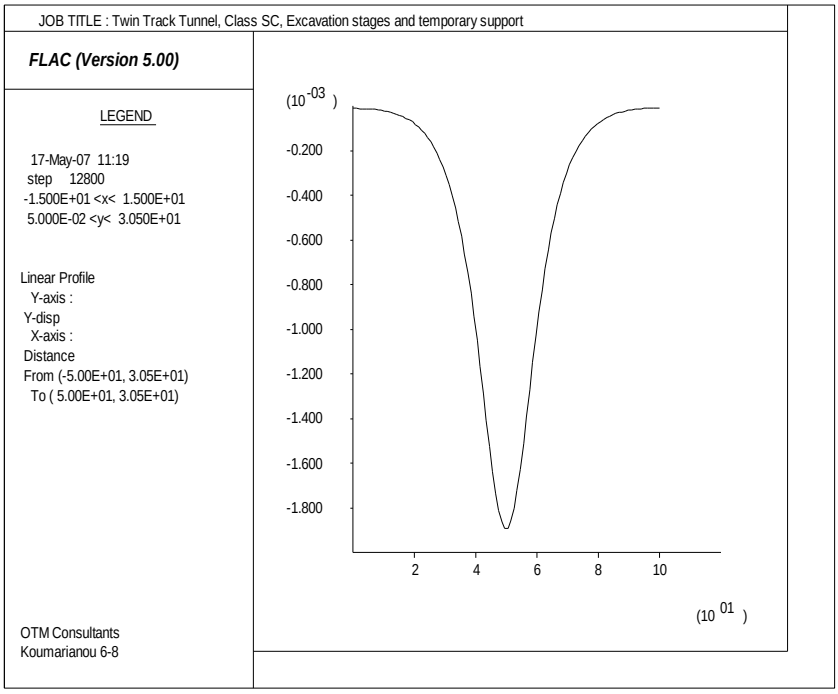
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Αποτελέσματα ανάλυσης Flac - Σήραγγα διπλής γραμμής

