



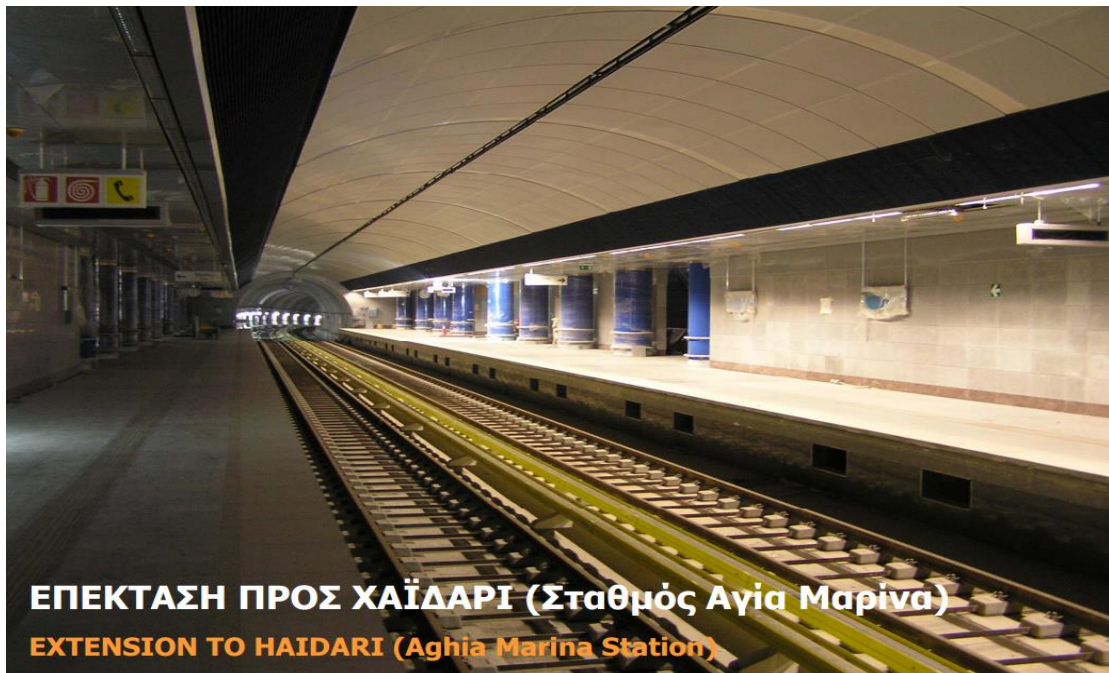
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΚΑΙ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΑΓΙΑΣ ΜΑΡΙΝΑΣ – ΑΙΓΑΛΕΩ.
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ-
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ.**



ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΠΡΟΣ ΧΑΪΔΑΡΙ (Σταθμός Αγία Μαρίνα)

EXTENSION TO HAIDARI (Aghia Marina Station)

ΠΛΙΑΤΣΙΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΣΑΚΕΛΛΑΡΗΣ ΖΗΣΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ

ΠΑΤΡΑ 2014

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα πτυχιακή αναλύεται το τεχνικό έργο που αντικείμενο του είναι η διάνοιξη του σταθμού και 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 και αναλύονται τα χρησιμοποιούμενα μέτρα προσωρινής υποστήριξης και τελικής επένδυσης της σήραγγας. Περιγράφεται επίσης ο τρόπος παρακολούθησης και μέτρησης των οριζόντιων μετακινήσεων στο εσωτερικό της σήραγγας.

Τέλος, γίνεται σύγκριση της ταξινομήσης της μάζας των πετρωμάτων κατά μήκος της σήραγγας της μεθόδου GSI που χρησιμοποιήθηκε από τους μελετητές με τη μέθοδο Bieniawski.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αρχικά γίνεται αναφορά στο σκοπό δημιουργίας του έργου και ακολουθείται συνοπτική παρουσίαση προόδου του έργου (2007-2013). Κατόπιν, στο κεφάλαιο 2 αναλύονται τα γεωτεχνικά στοιχεία σχεδιασμού για κάθε κατηγορία βραχώμαζας , γίνεται πλήρης αναφορά στα υπόγεια ύδατα που παρουσιάζονται κατά την εκσκαφή και κατηγοριοποιούνται οι γεωτεχνικές συνθήκες κατά μήκος της σήραγγας. Στη συνέχεια , στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται ολοκληρωμένη μελέτη για την κατασκευή της σήραγγας , δίνοντας έμφαση στη μεθοδολογία εκσκαφής της. Στο κεφάλαιο 4 ακολούθως , γίνεται πληρέστατη αναφορά της κατασκευής του σταθμού Χαϊδαρίου. Στο κεφάλαιο 5 , προσδιορίζονται οι οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις στο εσωτερικό της σήραγγας με τη χρήση διαφόρων οργάνων. Τέλος, στο κεφάλαιο 6 γίνεται ταξινόμηση των πετρωμάτων κατά Bieniawski και συγκρίνονται τα αποτελέσματα GSI με τα ήδη υπάρχοντα.

Πίνακας περιεχομένων	
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΩΝ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο.....	8
Εισαγωγή	8
1.1 Ο σκοπός του έργου.....	8
1.2 Συνοπτική έκθεση πορείας του έργου 2007 -2013	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο.....	17
Στοιχεία του έργου	17
2.1 Γεωτεχνικά στοιχεία	17
2.1.1 Τεκτονική μελέτη και Σεισμικότητα	20
2.1.2 Υπόγεια ύδατα	21
2.4 Γεωτεχνικές Συνθήκες Κατά Μήκος της Σήραγγας.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο.....	29
Μελέτη και κατασκευή σήραγγας.....	29
3.1 Στοιχεία της κατασκευής.....	29
3.1.1 Γεωμετρικά Στοιχεία	29
3.1.2 Κατηγορίες διατομών	30
3.1.3 Κανονισμοί	30
3.1.4 Υλικά	31
3.1.5 Μέτρα προσωρινής υποστήριξης	31
3.1.6 Κριτήρια επιλογής κατηγορίας υποστήριξης	37
3.2 Κατασκευή της Σήραγγας	42
3.2.1 Μεθοδολογία εκσκαφής σήραγγων με συμβατικά μηχανικά μέσα (N.A.T.M).....	42
3.2.2 Αντικείμενο - πεδίο εφαρμογής.....	44
3.2.3 Εκσκαφή	45
3.2.3 Διαχείριση προϊόντων εκσκαφής.....	47
3.2.4 Συστήματα και εγκαταστάσεις	48
3.2.5 Εξοπλισμός.....	49
3.2.6 Προσωπικό	50

3.2.7 Υλικά	50
3.2.8 Κατασκευαστική διαδικασία	50
3.2.9 Μεθοδολογία εγκατάστασης δοκών προπορείας.....	51
3.2.10 Μεθοδολογία κατασκευής εδαφικών ηλώσεων.....	54
3.2.11 Μεθοδολογία εκτοξευόμενου σκυροδέματος.....	57
3.2.12 Μεθοδολογία εγκατάστασης χαλύβδινων δικτυωτών / πλαισιωτών Υποστηριγμάτων	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο	64
Σταθμός Χαϊδάρη.....	64
4.1 Γενικά	64
4.2. Προσωρινή και Μόνιμη Επένδυση	65
4.3 Μέθοδος Ανοικτού Ορύγματος (Cut and Cover)	66
4.4 Υλικά	69
4.5 Τομές Σταθμού	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο	75
Οι οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις στο εσωτερικό της σήραγγας	75
5.1 Γενικά	75
5.2 Γεωμηχανική και Δομητική Παρακολούθηση (ΓΔΠ).....	76
5.2.1 Γενικά	76
5.2.2 Θέσεις τοποθέτησης οργάνων μέτρησης - ζώνη επιρροής.....	77
5.3.Γεωμηχανική και Δομητική Παρακολούθηση κατασκευών έργου	78
5.3.1 Μετρήσεις μετακινήσεων σε τρεις διαστάσεις (3D)	78
5.3.3.Μετρήσεις εισροών υδάτων	79
5.4 Γεωμηχανική και Δομητική Παρακολούθηση περιβάλλοντος εδάφους.	79
5.4.1 Μετρήσεις κατακόρυφων μετακινήσεων σε βάθος.....	79
5.4.2.Μετρήσεις οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων σε βάθος.	80
5.5 Ακολουθία διαδικασιών για τις μετρήσεις ΓΔΠ	80
5.6 Καταγραφή μετακινήσεων στις σήραγγες	81
5.7 Θέσεις τοποθέτησης οργάνων	81
5.8 Όργανα γεωτεχνικής παρακολούθησης σηράγγων.....	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο.....	86

Σύγκριση δεδομένης υπάρχουσας ταξινόμησης GSI με τη μέθοδο Bieniawski.....	86
6.1 Εισαγωγή στη μέθοδο Bieniawski	86
6.2 Ταξινόμηση κατά BIENIAWSKI (CSIR* Geomechanics Classification)	90
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	96
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	98

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΩΝ

Γεωτεχνική μηκοτομή

- Γεωλογική ,Υδρογεωλογική και Γεωτεχνική μελέτη , Γεωλογική – Γεωτεχνική μηκοτομή πρόβλεψης

Μελέτη προσωρινής αντιστήριξης σήραγγας

- Προσωρινή υποστήριξη σήραγγας διατομής διπλής γραμμής από χ.θ. 0+349 έως χ.θ. 0+929
- Προσωρινή υποστήριξη σήραγγας διατομής διπλής γραμμής από χ.θ. 0+349 έως χ.θ. 0+929,κατηγορία SC
- Προσωρινή υποστήριξη σήραγγας διατομής διπλής γραμμής από χ.θ. 0+349 έως χ.θ. 0+929,κατηγορία SD
- Προσωρινή υποστήριξη σήραγγας διατομής διπλής γραμμής από χ.θ. 0+349 έως χ.θ. 0+929,κατηγορία SE
- Προσωρινή υποστήριξη σήραγγας διατομής διπλής γραμμής από χ.θ. 0+349 έως χ.θ. 0+929,εκκίνηση διάνοιξη σήραγγας από τον θάλαμο προσβολής
- Προσωρινή υποστήριξη σήραγγας διατομής διπλής γραμμής από χ.θ. 0+349 έως χ.θ. 0+929,εκκίνηση διάνοιξη σήραγγας από το σταθμό Χαϊδαρίου

Μελέτη προσωρινής αντιστήριξης σταθμού

- Σταθμός Χαϊδαρίου προσωρινή αντιστήριξη , γενική διάταξη αντιστηρίξεων
- Σταθμός Χαϊδαρίου προσωρινή αντιστήριξη τομές 1-1 & 2-2
- Σταθμός Χαϊδαρίου προσωρινή αντιστήριξη τομές 3-3, 4-4 & 5-5

Χάραξη

- Επέκταση Αιγάλεω-Χαϊδάρι ,σχεδιασμός γραμμής χ.θ.0+000 – 0+885

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Εισαγωγή

1.1 Ο σκοπός του έργου

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. 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 Βεΐκου – 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 φθάσει 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 σημείο όπου συναντώνται τρεις Δήμοι, της Αγίας Βαρβάρας, του Αιγάλεω και του Χαϊδαρίου, 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 στο Σταθμό ΑΓΙΑ ΜΑΡΙΝΑ στο Δήμο Αγίας Βαρβάρας (Ο σταθμός έφερε αρχικά την ονομασία «Χαϊδάρι»).

ΕΡΓΑ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	ΜΗΚΟΣ (χλμ.)	ΣΤΑΘΜΟΙ
Γραμμή 2 (ΑΝΘΟΥΠΟΛΗ-ΕΛΛΗΝΙΚΟ)	38,4	37
Γραμμή 3 (ΑΓΙΑ ΜΑΡΙΝΑ-ΔΟΥΚΙΣΣΗΣ ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ)		
Γραμμή 3 (ΔΟΥΚ. ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ-ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ)	20,7	4
Συνολικά	59,1	41

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) είναι μόλις 9 λεπτά, ενώ υπάρχει η δυνατότητα απευθείας μετάβασης με άνεση, ασφάλεια και αξιοπιστία στο Αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος σε 40 λεπτά! 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 και της Αγίας Βαρβάρας και θα εξυπηρετεί συγκοινωνιακά ιδιαίτερους προορισμούς, όπως το Νοσοκομείο Λοιμωδών Νόσων, το Αττικό, το Δρομοκαΐτιο Θεραπευτήριο και τις εμπορικές επιχειρήσεις των περιοχών. Υπολογίζεται ότι η λειτουργία του Σταθμού ΑΓΙΑ ΜΑΡΙΝΑ στο Δήμο Αγίας Βαρβάρας εξυπηρετεί καθημερινά περισσότερους από 30.000 νέους επιβάτες. Το έργο της επέκτασης ΑΙΓΑΛΕΩ - ΑΓΙΑ ΜΑΡΙΝΑ (Δήμος Αγίας Βαρβάρας) περιλαμβάνει:

- τη σήραγγα της γραμμής μήκους περίπου 1,5 χλμ., η οποία διέρχεται κάτω από την Ιερά Οδό και η διάνοιξη της έγινε με τη συμβατική μέθοδο υπόγειας κατασκευής.
- το Σταθμό ΑΓΙΑ ΜΑΡΙΝΑ (Δήμος Αγίας Βαρβάρας), ο οποίος οριοθετείται στο οικοδομικό τετράγωνο της Ιεράς Οδού, Κρήνης, Κατσαρού και Αγίας Μαρίας, με δύο εισόδους / εξόδους εκατέρωθεν της Ιεράς Οδού.
- το Σταθμό Μετεπιβίβασης, ο οποίος κατασκευάστηκε ταυτόχρονα στον ίδιο χώρο με τον Σταθμό ΑΓΙΑ ΜΑΡΙΝΑ (Δήμος Αγίας Βαρβάρας) και ο οποίος

διαθέτει χωρητικότητα για στάθμευση 380 ΙΧ οχημάτων.

- το Αμαξοστάσιο στην περιοχή του Ελαιώνα, συνολικής εκτάσεως 86.000τ.μ.

1.2 Συνοπτική έκθεση πορείας του έργου 2007 -2013

Ιανουάριος 2007 – Ιούνιος 2007

- ✓ Ολοκληρώνονται οι παρακάμψεις δικτύων κοινής ωφελείας.
- ✓ Ολοκληρώθηκε σε ποσοστό 20% η αρχαιολογική ανασκαφή σε τμήμα του Σταθμού ΑΓΙΑ ΜΑΡΙΝΑ (ΧΑΪΔΑΡΙ), όπου ανακαλύφθηκαν σημαντικά αρχαιολογικά ευρήματα.
- ✓ Σε εξέλιξη βρίσκεται η εκσκαφή του Σταθμού ΑΓΙΑ ΜΑΡΙΝΑ (ΧΑΪΔΑΡΙ).
- ✓ Η διάνοιξη σήραγγας του έργου έχει ολοκληρωθεί σε ποσοστό 25%.
- ✓ Πραγματοποιήθηκαν εργασίες ενίσχυσης του υπεδάφους με σκυρόδεμα στο μέτωπο της σήραγγας με κατεύθυνση από το φρέαρ Ελ. Βενιζέλου προς το σταθμό.



Ιούλιος 2007 – Δεκέμβριος 2007

- ✓ Ολοκληρώθηκε η εκσκαφή και η προσωρινή αντιστήριξη του Σταθμού ΑΓΙΑ ΜΑΡΙΝΑ (ΧΑΪΔΑΡΙ).
- ✓ Ολοκληρώθηκε η διάνοιξη σήραγγας διπλής τροχιάς από την αρχή μέχρι το τελικό φρέαρ.



Ιανουάριος 2008 – Ιούνιος 2008

- ✓ Ολοκληρώθηκε η κατασκευή των περιμετρικών τοιχωμάτων και σε εξέλιξη βρίσκονται οι σχετικές εργασίες (25%) στο πρώτο επίπεδο του σταθμού.
- ✓ Σε εξέλιξη (33%) βρίσκονται οι εργασίες εκσκαφής της Βόρειας Εισόδου του σταθμού.
- ✓ Σε προχωρημένο στάδιο βρίσκεται η διάνοιξη σήραγγας τριπλής τροχιάς (77%).



Ιούλιος 2008 – Δεκέμβριος 2008

- ✓ Σε προχωρημένο στάδιο βρίσκονται οι εργασίες τοιχοποιίας στο Σταθμό ΑΓΙΑ ΜΑΡΙΝΑ (ΧΑΪΔΑΡΙ), ενώ σε εξέλιξη βρίσκονται οι προπαρασκευαστικές εργασίες για την κατασκευή του χώρου στάθμευσης (385 θέσεων ΙΧ οχημάτων).
- ✓ Σε εξέλιξη βρίσκονται οι εργασίες επίχωσης του σταθμού, ενώ συνεχίζονται υπογείως οι εργασίες τοιχοποιίας και στα δύο επίπεδα του Σταθμού ΑΓΙΑ ΜΑΡΙΝΑ (ΧΑΪΔΑΡΙ).



Ιανουάριος 2009 – Ιούνιος 2009

- ✓ Σε εξέλιξη βρίσκονται οι εργασίες αρχιτεκτονικών τελειωμάτων στον σταθμό ΑΓΙΑ ΜΑΡΙΝΑ (ΧΑΪΔΑΡΙ) (δάπεδα, βαφές κλπ).
- ✓ Ολοκληρώθηκαν οι εργασίες πολιτικού μηχανικού στη νότια είσοδο/έξοδο του σταθμού και ξεκινούν οι εργασίες των αρχιτεκτονικών τελειωμάτων (πλακάκια, μάρμαρα, κλπ).
- ✓ Σε τελικό στάδιο βρίσκονται οι εργασίες μόνιμης επένδυσης του θόλου της σήραγγας τριπλής τροχιάς.



Ιούλιος 2009 – Δεκέμβριος 2009

- ✓ Ολοκληρώθηκε η τοποθέτηση ανελκυστήρα στο επίπεδο διακίνησης κοινού.
- ✓ Σε εξέλιξη βρίσκεται η εγκατάσταση σιδηροτροχιών σε όλο το μήκος της επέκτασης.
- ✓ Σε εξέλιξη βρίσκονται οι αρχιτεκτονικές εργασίες στο επίπεδο αποβαθρών (τοποθέτηση ψευδοροφών).
- ✓ Σε εξέλιξη βρίσκεται η εγκατάσταση σιδηροτροχιών σε όλο το μήκος της επέκτασης.
- ✓ Πραγματοποιούνται οι εργασίες αποκατάστασης της οδού στη βόρεια πρόσβαση του Σταθμού ΑΓΙΑ ΜΑΡΙΝΑ (ΧΑΪΔΑΡΙ).



Ιανουάριος 2010 – Ιούνιος 2010

- ✓ 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.
- ✓ Σε εξέλιξη βρίσκεται η τοποθέτηση σκελετού πανέλων τοίχων στον Σταθμό ΑΓΙΑ ΜΑΡΙΝΑ (ΧΑΪΔΑΡΙ).
- ✓ Συνεχίζεται η θεμελίωση του σταθμού Μετεπιβίβασης.
- ✓ Σε εξέλιξη βρίσκεται η τοποθέτηση ανοξείδωτων μερών στις κυλιόμενες κλίμακες.