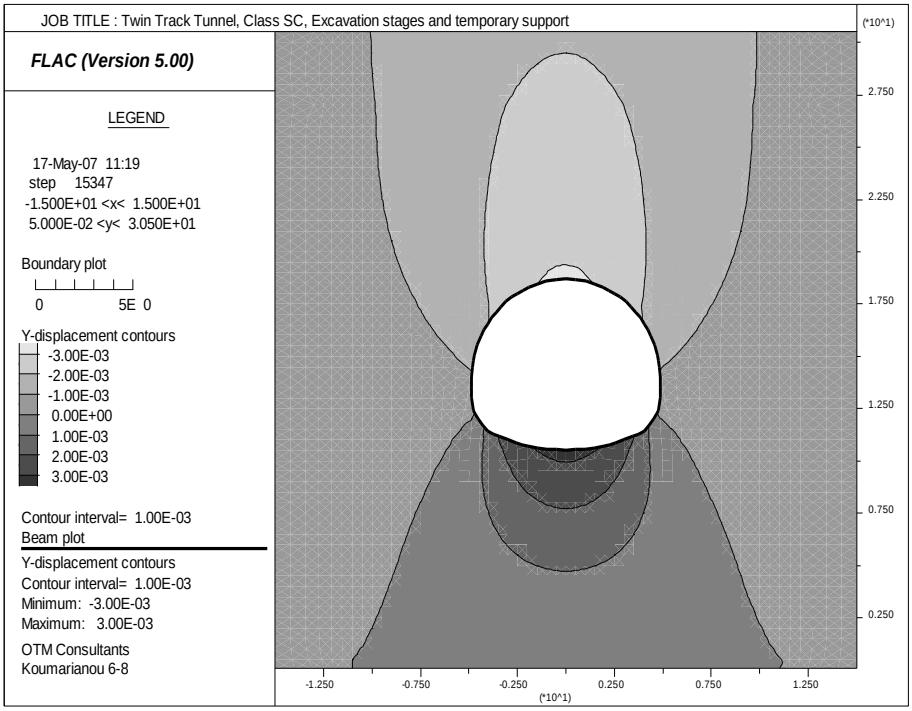
Κατηγορία ανάλυσης SC



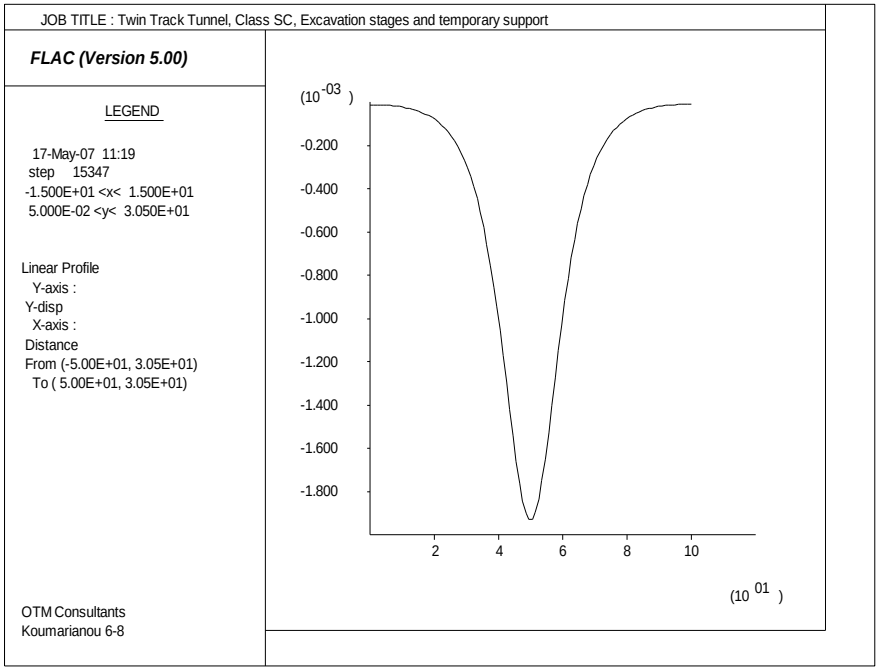
Διάγραμμα κατακόρυφων μετακινήσεων– Ολοκλήρωση θόλου



Διάγραμμα καθιζήσεων στην επιφάνεια του εδάφους– Ολοκλήρωση θόλου

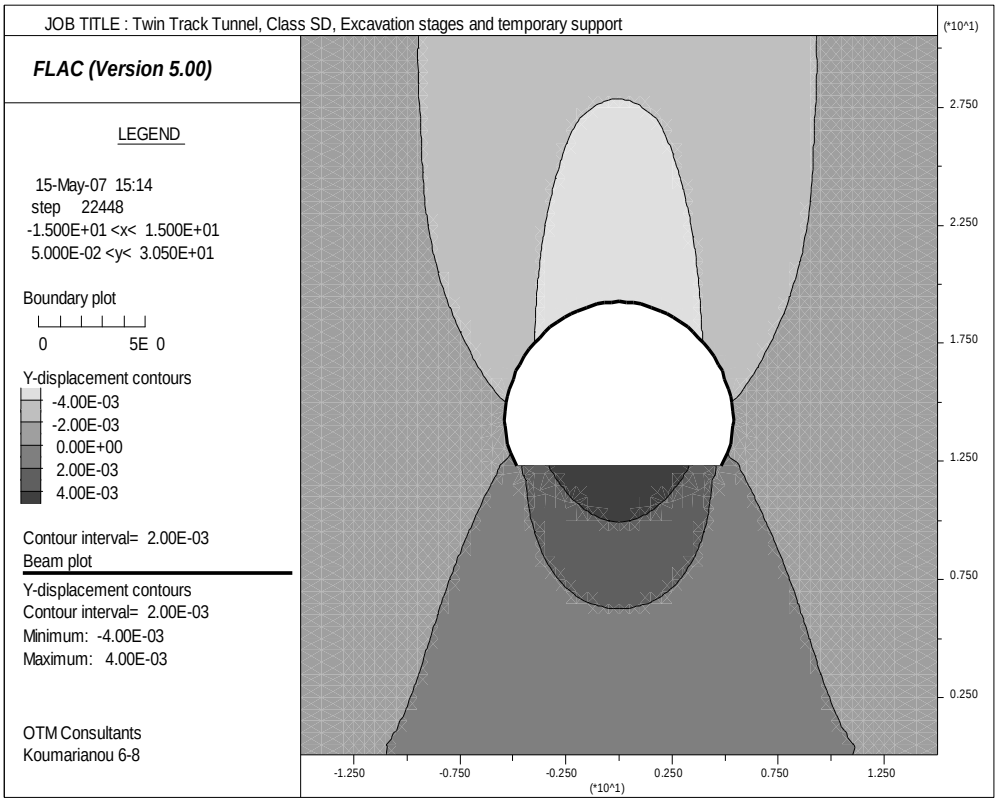


Διάγραμμα κατακόρυφων μετακινήσεων– Ολοκλήρωση διατομής

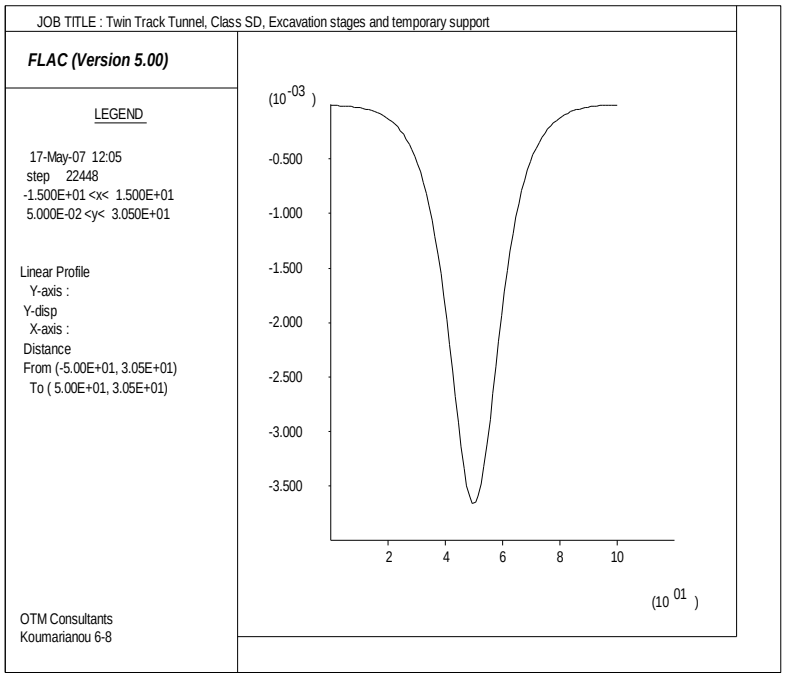