Ιούλιος 2010 – Δεκέμβριος 2010

- ✓ Σε εξέλιξη βρίσκονται οι εργασίες ανέγερσης ανοξείδωτου στεγάστρου της κυρίας εισόδου.
- ✓ Ολοκληρώθηκε η κατασκευή της πλάκας οροφής του 2ου ορόφου του χώρου

- στάθμευσης.
- ✓ Σε προχωρημένο στάδιο βρίσκεται η εγκατάσταση ψευδοροφών στο επίπεδο διακίνησης επιβατών.
 - ✓ Ολοκληρώθηκαν τα έργα πολιτικού μηχανικού στον χώρο στάθμευσης δίπλα από τον Σταθμό, ο οποίος με 4 επίπεδα θα εξυπηρετεί τις ανάγκες στάθμευσης 383 Ι.Χ. οχημάτων.
 - ✓ Ολοκληρώθηκε η εγκατάσταση γρανιτών στο επίπεδο αποβαθρών του σταθμού, ενώ ξεκίνησαν οι εργασίες αποκατάστασης του εργοταξιακού χώρου.



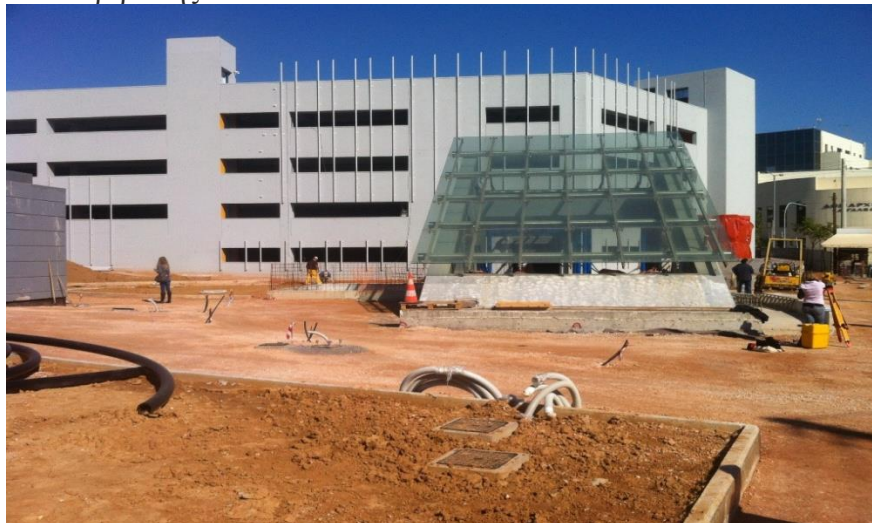
Ιανουάριος 2011 – Ιούνιος 2011

- ✓ Ολοκληρώθηκαν οι εργασίες μόνωση οροφής στο χώρο στάθμευσης ΙΧ οχημάτων για μετεπιβίβαση στο Μετρό.
- ✓ Σε στάδιο ολοκλήρωσης βρίσκονται οι εργασίες αρχιτεκτονικών τελειωμάτων στις εισόδους/εξόδους του Σταθμού.
- ✓ Σε προχωρημένο στάδιο βρίσκεται η αποκατάσταση της οδού Αγ.Μαρίνας καθώς και της οδού Κρήνης, οι οποίες παλαιότερα ήταν μέρος του εργοταξιακού χώρου του Μετρό.
- ✓ Τοποθετήθηκαν οι πίνακες ενημέρωση των επιβατών στο επίπεδο αποβαθρών του σταθμού.



Ιούλιος 2011 – Δεκέμβριος 2011

- ✓ Η πρόοδος κατασκευής της επέκτασης φθάνει σήμερα το 95%.
- ✓ Σε εξέλιξη βρίσκεται η τοποθέτηση σκελετού περσίδων όψεις στο σταθμό Μετεπιβίβασης ΑΓΙΑ ΜΑΡΙΝΑ στο Δήμο Αγίας Βαρβάρας.
- ✓ Σε προχωρημένο στάδιο βρίσκεται η διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου του Σταθμού.
- ✓ Σε εξέλιξη βρίσκεται η κατασκευή δαπέδων ράμπας εισόδου στον Σταθμό Μετεπιβίβασης.



Φεβρουάριος 2012

- ✓ Το έργο της επέκτασης του μετρό προς Αγ. Μαρίνα στο Δήμο Αγίας Βαρβάρας έχει σήμερα ολοκληρωθεί. Μοναδική εκκρεμότητα αποτελεί η εγκατάσταση του συστήματος σηματοδότησης των συρμών από την εταιρεία SIEMENS.



Μάρτιος 2012 – Νοέμβριος 2013

- ✓ Εγκατάσταση του συστήματος σηματοδότησης των συρμών - Δοκιμαστική Λειτουργία.

Δεκέμβριος 2013 (συγκεκριμένα 13/12/2013)

- ✓ Εγκαίνια σταθμού ΑΓΙΑ ΜΑΡΙΝΑ.
- ✓ Την επομένη παραδίδεται στο επιβατικό κοινό.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Στοιχεία του έργου

2.1 Γεωτεχνικά στοιχεία

Η φύση των σχηματισμών που απαντώνται κατά μήκος του έργου συνήθως δεν δίνει τη δυνατότητα αδιατάρακτης δειγματοληψίας της βραχώμαζας 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 μετρηθείσων τιμών από τις εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές, στις βαθμονομήσεις της βραχώμαζας με λήψη κατάλληλων παραμέτρων σχεδιασμού και σε εμπειρικές συσχετίσεις και εκτιμήσεις. 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.

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:

- i. Εμπειρικές εκτιμήσεις.
- ii. Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών.
- iii. Από τη βαθμονόμηση της βραχώμαζας βάσει του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής (GSI) του ρηγματωμένου βράχου.

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 ποσοτικοποιούνται 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 επιβαλλόμενων παραμορφώσεων, κατασκευαστικές ανοχές, διαθέσιμο περιθώριο αντοχής εδάφους, διαθεσιμότητα οργάνων

παρακολούθησης, χρονικό περιθώριο προειδοποίησης 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 φτωχές σε καλύτερες γεωτεχνικές συνθήκες) όπως παρουσιάζεται ακολούθως στους πίνακες.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	
A	G.S.I > 45
B	G.S.I 35 – 45
Γ	G.S.I 25 – 35
Δ	G.S.I 20 – 25
E	G.S.I 15 – 20
M.B./SR	G.S.I < 15

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	
Επιφανειακό έδαφος (engineering soil)	(1) Τεχνητές επιχώσεις γενικώς. (2)Εδαφικοί σχηματισμοί με τιμές NSPT : <ul style="list-style-type: none"> • Συνεκτικοί : NSPT < 15 • Μη συνεκτικοί : NSPT < 30
Στιφρό έδαφος (stiff soil)	Εδαφικοί σχηματισμοί με τιμές NSPT: <ul style="list-style-type: none"> • Συνεκτικοί : 15 < NSPT < 30 • Μη συνεκτικοί : NSPT > 30
Σκληρό έδαφος (hard soil)	Συνεκτικοί εδαφικοί σχηματισμοί και πλήρως εξαλλοιωμένοι βραχώδεις σχηματισμοί με τιμές NSPT : 30 < NSPT < 50
Μαλακός Βράχος (semi-rock)	Πολύ σκληροί συνεκτικοί εδαφικοί σχηματισμοί και πλήρως εξαλλοιωμένοι βραχώδεις σχηματισμοί με τιμές NSPT > 50

<p>ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΟΥΣ ΒΡΑΧΟΥΣ (Hoek and Marinos, 2000)</p> <p>Βασίζονται στην εμφάνιση της βραχώδους (περιγραφή δομής και κατάσταση επιφάνειας ασυνεχειών) εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI, χωρίς υποχρεωτικά μεγάλη ακρίβεια. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 ως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι GSI=35. Σημειώνεται ότι ο Πίνακας δεν εφαρμόζεται σε κинηματικά ελεγχόμενες αστάθειες. Στην περίπτωση που οι ασθηνείς επιπέδους επιφάνειες έχουν μη ευνοϊκό προσανατολισμό σε σχέση με το πρηνές εκσκαφής, τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχώδους. Η διατμητική αντοχή επιφανειών σε βράχους που υπόκεινται σε εξασθένηση λόγω διακύμανσης της περιεκτικότητας σε υγρασία, είναι περαιτέρω μειωμένη όταν υπάρχει νερό. Όταν, οι βραχώδεις ανήκουν στις μέτριες έως πτωχές κατηγορίες και υπάρχει νερό τότε μετακινούμαστε προς τα δεξιά. Η υδροστατική πίεση λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων.</p> <p>ΔΟΜΗ</p>	<p>ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ</p> <p>ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχιές, μη αποσφραγισμένες επιφάνειες</p> <p>ΚΑΛΗ Τραχιές, ελαφρά αποσφραγισμένες και σφραγισμένες επιφάνειες</p> <p>ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσφραγισμένες και εφελκυσμένες επιφάνειες</p> <p>ΠΤΩΧΗ Επιφανείες ολίσθησης, πολύ αποσφραγισμένες με συστηματική επιφράκιματα ή υλικό πλήρωσης με κοιλύδα βραχόμαζα</p> <p>ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Επιφανείες ολίσθησης, πολύ αποσφραγισμένες με μονακό οργάνω υλικό πλήρωσης</p>			
<p>INTACT OR MASSIVE - Αρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνεχείες σε μεγάλη απόσταση</p> <p>BLOCKY - Αδιατάρακτη βραχώδης με πολύ καλό αλληλοκλειδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών</p> <p>VERY BLOCKY- Μερικώς διαταραγμένη βραχώδης με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών</p> <p>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας</p> <p>DISINTEGRATED - Ισχυρά κερματισμένη βραχώδης με πτωχό αλληλοκλειδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστρωγυλωμένων τεμαχίων</p> <p>LAMINATED/SHEARED - Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθηνής βραχώδης. Η σχιστότητα επικρατεί έναντι οποιασδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιωδών τεμαχίων</p>	<p>ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ</p> <p>90</p> <p>80</p> <p>70</p> <p>60</p> <p>50</p> <p>40</p> <p>30</p> <p>20</p> <p>10</p> <p>ΜΕΙΩΜΕΝΟ ΑΝΩ ΟΚΟΓΕΝΕΙΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ</p>		<p>N/A</p> <p>N/A</p>	<p>N/A</p> <p>N/A</p>

Σχήμα 1. Το βασικό διάγραμμα του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής GSI

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των βραχωδών σχηματισμών που συναντήθηκαν είναι αυτή του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής (GSI). Η μέθοδος αυτή, η οποία προτάθηκε από τους Hoek et al (1998), βασίζεται στη μακροσκοπική περιγραφή των χαρακτηριστικών της βραχώδους (περιγραφή της δομής και της κατάστασης των ασυνεχειών) και χρησιμοποιείται ευρέως σε ρηγματωμένους βραχώδεις σχηματισμούς. Μ' αυτή τη μέθοδο μπορούν να περιγράψουν 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 βραχώμαζα, 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+504,535 έως Χ.Θ. 0+900

Ο περιβάλλον 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 περιβάλλον 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 μελέτη και Σεισμικότητα

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

48/278 (διεύθυνση 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 αφορούν 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 Χαϊδαρίου στο τέλος του υπό 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 παρακάτω 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, έχουν κλίση προς τα Δ, ΝΔ, ενώ στα δυτικά προς το τέλος του τμήματος μετά την εμφάνιση των νεογενών έχουν κλίση προς τα Α, ΒΑ.

Όπως προκύπτει τέλος από τους πυρήνες των γεωτρήσεων στα νεογενή οι κλίσεις των στρώσεων είναι σχετικά ήπιες μέχρι 30° . 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 υπό μελέτη έργα κατατάσσονται κατά τον Κανονισμό (ως έδαφος θεμελίωσης) στην κατηγορία Α.

2.1.2 Υπόγεια ύδατα

Τα Γεωτεχνικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό, προέρχονται από γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά μήκος της σήραγγας. Με βάση τις 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 στον ακόλουθο πίνακα:

Χ.Θ. 0+504.535

ΓΕΩΡΤΗΣΗ	Ανώτερη μετρηθείσα στάθμη Υπογείων υδάτων		Κατώτερη μετρηθείσα στάθμη Υπογείων υδάτων	
	Βάθος στάθμης υπογείων υδάτων (m)	Βάθος στάθμης υπογείων υδάτων (m)	Βάθος στάθμης υπογείων υδάτων (m)	Βάθος στάθμης υπογείων υδάτων (m)
ΒΑΤΡG01 (+42,33m)	5,30	+37,03	6,34	+35,99
BP 3330 (+42,96m)	3,42	+39,54	11,30	+31,66
BP 3301 (+42,96m)	2,35	+38,08	4,00	+36,43
ΒΑΤΡG02 (+42,88m)	4,20	+38,68	6,10	+36,78
BP 3302 BR 3337 (+42,98m)	3,35	+39,63	5,10	+37,88
BP 3303 (+44,23m)	3,00	+41,23	4,80	+39,43
BP 3305 (+47,35m)	4,00	+43,35	5,30	+42,05

X.Θ. 0+929,13

ΓΕΩΡΤΗΣΗ	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)
BP 3306 (+48,59m)	3,90	+44,69	5,20	+43,39
BATPG03 (+49,43m)	3,76	+45,67	6,20	+39,47
BP 3308 (+53,04m)	5,00	+48,04	9,00	+44,04
BP 3333 (+54,95m)	5,69	+49,26	10,60	+44,35
BP 3309 (+56,77m)	4,50	+52,27	6,20	+50,57
BP 3310 (+58,76m)	3,40	+55,36	4,70	+54,06

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 -2,35 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 (X.Θ. 0+504,54 έως X.Θ. 0+890 περίπου), η στάθμη των υπογείων υδάτων κυμαίνεται από -2,35 έως -5,70m, κάτω από το φυσικό έδαφος ενώ στο υπόλοιπο κομμάτι της χάραξης στο οποίο η σήραγγα διανοίγεται μέσα στους σχηματισμούς του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου (X.Θ.

0+890 περίπου έως Χ.Θ. 0+929,13), η στάθμη των υπογείων υδάτων κυμαίνεται από -3,40 έως -5,70m, 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.

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+504,535 έως 0+929,13 περίπου), είναι δυνατόν να χωριστεί στα παρακάτω υποτμήματα. Στο πρώτο και εκτενέστερο υποτμήμα, το οποίο εκτείνεται από Χ.Θ. 0+504,535 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 έκταση 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 Αθηναικούς 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 Αθηναικού Σχιστολίθου, δηλαδή εντός των μεταψαμμιτών, αλλά και με αναμενόμενες λεπτές ενστρώσεις μεταίλυοιλιθων.

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 βραχώμαζας 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 βραχώμαζας 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 BP3333 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 σχιστόλιθου.

Σε μεγαλύτερο βάθος συναντάται ο ανώτερος ορίζοντας που συνίσταται από εναλλαγές κυρίως μεταψαμμιτών και μεταίλλουλιθων, κυμαινόμενης ποιότητας και αντοχής. Στην εξεταζόμενη περιοχή της σήραγγας οι σχηματισμοί που αναμένονται συνίστανται κυρίως σε ασβεστιτικούς μεταψαμμίτες, με πιθανές λεπτές ενστρώσεις μεταίλλουλιθων και χαρακτηρίζονται κυρίως ως ασθενούς έως μέτρια ασθενούς αντοχής ενώ βάσει των γειτονικών γεωτρήσεων BP3307 και BP3304 θεωρείται πιθανό να συναντηθούν προς την πλευρά του σταθμού και στρώσεις σχιστόλιθων 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 διάνοιξη της είναι :

Χ.Θ.	ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ
0+504,535 - 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:

ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΓΕΩΥΛΙΚΩΝ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
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 εσωραχίου 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 υποβιβασμούτων 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 σιηράγγων, 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 σιηράγγων. 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 σιηράγγων.

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 σιηράγγων που διανοίγονται μέσα στον Αθηναϊκό Σχιστόλιθο και στα Νεογενή, δεν αποτελούν ένδειξη στραγγιζόμενων 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 σιηράγγων 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 υπερिशύουν.

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).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Μελέτη και κατασκευή σήραγγας

3.1 Στοιχεία της κατασκευής

3.1.1 Γεωμετρικά Στοιχεία

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 $H = 20,50 - 11,50m$ 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 $H = 12,00 - 13,00m$ περίπου. Περί την Χ.Θ. 0+820, όπου η χάραξη προσεγγίζει τον Σταθμό Χαϊδαρίου, η χάραξη μηκοτομικά γίνεται περίπου οριζόντια και το ύψος του υπερκείμενου 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 βραχώμαζας 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.

3.1.2 Κατηγορίες διατομών

Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των διατομών διάνοιξης είναι τα εξής:

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

Η κατηγορίας **SD** εφαρμόζεται σε περιοχές όπου η βραχώμαζα 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 βραχώμαζα 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 βραχώμαζα 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**.

3.1.3 Κανονισμοί

- Ελληνικός Κανονισμός οπλισμένου Σκυροδέματος (Ε.Κ.).Σ.-2000) ΦΕΚ

1329/B/06.11. 00, όπως τροποποιήθηκε (ΦΕΚ 447/B/05.04.04)

- Ελληνικός Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ.-1997) ΦΕΚ 315/B/17.04.97, όπως τροποποιήθηκε (Απόφαση Δ14/50504-ΦΕΚ 537/B/01.05.02)

- Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος (Κ.Τ.Χ.-2000) ΦΕΚ 381/B/24.03.00.

3.1.4 Υλικά

ΥΛΙΚΑ	ΠΟΙΟΤΗΤΑ	ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ
Οπλισμένο σκυρόδεμα (μόνιμες κατασκευές)	C 30/37	03310
Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	C 25/30	03361
Δομικός χάλυβας	Fe 360	02311
Χάλυβας οπλισμών	S 500s	03211
Δομικό πλέγμα	S 500s	03220
Χαλύβδινα δικτυωτά πλαίσια	S500s	02312
Σωλήνες δοκών προπορείας	Fe 360	02313
Αυτοδιατρώμενα αγκύρια	R30/11	02167
Αγκύρια υαλοινών	FB 4x60 Φ.Ι. 240KN	02167

3.1.5 Μέτρα προσωρινής υποστήριξης

Για το σχεδιασμό της σήραγγας, έγινε θεώρηση των Γεωτεχνικών Τομών Σχεδιασμού που καλύπτουν επαρκώς το σύνολο του μήκους της σήραγγας. 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.

Κατηγορίες υποστήριξης σήραγγας διατομής διπλής γραμμής

Κατηγορία SC

Η διάνοιξη της σήραγγας στον Βράχο κατηγορίας Γ των νεογενών και των αθηναϊκών σχιστόλιθων 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 T188 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.

Στην Α' φάση εκσκαφής ακολουθείται η παρακάτω διαδοχή εργασιών προσωρινής υποστήριξης:

- Προπαρασκευαστικές εργασίες ,όπου γίνεται διάτρηση αποστραγγιστικών οπών στο μέτωπο με Φ53 και L=8,00 m
- Εκσκαφή θόλου με βήμα εκσκαφής 1,50 m , που περιλαμβάνει:
 1. Διάτρηση βαθμίδας σταθεροποίησης μετώπου
 2. Εφαρμογή της 1^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους d=0,04 m
 3. Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188 ποιότητας S 500s έξω παρειάς
 4. Επιμελής διαμόρφωση των επιφανειών έδρασης των χαλύβδινων πλαισίων LG 110-18/25 ποιότητας S 500s , @1,50 m
 5. Εφαρμογή 2^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους d = 0,17 m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188
 6. Εκσκαφή επόμενου βήματος (X+1)
 7. Τοποθέτηση αυτοδιατρώμενων αγκυρίων στο θόλο R30/11 , L=3,00 m # 2,00 x 1,50 πεσσοειδώς
 8. Διάτρηση αποστραγγιστικών οπών Φ53 , L = 5m ,όπου απαιτούνται
 9. Τοποθέτηση αυτοδιατρώμενων αγκυρίων στο τοίχωμα (2 αγκύρια R30/11 , L=6,00 m @1,50m και 4 αγκύρια R30/11 , L=6,00 m)
 10. Τοποθέτηση οπλισμών έδρασης κελύφους (Λ2)
 11. Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188 και ποιότητας S 500s έσω παρειάς

12. Εφαρμογή 3^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους $d=0,04$ m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188
13. Συμπλήρωση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους $d=0,10$ m για την πλήρωση υπερεκσκαφών, όπου απαιτείται
14. Εφαρμογή πρόσθετων μέτρων εάν απαιτείται (αναλόγως συμπεριφοράς ανοίγματος) .

Αντοίσιχα η Β' φάση εκσκαφής με βήμα εκσκαφής 4,50 m περιλαμβάνει :

- Εκσκαφή βαθμίδας και δαπέδου ανεστραμμένου θόλου Β' φάσης – απόσταση μεταξύ βημάτων $X - Y < 13,50$ m, όπου ακολουθείται η εξής διαδοχή :
 1. Τοποθέτηση πλέγματος T188 και ποιότητας S 500s στο δάπεδο ανεστραμμένου θόλου.
 2. Σκυροδέτηση δαπέδου ανεστραμμένου θόλου με εκτοξευμένο σκυρόδεμα με βήμα σκυροδέτησης 4,50 m και πάχους $d= 0,25$ m.
 3. Εκσκαφή επόμενου βήματος ($Y + 1$).
 4. Εφαρμογή πρόσθετων μέτρων εάν απαιτείται (αναλόγως συμπεριφοράς ανοίγματος).

Όσο αναφορά τα μέτρα αντιμετώπισης απρόοπτης συμπεριφοράς στο ήδη διανοιχθέν τμήμα έχουμε τα εξής :

- ✓ Διάτρηση αποστραγγιστικών οπών.
- ✓ Ενίσχυση του κελύφους της επένδυσης με πρόσθετες στρώσεις εκτοξευμένου σκυροδέματος οπλισμένου με δομικό πλέγμα.
- ✓ Πρόσθετες αγκυρώσεις.
- ✓ Κατασκευή μικροπασσάλων στην περιοχή έδρασης των πλαισίων.

Επιπλέον στο υπό διάνοιξη τμήμα τα μέτρα αντιμετώπισης που συναντάμε είναι :

- ✓ Μετάβαση σε βαρύτερη κατηγορία προυποστήριξης μετώπου.
- ✓ Προσθήκη ραβδών προαγκύρωσης.
- ✓ Μείωση της απόστασης σκυροδέτησης του δαπέδου ανεστραμμένου θόλου από το μέτωπο διάνοιξης.
- ✓ Μετάβαση σε βαρύτερη κατηγορία μέτρων υποστήριξη.

Κατηγορία SD

Η διάνοιξη της σήραγγας στον Βράχο Δ, των νεογενών και των αθηναϊκών σχιστόλιθων γίνεται με εφαρμογή της κατηγορίας SD. Σε αυτές τις κατηγορίες η βραχόζα εκδηλώνει τοπικά τάσεις αστάθειας στο ανυποστήρικτο τμήμα που οδηγούν σε υπερεκσκαφές αλλά και κατά θέσεις σε μικρές αστοχίες. Αυτές υποβοηθούνται 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 (forepolling) $0 > 76/63$ 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 T188 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.

Στην Α' φάση εκσκαφής ακολουθείται η παρακάτω διαδοχή εργασιών προσωρινής υποστήριξης:

- Εξασφάλιση μετώπου εκσκαφής με βήμα εφαρμογής 9,60m
 1. Προενίσχυση θόλου διατομής με 27 δοκούς προπορείας $\Phi 76/63$, $L=12,00\text{ m} / 9,60\text{ m}$ υπό γωνία 6° (forepolling) @0,40 m (για τόξο 118°).
 2. Τοποθέτηση 25 αγκυρίων υαλοινών (fiberglass) FB 4x60 Φ .I. 240 KN , $L=12,00\text{ m} / 9,60\text{ m}$.
 3. Διάτρηση αποστραγγιστικών οπών στο μέτωπο $\Phi 53$, $L=12,00\text{ m} / 9,60\text{ m}$ (όπου απαιτούνται).

- Εκσκαφή θόλου με βήμα εκσκαφής 1,20 m
 1. Διάτρηση βαθμίδας σταθεροποίησης μετώπου.
 2. Εφαρμογή 1^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους $d=0,05\text{m}$.
 3. Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188 με ποιότητα S 500s έξω παρειάς.
 4. Επιμελής διαμόρφωση των επιφανειών έδρασης των χαλύβδινων πλαισίων.
 5. Τοποθέτηση χαλύβδινων δικτυωτών πλαισίων LG 115-20/28, ποιότητας S 500s , @1,20 m.
 6. Εφαρμογή 2^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους $d=0,20\text{ m}$ οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188.
 7. Εκσκαφή επόμενου βήματος (X+1).
 8. Τοποθέτηση αυτοδιατρώμενων αγκυρίων (2 αγκύρια R30/11 , $L=6,00\text{ m}$ @1,20 m πεσσοειδώς , 4 αγκύρια R30/11 , $L=6,00\text{m}$ @ 1,20 m).
 9. Διάτρηση αποστραγγιστικών οπών $\Phi 53$, $L=5,00\text{m}$ (όπου απαιτούνται).
 10. Τοποθέτηση οπλισμών έδρασης κέλφους ($\Lambda 2$).
 11. Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188 , ποιότητας S 500s έσω παρειάς.
 12. Εφαρμογή 3^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους $d = 0,05\text{ m}$ οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188.
 13. Συμπλήρωση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους $d=0,10\text{ m}$ για την πλήρωση υπερεκσκαφών (όπου απαιτείται).
 14. Εφαρμογή πρόσθετων μέτρων εάν απαιτείται (αναλόγως συμπεριφοράς ανοίγματος).

Αντοίσιχα η Β' φάση εκσκαφής με βήμα εκσκαφής 6,00 m περιλαμβάνει :

- Εκσκαφή βαθμίδας και δαπέδου ανεστραμμένου θόλου Β΄ φάσης – απόσταση μεταξύ βημάτων $X - Y < 9,60$ m, όπου ακολουθείται η εξής διαδοχή :
 1. Τοποθέτηση πλέγματος T188 και ποιότητας S 500s στο δάπεδο ανεστραμμένου θόλου.
 2. Σκυροδέτηση δαπέδου ανεστραμμένου θόλου με εκτοξευμένο σκυροδέμα με βήμα σκυροδέτησης 6,00 m και πάχους $d = 0,30$ m.
 3. Εκσκαφή επόμενου βήματος (Y +1).
 4. Εφαρμογή πρόσθετων μέτρων εάν απαιτείται (αναλόγως συμπεριφοράς ανοίγματος).

Όσον αφορά τα μέτρα αντιμετώπισης απρόοπτης συμπεριφοράς στο ήδη διανοιχθέν τμήμα έχουμε τα εξής :

- ✓ Διάτρηση αποστραγγιστικών οπών.
- ✓ Ενίσχυση του κελυφους της επένδυσης με πρόσθετες στρώσεις εκτοξευμένου σκυροδέματος οπλισμένου με δομικό πλέγμα μέχρι την πλήρωση της οδόντωσης του forerolling.
- ✓ Πρόσθετες αγκυρώσεις.
- ✓ Κατασκευή μικροπασσάλων στην περιοχή έδρασης των πλαισίων.

Επιπλέον στο υπό διάνοιξη τμήμα τα μέτρα αντιμετώπισης που συναντάμε είναι :

- ✓ Μετάβαση σε βαρύτερη κατηγορία προυποστήριξης μετώπου.
- ✓ Μείωση της απόστασης σκυροδέτησης του δαπέδου ανεστραμμένου θόλου από το μέτωπο διάνοιξης.
- ✓ Μετάβαση σε βαρύτερη κατηγορία μέτρων υποστήριξης.

Κατηγορία SE

Η διάνοιξη της σήραγγας στις πιο χαμηλές κατηγορίες βραχώμαζας, δηλαδή στον Βράχο E 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 βραχώμαζα κατηγορίας Μαλακού Βράχου. Σε αυτές τις κατηγορίες ή βραχώμαζα, που τα μηχανικά της χαρακτηριστικά είναι υποβαθμισμένα, εκδηλώνει συστηματικότερες τάσεις αστάθειας στο ανυποστηρίκτο 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 υποβοηθούνται και από την παρουσία ασυνεχειών (στρώση - σχιστότητα – slickensides) με δυσμενή προσανατολισμό, οδηγούν σε γενικευμένες αστάθειες ιδιαίτερα στους αθηναϊκούς σχιστολίθους 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 (forerolling) Φ114/101 μήκους 12,0m ανά 9,0m υπό γωνία 7,2°. 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 T188 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.

Στην Α' φάση εκσκαφής ακολουθείται η παρακάτω διαδοχή εργασιών προσωρινής υποστήριξης:

- Εξασφάλιση μετώπου εκσκαφής με βήμα εφαρμογής 9,00m
 1. Προενίσχυση θόλου διατομής με 27 δοκούς προπορείας Φ114/101 , L=12,00 m /9,00 m υπό γωνία 7° (forepolling) @ 0,40 m (για τόξο 118°).
 2. Τοποθέτηση 28 αγκυρίων υαλοινών (fiberglass) FB 4x60 Φ.Ι. 240 KN , L=12,00 m / 9,00 m.
 3. Διάτρηση αποστραγγιστικών οπών στο μέτωπο Φ53, L=12,00 m /9,00 m (όπου απαιτούνται).
- Εκσκαφή θόλου με βήμα εκσκαφής 1,00 m
 1. Διάτρηση βαθμίδας σταθεροποίησης μετώπου.
 2. Εφαρμογή 1^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους d=0,05 m
 3. Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188 με ποιότητα S 500s έξω παρειάς.
 4. Επιμελής διαμόρφωση των επιφανειών έδρασης των χαλύβδινων πλαισίων.
 5. Τοποθέτηση χαλύβδινων δικτυωτών πλαισίων LG 115-20/28, ποιότητας S 500s , @1,00 m.
 6. Εφαρμογή 2^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους d=0,20 m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188.
 7. Εκσκαφή επόμενου βήματος (X+1).
 8. Τοποθέτηση αυτοδιατρώμενων αγκυρίων (2 αγκύρια R30/11 , L=6,00 m @1,00 m πεσσοειδώς ,4 αγκύρια R30/11 , L=6,00m @ 1,00 m).
 9. Διάτρηση αποστραγγιστικών οπών Φ53 , L=5,00m (όπου απαιτούνται).
 10. Τοποθέτηση οπλισμών έδρασης κέλφους (Λ2).
 11. Τοποθέτηση δομικού πλέγματος T188 , ποιότητας S 500s έσω παρειάς.
 12. Εφαρμογή 3^{ης} στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους d = 0,05 m οπλισμένο με δομικό πλέγμα T188.
 13. Συμπλήρωση εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους d=0,10 m για την πλήρωση υπερεκσκαφών (όπου απαιτείται).
 14. Εφαρμογή πρόσθετων μέτρων εάν απαιτείται (αναλόγως συμπεριφοράς ανοίγματος).

Αντίστοιχα η Β' φάση εκσκαφής με βήμα εκσκαφής 3,00 m περιλαμβάνει :

- Εκσκαφή βαθμίδας και δαπέδου ανεστραμμένου θόλου Β' φάσης – απόσταση μεταξύ βημάτων X – Y < 8,00 m, όπου ακολουθείται η εξής διαδοχή :
 1. Τοποθέτηση πλέγματος T188 και ποιότητας S 500s στο δάπεδο ανεστραμμένου θόλου
 2. Σκυροδέτηση δαπέδου ανεστραμμένου θόλου με εκτοξευμένο σκυροδέμα με βήμα σκυροδέτησης 3,00 m και πάχους d= 0,30m
 3. Εκσκαφή επόμενου βήματος (Y +1)

4. Εφαρμογή πρόσθετων μέτρων εάν απαιτείται (αναλόγως συμπεριφοράς ανοίγματος)

Όσον αφορά τα μέτρα αντιμετώπισης απρόοπτης συμπεριφοράς στο ήδη διανοιχθέν τμήμα έχουμε τα εξής :

- ✓ Διάτρηση αποστραγγιστικών οπών.
- ✓ Ενίσχυση του κέλφους της επένδυσης με πρόσθετες στρώσεις εκτοξευμένου σκυροδέματος οπλισμένου με δομικό πλέγμα μέχρι την πλήρωση της οδόντωσης του forerolling.
- ✓ Πρόσθετες αγκυρώσεις.
- ✓ Κατασκευή μικροπασσάλων στην περιοχή έδρασης των πλαισίων.

Επιπλέον στο υπό διάνοιξη τμήμα τα μέτρα αντιμετώπισης που συναντάμε είναι :

- ✓ Μετάβαση σε βαρύτερη κατηγορία προυποστήριξης μετώπου.
- ✓ Μείωση της απόστασης σκυροδέτησης του δαπέδου ανεστραμμένου θόλου από το μέτωπο διάνοιξης.
- ✓ Τμηματική εκσκαφή μετώπου.

3.1.6 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. 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.

GSI	Περιγραφή βραχώμαζας αθηναϊκών σχιστόλιθων	Περιγραφή βραχώμαζας νεογενών	Παρουσία υδάτων	Συμπεριφορά ανυποστήρικτου τμήματος και μετώπου κατά την εκσκαφή	Κατηγορία μέτρων υποστήριξης
25-35	<p>Αποσαθρωμένος Αθηναϊκός σχιστόλιθος</p> <ul style="list-style-type: none"> Περιλαμβάνει ενότητες τεκτονισμένου μεταίλυου λίθου με μικρές ενστρώσεις αργλικού σχιστόλιθου 	<p>Ομοιογενής σκληρή έως πολύ σκληρή αργλική ή ψαμμιτική μάργα με σποραδικές ενστρώσεις χαλικωδών ή κροκαλοπαγών οριζόντων</p> <ul style="list-style-type: none"> Τοπικά μπορεί να εμφανίζονται επίσης οριζόντες μαργαϊκού ασβεστολίθου ή ιλυολίθου 	<ul style="list-style-type: none"> Υγρές επιφάνειες εκσκαφής και τοπικά πολύ υγρές Τοπικά μπορεί να εμφανίζεται στάγδην ροή, κυριώς μέσα από τους πιο διαπερατούς χαλικώδεις οριζόντες 	<p>Μέτωπο ευσταθές</p> <ul style="list-style-type: none"> Μικρές καταπτώσεις τεμαχίων μεγέθους όχι μεγαλύτερου του 0,5m³ 	SC

GSI	Περιγραφή βραχώμαζας αθηναϊκών σχιστολίθων	Περιγραφή βραχώμαζας νεογενών	Παρουσία υδάτων	Συμπεριφορά ανυποστήρικτου τμήματος και μετώπου κατά την εκσκαφή	Κατηγορία μέτρων υποστήριξης
20-25	<p>Αποσαθρωμένος Αθηναϊκός σχιστόλιθος</p> <ul style="list-style-type: none"> Περιλαμβάνει ενότητες τεκτονισμένου μεταψαμμίτη και μεταίλλουλίθου ή μέτρια αποσαθρωμένου αργιλικού σχιστολίθου. Στην επιφάνεια του μετώπου εμφανίζονται και εδαφοποιημένοι ορίζοντες, το ποσοστό των οποίων δεν ξεπερνά τα 15% της επιφάνειας του μετώπου. 	<p>Σχετικά ομοιογενής σχηματισμός σκληρής έως πολύ σκληρής αργιλικής ή ψαμμιτικής μαργας.</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 μικρότερους του 1,0cm 	<ul style="list-style-type: none"> Στάγδην ροή και κατά θέσεις μέση ροή μέσα από τους πιο διαπερατούς χαλικώδεις ορίζοντες με περιοσμένο όμως δυναμικό απόπλυσης του λεπτόκοκκου υλικού. Οι ροές περιορίζονται στην περιοχή του μετώπου και εξασθενούν με την αποστράγγιση που προκαλεί ή διάνοιξη. 	<p>Μέτωπο τοπικά εύθρυπτο</p> <ul style="list-style-type: none"> Κατά τη διάνοιξη δημιουργούνται υπερεκσκαφές στην περιοχή του μετώπου μπορούν. Στην περιοχή του μετώπου μπορούν να εμφανίζονται καταπτώσεις τεμαχίων μεγέθους έως και 2m³ εάν δεν ληφθούν μετρά. 	SD

GSI	Περιγραφή βραχώμαζας αθηναϊκών σχιστολίθων	Περιγραφή βραχώμαζας νεογενών	Παρουσία υδάτων	Συμπεριφορά ανυποστήρικτου τμήματος και μετώπου κατά την εκσκαφή	Κατηγορία μέτρων υποστήριξης
15-20	<p>Πολύ αποσαθρωμένος Αθηναϊκος σχιστόλιθος</p> <ul style="list-style-type: none"> • Περιλαμβάνει ενότητες έντονα τεκτονισμένου μεταγαμμίτη ή μεταϊλυολίθου ή μέτρια και τοπικά έντονα αποσαθρωμένου αργιλικού σχιστόλιθου. • Στην επιφάνεια του μετώπου εμφανίζονται και εδαφοποιημένοι ορίζοντες τα ποσοστά των οποίων δεν ξεπερνά το 30% της επιφάνειας του μετώπου. 	<p>Ετερογενής σχηματισμός στον οποίο επικρατεί σκληρή αργιλική μαργά.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Στον σχηματισμό συμμετέχουν επίσης ζώνες εδαφοποιημένου υλικού, που καλύπτουν λιγότερο από το 30% 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). 	<ul style="list-style-type: none"> • Εκλεκτικές εισροές υδάτων μέσα από τους διαπερατούς χαλικώδεις ορίζοντες. • Ο κίνδυνος απόπλυσης υλικού είναι υπαρκτός και απαιτείται έλεγχος των ροών (με αποστράγγιση). 	<p>Μέτωπο ασταθές</p> <ul style="list-style-type: none"> • Κατά τη διάνοιξη δημιουργούνται υπερεσκαφές 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 βραχώμαζας ενότητα αθηναϊκών σχιστολίθων	Περιγραφή ενοτήτα βραχώμαζας νεογενών	Παρουσία υδάτων	Συμπεριφορά ανυποστήρικτου τμήματος και μετώπου κατά την εσκαφή	Κατηγορία μέτρων υποστήριξης
< 15	<p>Πολύ αποσαθρωμένος Αθηναϊκος σχιστόλιθος.</p> <p>Περιλαμβάνει ενότητες έντονα τεκτονισμένου και αποσαθρωμένου μεταίλυολίθου ή εντόνα αποσαθρωμένου αργλικού σχιστολίθου. Η βραχομάζα παρουσιάζει έλλειψη αλληλεμπλοκής , λόγω συστηματικής παρουσίας ασθενών επιπέδων σχιτότητας και διάτμησης.</p> <p>Στην επιφανεια του μετώπου εμφανίζονται και εδαφοποιημένοι ορίζοντες , το ποσοστό των οποίων δεν ξεπερνά το 50% της επιφάνειας του μετώπου.</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Στάγδην και κατά θέσεις μέση ροή μέσα από εδαφοποιημένες στρώσεις κλασικού 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 υλικου, είναι υπαρκτός και απαιτείται έλεγχος των ρόων (με αποστράγγιση). 	<p>Μέτωπο ασταθές</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 ασυνεχείων μη συνεκτικών οριζόντων. 	SSR

3.2 Κατασκευή της Σήραγγας

Σ' αυτό το κεφάλαιο αναλύεται ο τρόπος εφαρμογής των ΓΤΣ(γεωτεχνικών τομών σχεδιασμού) και ΓΠΣ(γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού) 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+504,535 έως 0+929,13 περίπου, είναι δυνατόν να χωριστεί στα παρακάτω υποτμήματα :

- Στο πρώτο και εκτενέστερο υποτμήμα, το οποίο εκτείνεται από Χ.Θ. 0+504,535 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 μεταίλυολίθων.