Διάγραμμα καθιζήσεων στην επιφάνεια του εδάφους– Ολοκλήρωση διατομής

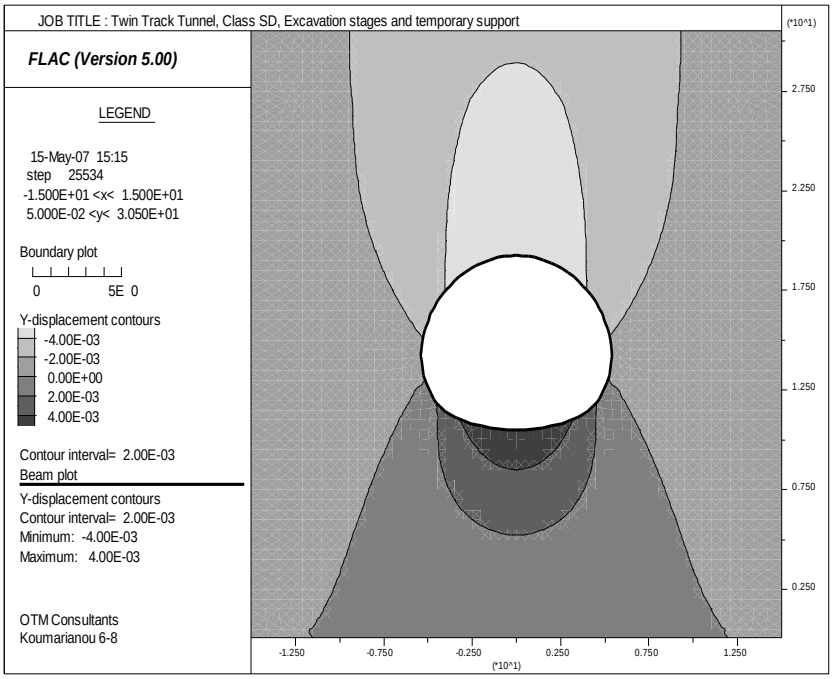
Κατηγορία ανάλυσης SD



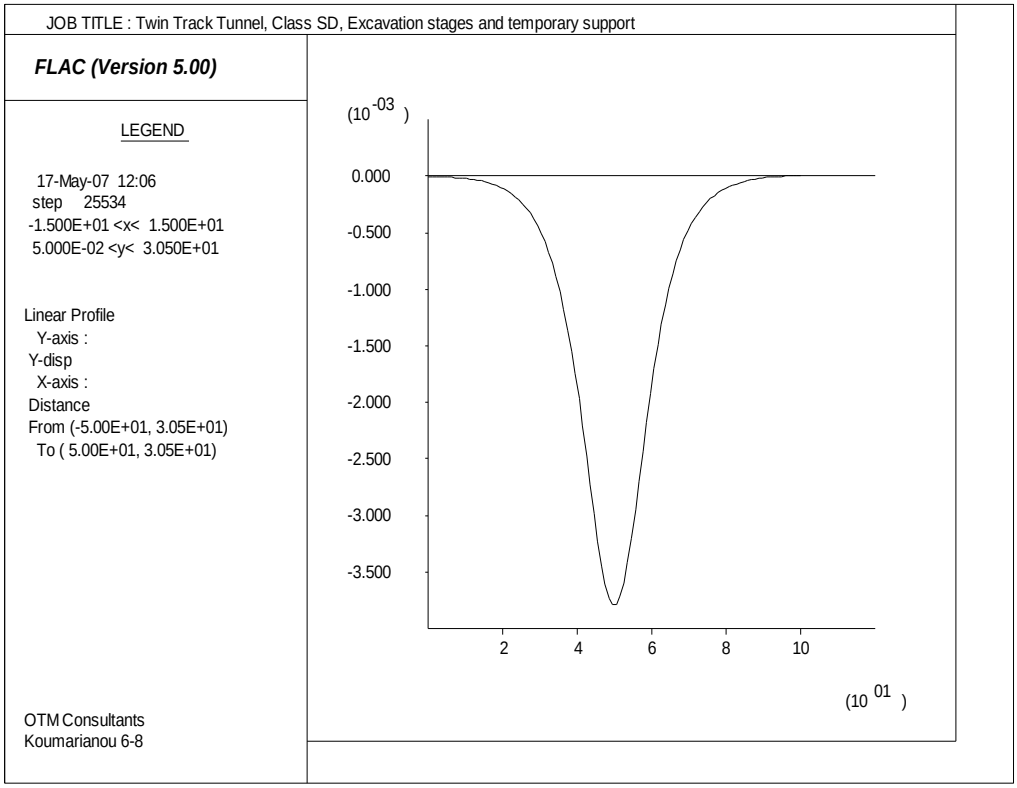
Διάγραμμα κατακόρυφων μετακινήσεων– Ολοκλήρωση θόλου