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 Ν.Α.Τ.Μ (New Austrian Tunneling Method).

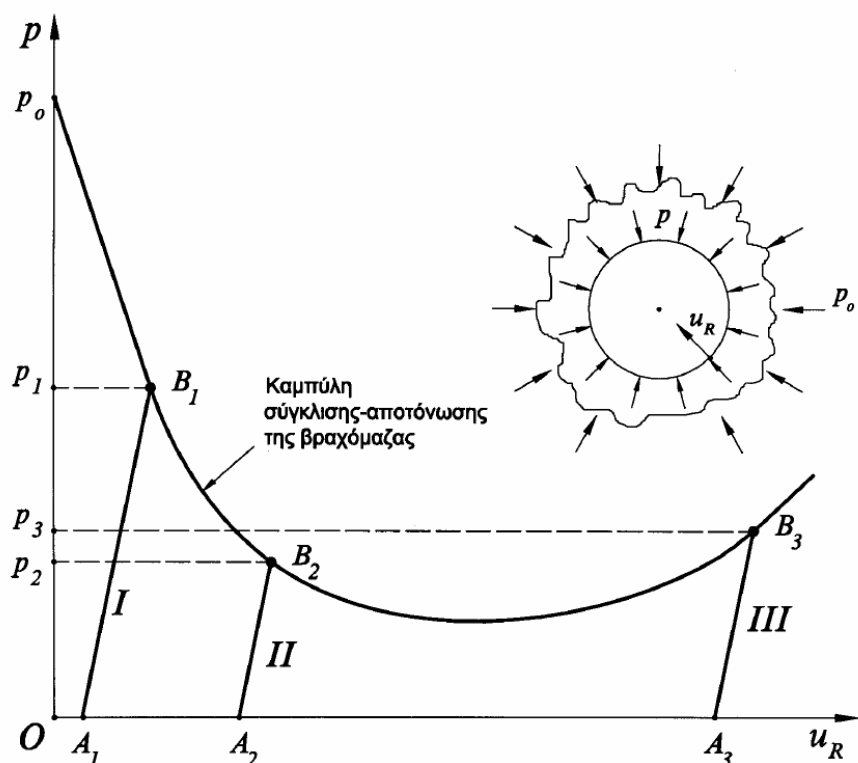
3.2.1 Μεθοδολογία εκσκαφής σηράγγων με συμβατικά μηχανικά μέσα (Ν.Α.Τ.Μ)

Η λεγόμενη "Νέα Αυστριακή Μέθοδος Διάνοιξης Σηράγγων" (New Austrian Tunneling Method - NATM) ουσιαστικώς δεν αποτελεί μια "μέθοδο" αλλά περιλαμβάνει ένα σύνολο τεχνικών διάνοιξης και υποστήριξης σηράγγων οι οποίες εφαρμόστηκαν συστηματικά κατά τη διάνοιξη σηράγγων στις Αυστριακές Άλπεις στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Οι τεχνικές αυτές είχαν εφαρμοσθεί και πριν το 1960 τόσο στην Αυστρία όσο και σε άλλα μέρη του κόσμου αλλά η συστηματοποίηση και ονομασία τους (NATM) έγινε από Αυστριακούς Μηχανικούς (Rabcewicz, Mueller, Brunner και Pacher) περί το 1960. Έτσι, αν και η "Μέθοδος NATM" όταν προτάθηκε δεν ήταν ούτε "Νέα" ούτε "Αυστριακή" (αφού είχε εφαρμοσθεί και στο παρελθόν σε άλλες χώρες) αλλά ούτε και "Μέθοδος" (αφού ουσιαστικά αποτελείται από ένα σύνολο τεχνικών οι οποίες μάλιστα αλλάζουν με την πρόοδο της τεχνολογίας), διατήρησε διεθνώς μέχρι σήμερα το όνομά της.

Αν και δεν υπάρχει γενικός αποδεκτός ορισμός της "Μεθόδου NATM", ο όρος συνήθως χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διάνοιξη σηράγγων με εκτεθειμένο το μέτωπο εκσκαφής (δηλαδή χωρίς την εφαρμογή πίεσης με μηχανικά μέσα) και υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (απλό ή οπλισμένο) ή/και αγκύρια βράχου. Σύμφωνα με τα ανωτέρω, οι εναλλακτικοί τρόποι διάνοιξης σηράγγων που δεν υπάγονται στη μέθοδο NATM είναι:

1. Διάνοιξη με μηχανήματα ολομέτωπης κοπής (TBM), επειδή κατά τη μέθοδο αυτή η κοπτική κεφαλή του μηχανήματος ασκεί πίεση επί του μετώπου εκσκαφής.
2. Διάνοιξη με προστατευτική ασπίδα (shield) επειδή η άμεση υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας γίνεται μέσω της ασπίδας και όχι με εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος ή αγκυρίων.
3. Οποιαδήποτε άλλη μέθοδος διάνοιξης κατά την οποία η άμεση υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας γίνεται χωρίς εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ή αγκύρια, όπως π.χ. με έγχυτο σκυρόδεμα, προκατασκευασμένα στοιχεία από σκυρόδεμα, μέταλλο ή άλλο υλικό.

Η συνήθης εφαρμογή της μεθόδου NATM είναι η διάνοιξη της διατομής της σήραγγας σε μια ή περισσότερες φάσεις και η άμεση υποστήριξη του τοιχώματος με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (απλό, ινοπλισμένο, οπλισμένο με χαλύβδινο πλέγμα ή ενισχυμένο με χαλύβδινες νευρώσεις από ράβδους ή διατομές I) και αγκύρια (παθητικά ή προεντεταμένα). Σημειώνεται ότι η υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας μόνον με αγκύρια χωρίς εκτοξευόμενο σκυρόδεμα υπάγεται επίσης στην κατηγορία της μεθόδου NATM. Τέλος, κατά τη μέθοδο NATM η ως άνω άμεση υποστήριξη συνήθως ακολουθείται σε μεταγενέστερο χρόνο από την κατασκευή της "τελικής επένδυσης" της σήραγγας η οποία θεωρείται ως φέρον στοιχείο (σε ορισμένες περιπτώσεις δεν κατασκευάζεται τελική επένδυση αλλά η άμεση υποστήριξη σχεδιάζεται ώστε να αναλάβει το σύνολο των φορτίων της περιβάλλουσας βραχώμαζας).



Σχήμα 1: Επιρροή του χρόνου τοποθέτησης των μέτρων προσωρινής υποστήριξης στην πίεση της βραχόμαζας επί της υποστήριξης της σήραγγας.
I: πολύ νωρίς. Η πίεση στην άμεση υποστήριξη (p_1) είναι πολύ μεγάλη.
II: κανονικός χρόνος κατασκευής της άμεσης υποστήριξης. Η πίεση (p_2) έχει μειωθεί σημαντικά.
III: πολύ αργά. Η πίεση (p_3) έχει αυξηθεί λόγω αποδιοργάνωσης (χαλάρωσης της βραχόμαζας, με συνέπεια τον κίνδυνο κατάρρευσης).

3.2.2 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)

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 υγρή 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.

3.2.3 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 προπορείας 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 επιστρεφόμενων υλικών διάτρησης (θραυσμένο υλικό, ποσότητα νερού διάτρησης) καθώς και το χρώμα των επιστρεφόμενων.

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.

3.2.3 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 αντιστήριξης και με τέτοιο τρόπο που να μην δημιουργούν πρόβλημα στην πρόσβαση εργατικού δυναμικού, εξοπλισμού και υλικών κατασκευής προς τις θέσεις εργασίας.

3.2.4 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.

3.2.5 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.
- ✓ Διατηρητικό 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.

Επίσης έχουμε και βοηθητικό εξοπλισμό, ο οποίος αποτελείται από τα εξής:

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

3.2.6 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 σήραγγων.

3.2.7 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.

3.2.8 Κατασκευαστική διαδικασία

Η εκσκαφή σήραγγων με τη μέθοδο NATM συνήθως γίνεται σε περισσότερες της μιας φάσεις. Τα κυριότερα συστήματα εκσκαφής είναι:

1. Εκσκαφή μετώπου-βαθμίδας (top heading and bench).

Η εκσκαφή της σήραγγας γίνεται από πάνω προς τα κάτω. Η πρώτη φάση εκσκαφής (top heading) μπορεί να εκσκαφεί και σε περισσότερες υποφάσεις κατά το πλάτος της σήραγγας. Στην περίπτωση αυτή η πρώτη φάση ουσιαστικά αποτελεί σήραγγα-πλότο που χρησιμεύει και για τη διερεύνηση των συνθηκών που αναμένεται να συναντηθούν κατά τη διάνοιξη της σήραγγας.

2. Εκσκαφή με πλευρικές στοές (side-wall drifts).

Η μέθοδος εφαρμόζεται σε σήραγγες μεγάλου εύρους σε βραχώμαζες με σχετικώς πτωχά χαρακτηριστικά ή στις περιπτώσεις όπου είναι κρίσιμος ο περιορισμός της σύγκλισης του τοιχώματος (π.χ. σε αστικές περιοχές). Περιλαμβάνει την υποδιαίρεση της διατομής κατά το πλάτος και διάνοιξη πρώτα της μιας πλευράς και στη συνέχεια της άλλης πλευράς. Σε ιδιαίτερες δύσκολες συνθήκες η μέθοδος μπορεί να περιλάβει δυο πλευρικές στοές και ενδιάμεσο πυλώνα (twin side-wall drifts with central pillar). Στην περίπτωση αυτή πρώτα διανοίγονται οι πλευρικές στοές και στο τέλος διανοίγεται ο κεντρικός πυλώνας.

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 αγκυριών 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 διατηρημάτων.

Οι ακόλουθες εργασίες εκτελούνται πριν την έναρξη των εργασιών:

1. Προετοιμασία του δαπέδου εργασίας για την σωστή εγκατάσταση του διατηρητικού εξοπλισμού
2. Έλεγχος επάρκειας υλικών κατασκευής.
3. Έλεγχος του απαιτούμενου για τις εργασίες μηχανολογικού εξοπλισμού,
4. Σημείωση - αρίθμηση πάνω στο μέτωπο εργασίας των θέσεων των διατηρημάτων.
5. Εγκατάσταση του διατηρητικού εξοπλισμού με τη βοήθεια τοπογραφικού συνεργείου και έλεγχος των απαιτούμενων κλίσεων για κάθε ομπρέλα που πρόκειται να κατασκευαστεί.

3.2.9 Μεθοδολογία εγκατάστασης δοκών προπορείας

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 σιράγγων 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 σιράγγων 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 τοποθέτησή τους αριθμείται, 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

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. 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.



Τοποθέτηση

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.

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 τοποθέτησή τους.

Μετά την τοποθέτησή 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 (rackers) μέσω των οποίων γίνεται η ενεμάτωση.



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 N/T 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 αποφράσσεται 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 3ης 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 εισπνεζόμενου ενέματος σε σχέση με την θεωρητική ποσότητα που υπολογίζεται από την γεωμετρία των διατρημάτων.

3.2.10 Μεθοδολογία κατασκευής εδαφικών ηλώσεων

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

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 διαμήκου 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 3ης σφραγιστικής στρώσης. Η κατεύθυνση των ήλων / κοχλίων προσαρμόζεται πάντοτε στα συστήματα ασυνχειών 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 ασυνχειών.

Η παραπάνω προσαρμογή της κατεύθυνσης των ήλων / κοχλίων ενδέχεται να δημιουργήσει απόκλιση από τη θεωρητική τους κατεύθυνση, που δεικνύεται στα σχέδια και να μην είναι πάντα κάθετη προς την επιφάνεια της βραχομάζας.

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 εμφοράζονται (π.χ. με σφήνες) προκειμένου να σταματήσει η διαρροή.

Σημειώνεται ότι σε όλες τις περιπτώσεις το προεξέχον 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 εισπιαστεί στην οπή. Το τσιμέντο είναι τύπου I Πόρτλαντ (Portlana) σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1 Π.Δ.244/80.

Εξοπλισμός

Χρησιμοποιείται διατηρητικός 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.

Υλικά

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 στομιών των διατηρημάτων.
- 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 διατηρητικού 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.

3.2.11 Μεθοδολογία εκτοξευόμενου σκυροδέματος

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.

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.

Η παρασκευή των αναγκαίων ποσοτήτων μίγματος μαζί με τη προσθήκη πρόσμικτων γίνεται σε εγκεκριμένα από την ΑΜ παρασκευαστήρια 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 της επιφάνειας. Ο χειριστής εξασφαλίζει το απαιτούμενο πάχος στρώσης με επαναλαμβανόμενες κυκλικές ή ελλειπτικές κινήσεις (περάσματα) του ακροφυσίου. Η απόσταση του ακροφυσίου 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 ακροφυσίου 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 διάσθρωση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος παρατηρείται υπερβολική αναπήδηση, γίνονται μικρές αλλαγές στην διαδικασία εφαρμογής ή στη σύνθεση του μίγματος.



Εξοπλισμός

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

- Αυτοκινούμενη πρέσα εκτοξευόμενου σκυροδέματος: CIFA ή ανάλογη
- Πρέσα 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.

Υλικά

- Τσιμέντο

Χρησιμοποιείται τσιμέντο τύπου CEM I 42,5 το οποίο είναι εγκεκριμένο από την Αττικό Μετρό με ελάχιστη απαιτούμενη περιεκτικότητα σε τσιμέντο 400kg/m³ και συμμορφώνεται προς τις απαιτήσεις του ΕΛΟΤ EN 197-1.

- Αδρανή

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

- Νερό

Σύμφωνα με ΕΛΟΤ 345.

- 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.

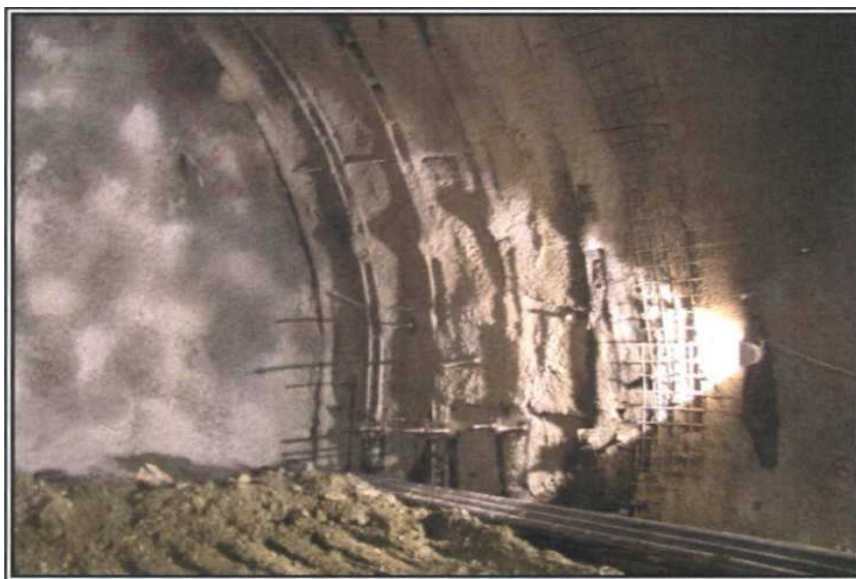
- Οπλισμός

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 1ης στρώσης εκτοξευόμενου σκυροδέματος ακολουθεί η επιμελής διαμόρφωση των επιφανειών έδρασης 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.

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 150cm². 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, 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). Ακολουθεί η διαδικασία τοποθέτησης του δομικού πλέγματος έσω παρειάς, η οποία είναι όμοια με τη διαδικασία τοποθέτησης του δομικού πλέγματος έξω παρειάς.



3.2.12 Μεθοδολογία εγκατάστασης χαλύβδινων δικτυωτών / πλαισιωτών Υποστηριγμάτων

Οι ακόλουθες εργασίες εκτελούνται πριν την έναρξη των εργασιών:

- Έλεγχος των γραμμών εκσκαφής.
- Έλεγχος επάρκειας υλικών κατασκευής.
- Έλεγχος του προς εγκατάσταση πλαισίου ως προς τη προβλεπόμενη γεωμετρία διατομής.

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 περικοχλιών.

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 κοχλίων και περικοχλίων.

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 αποσυναρμοποιημένων 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 τηςτελευταίας (3ης) 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 διάνοιξη 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.

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

- Γεωφάσμα
- 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 γεωφάσματα . 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.

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 σιδηράγων που ήταν απλά έντεχνες λιθοδομές.

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

Ο δακτύλιος διανομής έχει σκοπό την ισόρροπη διανομή του νεπού 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. 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 σήραγγοποιία, λόγω της διαδοχικής κατασκευαστικής διαδικασίας απαιτούνται σύντομοι χρόνοι ξεκαλουπώματος. Στην περίπτωση μας ο χρόνος ξεκαλουπώματος είναι δύο βάρδια δηλαδή 16 ώρες περίπου. (1η βάρδια σκυροδέτηση, 2η βάρδια ωρίμανση ,3η βάρδια ξεκαλούπωμα και μεταφορά σε επόμενο τμήμα).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Σταθμός Χαϊδάρι

4.1 Γενικά

Ο Σταθμός Χαϊδάρι είναι χωροθετημένος σε οικόπεδο που έχει πρόσωπο στην Ιερά οδό, απέναντι ακριβώς από το Δημαρχείο του Αιγιάλεω, στο οικοδομικό τετράγωνο που περικλείεται από τις οδούς Ιερα οδός – Αγίας Μαρίας – Κατσαρού – Κρηνης. Η θέση του σταθμού μεταξύ των τριών δήμων Αιγιάλεω, Χαϊδάρι, Αγία Βαρβάρα και ο διατιθέμενος χώρος, ευνοούν την μετεπιβίβαση από άλλα δημόσια ή ιδιωτικά μέσα, ενώ θα εξυπηρετηθούν και τα δύο παρακείμενα δημόσια νοσοκομεία. Ο Σταθμός ευρίσκεται σε ευθύγραμμο τμήμα της χάραξης, ενώ ο χώρος εναπόθεσης του επίσταθμου κατασκευάζεται σε καμπύλη ακτίνας 350 μετρων. Ο σταθμός θα κατασκευαστεί με τη μέθοδο του ανοικτού ορύγματος, λύση που ευνοείται από την χωροθέτηση του σταθμού στο συγκεκριμένο οικόπεδο. Εξαίρεση αποτελεί το τμήμα της εισόδου/εξόδου κάτω από την Ιερά οδό που κατασκευάζεται με υπόγεια διάνοιξη με συμβατικά μηχανικά μέσα. Ο χώρος που προορίζεται για την κατασκευή του σταθμού έχει συνολική επιφάνεια 6.828m² και προσκείμενα σ' αυτόν προβλέπεται ή ανέγερση πολύωροφου κτιρίου για στάθμευση αυτοκινήτων για τις ανάγκες μετεπιβίβασης ή άλλης χρήσης. Το κτίριο αυτό σταθμού μετεπιβίβασης αποτελεί και αυτό τμήμα της παρούσας δημαπράτησης. Το κυρίως υπόγειο κτίριο του σταθμού αποτελείται από τέσσερα επίπεδα με ίδιο περίπου περίγραμμα συνοδικής, επιφάνειας 11.166m². Αρχή μέτρησης των υψών αποτελεί ή στάθμη 0,00=+60.20

Το επίπεδο των σιδηροτροχιών (-4) σε βάθος -20,40m (2.156m²)

Το επίπεδο των αποβάθρων (-3) σε βάθος -19,29m (2.738m²)

Το επίπεδο έκδοσης εισιτηρίων (-2), όπου και ευρίσκεται κεντρικός χώρος της εισόδου του σταθμού με τις κεντρικές εισόδους – εξόδους, σε βάθος -13,14m (2.794m²).