Διάγραμμα καθιζήσεων στην επιφάνεια του εδάφους– Ολοκλήρωση θόλου

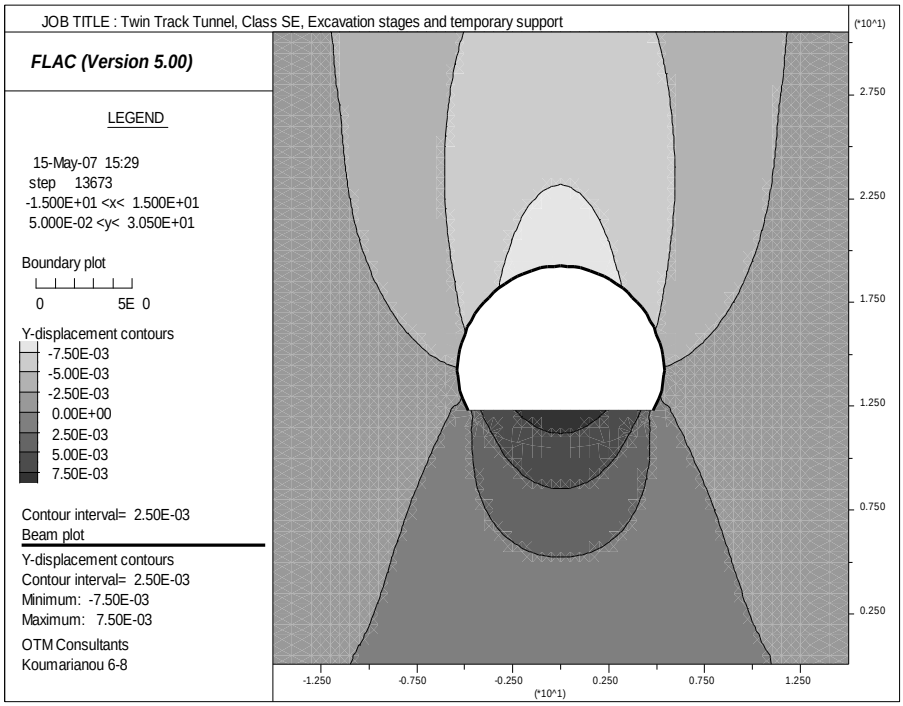


Διάγραμμα κατακόρυφων μετακινήσεων– Ολοκλήρωση διατομής

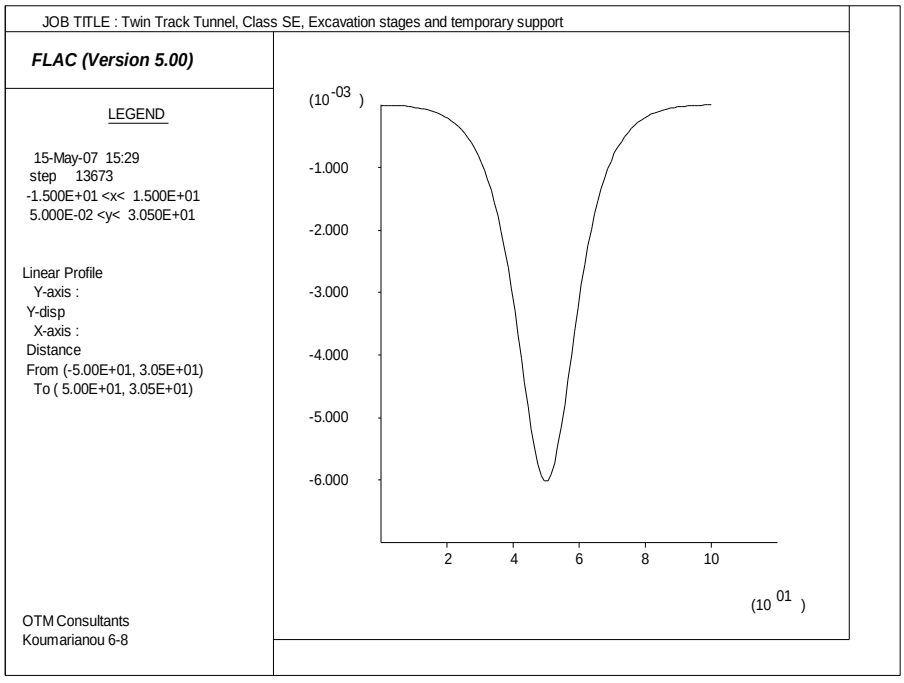