Το επίπεδο των ηλεκτρομηχανολογικών χώρων (-1) σε βάθος -7,54m (2.678m²)

Το επίπεδο οδού (0) όπου τοποθετούνται οι είσοδοι – έξοδοι κ.λ.π.(800m²)

Στα τέσσερα αυτά υπόγεια επίπεδα τοποθετούνται, σε ένα ενιαίο κτίριο, όλες οι λειτουργίες και οι ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις του σταθμού.

Στο επίπεδο (-1) τοποθετούνται ολοι οι κύριοι ηλεκτρομηχανολογικοί χώροι, οι οποίοι συνδέονται με το επίπεδο (-2) μέσω τριών βοηθητικών κλιμακοστασίων. Οι χώροι αυτοί επικοινωνούν με του εξωτερικό χώρο μέσω των στομιών αξαερισμού. Στο επίπεδο (-2) όπου βρίσκεται ο κεντρικός χώρος εισόδου του σταθμού, τοποθετούνται οι δύο κεντρικές εισοδοι – έξοδοι με 2 κυλιόμενες και μια σταθερή κλίμακα αντίστοιχα όπως και ο ανελκυστήρας για ΑΜΕΑ που οδηγεί στην επιφάνεια.

Σε ορισμένη απόσταση από το χώρο των εισόδων τοποθετείται η ζώνη ελέγχου, με τα ακυρωτικά μηχανήματα όπου και απολήγουν οι σταθερές και οι κυλιόμενες κλίμακες, και οι ανελκυστήρες για τα ΑΜΕΑ που συνδέουν τη στάθμη των εισιτηρίων με τις δύο εποβάρθες.

Τα δύο φρέατα εκτόνωσης / αερισμού με τον εξοπλισμό αερισμού των σιράγγων έχουν περιληφθεί στα 110m του κυρίως κτιρίου του σταθμού με απευθείας συνδέσεις προς τις σήραγγες, οι οποίες εκτείνονται εκατέρωθεν της κατασκευής του σταθμού.

4.2. Προσωρινή και Μόνιμη Επένδυση

Ο Σταθμός Χαϊδάρι θα κατασκευασθεί με τη μέθοδο της ανοικτής εκσκαφής (cut & cover) ή αλλιώς εκσκαφής και επανεπίχωσης. Αυτό ισχύει τόσο για το «κουτί» (κύριο τμήμα) του σταθμού όσο και για την είσοδο που Βρίσκεται προς το νοτιοανατολικό άκρο του οικοπέδου. Με την μέθοδο της ανοικτής εκσκαφής θα κατασκευασθεί επίσης το τμήμα της δεύτερης εισόδου που βρίσκεται μπροστά από το Δημαρχείο. Εξαιρεση αποτελεί το τμήμα της ανωτέρω εισόδου (γαλαρία πρόσβασης), που διέρχεται κάτω από την Ιερά οδό, η οποία θα κατασκευασθεί με μέθοδο υπόγειας διάνοιξης με συμβατικά μηχανικά μέσα ώστε να μην προκληθεί όχληση της οδικής κυκλοφορίας.

Η τελική στάθμη της εκσκαφής θα είναι για το μεγαλύτερο τμήμα του Σταθμού περίπου 26m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και 32m για το υπόλοιπο. Πριν την έναρξη των εκσκαφών θα κατασκευασθούν οι πάσσαλοι και οι κεφαλόδεσμοι τους από οπλισμένο σκυρόδεμα στην περίμετρο του Σταθμού. Η κεφαλή των πασσάλων καθώς και ο κεφαλόδεσμος, θα κατασκευαστούν σε στάθμη κατά 1,50 έως 2,00m περίπου χαμηλότερη από την επιφάνεια του φυσικού εδάφους. Το άνωθεν του κεφαλόδεσμου έδαφος του ορύγματος θα αντιστηρίζεται από τοίχο οπλισμένου σκυροδέματος ο οποίος θα εδράζεται στον κεφαλόδεσμο. Κατόπιν η εκσκαφή θα προχωρήσει κατά φάσεις σε βάθος τοποθετώντας δομικό πλέγμα (T188), εκτοξενόμενο σκυρόδεμα και προεντεταμένα αγκύρια. Οι πάσσαλοι προβλέπονται να είναι διαμέτρου 0,80m ανά αποστάσεις 1,50m.

Σημειώνεται εδώ ότι η εκσκαφή και η προσωρινή αντιστήριξη του Σταθμού θα πραγματοποιηθεί σε συνδυασμό με την εκσκαφή και αντιστήριξη του παρακείμενου Σταθμού Μετεπιβίβασης Χαϊδάρι. Η αντιστήριξη επομένης του Σταθμού στις πλευρές που βρίσκεται σε επαφή, η είναι πολύ κοντά στο κτήριο του Σταθμού Μετεπιβίβασης γίνεται μέσω πασσάλων, ο κεφαλόδεσμος των οποίων θα βρίσκεται ακριβώς κάτω από τον πυθμένα της εκσκαφής του Σταθμού Μετεπιβίβασης.

Ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να ληφθεί ώστε στην αλληλουχία της κατασκευής να μην δημιουργηθούν προβλήματα στα γειτονικά κτίρια που βρίσκονται κοντά στον σταθμό. Η πρόσβαση του Εργοταξίου θα γίνεται από τη Ιερά οδό.

Ο φορέας της μόνιμης κατασκευής διαμορφώνεται σύμφωνα με τις λειτουργικές απαιτήσεις του σταθμού. Έτσι κατά μήκος δύο αξόνων (B & D) τοποθετούνται υποστυλώματα διαμέτρου Φ110 σε απόσταση γενικώς 6,30m εκτός των περιοχών των καννάβων 13-14 και 15-16-17 όπου τα ανοίγματα είναι μεγαλύτερα

(7,15/9,30/10,0m) για να μην εμποδίζεται η προσπελασιμότητα προς τα κλιμακοστάσια.

Στα υποστυλώματα αυτά εδράζονται οι δύο κύριες κατά μήκος δοκοί διατομής 110/170. Οι πλαισιακοί αυτοί φορείς (άξονες B & D) λειτουργούν κυρίως για την παραλαβή των κατακορύφων φορτίων.

Τα περιμετρικά τοιχώματα είναι συμπαγή πάχους 1,20m εκτός από αυτά που διαμορφώνουν τα έργα των προσβάσεων και τα οποία έχουν πάχους 0,80m. Έχουν σχεδιασθεί έτσι ώστε να παραλαμβάνουν τόσο τα κατακόρυφα φορτία όσο και τα οριζόντια (ωθήσεις γαιών, υδροστατική πίεση και σεισμικές δυνάμεις).

Οι οριζόντιοι φορείς για τις στάθμες (-2, -1) είναι συμπαγείς πλάκες πάχους 0,80m οι οποίες εγράζονται στα περιμετρικά τοιχώματα και στις δοκούς διατομής 110/170 των αξόνων B & D.

Η στάθμη -3 (στάθμη αποβάθρων) αποτελείται από πλάκες πάχους 0,20m οι οποίες εδράζονται στα τοιχώματα που διαμορφώνουν τα κανάλια καλωδίων και σε δοκούς διατομής 40/80.

Η μόρφωση του οριζόντιου φορέα της στάθμης της οροφής γίνεται με συμβατική πλάκα πάχους 20cm που εδράζεται σε δοκούς διατομής 100 x 170cm.

Η θεμελίωση είναι πλάκα συμπαγής πάχους 1,80m ή οποία εδράζεται επί του εδάφους ακολουθώντας την κατά μήκος κλίση της γραμμής.

Η θεμελίωση και η οροφή των προσβάσεων αποτελούνται από πλάκες πάχους 0,80m.

Για την τελική διαμόρφωση των ανισοσταθμιών της επιφάνειας στη στάθμη εδάφους θα πρέπει να κατασκευασθούν κάποιοι τοίχοι αντιστήριξης.

Λόγω των υπόγειων δεξαμενών καυσίμων του βενζινάδικου είναι απαραίτητο να ελεγχθεί η περίπτωση διαρροών και να ληφθούν τα αναγκαία μέτρα στη σύνθεση του σκυροδέματος για την προστασία του σκυροδέματος από τις επιβλαβείς ουσίες των καυσίμων.

4.3 Μέθοδος Ανοικτού Ορύγματος (Cut and Cover)

Οι υπόγειες μέθοδοι διάνοιξης σηράγγων, είτε με το μηχάνημα TBM είτε με συμβατικά μηχανικά μέσα (NATM), επιλέγονται ιδιαίτερα στις κεντρικές περιοχές των πόλεων, ενώ σε πιο απομακρυσμένες περιοχές προτιμάται η μέθοδος ανοικτής εκσκαφής για την κατασκευή τόσο σηράγγων όσο και σταθμών Μετρό. Χρήση αυτής της μεθόδου γίνεται και σε περιπτώσεις όπου, ακόμα και αν βρισκόμαστε στο κέντρο της πόλης, υπάρχει διαθέσιμος χώρος. Αυτό συμβαίνει διότι η μέθοδος ανοικτής εκσκαφής είναι περισσότερο απλή, ασφαλής και κυρίως ελέγξιμη στην υλοποίηση της. Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι για την εφαρμογή της πρέπει: α) να απομακρυνθούν όλοι οι αγωγοί κοινής ωφελείας που ευρίσκονται στην περιοχή όπου θα γίνουν οι εκσκαφές, β) να προηγηθεί αρχαιολογική έρευνα για εντοπισμό τυχόν

αρχαιοτήτων, και γ) να γίνουν οι απαιτούμενες παρακάμψεις της κυκλοφορίας. Οι επεμβάσεις αυτές είναι χρονοβόρες, αυξάνουν το κόστος, ενώ συγχρόνως οι αρχαιολογικές έρευνες εμπεριέχουν μεγάλη αβεβαιότητα όσον αφορά τη διάρκεια και το τελικό κόστος τους. Παρότι η μέθοδος ονομάζεται απλά «ανοικτή εκσκαφή», στην πραγματικότητα πρόκειται για μέθοδο «εκσκαφής και επανεπίχωσης» ή cut & cover στα αγγλικά, καθόσον οι κατασκευές αφού ολοκληρωθούν επιχώνονται και τελικώς καθίστανται και αυτές υπόγειες όπως ακριβώς και στις περιπτώσεις όπου η κατασκευή έγινε με υπόγεια διάνοιξη.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η μεθοδολογία της ανοικτής εκσκαφής είναι απλή ως σύλληψη. Αρχικά σκάβεται το όρυγμα και αντιστηρίζονται τα πρανή του καταλλήλως - στα έργα του Μετρό τα πρανή προβλέπονται πάντοτε κατακόρυφα. Ακολούθως «κτίζεται» ο μόνιμος φορέας του σταθμού ή της σήραγγας ξεκινώντας από τη θεμελίωση προς τα επάνω δηλαδή ως μια συνήθης οικοδομή. Τέλος, γίνεται επικάλυψη της κατασκευής με επίχωση ως την επιφάνεια του εδάφους και αποκαθίσταται η περιοχή. Αναλυτικότερα τα στάδια έχουν ως εξής:

- Εκτελείται γεωτεχνική/γεωλογική έρευνα και δοκιμές (επί τόπου και εργαστηριακές) για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του εδάφους στην περιοχή όπου έχει σχεδιασθεί να γίνει η κατασκευή μας.
- Γίνεται η μελέτη (υπολογισμοί και σχέδια) εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης, με βάση τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους που προέκυψαν στο προηγούμενο στάδιο. Επίσης, εκτελείται και η μελέτη του μόνιμου φορέα της κατασκευής.
- Πριν την έναρξη των κυρίως εργασιών εκτελούνται οι απαιτούμενες αρχαιολογικές έρευνες στη περιοχή όπου θα εκτελεστούν οι εκσκαφές, απομακρύνονται όλοι οι αγωγοί κοινής ωφελείας (ύδρευσης, ηλεκτρισμού, τηλεφώνου, κλπ) και πραγματοποιούνται οι ενδεχόμενες κυκλοφοριακές παρακάμψεις.
- Η προσωρινή αντιστήριξη της εκσκαφής αποτελείται συνήθως από πασσάλους σκυροδέματος, κυκλικής διατομής με διάμετρο της τάξεως 0.80-1.00 μ, που τοποθετούνται ανά αποστάσεις μεταξύ τους 1.50-2.50μ περιμετρικά της προβλεπόμενης εκσκαφής προτού αυτή αρχίσει. Η πασσαλοστοιχία συνδέεται στην κορυφή της με ισχυρή δοκό σκυροδέματος. Η εκσκαφή πραγματοποιείται με συμβατικά μηχανικά μέσα (εκσκαφείς, σφύρες, κλπ) έως ένα καθορισμένο βάθος, π.χ. 3.5μ, και στη συνέχεια τοποθετούνται αγκύρια σε οπές που διανοίγονται στο έδαφος μέσω των πασσάλων. Τα αγκύρια αυτά έχουν μεγάλο μήκος (της τάξεως 15-25μ) και προεντείνονται με την προβλεπόμενη από τη μελέτη δύναμη. Κατόπιν εφαρμόζεται δομικό πλέγμα σε όλη την περιμετρική επιφάνεια του

σκάμματος και τοποθετείται εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Μετά από αυτά, συνεχίζεται η εκσκαφή ως την επόμενη στάθμη και τοποθετείται και προεντνείται άλλη μια σειρά αγκυρίων. Ο κύκλος αυτός συνεχίζεται έως την τελική στάθμη εκσκαφής όπου θα θεμελιωθεί η κατασκευή. Εάν υπάρχει παρουσία υπογείων υδάτων στις επιφάνειες του σκάμματος, αυτά εκτονώνονται με συστηματικά διατρήματα / σωληνώσεις βάθους συνήθως 3-4 μ επί της αντιστήριξης / εκσκαφής και απομακρύνονται με κατάλληλο σύστημα αποστράγγισης.

- Το σύστημα υδατοστεγάνωσης της κατασκευής, όπως συμβαίνει πλέον σε όλο το νέο δίκτυο του Μετρό, τοποθετείται στον πυθμένα και στις περιμετρικές επιφάνειες του σκάμματος και αποτελείται συνήθως από γεωυφάσματα, μεμβράνη υδατοστεγάνωσης και υδατοφραγμούς.
- Η κατασκευή του φέροντος οργανισμού γίνεται κατά φάσεις αρχίζοντας από την θεμελίωση, ακολουθούν τα τοιχεία και κατόπιν η πλάκα οροφής εάν πρόκειται για την περίπτωση σήραγγας, ενώ για τους σταθμούς γίνεται, επιπλέον, και η κατασκευή ενδιάμεσων επιπέδων πλακών και τοιχείων. Η κατασκευή αρχίζει με την τοποθέτηση των σιδηρών οπλισμών της πλάκας θεμελίωσης (ή γενικής κοιτόστρωσης) όπως προβλέπονται από τη μελέτη. Κατόπιν γίνεται η έγχυση του σκυροδέματος, κατηγορίας αντοχής C25/30, κατά φάσεις κατά το μήκος της κατασκευής με πρόβλεψη καταλλήλων αρμών. Παρομοίως γίνεται και η κατασκευή των υπολοίπων στοιχείων της μόνιμης κατασκευής.

Σχετικά με τις αντιστηρίξεις, διευκρινίζεται ότι ο τρόπος αντιστήριξης των εκσκαφών στο Μετρό της Αθήνας πραγματοποιήθηκε σχεδόν αποκλειστικά με πασσάλους διάτρησης από οπλισμένο σκυρόδεμα (φρεατοπασσάλους) και προεντεταμμένα αγκύρια. Στα πρώτα τμήματα χρησιμοποιήθηκε και η λεγόμενη «μέθοδος Βερολίνου» στην οποία μέχρι ένα βάθος τοποθετούνται μεταλλικοί πάσσαλοι αντιστηριζόμενοι αντικριστά με σιδηρές αντηρίδες, ενώ στα βαθύτερα στρώματα του υπεδάφους χρησιμοποιείται ελαφρότερη αντιστήριξη με οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και παθητικά βλήτρα (“καρφιά”) εδάφους. Αυτή η μεθοδολογία χρησιμοποιήθηκε στο σταθμό Λάρισα και σε μεγάλο τμήμα της σήραγγας Αττική-Λάρισα.



4.4 Υλικά

ΥΛΙΚΑ	ΠΟΙΟΤΗΤΑ	ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ
Οπλισμένο σκυρόδεμα- μόνιμες κατασκευές	C 30/37	03310
Οπλισμένο σκυρόδεμα- πάσσαλοι, κεφαλόδεσμοι	C 20/25	03310- 02161
Άοπλο σκυρόδεμα	C 12/15	03310
Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	C 25/30	03361
Δομικός χάλυβας	Fe 360	02313
Χάλυβας οπλισμένος	S 500s	03211
Δομικό πλέγμα	S 500s	03220
Χάλυβας τενόντων αγκυρίων	1670/1860	02164
Αγκύρια υαλοινών	F 4x60, Φ.Ι. 240KN	02167

4.5 Τομές Σταθμού

TOMH 1-1

Κατά την εκσκαφή του σταθμού γίνεται αγκύρωση (αριστερά και δεξιά) συνεχόμενων πακτώσεων Φ25, S500, L= 4,00 m #2.00x1.50 m πεσσοειδώς με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους d= 0,10 m οπλισμένο με πλέγμα T131. Στη συνέχεια τοποθετούνται κεφαλόδεσμοι (αριστερά και δεξιά) διαστάσεων 0.80x1.20 m και πάσσαλοι Φ1,00/2,00m με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους d= 0.12m οπλισμένο με δύο επάλληλα πλέγματα T188. Έπειτα, ακολουθούνται δέκα στάθμες εκσκαφείς (όπως φαίνονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα) ξεκινώντας την πρώτη στάθμη εκσκαφής σε υψόμετρο + 61.50 m και ολοκληρώνοντας την τελευταία σε υψόμετρο +34.90 m υπό κλίση 0,5%. Ταυτόχρονα με τις στάθμες εκσκαφής για την σταθεροποίηση του εδάφους τοποθετούνται αγκύρια (αριστερά και δεξιά) σε διάφορα υψόμετρα και διαφορετικών μηκών (όπως παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα) και αποστραγγιστικές οπές Φ53, L= 6,00m .

ΣΤΑΘΜΗ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)
1 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 61,50
2 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 57,50
3 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 54,70
4 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 51,45
5 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 48,95
6 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 46,45
7 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 43,45
8 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 40,45
9 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 37,45
Τελική στάθμη εκσκαφής	+ 34,90

ΥΨΟΜΕΡΤΟ (m)	Λελ (m)	Λπακτ (m)	Μοίρες (°)
+58,50	16,00	13,00	10
+55,70	15,00	12,00	10
+52,50	13,00	10,00	10
+49,45	12,00	9,00	10
+46,95	10,00	8,00	10
+43,95	8,00	8,00	10
+40,95	7,00	7,00	10
+37,95	5,00	7,00	10

ΤΟΜΗ 2-2

Κατά την εκσκαφή του σταθμού γίνεται αγκύρωση (αριστερά) συνεχόμενων πακτώσεων Φ25,S500, L=4,00m #2.00x1.50m , πεσσοειδώς με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους d=0,10 m οπλισμένο με πλέγμα T131.Στη συνέχεια τοποθετούνται κεφαλόδεσμοι διαστάσεων 0,8x1,20 m σε υψόμετρο +61,50 m στα αριστερά και σε υψόμετρο +54,70m στα δεξιά ,καθώς και πάσσαλοι Φ1,00/2,00 m με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους d = 0,12 m οπλισμένο με δύο επάλληλα πλέγματα T188 . Έπειτα ακολουθούνται οι υπόλοιπες στάθμες εκσκαφής (όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα) ξεκινώντας την πρώτη στάθμη εκσκαφής σε υψόμετρο +61,50 m και ολοκληρώνοντας την τελευταία σε υψόμετρο +34,89 m υπό κλίση 0,5 %. Ταυτόχρονα με τις στάθμες εκσκαφής για την σταθεροποίηση του εδάφους τοποθετούνται αγκύρια (αριστερά και δεξιά) σε διάφορα υψόμετρα και διαφορετικών μηκών(όπως παρουσιάζονται αναλυτικά στους ακόλουθους πίνακες) και αποστραγγιστικές οπές Φ53, L= 6,00 m .

ΣΤΑΘΜΗ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)
1 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 61,50
2 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 57,50
3 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 54,70
4 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 51,45
5 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 48,95
6 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 46,45
7 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 43,45
8 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 40,45
9 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 37,45
Τελική στάθμη εκσκαφής	+ 34,89

ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	Λελ (m)	Λπακτ (m)	Μοίρες (°)
+58.50	16,00	13,00	10
+55.70	15,00	12,00	10
+52.50	13,00	10,00	10
+49.45	12,00	9,00	10
+46.95	10,00	8,00	10
+43.95	8,00	8,00	10
+40.95	7,00	7,00	10
+37.95	5,00	7,00	10

ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	Λελ (m)	Λπακτ (m)	ΜΟΙΡΕΣ (°)
+52.50	13,00	10,00	10
+49.45	12,00	9,00	10
+46.95	10,00	8,00	10
+43.95	8,00	8,00	10
+40.95	7,00	7,00	10
+37.95	5,00	7,00	10

ΤΟΜΗ 3-3

Αρχικά γίνεται τοποθέτηση κεφαλόδεσμων στα αριστερά διαστάσεων 0,8x2,00 m σε υψόμετρο +59,65 m και στα δεξιά αντίστοιχα διαστάσεων 0,8x 1,20 m σε υψόμετρο +54,70m ,καθώς και πάσσαλοι Φ1,00/2,00 m με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους d = 0,12 m οπλισμένο με δύο επάλληλα πλέγματα T188 . Έπειτα ακολουθούνται οι υπόλοιπες στάθμες εκσκαφής (όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα) ξεκινώντας την πρώτη στάθμη εκσκαφής σε υψόμετρο +59,65m και ολοκληρώνοντας την τελευταία σε υψόμετρο από +39,21 m έως +34,81 υπό κλίση 0,5 %. Ταυτόχρονα με τις στάθμες εκσκαφής για την σταθεροποίηση του εδάφους τοποθετούνται αγκύρια (αριστερά και δεξιά) σε διάφορα υψόμετρα και διαφορετικών μηκών(όπως παρουσιάζονται αναλυτικά στους ακόλουθους πίνακες) και αποστραγγιστικές οπές.

ΣΤΑΘΜΗ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)
1 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 59,65
3 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 54,70
4 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 51,45
5 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 48,95
6 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 46,45
7 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 43,45
8 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 40,45
9 ^η στάθμη εκσκαφής	+ 37,45

ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	Λελ (m)	Λπακτ (m)	ΜΟΙΡΕΣ
+55.70	13,00	14,00	10
+52.50	12,00	11,00	10
+49.45	10,50	10,00	10
+46.95	9,00	8,00	10
+43.95	7,50	7,00	10
+40.95	6,00	7,00	10
+37.95	4,00	7,00	10

ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	Λελ (m)	Λπακτ (m)	ΜΟΙΡΕΣ
+54.45	12,50	14,00	10
+51.95	11,50	11,00	10
+49.45	10,00	10,00	10
+46.95	8,50	8,00	10
+43.95	7,00	7,00	10
+40.95	5,00	7,00	10

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

Οι οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις στο εσωτερικό της σήραγγας

5.1 Γενικά

Στα υπόγεια έργα χρησιμοποιούνται διάφορα όργανα μέτρησης της μετατόπισης, της παραμόρφωσης, της πίεσης, των δονήσεων, κλπ. Η συνεχής αξιολόγηση των μετρήσεων είναι δυνατόν να συντελέσει αφενός μεν στην ασφαλέστερη κατασκευή αφετέρου δε στην οικονομία του έργου. 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. Οι στόχοι στο εσωτερικό της σήραγγας θα πρέπει να τοποθετούνται όσο πιο κοντά στο μέτωπο διάνοιξης είναι πρακτικά εφικτό.

5.2 Γεωμηχανική και Δομητική Παρακολούθηση (ΓΔΠ)

5.2.1 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 συναγερού 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, σιράγγων 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 σιράγγων.
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 και 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.

5.2.2 Θέσεις τοποθέτησης οργάνων μέτρησης - ζώνη επιρροής

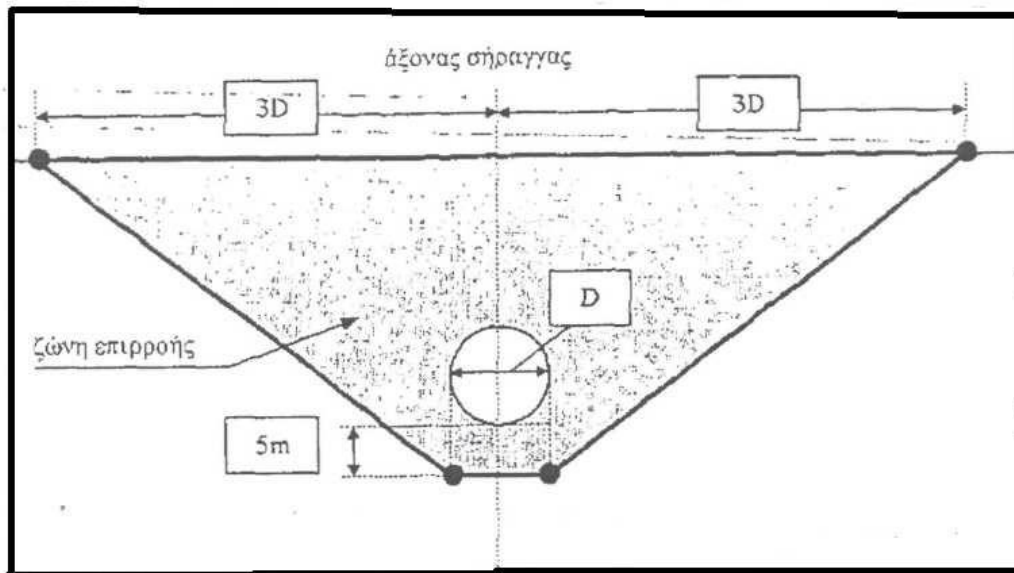
Το σύνολο των οργάνων τοποθετείται κυρίως εντός της ζώνης επιρροής του έργου, η οποία ορίζεται ακολούθως:

Σε διατομή σήραγγας, η ελάχιστη ζώνη επιρροής είναι ένα τραπέζιο που ορίζεται από τα ακόλουθα σημεία: στην επιφάνεια, από τα δύο σημεία που απέχουν οριζοντίως 3 φορές το μέγιστο οριζόντιο πλάτος της σήραγγας (D) εκατέρωθεν του άξονα της και στο υπέδαφος, από τα δύο σημεία που βρίσκονται σε βάθος 5m από την κατώτερη στάθμη του εξωραχείου της σήραγγας και επί των εξωτερικών εφαπτόμενων της.

Η ζώνη επιρροής επεκτείνεται και περιλαμβάνει στο σύνολο τους και εκείνα τα κτήρια και τις κατασκευές που έστω και ένα μόνο τμήμα τους βρίσκεται εντός των γεωμετρικών ορίων που περιγράφονται παραπάνω. Επομένως, στις περιπτώσεις αυτές τα κτήρια και οι κατασκευές παρακολουθούνται σύμφωνα με τα προβλεπόμενα για τα εντός της ζώνης επιρροής κτήρια και κατασκευές.

Όργανα ΓΔΠ τοποθετούνται:

1. Σε υπάρχοντα κτήρια, κατασκευές και εγκαταστάσεις (είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά), καθώς και σε κτήρια ειδικού ενδιαφέροντος, όπως εκκλησίες, μνημεία, αρχαιότητες κλπ, που βρίσκονται εντός της ζώνης επιρροής του έργου.
2. Σε ακάλυπτες, μη δομημένες περιοχές, μέσα στη ζώνη επιρροής των έργων, π.χ. σε δρόμους, πεζοδρόμια, πλατείες, οικόπεδα, γήπεδα, αυλές, προαύλια, κλπ - συνθήκες «ελεύθερου πεδίου».
3. Στην περιβάλλουσα εδαφική ζώνη των υπογείων έργων.
4. Στις προσωρινές και μόνιμες κατασκευές του έργου, όπως σήραγγες, φρέατα, σταθμός, κλπ.



5.3. Γεωμηχανική και Δομητική Παρακολούθηση κατασκευών έργου

Κατά τη διάνοιξη της σήραγγας παρακολουθούνται οι μετακινήσεις σε τρεις διαστάσεις (3D) της προσωρινής επένδυσης, οι τάσεις, τα φορτία και παραμορφώσεις της προσωρινής αντιστήριξης και οι εισροές υδάτων.

5.3.1 Μετρήσεις μετακινήσεων σε τρεις διαστάσεις (3D)

Οι μετρήσεις 3D στις σήραγγες πραγματοποιούνται σε διατομές με οπτικούς στόχους ανάκλασης. Οι διατομές μέτρησης συγκλίσεων περιλαμβάνουν τουλάχιστον τρεις οπτικούς στόχους που τοποθετούνται στην α' φάση (άνω ημιδιατομή - top heading) της σήραγγας, περιλαμβάνοντας έναν στην στέγη και τουλάχιστον δύο συμμετρικά στις παρειές περί το 1,5m από το προσωρινό δάπεδο εργασίας της α' φάσης. Στην β' φάση εκσκαφής (κάτω ημιδιατομή, βαθμίδα - bench) τοποθετούνται δύο πρόσθετοι στόχοι συμμετρικά στις παρειές περί το 1,5m από το δάπεδο εργασίας της β' φάσης. Οι διατομές μέτρησης συγκλίσεων τοποθετούνται γενικά κάθε 10m. Σε περιοχές με πτωχές εδαφικές συνθήκες οι διατομές πυκνώνουν (μία διατομή σύγκλισης κάθε 5m), ενώ αντίστροφα σε περιοχές με ευνοϊκές εδαφικές συνθήκες οι διατομές τοποθετούνται κάθε 20m. Η τοποθέτηση των οπτικών στόχων των διατομών γίνεται αμέσως πίσω από το μέτωπο της σήραγγας σε απόσταση το πολύ 2m από αυτό. Περιορισμοί και μειονεκτήματα των 3D μετρήσεων είναι:

- η δυσκολία μέτρησης μέσα στη σήραγγα όπου πρέπει να γίνεται επίσης συνδυασμός των υπολοίπων εργασιών και του χρόνου όπου θα λαμβάνεται η μέτρηση από το τοπογραφικό συνεργείο,
- οι στόχοι πρέπει να τοποθετούνται όσο πιο κοντά στο μέτωπο και
- το σφάλμα μέτρησης είναι $\pm 2\text{mm}$ που είναι αρκετά μεγάλο.

5.3.2. Μετρήσεις τάσεων, φορτίων και παραμορφώσεων

Μετά την εκσκαφή και πριν την εφαρμογή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος τοποθετούνται επαπτομενικές κυψέλες πίεσης για μέτρηση τάσεων στην επαφή εδάφους και προσωρινής επένδυσης. Τουλάχιστον πέντε κυψέλες τοποθετούνται σε μία διατομή ανά μεσοδιάστημα σήραγγας και σε θέσεις που τοποθετούνται οι οπτικοί στόχοι 3D μετακινήσεων. Οι κυψέλες αποτελούνται από χαλύβδινες πλάκες κολλημένες στην περιφέρεια τους, με υδραυλικό λάδι στο μεταξύ τους κενό και συνδεδεμένες σε κλειστό υδραυλικό κύκλωμα με μορφοτροπέα δονούμενης χορδής (vibrating wire transducer). Οι κυψέλες συνδέονται με ηλεκτρονικό καταγραφικό μέσω ενισχυμένων καλωδίων υψηλής αντοχής. Η διακριτική ικανότητα του οργάνου είναι 0,01-0,025% στο εύρος μέτρησης και η ακρίβεια μέτρησης (επαναληπτικότητα) $\pm 0,5-1\%$ της πλήρους κλίμακας (Full Scale Dimension - FSD).

Εκτός από τις κυψέλες πίεσης χρησιμοποιούνται και όργανα για τη μέτρηση του φορτίου των αγκυρίων, τα οποία είναι υδραυλικές πλάκες φορτίου (hydraulic load plates) ή κυψέλες φορτίου κεντρικής οπής με μετρητές παραμόρφωσης (strain gage type center hole load cells), μέγιστης γραμμικότητας $\pm 1\%$ σε πλήρη κλίμακα (full scale linearity) και με ικανότητα υπερφόρτωσης (overload capacity) τουλάχιστον 100%. Η καταγραφή γίνεται με ηλεκτρονικό καταγραφικό και είναι δυνατή η εξ αποστάσεως λήψη μέτρησης μέσω καλωδίων της κυψέλης που συνδέονται με το καταγραφικό στην επιφάνεια της εκσκαφής.

5.3.3.Μετρήσεις εισροών υδάτων

Οι εισροές νερού μετρώνται κατά τη διάρκεια της κατασκευής και σε όλη την περίοδο μεταξύ της εκσκαφής και της ολοκλήρωσης της μόνιμης κατασκευής. Οι μετρήσεις λαμβάνονται στα σημεία συγκέντρωσης του νερού σε δεξαμενές καθίζησης με διάταξη μέτρησης σχισμής (v-notch) και με συχνότητα ανάλογη των μεταβολών των παροχών, αλλά όχι μικρότερη της μιας μέτρησης ανάβάρδια, στην αρχή κάθε βάρδιας. Παράλληλα και σε συμπληρωματικά με τις διατάξεις μέτρησης σχισμής, η συνολική ποσότητα της εισροής νερού μετριέται συνεχώς, με ηλεκτρικούς μετρητές εγκατεστημένους στις κύριες αντλίες που βαθμονομούνται τακτικά με μετρήσεις παροχής σε δοχεία συγκεκριμένου όγκου.

5.4 Γεωμηχανική και Δομητική Παρακολούθηση περιβάλλοντος εδάφους.

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.

5.4.1 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 1m πάνω από τη στέγη 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.

5.4.2.Μετρήσεις οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων σε βάθος.

Οι συνδυασμένες αυτές μετρήσεις γίνονται με κλισιόμετρα και ολισθαίνοντα μικρόμετρα (διπλά όργανα). Στη ζώνη επιρροής της σήραγγας, ένα διπλό όργανο τοποθετείται κατ' ελάχιστον ανά 500m σήραγγας. Επιπρόσθετα, διπλά όργανα εγκαθίστανται σε θέσεις με ευαίσθητα κτήρια και όπου αναμένονται σημαντικές καθιζήσεις του εδάφους σε βάθος. Το βάθος των γεωτρήσεων και των σωλήνων των διπλών οργάνων είναι τουλάχιστον 5m κάτω από τον πυθμένα της εκσκαφής, ή βαθύτερα εφόσον απαιτείται για να επιβεβαιωθεί ότι ο πυθμένας της σωλήνωσης του κλισιόμετρου, ο οποίος λειτουργεί σαν σημείο αναφοράς για τις μετρήσεις των μετακινήσεων, δεν υφίσταται μετακίνηση σαν αποτέλεσμα της εκσκαφής.

Πέραν των οργάνων που περιγράφηκαν παραπάνω, χρησιμοποιούνται και άλλα όργανα, όπως ρωγμόμετρα που είναι κατάλληλα για τη μέτρηση του ανοίγματος των ρωγμών σε μία ή δύο διαστάσεις (παράλληλα και κάθετα στην διεύθυνση της ρωγμής), των αποκολλήσεων και μεταθέσεων σε δομικά στοιχεία, όπως τοιχοποιίες, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, κλπ.

5.5 Ακολουθία διαδικασιών για τις μετρήσεις ΓΔΠ

Η ροή των στοιχείων μετά τη λήψη των πρωτογενών μετρήσεων έχει ως εξής:

1. Εισαγωγή των πρωτογενών μετρήσεων στη Βάση Δεδομένων ΓΔΠ (ΒΔΓΔΠ) από τους ψηφιακούς καταγραφείς κάθε οργάνου ή με πληκτρολόγηση.
2. Επεξεργασία πρωτογενών μετρήσεων για όλα τα όργανα που απαιτείται μέσα στη ΒΔΓΔΠ και υπολογισμός των μετρήσεων, δηλαδή υπολογισμός του μετρούμενου μεγέθους από την αρχική ένδειξη του οργάνου μέτρησης (π.χ. σε πιεζόμετρο δονούμενης χορδής ο υπολογισμός του βάθους της στάθμης).
3. Έλεγχος εισαγωγής των μετρήσεων (είτε είναι πρωτογενής είτε υπολογισμένες) και αποθήκευση τους στη ΒΔΓΔΠ. Ο έλεγχος συνίσταται: α) στον έλεγχο της πληρότητας των στοιχείων που απαιτείται να συνοδεύουν κάθε μέτρηση, β) στον έλεγχο του εάν η μέτρηση ικανοποιεί την εγκεκριμένη συχνότητα μετρήσεων και ποια είναι η απόκλιση από αυτή και γ) στην πιστοποίηση ότι έως το παρόν στάδιο έχουν ακολουθηθεί όλες οι προβλεπόμενες διαδικασίες.
4. Σύγκριση των μετρήσεων με τα όρια επιφυλακής και συναγερμού.
5. Παραγωγή διαγραμμάτων, πινάκων δεδομένων και εκθέσεων σε μορφή κατάλληλη για προβολή σε οθόνη υπολογιστή και για εκτύπωση.