Διάγραμμα καθιζήσεων στην επιφάνεια του εδάφους– Ολοκλήρωση διατομής

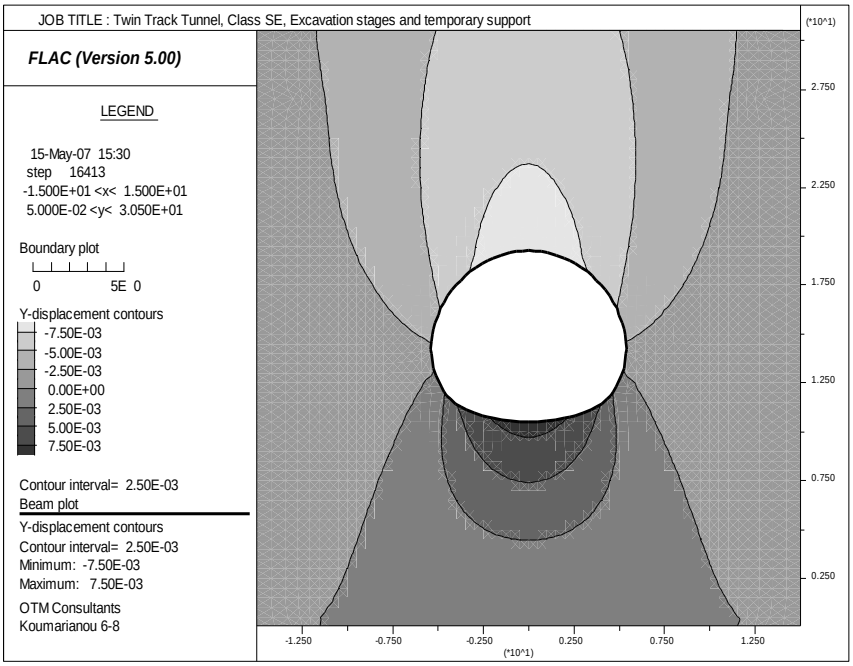
Κατηγορία ανάλυσης SE



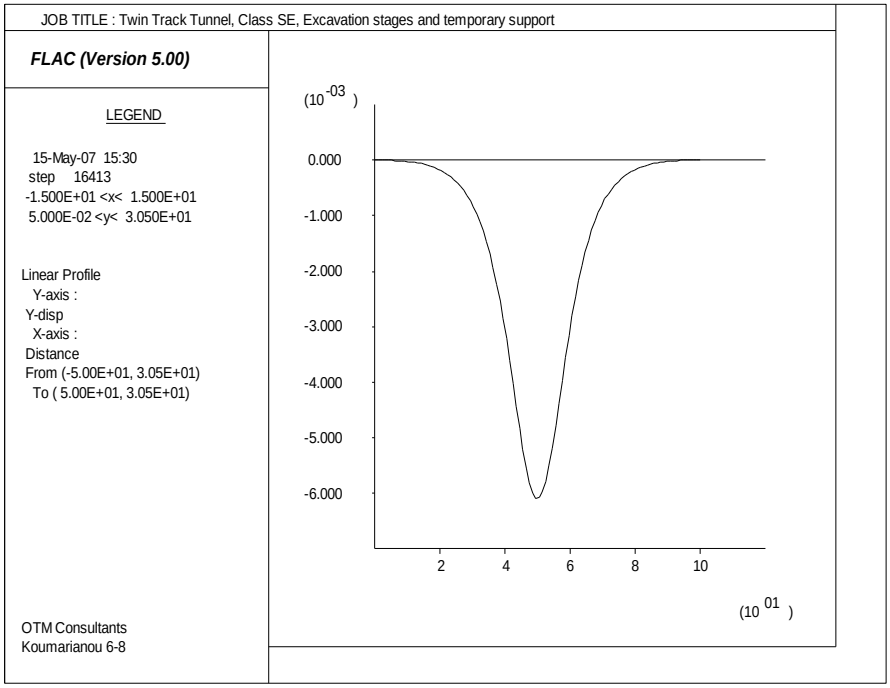
Διάγραμμα κατακόρυφων μετακινήσεων– Ολοκλήρωση θόλου