5.6 Καταγραφή μετακινήσεων στις σήραγγες

Στο παρελθόν, η μέτρηση των παραμορφώσεων της διατομής σήραγγας βασίζονταν στη χρήση μηκυνσιόμετρων ακριβείας, μια μέθοδος χρονοβόρα και δύσχρηστη, που παρέχει μόνο σχετικές μεταβολές των μετρούμενων αποστάσεων. Σήμερα η παρακολούθηση των παραμορφώσεων βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στη χρήση γεωδαιτικών οργάνων και μεθοδολογιών, που παρέχουν απόλυτες μεταβολές των θέσεων των σημείων ελέγχου σε τρεις διαστάσεις x,y,z και γενικά είναι πιο οικονομικές και εύχρηστες. Από τις μετρήσεις των συντεταγμένων υπολογίζονται οι παραμορφώσεις της διατομής κάθετα στον άξονα, ως οριζόντια και κατακόρυφη σύγκλιση. Η κατακόρυφη σύγκλιση ορίζεται ως η (απόλυτη) κατακόρυφη μετακίνηση του κεντρικού κατόπτρου δεδομένου ότι στις συνήθεις σήραγγες η κατασκευή άκαμπτης πλάκας σκυροδέματος στο κάτω μέρος της διατομής – invert – δεν επιτρέπει ανύψωση του πυθμένα. Η οριζόντια σύγκλιση ορίζεται ως η σχετική μεταβολή της απόστασης των πλευρικών ανακλαστήρων.

5.7 Θέσεις τοποθέτησης οργάνων

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 αξιοποίησή τους. Τα όργανα παρακολούθησης των γεωτεχνικών συνθηκών μέσα στη σήραγγα είναι τα εξής :

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

Παράλληλα χρησιμοποιούνται αποκλισιόμετρα , εγκιβωτιζόμενοι μετρητές παραμόρφωσης και ρωγμόμετρα.

5.8 Όργανα γεωτεχνικής παρακολούθησης σήραγγων

Για την παρακολούθηση των γεωτεχνικών μεταβολών μέσα στη σήραγγα υπάρχει μεγάλη ποικιλία οργάνων που μπορούμε να επιλέξουμε με διαφορετική χρήση το καθένα. Αξίζει να αναφέρουμε τα εξής :

- 1.κυψέλες μέτρησης πίεσης (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)
- 2.μετρητικά αγκύρια (οι διαστάσεις και το μέτρο ελαστικότητας του υλικού του αγκυρίου ελέγχονται με ακρίβεια στην παραγωγή, ώστε να υπολογίζονται οι τάσεις

από τις μετρούμενες παραμορφώσεις. Τέτοια μετρητικά αγκύρια έρχονται σε μήκη μέχρι και έξι μέτρα και με ονομαστικά φορτία μέχρι 250kN.)

3. συγκλισιόμετρα / αποκλισιόμετρα (οι αισθητήρες κλίσης χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση αλλαγών στην κλίση της δομής. Είναι μόνιμα εγκατεστημένοι για αυτόματη μακροπρόθεσμη παρακολούθηση. Η μέτρηση πραγματοποιείται συνήθως από βολίδα στην οποία βρίσκεται αισθητήρας βαρύτητας. Η τάση του εξερχόμενου ρεύματος μεταβάλλεται ανάλογα την κλίση της βολίδας από την κατακόρυφο. Η κλίση από την κατακόρυφο μετατρέπεται τριγωνομετρικά σε απόσταση από την κατακόρυφο για συγκεκριμένο μήκος.)

4. επιμηκυνσιόμετρα (δίνουν τη σχετική μετατόπιση μεταξύ σημείου πακτωμένου στη βραχομάζα και σημείου μέτρησης, που βρίσκεται γενικά στο όριο εκσκαφής)

5. μετρητές φορτίου αγκυρίων (η μέτρηση επιτυγχάνεται είτε από ηλεκτρική αντίσταση είτε από δονούμενη χορδή)

6. πιεζόμετρα (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.)

7. εγκιβωτιζόμενοι μετρητές παραμόρφωσης (χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση και παρακολούθηση της παραμόρφωσης στο οπλισμένο σκυρόδεμα ή στις επενδύσεις και υποστηρίξεις από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα)

8. ρωγμόμετρα (μεταλλικός κανόνας προσδιορίζει την απόσταση δύο πύρων, ένα σε κάθε πλευρά μιας ρωγμής)

Σύμφωνα με τα αρχεία της Αττικό Μετρό τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την κατασκευή της σήραγγας απεικονίζονται στο παρακάτω πίνακα.

Κατασκευαστής Προμηθευτής	- Κατηγορία Υλικού	Υλικό
A. Γ. ΠΕΤΖΕΤΑΚΗΣ	Όργανα ΓΔΠ	ΠΕΤΖΕΤΑΚΗΣ UNIMAK 075mm Σωλήνας Πιεζομέτρου
BDC TSB - ELEBOR	Όργανα ΓΔΠ	BDC TSB Pellets Μπεντονίτη
SISGEO- ΕΥΡΩΤΕΧΝΙΚΑ	Όργανα ΓΔΠ	SISGEO Οπτικοί στόχοι 3D
GEODATA	Όργανα ΓΔΠ	GEO DATA Οπτικοί στόχοι 3D
ENCARDIO RITE NEOTEK	Όργανα ΓΔΠ	ENCARDIO RITE Οπτικοί στόχοι 3D
BOART LONGYEAR NEOTEK	Όργανα ΓΔΠ	BOART LONGYEAR INTERFELS Οπτικοί στόχοι 3D
ΓΟΥΝΑΡΙΔΗΣ	Όργανα ΓΔΠ	ΓΟΥΝΑΡΙΔΗΣ Άμμος για κατασκευή φίλτρου πιεζομέτρου
SISGEO- ΕΥΡΩΤΕΧΝΙΚΑ	Όργανα ΓΔΠ	SISGEO Σωλήνας κλισιομέτρου
ITM SOIL-NEOTEK	Όργανα ΓΔΠ	ITM SOIL Σωλήνας κλισιομέτρου
BOART LONGYEAR- NEOTEK	Όργανα ΓΔΠ	BOART LONGYEAR INTERFELS Σωλήνας κλισιομέτρου
SISGEO - ΕΥΡΩΤΕΧΝΙΚΑ	Όργανα ΓΔΠ	SISGEO Τορπίλλη κλισιομέτρου, παρελκόμενα
ITM SOIL - NEOTEK	Όργανα ΓΔΠ	ITM SOIL Τορπίλλη κλισιομέτρου, παρελκόμενα
SISGEO - ΕΥΡΩΤΕΧΝΙΚΑ	Όργανα ΓΔΠ	SISGEO T-REX Ολισθαίνοντα μικρόμετρα
BOART LONGYEAR- NEOTEK	Όργανα ΓΔΠ	BOART LONGYEAR INTERFELS Τορπίλλη, καταγρ. σωλήν.
SISGEO - ΕΥΡΩΤΕΧΝΙΚΑ	Όργανα ΓΔΠ	SISGEO Εκτασιόμετρο ράβδων
BOART LONGYEAR- NEOTEK	Όργανα ΓΔΠ	BOART LONGYEAR INTERFELS Εκτασιόμετρο ράβδων
ENCARDIO RITE NEOTEK	Όργανα ΓΔΠ	ENCARDIO RITE Εκτασιόμετρο ράβδων
ITM SOIL-NEOTEK	Όργανα ΓΔΠ	ITM SOIL Εκτασιόμετρο ράβδων
GEODATA	Όργανα ΓΔΠ	GEODATA Εκτασιόμετρο ράβδων

SISGEO - ΕΥΡΩΤΕΧΝΙΚΑ	Όργανα ΓΔΠ	SISGEO Μαγνητικό Εκτασιόμετρο
BOART LONGYEAR-NEOTEK	Όργανα ΓΔΠ	BOART LONGYEAR INTERFELS Μαγνητικό Εκτασιόμετρο
SISGEO - ΕΥΡΩΤΕΧΝΙΚΑ	Όργανα ΓΔΠ	SISGEO Σταθμήμετρο
ITM SOIL - NEOTEK	Όργανα ΓΔΠ	ITM SOIL Σταθμήμετρο
SISGEO - ΕΥΡΩΤΕΧΝΙΚΑ	Όργανα ΓΔΠ	SISGEO Κυψέλη Φορτίου Αγκυρίων Κεντρικής Οπής
ENCARDIO RITE - NEOTEK	Όργανα ΓΔΠ	ENCARDIO RITE Κυψέλη Φορτίου Αγκυρίων Κεντρικής Οπής
ITM SOIL - NEOTEK	Όργανα ΓΔΠ	ITM SOIL Κυψέλη Φορτίου Αγκυρίων Κεντρικής Οπής
SISGEO - ΕΥΡΩΤΕΧΝΙΚΑ	Όργανα ΓΔΠ	SISGEO PK45H Κυψέλη Πίεσης Δονούμενης Χορδής
ENCARDIO RITE - NEOTEK	Όργανα ΓΔΠ	ENCARDIO ESC-31/37 V-X Κυψέλη Πίεσης Δονούμενης Χορδής
ITM SOIL - NEOTEK	Όργανα ΓΔΠ	ITM SOIL P10 Κυψέλη Πίεσης Δονούμενης Χορδής
SISGEO - ΕΥΡΩΤΕΧΝΙΚΑ	Όργανα ΓΔΠ	SISGEO ONK4200VC00 Παραμορφωσιόμετρο Δονούμενης Χορδής
Κατασκευαστής Προμηθευτής	- Κατηγορία Υλικού	Υλικό
ENCARDIO RITE - NEOTEK	Όργανα ΓΔΠ	ENCARDIO EDS-20V-E Παραμορφωσιόμετρο Δονούμενης Χορδής
ITM SOIL - NEOTEK	Όργανα ΓΔΠ	ITM SOIL ST4 Παραμορφωσιόμετρο Δονούμενης Χορδής
SISGEO- ΕΥΡΩΤΕΧΝΙΚΑ	Όργανα ΓΔΠ	SISGEO Καταγραφικά Όργανα Galileo & Leonardo
BOART LONGYEAR-NEOTEK	Όργανα ΓΔΠ	BOART LONGYEAR INTERFELS Καταγραφικά Όργανα
SISGEO- ΕΥΡΩΤΕΧΝΙΚΑ	Όργανα ΓΔΠ	SISGEO Πιεζόμετρο Δονούμενης

		Χορδής PK45F
BOART LONGYEAR NEOTEK	- Όργανα ΓΔΠ	BOART LONGYEAR INTERFELS Πιεζόμετρο Δον. Χορδής
SISGEO- ΕΥΡΩΤΕΧΝΙΚΑ	Όργανα ΓΔΠ	SISGEO Ρωγμόμετρο
ENCARDIO RITE NEOTEK	- Όργανα ΓΔΠ	ENCARDIO RITE Ρωγμόμετρο EDJ-40C
TELEMAC - ΤΣΙΩΛΗΣ	Όργανα ΓΔΠ	ROCTEST TELEMAC - Ακίδες πτεζομέτρων
SISGEO- ΕΥΡΩΤΕΧΝΙΚΑ	Όργανα ΓΔΠ	SISGEO VOLTA, GALVANI, C6003 Όργανα Μέτρησης
ENCARDIO RITE NEOTEK	- Όργανα ΓΔΠ	ENCARDIO EDI-53 Καταγραφικά όργανα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

Σύγκριση δεδομένης υπάρχουσας ταξινόμησης GSI με τη μέθοδο Bieniawski

6.1 Εισαγωγή στη μέθοδο Bieniawski

Η ταξινόμηση του Bieniawski στηρίζεται σε εμπειρίες σύγχρονων τρόπων κατασκευής των υπόγειων έργων και εφαρμόζεται σήμερα ευρύτατα στο στάδιο του σχεδιασμού και της προκοστολόγησής τους.

Στο σύστημα αυτό η κατάταξη του βράχου σε κατηγορίες και η σύνδεση της ποιότητάς του με τα αναγκαία μέτρα υποστήριξης γίνεται με τη βοήθεια ποσοτικών παραμέτρων οι οποίες μπορούν να προσδιοριστούν με τις μετρήσεις επιτόπου του έργου.

Οι παράμετροι οι οποίες χρησιμοποιούνται είναι:

- ✓ Η αντοχή σε απλή θλίψη του μονολιθικού πετρώματος που συνθέτει το βράχο. Η παράμετρος αυτή παίζει καθοριστικό ρόλο σε περίπτωση που ο βράχος χαρακτηρίζεται από αραιή ρηγμάτωση, αντίθετα η επιρροή της εξασθενεί όταν ο βράχος είναι έντονα διακλασμένος. Προσδιορίζεται με δοκιμές μονοαξονικής θλίψης ή με δοκιμές προσδιορισμού της αντίστασης αιχμής (Point Load Index).
- ✓ Ο δείκτης ποιότητας RQD, (Rock Quality Designation, RQD).
- ✓ Η πυκνότητα και ο προσανατολισμός των ασυνεχειών: διακλάσεων, επιφανειών στρώσεων ή σχιστότητας. Η μέτρηση του συστήματος των ασυνεχειών γίνεται σε επιφανειακές εμφανίσεις του βράχου, μέσα από ερευνητικές στοές ή στην ήδη υπό κατασκευή σήραγγα.
- ✓ Η κατάσταση των ασυνεχειών. Αφορά στο εύρος του κενού που υπάρχει ανάμεσα στις δύο επιφάνειες μιας ασυνέχειας, στην τραχύτητα των επιφανειών αυτών και στα χαρακτηριστικά των υλικών που πληρούν τα κενά των ασυνεχειών.
- ✓ Το υπόγειο νερό. Η επίδραση του νερού εκτιμάται από το λόγο της πίεσης του νερού των διακλάσεων προς τη μέγιστη κύρια γεωστατική τάση ή από την εισροή του νερού (lt/min) ανά 10m σήραγγας ή από μία γενική περιγραφή της δίαιτας των υπόγειων νερών.

Η κατάταξη του βράχου σε κατηγορίες γίνεται με βάση τις τιμές των παραπάνω παραμέτρων και κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αποδίδεται η βαρύτητα που έχει κάθε μία από αυτές στη μηχανική συμπεριφορά του. Η κατάταξη του Bieniawski παρουσιάζεται στους παρακάτω πίνακες (4-III, 4-IV α και 4-IV β):

Πίνακας 4-III. Ταξινόμηση του Bieniawski (CSIR Geomechanics Classification, 1989).

Α. Παράμετροι ταξινόμησης και βαθμολόγηση των παραμέτρων								
	Δείκτης αντοχής αιχμής (Mpa)	>10	4-10	2-4	1-2	εφαρμόζεται η δοκιμή απλής θλίψης		
Αντοχή 1 συμπαγούς πετρώματος	Αντοχή σε απλή θλίψη (Mpa)	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
Βαθμός		15	12	7	4	2	1	0
2 RQD(%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
Βαθμός		20	17	13	8	3		
3 Απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών [m]		>2	0,6-2	0,2-0,6	0,06-0,2	<0,06		
Βαθμός		20	15	10	8	5		
4 Κατάσταση των διακλάσεων		Πολύ τραχείες επιφάνειες, ασυνεχείς, κλειστές. Μη διαβρωμένα τοιχώματα	Ελαφρά τραχείες επιφάνειες: άνοιγμα <1 mm. Ελαφρά διαβρωμένα τοιχώματα	Ελαφρά τραχείες επιφάνειες: άνοιγμα <1 mm. Πολύ διαβρωμένα τοιχώματα	Ολισθηρές επιφάνειες (slickensided) ή διακλάσεις με υλικό πλήρωσης <5 mm ή διακλάσεις ανοικτές 1-5 mm. Συνεχείς διακλάσεις	Μαλακό υλικό πλήρωσης πάχους >5 mm ή διακλάσεις ανοικτές >5 mm. Συνεχείς διακλάσεις.		
Βαθμός		30	25	20	10	0		
	Εισροή για 10 m μήκος σήραγγας	Καμία	<10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	>125 l/min		
5 Υπόγειο νερό	Λόγος πίεσης νερού των διακλάσεων προς τη μέγιστη κύρια ορθή τάση	0	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
	Γενικές συνθήκες	Εντελώς στεγνό	Ελαφρά υγρό	Υγρό	Στάγδην	Ροή νερού		
Βαθμός		15	10	7	4	0		

Πίνακας 4-III (συνέχεια). Ταξινόμηση του Bieniawski (CSIR Geomechanics Classification, 1989).

B. Προσαρμογή με βάση τον προσανατολισμό των διακλάσεων						
Διεύθυνση και κλίση των διακλάσεων		Πολύ ευνοϊκή	Ευνοϊκή	Μέτρια	Δυσμενής	Πολύ δυσμενής
Βαθμός	Σηραγγές	0	-2	-5	-10	-12
	Θεμελιώσεις	0	-2	-7	-15	-25
	Πρανή	0	-5	-25	-50	
Γ. Ταξινόμηση του βράχου και βαθμολογία του						
Κατηγορία	I	II	III	IV	V	
Χαρακτηρισμός	Πολύ καλός	Καλός	Μέτριος	Φτωχός	Πολύ Φτωχός	
Βαθμολογία, τιμή RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	<21	
Δ. Τεχνική σημασία της ταξινόμησης						
Κατηγορία	I	II	III	IV	V	
Μέσος χρόνος διατήρησης της εικόνας	20 χρόνια για άνοιγμα 15 m	12 μήνες για άνοιγμα 10 m	1 εβδομάδα για άνοιγμα 5 m	10 ώρες για άνοιγμα 2,5 m	30 min για άνοιγμα 1 m	
Συνοχή του βράχου [kPa]	>400	300-400	200-300	100-200	<100	
Γωνία τριβής του βράχου	>45°	35-45°	25-35°	15-25°	<15°	

Πίνακας 4-IVα. Επιρροή της τραχύτητας, της αποσάθρωσης των υλικών πλήρωσης και του μήκους των ασυνεχειών (Bieniawski, 1989).

Μήκος των ασυνεχειών	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m
Βαθμός	6	4	2	1	0
Άνοιγμα ασυνεχειών	κανένα	<0,1 mm	0,1-1 mm	1-5 mm	>5 mm
Βαθμός	6	5	4	1	0
Τραχύτητα τοιχωμάτων	πολύ τραχεία	τραχεία	ελαφρώς τραχεία	λεία	επίπεδα, ολισθηρά
Βαθμός	6	5	3	1	0
Υλικά πλήρωσης	δεν υπάρχουν	σκληρά, <5 mm	σκληρά, >5 mm	μαλακά, <5 mm	μαλακά, >5 mm
Βαθμός	6	4	2	2	0
Αποσάθρωση	μη αποσάθρ.	ελαφρώς αποσάθρ.	μέτρια αποσάθρ.	πολύ αποσάθρ.	αποσπιντεθμένες
Βαθμός	6	5	3	1	0

Παρατήρηση: Ορισμένες παράμετροι αποκλείονται σωτηρά. Για παράδειγμα, όταν στις διακλάσεις περιέχονται υλικά πλήρωσης, η τραχύτητα επικαλύπτεται από τα υλικά πλήρωσης. Σε τέτοιες περιπτώσεις για τη βαθμολόγηση της κατάστασης των διακλάσεων εφαρμόζεται απευθείας ο Πίνακας 4-III.