Διάγραμμα καθιζήσεων στην επιφάνεια του εδάφους– Ολοκλήρωση θόλου

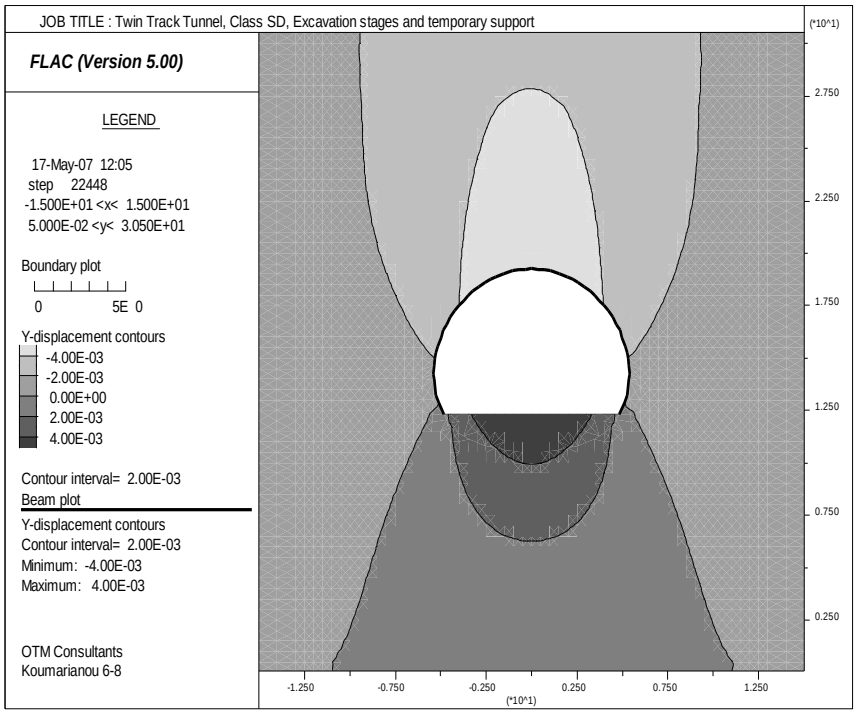


Διάγραμμα κατακόρυφων μετακινήσεων– Ολοκλήρωση διατομής

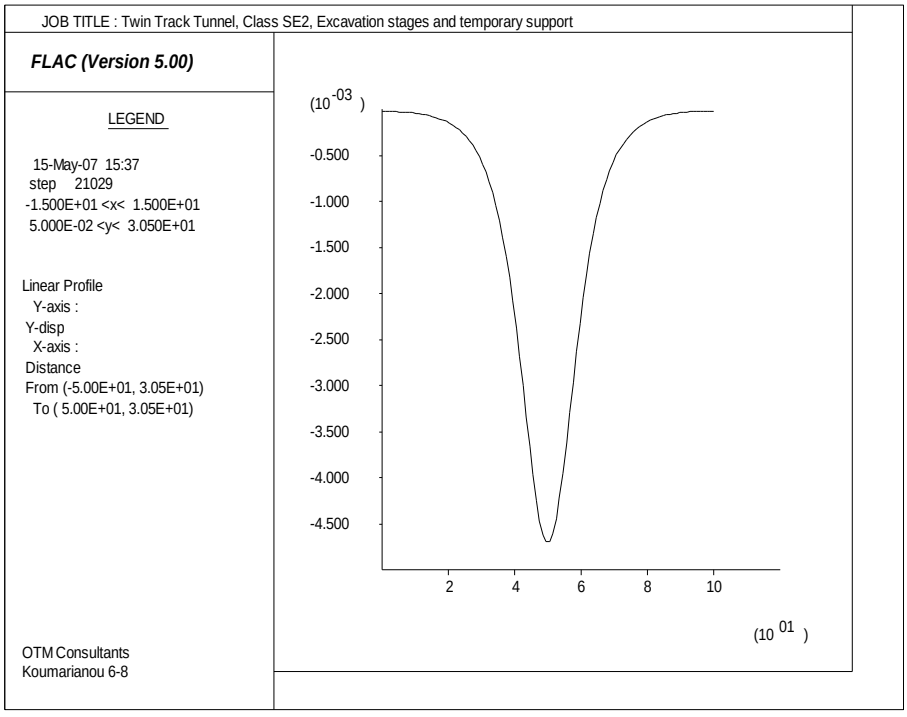


Διάγραμμα καθιζήσεων στην επιφάνεια του εδάφους– Ολοκλήρωση διατομής

Κατηγορία ανάλυσης SSR



Διάγραμμα κατακόρυφων μετακινήσεων– Ολοκλήρωση θόλου



Διάγραμμα καθιζήσεων στην επιφάνεια του εδάφους– Ολοκλήρωση θόλου