Πίνακας 4-IVβ. Επιρροή του προσανατολισμού των διακλάσεων στα υπόγεια έργα, Bieniawski, 1989.

Παράταξη κάθετη στον άξονα της σήραγγας				Παράταξη παράλληλη στον άξονα της σήραγγας		Ανεξάρτητα από την παράταξη
Διάνοιξη σύμφωνα με την κλίση		Διάνοιξη αντίθετα με την κλίση				
Κλίση		Κλίση		Κλίση		Κλίση
45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	0°-20°
πολύ ευνοϊκή	ευνοϊκή	μέτρια	δυσμενής	πολύ δυσμενής	μέτρια	μέτρια
Βαθμός		Βαθμός		Βαθμός		Βαθμός
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10

Εναλλακτικά , υπάρχουν διάφορα συστήματα υποστήριξης που προτείνονται για τις πέντε κατηγορίες , καθώς και μέθοδοι που αναφέρονται σε σήραγγα πεταλοειδούς διατομής πλάτους 10m και ακολουθούν στους παρακάτω πίνακες (4-V και 4-IV) :

Πίνακας 4-V. Προτάσεις συστημάτων προσωρινής υποστήριξης για αβαθείς σήραγγες διαμέτρου 5-12 m, Bieniawski, 1974.

Εναλλακτικά συστήματα υποστήριξης σε κατασκευές με συμβατικά μέσα			
Κατηγορία βράχου	Κυρίως ηλώσεις (κοχλιώσεις)	Κυρίως εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	Κυρίως χαλύβδινα πλαίσια
I	Γενικά δε χρειάζεται υποστήριξη		
II	Ηλώσεις με αραιώση 1,5-2m και -κατά περίπτωση- πλέγμα στην οροφή	50 mm στην οροφή	Αντιοικονομικά
III	Ηλώσεις με αραιώση 1,0-1,5m, πλέγμα και 30 mm εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στην οροφή (όπου χρειάζεται)	100 mm στην οροφή και 50mm στις πλευρές κατά περίπτωση πλέγμα και ηλώσεις όπου χρειάζεται	Ελαφρά με αραιώση 1,5-2 m
IV	Ηλώσεις με αραιώση 0,5-1,0m, πλέγμα και 30-50mm εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στην οροφή και στις πλευρές	150 mm στην οροφή και 100mm στις πλευρές και πλέγμα και ηλώσεις, 3m μήκους με αραιώση 1,5m	Μέσου τύπου, με αραιώση 0,7-1,5 m και 50 mm εκτοξευόμενο σκυρόδεμα στην οροφή
V	Δε συνιστάται	200 mm στην οροφή και 150mm στις πλευρές, πλέγμα, ηλώσεις και ελαφρά πλαίσια	Βαριά, με αραιώση 0,7 m και ταχεία επένδυση με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 75 mm

Πίνακας 4-VI. Εμπειρική πρόταση για τον τρόπο διάνοιξης και για τη μόνιμη υποστήριξη σήραγγας πεταλοειδούς διατομής, *Bieniawski, 1979*.

Κατηγορία βράχου RMR	Τρόπος εκσκαφής	Μέτρα υποστήριξης		
		Αγκύρια Ø20 mm πακτωμένα με τσιμεντένεμα	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	Χαλύβδινα πλαίσια
I RMR: 81-100	Ολομέτωπη εκσκαφή. Προχώρηση με βήματα 3m	Γενικά δε χρειάζεται υποστήριξη. Σποραδικά αγκύρια μόνον εφόσον χρειάζονται		
II RMR: 61-80	Ολομέτωπη εκσκαφή. Προχώρηση με βήματα 1-1,5 m. Η οριστική υποστήριξη τοποθετείται σε απόσταση 20 m από το μέτωπο	Στην οροφή σποραδικά αγκύρια μήκους 3 m σε αποστάσεις 2,5m. Κατά περίπτωση χρησιμοποίηση δομικού πλέγματος στην οροφή	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 5 cm στην οροφή· μόνον όταν κρίνεται αναγκαίο.	όχι
III RMR: 41-60	Τμηματική εκσκαφή σε δύο φάσεις. Προχώρηση μετώπου και βαθμίδα με βήματα 1,5-3 m. Προσωρινή υποστήριξη αμέσως μετά από την ανατίναξη. Η οριστική υποστήριξη τοποθετείται σε απόσταση 10 m από το μέτωπο	Συστηματική αγκύρωση· αγκύρια μήκους 4 m ανά 1,5 έως 2 m στην οροφή και στις παρειές. Στην οροφή επιπλέον δομικό πλέγμα.	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 5-10 cm στην οροφή και πάχους 3 cm στις παρειές	όχι
IV RMR: 21-40	Τμηματική εκσκαφή σε δύο φάσεις. 1η φάση: προχώρηση μετώπου με βήματα 1-1,5 m. Τοποθέτηση της υποστήριξης ταυτόχρονα με την εκσκαφή. Συμπλήρωση της υποστήριξης σε απόσταση 10 m από το μέτωπο	Συστηματική αγκύρωση· αγκύρια μήκους 4-5 m, ανά 1 έως 1,5 m στην οροφή και στις παρειές. Ενίσχυση με δομικό πλέγμα.	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 10-15 cm στην οροφή και πάχους 10 cm στις παρειές.	Χαλύβδινα πλαίσια ελαφρού έως μέσου τύπου σε αποστάσεις 1,5m όπου χρειάζεται
V RMR: <20	Πολλαπλή προώθηση. Προχώρηση στο μέτωπο 0,5-1,5 m. Η υποστήριξη τοποθετείται ταυτόχρονα με τη διάνοιξη. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα όσο πιο γρήγορα γίνεται.	Συστηματική αγκύρωση· αγκύρια μήκους 5-6 m, ανά 1-1,5m στην οροφή και στις παρειές. Ενίσχυση με δομικό πλέγμα. Αγκυρώσεις στο δάπεδο.	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 15-20 cm στην οροφή, πάχους 15 cm στις παρειές και πάχους 5 cm στο μέτωπο	Χαλύβδινα πλαίσια μέσου έως βαρέως τύπου σε αποστάσεις 0,75 m. Επικάλυψη με λαμαρίνες και στήριξη του μετώπου. Κλείσιμο της διατομής με ανεστραμμένο τώξο.

Παρατήρηση: Εφαρμογή της Γεωμηχανικής Ταξινόμησης του Bieniawski σε σήραγγα πεταλοειδούς διατομής, πλάτους 10 m· κατακόρυφη γεωστατική τάση ≤ 25 MPa. Η κατασκευή της σήραγγας έγινε με τη μέθοδο διάτρησης-ανατίναξης.

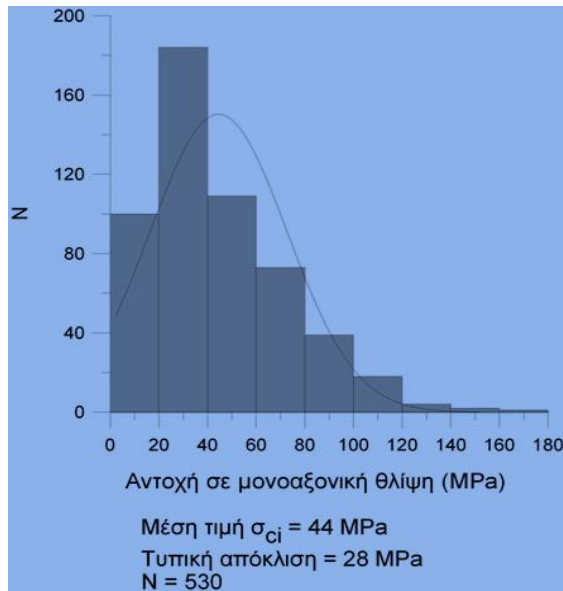
6.2 Ταξινόμηση κατά BIENIAWSKI (CSIR* Geomechanics Classification)

Με βάση την τεχνική περιγραφή και πληροφορίες που συλλέξαμε , οδηγηθήκαμε στο χαρακτηρισμό του πετρώματος για κάθε γεώτρηση. Στην λεπτομερή ανάλυση που ακολουθεί γίνεται παρουσίαση όλων των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν.

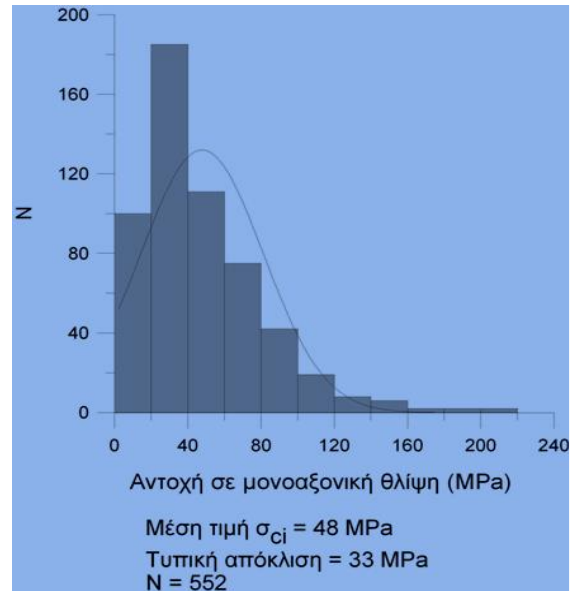
Όσον αφορά την αντοχή , χρησιμοποιήθηκαν διάφορες τιμές αντοχών με βάση την ποιότητα του κάθε πετρώματος (ελαφρά- αμυδρά, μέτρια ,πολύ αποσάθρωση). Στον παρακάτω πίνακα και στα διαγράμματα φαίνονται ενδεικτικές τιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη, όπως για παράδειγμα του ασβεστόλιθου και του ψαμμίτη.

<i>Πέτρωμα</i>	<i>Αντοχή σε μοναξονική θλίψη (MPa)</i>
Ασβεστόλιθος	4-250
Ψαμμίτης	6-170
Μαργόλιθος	10-70
Αργ. Σχιστόλιθος	8-20
Ιλύλιθος	10-70
Γύψος	4-40
Γνεύσιος	80-250
Μάρμαρο	50-200
Σχιστόλιθος	20-100
Χαλαζίτης	90-300
Βασάλτης	80-400
Γρανίτης	120-290
Ανδεσίτης	70-200
Ρυόλιθος	150-260
Τόφος	1-40

Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη ασβεστολίθων

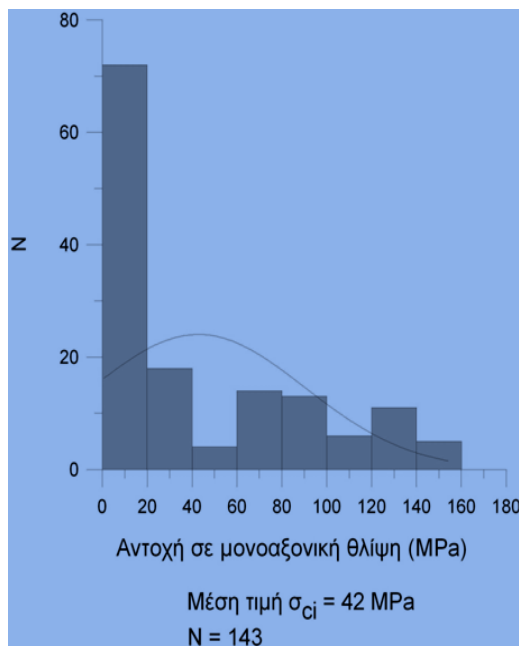


Ασβεστόλιθος (Ελλάδα)
Σπαρτικός, Μαργαϊκός, δολομιτικός

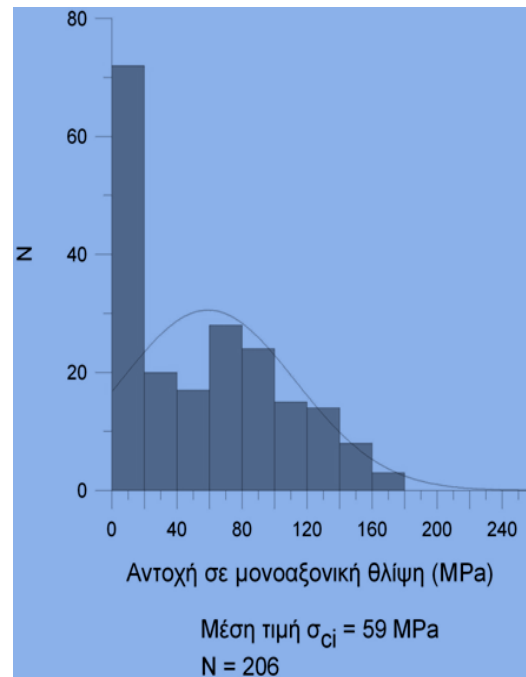


Ασβεστόλιθος (+βιβλιογραφία)

Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη ψαμμίτη



Ψαμμίτης (Ελλάδα)



Ψαμμίτης (+βιβλιογραφία)

Για τον υπολογισμό του δείκτη ποιότητας R.Q.D(%) λάβαμε υπόψην μια μέση τιμή σύμφωνα με τη μηκοτομή για κάθε γεώτρηση. Επιπλέον, για τη μέση απόσταση χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα του δείκτη γεωλογικής αντοχής GSI (παράγραφος 2.1) που βασίζεται στη δομή και την κατάσταση της επιφάνειας των ασυνεχειών. Για την περιγραφή των ασυνεχειών έγινε υπόθεση του μήκους, του ανοίγματος και της τραχύτητας. Συγκεκριμένα, για το μήκος των ασυνεχειών υποθέσαμε τιμή 3 έως 10, για το άνοιγμα 1 έως 5 και τραχύτητα τοιχωμάτων λεία. Η αποσάθρωση δόθηκε στην τεχνική περιγραφή και ανάλογα με αυτή χαρακτηρίστηκαν και τα υλικά πλήρωσης. Για παράδειγμα, όπου είχαμε μέτρια αποσάθρωση θεωρήσαμε υλικά πλήρωσης μαλακά < 5mm. Η εισροή νερού χαρακτηρίστηκε είτε στάγδην (25 έως 125lt/min) είτε υγρό (10 έως 25lt/min), ενώ η παράταξη έγινε παράλληλη στον άξονα της σήραγγας με κλίση 20 έως 45 ή 45 έως 90. Έτσι οδηγηθήκαμε στο χαρακτηρισμό του πετρώματος για κάθε γεώτρηση, με τιμές από πολύ φτωχός (<21) έως μέτριος (60 έως 41).

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τη σήραγγα και για το σταθμό, όπως φαίνονται αναλυτικά στους παρακάτω πίνακες :

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της εργασίας ήταν η παρακολούθηση όλων των σταδίων παραγωγής μιας σήραγγας Μετρό. 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+504,535) έως το σταθμό του Χαϊδαρίου (Χ.Θ. 0+929,13), οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντήθηκαν ήταν τα Νεογενή, που αποτελούνται από μάργες, ιλύολιθους 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.Θ. 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. Πράγματι, μέσω της μεθόδου Bieniawski που αναλύσαμε λεπτομερέστερα για κάθε γεώτρηση, αποδείχθηκε ότι ο βράχος είναι πολύ φτωχός, δηλαδή συναντήσαμε κατά κύριο λόγο την κατηγορία SE. Η SE κατηγορία υποστήριξης που επιλέχθηκε αντιμετώπιζε επιτυχώς την απρόοπτη συμπεριφορά του μετώπου, στο οποίο η βραχώμαζα είχε τάση εκδήλωσης καταπτώσεων. Οι καταπτώσεις οφείλονταν κυρίως λόγω του κερματισμού του πετρώματος και της παρουσίας, σε πολλά τμήματα, αμμωδών και χαλικοδών 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.

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. Υπόγεια, οι όποιες αστοχίες υπήρχαν, δεν ξεπερνούσαν τα όρια ανοχής και σε πολλά τμήματα η συμπεριφορά της

βραχομάζας ήταν καλύτερη του αναμενόμενου, με αποτέλεσμα να ζητηθεί από τον Ανάδοχο να γίνει τροποποίηση της μελέτης (field change) αυξάνοντας το βήμα εκσκαφής. Για το λόγο αυτό η παραγωγή του έργου ήταν μεγαλύτερη με αποτέλεσμα τη μείωση κόστους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αττικό Μετρό Α.Ε., Προδιαγραφές Μελετών Έργων Πολιτικού Μηχανικού
2. Αττικό Μετρό Α.Ε., Προδιαγραφές Υλικών και Εργασιών Έργων Πολιτικού Μηχανικού
3. Αττικό Μετρό Α.Ε., Τεχνική Περιγραφή
4. Αττικό Μετρό Α.Ε., Γεωλογική, Υδρογεωλογική και Γεωτεχνική μελέτη, Γεωλογική – Γεωτεχνική μηκοτομή πρόβλεψη
5. Αττικό Μετρό Α.Ε., Προσωρινή υποστήριξη σήραγγας διατομής διπλής γραμμής από χ.θ. 0+349 έως χ.θ. 0+929
6. Αττικό Μετρό Α.Ε., Προσωρινή υποστήριξη σήραγγας διατομής διπλής γραμμής από χ.θ. 0+349 έως χ.θ. 0+929, κατηγορία SC, SD, SE
7. Αττικό Μετρό Α.Ε., Προσωρινή υποστήριξη σήραγγας διατομής διπλής γραμμής από χ.θ. 0+349 έως χ.θ. 0+929, εκκίνηση διάνοιξη σήραγγας από το σταθμό Χαϊδαρίου
8. Αττικό Μετρό Α.Ε., Σταθμός Χαϊδαρίου προσωρινή αντιστήριξη τομές 1-1, 2-2, 3-3, 4-4, 5-5
9. Αττικό Μετρό Α.Ε., Επέκταση Αιγάλεω-Χαϊδάρι, σχεδιασμός γραμμής χ.θ. 0+000 – 0+885
10. Γεωργιαννού Β.Ν., Χρήση Γεωτεχνικών Οργάνων, Οργανομετρήσεις,
11. Κοινοπραξία Έργου, Μεθοδολογία Εγκατάστασης Δοκών Προπορείας
12. Κοινοπραξία Έργου, Μεθοδολογία Εγκατάστασης Χαλύβδινων Δικτυωτών / Πλαισιωτών Υποστηριγμάτων
13. Κοινοπραξία Έργου, Μεθοδολογία Εκσκαφής Ανοικτού Ορύγματος
14. Κοινοπραξία Έργου, Μεθοδολογία Εκσκαφής Σηράγγων με Συμβατικά Μέσα
15. Κοινοπραξία Έργου, Μεθοδολογία Εκτοξευόμενου Σκυροδέματος
16. Κοινοπραξία Έργου, Μεθοδολογία Κατασκευής Εδαφικών Ηλώσεων και Κοχλιώσεων
17. Κοινοπραξία Έργου, Μεθοδολογία Κατασκευής Μικροπασσάλων
18. Κοινοπραξία Έργου, Μεθοδολογία Προεντεταμένων Αγκυριών
19. «Τεχνικά έργα υποδομής», Χρήστος Ν.Μαραγκός
20. Τ.Ε.Ι Πατρών e-class, Σημειώσεις «Κατασκευή σηράγγων» Βγενοπούλου Ειρήνη
21. Αντοχή Πετρωμάτων, Τσιαμπάος Γεώργιος